

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI BIOMASSA ALGA *Spirulina* sp.  
TERMODIFIKASI SILIKA-MAGNETIT SEBAGAI ADSORBEN ZAT  
WARNA KRISTAL VIOLET**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**ISMI ADITIYA**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2018**

## ABSTRACT

### SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF *Spirulina* sp. ALGAE BIOMASS MODIFIED SILICA-MAGNETITE AS ADSORBENT OF A CRYSTAL VIOLET DYE

By

ISMI ADITIYA

In this research, it has been conducted synthesis of *Spirulina* sp. algae hybrid with silica matrix (HAS) and modified by coating magnetite particles ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) (HASM) to be used as adsorbent of crystal violet dye in the solution. Characterizations of HAS and HASM materials with infrared spectrophotometer (*IR*) were used to investigate a functional groups, *X-Ray Diffraction (XRD)* was used for analyzing of crystalline levels, and *Scanning Electron Microscopy With Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX)* was conducted to identify the surface and elemental constituents of the materials. While, spectrophotometer of UV-Vis was used to analyze the maximum wavelength of crystal violet in solution. The result showed that the adsorption is optimum at pH 8 within 120 minutes with a concentration of crystal violet is 400 mg/L and at a maximum wavelength of crystal violet of 591 nm. Adsorption kinetics of crystal violet by HAS and HASM tend to follow pseudo second order kinetic model with the adsorption rate of HAS material of  $0,0361 \text{ g mg}^{-1} \text{ menit}^{-1}$  and HASM material of  $0,0227 \text{ g mg}^{-1} \text{ menit}^{-1}$  as well as Freundlich isotherm model with the energy of adsorption less than  $20.92 \text{ kJ mol}^{-1}$  indicating physical adsorption.

**Kata kunci :** *Spirulina* sp. algae biomass, magnetite, adsorption, crystal violet.

## ABSTRAK

### SINTESIS DAN KARAKTERISASI BIOMASSA ALGA *Spirulina* sp. TERMODIFIKASI SILIKA-MAGNETIT SEBAGAI ADSORBEN ZAT WARNA KRISTAL VIOLET

Oleh

ISMI ADITIYA

Pada penelitian ini telah dilakukan sintesis hibrida alga *Spirulina* sp. dengan matriks silika (HAS) dan dimodifikasi dengan teknik pelapisan menggunakan partikel magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) (HASM) untuk digunakan sebagai adsorben zat warna kristal violet dalam larutan. Karakterisasi material HAS dan HASM dengan spektrofotometer *IR* digunakan untuk mengetahui gugus fungsional, *X-Ray Diffraction (XRD)* digunakan untuk analisis tingkat kekristalan, dan *Scanning Electron Microscopy With Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX)* untuk mengidentifikasi morfologi permukaan dan konstituen unsur. Hasil adsorpsi menunjukkan bahwa adsorpsi ini optimum dilakukan pada pH 8 dalam waktu 120 menit dengan konsentrasi kristal violet 400 mg/L dan dianalisis menggunakan spektrofotometer *UV-Vis* pada panjang gelombang maksimum kristal violet 591 nm. Kinetika adsorpsi kristal violet oleh HAS dan HASM cenderung mengikuti model kinetika pseudo orde dua dengan laju adsorpsi material HAS sebesar  $0,0361 \text{ g mg}^{-1} \text{ menit}^{-1}$  dan HASM sebesar  $0,0227 \text{ g mg}^{-1} \text{ menit}^{-1}$  dan model isoterm Freundlich dengan energi adsorpsi kurang dari  $20,92 \text{ kJ mol}^{-1}$  yang mengindikasikan adsorpsi terjadi secara fisika.

**Kata kunci** : Biomassa alga *Spirulina* sp., magnetit, adsorpsi, kristal violet.

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI BIOMASSA ALGA *Spirulina* sp.  
TERMODIFIKASI SILIKA-MAGNETIT SEBAGAI ADSORBEN ZAT  
WARNA KRISTAL VIOLET**

Oleh

**ISMI ADITIYA**

**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 : **SINTESIS DAN KARAKTERISASI BIOMASSA  
ALGA *Spirulina* sp. TERMODIFIKASI SILIKA-  
MAGNETIT SEBAGAI ADSORBEN ZAT  
WARNA KRISTAL VIOLET**


