

**FUNGSIONALISASI KARBON TERMODIFIKASI MAGNETIT (Fe_3O_4)
DAN SILAN (*Triethoxyphenylsilane*) DARI CANGKANG BUAH KARET
(*Hevea brasiliensis*) SEBAGAI ADSORBEN ZAT WARNA *CRYSTAL*
VIOLET DAN HERBISIDA *PARAQUAT***

(Tesis)

Oleh

**NADYA SYARIFATUL FAJRIYAH
NPM 2027011010**



**PROGRAM STUDI MAGISTER KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

ABSTRAK

FUNGSIONALISASI KARBON TERMODIFIKASI MAGNETIT (Fe_3O_4) DAN SILAN (*Triethoxyphenylsilane*) DARI CANGKANG BUAH KARET (*Hevea brasiliensis*) SEBAGAI ADSORBEN ZAT WARNA *CRYSTAL VIOLET* DAN HERBISIDA *PARAQUAT*

Oleh

NADYA SYARIFATUL FAJRIYAH

Pada penelitian ini telah dilakukan modifikasi karbon yang terbuat dari cangkang buah karet melalui pelapisan magnetit dan silanisasi menggunakan *triethoxyphenylsilane* (TEPS). Karbon magnetit (KM), karbon silan (KS) dan karbon magnetit silan (KMS) yang diperoleh dari proses modifikasi digunakan untuk menghilangkan zat warna *crystal violet* (CV) dan herbisida *paraquat* (PQ). Karakterisasi KM, KS, dan KMS menggunakan spektroskopi *fourier transform infrared* (FTIR), *X-ray diffraction* (XRD) dan *scanning electron microscopy-energy dispersive X-ray* (SEM-EDX) menunjukkan bahwa karbon berhasil dimodifikasi oleh magnetit dan TEPS. Beberapa parameter yang berpengaruh terhadap proses adsorpsi diujikan dan didapatkan hasil optimum antara lain dosis adsorben 0,1 g, pH 10, dan waktu kontak 15 menit pada CV. Hasil optimum yang diperoleh pada PQ antara lain dosis adsorben 0,2 g, pH 9, dan waktu kontak 120 menit. Hasil kapasitas adsorpsi tertinggi yang diperoleh pada KM, KS dan KMS terhadap CV dan PQ masing-masing adalah 47,01, 54,63 dan 55,06 mg/g serta 24,37, 24,33 dan 24,39 mg/g. Kinetika adsorpsi terhadap CV dan PQ cenderung mengikuti kinetika pseudo orde dua. Isoterm adsorpsi zat warna CV cenderung mengikuti pola isoterm Freundlich dimana menunjukkan bahwa proses adsorpsi yang terjadi bersifat *multilayer*. Isoterm adsorpsi PQ cenderung mengikuti pola isoterm Langmuir yang menunjukkan bahwa proses adsorpsi yang terjadi bersifat *monolayer*. Mekanisme KMS terhadap CV didominasi oleh interaksi fisika dan pertukaran ion, sedangkan terhadap PQ didominasi oleh ikatan kovalen koordinasi dan ikatan hidrogen. Penggunaan ulang adsorben KMS terhadap CV dan PQ cukup efektif sebanyak 3 kali pengulangan dengan % adsorpsi $\geq 70\%$.

Kata kunci : Adsorpsi, kristal violet, *paraquat*, karbon magnetit silan, cangkang buah karet

ABSTRACT

FUNCTIONALIZATION OF CARBON MODIFIED WITH MAGNETITE (Fe₃O₄) AND SILAN (Triethoxyphenylsilane) FROM RUBBER FRUIT SHELL (*Hevea brasiliensis*) AS ADSORBENT OF CRYSTAL VIOLET AND PARAQUAT HERBICIDE

By

NADYA SYARIFATUL FAJRIYAH

In this study, carbon modification from rubber fruit shells was carried out through magnetite coating and silanization using triethoxyphenylsilane (TEPS). Carbon magnetite (KM), carbon silane (KS), and carbon magnetite silane (KMS) obtained from the modification process were used to remove crystal violet dye (CV) and paraquat herbicide (PQ). Characterization of KM, KS, and KMS using fourier transform infrared (FTIR), X-ray diffraction (XRD) spectroscopy and scanning electron microscopy-energy dispersive X-ray (SEM-EDX) showed that carbon was successfully controlled by magnetite and TEPS. Several parameters that affect the adsorption process were tested and the optimum results were obtained, including the adsorbent dose of 0.1 g, pH 10, and a contact time of 15 minutes at CV. The optimum results obtained at PQ include an adsorbent dose of 0.2 g, pH 9, and a contact time of 120 minutes. The results of the highest adsorption capacity obtained on KM, KS, and KMS on CV and PQ were 47.01, 54.63, and 55.06 mg/g and 24.37, 24.33, and 24.39 mg/g, respectively. Adsorption kinetics with respect to CV and PQ tend to follow pseudo second order kinetics. The CV dye adsorption isotherm tends to follow the Freundlich isotherm pattern which indicates that the adsorption process that occurs is multilayer. The PQ adsorption isotherm tends to follow the Langmuir isotherm pattern which indicates that the adsorption process that occurs is monolayer. The mechanism of KMS to CV is dominated by physical interactions and ion exchange, while to PQ is dominated by covalent coordination bonds and hydrogen bonds. The reuse of KMS adsorbent on CV and PQ was quite effective for 3 repetitions with % adsorption $\geq 70\%$.

Key words: Adsorption, crystal violet, paraquat, carbon magnetite silane, rubber fruit shell

**FUNGSIONALISASI KARBON TERMODIFIKASI MAGNETIT (Fe_3O_4)
DAN SILAN (*Triethoxyphenylsilane*) DARI CANGKANG BUAH KARET
(*Hevea brasiliensis*) SEBAGAI ADSORBEN ZAT WARNA *CRYSTAL*
VIOLET DAN HERBISIDA *PARAQUAT***

Oleh

NADYA SYARIFATUL FAJRIYAH

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
MAGISTER SAINS

Pada

**Program Studi Magister Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung**



**PROGRAM STUDI MAGISTER KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

Judul Tesis : **FUNGSIONALISASI KARBON TERMODIFIKASI
MAGNETIT (Fe_3O_4) DAN SILAN
(*Triethoxyphenylsilane*) DARI CANGKANG
BUAH KARET (*Hevea brasiliensis*) SEBAGAI
ADSORBEN ZAT WARNA *CRYSTAL VIOLET*
DAN HERBISIDA *PARAQUAT***

Nama Mahasiswa : **Nadya Syarifatul Fajriyah**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2027011010

Program Studi : Magister Kimia

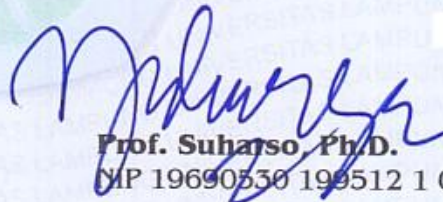
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

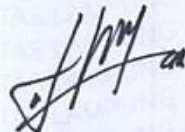


Prof. Dr. Buhani, M.Si.
NIP 19690416 199403 2 003



Prof. Suharso, Ph.D.
NIP 19690530 199512 1 001

2. Ketua Program Studi Magister Kimia

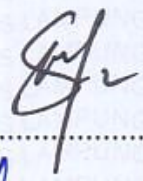


Dr. Nurhasanah, M.Si.
NIP 19741211 199802 2 002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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



.....

Sekretaris : **Prof. Suharso, Ph.D.**



.....

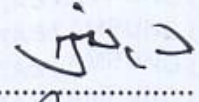
Penguji Bukan Pembimbing

Anggota : **Rinawati, Ph.D.**



.....

Anggota : **Mulyono, Ph.D.**



.....


Anggota : **Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D.**



.....

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam





Dr. Eng. Supto Dwi Yuwono, S.Si., M.T.

NIP 19740705 200003 1 001

3. Direktur Program Pascasarjana




Prof. Dr. H. Ahmad Saudi Samosir, S.T., M.T.

NIP 19710415 199803 1 005

Tanggal Lulus Ujian Tesis : **06 Agustus 2022**

**SURAT PERNYATAAN
KEASLIAN TESIS**

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Nadya Syarifatul Fajriyah
Nomor Pokok Mahasiswa : 2027011010
Program Studi : Magister Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Dengan ini menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa tesis yang berjudul
"Fungsionalisasi Karbon Termodifikasi Magnetit (Fe_3O_4) dan Silan
(*Triethoxyphenylsilane*) dari Cangkang Buah Karet (*Hevea brasiliensis*) sebagai
Adsorben Zat Warna *Crystal Violet* dan Herbisida *Paraquat*" adalah benar karya
sendiri dan tidak keberatan apabila sebagian atau seluruh data dalam tesis tersebut
digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi sesuai
dengan kesepakatan.

Bandar Lampung, 06 Agustus 2022
Yang Menyatakan



Nadya Syarifatul Fajriyah
NPM. 2027011010

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Nadya Syarifatul Fajriyah dilahirkan di Punggur pada tanggal 16 Juli 1997. Putri bungsu dari dua bersaudara dari pasangan bapak Ma'ruf dan ibu Sri Wahyuni WIG.

Penulis menyelesaikan pendidikan formal di TK pada tahun 2003. Kemudian, menyelesaikan pendidikan di SDN 1 Purworejo pada tahun 2009, SMPN 2 Kotagajah pada tahun 2012, dan SMAN 1 Kotagajah pada tahun 2015. Penulis mendapatkan gelar sarjana (S.Si.) dari Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas pada tahun 2019. Penulis melanjutkan studi magister di Program Studi Magister Kimia Fakultas MIPA Universitas Lampung tahun 2020 melalui jalur Beasiswa Bebas SPP Pascasarjana Universitas Lampung. Selama menjadi mahasiswa magister kimia, penulis pernah menjadi asisten praktikum mata kuliah Kimia Anorganik 1 tahun ajaran 2020/2021 dan Kimia Anorganik II tahun ajaran 2021/2022. Selain itu, penulis telah mempresentasikan hasil penelitian yang berjudul "*Adsorption Kinetics of Crystal Violet by Carbon from Rubber Fruit Shells Modified with Magnetite Particles and Silane Agent*" pada seminar internasional "*The 3rd International Conference on Natural Science, Mathematics, Applications, Research, and Technology*" (ICON-SMART 2022) pada tanggal 3 Juni 2022 yang dilaksanakan secara online.

Untuk kedua orang tuaku, keluarga, sahabat, teman yang telah memberikan kasih sayang, do'a dan dukungannya

Serta Universitas Lampung

MOTTO

Percayalah, Allah SWT tidak membebani
seseorang melainkan sesuai dengan
kesanggupannya

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat, hidayah, karunia serta ridho-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan tesis ini.

Tesis yang berjudul “Fungsionalisasi Karbon Termodifikasi Magnetit (Fe_3O_4) dan Silan (*Triethoxyphenylsilane*) dari Cangkang Buah Karet (*Hevea brasiliensis*) sebagai Adsorben Zat Warna *Crystal Violet* dan Herbisida *Paraquat*” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Kimia (M.Si.) di Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Buhani, M.Si., selaku dosen Pembimbing Akademik dan Pembimbing I yang telah meluangkan banyak waktu dalam membimbing penulis dan banyak memberikan nasehat, arahan, dukungan serta bantuan. Terima kasih atas keikhlasan, kesabaran, dan ilmu yang sangat bermanfaat yang diberikan kepada penulis dalam menyelesaikan tesis ini;
2. Prof. Suharso, Ph.D., selaku dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, kritik, saran, dan ilmu yang bermanfaat kepada penulis dalam menyelesaikan tesis ini;
3. Ibu Rinawati, Ph.D., selaku dosen pembahas/penguji penelitian yang telah memberikan kritik, saran, arahan, dan ilmu yang bermanfaat kepada penulis dalam menyelesaikan tesis ini;
4. Bapak Mulyono, Ph. D., selaku dosen pembahas/penguji penelitian sekaligus Ketua Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Lampung yang telah memberikan masukan, kritik, saran, dan ilmu yang bermanfaat kepada penulis dalam menyelesaikan tesis ini;

5. Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D., selaku dosen pembahas/penguji penelitian yang telah memberikan masukan, bimbingan, nasihat, dan ilmu yang bermanfaat kepada penulis dalam menyelesaikan tesis ini;
6. Ibu Dr. Nurhasanah, M.Si., selaku Ketua Program Studi Magister Kimia Fakultas MIPA Universitas Lampung yang telah memberikan bantuan serta kemudahan dalam perkuliahan kepada penulis;
7. Dr. Eng. Suripto Dwi Yuwono, M.T., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam;
8. Prof. Dr. Ir. Ahmad Saudi Samosir, S.T., M.T., selaku Direktur Pascasarjana Universitas Lampung;
9. Seluruh dosen Kimia FMIPA Unila atas segala ilmu, pengalaman, motivasi dan nasihat selama perkuliahan;
10. Mbak Liza Aprilia, S.Si., selaku PLP Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik FMIPA Unila yang telah menyediakan alat di laboratorium dan banyak membantu selama bekerja di laboratorium;
11. Staff Admin FMIPA Universitas Lampung atas kemudahan dalam mengurus berkas;
12. Keluargaku, Ayah, Ibu, dan Mbak yang penulis sayangi, terima kasih atas do'a dan dukungan yang diberikan;
13. Mona dan Desy atas kebersamaannya dari perkuliahan S1 hingga saat ini;
14. Teman-teman angkatan 2020 (Mbak Cindy, Aisyah, Kak Restu, Mentari, Oci, Mbak Ezra, Mbak Della, Kak Fendi, Kak Arya, Rinda, Nafila, Hanif) partner penelitian, kakak tingkat serta adik tingkat yang telah mendukung dan membantu baik dalam perkuliahan maupun penelitian;
15. Semua pihak yang penulis tidak dapat sebutkan satu persatu. Terima kasih atas segala bantuan, dukungan, semangat serta do'a yang diberikan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini.

