MODIFIKASI KARBON AKTIF DARI TEMPURUNG KELAPA SAWIT DENGAN TEKNIK PELAPISAN MAGNETIT SEBAGAI ADSORBEN KRISTAL VIOLET

(Skripsi)

Oleh

FITRIA LUZIANA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2018

ABSTRACT

ACTIVATED CARBON MODIFICATION OF PALM OIL SHELL USING MAGNETITE COATING TECHNIQUE AS A CRYSTAL VIOLET ADSORBENT

by

Fitria Luziana

In this study, an activated carbon modification of palm oil shell with magnetite coating technique has been done to study the modification and characterization of magnetite activated carbon. The activated carbon was performed by physics activation method at temperature of 700 ^{o}C for 1 hour and chemical activation using H_3PO_4 10% as activator agent. The $FeSO_4 \bullet 7H_2O$ compound was used as a magnetite source in the preparation of magnetite activated carbon carried out under an alkaline condition. The physical activated carbon (CAF), chemical activated carbon (CAK), magnetite physical activated carbon (CAFM) and magnetite chemical activated carbon (CAKM) were characterized by Scanning Electron Microscope (SEM) coupled with Energy Dispersive X-Ray (EDX) to determine the surface morphology and element of activated carbon. X-Ray Diffraction (XRD) was used to know crystallinity of activated carbon and BET method was carried out to investigate the surface area of activated carbon. The adsorption test consisted of six steps as follows: effect of adsorbent dose, pH, contact time, adsorption isotherm, simultaneous adsorption, and sequential adsorption. The adsorbent dose used was 0.05 gram with an adsorbate volume of 25 mL at optimum pH of 10 and optimum contact time of 120 minutes. The adsorption kinetics crystal violet of CAFM and CAKM tend to follow the model of adsorption kinetics pseudo second order and Freundlich adsorption isotherm. The interaction occurred between adsorbent and crystal violet is physical interaction.

Keywords: Activated carbon, palm oil shell, magnetite activated carbon, SEM-EDX, BET (*surface area*), XRD, and crystal violet

ABSTRAK

MODIFIKASI KARBON AKTIF DARI TEMPURUNG KELAPA SAWIT DENGAN TEKNIK PELAPISAN MAGNETIT SEBAGAI ADSORBEN KRISTAL VIOLET

Oleh

Fitria Luziana

Pada penelitian ini telah dilakukan modifikasi karbon aktif dari tempurung kelapa sawit dengan teknik pelapisan magnetit yang bertujuan untuk mempelajari cara modifikasi dan karakterisasi karbon aktif magnetit. Pembuatan karbon aktif dilakukan melalui metode aktivasi fisika pada suhu 700 ^{o}C selama 1 jam dan aktivasi kimia menggunakan H_3PO_4 10 % sebagai agen aktivator. Senyawa $FeSO_4 \bullet 7H_2O$ digunakan sebagai sumber magnetit dalam pembuatan karbon aktif-magnetit yang dilakukan dalam suasana basa. Karbon aktif fisika (CAF) dan karbon aktif kimia (CAK) serta karbon aktif fisika magnetit (CAFM) dan karbon aktif kimia magnetit (CAKM) yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) yang dirangkai dengan *Energy Dispersive X-Ray* (EDX) untuk mengetahui morfologi permukaan dan unsur dalam karbon aktif. *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui tingkat kristalinitas karbon aktif dan metode BET untuk mengetahui luas permukaan karbon aktif. Uji adsorpsi yang dilakukan terdiri dari enam tahap sebagai berikut : pengaruh dosis adsorben, pengaruh pH, pengaruh waktu kontak, isoterm adsorpsi, adsorpsi simultan, dan adsorpsi sekuensial. Dosis adsorben yang digunakan yaitu 0,05 gram dengan volume adsorbat yaitu 25 mL pada pH optimum 10 dengan waktu kontak optimum 120 menit. Kinetika adsorpsi kristal violet terhadap CAFM dan CAKM cenderung mengikuti model kinetika adsorpsi pseudo orde dua dan isoterm adsorpsi cenderung mengikuti pola isoterm adsorpsi Freundlich. Interaksi yang terjadi antara adsorben dengan kristal violet adalah interaksi fisika.

Kata kunci: Karbon aktif, tempurung kelapa sawit, karbon aktif magnetit, SEM-EDX, BET, XRD, dan kristal violet.

MODIFIKASI KARBON AKTIF DARI TEMPURUNG KELAPA SAWIT DENGAN TEKNIK PELAPISAN MAGNETIT SEBAGAI ADSORBEN KRISTAL VIOLET

Oleh

FITRIA LUZIANA

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
2018

Judul Skripsi : **MODIFIKASI KARBON AKTIF DARI TEMPURUNG KELAPA SAWIT DENGAN TEKNIK PELAPISAN MAGNETIT SEBAGAI ADSORBEN KRISTAL VIOLET**

Nama Mahasiswa : *Fitria Luziana*

No. Pokok Mahasiswa : 1417011044

Jurusan : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Prof. Dr. Buhani, M.Si.	**Prof. Suharso, Ph.D.**
NIP 19690416 199403 2 003	NIP 19690530 199512 1 001

2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA

Dr. Eng. Suripto Dwi Yuwono, M.T.
NIP 19740705 200003 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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

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

Penguji
Bukan Pembimbing : **Drs. R. Supriyanto, M.S.** .....

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Prof. Warsito, S.Si., D.E.A., Ph.D.
NIP 19710212 199512 1 001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **02 Agustus 2018**

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Negeri Sungkai, Provinsi Lampung pada tanggal 2 Maret 1996 sebagai anak keempat dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Abdullah dan Ibu Holinah. Penulis mengawali pendidikan di SDN 1 Negeri Sungkai Kabupaten Way Kanan pada tahun 2003. Tahun 2008 penulis melanjutkan pendidikannya pada jenjang Sekolah Menengah Pertama di SMP N 4 Bukit Kemuning, Lampung Utara. Tahun 2011 penulis melanjutkan pendidikan pada jenjang Sekolah Menengah Atas di SMA N 1 Bukit Kemuning, Lampung Utara. Tahun 2014 penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah menjadi asisten praktikum kimia anorganik II pada tahun 2017 dan 2018. Selain itu, penulis juga aktif sebagai anggota bidang sosial masyarakat (SOSMAS) di Organisasi Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI) Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung periode 2015/2016 dan 2017.

Pada bulan Juni 2017 Penulis menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik yang diberi judul **Pembuatan dan**

Karakterisasi Serta Uji Adsorpsi Karbon Aktif-Magnetit dari Tempurung Kelapa Sawit (*Elais guinensiss Jacq*.) Terhadap Zat Warna Kristal Violet.

Pada tahun yang sama penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) pada tanggal 24 Juli – 31 Agustus 2017 di Desa Tetaan, Kecamatan Penengahan, Kabupaten Lampung Selatan.

PERSEMBAHAN

Bismillahirrohmanirrohim Alhamdulillah Puji Syukur Atas Kehadirat Allah SWT Tuhan Yang Maha Esa.

Kupersembahkan karya pertamaku ini sebagai tanda kasih dan sayang serta baktiku kepada :

Kedua orang tuaku yang selalu memberikan do'a terbaik, dukungan serta senantiasa berkorban untukku.

Kakak-kakakku dan ayuk-ayukku serta seluruh keluarga besarku yang selalu memberikan dukungan dan semangat untukku.

Para ibu dan bapak dosen yang selama ini telah memberikan banyak ilmu dan pelajaran kepadaku.

Seluruh sahabat terdekatku yang selama ini telah memberikan banyak dukungan dan bantuan kepadaku.

serta

Almamater yang tercinta

MOTTO

Jangan pernah menyerah dalam kondisi apapun, semangat !!

Jika kau tidak tahan lelahnya belajar, maka kau harus menahan perihnya kebodohan (Imam Asy-Syafi'i)

99 % kegagalan datang dari orang-orang yang suka memberi alasan (George Washington S.)

Bermimpilah setinggi langit
Jika engkau jatuh, engkau akan jatuh diantara bintang-bintang (Soekarno 1901-1970).

SANWACANA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala limpahan nikmat dan karunia-Nya yang tiada henti sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini yang diberi judul Modifikasi Karbon Aktif dari tempurung Kelapa Sawit dengan Teknik Pelapisan Magnetit Sebagai Adsorben Kristal Violet.

Dalam penulisan skripsi ini penulis menyadari masih banyak kekurangannya sehingga penulis mengharapkan adanya kritik dan saran. Selain itu, penulis berharap agar skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembacanya. Selama menyelesaikan skripsi ini penulis banyak mendapat bantuan serta dukungan dari banyak pihak. pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu Prof. Dr. Buhani, M.Si., selaku pembimbing I yang selalu memberikan bimbingan, nasihat, semangat dan saran kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Prof. Suharso, Ph.D., selaku pembimbing II yang telah memberikan masukan serta motivasi dan bimbingan dalam menyelesaikan skiripsi ini.

3. Bapak Drs. R. Supriyanto, M.S., selaku pembahas yang telah memberikan kritik dan saran serta pengetahuan sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.
4. Ibu Dr. Zipora Sembiring, M.S., selaku pembimbing akademik yang telah memberikan nasihat serta masukan dan semangat kepada penulis selama menjadi mahasiswa di Jurusan Kimia.
5. Bapak Prof. warsito, S.Si., D.E.A., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Universitas Lampung.
6. Bapak Dr. Eng. Suripto Dwi Yuwono, M. T, selaku ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Universitas lampung.
7. Mba Liza Aprilia, S.Si yang telah banyak membantu dalam menyediakan alat serta bahan untuk penelitian penulis.
8. Seluruh dosen, laboran, staff dan karyawan FMIPA Universitas Lampung atas seluruh bantuannya selama ini.
9. Kedua orang tuaku tercinta Bapak Abdullah dan Ibu Holinah yang selama ini tak henti-hentinya memberikan do’a dan dukungan kepadaku, yang selalu menyayangi,menasihati dan menyemangati sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan lancar.
10. Ketiga kakakku : Ferry Arizal, Lizun Saputra dan Zilwani Arozi, Ketiga ayukku : Fitriyani, Ria Nuryati dan Yulfa Riyanti serta Ketiga keponakku : Finkan Imelsa, Fahrizzy dan Akbar Aliyansah yang selalu memberi semangat, dukungan serta bantuan kepada penulis.

11. Sepupuku Shelly Evita serta seluruh keluarga besarku yang tidak bisa kusebutkan satu persatu atas do'a dan dukungannya terhadap penulis.
12. Sahabat terbaikku Shinta Wulandari, S.Si. yang telah bersamaku selama 10 tahun yang selalu memberikan bantuan, semangat, dan keceriaan. Semoga persahabatan kita selamanya.
13. Sahabat terbaikku semasa kuliah Herda Yulia yang selalu memberikan seluruh bantuan, semangat, keceriaan serta dukungan dan Agnesa Anugrah yang selama ini telah memberikan seluruh bantuan serta keceriaan kepada penulis selama menjadi mahasiswa di Jurusan kimia. Semoga kita bersahabat selamanya.
14. Sahabat-sahabat terbaikku Sejak SMP hingga sekarang Citra Anggraini Putri yang selalu memberi semangat dan dukungan serta nasihatnya kepada penulis dan Dian Meisya Azhari A.Md. Keb., yang selalu memberikan dukungan kepada penulis.
15. Sahabatku sejak SMA hingga sekarang : Tia Resti Ayu dan Diara Finanada, A.Md. serta Sahabat semasa kuliah : Septi purnamasari yang selalu memberikan kebahagiaan dan dukungan kepada penulis.
16. Tim *research* terbaikku anak Bubu Ferita Angriana, Asdini Virginia, Ismi Aditiya, dan Ana Devita Mutiara atas kerjasama yang baik, dukungan, serta bantuannya selama ini.
17. Seluruh anggota *Adsorpsion Group*, Kakak-kakak terbaik : Meghafit puspitarini S. Si., Murnita Anggraini, S. Si., Melita Sari, Fentri Haryanti, S. Si., dan Radho Alkausar, S. Si., serta Siti Zulaicha, S. Pd. atas bantuan dan masukannya selama ini dan juga ibu Rahmawaty, M.Si., yang telah membantu

penulis untuk mendapatkan tempurung kelapa sawit. Adik-adik 2015 : Ade rika, Tri Handayani, Miranda, Desi, Yanti dan Aini yang telah memberikan dukungan kepada penulis.