Nama Mahasiswa : **Ismi Aditiya**

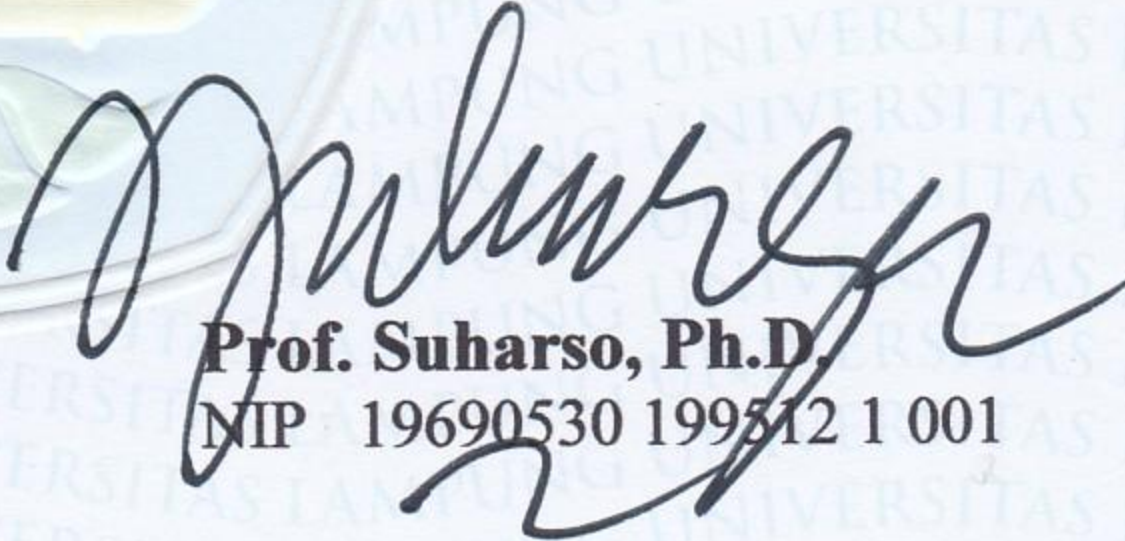
No. Pokok Mahasiswa : 1417011057

Jurusan : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

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

2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA

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

**MENGESAHKAN**

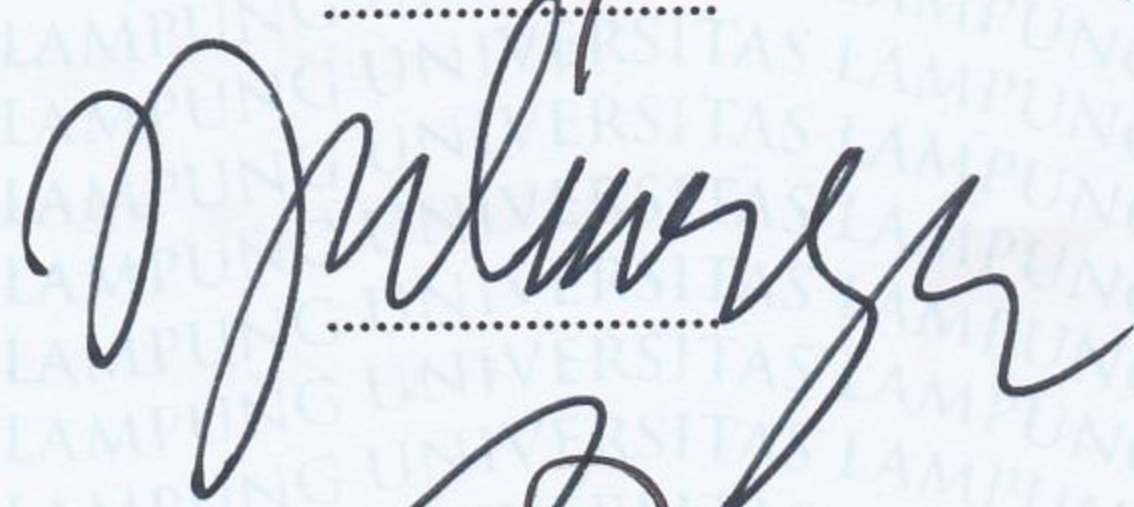
1. Tim Penguji

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

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

Penguji

Bukan Pembimbing : **Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc.**



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 : **24 Agustus 2018**

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Metro, pada tanggal 10 Oktober 1996, sebagai anak pertama dari tiga bersaudara yang merupakan putri dari pasangan Bapak Iskandar dan Ibu Kusmiyati.

Penulis mengawali jenjang pendidikan dari Taman Kanak-Kanak (TK) Bhayangkari Metro pada tahun 2000 – 2002. Kemudian melanjutkan pendidikan Sekolah Dasar (SD) di SD Muhammadiyah 1 Metro hingga tahun 2008. Pendidikan Sekolah Menengah Pertama (SMP) diselesaikan pada tahun 2011 di SMP Negeri 4 Metro. Pendidikan Sekolah Menengah Atas (SMA) diselesaikan di SMA Negeri 3 Metro pada tahun 2014 dan pada tahun yang sama penulis diterima sebagai Mahasiswa Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN (Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri).

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di Lembaga Kemahasiswaan Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI) FMIPA Unila sebagai anggota Bidang Sosial dan Masyarakat pada tahun 2015-2016. Penulis juga pernah menjadi asisten praktikum Kimia Dasar untuk Jurusan Teknik Geofisika serta asisten praktikum

Kimia Anorganik I dan II untuk Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung selama tahun 2016-2018. Pada tahun 2017, penulis melakukan Kerja Praktik di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung. Pada tahun 2017 juga, penulis pernah diundang sebagai salah satu perwakilan dari mahasiswa dalam kegiatan “Literasi Media Sebagai Upaya Cegah dan Tangkal Radikalisme dan Terorisme di Masyarakat” yang diselenggarakan oleh Forum Koordinasi Pencegahan Terorisme (FKPT) Provinsi Lampung bekerja sama dengan Badan Nasional Penanggulangan Terorisme (BNPT).



## MOTTO

وَإِنْ يَمَسُّكَ اللَّهُ بِضُرٍّ فَلَا كَاشِفَ لَهُ إِلَّا هُوَ وَإِنْ يُرِدْكَ  
بِخَيْرٍ فَلَا رَادَّ لِفَضْلِهِ يُصِيبُ بِهِ مَنْ يَشَاءُ مِنْ عِبَادِهِ  
وَهُوَ الْعَفُورُ الرَّحِيمُ

Jika Allah menimpakan sesuatu kemudharatan kepadamu, maka tidak ada yang dapat menghilangkannya kecuali Dia. Dan jika Allah menghendaki kebaikan bagi kamu, maka tak ada yang dapat menolak kurnia-Nya. Dia memberikan kebaikan itu kepada siapa yang dikehendaki-Nya di antara hamba-hamba-Nya dan Dia-lah

Yang Maha Pengampun lagi Maha Penyayang.

( QS. Yunus [10] : 107 )

“Barangsiapa senantiasa beristighfar, niscaya Allah menjadikan untuk setiap kesedihannya kelapangan dan untuk setiap kesempitannya jalan keluar, dan akan diberi-Nya rezeki dari arah yang tiada disangka-sangka.”

( HR. Abu Daud )

Go for it. No metter how it ends.

It was an experience.

∞

Never regret yesterday.

Life is in you today and you make your tomorrow.

… L. Ron hubbard …

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dengan Rahmat Allah yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang  
Kupersembahkan karya sederhana ini sebagai wujud sayang, bakti, dan tanggung jawab

Kepada :

Ibuku, Ibuku, Ibuku  
Ibu Kusmiyati, wanita tersabar sejagad raya.  
Semua keberuntunganku berasal dari doamu.  
Terima Kasih. Aku sayang.

Bapakku  
Bapak Iskandar, karena engkau aku belajar menjalani hidup tanpa penyesalan.  
Terima Kasih.

Adik-Adikku Tersayang  
Muhammad Arifin Rahman dan Nurinda Rachmawati  
Kalian adik terbaikku, semua orang pasti iri jika tau seperti apa kalian.  
Aku beruntung bukan.

Kepada orang-orang yang telah mendukungku selama ini  
Terima Kasih. Aku bersyukur.