Bandar Lampung, Agustus 2022

Nadya Syarifatul Fajriyah

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR LAMPIRAN	viii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	4
1.3. Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Karbon	5
2.2. Cangkang Buah Karet	6
2.3. Magnetit.....	7
2.4. <i>Triethoxyphenylsilane</i> (TEPS).....	9
2.5. Adsorpsi-Desorpsi.....	11
2.5.1. Adsorpsi.....	11
2.5.2. Desorpsi	13
2.5.3. Kinetika Adsorpsi	14
2.5.4. Isoterm Adsorpsi.....	15
2.6. <i>pH Point of Zero Charge</i> (pHpzc)	18
2.7. <i>Crystal Violet</i>	18
2.8. Herbisida <i>Paraquat</i>	19
III. METODE PENELITIAN	22
3.1. Waktu dan Tempat	22
3.2. Alat dan Bahan.....	22
3.3. Prosedur Penelitian.....	23
3.3.1. Preparasi dan Pembuatan Karbon Cangkang Buah Karet	23
3.3.2. Modifikasi Karbon Magnetit Cangkang Buah Karet	23
3.3.3. Modifikasi Karbon dan Karbon Magnetit dengan <i>Triethoxyphenylsilane</i> (TEPS).....	23
3.3.4. Karakterisasi Karbon	24
3.3.5. Penentuan <i>Zero Point Charge</i> (pHpzc)	24
3.3.6. Preparasi Larutan Uji	24

3.3.7. Pengujian Adsorpsi Monokomponen	25
3.3.8. Pengujian Adsorpsi Bikomponen.....	28
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1. Modifikasi dan Karakterisasi Adsorben dari Cangkang Buah Karet	29
4.1.1. Karakterisasi FTIR	31
4.1.2. Karakterisasi XRD	32
4.1.3. Karakterisasi SEM-EDX	33
4.2. Penentuan Nilai Zeta Potensial	35
4.3. Adsorpsi Monokomponen CV dan PQ.....	36
4.3.1. Pengaruh Dosis Adsorben	36
4.3.2. Pengaruh pH	38
4.3.3. Pengaruh Waktu Kontak.....	39
4.3.4. Pengaruh Konsentrasi Adsorbat.....	42
4.4. Adsorpsi Bikomponen CV dan PQ	46
4.5. Mekanisme Adsorpsi.....	47
4.6. Penggunaan Ulang	49
V. KESIMPULAN	51
5.1. Kesimpulan	51
5.2. Saran.....	52
DAFTAR PUSTAKA	53
LAMPIRAN.....	66

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Parameter isoterm adsorpsi CV dan PQ terhadap adsorben	44
2. Parameter isoterm adsorpsi Langmuir biner	46
3. Data PZC pada adsorben KM, KS, dan KMS.....	62
4. Data absorbansi larutan CV dan PQ variasi dosis adsorben.....	64
5. Adsorpsi CV dan PQ pada adsorben dengan variasi dosis adsorben	65
6. Data absorbansi larutan CV dan PQ variasi pH adsorbat.....	66
7. Adsorpsi CV dan PQ pada adsorben dengan variasi pH adsorbat	67
8. Data absorbansi larutan CV dan PQ variasi waktu kontak.....	68
9. Data absorbansi larutan CV dan PQ variasi pH adsorbat	69
10. Data perhitungan hasil kinetika pseudo orde satu pada adsorben KM terhadap CV dan PQ	70
11. Data perhitungan hasil kinetika pseudo orde satu KS terhadap CV dan PQ .	72
12. Data perhitungan hasil kinetika pseudo orde satu KMS terhadap CV dan PQ	73
13. Data perhitungan hasil kinetika pseudo orde dua KM terhadap CV dan PQ.....	75
14. Data perhitungan hasil kinetika pseudo orde dua KS terhadap CV dan PQ.....	76
15. Data perhitungan hasil kinetika pseudo orde dua KMS terhadap CV dan PQ.....	77

16. Data absorbansi larutan CV dan PQ variasi konsentrasi	79
17. Adsorpsi CV dan PQ pada adsorben dengan variasi konsentrasi.....	80
18. Data perhitungan dengan persamaan Langmuir CV dan PQ terhadap KM...	81
19. Data perhitungan dengan persamaan Langmuir CV dan PQ terhadap KS	82
20. Data perhitungan dengan persamaan Langmuir CV dan PQ terhadap KMS.....	83
21. Data perhitungan dengan persamaan Freundlich CV dan PQ terhadap KM .	84
22. Data perhitungan dengan persamaan Freundlich CV dan PQ terhadap KS ..	85
23. Data perhitungan dengan persamaan Freundlich CV dan PQ terhadap KMS.....	86
24. Data absorbansi larutan CV dan PQ variasi konsentrasi bikomponen	88
25. Adsorpsi CV dan PQ pada adsorben dengan variasi konsentrasi bikomponen.....	89
26. Data perhitungan persamaan Langmuir biner pada adsorpsi pasangan larutan CV dengan PQ terhadap KM.....	90
27. Data perhitungan SPSS dengan persamaan Langmuir biner pada adsorpsi pasangan larutan CV dan PQ terhadap KM.....	91
28. Data perhitungan persamaan Langmuir biner pada adsorpsi pasangan larutan CV dengan PQ terhadap KS	91
29. Data perhitungan SPSS dengan persamaan Langmuir biner pada adsorpsi pasangan larutan CV dan PQ terhadap KS	92
30. Data perhitungan persamaan Langmuir biner pada adsorpsi pasangan larutan CV dengan PQ terhadap KMS.....	92
31. Data perhitungan SPSS dengan persamaan Langmuir biner pada adsorpsi pasangan larutan CV dan PQ terhadap KMS	93
32. Data absorbansi CV dan PQ mekanisme adsorpsi	93
33. Data perhitungan jumlah CV dan PQ terhadap KMS	95
34. Data absorbansi CV dan PQ mekanisme adsorpsi	95
35. Data perhitungan jumlah CV dan PQ yang teradsorpsi oleh KMS	96

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. (a) Cangkang buah karet dan (b) cangkang buah karet setelah Karbonisasi	6
2. Skema modifikasi karbon dengan magnetit.....	7
3. Struktur <i>Triethoxyphenylsilane</i> (TEPS)	9
4. Pembentukan karbon magnetit silan.....	10
5. Skema adsorben, adsorp dan adsorbat.....	12
6. Lima tipe isoterm adsorpsi	17
7. Struktur <i>crystal violet</i>	19
8. Ion <i>paraquat</i>	20
9. Hasil modifikasi adsorben (a) KM, (b) KS, dan (c) KMS.....	28
10. Skema proses silanisasi pembentukan KS dan KMS.....	30
11. Spektrum IR (a) karbon, (b) KM, (c) KS, dan (d) KMS	31
12. Difraktogram (a) karbon, (b) KS, (c) KM, dan (d) KMS.....	32
13. Mikrograf dan spektrum EDX dari (a) karbon, dan hasil modifikasi (b) KS, (c) KM, dan (d) KMS	34
14. Kurva pH _{pzc} pada adsorben KM, KS, dan KMS	35
15. Kurva pengaruh massa adsorben terhadap (a) CV dan (b) PQ.....	37
16. Kurva pengaruh pH pada adsorpsi (a) CV dan (b) PQ.....	38
17. Kurva pengaruh waktu kontak pada adsorpsi (a) CV dan (b) PQ	40

18. Kinetika pseudo orde satu pada KM, KS, dan KMS terhadap CV dan PQ.....	41
19. Kinetika pseudo orde dua pada KM, KS, dan KMS terhadap CV dan PQ.....	41
20. Kurva pengaruh konsentrasi adsorpsi terhadap (a) CV dan (b) PQ.....	42
21. Pola isoterm Langmuir adsorpsi terhadap CV dan PQ	43
22. Pola isoterm Freundlich adsorpsi terhadap CV dan PQ.....	44
23. Kurva pengaruh konsentrasi pada adsorpsi Larutan bikomponen CV dan PQ	45
24. Grafik hasil mekanisme adsorpsi CV dan PQ oleh adsorben KMS.....	47
25. Grafik hasil penggunaan ulang adsorpsi CV dan PQ oleh adsorben KMS ..	49
26. Kurva hasil pengukuran panjang gelombang maksimum (a) CV dan (b) PQ	63
27. Kurva standar larutan (a) CV dan (b) PQ	64
28. Kurva standar larutan (a) CV dan (b) PQ	66
29. Kurva standar larutan (a) CV dan (b) PQ	69
30. Pola kinetika pseudo orde satu pada KM terhadap CV dan PQ	71
31. Pola kinetika pseudo orde satu pada KS terhadap CV dan PQ.....	73
32. Pola kinetika pseudo orde satu pada KMS terhadap CV dan PQ	74
33. Pola kinetika pseudo orde dua pada KM terhadap CV dan PQ	75
34. Pola kinetika pseudo orde dua pada KS terhadap CV dan PQ	77
35. Pola kinetika pseudo orde dua pada KMS terhadap CV dan PQ.....	78
36. Kurva standar larutan (a) CV dan (b) PQ	79
37. Pola isoterm adsorpsi Langmuir pada KM terhadap CV dan PQ	81
38. Pola isoterm adsorpsi Langmuir pada KS terhadap CV dan PQ	82
39. Pola isoterm adsorpsi Langmuir pada KMS terhadap CV dan PQ	83

40. Pola isotherm adsorpsi Freundlich pada KM terhadap CV dan PQ.....	84
41. Pola isotherm adsorpsi Freundlich pada KS terhadap CV dan PQ	86
42. Pola isotherm adsorpsi Freundlich pada KMS terhadap CV dan PQ.....	87
43. Kurva standar larutan (a) CV dan (b) PQ	88
44. Kurva standar larutan (a) CV dan (b) PQ	94
45. Kurva standar larutan (a) CV dan (b) PQ	96

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Data pH _{pzc} Adsorben KM, KS, dan KMS	63
2. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum CV dan PQ	64
3. Kurva Standar Larutan CV dan PQ untuk Variasi Dosis Adsorben	65
4. Uji Adsorpsi Variasi Dosis Adsorben	66
5. Kurva Standar Larutan CV dan PQ untuk Variasi pH Adsorbat	67
6. Uji Adsorpsi Variasi pH Adsorbat	68
7. Kurva Standar Larutan CV dan PQ untuk Variasi Waktu Kontak	69
8. Uji Adsorpsi Variasi Waktu Kontak	70
9. Penentuan Laju Adsorpsi.....	71
10. Kurva Standar Larutan CV dan PQ untuk Variasi Konsentrasi	80
11. Uji Adsorpsi Variasi Konsentrasi	81
12. Penentuan Isoterm Adsorpsi.....	82
13. Kurva Standar Larutan CV dan PQ untuk Variasi Konsentrasi Bikomponen.....	89
14. Uji Adsorpsi Variasi Konsentrasi Bikomponen	90
15. Penentuan Isoterm Adsorpsi Bikomponen	91
16. Mekanisme Adsorpsi.....	95
17. Penggunaan Ulang Adsorben	96

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Permasalahan lingkungan khususnya di Indonesia masih menjadi persoalan yang perlu diperhatikan. Pencemaran air yang berasal dari industri, penggunaan sisa pestisida maupun limbah rumah tangga dapat merusak ekosistem lingkungan khususnya pada lingkungan perairan. Pencemaran air yang banyak ditemukan dapat berupa zat warna, herbisida, logam berat dan cemaran lainnya yang terakumulasi dalam lingkungan (Buhani, 2005; Sembiring *et al.*, 2009; Buhani *et al.*, 2019a).

Salah satu pencemaran industri yang masih banyak ditemukan adalah industri tekstil. Industri tekstil menghasilkan banyak limbah zat warna dalam lingkungan. Zat warna yang digunakan dalam industri tekstil diklasifikasikan menjadi tiga kategori yaitu zat warna kation, anion dan non ion (Foroutan *et al.*, 2020). Zat warna kation, sangat berbahaya dibandingkan dengan yang lainnya dan paling banyak digunakan dalam industri tekstil. *Crystal violet* (CV) adalah salah satu zat warna kation *triphenyl methane* yang digunakan di berbagai industri seperti farmasi, kertas, tekstil dan tinta printer (Pashaei-Fakhri *et al.*, 2021). CV jika masuk dalam air dapat mengurangi penetrasi sinar matahari dan mengganggu proses fotosintesis (Mittal *et al.*, 2021). Sedangkan, apabila masuk kedalam tubuh manusia dalam jumlah tertentu dapat mengakibatkan berbagai macam penyakit seperti gangguan pernafasan, iritasi mata dan kulit, meningkatkan detak jantung, kebutaan dan mutagenesis (Pashaei-Fakhri *et al.*, 2021; Foroutan *et al.*, 2021).

Selain dari pencemaran industri, pencemaran dari penggunaan sisa pestisida khususnya herbisida juga ditemukan di lingkungan perairan. Herbisida digunakan untuk mengurangi atau bahkan menghilangkan hama tumbuhan pengganggu hasil panen supaya diperoleh hasil panen yang melimpah. Herbisida jenis *gramoxone* merupakan jenis herbisida yang paling banyak digunakan, mencapai 100 ton lebih per tahun menurut Djafaruddin (1995). *Gramoxone* memiliki bahan aktif *paraquat* (PQ) yang terkandung di dalamnya (Arfi, 2015). Penggunaan herbisida PQ secara sembarangan atau berlebihan dapat menyebabkan pencemaran sumber daya air (sungai dan air tanah) (Grillo *et al.*, 2014), sehingga orang-orang yang tinggal disekitar areal pertanian dapat terpapar sisa penggunaan dari herbisida PQ yang mengalir ke lingkungan perairan (Maksuk, 2019). PQ yang telah masuk kedalam tubuh manusia secara berlebihan dapat menyebabkan gangguan kesehatan karena dapat merusak berbagai macam organ diantaranya jantung, ginjal, hati, otot, limfa dan organ lainnya melalui rute inhalasi, ingesti, dan kulit. Jika paparan PQ terjadi secara terus menerus maka akan menyebabkan kematian (Banday, 2014).