18. Anorganik Squad 2014 : Ferita Angriana, Ana Devita M., Ismi Aditiya, Asdini Virginia, Lucia Arum H., Devi Tri L., Rica Royjanah, Ainun Nadya, Cindy Claudia P., Aniza Vidya W., Hot asih, Novi Indarwati, Audina Uci P., Reni Anggraini, Yusuf Hadi K., S. Si., Fikri Muhammad, Widia Sari, S. Si., Deni Diora, Khumil Ajmila, Putri Sendi K., Bayu Andani, Hafid Darmais H., dan Dira Fauzi R atas dukungan , masukan dan keceriaan yang diberikan kepada penulis.
19. Penghuni asrama citra : Mbak Erika Pratiwi, S.Pd., Diani Widya P., Puput Dian A., S.Si., Novy Kusuma W. atas segala bantuan yanga telah diberikan kepada penulis.
20. Seluruh mahasiswa Jurusan Kimia angkatan 2014 yang punya jargon “Kimia 2014 !!!“ , “Kami Bersatu,Satu yang Solid !!!”
21. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu atas segala dukungan, do’a dan bantuannya kepada penulis.

Penulis hanya mampu mengucapkan terima kasih semoga segala kebaikan, bantuan, do’a serta dukungan yang kalian berikan dapat dibalas oleh Allah SWT.

Bandar Lampung, Agustus 2018
Penulis

Fitria Luziana

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR ISI ..... **i**

DAFTAR TABEL ..... **iii**

DAFTAR GAMBAR ..... **vi**

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang 1
B. Tujuan Penelitian 5
C. Manfaat Penelitian 5

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Adsorpsi 6
1. Adsorpsi Fisika (Fisisorpsi) 6
2. Adsorpsi Kimia (kemosorpsi) 7
3. Kinetika Adsorpsi 9
4. Isoterm Adsorpsi 11
a. Isoterm adsorpsi Langmuir 11
b. Isoterm adsorpsi Freundlich 13
B. Karbon aktif 15
C. Tempurung kelapa sawit 19
D. Magnetit 21
E. Zat warna 22
F. Kristal violet 22
G. Karakterisasi 24
1. Spektrofotometer UV-Vis 24
2. Analisis morfologi permukaan 25
3. *X-Ray Diffraction* (XRD) 26
4. Karakterisasi luas permukaan 27

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian 29
B. Alat dan Bahan Penelitian 29
C. Prosedur Penelitian.....30
1. Preparasi dan pembuatan karbon 30
2. Aktivasi karbon 30
a. Aktivasi fisika.....30
b. Aktivasi kimia 31
3. Pembuatan karbon aktif magnetit.....31
4. Karakterisasi karbon aktif 32
5. Penentuan panjang gelombang maksimum kristal violet.....32
6. Pembuatan kurva standar kristal violet 32
7. Uji adsorpsi 32
a. Pengaruh dosis adsorben 32
b. Pengaruh pH.....33
c. Pengaruh waktu kontak 33
d. Isoterm adsorpsi 34
e. Adsorpsi simultan.....34
f. Adsorpsi sekuensial 34

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pembuatan karbon aktif dari tempurung kelapa sawit 36
B. Pembuatan karbon aktif magnetit.....38
C. Karakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) yang dirangkai dengan *Energy Dispersive X-Ray* (EDX).....39
D. Karakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) 42
E. Karakterisasi luas permukaan 45
F. Uji adsorpsi 47
1. Pengaruh dosis adsorben.....47
2. Pengaruh pH.....48
3. Pengaruh waktu kontak 49
4. Isoterm adsorpsi 52
5. Adsorpsi simultan 56
6. Adsorpsi sekuensial.....57

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan 58
B. Saran.....59

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel Halaman

1. Karakterisasi tempurung kelapa sawit 20

2. Karakterisasi kristal violet.....24

3. Hasil karakterisasi menggunakan metode BET 46

4. Parameter kinetika adsorpsi kristal violet terhadap CAF, CAK, CAFM dan CAKM 52

5. Parameter isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich larutan kristal violet terhadap CAF, CAK, CAFM dan CAKM 55

6. Hasil uji pendahuluan adsorpsi kristal violet terhadap karbon aktif magnetit dengan variasi massa $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ yaitu 27, 54, dan 72 gram. 67

7. Penentuan kurva standar kristal violet untuk pengaruh dosis adsorben 67

8. Hasil adsorpsi kristal violet terhadap CAF, CAK, CAFM, dan CAKM dengan variasi volume 68

9. Penentuan kurva standar kristal violet untuk pengaruh pH 70

10. Hasil adsorpsi kristal violet pada CAF, CAK, CAFM, dan CAKM dengan variasi pH 70

11. Penentuan kurva standar kristal violet untuk pengaruh waktu kontak 72

12. Hasil adsopsi kristal violet pada CAF, CAK, CAFM, dan CAKM dengan variasi waktu kontak 72

13. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde satu pada CAF terhadap kristal violet 74

14. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde satu pada CAK terhadap kristal violet 75

15. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde satu pada CAFM terhadap kristal violet 76

16. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde satu pada CAKM terhadap kristal violet 77

17. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde dua pada CAF terhadap kristal violet 78

18. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde dua pada CAK terhadap kristal violet 79

19. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde dua pada CAFM terhadap kristal violet 80

20. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde dua pada CAKM terhadap kristal violet 81

21. Penentuan kurva standar kristal violet untuk pengaruh konsentrasi 82

22. Hasil adsorpsi kristal violet pada CAF, CAK, CAFM, dan CAKM dengan variasi konsentrasi 83

23. Data perhitungan dengan persamaan isoterm adsorpsi Langmuir pada adsorpsi kristal violet terhadap CAF 84

24. Data perhitungan dengan persamaan isoterm adsorpsi Langmuir pada adsorpsi kristal violet oleh CAK 85

25. Data perhitungan dengan persamaan isoterm adsorpsi Langmuir pada adsorpsi kristal violet oleh CAFM 86

26. Data perhitungan dengan persamaan isoterm adsorpsi Langmuir pada adsorpsi kristal violet oleh CAKM 87

27. Data perhitungan dengan persamaan isoterm adsorpsi Freundlich pada adsorpsi kristal violet oleh CAF 88

28. Data perhitungan dengan persamaan isoterm adsorpsi Freundlich pada adsorpsi kristal violet oleh CAK 89

29. Data perhitungan dengan persamaan isoterm adsorpsi Freundlich pada adsorpsi kristal violet oleh CAFM 90

30. Data perhitungan dengan persamaan isoterm adsorpsi Freundlich pada adsorpsi kristal violet oleh CAKM 91

31. Penentuan kurva standar kristal violet untuk adsorpsi simultan dan sekuensial 92

32. Penentuan kurva standar metilen biru untuk adsorpsi simultan dan sekuensial 93

33. Hasil adsorpsi simultan kristal violet dan metilen biru terhadap CAF, CAK, CAFM, dan CAKM 94

34. Hasil adsorpsi sekuensial kristal violet dan metilen biru terhadap CAF, CAK, CAFM, dan CAKM 95

DAFTAR GAMBAR

Gambar Halaman

1. Model isoterm adsorpsi Langmuir 13

2. Model isoterm adsorpsi Freundlich 14

3. Struktur grafit karbon aktif 16

4. Tempurung kelapa sawit 20

5. Struktur kristal violet 24

6. Enam tipe isoterm adsorpsi-desorpsi 28

7. Hasil preparasi sampel (a) tempurung kelapa sawit, (b) karbon tempurung kelapa sawit kasar, (c) karbon tempurung kelapa sawit halus 36

8. Hasil aktivasi karbon (a) karbon aktif fisika (CAF) dan (b) karbon aktif kimia (CAK) 38

9. Hasil pembuatan karbon aktif-magnetit (a) karbon aktif fisika-magnetit (CAFM) dan (b) karbon aktif kimia-magnetit (CAKM).....39

10. Hasil karakterisasi menggunakan SEM-EDX dengan pembesaran 5000 x pada permukaan (a,e) CAF, (b,f) CAK, (c,g) CAFM, dan (d,h) CAKM 40