## SANWACANA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul “**Sintesis Dan Karakterisasi Alga *Spirulina* Sp. Termodifikasi Silika - Magnetit Sebagai Adsorben Zat Warna Kristal Violet**”. Skripsi ini adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak mungkin terselesaikan tanpa adanya bimbingan, dorongan, nasihat serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Ibu Prof. Dr. Buhani, M.Si. selaku Pembimbing I penelitian sekaligus Pembimbing Akademik atas segala bimbingan, bantuan, nasihat, dan saran yang diberikan dengan sabar dan penuh dedikasi hingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini dengan baik.

2. Bapak Prof. Suharso, Ph.D., selaku pembimbing II penelitian yang telah memberikan kritik, saran, dan arahan kepada penulis sehingga skripsi ini terselesaikan dengan baik.
3. Bapak Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc. selaku pembahas penelitian yang telah memberikan kritik, saran, arahan, perhatian serta motivasi yang sangat berarti kepada penulis sehingga skripsi ini terselesaikan dengan baik.
4. Bapak Dr. Eng Suropto Dwi Yuwono., M.T. selaku Ketua Jurusan Kimia yang telah menyetujui skripsi ini.
5. Prof. Warsito, D.E.A., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
6. Seluruh dosen dan staf administrasi di Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung yang telah memberikan banyak ilmu pengetahuan dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
7. Keluargaku tersayang, terima kasih untuk kedua orang tua tercinta yaitu Ibu Kusmiyati dan Bapak Iskandar karena selalu mendukung, memotivasi, menyemangati, dan mendo'akan penulis, sehingga memberikan kekuatan bagi penulis untuk bisa menyelesaikan skripsi ini dengan baik, juga kepada kedua adikku Muhammad Arifin Rahman dan Nurinda Rachmawati yang selalu menjadi penyemangat yang memotivasi penulis untuk melakukan yang terbaik.

8. Kepada seluruh keluarga besar nenek, bude, bulek, tante, pakde, oom, dan juga sepupu-sepupuku yang telah mendoakan dan menjadi motivasi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
9. Kepada kakak juga partnerku Rudianto Butarbutar yang telah dengan sabar dan penuh perhatian memotivasi dan mendampingi penulis suka maupun duka dalam menyelesaikan skripsi dan juga studi ini. Aku sangat bersyukur.
10. Rekan – rekan *Adsorption Group* yaitu Ana Devita Mutiara, Ferita Angriana, Fitria Luziana, dan Asdini Virginia, serta kakak – kakak sepenelitian yaitu kak Radho Alkausar, mbak Murnita, mbak Fentri, mbak Melita, mbak Indah, mbak Annisa, dan kak Rifky atas bantuan, masukan, dan saran yang telah diberikan, sukses untuk kita semua.
11. Keluarga besar kerajaan anorganik 2014 yaitu King Yusuf Hadi Kurniawan dan para anggota yaitu Devi Tri Lestari, Ana Devita Mutiara, Ferita Angriana, Fitria Luziana, Cindy Claudya Putri, Aniza Vidya Widata, Richa Royjanah, Deni Diora, Audina Uci Pertiwi, Lucia Arum Hartaty, Asdini Virginia, Reni Anggraeni, Novi Indarwati, Widia Sari, Ainun Nadiyah, Putri Sendi Khairunisa, Khumil Ajmila, Fikri Muhammad, Bayu Andani, Dira Fauzi Ridwan, Hot Asi, Hafid Darmais Halan yang selama ini telah saling mendukung dan memotivasi satu sama lain, selamat bertemu kelak dikesuksesan kita masing-masing.
12. Rekan-rekan di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik atas saran dan bantuan yang telah diberikan.

13. Sahabat – sahabatku “AIB” Devi Tri Lestari, Ana Devita Mutiara, Hestyaningsih Famela, Ferita Angriana, Cindy Claudya Putri, Erien Ratna Putri, Ayuning Fara Mudhita, Aniza Vidya Widata, Fergina Prawaning Tyas, Rica Aulia, Fitri Oktavianica (Dirafo) yang selama ini selalu menjadi support system terhebat dalam mengisi setiap momen dalam kehidupan perkuliahanku yang luar biasa berharga ini. Aku bahagia.
14. Sahabat-sahabatku SMA Zenia Apriani, Chelsea Aulia Yasazahara, Febrita Rahmalia, Ratih Melita Sari, Cindy Puri Andini, Darul Agustiana, Muhammad Fahrian, Fidyen Dieny dan Kiki Nur Arifin yang selalu memberikan dukungan secara langsung maupun tidak langsung dan selalu menyempatkan untuk berkumpul selama liburan. Sukses gengs.
15. Sahabat-sahabatku SMP Agustin Mauliya Safitri, Aulia Rozana, Vely Brian Rosandi, Putri Chrisna Rahmatia, dan Robby Sye Rizky yang tetap ada dan memberikan semangat serta dukungannya selama ini dalam menghargai setiap waktu yang berharga untuk tetap terus belajar.
16. Partner KKN terbaik Aulia Huda Pinandita yang selalu menjadi tempat curhat ternyaman dan teman untuk berbagi pikiran secara bebas, you are my other half in my life gitu deh.
17. Teman-teman KIMIA Unila 2014 yang luar biasa, tanpa kalian kehidupanku sebagai mahasiswi kimia bukan apa-apa. Aku bangga menjadi bagian dari kalian. Dukungan kalian tak ternilai harganya. Love you all.

18. Semua pihak yang telah mendukung dan memotivasi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini dan merampungkan studi sebagai mahasiswa strata satu, maaf jika tidak dapat disebutkan satu persatu. Aku bersyukur mendapatkan doa dari kalian.