Karena dampak negatif yang diakibatkan oleh zat warna CV dan herbisida PQ dapat membahayakan manusia maupun lingkungan, maka perlu dilakukannya upaya untuk menghilangkan atau mengurangi zat warna CV dan sisa penggunaan herbisida PQ pada lingkungan perairan. Beberapa metode yang telah digunakan antara lain, degradasi kimia, fotokatalisis, dan adsorpsi. Dari beberapa metode tersebut, adsorpsi merupakan metode yang paling murah, mudah dilakukan dan terbukti efektif dalam menghilangkan berbagai cemaran seperti zat warna maupun PQ dalam lingkungan perairan (Li *et al.*, 2020). Adsorben yang digunakan untuk menghilangkan zat warna CV dan herbisida PQ yakni *organoclay* (Guegan *et al.*, 2015), polimer organik (Junthip, 2018), biomassa (Hao *et al.*, 2015; Permatasari, *et al.*, 2020) dan material karbon (Buhani *et al.*, 2019; Li *et al.*, 2020). Dari beberapa adsorben yang telah digunakan, material karbon merupakan adsorben yang banyak menarik perhatian karena sumbernya yang melimpah, stabilitasnya baik dan aplikasinya luas (Li *et al.*, 2020).

Material karbon yang digunakan yakni karbon hasil modifikasi magnetit dan silan karena memiliki efektivitas adsorpsi yang baik. Modifikasi pelapisan magnetit (Fe_3O_4) perlu dilakukan untuk mengatasi kurangnya efektivitas pada karbon (Buhani *et al.*, 2019). Pelapisan ini menghasilkan karbon yang dilapisi magnetit dengan sifat magnet dan berat molekul menjadi lebih besar dibandingkan karbon biasa sehingga proses filtrasi berjalan lebih efektif (Buhani *et al.*, 2013; Zulaicha *et al.*, 2021). Akan tetapi, pelapisan magnetit ini menyebabkan ukuran (diameter) pori yang terdapat dalam karbon menjadi lebih kecil karena adanya pemblokiran pori, sehingga dilakukan modifikasi lebih lanjut dengan menggunakan organosilan *triethoxyphenylsilane* (TEPS) (Wong *et al.*, 2016). Hal ini dikarenakan sifat dari organosilan yang memiliki dua gugus aktif yang berbeda sehingga mampu membentuk ikatan kimia antara material organik dan anorganik (Huang and Hu, 2008). Setelah proses pelapisan magnetit, *triethoxyphenylsilane* membentuk gugus silanol dan siloksan yang diharapkan dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi karbon terhadap zat warna CV dan herbisida PQ (Liu *et al.*, 2013; Kausar *et al.*, 2020).

Berdasarkan uraian diatas, maka pada penelitian ini dilakukan adsorpsi terhadap zat warna CV dan senyawa PQ menggunakan adsorben karbon berasal dari cangkang buah karet yang dimodifikasi dengan pelapisan magnetit dan proses silanisasi. Proses silanisasi dilakukan dengan menambahkan *triethoxyphenylsilane* (TEPS) sebagai *coupling agent*. Hasil modifikasi yang diperoleh dikarakterisasi dengan menggunakan *fourier transform infrared* (FTIR), *X-ray diffractometer* (XRD), dan *scanning electron microscope-energy dispersive X-ray* (SEM-EDX). Adsorben yang dihasilkan diuji kemampuan adsorpsinya terhadap zat warna CV dan herbisida PQ meliputi beberapa parameter antara lain: dosis adsorben, pengaruh pH, waktu kontak, konsentrasi adsorbat, mekanisme adsorpsi, dan kemampuan penggunaan ulang.

1.2. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mempelajari proses modifikasi pelapisan magnetit dan silanisasi pada karbon cangkang buah karet.
2. Mempelajari proses adsorpsi zat warna CV dan senyawa PQ menggunakan karbon magnetit, karbon magnetit-silan, dan karbon silan meliputi kajian tentang, dosis adsorben, pengaruh pH, waktu kontak, dan variasi konsentrasi adsorbat serta menentukan pH *zero point charge* (pHpzc).
3. Mempelajari mekanisme adsorpsi zat warna CV dan PQ dan penggunaan ulang dari adsorben karbon magnetit (KM), karbon silan (KS), dan karbon magnetit-silan (KMS)

1.3. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah memberikan informasi tentang proses adsorpsi zat warna CV dan senyawa PQ dengan KM, KS, dan KMS yang berasal dari cangkang buah karet, serta mekanisme adsorpsi dan kemampuan penggunaan ulang sehingga dapat digunakan untuk mengurangi masalah pada pencemaran air khususnya pada limbah industri yang mengandung zat warna CV maupun limbah pertanian yang mengandung senyawa PQ.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Karbon

Unsur karbon tersebar luas di alam dan dapat ditemukan pada lapisan kerak bumi dengan konsentrasi sekitar 180 ppm dalam bentuk senyawa. Karbon dalam bentuk senyawanya di alam banyak digunakan untuk memproduksi material karbon sintetis dan termasuk beberapa batu arang (*bituminous* dan *anthracite*), kompleks hidrokarbon (petroleum, tar, dan aspal) dan gas hidrokarbon (metana). Karbon berbeda dengan unsur lainnya dalam hal keberagamannya. Tidak seperti kebanyakan unsur lain, karbon memiliki beberapa bentuk yang dikenal dengan alotrop. Alotrop karbon sepenuhnya terdiri dari karbon, namun memiliki perbedaan struktur fisik dan perbedaan nama yakni, grafit, berlian, *lonsdalite*, *fullerene* dan lainnya (Pierson, 1993).

Karbonisasi, atau dikenal dengan pirolisis adalah proses dimana prekursor organik diubah menjadi material berbasah dasar karbon melalui pemanasan dengan suhu tinggi. Prekursor dipanaskan secara perlahan dalam keadaan dengan oksigen yang terbatas atau bahkan tanpa oksigen dengan suhu pemanasan yang bervariasi bergantung pada prekursor yang digunakan (Pierson, 1993). Pada penelitian (Efiyanti dkk., 2020) karbonisasi dilakukan pada suhu 500 °C dengan prekursor yang digunakan adalah cangkang buah karet dan pada penelitian (El-Naggar *et al.*, 2016) karbonisasi dengan prekursor limbah *Conocarpus* dilakukan pada suhu 400 °C. Hal ini dilakukan karena menurut penelitian (Poletto *et al.*, 2012) biomassa lignoselulosa terdegradasi pada beberapa tahap, diantaranya hemiselulosa terdegradasi pada suhu 180-300 °C, selulosa terdegradasi pada suhu 275-300 °C, dan lignin terdegradasi pada suhu 250-500 °C. Karbon yang diperoleh dari

karbonisasi biasanya disebut karbon amorf, memiliki sedikit keteraturan grafit dan terdiri dari kristal-kristal kecil dengan bentuk yang tidak sempurna (Pierson, 1993).

2.2. Cangkang Buah Karet

Tanaman karet pertama kali diperkenalkan di Indonesia tahun 1864 pada masa penjajahan Belanda, yaitu di Kebun Raya Bogor sebagai tanaman koleksi. Selanjutnya dilakukan pengembangan karet ke beberapa daerah sebagai tanaman perkebunan komersial (Budiman, 2012). Luas kebun karet saat ini adalah 3,6 juta Ha yang mampu memberikan lapangan kerja bagi 2,5 juta kepala keluarga (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2018).



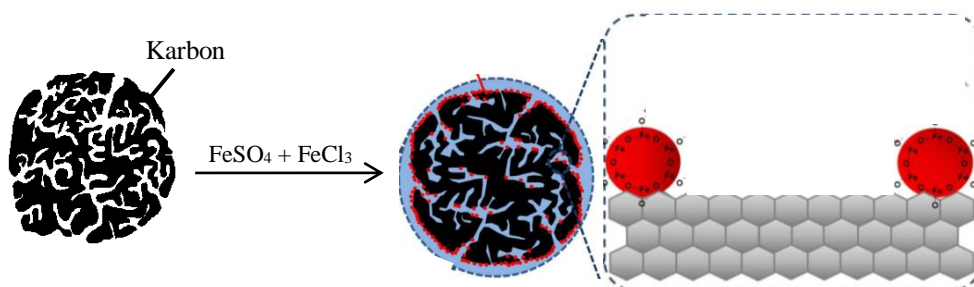
Gambar 1. (a) Cangkang buah karet dan (b) cangkang buah karet setelah karbonisasi (Bangun dkk., 2016).

Tanaman karet (*Hevea brasiliensis*) merupakan tanaman perkebunan yang bernilai ekonomis tinggi dimana beberapa bagian tanamannya dapat dimanfaatkan. Getah tanaman karet dapat diolah menjadi lembaran karet, bongkahan atau remah yang merupakan bahan baku industri karet. Kayu tanaman karet dapat digunakan untuk bahan bangunan, seperti membangun rumah, perlengkapan furniture dan lainnya (Purwanta dkk., 2008). Biji buah karet dapat dimanfaatkan untuk produksi minyak pangan (Setiawardhany dkk., 2013).

Cangkang buah karet adalah bahan yang selama ini dikenal sebagai bahan yang kurang bermanfaat. Pemanfaatan cangkang buah karet dapat digunakan sebagai bahan untuk pembuatan berbagai kerajinan tangan (Prasetyowati dkk., 2014). Namun saat ini beberapa peneliti telah melirik pada penggunaan cangkang buah karet sebagai bahan pembuatan karbon (Yan *et al.*, 2019; Efiyanti dkk., 2020) yang memiliki kandungan lignin tinggi sekitar 33,54% dan selulosa 48,64% (Ali *et al.*, 2020).

2.3. Magnetit

Nanomaterial magnetit telah menarik minat besar dalam komunitas ilmiah karena sifat spesifiknya. Magnetit memiliki kapasitas adsorpsi yang tinggi karena luas permukaannya yang lebar dan situs permukaan yang sangat aktif. Penggunaan nanopartikel magnetit dalam proses adsorpsi dapat menimbulkan masalah ketidakstabilan, oksidasi, dan akumulasi di lingkungan, yang dapat diatasi dengan menggunakan karbon aktif (Sebastian *et al.*, 2018). Partikel magnet memiliki kelebihan dapat dipulihkan dengan sangat cepat oleh medan magnet luar dan digunakan kembali tanpa kehilangan situs aktif (Buhani *et al.*, 2019b). Oleh karena itu, partikel karbon yang digabungkan dengan partikel magnetik berukuran nano dapat digunakan sebagai adsorben untuk proses pengolahan air limbah skala besar (Nethaji *et al.*, 2013).



Gambar 2. Skema modifikasi karbon dengan magnetit (Wong, 2015)

Material yang dilapisi dengan partikel magnetit bersifat ramah lingkungan, karena tidak membentuk produk yang mengandung kontaminasi seperti padatan tersuspensi, selain itu mempercepat proses pemisahan logam dari larutan (Mohmood *et al.*, 2016; Buhani *et al.*, 2017a). Penelitian sebelumnya, telah dilakukan pelapisan magnetit pada karbon aktif yang menghasilkan karbon aktif bersifat stabil dalam kondisi asam (Qimeng *et al.*, 2015). Hasil penelitian (Buhani *et al.*, 2017; Buhani *et al.*, 2017b) menunjukkan bahwa modifikasi adsorben dengan pelapisan magnetit meningkatkan laju dan kapasitas adsorpsi terhadap adsorbat. Karbon hasil modifikasi magnetit telah terbukti menjadi bahan yang sangat efisien untuk menghilangkan polutan dengan metode adsorpsi (Buhani *et al.*, 2021).

Untuk mengetahui keberhasilan modifikasi adsorben dengan pelapisan magnetit, dapat dilihat dari hasil karakterisasi menggunakan FTIR, XRD, maupun SEM-EDX. Pada penelitian (Lestari, 2019) karbon aktif yang telah terlapisi magnetit diperoleh hasil FTIR yang menunjukkan adanya perubahan pita serapan pada bilangan gelombang 630 cm^{-1} , dimana mengindikasikan terjadinya vibrasi tekuk Fe-O yang berasal dari magnetit (Ma *et al.*, 2003; Lestari, 2019).

Karakterisasi XRD berfungsi untuk mengetahui fasa kristal yang terbentuk setelah modifikasi. Pola difraksi hasil karakterisasi XRD pada karbon yang telah terlapisi magnetit akan menunjukkan adanya perubahan fasa karbon amorf menjadi fasa kristal yang ditandai dengan adanya puncak difraksi pada 2θ 30,05, 35,55, 43,37, 57,43, dan $62,91^\circ$ yang berasal dari Fe_3O_4 (Buhani *et al.*, 2019).

Sedangkan, hasil karakterisasi SEM berfungsi untuk mengamati permukaan karbon dan EDX berfungsi untuk mengetahui komposisi unsur pada karbon. Umumnya karbon yang telah terlapisi oleh magnetit akan menunjukkan permukaan karbon yang tertutupi oleh lapisan magnetit sehingga terlihat seperti aglomerasi. Spektrum EDX dari karbon yang terlapisi magnetit akan menunjukkan adanya puncak spektrum unsur Fe dan puncak spektrum O (Lestari, 2019).