11. Hasil karakterisasi menggunakan XRD (a) CAF, (b) CAK, (c) Magnetit, (d) CAFM, dan (e) CAKM 43

12. Pola isoterm adsorpsi-desorpsi pada (a) CAF, (b) CAK, (c) CAFM, dan (d) CAKM).....45

13. Kurva pengaruh dosis adsorben pada adsorpsi kristal violet 48

14. Kurva pengaruh pH pada adsorpsi kristal violet 49

15. Kurva pengaruh waktu kontak terhadap adsorpsi kristal violet.....50

16. Pola kinetika pseudo orde satu pada CAF, CAK, CAFM, dan CAKM terhadap kristal violet 51

17. Pola kinetika pseudo orde dua pada CAF, CAK, CAFM, dan CAKM terhadap kristal violet 51

18. Kurva pengaruh konsentrasi adsorbat terhadap adsorpsi 53

19. Pola isoterm adsorpsi Langmuir pada CAF, CAK, CAFM, dan CAKM terhadap larutan kristal violet 54

20. Pola isoterm adsorpsi Freundlich pada CAF, CAK, CAFM, dan CAKM terhadap larutan kristal violet 54

21. Hasil adsorpsi simultan kristal violet dan metilen biru.....56

22. Hasil adsorpsi sekuensial kristal violet dan metilen biru.....57

23. Kurva hasil pengukuran panjang gelombang maksimum kristal violet 67

24. Kurva standar kristal violet untuk pengaruh dosis adsorben 68

25. Adsorpsi kristal violet terhadap CAF dengan variasi volume 69

26. Adsorpsi kristal violet terhadap CAK dengan variasi volume 69

27. Adsorpsi kristal violet terhadap CAFM dengan variasi volume 69

28. Adsorpsi kristal violet terhadap CAKM dengan variasi volume 69

29. Kurva standar kristal violet untuk pengaruh pH 70

30. Adsorpsi kristal violet terhadap CAF dengan variasi pH 71

31. Adsorpsi kristal violet terhadap CAK dengan variasi pH 71

32. Adsorpsi kristal violet terhadap CAFM dengan variasi pH 71

33. Adsorpsi kristal violet terhadap CAKM dengan variasi pH 71

34. Kurva standar kristal violet untuk pengaruh waktu kontak 72

35. Adsorpsi kristal violet terhadap CAF dengan variasi waktu kontak 73

36. Adsorpsi kristal violet terhadap CAK dengan variasi waktu kontak 73

37. Adsorpsi kristal violet terhadap CAFM dengan variasi waktu kontak 73

38. Adsorpsi kristal violet terhadap CAKM dengan variasi waktu kontak 73

39. Pola kinetika pseudo orde satu pada CAF terhadap kristal violet 74

40. Pola kinetika pseudo orde satu pada CAK terhadap kristal violet 75

41. Pola kinetika pseudo orde satu pada CAFM terhadap kristal violet 76

42. Pola kinetika pseudo orde satu pada CAKM terhadap kristal violet 77

43. Pola kinetika pseudo orde dua pada CAF terhadap kristal violet 78

44. Pola kinetika pseudo orde dua pada CAK terhadap kristal violet 79

45. Pola kinetika pseudo orde dua pada CAFM terhadap kristal violet 80

46. Pola kinetika pseudo orde dua pada CAKM terhadap kristal violet 81

47. Kurva standar kristal violet untuk pengaruh konsentrasi 82

48. Adsorpsi kristal violet terhadap CAF dengan variasi konsentrasi 83

49. Adsorpsi kristal violet terhadap CAK dengan variasi konsentrasi 83

50. Adsorpsi kristal violet terhadap CAFM dengan variasi konsentrasi 84

51. Adsorpsi kristal violet terhadap CAKM dengan variasi konsentrasi 84

52. Pola isoterm adsorpsi Langmuir pada kristal violet oleh CAF 85

53. Pola isoterm adsorpsi Langmuir pada kristal violet oleh CAK 86

54. Pola isoterm adsorpsi Langmuir pada kristal violet oleh CAFM 87

55. Pola isoterm adsorpsi Langmuir pada kristal violet oleh CAKM 88

56. Pola isoterm adsorpsi Freundlich pada kristal violet oleh CAF.....89

57. Pola isoterm adsorpsi Freundlich pada kristal violet oleh CAK.....90

58. Pola isoterm adsorpsi Freundlich pada kristal violet oleh CAFM.....91

59. Pola isoterm adsorpsi Freundlich pada kristal violet oleh CAKM 92

60. Kurva standar kristal violet untuk adsorpsi simultan dan sekuensial 93

61. Kurva standar metilen biru untuk adsorpsi simultan dan sekuensial 93

62. Adsorpsi simultan kristal violet dan metilen biru 94

63. Adsorpsi sekuensial kristal violet dan metilen biru terhadap CAF.....95

64. Adsorpsi sekuensial kristal violet dan metilen biru terhadap CAK 95

65. Adsorpsi sekuensial kristal violet dan metilen biru terhadap CAFM 95

66. Adsorpsi sekuensial kristal violet dan metilen biru terhadap CAKM.....95

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pencemaran lingkungan merupakan salah satu masalah yang perlu diperhatikan karena dampaknya yang dapat merusak keseimbangan ekosistem lingkungan. Pencemaran lingkungan dapat terjadi karena banyaknya zat pencemar yang ada saat ini. Zat-zat pencemar dapat berasal dari berbagai bidang kehidupan, salah satunya yaitu bidang industri. Meskipun industri sendiri merupakan salah satu bidang yang menyokong perekonomian Indonesia namun dalam prakteknya bidang industri justru menjadi salah satu penghasil terbesar zat pencemar lingkungan. Zat pencemar yang dihasilkan berasal dari limbah produksi baik limbah cair, padat, maupun gas yang dapat berasal dari industri makanan, kesehatan, dan industri tekstil. Zat pencemar yang dihasilkan dapat berupa logam berat seperti Pb, Cd, Cu, dan Zn (Suharso *et al.*, 2010; Buhani and Suharso, 2012; Buhani and Suharso, 2010; Endah *et al*., 2016) dan zat pencemar organik seperti senyawa fenol, zat warna tekstil, pestisida, poliklorobinefil (PCB), serta trikloroetilen(TCE) (Andayani dan Sumartono, 1999).

Dari banyaknya limbah yang dihasilkan oleh industri, limbah cair seperti limbah organik adalah limbah yang berbahaya dan paling umum dijumpai. Seperti contohnya yaitu zat warna tekstil yang berasal dari proses pewarnaan pada

industri tekstil. Zat warna tekstil berbahaya bagi lingkungan karena didalam air zat ini mampu meningkatkan kadar BOD dan COD sehingga memungkinkan terjadinya penghelatan ion logam dan menyebabkan air tersebut memiliki efek mikrotoksik. Kebanyakan zat warna memiliki sifat yang stabil sehingga sulit untuk mengalami fotodegradasi dan biodegradasi. Zat warna dibagi menjadi 2 jenis yaitu zat warna kation dan zat warna anion. Zat warna kation merupakan zat warna yang bersifat lebih berbahaya karena mampu membentuk amina aromatik (Hao *et al.,* 2000) selain itu, dalam jumlah tertentu dapat menyebabkan diare, muntah, pusing, gangguan saluran gastrointestinal serta bila terjadi penumpukan dalam tubuh dapat menyebabkan kanker.

Kristal violet merupakan salah satu jenis zat warna kation yang penggunaannya dalam kehidupan sehari-hari sangat luas, seperti sebagai pewarnaan histologi pada kedokteran hewan dan pewarnaan pada bakteri gram negatif. Selain itu, kristal violet juga umum digunakan sebagai zat warna dalam industri tekstil dan kertas. Disamping banyaknya manfaat dan kegunaannya, kristal violet merupakan senyawa yang bersifat mutagen dan beracun karena mengandung struktur amina aromatik (Au *et al.,* 1978).

Melihat bahaya yang dapat ditimbulkan dari kristal violet maka pengurangan zat warna ini pada limbah industri perlu dilakukan untuk mengurangi efek negatifnya terhadap lingkungan. Berbagai metode telah banyak digunakan untuk mengurangi zat warna pada limbah seperti oksidasi (Vaiano *et al.,* 2015), koagulasi dan flokulasi (Saitoh *et al.,* 2014), adsorpsi (Weber *et al.,* 2014) dan pertukaran ion (Wu *et al.,* 2008). Dari berbagai metode yang telah disebutkan diatas, metode

adsorpsi merupakan metode yang paling banyak digunakan karena memiliki efisiensi yang tinggi. Selain itu, adsorpsi juga memiliki keunggulan lainnya seperti biaya yang relatif murah, metode yang lebih sederhana, bersifat ramah lingkungan serta tidak adanya efek samping yang beracun (Buhani *et al.*, 2011; Buhani *et al*., 2017; Buhani *et al*., 2017a; Suharso dan Buhani, 2011).

Adsorben yang digunakan pada proses adsorpsi dapat berupa karbon aktif, zeolit, silika gel, alumina, dan bahan lainnya yang tergolong dalam molekul berpori karena adsorpsi merupakan proses penyerapan suatu zat atau molekul oleh pori-pori pada permukaan adsorben. Karbon aktif (CA) digunakan sebagai adsorben pada penelitian ini karena merupakan adsorben yang memiliki luas permukaan dan jumlah pori-pori yang tinggi. Selain itu, bahan baku pembuatan karbon aktif juga mudah didapat dan umumnya memanfaatkan limbah yang dihasilkan dari industri seperti tempurung kelapa (Pambayun dkk., 2013), tandan kosong kelapa sawit (Purwanto, 2011; Hartanto dan Ratnawati, 2010), dan tempurung kelapa sawit. Pada penelitian ini digunakan adsorben karbon aktif yang dibuat dari tempurung kelapa sawit.

Tempurung kelapa sawit merupakan limbah yang dihasilkan dari pabrik pengolahan *crude palm oil* (CPO). Dalam satu kali produksi, tempurung yang dihasilkan cukup banyak yaitu sekitar 60 % dari produksi CPO itu sendiri (Kurniati, 2008). Banyaknya jumlah tempurung yang dihasilkan menyebabkan semakin banyaknya ide-ide yang muncul untuk memanfaatkan limbah tersebut salah satunya dibuat menjadi karbon aktif sehingga limbah yang tidak termanfaatkan dapat memiliki nilai jual tinggi dan bermanfaat bagi masyarakat.

Keunggulan yang dimiliki karbon aktif sebagai adsorben dalam proses adsorpsi cukup banyak, namun adsorben karbon aktif ini juga memiliki kekurangan yaitu pada proses filtrasi. Filtrasi merupakan proses pemisahan filtrat yaitu larutan adsorbat dan residu yang berupa karbon aktif yang telah mengikat adsorbat. Ukuran partikel yang kecil serta berat molekul yang ringan menyebabkan sulitnya proses pemisahan karbon aktif dengan filtrat sehingga menyebabkan berkurangnya jumlah adsorben secara signifikan selama proses filtrasi.

Kekurangan yang dimiliki karbon aktif sebagai adsorben dalam proses adsorpsi mendorong para peneliti untuk melakukan modifikasi terhadap adsorben tersebut. Modifikasi ini bertujuan untuk mengatasi kesulitan serta berkurangnya karbon aktif pada saat proses filtrasi. Salah satu modifikasi yang telah dilakukan saat ini adalah dengan pelapisan magnetit. Karbon aktif yang dihasilkan melalui proses karbonisasi dan aktivasi (Darmawan, 2009) selanjutnya dilapisi dengan magnetit Fe_2O_3 (Wong *et al.,* 2016) . Pelapisan ini menghasilkan karbon aktif magnetit (CAM) yang dapat membuat berat molekul karbon aktif menjadi lebih besar selain itu, proses filtrasi yang dilakukanpun berbeda. Karbon aktif yang telah dilapisi bersifat magnet sehingga proses pemisahan adsorben dan filtrat lebih mudah dengan memanfaatkan sifat magnet adsorben (Buhani *et al*., 2013; Gholamvaisi *et al.,* 2014).

Pada penelitian ini digunakan larutan yang mengandung kristal violet dalam konsentrasi tertentu kemudian akan diuji untuk mengetahui kemampuan adsorpsi karbon aktif yang telah dimodifikasi dengan pelapisan magnetit terhadap senyawa kristal violet tersebut.

B. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mempelajari cara modifikasi dan karakterisasi karbon aktif magnetit dari tempurung kelapa sawit
2. Menentukan pengaruh dosis adsorben, pH dan waktu kontak optimum kristal violet terhadap adsorben karbon aktif fisika magnetit (CAFM) dan karbon aktif kimia magnetit (CAKM)
3. Mempelajari model kinetika dan isoterm adsorpsi kristal violet terhadap adsorben CAFM dan CAKM

C. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah dapat memberikan informasi tentang proses pembuatan dan karakterisasi serta proses adsorpsi karbon aktif magnetit dari tempurung kelapa sawit yang dapat digunakan untuk mengurangi limbah zat warna kristal violet.

II.TINJAUAN PUSTAKA

A. Adsorpsi

Adsorpsi adalah suatu peristiwa penyerapan fisik yang terjadi pada permukaan suatu padatan karena adanya gaya tarik menarik antara zat terlarut dengan permukaan penyerap dimana permukaan penyerap dapat mengatasi gaya tarik menaik tersebut (Oscik, 1982). Dalam peristiwa adsorpsi dikenal istilah adsorbat yaitu zat atau molekul yang terserap ke permukaan padatan dan adsorben yaitu zat yang bertindak menyerap molekul atau zat lain (Sukardjo, 1985).

Secara umum adsorpsi dapat dibagi menjadi 2 jenis yaitu adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia

1. Adsorpsi Fisika (Fisisorpsi)

Adsorpsi fisika terjadi karena adanya gaya van der Walls. Adsorpsi ini membentuk lapisan *multilayer* dengan besarnya energi adsorpsi sekitar 10 kJ/mol. Gaya yang terjadi pada adsorpsi ini adalah gaya fisika sehingga molekul yang teradsorpsi tidak terikat kuat pada adsorben yang mengakibatkan terjadinya proses balik yang cepat (reversible) sehingga mudah untuk digantikan dengan molekul lain (Atkins, 1990). Proses adsorpsi fisika terjadi tanpa memerlukan energi

aktivasi. Ikatan yang terbentuk dalam adsorpsi fisika dapat diputuskan dengan mudah yaitu dengan pemanasan pada suhu sekitar 150-200 ^{o}C selama 2-3 jam.

2. Adsorpsi Kimia (Kemisorpsi)

Adsorpsi kimia terjadi karena adanya gaya kimia yang diikuti oleh reaksi kimia. Pada adsorpsi ini lapisan yang terbentuk yaitu *monolayer* dengan besarnya energi adsorpsi sekitar 100 kJ/mol. Ikatan yang terbentuk antara adsorben dan adsorbat adalah ikatan kimia sehingga sangat sulit untuk dilepaskan kembali (irreversible) karena ikatan yang terjadi sangat kuat. Kemungkinan pelepasan adsorbat dari adsorben pada adsorpsi kimia sangat kecil (Alberty, 1997) karena adsorpsi ini umumnya terjadi pada suhu tinggi di atas suhu kritis adsorbat. Oleh karena itu diperlukan energi yang lebih besar untuk melakukan proses desorpsi untuk memutuskan ikatan antara adsorben dan adsorbat.

Gaya-gaya kimia yang berperan dalam proses adsorpsi yaitu sebagai berikut :

a. Gaya elektrostatik

   Gaya elektrostatik timbul karena adanya gaya tarik menarik antara ion-ion yang memiliki muatan berbeda. Gaya tersebut dapat menimbulkan tarikan ion-ion ke permukaan adsorben yang muatannya berlawanan.

b. Ikatan kovalen

   Ikatan kovalen merupakan ikatan yang dihasilkan dari penggunaan bersama sepasang elektron antara atom-atom yang berikatan. Gaya ini muncul karena tarikan antar elektron yang digunakan bersama dengan inti-inti atom yang

berikatan. Dalam hal ini dapat dipandang sebagai lem untuk menggabungkan kedua atom yang berikatan.

c. Ikatan hidrogen

Ikatan hidrogen dapat terjadi antara molekul jika atom hidrogennya berikatan secara kovalen dengan atom yang sangat elektronegatif (Anonim, 2012).