Akhir kata penulis berharap semoga Skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, 2018  
Penulis

Ismi Aditiya

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>i</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>iv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>vii</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
A. Latar Belakang dan Masalah.....	1
B. Tujuan Penelitian .....	5
C. Manfaat Penelitian .....	5
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>6</b>
A. Biomassa Mikroalga <i>Spirulina</i> sp.....	6
B. Silika Gel .....	8
C. Proses Sol-Gel.....	10
D. Magnetit (F <sub>3</sub> O <sub>4</sub> ).....	12
E. Zat Warna Kristal Violet.....	13
F. Adsorpsi .....	16
1. Jenis Adsorpsi .....	16
2. Parameter Adsorpsi.....	18



G. Karakterisasi Material.....	23
1. Spektrofotometer IR.....	23
2. X-Ray Diffraction (XRD).....	23
3. <i>Scanning Electron Microscopy With Energy Dispersive X-ray</i> (SEM-EDX) .....	24
4. Spektroskopi UV-Vis .....	26
<b>III. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>28</b>
A. Waktu dan Tempat.....	28
B. Alat dan Bahan.....	29
C. Prosedur Penelitian .....	29
1. Penyiapan Biomassa Alga <i>Spirulina</i> sp. ....	29
2. Sintesis HAS .....	29
3. Sintesis Magnetit (F <sub>3</sub> O <sub>4</sub> ) .....	30
4. Sintesis HASM.....	30
5. Karakterisasi Material .....	31
6. Eksperimen Adsorpsi .....	31
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>35</b>
A. Sintesis .....	35
B. Karakterisasi .....	36
1. Karakterisasi Spektrofotometer Inframerah ( <i>IR</i> ).....	36
2. Karakterisasi Difraktometer sinar-X ( <i>XRD</i> ).....	38
3. Karakterisasi <i>SEM-EDX</i> .....	40
C. Eksperimen Adsorpsi .....	42
1. Variasi pH. ....	42
2. Variasi Waktu (Kinetika Adsorpsi).....	44
3. Variasi Konsentrasi (Isoterm Adsorpsi).....	47
4. Adsorpsi Simultan.....	51
5. Adsorpsi Sekuensial .....	52

<b>V. SIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>54</b>
A. Simpulan .....	54
B. Saran.....	55
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>56</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>62</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Perbedaan adsorpsi fisika dan kimia .....	17
2. Hasil analisis gugus fungsi pada adsorben .....	38
3. Hasil analisis struktur kristal .....	40
4. Parameter kinetika adsorpsi kristal violet oleh HAS dan HASM .....	46
5. Parameter isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich pada material HAS dan HASM terhadap kristal violet .....	49
6. Penentuan kurva standar kristal violet dengan variasi pH .....	69
7. Adsorpsi kristal violet pada adsorben HAS dengan variasi pH .....	70
8. Adsorpsi kristal violet pada adsorben HASM dengan variasi pH .....	70
9. Penentuan kurva standar kristal violet dengan variasi waktu .....	71
10. Adsorpsi kristal violet pada adsorben HAS dengan variasi waktu .....	72
11. Adsorpsi kristal violet pada adsorben HASM dengan variasi waktu .....	72
12. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde satu pada HAS terhadap kristal violet .....	73

13. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde satu pada HASM terhadap kristal violet .....	74
14. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde dua pada HAS terhadap kristal violet .....	75
15. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde dua pada HASM terhadap kristal violet .....	76
16. Penentuan kurva standar kristal violet dengan variasi konsentrasi .....	78
17. Adsorpsi kristal violet pada adsorben HAS dengan variasi konsentrasi .....	79
18. Adsorpsi kristal violet pada adsorben HASM dengan variasi konsentrasi ..	79
19. Data perhitungan menggunakan model persamaan Langmuir pada adsorpsi kristal violet oleh HAS .....	80
20. Data perhitungan menggunakan model persamaan Langmuir pada adsorpsi kristal violet oleh HASM .....	81
21. Data perhitungan menggunakan model persamaan Freundlich pada adsorpsi kristal violet oleh HAS .....	83
22. Data perhitungan menggunakan model persamaan Freundlich pada adsorpsi kristal violet oleh HASM .....	84
23. Penentuan kurva standar kristal violet pada adsorpsi simultan dan sekuensial .....	86

24. Penentuan kurva standar metilen biru pada adsorpsi simultan dan sekuensial .....	87
25. Adsorpsi simultan kristal violet dan metilen biru pada HAS .....	87
26. Adsorpsi simultan kristal violet dan metilen biru pada HASM .....	87
27. Adsorpsi sekuensial kristal violet dan metilen biru pada HAS .....	89
28. Adsorpsi sekuensial kristal violet dan metilen biru pada HASM .....	89

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. <i>Spirulina</i> sp. ....	7
2. Struktur TEOS .....	12
3. Serbuk magnetit Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> .....	13
4. Struktur magnetit Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> .....	13
5. Struktur kristal violet .....	14
6. Kurva isoterm adsorpsi Langmuir .....	21
7. Kurva isoterm adsorpsi Freundlich .....	22
8. Spektra IR (a) Magnetit,(b) Biomassa alga <i>Spirulina</i> sp., (c) HAS, dan (d) HASM .....	36
9. Difraktogram dari (a) Magnetit, (b) HAS, (c) HASM.....	39
10. Mikrograf SEM dan Spektrum EDX (a) dan (d) magnetit, (b) dan (e) HAS, (c) dan (f) HASM .....	41
11. Adsorpsi kristal violet oleh HAS dan HASM dengan variasi pH .....	43
12. Adsorpsi kristal violet oleh HAS dan HASM dengan variasi waktu .....	44

13. Kinetika pseudo orde satu pada HAS dan HASM terhadap kristal violet ...	45
14. Kinetika pseudo orde dua pada HAS dan HASM terhadap kristal violet ....	45
15. Adsorpsi kristal violet oleh HAS dan HASM dengan variasi konsentrasi ..	47
16. Kurva model isoterm adsorpsi Langmuir HAS dan HASM terhadap kristal violet .....	48
17. Kurva model isoterm adsorpsi Freundlich HAS dan HASM terhadap kristal violet .....	49
18. Adsorpsi simultan kristal violet dan metilen biru pada HAS dan HASM. ..	51
19. Adsorpsi sekuensial kristal violet dan metilen biru pada HAS dan HASM	53
20. Kurva hasil pengukuran panjang gelombang maksimal kristal violet .....	68
21. Kurva standar kristal violet dengan variasi pH .....	69
22. Kurva standar kristal violet dengan variasi waktu .....	71
23. Pola kinetika pseudo orde satu pada HAS terhadap kristal violet .....	73
24. Pola kinetika pseudo orde satu pada HASM terhadap kristal violet .....	74
25. Pola kinetika pseudo orde dua pada HAS terhadap kristal violet .....	75
26. Pola kinetika pseudo orde dua pada HASM terhadap kristal violet .....	77
27. Kurva standar kristal violet dengan variasi konsentrasi .....	78
28. Pola isoterm adsorpsi menggunakan model persamaan Langmuir pada kristal violet oleh HAS .....	80