2.4. *Triethoxyphenylsilane* (TEPS)

Silanisasi adalah metode pelapisan kovalen yang murah dan efektif untuk memodifikasi permukaan material yang kaya akan gugus hidroksil, seperti titanium, hidroksiapatit, dan banyak permukaan oksida logam lainnya.

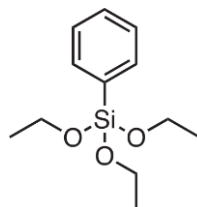
Pengikatan molekul berbasis silikon pada permukaan padatan terjadi karena gugus hidroksil pada permukaan padatan dapat berikatan secara stabil dengan atom silikon. Ada banyak jenis *coupling agent* silan yang tersedia secara komersial, yang mudah bereaksi dengan permukaan terhidroksilasi dan memberikan gugus aktif terhadap permukaan (Wall *et al.*, 2018).

Coupling agent silan adalah material berbasis silikon yang dapat meningkatkan ikatan kimia pada permukaan antarmuka antara material organik dan anorganik.

Coupling agent silan memiliki struktur R-Si-X₃, dimana R merupakan gugus organofungsional dan X adalah alkoksi. Umumnya silan dapat dilarutkan dalam air atau pelarut organik dan akan terjadi reaksi hidrolisis membentuk silanol.

Kemudian, silanol akan bereaksi dengan silanol atau dengan siloksan pada reaksi kondensasi lanjutan (Tesoro *and* Wu, 1991).

Triethoxyphenylsilane (TEPS) adalah salah satu *coupling agent* yang dapat digunakan sebagai pelapisan pada permukaan material padat karena memiliki dua gugus aktif yang berbeda yang terikat pada atom silika dalam molekul. TEPS mengandung gugus fenil yang mampu mengikat material organik dan etoksi untuk mengikat material anorganik sehingga dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi (Wong *et al.*, 2016).



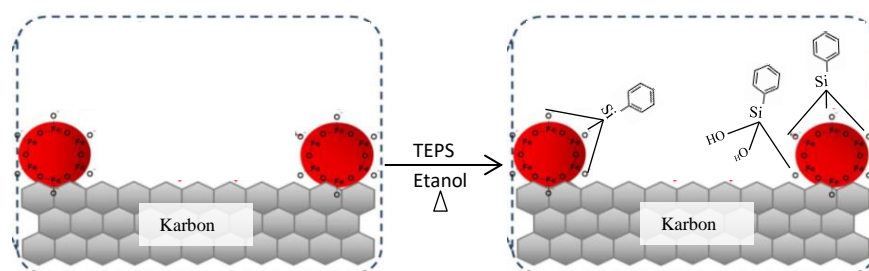
Gambar 3. Struktur *triethoxyphenylsilane* (TEPS) (Shariaty *et al.*, 2018).

Pada penelitian ini, *coupling agent* TEPS akan digunakan untuk melapisi karbon dan KM dari cangkang buah karet. Untuk mengetahui apakah silan sudah melapisi permukaan karbon maupun KM maka dibutuhkan karakterisasi menggunakan FTIR, XRD, dan SEM-EDX.

Karbon yang telah terlapisi oleh TEPS akan memberikan puncak spektrum IR pada bilangan gelombang $550\text{-}590\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya Si-O-Fe. Selain itu, akan muncul puncak pada $1048\text{-}1050\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya gugus Si-O-Si (Lestari, 2019).

Pola difraksi hasil analisis XRD dari pelapisan TEPS akan menunjukkan perubahan pada karbon magnetit yang sebelumnya terdapat fasa kristalin menjadi fasa amorf karena terlapisi TEPS. Puncak 2θ yang muncul pada $20\text{-}30^\circ$ dan berbentuk melebar menunjukkan adanya silika amorf (Wong *et al.*, 2016).

Untuk mendukung data hasil XRD maka dilakukan karakterisasi menggunakan SEM-EDX. Pada hasil karakterisasi SEM, karbon magnetit yang terlapisi TEPS, akan memiliki permukaan magnetit dengan butiran-butiran putih yang berada disekitar lapisan magnetit. Butiran putih tersebut merupakan silika yang berhasil melapisi permukaan karbon. Hal ini didukung oleh spektrum EDX, dimana unsur Si muncul pada spektrum karbon yang terlapisi magnetit-TEPS (Wong *et al.*, 2016).

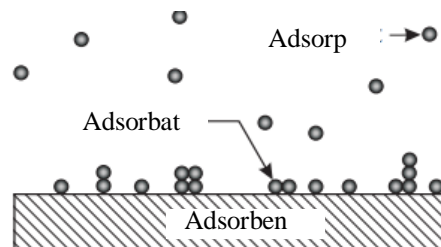


Gambar 4. Pembentukan KMS (Wong, 2016)

2.5. Adsorpsi-Desorpsi

2.5.1. Adsorpsi

Adsorpsi adalah akumulasi zat pada suatu antarmuka atau peristiwa yang terjadi pada permukaan suatu material. Misalnya, adsorpsi molekul kecil yang tidak bermuatan ke permukaan zat padat. Molekul kecil akan terserap ke permukaannya karena adanya gaya antarmolekul yang menarik seperti gaya van der Waals. Jumlah yang terserap ditentukan oleh beberapa parameter. Parameter yang paling penting adalah tekanan parsial molekul (P). Di permukaan, kebebasan rotasi dan getaran molekul yang teradsorpsi biasanya berkurang. Bahkan sifat listriknya bisa berubah. Laju adsorpsi dan desorpsi menentukan jumlah kesetimbangan di permukaan. Material dalam keadaan teradsorpsi disebut adsorbat. Zat yang akan diserap (sebelum berada di permukaan) disebut adsorp atau adsorptif. Material tempat terjadinya adsorpsi adalah adsorben (Butt *et al.*, 2006).



Gambar 5. Skema adsorben, adsorp dan adsorbat (Butt *et al.*, 2006)

Serapan adsorpsi diperkuat jika material padat memiliki luas permukaan yang tinggi. Jika terjadi interaksi antara permukaan padatan dengan molekul terjerap melalui ikatan London-van der Waals, ini disebut adsorpsi fisika. Adsorpsi fisika umumnya terjadi dengan interaksi yang lemah sehingga zat yang diadsorpsi mudah untuk dilepaskan kembali. Selain itu, adsorpsi fisika membentuk lapisan *multilayer* dengan energi adsorpsi 5-40 kJ/mol. Sebaliknya, adsorpsi kimia melibatkan suatu ikatan kimia antara permukaan padatan dengan molekul terjerap. Ikatan yang terjadi dapat berupa ikatan ionik maupun ikatan kovalen, sehingga

panas adsorpsi yang dihasilkan tinggi sekitar 40-800 kJ/mol dan membentuk lapisan *monolayer* (Astuti, 2018).

Jumlah zat yang teradsorpsi per unit massa adsorben dan persentase zat yang teradsorpsi dapat ditentukan menggunakan persamaan 1 dan 2.

$$q = \frac{(C_0 - C_e)v}{w} \quad (1)$$

$$\% \text{ Adsorpsi} = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana C_0 dan C_e (mg/L) adalah konsentrasi adsorbat sebelum dan setelah proses adsorpsi, w adalah jumlah adsorben (g), v adalah volume larutan (L), dan q adalah jumlah zat yang teradsorpsi per unit massa (mg/g).

Faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi antara lain :

1. pH

pH larutan merupakan salah satu faktor terpenting yang mempengaruhi proses adsorpsi karena berpengaruh pada muatan permukaan material, kapasitas adsorpsinya, dan jenis ion logam berat yang ada dalam larutan air. Pengaruh persaingan pada tolakan elektrostatis dan ion H^+ antara situs aktif adsorpsi bermuatan positif dapat menghasilkan penurunan kapasitas adsorpsi (Buhani *et al.*, 2021).

2. Suhu

Panas dilepaskan ketika molekul diadsorpsi ke sejumlah permukaan materi. Panas adsorpsi digunakan untuk menentukan kekuatan penghalang yang dibentuk oleh adsorpsi. Suhu adsorpsi menurun dengan meningkatnya jumlah adsorpsi. Situs aktif permukaan materi dikaitkan dengan panas adsorpsi tinggi dan situs lain yang kurang baik dalam menyerap panas. Panas yang dipancarkan atau berhubungan dengan proses adsorpsi disebut kalor adsorpsi. Suhu berperan penting dalam adsorpsi. Adsorpsi fisika dapat terjadi pada suhu rendah dan berubah menjadi adsorpsi kimiawi pada suhu tinggi, seperti dalam kasus adsorpsi hidrogen pada permukaan nikel (Mhemeed, 2018).

3. Adsorbat

Karakteristik adsorbat meliputi; berat molekul, bentuk molekul, konsentrasi, adanya senyawa lain sebagai *competitor*, polaritas, dan reaktivitas adsorbat (Buhani dan Suharso, 2016).

4. Adsorben

Pengaruh dosis adsorben merupakan salah satu faktor penting yang dipelajari untuk mengoptimalkan proses adsorpsi, karena massa adsorben merupakan salah satu faktor penentu dalam proses adsorpsi. Peningkatan konsentrasi adsorben yang digunakan akan meningkatkan jumlah situs aktif adsorben untuk adsorbat, sehingga kapasitas adsorpsinya meningkat (Buhani *et al.*, 2019).

5. Waktu Kontak

Waktu kontak antara adsorben dan adsorbat merupakan salah satu hal penting dalam proses adsorpsi karena dapat memberikan informasi tentang durasi waktu adsorpsi untuk menyerap atau menghilangkan adsorbat yang ditargetkan secara maksimal dalam media berair. Data waktu kontak adsorpsi dapat digunakan untuk mengamati waktu kesetimbangan pada puncak adsorpsi adsorbat dan menentukan kinetika proses adsorpsi (Buhani *et al.*, 2021).

6. Luas Permukaan

Luas permukaan suatu adsorben mempengaruhi proses adsorpsi karena semakin besar luas permukaan adsorben maka kapasitas adsorpsi semakin meningkat, salah satu cara untuk membesar luas permukaan yakni dengan aktivasi baik fisika maupun kimia (Buhani *et al.*, 2021).

2.5.2. Desorpsi

Desorpsi adalah proses pelepasan kembali adsorbat dari adsorben ke dalam suatu larutan. Mekanisme desorpsi yaitu logam dielusi dari biosorben oleh larutan pengelusi. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa biomassa dapat dielusi dan diregenerasi dengan beberapa pelarut organik seperti metanol, etanol atau dengan pelarut anorganik. Semakin tinggi konsentrasi larutan pendesorpsi maka semakin banyak logam yang dapat didesorpsi. Desorpsi dapat terjadi apabila proses adsorpsi yang terjadi sudah maksimal, permukaan adsorben jenuh atau tidak mampu lagi menyerap adsorbat dan terjadi kesetimbangan. Desorpsi biomassa dapat dilakukan dengan menggunakan larutan tertentu untuk memulihkan

kemampuan biomassa agar tidak rusak dan dapat digunakan kembali (Sinaga dkk., 2015)

2.5.3. Kinetika Adsorpsi

Kinetika adsorpsi membahas mengenai laju adsorpsi selama proses adsorpsi berlangsung, sehingga akan diketahui mekanisme adsorpsi yang terjadi pada permukaan adsorben terhadap adsorbat. Persamaan yang sering digunakan untuk menggambarkan proses adsorpsi cair diantaranya adalah pseudo orde satu dan pseudo orde dua.

1. Persamaan pseudo orde satu

Persamaan ini sering dinyatakan sebagai persamaan Lagergren, sebagaimana tertulis sebagai berikut :

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2,303} t \quad (3)$$

dimana :

q_e = kapasitas adsorpsi dalam keadaan setimbang (mg/g)

q_t = kapasitas adsorpsi pada waktu t (mg/g)

k_1 = konstanta pseudo orde satu (min^{-1})

Jika digambarkan dalam grafik $\log(q_e - q_t)$ versus waktu (t) diperoleh garis lurus dengan tangen arah sebesar $-(k_1/2,303)$ dan titik potong pada sumbu y sebesar $\log q_e$ sehingga nilai k_1 dapat ditentukan.

2. Persamaan pseudo orde dua

Persamaan ini dinyatakan oleh Ho dan Mc Kay, sebagaimana tertulis sebagai berikut :

$$\frac{t}{q_t} = \left(\frac{1}{k_2 q_e^2} \right) + \left(\frac{1}{q_e} \right) t \quad (4)$$

dimana :

$k_2 q_e^2 = h$ = laju awal adsorpsi (mg/g.min)

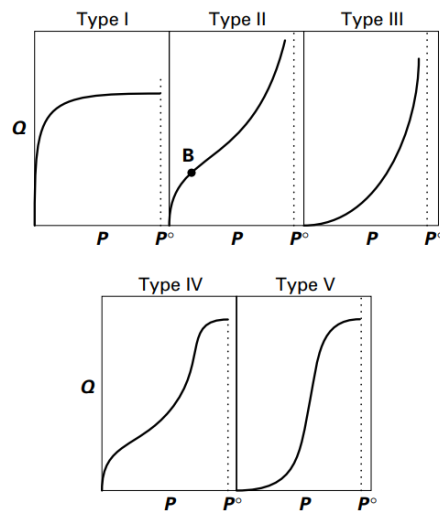
k_2 = konstanta pseudo orde dua (g/mg.min)

Jika digambarkan dalam grafik t/q_t versus t diperoleh garis lurus dengan tangen arah sebesar $1/q_e$ dan titik potong pada sumbu y sebesar $1/k_2 q_e^2$. Dengan demikian, nilai tetapan k_2 dan q_e dapat diketahui. Persamaan kinetika ini

menyatakan orde dua semu terhadap konsentrasi situs adsorpsi bebas dan orde nol semu terhadap konsentrasi adsorbat di larutan (Astuti, 2018).