Faktor-faktor yang mempengaruhi adsorpsi menurut Benefield (1982) yaitu sebagai berikut :

1. Luas permukaan adsorben

   Semakin luas permukaan suatu adsorben maka akan semakin tinggi kapasitas adsorpsinya. Luas permukaan adsorben berbanding lurus dengan situs aktif yang ada pada adsorben sehingga luas permukaan yang tinggi akan memiliki banyak situs aktif yang dapat berikatan dengan adsorbat.

2. Ukuran molekul adsorbat

   Penyerapan adsorbat oleh adsorben pada adsorpsi didasarkan pada pori, sehingga adanya ukuran minimal adsorbat yang berbeda dari setiap adsorpsi.

3. Konsentrasi adsorbat

   Semakin tinggi konsentrasi adsorbat maka akan semakin tinggi adsorpsinya karena konsentrasi yang tinggi akan menghasilkan gaya dorong yang tinggi bagi adsorbat untuk masuk kedalam situs aktif adsorben.

4. Suhu

   Suhu berperan terhadap kecepatan proses adsorpsi karena adsorpsi sendiri merupakan proses kinetika.

5. pH

   pH dapat mempengaruhi proses ionisasi ion hidrogen yang sangat kuat teradsorpsi. Asam organik akan lebih mudah teradsorpsi pada pH rendah sedangkan basa organik akan lebih mudah teradsorpsi pada pH tinggi.

6. Waktu kontak

   Semakin lama waktu kontak antara adsorben dan adsorbat makan proses adsorpsi akan semakin tinggi.

3. Kinetika adsorpsi

Kinetika berarti laju reaksi, adsorpsi yaitu penyerapan suatu molekul zat. Maka dapat diartikan kinetika adsorpsi berkaitan dengan pembahasan mengenai laju reaksi dan bagaimana proses reaksi berlangsung. Menurut Oxtoby (2004) laju reaksi merupakan laju yang didapatkan karena adanya perubahan konsentrasi reaktan dalam suatu satuan waktu pada persamaan reaksi yang setimbang. Laju reaksi bergantung pada konsentrasi reaktan, tekanan, temperatur, dan pengaruh katalis.

Mekanisme adsorpsi dapat diketahui dengan menggunakan persamaan sistem pseudo orde satu oleh Lagergren dan mekanisme pseudo orde kedua (Buhani *et al.*, 2010). Menurut Liu *et al.*, (2004) persamaan yang paling sering digunakan untuk menentukan adsorpsi zat terlarut dalam larutan cairan yaitu persamaan sistem pseudo orde satu.

Persamaan pseudo orde satu ditentukan dengan persamaan berikut ini :

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (1)$$

Dimana :

dq : jumlah ion yang teradsorpsi pada keadaan setimbang (mg/g)

qt : jumlah ion yang teradsorpsi pada waktu tertentu (mg/g)

t : waktu (menit)

k_1 : konstanta laju pseudo orde pertama (menit^{-1})

Persamaan diatas dapat diintegrasi dengan memakai kondisi batas seperti q_t=0 pada t=0 dan q_t=q_t pada t=t, sehingga persamaan berubah menjadi

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (2)$$

Untuk persamaan pseudo orde dua ditentukan dengan persamaan berikut ini :

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (3)$$

Dimana :

q_e : jumlah ion yang teradsorpsi pada keadaan setimbang (mg/g)

q_t : jumlah ion yang teradsorpsi pada waktu tertentu (mg/g),

t : waktu (menit)

k_2 : konstanta laju pseudo orde kedua (dalam g/mmol menit)

Persamaan dapat diintegrasi dengan penggunaan kondisi batas q_t=0 pada t =0 dan q_t=q_t pada t=t, persamaan yang diperoleh yaitu sebagai berikut :

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

Untuk menghitung laju penyerapan awal, h (mg/g) dengan kondisi t=0 dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$h = k_2 q_e^{\ 2} \tag{5}$$

Dimana :

h : laju adsorpsi awal,

q_e : kapasitas adsorpsi kesetimbangan

k_2 : konstanta laju pseudo orde dua

Nilai masing-masing dari h, k_2 dan q_e dapat ditentukan secara eksperimen dari slop dan intersep plot dari t/q_t versus t (Buhani *et al.,* 2013; Buhani *et al.,* 2015; Buhani *et al.,* 2017).

4. Isoterm Adsorpsi

Hubungan yang menyatakan kesetimbangan antara konsentrasi dalam fase cair dan konsentrasi dalam partikel adsorben pada suhu tertentu disebut isoterm adsorpsi. Menurut Atkins (1999) jenis isoterm adsorpsi dapat digunakan untuk mempelajari mekanisme adsorpsi. Adsorpsi fase cair-padat biasanya mengikuti model isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich.

a) Isoterm Adsorpsi Langmuir

Teori model Langmuir ini menyatakan 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*. Dua tahapan yang terjadi selama proses adsorpsi yaitu perpindahan adsorbat dari fasa

larutan ke permukaan adsorben dan adsorpsi adsorbat pada permukaan adsorben. Teori isoterm Langmuir juga menyatakan pada permukaan adsorben terdapat sejumlah sisi aktif yang jumlahnya sebanding dengan luas permukaan adsorben (Buhani *et al.,* 2014). Proses adsorpsi terjadi karena adanya interaksi kimia antara adsorbat dan sisi aktif yang ada pada adsorben (Buhani *et al.,* 2017).

Model isoterm adsorpsi Langmuir dapat dinyatakan dalam persamaan :

$$\frac{C}{m} = \frac{1}{bK} + \frac{C}{b} \qquad (6)$$

Dimana :

C : konsentrasi kesetimbangan (mg/L)

m : jumlah zat yang teradsorpsi per gram adsorben pada konsentrasi C (mmol/g)

b : jumlah zat yang teradsorpsi saat keadaan jenuh(kapasitas adsorpsi) (mg/g)

K : konstanta kesetimbangan adsorpsi (L/mol)

Dari kurva linier hubungan antar C/m versus C dapat ditentukan nilai b dengan cara mengukur kemiringin (slop) dan k dari intersep kurva (Buhani *et al*., 2009; Buhani *et al*., 2010; Buhani *et al*., 2013; Suharso and Buhani, 2011). Energi adsorpsi adalah energi yang dihasilkan apabila satu mol zat teradsorpsi dalam adsorben dan jumlahnya ekuivalen dengan nilai negatif dari perubahan energi bebas Gibbs standar (ΔG^o) yang dapat dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$E_{ads} = -\Delta G^o_{ads} = RT \ln K \qquad (7)$$

Dimana :

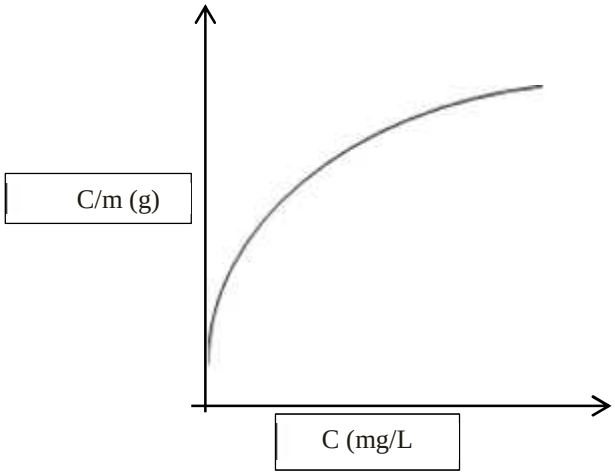
R : tetapan gas umum (8,314 J/mol K)

T : temperatur (K)

K : konstanta kesetimbangan adsorpsi yang diperoleh dari persamaan Langmuir.

Dengan persamaan tersebut maka energi total adsorpsi E harganya sama dengan negatif energi bebas Gibbs standar (Buhani *et al.*, 2012; Buhani *et al.*, 2015; Buhani dan Suharso, 2009; Suharso dan Buhani 2011; Zipora *et al*., 2009).

Grafik isotherm Langmuir ditunjukan pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Model isoterm adsorpsi Langmuir

b) Isoterm Adsorpsi Freundlich

Teori isoterm adsorpsi Freundlich menjelaskan bahwa adsorpsi yang terjadi yaitu bersifat heterogen, artinya tidak semua permukaan adsorben mampu mengalami adsorpsi sehingga lapisan yang dihasilkan dari model adsorpsi ini bersifat *multilayer* (Buhani *et al.*, 2014). Model adsorpsi Freundlich tergolong adsorpsi fisika yang memilik ciri terbentuknya banyak lapisan (*multilayer).*

Model isoterm adsorpsi Freundlich dapat dinyatakan dalam persamaan berikut

$$\log q_e = \log k_f + 1/n \log C_e \qquad (8)$$

Dimana :

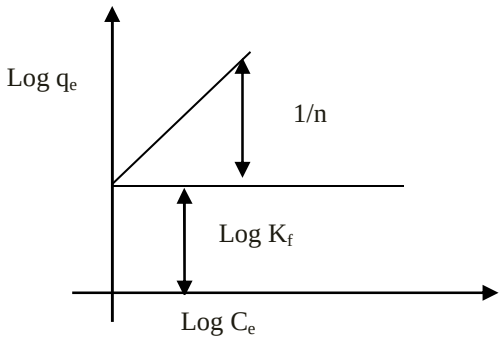
qe : jumlah zat yang teradsorpsi per gram adsorben (mmol/g)

Ce : konsentrasi setimbang adsorbat dalam fase larutan (mg/L)

kf : faktor kapasitas Freundlich (mol/g)

n : faktor intensitas Freundlich

Grafik isotherm Freundlich ditunjukan pada Gambar 2 berikut ini.



Gambar 2. Model isoterm adsorpsi Freundlich

Bentuk linier dapat digunakan untuk menentukan kelinieran data percobaan dengan cara mengeplotkan *C/Q* terhadap *Ce*. Konstanta Freundlich K_f dapat diperoleh dari kemiringan garis lurusnya dan 1/n merupakan harga slop. Bila n diketahui maka K_f dapat dicari, semakin besar harga K_f maka daya adsorpsi akan semakin baik dan dari harga K_f yang diperoleh maka energi adsorpsi akan dapat dihitung (Buhani *et al.*, 2012; Buhani *et al.*, 2013; Buhani *et al.*, 2015).

Untuk menghitung jumlah zat warna yang teradsorpsi, rasio distribusi dan koefisien selektivitas pada proses adsorpsi zat warna terhadap adsorben karbon aktif dapat digunakan persamaan berikut:

$$Q = (C_o - C_e)V/W \quad (9)$$

$$D = Q/Ca \quad (10)$$

$$\alpha = DM1/DM2 \quad (11)$$

Dimana :

Q : jumlah zat warna teradsorpsi (mg/g),

Co/ Ce : konsentrasi awal zat warna sebelum dan setelah adsorpsi (mmol/L)

W : massa adsorben (g),

V : volume larutan zat warna (L)

D : Rasio Distribusi ((L/g)

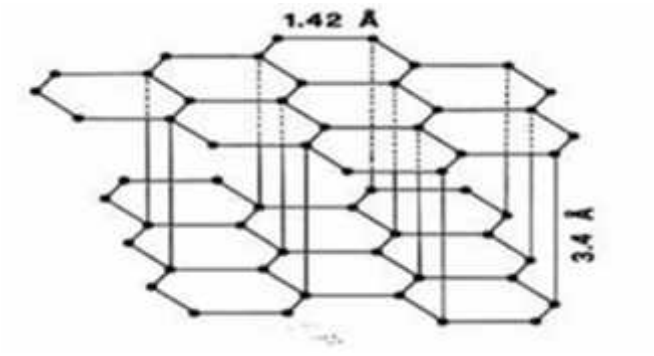
α : Koefisien selektivitas (Buhani *et al*., 2009; Buhani *et al*., 2010; Buhani *et al*., 2012).