29. Pola isotherm adsorpsi menggunakan model persamaan Langmuir pada kristal violet oleh HASM .....	82
30. Pola isotherm adsorpsi menggunakan model persamaan Freundlich pada kristal violet oleh HAS .....	83
31. Pola isotherm adsorpsi menggunakan model persamaan Freundlich pada kristal violet oleh HASM .....	85
32. Kurva standar kristal violet pada adsorpsi simultan dan sekuensial .....	86
33. Kurva standar metilen biru pada adsorpsi simultan dan sekuensial .....	87
34. Hasil adsorpsi variasi pH (a) HAS dan (b) HASM .....	90
35. Hasil adsorpsi variasi waktu (a) HAS dan (b) HASM .....	90
36. Hasil adsorpsi variasi konsentrasi (a) HAS dan (b) HASM .....	90
37. Hasil adsorpsi simultan HAS dan HASM .....	91
38. Hasil adsorpsi sekuensial kristal violet - metilen biru (a) HAS dan (b) HASM .....	91
39. Hasil adsorpsi sekuensial metilen biru - kristal violet (a) HAS dan (b) HASM .....	91



## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang dan Masalah

Bahan pewarna sintetik secara luas digunakan sebagai agen pewarna dalam berbagai bidang industri seperti industri tekstil, kertas, kulit, farmasi, maupun makanan. Sebagian besar pewarna sintetik dan produk degradasinya memiliki dampak lingkungan yang besar terutama pada lingkungan perairan karena penggunaannya yang meluas namun dengan tingkat pengolahan limbah yang rendah (Guler *et al.*, 2016). Setelah pewarna masuk ke dalam air limbah, maka campuran tersebut menjadi lebih stabil dan lebih sulit untuk terurai karena struktur kimia kompleks yang terbentuk (Forgacs *et al.*, 2004). Zat warna dapat menyebabkan kenaikan *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan menularkan penyakit melalui air meskipun zat warna hanya memberi kontribusi yang kecil terhadap total muatan organik dalam air limbah (Gupta *et al.*, 1988).

Limbah zat pewarna sintetik yang cukup banyak mencemari lingkungan perairan tersebut salah satunya kristal violet. Kristal violet termasuk kelas pewarna triarylmethane yang dikenal pula sebagai basic violet 3, gentian violet, dan metil violet 10B. Kristal violet ini banyak digunakan sebagai pewarna ungu untuk tekstil seperti kapas dan sutera, maupun pada cat dan tinta cetak. Penghilangan zat

warna dianggap sulit karena struktur yang kompleks dan sebagian besar pewarna mengandung cincin aromatik, seperti halnya kristal violet yang membuatnya menjadi mutagenik dan karsinogenik (Mittal *et al.*, 2010). Kristal violet dapat menyebabkan iritasi pada jalur pernafasan, muntah, diare, nyeri, sakit kepala, dan pusing. Paparan jangka panjang dapat menyebabkan kerusakan selaput lendir dan saluran gastrointestinal (Singh *et al.*, 2011).

Penanganan limbah yang mengandung zat warna sintetik menjadi fokus masalah yang dihadapi saat ini. Metode konvensional seperti presipitasi, filtrasi, oksidasi, ozonasi, iradiasi, pertukaran ion atau fotodegradasi telah digunakan, namun memiliki beberapa kelemahan seperti biaya yang tinggi, masalah operasional, dan adanya kecenderungan membentuk produk samping yang dapat menimbulkan masalah baru (Angelova *et al.*, 2016; Buhani *et al.*, 2010; Buhani *et al.*, 2012a; Buhani *et al.*, 2015; Suharso *et al.*, 2010; Suharso dan Buhani, 2011). Penerapan biosorpsi untuk menghilangkan polutan beracun dari limbah air merupakan salah satu perkembangan progresif dalam teknologi lingkungan. Proses ini dapat menunjukkan efisiensi tinggi, sementara menghasilkan limbah dalam jumlah rendah (Park *et al.*, 2010). Kriteria adsorben yang menentukan keberhasilan adsorpsi yaitu tidak larut dalam air maupun pelarut organik, memiliki luas permukaan yang besar dan spesifik, kapasitas dan selektivitas adsorpsi yang tinggi, dan dapat digunakan terus-menerus (Buhani *et al.*, 2017a).

Dalam penelitian ini, biomassa alga *Spirulina* sp. digunakan untuk mempelajari penanganan limbah air yang mengandung zat warna sintetik kristal violet.

*Spirulina* sp. termasuk salah satu jenis alga yang tumbuh endemik di perairan Indonesia dan dapat tumbuh subur pada kisaran suhu 18-400 °C dengan intensitas cahaya rendah sampai tinggi (Kabinawa, 2006). Menurut Vonshak (1997) *Spirulina* sp. termasuk dalam kelompok *cyanobacterium photo-synthetic*.

Penggunaan biomassa alga sebagai adsorben telah dikembangkan secara luas karena biomassa alga mengandung senyawa polisakarida, protein atau lipid yang terdiri dari gugus fungsional seperti amina, karboksil, hidroksil, sulfat dan fosfat yang bertindak sebagai zat pengikat adsorbat (Buhani dan Suharso, 2009).

Biomassa alga mempunyai beberapa kelemahan yaitu berat jenis yang rendah, mudah rusak karena penguraian mikroorganisme lain dan juga secara teknik sulit digunakan dalam kolom untuk aplikasinya sebagai adsorben. Oleh karena itu dilakukan modifikasi untuk meningkatkan sifatnya sebagai adsorben baik secara fisika maupun kimia (Buhani *et al.*, 2006; Buhani *et al.*, 2012; Buhani *et al.*, 2012a; Buhani *et al.*, 2017).