2.5.4. Isoterm Adsorpsi

Pada tahun 1945, Brunauer mengelompokkan isoterm menjadi lima kelas utama, tipe I hingga V, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 6. Tipe I dicirikan oleh adsorpsi tipe Langmuir, yang menunjukkan pendekatan monoton ke nilai pembatas yang sesuai secara teoritis dengan *monolayer* permukaan. Tipe II, yang paling umum untuk adsorpsi fisika pada permukaan yang relatif terbuka, di mana adsorpsi berlangsung secara progresif dari *submonolayer* ke *multilayer*; isoterm menunjukkan lengkungan cekung-ke bawah yang berbeda pada beberapa tekanan relatif rendah (P/P°) dan kurva naik tajam pada P/P° tinggi. Titik B di lutut kurva menandakan bentuk lapisan tunggal yang teradsorpsi. Isoterm tipe III menandakan interaksi gas-padatan yang relatif lemah, seperti yang ditunjukkan oleh adsorpsi air dan alkana pada padatan polaritas rendah yang tidak berpori seperti *polytetrafluoroethylene* (Teflon). Dalam hal ini, adsorbat tidak menyebar secara efektif pada permukaan padat.



Gambar 6. Lima tipe isoterm adsorpsi (Chiou, 2002).

Isoterm tipe IV dan V adalah karakteristik dari adsorpsi uap oleh kondensasi kapiler ke dalam pori-pori adsorben kecil, di mana adsorpsi mencapai nilai asimtotik saat tekanan saturasi didekati. Adsorpsi uap organik pada karbon aktif biasanya tipe IV, sedangkan adsorpsi uap air pada karbon aktif adalah tipe V (Chiou, 2002).

Kesetimbangan adsorpsi, yang pada umumnya dipelajari melalui pendekatan isoterm adsorpsi, merupakan landasan penting untuk memahami suatu proses adsorpsi, khususnya untuk mengetahui seberapa banyak molekul-molekul adsorbat dapat dijerap oleh suatu material berpori. Beberapa model isoterm adsorpsi yang banyak digunakan untuk adsorpsi monokomponen dan bikomponen antara lain :

1. Isoterm Langmuir

Model isoterm adsorpsi Langmuir mengasumsikan bahwa pada permukaan adsorben terdapat sejumlah tertentu situs aktif yang sebanding dengan luas permukaan, permukaan adsorben bersifat seragam dan proses adsorpsi bersifat *monolayer*. Proses adsorpsi yang terjadi diakibatkan oleh adanya interaksi kimia antara adsorbat dengan sisi aktif pada permukaan adsorben (Xin *et al.*, 2012; Buhani dkk., 2020; Buhani *et al.*, 2017). Persamaan model isoterm Langmuir dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m K_L C_e} + \frac{1}{q_m} \quad (5)$$

dimana :

q_e = kapasitas adsorpsi adsorbat pada keadaan setimbang (mg/g)

q_m = kapasitas adsorpsi monolayer (mg/g)

K_L = konstanta kesetimbangan (L/mg)

C_e = konsentrasi kesetimbangan adsorbat (mg/L)

K_L dan q_m dapat ditentukan dari persamaan linear plot $1/q_e$ vs C_e yang menghasilkan garis lurus dengan $1/q_m K_L$ sebagai slope dan $1/q_m$ sebagai intersep.

2. Isoterm Freundlich

Model isoterm Freundlich merupakan persamaan empiris yang digunakan untuk menggambarkan sistem heterogen dan adsorpsi pada *multilayer* (Shao *et al.*, 2016) yang dinyatakan melalui persamaan 5 :

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

q_e merupakan kapasitas adsorpsi pada kesetimbangan (mg/g) dan K_F adalah faktor kapasitas adsorpsi ((mg/g) (L/mg)^{1/n}), n merupakan konstanta yang pada umumnya dipengaruhi oleh suhu. Nilai parameter n pada umumnya berkisar antara 1-10. Plot $\log q_e$ versus $\log C_e$ akan menghasilkan K_F dan eksponen n (Astuti, 2018).

3. Isoterm Langmuir Biner

Adsorpsi pada sistem bikomponen dimana terdapat dua adsorbat pada suatu larutan dapat dianalisis menggunakan persamaan isoterm Langmuir biner untuk campuran biner. Model isoterm Langmuir biner paling banyak digunakan untuk menyesuaikan data biosorpsi (Buhani *et al.*, 2021b; Fagundes-Klen *et al.*, 2007; Girish, 2017). Persamaan model ini ditulis sebagai berikut:

$$q_1^* = \frac{q_m C_1^* b_1}{1 + b_1 C_1^* + b_2 C_2^*} \quad (7)$$

dimana :

q_m = konstanta Langmuir yang berkaitan dengan kapasitas adsorpsi

b_1 = konstanta isoterm Langmuir biner adsorbat 1

b_2 = konstanta isoterm Langmuir biner adsorbat 2

Model isoterm Langmuir untuk adsorpsi bikomponen mengasumsikan bahwa semua situs aktif adsorben bersifat seragam. Semua situs aktif tersedia secara merata untuk semua adsorbat. Adsorbat dalam sistem bikomponen memiliki efek non-interaksi dan semua molekul polutan dalam limbah berair teradsorpsi pada situs aktif yang identik. Selain itu juga mengasumsikan bahwa situs aktif memiliki energi adsorpsi yang seragam (Girish, 2017; Noroozi *and* Sorial, 2013).

2.6. pH Point of Zero Charge (pHpzc)

pH *point of zero charge* atau adalah nilai pH pada titik temu antara garis lurus dari kurva pH awal terhadap pH akhir (pada nilai pH awal sama dengan pH akhir) dengan pH akhir larutan (umpan) yang telah digunakan untuk merendam adsorben selama 48 jam. Pada nilai pH tersebut adsorben tidak lagi memberikan kontribusi terhadap perubahan pH (Wardiyati dkk., 2011).

Bila nilai pH diatas pH *point of zero charge*, permukaan adsorben memiliki muatan negatif, akan tetapi jika nilai pH dibawah pH *point of zero charge*, permukaan adsorben memiliki muatan positif. Meningkatnya nilai pH dapat meningkatkan interaksi antara adsorbat dengan sisi aktif permukaan adsorben (Buhani *et al.*, 2021). Penentuan nilai pH_{pzc} dapat dilakukan melalui persamaan 14 (Ai *et al.*, 2011):

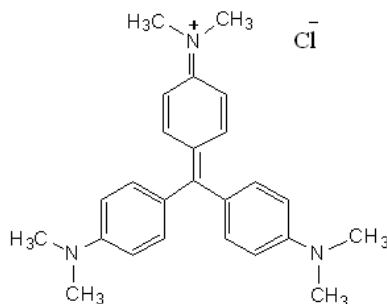
$$\text{pHpzc} = \text{pH}_{\text{awal}} - \text{pH}_{\text{akhir}} \quad (8)$$

2.7. Crystal Violet

Zat warna merupakan salah satu bahan yang sering digunakan pada industri tekstil, kertas, kosmetik, plastik, makanan dan rokok. Penggunaan zat warna paling besar adalah pada industri tekstil, maka dari itu industri tekstil menjadi penyumbang paling banyak limbah zat warna. Limbah zat warna umumnya bersifat *non biodegradable* karena mengandung senyawa aromatik yang sulit diuraikan oleh mikroba. Selain itu, limbah zat warna berbahaya bagi kesehatan manusia dan biota yang hidup di sekitar badan air yang tercemar (Irawati dkk., 2018).

Crystal violet (CV) atau metil violet merupakan salah satu zat warna yang digunakan dalam industri tekstil. CV adalah zat warna jenis trifenilmetana yang termasuk dalam kategori zat warna kationik. CV jika masuk dalam air dapat mengurangi penetrasi sinar matahari dan mengganggu proses fotosintesis (Mittal *et al.*, 2021). Sedangkan, apabila masuk kedalam tubuh manusia dalam jumlah

tertentu dapat mengakibatkan berbagai macam penyakit seperti gangguan pernafasan, iritasi mata dan kulit, meningkatkan detak jantung, kebutaan dan mutagenesis (Pashaei-Fakhri *et al.*, 2021; Foroutan *et al.*, 2021).



Gambar 7. Struktur *Crystal Violet*

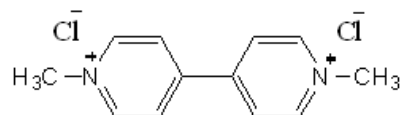
Karena dampak yang diakibatkan oleh adanya zat warna CV dapat membahayakan manusia, maka beberapa langkah upaya dalam mengurangi atau bahkan menghilangkan limbah zat warna CV telah dilakukan seperti degradasi kimia (Abdi *et al.*, 2020), adsorpsi (Buhani *et al.*, 2019) dan foto katalisis (Supriyanto dkk., 2021). Pada penelitian ini, akan dilakukan upaya mengurangi atau menghilangkan zat warna CV menggunakan metode adsorpsi karena metodenya yang mudah dan murah untuk dilakukan. Adsorpsi dilakukan menggunakan adsorben karbon dengan modifikasi magnetit dan silan yang berasal dari cangkang buah karet.

2.8. Herbisida *Paraquat*

Pestisida meliputi herbisida, fungisida, insektisida, akarisida, nematisida, rodentisida, zat pengatur tumbuh, defoliant, obat anti tikus, dll. (Köck *et al.*, 2010; Rasmussen *et al.*, 2015; Tsaboula *et al.*, 2018). Dalam pertanian modern, pestisida mengalami perluasan penggunaan pada industri lain, seperti kehutanan dan peternakan, untuk meningkatkan produksi tanaman dan meningkatkan manfaat ekonomi (Nie *et al.*, 2020). Perluasan aktivitas pertanian dalam beberapa tahun terakhir tentunya berdampak pada keseimbangan ekosistem karena

penggunaan pestisida secara intensif. Kelarutan pestisida mencapai 620 g/L dan mudah meresap dalam tanah, molekul pestisida ditemukan di air dalam tanah maupun permukaan termasuk perairan yang ditujukan untuk konsumsi manusia (Sieliechi *and* Thue, 2015).

Herbisida adalah salah satu jenis pestisida yang sering digunakan dalam pertanian sebagai pembasmi gulma. Herbisida apabila penggunaannya melebihi ambang batas kemampuan partikel tanah dalam menyerap herbisida maka akan berdampak negatif terhadap lingkungan. Senyawa herbisida yang tidak teradsorpsi kuat oleh mineral tanah atau mengalami desorpsi oleh air hujan maupun air irigasi, kemungkinan dapat terbawa oleh aliran permukaan menuju air tanah. Peningkatan penggunaan herbisida dalam jumlah yang sangat besar dapat menyebabkan pencemaran (Arfi, 2015).



Gambar 8. Struktur *paraquat*.

Paraquat (1,1'-Dimethyl-4, 4'-bipyridinium) (PQ) merupakan salah satu bahan aktif herbisida yang bersifat sangat toksik, dimana banyak menimbulkan kasus penyakit paru-paru (Chen *and* Lua, 2000). Oleh karena itu, penggunaan PQ di beberapa negara telah dibatasi, salah satunya adalah Indonesia. PQ dengan merek dagang *gramoxone* adalah yang paling banyak digunakan. Di negara-negara berkembang seperti halnya Indonesia, PQ digunakan secara bebas tanpa pengawasan secara ketat baik oleh pemerintah, swasta maupun produsen pestisida dan masih dengan mudah diperoleh di pasaran (Maksuk, 2019). Penggunaan PQ dengan sembarangan atau bahkan melebihi batas yang telah dianjurkan akan menyebabkan keterpaparan terhadap lingkungan dan manusia.

PQ yang terus menerus masuk ke dalam tubuh akan terakumulasi pada beberapa target organ diantaranya hati, jantung, ginjal dan organ lainnya melalui rute

inhalasi, ingesti, maupun kulit yang selanjutnya akan menyebabkan keracunan atau bahkan kematian (Dinis-Oliveira *et al.*, 2008). Karena dampak negatif yang dihasilkan oleh PQ diklorida ini, maka telah dilakukan beberapa metode penanganan untuk menghilangkan atau mengurangi keberadaannya pada lingkungan perairan seperti degradasi kimia (Santos *et al.*, 2011), fotokatalisis (Marien *et al.*, 2019) dan adsorpsi (Brigante dan Schulz, 2011). Dari beberapa metode yang disebutkan, metode adsorpsi dikenal sebagai cara termurah dan paling efisien untuk menghilangkan PQ dari air dengan material karbon sebagai adsorben karena sumber yang melimpah, stabilitas yang sangat baik, dan penggunaan yang luas (Li *et al.*, 2020).

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini telah dilakukan pada bulan Oktober 2021 - Maret 2022 di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Analisis spektroskopi FTIR telah dilakukan di Laboratorium Kimia Organik Universitas Gajah Mada. Analisis XRD telah dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik Universitas Gajah Mada. Analisis SEM-EDX telah dilakukan di Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) Universitas Lampung. Analisis hasil adsorpsi menggunakan spektrofotometer UV-Vis telah dilakukan di Laboratorium Anorganik Universitas Lampung.

3.2. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain peralatan gelas, spatula, termometer, neraca analitik, magnetik *stirrer*, oven, sentrifus, *shaker*, spektrofotometer UV-Vis tipe Agilent Cary 100, XRD tipe LabX XRD-6000 Shimadzu, SEM-EDX tipe Zeiss EVO MA 10, FTIR model IRPrestige-21, dan pH meter merk Metrohm 827 pH Lab.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu arang cangkang buah karet, *paraquat* 98%, *crystal violet*, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, NaNO_3 , HCl, NaOH, TEPS, etanol, larutan *buffer*, KNO_3 , Na_2EDTA , kertas saring, pH indikator universal, aluminium foil, dan akuades.