B. Karbon aktif

Karbon aktif adalah material berpori yang mengandung unsur karbon, hidrogen, sulfur dan material lainnya. Karbon aktif merupakan hasil dari karbon yang telah diaktivasi sehingga terjadi pengembangan struktur pori. Setelah melalui proses aktivasi karbon aktif akan memiliki jumlah pori yang lebih tinggi dan juga daya adsorpsi yang lebih baik karena selama proses aktivasi senyawa organik yang menutupi pori karbon dan bersifat volatil akan hilang (Austin, 1996).

Menurut Hassler (1974) karbon aktif adalah karbon amorf yang memiliki warna hitam, tidak berbau, tidak mempunyai rasa, higroskopis, dan tidak larut baik dalam air, basa, asam, maupun pelarut organik. Keuntungan yang dimiliki karbon aktif yaitu tidak dapat terdekomposisi ataupun bereaksi setelah digunakan.

Struktur karbon aktif terdiri atas pelat-pelat datar yang tersusun atas atom-atom karbon yang berikatan kovalen dalam satu kisi berbentuk heksagonal yang mirip seperti grafit.



Gambar 3. Struktur grafit karbon aktif (Hartanto dan Ratnawati, 2010).

Proses pembuatan karbon aktif terdiri dari 4 tahapan yaitu sebagai berikut:

1. Pemilihan bahan dasar

   Berbagai macam bahan dapat dibuat menjadi karbon aktif selama bahan tersebut mengandung unsur karbon. Selain mengandung unsur karbon, kriteria lain yang harus dimiliki bahan dasar karbon aktif yaitu unsur anorganik yang rendah, ketersediaan bahan (tidak mahal dan mudah didapat), memiliki daya tahan yang baik, dan mudah untuk diaktivasi (Marsh dan Fransisco, 2006).

2. Dehidrasi

   Dehidrasi adalah proses penghilangan kadar air dalam bahan dasar yang bertujuan untuk menyempurnakan proses karbonisasi. Dehidrasi dapat dilakukan dengan cara menjemur bahan dasar dibawah sinar matahari langsung atau memanaskannya dalam oven.

3. Karbonisasi

Karbonisasi adalah proses pembakaran atau pengarangan karbon pada suhu tertentu dengan jumlah oksigen yang sangat terbatas yang biasa disebut dengan pirolisis. Karbonisasi bertujuan untuk menghilangkan zat-zat yang mudah menguap yang menutupi pori-pori karbon. Hilangnya zat yang mudah menguap dari karbon akan membuat struktur pori-pori mulai terbuka. Pada proses karbonisasi inilah struktur pori awal berubah.

Proses karbonisasi dihentikan bila tidak mengeluarkan asap lagi. Proses pada suhu tinggi memang diperlukan untuk mempercepat pembentukan pori namun perlu ada pembatasan suhu karena suhu yang terlalu tinggi dapat mengakibatkan pembentukan abu yang terlalu banyak sehingga dapat menutupi pori-pori dan menurunkan luas pemukaan karbon aktif. Proses pemurnian karbon terjadi pada suhu 500-800 ^{o}C yang menghasilkan hampir 80% unsur karbon (Marsh dan Fransisco, 2006)

4. Aktivasi

Aktivasi adalah proses lanjutan dari karbonisasi untuk meningkatkan jumlah pori dan daya adsorpsi karbon aktif. Selama proses karbonisasi masih terdapat beberapa senyawa yang melekat pada karbon sehingga perlu dilakukan proses aktivasi untuk menghilangkan sisa-sisa zat yang masih menutupi pori. Proses aktivasi akan membuka, menambah atau mengembangkan volume pori dan memperbesar diameter pori yang telah ada selama proses karbonisasi. Setelah melalui proses aktivasi karbon aktif akan mengalami perubahan sifat, baik fisika maupun kimia (Budiono dkk, 2010). Proses Aktivasi dibagi menjadi 2 macam yaitu :

a. Aktivasi fisika

Aktivasi secara fisika dilakukan dengan cara membakar karbon pada suhu tinggi. Agen pengaktivasi yang digunakan yaitu gas CO_2 , O_2 atau uap air yang terbentuk pada suhu tinggi yaitu sekitar 500-800 ^oC yang bertindak sebagai gas pengoksidasi, gas ini akan bereaksi dengan karbon dan melepaskan karbon monoksida dan hidrogen bila digunakan gas pengoksidasi uap air. Senyawa-senyawa produk samping akan terlepas dari karbon aktif sehingga luas pori akan bertambah dan daya adsorpsi meningkat. Reaksi gasifikasi antara karbon dengan gas CO_2 dan uap air adalah reaksi endotermis sebagai berikut :

$C + H_2O \rightarrow CO + H_2$ (117 kJ/mol)

$C + CO_2 \rightarrow 2\ CO$ (159 kJ/mol)

Sedangkan reaksi gasifikasi antara karbon dan oksigen adalah reaksi eksotermis sebagai berikut :

$C + O_2 \rightarrow CO_2$ (-406 kJ/mol)

Pada proses aktivasi fisika terjadi pengurangan massa karbon aktif yang cukup besar karena terjadi pembentukan struktur karbon (Marsh and Fransisco, 2006).

b. Aktivasi kimia

Aktivasi secara kimia menggunakan bahan kimia sebagai agen pengaktivasi. Senyawa kimia yang digunakan akan memutus rantai karbon dari senyawa organik dan juga mampu mengikat air pada karbon yang tidak lepas selama

proses karbonisasi sehingga dapat menyebabkan daya serap karbon aktif lebih baik.

Agen pengaktivasi yang sering digunakan yaitu larutan kimia yang bersifat asam (H_3PO_4 dan H_2SO_4), basa (KOH dan NaOH) serta larutan garam dari logam alkali maupun alkali tanah ($ZnCl_2$ dan NaCl) (Dabrowski *et al.*, 2005).

C. Tempurung kelapa sawit

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditas andalan Indonesia. Kelapa sawit banyak dimanfaatkan dalam bidang industri pengolahan minyak yaitu *crude palm oil* (CPO).

Klasifikasi kelapa sawit adalah sebagai berikut:

Divisi : Spermatophyta

Sub divisi : Angiospermae

Kelas : Dicotyledonae

Keluarga : Palmaceae

Sub keluarga : Cocoideae

Genus : *Elaeis*

Spesies : *Elaeis guineensis* J.

Dari pengolahan kelapa sawit menjadi CPO akan dihasilkan limbah industri. Salah satu limbah yang dihasilkan yaitu limbah padat berupa tempurung kelapa sawit yang mencapai jumlah hingga 60% dari produksi minyak. Limbah tempurung kelapa sawit berwarna hitam keabuan, bentuk tidak beraturan, dan

memiliki kekerasan cukup tinggi (Purwanto, D. 2011). Tempurung kelapa sawit merupakan bagian yang paling keras pada komponen kelapa sawit. Tempurung kelapa sawit yang dapat digunakan sebagai karbon aktif harus melalui proses karbonisasi dan aktivasi (Darmawan, 2009).

Gambar 4. Tempurung kelapa sawit (Rasmawan, 2009)

Kandungan selulosa yang cukup besar yaitu sebesar 45% dan hemiselulosa 26% menyebabkan tempurung kelapa sawit ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar pembuatan karbon aktif. Selain itu, kandungan air dan abu tempurung kelapa sawit juga cukup untuk dijadikan bahan dasar karbon aktif.

Tabel 1. Karakterisasi tempurung kelapa sawit (Kim, 1988).

No	Parameter	Hasil (%)
1	Kadar air	7,8
2	Kadar abu	2,2
3	Kadar yang menguap	69,5
4	Karbon aktif murni	20,5

D. Magnetit

Oksida besi dialam memiliki banyak bentuk diantaranya: magnetit, maghemite, dan hematite. Magnetit dikenal sebagai oksida besi berwarna hitam (*black iron oxide*) atau ferrous ferrite yang merupakan oksida logam yang paling kuat sifat magnetisnya (Teja and Koh, 2009).

Menurut Dung (2009), Fe_3O_4 dapat dihasilkan dari endapan campuran $FeCl_2 \cdot 4H_2O$ dan $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ dalam suasana basa. Magnetit ini akan bersifat super paramagnetit ketika ukuran suatu partikel magnetisnya dibawah 10 nm pada suhu ruang. Oleh karena itu, sintesis nanopartikel yang seragam dengan mengatur ukurannya menjadi salah satu kunci masalah dalam ruang lingkup sintesis magnetit (Hook and Hall, 1991).

Sintesis magnetit dilakukan dalam suasana basa dengan menggunakan senyawa $FeSO_4$ sebagai sumber magnetit. Reaksi yang terjadi yaitu sebagai berikut :

Mula-mula senyawa NaOH dan $FeSO_4$ akan terionisasi sebagai berikut:

$$NaOH \rightarrow Na^+ + OH^-$$
$$FeSO_4 \rightarrow Fe^{2+} + SO_4^{2-}$$

Bila kedua senyawa tersebut bercampur maka ion Fe^{2+} akan bereaksi dengan ion OH^- seperti reaksi dibawah ini

$$Fe^{2+}_{(aq)} + 2OH^-_{(aq)} \rightarrow FeOOH_{(aq)} + H^+$$
$$FeSO_{4(aq)} + 2NaOH_{(aq)} \rightarrow FeOOH_{(aq)} + H^+_{(aq)} + SO_4^-{}_{(aq)} + 2Na^+_{(aq)}$$

Selanjutnya FeOOH akan terdisosiasi untuk membentuk inti Fe_2O_3 dan membentuk senyawa magnetit Fe_2O_3 seperti reaksi dibawah ini:

$$FeOOH(aq) \rightarrow Fe_2O_{3(s)} + H_2O_{(l)}$$

E. Zat warna

Zat warna yaitu senyawa organik berwarna yang digunakan untuk memberi warna pada suatu objek. Proses terjadinya warna yang paling umum adalah dengan absorpsi cahaya dari panjang gelombang tertentu oleh suatu zat. Senyawa organik dengan konjugasi yang tinggi dapat menyerap cahaya pada panjang gelombang sekitar 4000 Å. Warna juga dapat dibentuk dari senyawa anorganik kompleks. Zat warna tekstil bersifat sulit diuraikan oleh bakteri biasa ataupun panas sehingga menyebabkan tingginya kadar zat warna dalam perairan yang dapat mempengaruhi kehidupan dalam air (Sugiharto, 1989).

Limbah zat warna merupakan senyawa organik non-biodegradable yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan terutama lingkungan perairan. Limbah zat warna yang dihasilkan dari proses pencelupan akan menjadi salah satu sumber pencemar air jika tidak dilakukan pengolahan terlebih dahulu. Senyawa zat warna di lingkungan perairan sebenarnya dapat mengalami dekomposisi secara alami oleh adanya cahaya matahari, namun reaksi ini berlangsung relatif lambat karena intensitas cahaya UV yang sampai ke permukaan bumi relatif rendah sehingga terakumulasinya zat warna ke dasar perairan atau tanah lebih cepat daripada fotodegradasinya (Dae-Hee *et al.*, 1999).

F. Kristal violet

Metil violet termasuk zat warna golongan trifenilmetana yang digunakan secara intensif untuk mewarnai nilon, nilon yang dimodifikasi poliakrilonitril, wol, sutera, dan kapas. Beberapa diantaranya dimanfaatkan untuk kegunaan medis dan

biologis. Metil violet bersifat persisten dan sulit dibiodegradasi. Berdasarkan studi yang dilakukan Azmi *et al*.,(1998) didapatkan bahwa anilin yang ada dalam metil violet bersifat toksik, mutagenik dan karsinogenik. Bahan kimia ini dapat memicu tumor pada beberapa spesies ikan yang hidup di dasar perairan (Azmi *et al.*, 1998). Metil violet mempunyai diameter 110 Å dan kromofor pada kationnya sehingga dikelompokkan dalam zat warna basa (Ozacar dan Sengil, 2006).

Metil violet terdiri dari beberapa jenis berdasarkan jumlah gugus metil yang terikat yaitu metil violet 2B (tetrametil), metil violet 6B (Pentametil), dan metil violet 10B (hexamethyl). Salah satu yang umum digunakan dalam industri yaitu metil violet 10B atau yang lebih dikenal sebagai kristal violet.