Biomassa alga *Spirulina* sp. dapat dimodifikasi dengan matriks pendukung seperti silika karena stabil dalam keadaan asam dan memiliki daya tahan tinggi terhadap panas sehingga banyak digunakan dalam proses adsorpsi untuk meningkatkan stabilitas kimia maupun fisika dari material tersebut (Santos *et al.*, 2001; Buhani *et al.*, 2011). Silika gel merupakan padatan anorganik yang memiliki sisi aktif permukaan seperti gugus silanol (-Si-OH) dan siloksan (Si-O-Si) yang dapat berikatan secara kimia dengan gugus-gugus fungsi yang terdapat pada biomassa alga serta mempunyai luas permukaan yang besar (Buhani *et al.*, 2009a). Selain

itu penggunaan silika sebagai matriks pendukung karena mudah diproduksi, mudah dimodifikasi, hidrofilik, dan biaya produksi rendah (Buhani *et al.*, 2017b).

Untuk lebih meningkatkan daya adsorpsi hasil modifikasi biomassa alga – silika maka dilakukan modifikasi tambahan dengan teknik pelapisan silika –magnetit. Modifikasi dilakukan dengan pelapisan partikel magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Teknik ini merupakan metode yang cukup baik untuk mengatasi adanya gumpalan padatan tersuspensi (*flocculant*) dalam limbah industri yang diolah (Jeon, 2011; Peng *et al.*, 2010; Lin *et al.*, 2011; Buhani *et al.*, 2017b). Partikel magnetit dapat menghalangi gaya tarik-menarik magnetit dipolar antar partikel, sehingga terbentuk partikel yang mudah terdispersi dalam media cair dan terlindungi dari kerusakan suasana asam (Pankhurst, 2003). Menggunakan sifat magnetit juga bermanfaat karena ketika limbah dikembalikan ke dalam lingkungan, tidak menghasilkan zat yang menyebabkan kontaminasi (Chang and Chen, 2005; Buhani *et al.*, 2013). Teknik pelapisan silika - magnetit digunakan agar adsorben memiliki kapasitas dan selektivitas yang besar terhadap adsorbat yang teradsorpsi serta dapat memisahkan adsorbat dengan cepat (Peng *et al.*, 2010). Teknik ini diharapkan pula dapat mempertahankan keaktifan gugus-gugus fungsi yang terdapat pada biomassa alga *Spirulina* sp., sehingga dapat menghasilkan material adsorben yang efektif (Liu *et al.*, 2010; Buhani *et al.*, 2017b).

Material adsorben yang diperoleh kemudian dikarakterisasi dengan Spektrofotometer *IR* untuk mengetahui gugus fungsionalnya. Identifikasi morfologi permukaan dan konstituen unsur dianalisis menggunakan alat *Scanning*

*Electron Microscopy With Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX)* dan analisis tingkat kekristalan menggunakan alat *X-Ray Diffraction (XRD)*. Kadar kristal violet yang diperoleh dari hasil adsorpsi dianalisis menggunakan alat Spektrofotometer *UV-Vis*.

## **B. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dipaparkan di atas, penelitian ini dilakukan dengan tujuan sebagai berikut :

1. Mempelajari cara sintesis dan karakterisasi hibrida alga silika (HAS) dan hibrida alga silika-magnetit (HASM) dari biomassa alga *Spirulina* sp.
2. Menentukan pH, waktu, dan konsentrasi optimum kristal violet yang teradsorpsi pada adsorben alga *Spirulina* sp., HAS, dan HASM.
3. Mempelajari kinetika dan pola isoterm adsorpsi kristal violet pada alga *Spirulina* sp., HAS, dan HASM.

## **C. Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu diharapkan mampu memberikan informasi mengenai proses sintesis dan karakterisasi alga *Spirulina* sp. yang telah termodifikasi silika-magnetit sebagai adsorben untuk menangani pencemaran limbah perairan oleh zat warna sintetik khususnya kristal violet.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Biomassa Mikroalga *Spirulina* sp.

Mikroalga merupakan kelompok tumbuhan berukuran renik yang termasuk dalam kelas alga, diameternya antara 3-30  $\mu\text{m}$ , baik sel tunggal maupun koloni yang hidup di wilayah perairan. Di dunia mikrobial, mikroalga termasuk eukariotik. Morfologi mikroalga berbentuk uniseluler atau multiseluler tetapi belum ada pembagian tugas yang jelas pada sel-sel komponennya. Hal itulah yang membedakan mikroalga dari tumbuhan tingkat tinggi (Romimohtarto, 2004). Mikroalga memiliki bentuk dan ukuran yang beranekaragam, ada yang mikroskopis, bersel satu, berbentuk benang/pita atau berbentuk lembaran. Berdasarkan pigmen (zat warna) yang dikandung, alga dikelompokkan atas empat kelas, yaitu: *Rhodophyceae* (alga merah), *Phaeophyceae* (alga coklat), *Chlorophyceae* (alga hijau), dan *Cyanophyceae* (alga biru) dan termasuk *cyanobacterial*. *Spirulina* sp. merupakan salah satu jenis alga biru *Cyanophyceae* (alga biru). Bentuknya berupa filamen (spiral beraturan) yang merupakan rantai berwarna hijau kebiruan. Filamen mikroalga *Spirulina* sp ini merupakan rangkaian sel yang disebut *trichome*. Umumnya bentuk sel mikroalga *Spirulina* sp. ini berbentuk silindris (Hernianti and Pratiwi, 1987). Mikroalga *Spirulina* sp. memiliki kandungan karbohidrat 8-14 % (Becker, 1994).

Menurut Herniati and Pratiwi (1987) mengklasifikasikan *Spirulina* sp. sebagai berikut:

Divisi : Cyanophyta  
Ordo : Oscillatoriales  
Sub Ordo : Oscillatorineae  
Famili : Oscillariceae  
Genus : *Spirulina*  
Spesises : *Spirulina* sp.



**Gambar 1.** *Spirulina* sp.

Secara umum, keuntungan pemanfaatan alga sebagai bioindikator dan biosorben diantaranya yaitu:

1. Alga mempunyai kemampuan yang cukup tinggi dalam mengadsorpsi ion atau molekul dalam larutan melalui gugus-gugus fungsi yang terdapat pada biomassa alga. Gugus fungsi tersebut terutama gugus karboksil, hidroksil, amina, sulfidril imadazol, sulfat, dan sulfonat yang terdapat dalam dinding sel dalam sitoplasma.
2. Bahan bakunya mudah didapat dan tersedia dalam jumlah banyak.
3. Tidak perlu nutrisi tambahan.