3.3. Prosedur Penelitian

3.3.1. Preparasi dan Pembuatan Karbon Cangkang Buah Karet

Cangkang buah karet dibersihkan dan dikeringkan di bawah sinar matahari. Selanjutnya dibakar di dalam drum yang terbuat dari plat besi selama kurang lebih 6 jam sehingga diperoleh karbon cangkang buah karet. Karbon yang diperoleh dari karbonisasi selanjutnya dihaluskan dengan cara digiling lalu diayak dengan pengayakan berukuran 100 mesh (Buhani *et al.*, 2019).

3.3.2. Modifikasi Karbon Magnetit Cangkang Buah Karet

Pembuatan KM dilakukan dengan mencampurkan 6,5 g karbon dengan 300 mL akuades kemudian dipanaskan sampai suhu 70 °C. Kemudian ditambahkan garam besi yang terdiri dari 7,6 g $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan 3,9 g $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ yang dilarutkan dalam 300 mL akuades. Campuran kemudian diaduk selama 30 menit sambil ditambahkan 100 mL NaOH 5M tetes demi tetes sampai terbentuk endapan hitam. Endapan disaring dan dicuci dengan akuades sampai pH 6 lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 100 °C selama 3 jam, sehingga diperoleh KM (Oliveira *et al.*, 2002; Buhani *et al.*, 2021)

3.3.3. Modifikasi Karbon dan Karbon Magnetit dengan *Triethoxyphenylsilane* (TEPS)

Sebanyak 4 g karbon atau KM masing- masing dicampurkan dengan 200 mL etanol. Lalu ke dalam larutan tersebut ditambahkan 0,4 mL *triethoxyphenylsilane* (TEPS) dan diaduk menggunakan magnetik *stirrer* selama 7 jam pada suhu 70°C di dalam penangas air. Endapan yang dihasilkan kemudian disaring dan dicuci dengan menggunakan etanol lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C dan diperoleh KS dan KMS (Wong *et al.*, 2016).

3.3.4. Karakterisasi Karbon

Karbon, KM, KS, dan KMS dikarakterisasi dengan XRD untuk mengidentifikasi fasa kristalin dari KM dan fasa silika amorf dari KMS, FTIR untuk mengetahui gugus fungsi dari karbon, KM, KS, dan KMS serta SEM-EDX untuk mengetahui morfologi permukaan dan mengidentifikasi komposisi unsur dari karbon, KM, KS, dan KMS.

3.3.5. Penentuan Zero Point Charge (pHpzc)

Sebanyak 0,1 g adsorben dimasukkan ke dalam 20 mL NaNO_3 0,1 M. pH awal divariasikan dengan rentang 3 – 12. Penurunan pH dilakukan dengan penambahan HCl 0,1 M dan peningkatan pH dilakukan dengan penambahan NaOH 0,1 M. Kemudian, ditambahkan larutan buffer untuk mempertahankan pH. Larutan diaduk menggunakan *shaker* selama 24 jam. Setelah itu pH akhir diamati dan diukur menggunakan pH meter (Buhani *et al.*, 2021a).

3.3.6. Preparasi Larutan Uji

3.3.6.1. Pembuatan Larutan Induk CV 1000 mg/L

Sebanyak 1 g serbuk CV dimasukkan ke dalam labu takar 1000 mL, kemudian ditambahkan akuades ke dalamnya hingga tanda batas dan dihomogenkan (Buhani *et al.*, 2019).

3.3.6.2. Pembuatan Larutan Induk PQ 1000 mg/L

Sebanyak 1 g serbuk PQ dimasukkan ke dalam labu takar 1000 mL, kemudian ditambahkan akuades ke dalamnya hingga tanda batas dan dihomogenkan (Arfi, 2015).

3.3.6.3. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum CV dan PQ

Panjang gelombang maksimum ditentukan dengan cara mengukur nilai absorbansi dari larutan zat warna CV dan PQ masing-masing dengan konsentrasi 10 mg/L dari larutan baku 100 mg/L yang sebelumnya telah diencerkan dari larutan induk. Larutan CV dan PQ diukur absorbansinya pada panjang gelombang antara 400-800 nm dan 200-500 nm masing-masing. Panjang gelombang maksimum diperoleh dari kurva hubungan antara panjang gelombang dengan nilai absorbansi.

3.3.6.4. Pembuatan Kurva Standar CV dan PQ

Kurva standar dibuat dengan cara mengukur nilai absorbansi larutan CV dari konsentrasi 1 sampai 5 mg/L pada panjang gelombang maksimum CV dan larutan PQ dari konsentrasi 1 sampai 9 mg/L pada panjang gelombang maksimum PQ menggunakan Spektrofotometer UV-Vis. Fungsi dari pembuatan kurva standar ini adalah untuk mengetahui hubungan linieritas antara konsentrasi CV dan PQ dengan nilai absorbansinya, setelah itu dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi akhir larutan setelah dilakukannya proses adsorpsi (Arfi, 2015).

3.3.7. Pengujian Adsorpsi Monokomponen

3.3.7.1. Pengaruh Dosis Adsorben

Sebanyak 25 mL larutan CV 10 mg/L ditambahkan adsorben masing-masing (KM, KS, KMS) dengan variasi dosis 100, 200, 300, 400, 500 mg kemudian diaduk menggunakan *shaker* selama 1 jam. Larutan kemudian disentrifus dan filtrat masing-masing yang diperoleh kemudian dianalisis konsentrasinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Hal yang sama dilakukan terhadap PQ.

3.3.7.2. Pengaruh pH

Sebanyak 25 mL larutan CV 10 mg/L ditambahkan adsorben dosis optimum masing-masing (KM, KS, KMS) dengan variasi pH 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 dan 12. Penurunan pH dilakukan dengan penambahan HCl 0,1 M dan peningkatan pH dilakukan dengan penambahan NaOH 0,1 M. Masing-masing erlenmeyer ditambahkan larutan buffer untuk mempertahankan pH, buffer asetat untuk mempertahankan pH 3, 4, dan 5, buffer fosfat untuk pH 6, 7, 8, 9, 10, 11, dan 12. Kemudian diaduk menggunakan *shaker* selama 1 jam dengan kecepatan 100 rpm. Setelah itu disentrifus selama 30 menit dan didekantasi. Filtrat yang diperoleh diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Hal yang sama dilakukan terhadap PQ.

3.3.7.3. Pengaruh Waktu Kontak

Sebanyak 25 mL larutan CV 10 mg/L ditambahkan adsorben dosis optimum masing-masing (KM, KS, KMS) dan dibuat dengan pH optimum, kemudian diaduk menggunakan *shaker* dengan variasi waktu 15, 30, 60, 90, dan 120 menit dengan kecepatan 100 rpm. Setelah itu, disentrifus selama 30 menit dan didekantasi. Filtrat yang diperoleh diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Hal yang sama dilakukan terhadap PQ

3.3.7.4. Pengaruh Konsentrasi

Sebanyak 25 mL larutan CV masing-masing dibuat dengan variasi konsentrasi 10, 25, 50, 75, 100, 150, 200, dan 250 mg/L. Kemudian setiap variasi konsentrasi, ditambahkan adsorben dengan dosis optimum adsorben dosis optimum masing-masing (KM, KS, KMS) pada pH optimum, lalu diaduk menggunakan *shaker* dengan waktu kontak optimum pada kecepatan 100 rpm. Setelah itu disentrifus selama 30 menit dan didekantasi. Filtrat yang diperoleh diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Hal yang sama dilakukan terhadap PQ.

3.3.7.5. Mekanisme Adsorpsi

Adsorben KMS dengan dosis optimum dimasukkan ke dalam dua erlenmeyer yang berbeda. Kemudian, ditambahkan 25 mL larutan CV dan PQ dengan konsentrasi optimum pada masing-masing erlenmeyer yang telah disiapkan, lalu diaduk pada waktu kontak optimum dengan kecepatan 100 rpm. Selanjutnya, larutan dan adsorben disentrifus dan dipisahkan dengan cara dekantasi. Filtrat yang diperoleh dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum 590 nm untuk CV dan 258 nm untuk PQ. Endapan yang diperoleh digunakan kembali untuk melepaskan CV dan PQ yang teradsorpsi pada adsorben dengan menggunakan eluen berupa 25 mL akuades untuk mekanisme pemerangkapan melalui desorpsi, 25 mL larutan KNO_3 0,1 M untuk pertukaran ion, 25 mL larutan HCl 0,1 M untuk pembentukan ikatan hidrogen, dan larutan Na_2EDTA 0,1 M untuk pembentukan ikatan kompleks (Buhani *et al.*, 2010).

3.3.7.6. Penggunaan Ulang Adsorben

Adsorben KMS dengan dosis optimum dimasukkan ke dalam erlenmeyer. Kemudian, ditambahkan 25 mL larutan CV pada konsentrasi optimum, lalu diaduk pada waktu kontak optimum dengan kecepatan 100 rpm. Selanjutnya, larutan dan adsorben disentrifus dan dipisahkan dengan cara dekantasi. Filtrat yang diperoleh dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 590 nm. Adsorben yang telah menyerap CV dielusi dengan eluen yang diperoleh dari mekanisme adsorpsi, kemudian diaduk menggunakan *shaker* selama 15 menit dan didekantasi. Selanjutnya, dicuci dengan akuades sampai netral, kemudian di oven pada suhu 60 °C selama 3 jam. Adsorben digunakan kembali untuk mengadsorpsi CV sebanyak 3 kali. Perlakuan yang sama dilakukan untuk larutan PQ (Buhani *et al.*, 2018; Buhani *et al.*, 2011).

3.3.8. Pengujian Adsorpsi Bikomponen

Sebanyak 25 mL larutan campuran dari CV dan PQ masing-masing dibuat dengan variasi konsentrasi 0,03, 0,06, 0,12, 0,18, 0,25, 0,37, 0,49, dan 0,61 mmol/L.

Kemudian setiap variasi konsentrasi, ditambahkan adsorben dengan dosis optimum pada pH optimum yang diperoleh dari uji monokomponen, lalu diaduk menggunakan *shaker* dengan waktu kontak optimum pada kecepatan 100 rpm.

Setelah itu disentrifus selama 30 menit dan didekantasi. Filtrat yang diperoleh diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum CV dan PQ (Permatasari *et al.*, 2020).

V. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Modifikasi adsorben karbon menggunakan magnetit dan TEPS telah berhasil dilakukan yang ditunjukkan dengan karakterisasi FTIR pada bilangan gelombang $1049,72\text{ cm}^{-1}$ adanya Si-O-Si dan Si-O-Fe ditunjukkan oleh serapan pada bilangan gelombang $632,65\text{ cm}^{-1}$ serta Fe-O pada bilangan gelombang $586,36\text{ cm}^{-1}$, didukung oleh hasil XRD dengan munculnya puncak pada 2θ $35,46$, $43,04$, $57,22$, dan $62,58^\circ$ ciri khas dari magnetit serta dari hasil SEM-EDX dimana diperoleh spektrum dengan unsur Si dan Fe.
2. Nilai zeta potensial adsorben KM, KS, dan KMS yaitu pada pH 8 dimana selisih pHnya paling mendekati nol.
3. Adsorpsi CV oleh adsorben KM, KS, dan KMS optimum pada dosis adsorben 0,1 g, pH 10, waktu kontak 15 menit, dan konsentrasi adsorbat 250 mg/L, sedangkan untuk PQ optimum pada dosis adsorben 0,2 g, pH 9, waktu kontak 120 menit, dan konsentrasi adsorbat 250 mg/L.
4. Laju adsorpsi CV dan PQ oleh KM, KS, dan KMS cenderung mengikuti Kinetika Pseudo Orde Dua.
5. Isoterm adsorpsi monokomponen pada CV cenderung mengikuti model isoterm Freundlich, sedangkan pada PQ cenderung mengikuti model isoterm Langmuir. Isoterm Langmuir biner pada sistem bikomponen menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi CV lebih besar daripada PQ.

6. Mekanisme adsorpsi KMS terhadap CV didominasi oleh interaksi fisika dan pertukaran ion, sedangkan terhadap PQ didominasi oleh ikatan kovalen koordinasi dan ikatan hidrogen.
7. Penggunaan ulang adsorben KMS terhadap CV dan PQ cukup efektif sebanyak 3 kali pengulangan dengan % adsorpsi $\geq 70\%$.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat disarankan sebagai berikut:

1. Melakukan modifikasi karbon menggunakan *coupling agent silane* yang lain seperti dari *amino silane*, *vinyl silane* atau *alkyl silane*.
2. Melakukan uji adsorpsi terhadap adsorbat lain seperti logam berat atau limbah obat-obatan.
3. Melakukan uji desorpsi menggunakan eluen lain untuk memastikan interaksi yang terjadi antara adsorben dengan adsorbat.
4. Menggunakan bahan baku pembuatan karbon selain dari cangkang buah karet.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdi, M., Balagabri, M., Karimi, H., Hossini, H. and Rastegar, S. O. 2020. Degradation of Crystal Violet (CV) from Aqueous Solutions Using Ozone, Peroxone, Electroperoxone, and Electrolysis Processes: A Comparison Study. 2020. *Applied Water Science*. 10(168): 1-10.
- Ai, L., Zhang, C., Liao, F., Wang, Y., Li, M. and Jiang, J. 2011. Removal of Methylene Blue from Aqueous Solution with Magnetite Loaded Multiwall Carbon Nanotube: Kinetic, Isotherm and Mechanism Analysis. *Journal of Hazardous Materials*. 198:282-290.
- Ali, F., Chundari, L., Miskah, S., and Prasetyo, H. 2020. Effect of Variations Concentration and pH of Liquid Smoke in the Immersion with Various Types of Fish. *Atlantis Press*. 7: 328-338.
- Aljeboree, A. M., Alkaim, A. F. and Al-Dujaili, A. H. 2015. Adsorption Isotherm, Kinetic, Modelling and Thermodynamic of Crystal Violet Dye on Coconut Husk-based Activated Carbon. *Desalination and Water Treatment*. 53(13): 3656-3667.
- Arfi, F. 2015. Degradasi Senyawa Paraquat Dalam Pestisida Gramoxone Secara Sonolisis Dengan Penambahan ZnO. *Lantanida Journal*. 3(1): 71-81.
- Astuti, W. 2018. *Adsorpsi Menggunakan Material Berbasis Lignoselulosa*. Unnes Press. Semarang. 196 hlm.
- Banday, T.H., Bashir S, Bhat Shasikant, K Ashwin, Praveen S.G., dan Jagadees. 2014. Manifestation and Management of Paraquat Intoxication. A Deadly Poison. IOSDR. *Journal of Dental and Medical Sciences*. 12(6):74-76.