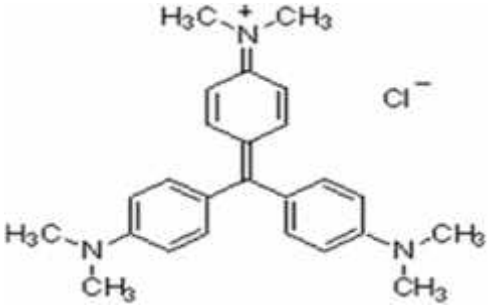
Kristal violet atau ungu gentian (juga dikenal sebagai metil ungu 10B atau hexamethyl pararosaniline chloride) merupakan zat warna golongan trifenilmetana yang umum digunakan sebagai pewarna tekstil, percetakan, pembuatan kertas, dan pewarnaan kulit (Ayed dkk., 2009), selain itu kristal violet juga digunakan untuk pewarnaan histologi di kedokteran hewan dan pewarnaan pada bakteri gram negatif. Nama gentian violet awalnya digunakan untuk campuran pewarna pararosaniline metil (metil violet) tetapi sekarang sering dianggap sebagai sinonim untuk kristal violet.

Kristal violet pertama kali diproduksi oleh perusahaan Saint-Denis yang awalnya dipasarkan dengan nama “violet de paris”. Zat ini terbuat dari campuran tetra, penta, dan hexamethyl pararosaniline (Lauth, 1867). Karakteristik umum kristal violet dijelaskan pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Karakterisasi kristal violet (Tharcila *et al.*, 2013).

Nama ilmiah	Kristal violet
indeks warna	CI 42555
λ maks(nm)	590
Massa molar (g/mol)	408
Rumus kimia	$C_{25}H_{30}N_3Cl$

Kristal violet adalah senyawa yang terdiri dari 3 cincin yang masing-masing mengikat N. Pada unsur N terikat masing-masing 2 gugus metil seperti yang terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Struktur kristal violet (Tharcila *et al.*, 2013).

G. Karakterisasi

1. Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometer UV–Vis adalah alat yang digunakan untuk menganalisis sampel menggunakan sumber radiasi elektromagnetik dari sinar ultraviolet dan sinar tampak. Spektrofotometri adalah penyerapan ultraviolet dan sinar tampak oleh suatu molekul yang dapat menyebabkan eksitasi elektron dari tingkat energi dasar ke tingkat energi yang lebih tinggi (Sumar, 1994).

Prinsip kerja spektrofotometer UV-Vis yaitu cahaya polikromatis yang berasal dari lampu deuterium atau wolfram diteruskan melalui lensa menuju

monokromator pada spektrofotometer dan filter cahaya pada fotometer sehingga cahaya diubah menjadi monokromatis. Berkas cahaya dengan panjang gelombang tertentu akan dilewatkan pada sampel dengan konsentrasi tertentu sehingga terdapat cahaya yang diserap (diabsorpsi) dan dilewatkan. Cahaya yang dilewatkan akan menuju detektor kemudian oleh detektor cahaya yang diterima akan dihitung sehingga cahaya yang terabsorpsi oleh sampel dapat diketahui. Cahaya yang diserap sama dengan konsentrasi zat yang terkandung dalam sampel sehingga akan diketahui konsentrasi zat dalam sampel secara kuantitatif (Khopkar, 1984).

2. Analisis Morfologi Permukaan

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah alat yang digunakan untuk mengetahui morfologi permukaan suatu sampel. Untuk mengetahui karakterisasi material yang heterogen pada permukaan bahan pada skala mikrometer atau bahkan submikrometer serta menentukan komposisi unsur sampel secara kualitatif maupun kuantitatif dapat dilakukan dengan menggunakan satu perangkat alat SEM yang dirangkai dengan *Energy Dispersive X-Ray* (EDX).

SEM adalah salah satu jenis mikroskop yang menggunakan elektron sebagai pengganti cahaya untuk melihat benda dengan resolusi tinggi sehingga hasil yang diperoleh dari analisis dengan SEM yaitu bentuk, struktur, serta distribusi pori pada permukaan bahan sedangkan dengan EDX dapat diketahui komposisi serta kadar unsur dalam sampel.

Cara kerja SEM yaitu gelombang elektron dari *electron gun* terkondensasi pada lensa kondensor dan terfokus menjadi titik yang jelas pada lensa objektif. *Scanning coil* yang diberi energi menyediakan medan magnet untuk sinar elektron. Berkas sinar yang mengenai cuplikan akan menghasilkan sinar elektron sekunder yang dikumpulkan oleh detektor sekunder. Gambar yang dihasilkan terdiri dari ribuan titik dengan berbagai intensitas di permukaan *Cathode Ray Tube* (CTB) sebagai topografi gambar (Kroschwitz, 1990). Pada sistem ini elektron akan dikonsentrasikan pada spesimen dan bayangannya diperbesar dengan lensa objektif dan diproyeksikan pada layar (Gabriel, 1993).

Prinsip kerja EDX yaitu analisis kualitatif yang dilakukan dengan cara menentukan energi dari puncak yang ada dalam spektrum dan membandingkan dengan tabel energi emisi sinar-x dari unsur-unsur yang sudah diketahui selain mengetahui keberadaan suatu unsur dalam sampel, hasil analisis EDX juga dapat menunjukkan konsentrasi unsur tersebut. Untuk melakukan analisa kuantitatif maka perlu dilakukan beberapa proses antara lain meniadakan *background*, dekonvolusi peak yang bertumpang tindih dan menghitung konsentrasi unsur (Larry, 2001).

3. *X-Ray Diffraction* (XRD)

XRD adalah suatu alat analisis terdiri dari tiga bagian utama yaitu tabung sinar-X, tempat objek yang diteliti, dan detektor sinar-X. Prinsip kerja XRD secara umum yaitu tabung sinar-X yang berisi katoda menghasilkan sinar-X untuk memanaskan filamen sehingga menghasilkan elektron. Adanya perbedaan tegangan akan

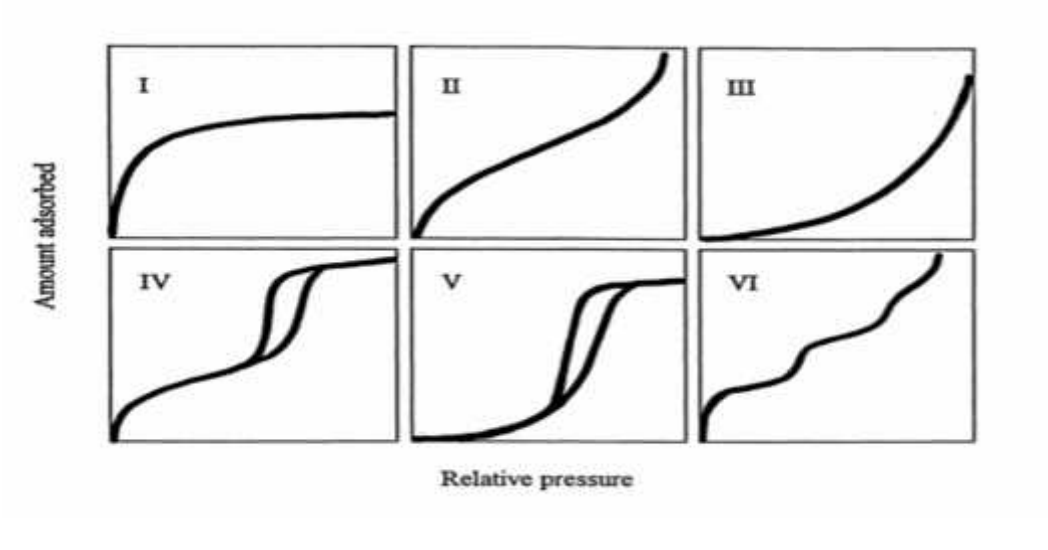
menyebabkan percepatan elektron untuk menembaki objek. Ketika elektron memiliki energi yang tinggi dan menabrak elektron dalam objek maka akan dipancarkan sinar-X. Objek dan detektor berputar untuk menangkap dan merekam intensitas refleksi sinar-X. Detektor akan merekam dan memproses sinyal sinar-X dan mengolahnya dalam bentuk grafik (Ratnasari, 2009).

Bila seberkas sinar-X dijatuhkan pada sampel kristal, maka bidang kristal itu akan membiaskan sinar-X yang memiliki panjang gelombang yang sama dengan jarak antar kisi dalam kristal tersebut. Sinar yang dibiaskan akan ditangkap oleh detektor kemudian diterjemahkan sebagai sebuah puncak difraksi. Makin banyak bidang kristal yang terdapat dalam sampel, makin kuat intensitas pembiasan yang dihasilkannya. Tiap puncak yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi. Puncak-puncak yang didapatkan dari data pengukuran ini kemudian dicocokkan dengan standar difraksi sinar-X untuk hampir semua jenis material (Ratnasari, 2009).

4. Karakterisasi Luas Permukaan

Analisis luas permukaan dapat dilakukan menggunakan metode BET. Metode BET dikembangkan tahun 1938 oleh Brunauer-Emmet-Teller dengan menggunakan 2 jenis pengukuran yaitu *single point* dan *multi point*. Pengukuran *single point* dilakukan bila profil isoterm telah diketahui dan dilaksanakan pada suatu nilai tekanan parsial adsorbat dimana isotermnya bersifat linier. Sedangkan pengukuran *multi point* dilakukan bila profil isotermnya belum diketahui dan dapat dilakukan dengan memvariasikan nilai tekanan parsial adsorbat pada

rentang 0,05 < (P/P_o) < 0,35. Bila adsorbat yang digunakan adalah gas nitrogen maka nitrogen cair digunakan sebagai media cair pendinginnya. Melalui analisis BET dapat diketahui volume pori-pori total dan diameter pori rata-rata (Slamet *et al.*, 2007).



Gambar 6. Enam tipe isoterm adsorpsi-desorpsi

Berdasarkan IUPAC adsorpsi-desorpsi gas N_2 diklasifikasikan menjadi 6 tipe (Gambar 6). Tipe I menjelaskan adsorpsi oleh adsorben mikropori. Tipe II dan III menjelaskan adsorpsi oleh adsorben makropori diikuti dengan kuat-lemahnya interaksi antara adsorben dan adsorbat. Tipe IV dan V menjelaskan adsorpsi oleh adsorben mesopori. Tipe VI menjelaskan pola adsorpsi yang terdiri lebih dari satu tahapan (Donohue and Aranovich 1998). Adsorben mesopori cenderung membentuk lapisan *multilayer* saat proses adsorpsi (Jin and Kang, 2011).

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini telah dilakukan pada bulan Januari-Mei 2018 di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik Universitas Lampung (Unila). Analisis *X-Ray Diffraction* (XRD) dilakukan di Laboratorium FMIPA Institut Teknologi Sepuluh November (ITS). Analisis morfologi permukaan dan komposisi unsur pada karbon aktif menggunakan *Scanning Electron Microscope* yang dirangkai dengan *Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) dilakukan di Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) Universitas Lampung (Unila). Analisis luas permukaan karbon aktif dengan menggunakan metode BET dilakukan di Laboratorium Teknik Kimia Institut Teknologi Bandung (ITB) dan analisis hasil adsorpsi kristal violet menggunakan spektrofotometer UV-Vis dilakukan di Laboratorium Botani FMIPA Universitas Lampung (Unila).

B. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain peralatan gelas, spatula, neraca analitik, pengaduk magnet, cawan porselin, alat pengaduk, Spektrofotometer UV-Vis, XRD, tanur tipe Heraus KR170E0, SEM-EDX tipe JEOL-JSM-6510LA, dan penganalisis luas permukaan tipe NOVA touch 4LX.

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu tempurung kelapa sawit dari PT. ISAB Provinsi Lampung, kristal violet, $FeSO_4 \cdot 7\ H_2O$, KNO_3, NaOH, alumunium foil, kertas saring, kertas indikator universal, dan akuades.