Alga dapat dijadikan alternatif adsorben yang cukup potensial meminimalisir pencemaran air. Berkaitan dengan adsorpsi, alga memiliki dua karakteristik penting berupa sejumlah situs aktif pada dinding selnya (polisakarida dan protein, beberapa diantaranya mengandung gugus karboksil, sulfat, amino) yang dapat menjadi binding sites. Selain itu, pada permukaan alga terdapat pori-pori yang memberikan peluang terjadinya proses adsorpsi secara fisik (Susilawati, 2009).

Menurut Harris *and* Ramelow (1990), syarat utama suatu alga sebagai bioindikator yaitu harus memiliki daya tahan tinggi terhadap toksisitas akut maupun toksisitas kronis. Selain itu, kemampuan alga dalam menyerap ion-ion molekul adsorbat dalam larutan sangat dibatasi oleh beberapa kelemahan seperti ukurannya yang sangat kecil, berat jenisnya yang rendah dan mudah rusak karena degradasi oleh mikroorganisme lain. Untuk mengatasi kelemahan tersebut berbagai upaya dilakukan, antara lain dengan memodifikasi biomasanya.

Modifikasi biomassa dapat dilakukan dengan menggunakan:

1. matrik polimer seperti polietilena glikol, akrilat;
2. oksida seperti alumina, silika;
3. campuran oksida seperti kristal aluminasilikat, asam polihetero;
4. karbon.

## **B. Silika Gel**

Silika gel merupakan salah satu adsorben yang paling sering digunakan dalam proses adsorpsi (Fahmiati *et al.*, 2004). Silika gel termasuk jenis silika amorf



yang tersusun dari tetrahedral  $\text{SiO}_4$  yang tersusun secara tidak beraturan dan beragregasi membentuk kerangka tiga dimensi yang terbentuk karena kondensasi asam ortosilikat. Struktur satuan mineral silika pada dasarnya mengandung kation  $\text{Si}^{4+}$  yang terkoordinasi secara tetrahedral dengan anion  $\text{O}^{2-}$ . Rumus kimia silika gel secara umum adalah  $\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  (Oscik, 1982). Silika gel banyak digunakan dalam proses adsorpsi karena stabil dalam keadaan asam dan memiliki daya tahan tinggi terhadap panas. Selain itu silika gel memiliki situs aktif berupa gugus silanol ( $\text{SiOH}$ ) dan siloksan ( $\text{Si-O-Si}$ ) pada permukaan. Adanya gugus  $-\text{OH}$  memberikan peluang secara luas untuk memodifikasi gugus tersebut menjadi gugus lain yang lebih aktif (Buhani *et al.*, 2009a).

Silika gel dalam penggunaannya memiliki kelemahan seperti pada rendahnya efektivitas dan selektivitas permukaan sehingga silika gel tidak mampu berfungsi sebagai adsorben yang efektif. Hal ini terjadi karena situs aktif yang ada hanya berupa gugus silanol ( $\text{Si-OH}$ ) dan siloksan ( $\text{Si-O-Si}$ ). Kekurangan ini dapat diatasi dengan memodifikasi permukaan menggunakan situs aktif yang sesuai untuk mengadsorpsi senyawa yang dikehendaki. Oleh karena itu, perlu ditambahkan gugus aktif tertentu pada permukaan silika gel. Modifikasi silika dilakukan dengan mendesain molekul menggunakan agen silan sebagai prekursor untuk membentuk permukaan baru pada silika gel yang mengandung molekul organik (Buhani *et al.*, 2009a).

### C. Proses Sol – Gel

Proses sol-gel telah banyak dikembangkan terutama untuk pembuatan hibrida, kombinasi oksida anorganik (terutama silika) dengan alkoksisilan. Sol-gel adalah suatu suspensi koloid dari partikel silika yang digelkan ke bentuk padatan. Sol adalah suspensi dari partikel koloid pada suatu cairan atau molekul polimer (Rahaman, 1995). Menurut Schubert dan Husing (2000) proses sol-gel merupakan proses yang dapat digambarkan sebagai pembentukan suatu jaringan oksida melalui reaksi polikondensasi yang progresif dari molekul prekursor dalam medium cair atau merupakan proses untuk membentuk material melalui suatu sol, *gelation* dari sol dan akhirnya penghilangan pelarut.

Prose sol-gel berlangsung melalui langkah-langkah sebagai berikut:

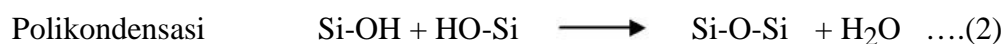
1. Hidrolisis dan kondensasi
2. *Gelation* (transisi sol-gel)
3. *Aging* (pertumbuhan gel)
4. *Drying* (pengeringan)

Melalui polimerisasi kondensasi akan terbentuk dimer, trimer, dan seterusnya sehingga membentuk bola-bola polimer. Sampai pada ukuran tertentu (diameter sekitar 1,5 nm) dan disebut sebagai partikel silika primer. Gugus silanol permukaan partikel bola polimer yang berdekatan akan mengalami kondensasi disertai pelepasan air sampai terbentuk partikel sekunder dengan diameter sekitar 4,5 nm. Pada tahap ini larutan sudah mulai menjadi gel ditandai dengan bertambahnya viskositas. Gel yang dihasilkan masih sangat lunak dan tidak kaku yang disebut *alkogel* (Farook and Ravendran, 2000). Kemudian dilanjutkan

dengan tahap pembentukan gel. Pada tahap ini, kondensasi antara bola-bola polimer terus berlangsung membentuk ikatan siloksan menyebabkan menurunnya jari-jari partikel sekunder dari 4,5 nm menjadi 4 nm dan akan teramati penyusutan *alkogel* yang diikuti eliminasi larutan garam (Jamarun, 2000).

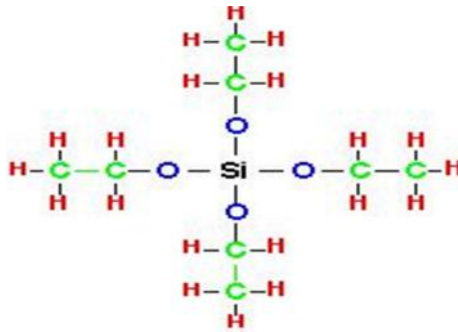
Tahap akhir pembentukan silika gel adalah *xerogel* yang merupakan fasa silika yang telah mengalami pencucian dan pemanasan. Pemanasan pada temperatur 110°C mengakibatkan dehidrasi pada *hidrogel* dan terbentuknya silika gel dengan struktur  $\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  (Enymia *et al.*, 1998). Produk akhir yang dihasilkan berupa bahan amorf dan keras yang disebut silika gel kering (Kalapathy *et al.*, 2000).