- Bangun, T. A., Zaharah, T. A., dan Shofiyani, A. 2016. Pembuatan Arang Aktif dari Cangkang Buah Karet untuk Adsorpsi Ion Besi (II) dalam Larutan. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*. 5(3): 18-24.
- Brigante, M dan Schulz, P. C. 2011. Adsorption of Paraquat on Mesoporous Silica Modified with Titania: Effects of pH, Ionic Strength and Temperature. *Journal Colloid Interface Science*. 363: 355-361.
- Budiman, H. 2012. *Budidaya Karet Unggul*. Pustaka Baru Press. Yogyakarta. 240 hlm.
- Buhani. 2005. Penerapan Model Lanmuir-Hinshelwood (LH) pada Proses Adsorpsi Ion Fe(II), Mn(II), Cu(II) dan Zn(II) dengan Tanah yang Mengandung Herbisida Glifosat. *Jurnal Sains Teknologi*. 11(1): 13-18.
- Buhani, Suharso, and Sumadi. 2010. Adsorption Kinetics and Isotherm of Cd(II) Ion on Nannochloropsis sp. Biomass Imprinted Ionic Polymer. *Desalination*. 259:140-146.
- Buhani, Suharso, and H. Satria. 2011. Hybridization of Nannochloropsis sp Biomass Silika Through Sol-Gel Process to Adsorp Cd(II) ion In Aqueous Solutions. *European Journal of Scientific Research*. 51(4): 467-478.
- Buhani, Suharso, and A. F. Partogi. 2013. Isoterm Adsorpsi Ion Ni (II) dalam Larutan oleh Biomassa Alga Nannochloropsis sp yang Dimodifikasi dengan Silika-Magnet. *Prosiding SEMIRATA*. 1(1).
- Buhani, Narsito, Nuryono, E. S. Kunarti, and Suharso. 2014. Adsorption Competition of Cu(II) Ion in Ionic Pair and Multi-metal Solution by Ionic Imprinted Amino-Silica Hybrid Absorbent. *Desalination and Water Treatment*. 55(5):1240-1252.
- Buhani dan Suharso. 2016. *Modifikasi Silika Sebagai Penyerap Logam Berat Edisi Pertama*. Yogyakarta. Innosain.
- Buhani, Rinawati, Suharso, Yuliasari, D. P. and Yuwono, S. D. 2017. Removal of Ni(II), Cu(II), and Zn(II) ions from aqueous solution using Tetraselmis sp. biomass modified with silica-coated magnetite nanoparticle. *Desalination and Water Treatment*. 80: 203–213.

- Buhani, Herasari, D., Suharso and Yuwono, S. D. 2017a. Correlation of Ionic Imprinting Cavity Sites on the Amino-Silica Hybrid Adsorbent with Adsorption Rate and Capacity of Cd^{2+} Ion in Solution. *Oriental Journal of Chemistry*. 33(1):418-429.
- Buhani, Musrifatun, Pratama, D. S., Suharso, and Rinawati. 2017b. Modification of *Chaetoceros* sp. biomass with silica-magnetite coating and adsorption studies towards Cu (II) ions in single and binary system. *Asian Journal of Chemistry*. 29(12): 2734–2738.
- Buhani, Puspitarini, M., Rahmawaty, Suharso, Rilyanti, M., 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, Suharso, Luziana, F., Rilyanti, M. and Sumadi. 2019. Production of Adsorbent from Activated Carbon of Palm Oil Shells Coated by Fe_3O_4 Particle to Remove Crystal Violet in Water. *Desalination and Water Treatment*. 171: 281-293.
- Buhani, Suharso, Aditya, I., Kausar, R. A., Sumadi and Rinawati. 2019a. Production of a *Spirulina* sp. Algae Hybrid with a Silica Matrix as an Effective Adsorbent to Absorb Crystal Violet and Methylene Blue in a Solution. *Sustainable Environment Research*. 29 (27):1-11.
- Buhani, Hariyanti, F., Suharso, Rinawati, and Sumadi. 2019b. Magnetized algae-silica hybrid from porphyridium sp. Biomass with Fe_3O_4 particle and its application as adsorbent for the removal of methylene blue from aqueous solution. *Desalination and Water Treatment*. 142: 331–340.
- Buhani, Luziana, F., Suharso, Rilyanti, M., Sumadi dan Permatasari, D. 2020. Kajian Pola Isoterm Adsorpsi Zat Pewarna Kristal Violet pada Adsorben dari Karbon Cangkang Kelapa Sawit dengan Pelapisan Partikel Fe_3O_4 . *Prosiding SINTA 3*. 119: 1-6.
- Buhani, Suharso, Rilyanti, M., Sari, M. and Sumadi. 2021. Removal of Cd(II) Ions in Solution by Activated Carbon from Palm Oil Shells Modified with Magnetite. *Desalination and Water Treatment*. 218: 352-362.

- Buhani, Suharso, Miftahza, N., Permatasari, D and Sumadi. 2021a. Improved Adsorption Capacity of *Nannochloropsis* sp. through Modification with Cetyltrimethylammonium Bromide on the Removal of Methyl Orange in Solution. *Adsorption Science and Technology*. 2021(9): 1-14.
- Buhani, Wijayanti, T. A., Suharso, Sumadi and Ansori, M. 2021b. Application of Modified green Algae *Nannochloropsis* sp. as Adsorbent in The Simultaneous Adsorption of Methylene Blue and Cu(II) Cations in Solution. *Sustainable Environment Research*. 31(17): 1-12.
- Buhani, Halimah, S. N., Suharso and Sumadi. 2022. Utilization of Activated Carbon from Candlenut Shells (*Aleurites Moluccana*) as Methylene Blue Adsorbent. *Rasayan Journal of Chemistry*. 15(1): 124-131.
- Butt, H-J., Graf, K. and Kappl, M. 2006. *Physics and Chemistry of Interfaces*. Wiley-VCH Verlag & Co. KGaA. Jerman. 373 p.
- Chen, C. and Lua, A. C. 2000. Lung Toxicity of Paraquat in The Rat. *Journal of Toxicology and Environmental Health*. 59: 477-487.
- Chiou, C. T. 2002. *Partition and Adsorption of Organic Contaminants in Environmental Systems*. John Wiley & Sons, Inc. New Jersey. 257 p.
- Damiyine, B., Guenbour, A. and Boussen R. 2020. Comparative Study ob Adsorption of Cationique Dye onto Expanded Perlite and Natural Clay. *Rasayan Journal of Chemistry*. 13(1): 448-463.
- Darmawan, A. R., Susilawati, I. dan Khairani, L. 2016. Pengaruh Tingkat Pemberian Pupuk ZnSO₄ terhadap Produksi Hijauan Capituheur (*Mikania micrantha* Kunth). *Jurnal Unpad*. 5: 1-8.
- Dinis-Oliveira, R. J., Duarte, J. A., Sanchez-Navarro, A., Remiao, F., Bastos. and Carvalho, F. 2008. Paraquat Poisonings: Mechanisms of Lung Toxicity, Clinical Features, and Treatment. *Critical Reviews in Toxicology*. 38: 13-71.
- Direktorat Jenderal Perkebunan. 2018. *Statistik Perkebunan Indonesia Komoditas Karet 2017- 2019*. Direktorat Jenderal Perkebunan. Jakarta. 59 hlm.

- Djafaruddin. 1995. *Dasar-Dasar Perlindungan Tanaman (Umum)*. Bumi Aksara. Jakarta.
- Efiyanti, L., Wati, S. A. dan Maslahat, M. 2020. Pembuatan dan Analisis Karbon Aktif dari Cangkang Buah Karet dengan Proses Kimia dan Fisika. *Jurnal Ilmu Kehutanan*. 14: 94-108.
- El-Naggar, A. H., Alzhrani, A. K. R., Ahmad, M., Usman, A. R. A., Mohan, D., Ok, Y. S. and Al-Wabel, M. I. 2016. Preparation of Activated and Non-Activated Carbon from Conocarpus Pruning Waste as Low-Cost Adsorbent for Removal of Heavy Metal Ions from Aqueous Solution. *BioResources*. 11(1) : 1092-1107.
- Fairhurst, T. H., Witt, C., Buresh, R. J. and Dobermann, A. 2007. *Rice: A Practical Guide to Nutrient Management*. International Rice Research Institute (IRRI) and International Plant Nutrition Institute (IPNI). Singapore. 89 p.
- Fagundes-Klen, M. R., Ferri, P., Martins, T. D., Tavares, C. R. G and Silva, E. A. 2007. Equilibrium Study of The Binary Mixture of Cadmium–Zinc Ions Biosorption by The Sargassum Filipendula Species using Adsorption Isotherms Models and Neural Network. *Biochemical Engineering Journal*. 34(2): 136-146.
- Foroutan, R., Peighambardoust, S. J., Aghdasinia, H., Mohammadi, R., and Ramavandi, B. 2020. Modification of Bio-Hydroxyapatite Generated from Waste Poultry Bone with Mgo for Purifying Methyl Violet-Laden Liquids. *Environmental Science and Pollution Research International*. 35: 44218-44229.
- Foroutan, R., Peighambardoust, S. J., Peighambardoust, S. H., Pateiro, M. and Lorenzo, J. M. 2021. Adsorption of Crystal Violet Dye Using Activated Carbon of Lemon Wood and Activated Carbon/Fe₃O₄ Magnetic Nanocomposite from Aqueous Solutions: A Kinetic, Equilibrium and Thermodynamic Study. *Molecules*. 26(8): 2241.
- Girish, C. R. Various Isotherm Models for Multicomponent Adsorption: A Review. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 8(10): 80-86.

- Grillo, R., Pereira, A. E. S., Nishisaka, C. S., Lima, R. d., Oehlke, K., Greiner, R. and Fraceto, L. F. 2014. Chitosan/Tripolyphosphate Nanoparticles Loaded with Paraquat Herbicide: An Environmentally Safer Alternative for Weed Control. *Journal Hazardous Materials*. 278: 163-171.
- Guegan, R., Giovanela, M., Warmont, F. and Motelica-Heino, M. 2015. Nonionic organoclay: A 'Swiss Army knife' for the adsorption of organic micro-pollutants. *J. Colloid Interface Sci.* 437: 71-79.
- Gundogdu, A., Duran, C., Senturk, H. B., Soylak, M., Ozdes, D., Serencam, H., and Imamoglu, M. 2012. Adsorption of Phenol from Aqueous Solution on a Low Cost Activated Carbon Produced from Tea Industry Waste: Equilibrium, Kinetic, and Thermodynamic Study. *Journal of Chemical Engineering Data*. 57: 2733-2743.
- Han, R., Zou, W., Yu, S., Cheng, Wang, Y., and Shi, Y. 2007. Biosorption of Methylene Blue from Aqueous Solution by Fallen Phoenix Tree's Leaves. *Journal of Hazardous Material*. Pp. 156-162.
- Hao, H., Feng, J., Chen, W., Xiang, S., Liu, W. and Wu, X. 2015. Adsorption Behavior of Herbicide Paraquat from Aqueous Solutions Using Starfish Particles: Kinetic, Isotherm, and Thermodynamic Studies. *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*. 10: 347-355.
- Idris, M. N., Z. A. Ahmad., and M. A. Ahmad. 2011. Adsorption Equilibrium of Malachite Green Dye onto Rubber Seed Coat Based Activated Carbon. *International Journal of Basic and Applied Sciences*. 11(3):38-43.
- Irawati, H., Aprilita, N. H. dan Sugiharto, E. 2018. Adsorpsi Zat Warna Kristal Violet menggunakan Limbah Kulit Singkong (*Manihot esculenta*). *Berkala MIPA*. 25(1): 17-31.
- Iryani, A., Nur, H., Santoso, M., and Hartanto, D., 2020, Adsorption Study of Rhodamine B and Methylene Blue Dyes with ZSM-5 Directly Synthesized from Bangka Kaolin without Organic Template. *Indonesian Journal of Chemistry*. 20(1): 130-140.
- Junthip, J. 2018. Coating of PET textiles with anionic cyclodextrin polymer for paraquat removal from aqueous solution. *Fibers and Polymers*. 19: 2335-2343.