C. Posedur Penelitian

1. Preparasi dan pembuatan karbon

Tempurung kelapa sawit yang diperoleh dari PT. ISAB Provinsi Lampung dibersihkan dan dikeringkan dibawah sinar matahari. Tempurung kelapa sawit yang telah bersih selanjutnya dikarbonisasi dengan cara dibakar didalam drum selama kurang lebih 6 jam sehingga diperoleh karbon tempurung kelapa sawit yang selanjutnya dihaluskan menggunakan alat penggiling lalu diayak dengan pengayakan berukuran 200 mikron. Karbon tempurung kelapa yang lolos dari ayakan selanjutnya diaktivasi dengan 2 cara yaitu aktivasi secara fisika dan dilanjutkan aktivasi secara kimia

2. Aktivasi Karbon

a) Aktivasi Fisika

Proses aktivasi secara fisika dilakukan dengan cara menimbang 240 gram karbon yang telah diayak kemudian dibakar dalam tanur pada suhu 700 ^{o}C selama 1 jam. Kemudian didinginkan dalam desikator hingga suhunya stabil (Khuluk, 2016) dan diperoleh karbon aktif fisika (CAF)

b) Aktivasi Fisika-Kimia

Karbon aktif hasil aktivasi fisika diambil sebanyak 100 gram lalu direndam dalam 270 mL larutan H_3PO_4 10% selama 24 jam. Selanjutnya karbon aktif disaring dan dicuci dengan akuades hingga pH 6 dan dikeringkan dalam oven pada suhu 100 ^oC selama 1 jam dan didinginkan dalam desikator hingga suhunya stabil (Khuluk, 2016) diperoleh karbon aktif fisika-kimia (CAK)

3. Pembuatan Karbon Aktif Magnetit

Proses pembuatan karbon aktif-magnetit dilakukan dengan cara memvariasikan massa $FeSO_4$•7 H_2O yaitu 27; 54; dan 72 gram yang masing-masing dilarutkan didalam 200 mL akuades dan ditambahkan 50 gram karbon aktif hasil aktivasi fisika. Selanjutnya suspensi dipanaskan pada suhu 80 ^oC selama 2 jam. Kemudian ditambahkan 50 mL larutan basa yang terbuat dari campuran 2,25 gram KNO_3 dan 15 gram NaOH tetes demi tetes sambil diaduk secara konstan dengan alat pengaduk magnet. Selanjutnya suspensi yang dihasilkan disonikasi pada suhu 80 ^oC selama 1 jam. Setelah itu suspensi yang dihasilkan dari sonikasi disimpan semalam kemudian disaring dan dicuci dengan akuades hingga pH 6. Selanjutnya karbon aktif fisika-magnetit yang dihasilkan dikeringkan dalam oven pada suhu 60 ^oC sampai kering (Wong *et al.*, 2015) dan diperoleh karbon aktif fisika magnetit (CAFM). Hal yang sama dilakukan pada karbon aktif kimia sehingga diperoleh karbon aktif kimia magnetit (CAKM).

4. Karakterisasi Karbon Aktif

Karbon aktif yang dihasilkan yaitu CAF dan CAK serta karbon aktif magnetit yaitu CAFM dan CAKM dikarakterisasi dengan XRD untuk mengetahui adanya magnetit pada karbon aktif, SEM untuk mengetahui morfologi permukaan adsorben, dan metode BET untuk mengetahui luas permukaan adsorben..

5. Menentukan Panjang Gelombang Maksimum Kristal Violet

Pada penelitian ini untuk mengetahui panjang gelombang maksimum kristal violet dilakukan dengan cara mengukur larutan kristal violet 10 mg/L pada panjang gelombang 300-650 nm.

6. Membuat Kurva Standar

Pembuatan kurva standar dilakukan dengan cara mengukur nilai absorbansi larutan kristal violet dari konsentrasi 0,1 sampai 0,7 mg/L pada panjang gelombang 591 nm. Setelah dilakukan pengukuran absorbansi larutan kristal violet maka dibuat kurva yang berupa garis lurus hubungan antara nilai absorbansi dan konsentrasi.

7. Uji Adsorpsi

a) Pengaruh dosis adsorben

Sebanyak 0,05 gram adsorben dimasukkan masing-masing kedalam 7 erlenmeyer yang berisi 20; 25; 30; 40; 50; 60; 70; dan 80 mL larutan kristal violet 10 mg/L

kemudian diaduk dengan alat pengaduk selama 1 jam. Setelah itu larutan dipisahkan dengan teknik sentrifugasi selama 15 menit. Filtrat yang diperoleh diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 591 nm.

b) Pengaruh pH

Sebanyak 25 mL larutan kristal violet 10 mg/L dimasukkan dalam 8 erlenmeyer kemudian larutan dibuat pada variasi pH 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, dan 10. Penurunan pH dilakukan dengan penambahan larutan HCL 0,1 M dan peningkatan pH dilakukan dengan penambahan larutan NaOH 0,1 M. Setelah itu ditambahkan larutan buffer pada masing-masing erlenmeyer, buffer asetat untuk mempertahankan pH 3 sampai 6, buffer phospat untuk pH 7 dan 8, dan buffer universal untuk pH 9 dan 10. Lalu ditambahkan adsorben sebanyak 0,05 gram kemudian larutan diaduk selama 1 jam dengan alat pengaduk. Setelah itu larutan dipisahkan dengan teknik sentrifugasi selama 15 menit. Filtrat yang diperoleh diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 591 nm.

c) Pengaruh Waktu Kontak

Sebanyak 25 mL larutan kristal violet 10 mg/L dimasukkan dalam 5 erlenmeyer dibuat pada pH optimum dan ditambahkan adsorben sebanyak 0,05 gram kemudian diaduk dengan alat pengaduk dengan variasi waktu yaitu 0, 15, 30, 60, 90, dan 120 menit. Setelah itu larutan dipisahkan dengan teknik sentrifugasi selama 15 menit. Filtrat yang diperoleh diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 591 nm.

d) Isoterm Adsorpsi

Sebanyak 25 mL larutan kristal violet dengan variasi konsentrasi 0,10, 25, 50, 100, 150, 200, 300, dan 400 mg/L masing-masing dimasukkan dalam 8 erlenmeyer lalu dibuat pada pH optimum dan ditambahkan adsorben sebanyak 0,05 gram. Kemudian diaduk menggunakan alat pengaduk pada waktu kontak optimum. Setelah itu larutan dipisahkan dengan teknik sentrifugasi selama 15 menit. Filtrat yang diperoleh diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 591 nm.

e) Adsorpsi Simultan

Sebanyak 12,5 mL larutan kristal violet dengan konsentrasi optimum dicampur dengan 12,5 mL larutan metilen biru dengan konsentrasi optimum. Kemudian campuran tersebut dibuat pada pH optimum dan ditambahkan adsorben sebanyak 0,05 gram. Selanjutnya larutan diaduk dengan alat pengaduk pada waktu kontak optimum. Setelah itu larutan dipisahkan dengan teknik sentrifugasi selama 15 menit dan filtrat yang dihasilkan diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 591 nm untuk kristal violet dan 664 nm untuk metilen biru.

f) Adsorpsi Sekuensial

Sebanyak 25 mL larutan kristal violet dengan konsentrasi optimum dibuat pada pH optimum dan ditambahkan adsorben sebanyak 0,05 gram. Kemudian larutan diaduk dengan alat pengaduk pada waktu kontak optimum. Setelah itu larutan

dipisahkan dengan teknik sentrifugasi selama 15 menit. Filtrat yang diperoleh diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 591 nm sedangkan endapan yang diperoleh dicuci dengan akuades dan dimasukkan dalam 25 mL larutan metilen biru dengan konsentrasi optimum dan pada pH optimum. Kemudian larutan diaduk menggunakan alat pengaduk pada waktu kontak optimum. Setelah itu, larutan dipisahkan dengan teknik sentrifugasi selama 15 menit dan filtrat yang diperoleh diukur dengan alat spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 664 nm. Hal yang sama dilakukan dengan menggunakan larutan awal metilen biru.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Modifikasi karbon aktif dengan pelapisan megnetit telah berhasil dilakukan ditandai dengan muculnya unsur Fe pada hasil karakterisasi menggunakan EDX untuk adsorben CAFM dan CAKM. Selain itu, pada difragtogram CAFM dan CAKM munculnya puncak-puncak pada daerah 2θ masing-masing sebesar 30.02; 35,52; 43,08; 53,63 dan 56,95^{o} yang sama dengan puncak pada difragtogram magnetit yang membuktikan bahwa magnetit telah menempel pada permukaan karbon aktif.

2. Adsorpsi kristal violet oleh CAF, CK, CAFM, dan CAKM optimum pada pH 10 dengan waktu kontak 120 menit.

3. Laju adsorpsi larutan kristal violet terhadap CAF, CAK, CAFM, dan CAKM cenderung mengikuti persamaan kinetika pseudo orde dua serta model isoterm adsorpsi cenderung pada isoterm adsorpsi Freundlich dengan nilai koefisien korelasi masing-masing mendekati 1. Kapasitas adsorpsi kristal violet oleh CAFM dan CAKM pada konsentrasi awal 400 mg/L, pH interaksi 10, dan waktu kontak 120 menit, rata-rata sebesar 188,604 mg/g adsorben.

B. Saran

Pada penelitian lebih lanjut disarankan :

1. Melakukan uji adsorpsi pada karbon aktif magnetit terhadap zat warna lain atau logam berat.

2. Menggunakan bahan awal selain $FeSO_4 \bullet 7H_2O$ sebagai sumber magnetit yaitu $FeCl_3$.

DAFTAR PUSTAKA

Alberty, R. A. 1997. *Physical Chemistry*. John Willey and Sons Inc. New York.

Andayani, W. dan A. Sumartono. 1999. Aplikasi Radiasi Pengion dalam Penguraian Limbah Industri Radiolisis Larutan Standar Zat Warna Reaktif Cibacron Violet 2R. *Batan (Online)*. **1** (27): 37.

Atkins, P. W. 1990. *Physical Chemistry*. Oxford University Press. London.

Au, W., Pathak, S., Collie, C. J., Hsu, T.C. 1978. Cytogenic Toxicity of Gentian Violet and Crystal Violet on Mammalian Cells in Vitro. *Mutation Research/Genetic Toxicology*. **58** (2-3): 269-276.

Austin, G.T. 1996. *Industri Proses Kimia.* Erlangga. Jakarta.

Ayed, L., Cheriaa J., Laadhari N.,Cheref, A., and Bakhrouf A. 2009. Biodegradation of Crystal Violet by an Isolated *Bacillus* sp. *Annals Microbiol*. **59**: 267-272.

Azmi W., Sani R.K., Banerjee U.C. 1998. *Biodegradation of Triphenilmethane Dyes.* Institute of Microbial Technology. India.

Benefield, L. D. 1982. *Process Chemistry For Water and Wastewater Treatment.* Prentice Hall Inc. New Jersey.

Budiono, A., Suhartana, dan Gunawan. 2009. Pengaruh Aktivasi Arang Tempurung Kelapa dengan Asam Sulfat dan Asam Posfat untuk Adsorpsi Fenol. *E-Journal Universitas Diponegoro*. **55**: 1-12.

Buhani and Suharso. 2009. Immobilization of Nannochloropsis sp Biomass by Sol-Gel Technique as Adsorbent of Metal Ion Cu (II) from Aqueous Solutions. *Asian Journal Of Chemistry*. **21** (5): 3799-3808.

Buhani and Suharso. 2012. Modifikasi Silika dengan 3 Aminopropiltrimetoksisilan melalui Proses Sol Gel untuk Adsorpsi Ion Cd (II) dari Larutan. *Jurnal Sains MIPA Universitas Lampung.* **8** (3).

Buhani and Suharso. 2010. The Influence of pH Towards Multiple Metal Ion Adsorption of Cu (II), Zn (II), Mn (II), and Fe (II) on Humic Acid. *Indonesian Journal of Chemistry*. **6** (1): 43-46.

Buhani, D Herasari, Suharso, and S.D Yuwono. 2017. 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, D. S. Pratama, Suharso, and Rinawati. 2017. Modification of Chaetoceros sp. Biomass with Silica-Magnetite Coating and Adsorption Studies towards Cu(II) Ions in Single and Binary System. *Asian Journal of Chemistry*. **29** (12): 2734-2739.

Buhani, Narsito, Nuryono, E Sri Kunarti, 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, Rinawati, Suharso, D. P. Yuliasari, and S. D. Yuwono. 2017. Removal of Ni(II), Cu(II), and Zn(II) Ions from Aqueous Solution Using Tetraselmis sp. Biomass Modified with Silica Coated Magnetite Nanoparticles. *Desalination and Water Treatment*. **80**: 203-213.

Buhani, Suharso, 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, Suharso, and A.Y. Fitriyani. 2013. Comparative Study of Adsorption Ability of Ni (II) and Zn (II) Ionic Imprinted Amino-Silica Hybrid Toward Target Metal in Solution. *Asian Journal of Chemistry*. **25** (5): 2875-2880.

Buhani, Suharso, and H Satria. 2011. Hybridization of Nannochloropsis sp Biomass-Silica Through Sol-Gel Process to Adsorb Cd (II) Ion in Aqueous Solutions. *European Journal of Scientific Research*. **51** (4): 467-476.

Buhani, Suharso, and L Aprilia. 2012. Chemical Stability and Adsorption Selectivity on Cd^{2+} Ionic Imprinted Nannochloropsis sp Material with Silica Matrix from Tetraethyl orthosilicate. *Indonesian Journal of Chemistry*. **12** (1): 94-99.

Buhani, Suharso, and Sumadi. 2010. Adsorption Kinetics and Isotherm of Cd(II) Ion on Nannochloropsis sp Biomass Imprinted Ionic Polymer. *Desalination*. **259** (1-3):140-146.

Buhani, Suharso, and Sumadi. 2012. Production of Ionic Imprinted Polymer from Nannochloropsis sp Biomass and Its Adsorption Characteristics Toward Cu (II) Ion in Solutions. *Asian Journal Of Chemistry*. **24** (1): 133-140.

Buhani, Suharso, and Z. Sembiring. 2010. Biosorption Of Metal Ions Pb (II), Cu (II), and Cd (II) on Sargassum Duplicatum Immobilized Silica Gel Matrix. *Indonesian Journal of Chemistry*. **6** (3): 245-250.

Buhani, Suharso, and Z. Sembiring. 2012. Immobilization of Chetoceros sp Microalgae with Silica Gel through Encapsulation Technique as Adsorbent of Pb Metal from Solution. *Oriental Journal of Chemistry*. **28** (1): 271-278.

Cabrera, L., S.Gutierrez, N. Menendes, M.P.Morales, and P. Herrasti. 2008 . Magnetite Nanoparticles: Electrochemical Synthesis and Characterization. *Electrochimica Acta.* **53** (8): 3436-3441.

Chakraborty, S., S. Chowdury, and P. D. Saha. 2011. Adsorpstion of Crystal Violet from Aqueous Solution onto NaOH-Modified Rice Husk. *Carbohydrate Polymers.* **86** (4): 1533-1541.

Dabrowski, A., P. Podkoscielny, Z. Hubicki, and M. Barczak. 2005. Adsorption of Phenolic Compounds by Activated Carbon. *Chemosphere*. **58** (8): 1049-1070.

Dae-Hee, A., Won-Soek C., Tai-II Y. 1999. Dye Stuff Waste Water Treatment Using Chemical Oxidation, Physical Adsorption and Fixed Bed Biofilm Process. *Process Biochemistry.* **34** (5): 429-439.

Darmawan S., Pari G, dan Sofyan K. 2009. Optimasi Suhu dan Lama Aktivasi dengan Asam Phospat Dalam Produksi Arang Aktif Tempurung Kemiri. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Hutan.* Bogor. **2** (2): 51-56.

Donohue, M. D., and G. L. Aranovich. 1998. Classification of Gibbs Adsorption Isotherms. *Advances in Coloid and Interface Science.* **76-77**: 137-152.

Dung,K.T., H.T. Hai, H.L. Phue, and D.B. Long. 2009. Preparation and Characterization of Magnetic Nanoparticles with Chitosan Coating. *Journal of Physics; Conference series Vietnam*. **1**: 187.

Endah, T., Buhani, and Suharso. 2016. Immobilization Cocodust Biomass with Silica Gel as Adsorbent for Cd (II) and Pb (II) Ions in Solution. *Proceedings of the 2015 IConSSE.* ISBN: 978-602-1047-217.

Gholamvaisi, D., S. Azizah, and M. Cheraghi. 2014. Preparation of Magnetic Activated Carbon Nanocomposite and Its Application for Dye Removal from Aqueous Solution. *Journal of Dipersion Science and Technology.* **35** (9): 1264-1269.

Hao, O.J., H. Kim, P.C. Chiang. 2000. Decolorization of wastewater. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology.* **30** (4): 449-505.

Hartanto, S. dan Ratnawati. 2010. Pembuatan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit dan Metode Aktivasi Kimia. *Jurnal Sains Materi Indonesia.* **12** (1): 12-16.

Hassler, J.W. 1974. *Active Carbon.* Chemical Publishing Company Incorporated. Brooklyn. **105**: 59-61.

Hendra, D. 2006. Pembuatan Arang Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit dan Serbuk Kayu Gergajian Campuran. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan Bogor. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*.**2** (24).

Hook, J.R., and H.E.Hall.1991. *Solid State Physics 2nd Edition*, Jhon Willey and Son: England/Chicester.

Jin, P.S. and Kang, S.K. 2011. *Interface Science and Composites*. Academic Press. Amsterdam.

Khopkar, S.M. 1984. *Konsep Dasar Kimia Analitik.* UI-Press. Jakarta.

Khuluk, Rifki Husnul. 2016. Pembuatan dan Karakterisasi Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa (Cocos nucifera L.) sebagai Adsorben Zat Warna Metilen Biru. (*Skripsi)*. Universitas Lampung. Lampung.

Kim, K. 1988. *Carbon Electrochemical and Physicochemical Properties.* Jhon Wiley and Sons. New York.

Kroschwitz, J. I. 1990. *Concise Encyclopedia of Polymer Science and Engineering.* Jhon Wiley and Sons. New York.

Kurniati, E. 2008. Pemanfaatan Cangkang Sawit Sebagai Arang Aktif. *Jurnal Penelitian Ilmu Teknik.* **8** (2): 96-103.

Larry, D.H. 2001. *Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy in Hanbook of Analytical Methods for Materials.* Materials Evaluation and Engineering, Inc.

Lauth, C.1876. Pewarna Anilin Baru *violet de paris.* Laboratorium **1**: 138-139, http://books.google.co.uk/books.

Liu, Y., X. Chang, S. Wang, Y. Guo, B. Din, and S. Meng. 2004. Solid-Phase Extraction and Preconcentration of Cadmium(II) in Aqueous Solution with Cd(II)-Imprinted Resin (Poly-Cd(II)-DAAB-VP) Packed Columns. *Analytical Chimica Acta.* **519**: 173-179.

Marsh, H. and R. R. Francisco. 2006. Activated Carbon. *Elsivier Science and Technology Books*. Ukraina.

Oscik, J. 1982. *Adsorption*. John Willey and Sons. New York.

Oxtoby, D. W. 2004. *Prinsip-prinsip Kimia Modern Jilid 1*. Erlangga. Jakarta.

Ozacar, M. and Sengil, I.A. 2006. A Two Stage Batch Adsorbent Design for Methylene Blue Removal to Minimize Contact Time. *Environmental Management.* **80** (4): 372-379.

Pambayun, G. S., Y. E. Y. Remigius, M. Rachimoellah, dan M. M. P. Endah. 2013. Pembuatan Karbon Aktif Dari Arang Tempurung Kelapa Dengan Aktivator $ZnCl_2$ Dan Na_2CO_3 Sebagai Adsorben Untuk Mengurangi Kadar Fenol Dalam Air Limbah. *Jurnal Teknik Pomits*.**1** (2).

Paul, D.W. 1990 .Gentian Violet. *Jurnal Obstetri dan Ginekologi.* (30).

Purwanto, D. 2011. Arang dari Limbah Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis Jacq*). Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan. Bogor. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. **29** (1): 57-66.

Rahmawaty. 2016.Pemanfaatan Arang Aktif dari Limbah Pabrik CPO (*Crude Palm Oil)* sebagai Adsorben Metilen Biru. *(Tesis).* Universitas Lampung. Lampung.

Rasmawan. 2009. *Pemanfaatan Limbah Pabrik Kelapa Sawit untuk Pakan Ternak Sapi*. Bengkulu.

Rasmiah Almufarij. 2013. Removal of Crystal Violet dye from aqueous solutions onto date palm leaf without the sharo spines: Adsorption and kinetic studies. *Journal of American Science*. **9** (3): 311-351.

Ratnasari, Dina. 2009. Makalah *X-Ray Diffraction (XRD).* Universitas Sebelas Maret. Surakarta.

Saitoh, T., M. Saitoh, C. Hattori, and M. Hiraide. 2014. Rapid removal of Cationic Dyes from Water by Coprecipitation with Aluminum Hydroxide and Sodium Dodecyl Sulfate. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. **2** (1): 752–758.

Sembiring, Z., Buhani, Suharso, and Sumadi. 2010. 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): 1-4.

Senthilkumar, S. T., B. Senthilkumar, S. Balaji, C. Sanjeeviraja and R. K. Selvan (2011).Preparation of activated carbon from sorghum pith and its structural and electrochemical properties. *Materials Research Bulletin*. **46**: 413-419.

Slamet, A. 2007. *Analisa Emisi Pada Kendaraan dengan Sistem Injeksi.* Erlangga. Jakarta.

Strickland, A. F.; Perkins, W. S. 1995. Decolorization of Continuous Dyeing Wastewater by Ozonation. *Chemist Colorist*. **27** (5): 11– 15.

Sugiharto. 1989. *Dasar-Dasar Pengolahan Air Limbah, Cetakan 1*. PAU Pangan dan Gizi. IPB. Bogor.

Suharso and Buhani. 2011. Biosorption of Pb(II), Cu(II) and Cd(II) from Aqueous Solution Using Cassava Peel Waste Biomass. *Asian Journal Of Chemistry*. **23** (3): 1112-1116.

Suharso, Buhani and Sumadi. 2010. Immobilization of S. Duplicatum Supported Silica Gel Matrix and Its Application on Adsorption-Desorption of Cu (II), Cd (II), and Pb (II) Ions. *Desalination*. **263** (1-3), 64-69.

Sukardjo. 1985. *Kimia Fisika*. Bina Aksara. Yogyakarta.

Sumar, Hendayana. 1994. *Kimia Analisis Instrumen*. Jilid 1. IKIP Semarang Press. Semarang.

Teja, A.S., and P.Y. Koh. 2009. Synthesis, Properties, and Applications of Magnetic Iron Oxide Nanoparticles. *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials.* **55** (1-2): 22-45.

Tharcila, C., Bertolini R., Juliana C.I., Carina P.M., and Denise A.F. 2013. Adsorption of Crystal Violet Dye from Aqueous Solution onto Zeolites from Coal Fly and Bottom Ashes. *Orbital: Electron Journal Chemistry.* **5** (3):179-191.

Vaiano, V., O. Sacco, D. Sannino, and P. Ciambelli. 2015. Nanostructured N-doped TiO Coated on Glass Spheres for The Photocatalytic Removal of Organic Dyes Under UV or Visible Light Irradiation. *Journal of Applied Catalysis B: Environmental*. **170**: 153–161.

Weber, C. T., G. C. Collazzo, M. A. Mazutti, E. L. Foletto, and G. L. Dotto. 2014. Removal of Hazardous Pharmaceutical Dyes by Adsorption onto Papaya Seeds. *Water Science and Technology.* **70** (1): 102–107.

Wong, K.T., Eu, N.C., Ibrahim, S., Kim, H., Yoon, Y., and Jang, M. 2016. Recylable Magnetite-Loaded Palm Shell-Waste Based Activated Carbon for The Effective Removal of Methylene Blue from Aqueous Solution. *Journal of Cleaner Production.* **115**: 337-342.

Wong, K.T., Yeomin Y., and Min J. 2015. Enhanced Recyclable Magnetized Palm Shell Waste-Based Powdered Activated Carbon for the Removal of Ibuprofen:Insights for Kinetics and Mechanisms. *Journal Pone.* 1-18.

Wu, J. S., C. H. Liu, K. H. Chu, and S.Y. Suen. 2008. Removal of Cationic Dye Methyl Violet 2B from Water by Cation Exchange Membranes. *Journal of Membrane Science*. **309** (1-2): 239–245.