- Junthip, J. 2019. Water-insoluble cyclodextrin polymer crosslinked with citric acid for paraquat removal from. *Journal of Macromolecular Science, Part A*. 56(6): 555-563.
- Junthip, J., Promma, W., Sonsupap, S. and Boonyanusith, C. 2019. Adsorption of paraquat from water by insoluble cyclodextrin polymer crosslinked with 1,2,3,4-butanetetracarboxylic acid. *Iranian Polymer Journal*. 28: 213-223.
- Kabata-Pendias, A. 2000. Trace Elements in Soils and Plants. 3rd edition. *CRC Press*. Boca Raton. 432 p.
- Kakavandi, B., A. J. Javari, R. R. Kalantary, S. Nasser, A. Esrafil, A. Gholizadeh, and A. Azari. 2016. Simultaneous Adsorption of Lead and Aniline onto Magnetically Recoverable Carbon: Optimization, Modeling, and Mechanism. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 91(12):3000-3010.
- Kausar, R. A., Buhani and Suharso. 2020. Methylene Blue Adsorption Isotherm on *Spirulina* sp. Microalgae Biomass Coated by Silica-Magnetite. *IOP Conf Series: Materials Science and Engineering*. 857: 1-7.
- Khuluk, R. H., Rahmat, A., Buhani and Suharso. 2019. Removal of Methylene Blue by Adsorption onto Activated Carbon From Coconut Shell (*Cocos nucifera* L.). *Indonesian Journal of Science and Technology*. 4(2): 229-240.
- Köck, M., Farré, M., Martínez, E., Gajdaschranz, K., Ginebreda, A., Navarro, A., López, d.A., M, Barceló, D., Barceló, D. and Sabater, S. 2010. Integrated Ecotoxicological and Chemical Approach for The Assessment of Pesticide Pollution in The Ebro River delta (Spain). *Journal of Hydrology*. 383(1): 73-82.
- Lestari, L. P. 2019. Modifikasi Karbon Aktif Cangkang Buah Karet (*Hevea brasiliensis*) melalui Proses Silanisasi dengan Triethoxyphenylsilane (TEPS) dan Uji Adsorpsi terhadap Metilen Biru. *Skripsi*. Universitas Lampung. Lampung.
- Li, H., Qi, H., Yin, M., Chen, Y., Deng, Q., dan Wang, S., 2020. Carbon tubes from biomass with prominent adsorption performance for paraquat. *Chemosphere*. 1-27.

- Liu Y., Li, Y., Li, X-M. and He, T. 2013. Kinetics of (3-Aminopropyl) triethoxysilane (APTES) Silanization of Superparamagnetic Iron Oxide Nanoparticles. *Langmuir*. 29:15275-15282
- Ma, M., Zhang, Y., Yu, W., Shen, H., Zhang, H., and Gu, N. 2003. Preparation and Characterization of Magnetite Nanoparticles Coated by Amino Silane. *Colloids and Surfaces Area: Physicochemical Engineering Aspects*. 212: 219-226.
- Maksuk. 2019. Konsentrasi Paraquat dalam Urin Pekerja Akibat Paparan Paraquat di Perkebunan Kelapa Sawit. *Jurnal MKMI*. 15(1): 63-72.
- Marien, C. B.D., Piveert, M. L., Azais, A., M'bra, I. C., Drogui, P., Dirany, A. and Robert, D. 2019. Kinetics and Mechanism of Paraquat's Degradation: UV-C Photolysis vs UV-C Photocatalysis with TiO₂/SiC foams. *Journal of Hazardous Materials*. 370: 164-171.
- Mhemeed, A. H. 2018. A General Overview on the Adsorption. *Indian Journal of Natural Sciences*. 9: 16127-16131.
- Mittal, H., Alili A. A., Morajkar, P.P., and Alhassan, S.M. 2021. Graphene Oxide Crosslinked Hydrogel Nanocomposites of Xanthan Gum for The Adsorption of Crystal Violet Dye. *Journal of Molecule Liquids*. 323: 115034.
- Mohan, D., S. Ankur., K.S. Vinod., A. F. Maria., C. U. Pittman Jr. 2011. Development of magnetic Activated Carbon from Almond Shells for Trinitrophenol Remover from Water. *Chemical Engineering Journal*. 172:1111-1125.
- Mohmood, I., Lopes, C.B., Lopes, I., Tavares, C.B., Soares, C.B., Duarte, A.C., Trindade, T., Ahmad, I. and Pereira, E. 2016. Remediation of Mercury Contaminated Saltwater with Functionalized Silica Coated Magnetite Nanoparticles. *Science of the Total Environment*. 557-558: 712–721.
- Nethaji, S., Sivasamy, A. and Mandal, A. B. 2013. Preparation and Characterization of Corn Cob Activated Carbon Coated with Nano-Sized Magnetite Particles for The Removal of Cr(VI). *Bioresource Technology*. 134: 94-100.

- Nie, J., Sun, Y., Zhou, Y., Kumar, M., Usman, M., Li, J., Shao, J., Wang, L., and Tsang, D. C. W. 2020. Bioremediation of water containing pesticides by microalgae: Mechanisms, methods, and prospects for future research. *Science of The Total Environment*. 707: 1-50.
- Noroozi, B and Sorial, G. A. 2013. Applicable Models dor Multi-component Adsorption of Dyes: A Review. *Journal of Environment Sciences*. 25(3): 419-429.
- Oliveira, L. C. A., Rios, R. V. R. A., Fabris, J. D., Garg, V., Sapag, K. and Lagom R. M. 2002. Activated Carbon/Iron Oxide Magnetic Composites for The Adsorption of Contaminants in Water. *Carbon*. 40: 2177-2183.
- Pashaei-Fakhri, S., Peighambaroust, S.J., Foroutan, R., Arsalani, N., and Ramavandi, B. 2021. Crystal Violet Dye Sorption Over Acrylamide/Graphene Oxide Bonded Sodium Alginate Nanocomposite Hydrogel. *Chemosphere*. 270: 129419.
- Permatasari, D., Buhani, Rilyanti, M., 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: 1-8.
- Permatasari, D., Buhani, Rilyanti, M and Suharso. 2021. Adsorption Kinetic and Isotherm of Solution Pair of Methylene Blue and Crystal Violet by Algae-Silica-Magnetite Hybrid Adsorbent on *Porphyridium* sp. *Algae. Journal of Physics: Conference Series*. 1751: 1-7.
- Pierson, O. H. 1993. *Handbook of Carbon, Graphite, Diamond and Fullerenes: Properties, Processing and Applications*. Noyes Publications. United States of America. 419 p.
- Prabowo, B., Khairunnisa, T. and Nandiyanto, A. B. D. 2018. Economic Perspective in the Production of Magnetite (Fe₃O₄) Nanoparticles by CO-precipitation Method. *World Chemical Engineering Journal*. 2(2): 1-4.
- Prasetyowati, Hermanto, M. dan Farizy, S. 2014. Pembuatan Asap Cair dari Cangkang Buah Karet sebagai Koagulan Lateks. *Jurnal Teknik Kimia*. 20: 14-21.

- Poletto, M., Zattera, A. J., Forte, M. M. C., and Santana, R. M. C. 2012. Thermal Dcomposition of Wood : Influence of Wood Components and Cellulose Crystallite Size. *Bioresource Technology*. 109 : 148-153.
- Purwanta, J. H., Kiswanto dan Slameto. 2008. *Teknologi Budidaya Karet*. Balai Besar Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian. Bogor. 39 hlm.
- Qimeng, L., Yanshan, Q., Canzhu, G. 2015. Chemical Regeneration of Spent Powdered Activated Carbon Used in Decolorization of Sodium Salicylate for The Pharmaceutical Industry. *Journal of Cleaner Production*. 86: 424–431.
- Rasmussen, J.J., Wiberg -Larsen, P., Baattrup -Pedersen, A., Cedergreen, N., McKnight, U.S., Kreuger, J., Jacobsen, D., Kristensen, E.A. and Friberg, N. 2015. The Legacy of Pesticide Pollution: An Overlooked Factor in Current Risk Assessments of Freshwater Systems. *Water Research*.84: 25-32.
- Rezvani, O., Hedeshi, M. H., amd 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.
- Romanos, J., Beckner, D., Stalla, D., Tekeei, A., Suppes, G., Jalisatgi, S., Lee, M., Hawthorne, F., Robertson, J. D., Firlej, L., Kuchta, B., Wexler, C., Yu, P. and Pfeifer, P. 2013. Infrared study of boron–carbon chemical bonds in boron-doped activated carbon. *Carbon*. 54: 208-214.
- Santos, M. S. F., Alves, A. and Madeira, M. 2011. Paraquat Removal from Water by Oxidation with Fenton's Reagent. *Chemical Engineering Journal*. 175: 279-290.
- Sebastian, A., Nangia, A., and Prasad, M.N.V. 2018. A Green Synthetic Route to Phenolics Fabricated Magnetite Nanoparticles from Coconut Husk Extract: Implications to Treat Metal Contaminated Water and Heavy Metal Stress in *Oryza sativa L*. *Journal of Cleaner Production*. 174: 355-366.
- Sembiring, Z., Buhani, Suharso, and Sumadi. 2009. The Isothermic Adsorption of Pb(II), Cu(II) and Cd(II) Ions on *Nannochloropsis sp* Encapsulated by Silica Aquagel. *Indonesian Journal of Chemistry*. 9 (1):1-5.

- Setiawardhany, D. A., Alkautsar, H. S. dan Fadhilah, U. R. 2013. Pengolahan Biji Karet sebagai Bahan Baku Pembuatan Minyak Pangan (*Edible Oil*). *Ekulibrium*. 12: 23-26.
- Shao, Y., Zhou, L., Bao, C., Ma, J., Liu, M., Wang, F. 2016. Magnetic Responsive Metal–Organic Frameworks Nanosphere with Core–Shell Structure for Highly Efficient Removal of Methylene Blue. *Chemical Engineering Journal*. 283: 1127–1136.
- Shariaty, D. A., Qian, D., Cheng, Y. and Odom, S. A. 2018. Application of Cross-Linked Polyborosiloxanes and Organically Modified Boron Silicate Binders in Silicon-Containing Anodes for Lithium-Ion Batteries. *Journal of The Electrochemical Society*. 165(5): 731-735.
- Sharib, A. S. A. A., Bonilla-Petriciolet, A., Selim, A. Q., Mohamed, E. A. and Seliem, M. K. 2021. Utilizing modified weathered basalt as a novel approach in the preparation of Fe₃O₄ nanoparticles: Experimental and theoretical studies for crystal violet adsorption. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 9(6): 1-10.
- Sieliechi, J. M and Thue, P. S. 2015. Removal of Paraquat from Drinking Water by Activated Carbon Prepared from Waste Wood. *Desalination and Water Treatment*. 55: 986-998.
- Sinaga, R. S., Purwonugroho, D., dan Darjito. 2015. Adsorpsi Seng(II) oleh Biomassa Azolla Microphylla Diesterifikasi dengan Asam Sitrat: Kajian Desorpsi menggunakan Larutan HCl. *Kimia Student Journal*. 1: 629-635.
- Supriyanto, R., Anggraini, S. P., Bahro, S. dan Rilyanti, M. 2021. Fotodegradasi Pewarna Tekstil Kristal Violet Terkatalisis ZnO/Zeolit Y secara Spektrofotometri UV-VIS. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*. 6(1): 33-45.
- Tesoro, G. and Wu, Y. 1991. Silane Coupling Agents: The Role of The Organofunctional Group. *Journal Adhesion Science Technology*. 5(10): 771-784.

- Toan, N. C., Binh, Q. A., Tungtakanpoung, D., and Kajitvichyanukul, P. 2020. Kinetic, Isotherm and Mechanism in Paraquat Removal by Adsorption Process Using Biochars. *Lowland Technology International*. 22(2): 200-211.
- Tsaboula, A., Papadakis, E. -N., Vryzas, Z., Kotopoulou, A., Kintzikoglou, K., Papadopoulou -Mourkidou, E. 2018. Assessment and Management of Pesticide Pollution at A River Basin Level Part I: Aquatic Ecotoxicological Quality Indices. *Science of The Total Environment*. 653: 1597-1611.
- Wall, G., Podbielska, H. and Wawrzynska, M. 2018. *Functionilized Cardiovascular Stents*. Woodhead Publishing. United Kingdom. 368 p.
- Wardiyati, S., Fisli, A., dan Ridwan. 2011. Penyerapan Logam Ni dalam Larutan oleh Nanokomposit Fe₃O₄-Karbon Aktif. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 12(3): 224-228.
- Wong, K. T., Eu, N. C., Ibrahim, S., Kim, H., Yoon, Y., and Jang, M. 2015. Recyclable Magnetite-Loaded Palm Shell-Wastw Based Activated Carbon for The Effective Removal of Methylene Blue from Aqueous Solution. *Journal of Clenaer Production*. 115: 337-342.
- Wong, K. T., Yoon, Y., Snyder, S. A., and Jang, M. 2016. Phenyl-functionalized Magnetic Palm-based Powdered Activated Carbon for the Effective Removal of Selected Pharmaceutical and Endocrine-disruptive Compounds. *Chemosphere*. 152:71-80.
- Xin, X., Wei, Q., Yang, J., Yan, L., Feng, R., Chen, G. Du, B., Li, H. 2012. Highly Efficient Removal of Heavy Metal Ions by Amine-Functionalized Mesoporous Fe₃O₄ Nanoparticles. *Chemical Engineering Journal*. 184: 132-14.
- Yamaura, M., Camilo, R. L., Sampaio, L. C., Macedo, M. A., Nakamura, M., and Toma, H. E. 2004. Preparation and Characterization of (3-aminopropyl) triethoxysilane-coated Magnetid Nanoparticles. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 279: 210-217.
- Yan, K. Z., Zaini, M. A. A., Arsad, A. and Nasri, N. S. 2019. Rubber Seed Shell Based Activated Carbon by Physical Activation for Phenol Removal. *Chemical Engineering Transactions*. 72: 151-156.

Zulaicha, A. S., Buhani and Suharso. Modification of Activated Carbon from *Elaeis Guineensis Jacq Shell* with Magnetite (Fe_3O_4) Particles and Study Adsorption-Desorption on Ni(II) Ions in Solution. *Journal of Physics: Conference Series*. 1751: 1-7.