Reaksi pada proses sol-gel dapat dilihat pada persamaan berikut:



Pada proses sol-gel, bahan dasar yang digunakan untuk membentuk silika dapat berupa logam alkoksida seperti TEOS (tetraetilortosilikat). TEOS mudah terhidrolisis oleh air dan mudah digantikan oleh gugus OH. Selanjutnya silanol (Si-OH) direaksikan antara keduanya atau direaksikan dengan gugus alkoksida non-hidrolisis untuk membentuk ikatan *siloxane* (Si-O-Si) dan mulailah terbentuk jaringan silika.

Senyawa TEOS dapat ditunjukkan pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Struktur TEOS (Brinker and Scherer, 1990).

#### D. Magnetit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)

Magnetit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) atau oksida besi hitam adalah oksida besi yang paling kuat sifat magnetiknya (Teja and Koh, 2008). Magnetit merupakan ferimagnetik, satu dari beberapa besi oksida dan termasuk spinel, para peneliti dapat mensintesis partikel nano Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dengan berbagai metode, misalnya metode sol-gel, hidrolisis terkontrol, dan kopresipitasi dalam air. Metode kopresipitasi merupakan metode yang paling sederhana karena prosedurnya lebih mudah dan dapat dilakukan pada suhu reaksi yang rendah (<100°C) (Xu *et al.*, 2007). Selain itu Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dapat diperoleh dari endapan hasil campuran FeCl<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O dan FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O dalam suasana basa (dengan kehadiran NH<sub>4</sub>Cl). Berikut reaksi sintesis magnetit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) :



Secara umum reaksinya :



Magnetit berukuran nano banyak dimanfaatkan pada proses-proses industri (misalnya sebagai tinta cetak) dan pada penanganan masalah-masalah lingkungan (misalnya sebagai *magnetic carrier precipitation process* untuk menghilangkan ion logam pada air limbah). Pelapisan dengan magnetit dapat meningkatkan daya interaksi fisika yang menguntungkan jika adsorben akan digunakan secara berulang karena ion logam yang telah diserap akan dapat dilepaskan kembali atau didesorpsi dengan mudah. (Cabrera *et al.*, 2008; Wicaksono *et al.*, 2015).

Penemuan baru menunjukkan bahwa magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) dapat dimanfaatkan sebagai material pada sistem pangangkutan obat-obatan atau *Drug Delivery System* (DDS), *Magnetic Resonance Imaging* (MRI), dan terapi kanker. Agar dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang tersebut, sangatlah penting untuk mempertimbangkan ukuran partikel, sifat magnetik, dan sifat permukaan partikelnya (Cabrera *et al.*, 2008).



**Gambar 3.** Serbuk magnetit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$



**Gambar 4.** Struktur magnetit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$

### E. Zat Warna Kristal Violet

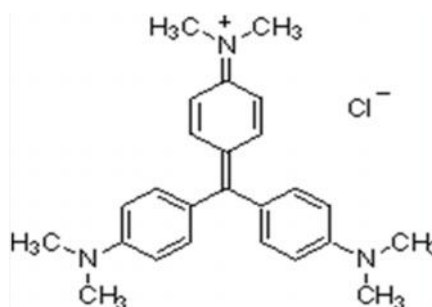
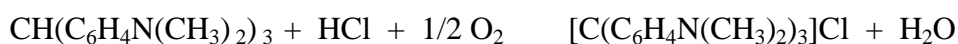
Kristal violet adalah pewarna kationik yang juga dikenal sebagai basic violet 3, gentian violet, dan metil violet 10B. Nama IUPAC-nya adalah N- [4- [bis [4-dimethylamino] - fenil] -methylene] -2,5-sikloheksadien-1-ylidin] -N-

methylmethanaminium chloride (Rumus molekul  $C_{25}H_{30}N_3Cl$  dengan berat molekul 407,98 dan termasuk dalam kelas pewarna triarylmethane. Daya serap maksimum berkisar antara 589 sampai 594 nm. CV digunakan sebagai indikator pH (kuning sampai ungu dengan transisi pada pH 1,6). Pewarna ini digunakan sebagai histologis noda dan di metode gram klasifikasi bakteri yang dipekerjakan sebagai agen bakteriostatik. Pewarna ini digunakan sebagai desinfektan kulit eksternal pada manusia dan hewan. Kristal violet juga banyak digunakan sebagai pewarna ungu untuk tekstil seperti kapas dan sutra, maupun pada cat dan tinta cetak (Mittal *et al.*, 2010).

Menurut Gessner dan Mayer (2002), pembuatan crystal violet melibatkan reaksi dimethylaniline dengan fosgen untuk memberikan 4,4'-bis (Dimetilamino) benzofenon ( keton Michler ) sebagai perantara. Hal ini kemudian direaksikan dengan dimethylaniline tambahan di hadapan oksiklorida fosfor dan asam klorida. Zat warna juga dapat disiapkan oleh larutan formalin dan dimethylaniline untuk memberikan pewarna leuco :



Kedua, senyawa ini berwarna teroksidasi menjadi bentuk kationik berwarna:



**Gambar 5.** Struktur kristal violet

Molekul zat warna merupakan gabungan dari zat organik tidak jenuh dengan kromofor sebagai pembawa warna dan auksokrom sebagai pengikat warna dengan serat. Zat organik tidak jenuh yang dijumpai dalam pembentukan zat warna adalah senyawa aromatik antara lain senyawa hidrokarbon aromatik dan turunannya, fenol dan turunannya serta senyawa-senyawa hidrokarbon yang mengandung nitrogen (Winarno, 1984).

Gugus kromofor adalah gugus yang menyebabkan molekul menjadi berwarna.

Gugus auksokrom terdiri dari dua golongan, yaitu :

Golongan kation :  $-NH_2$ ;  $NHR$  seperti  $-NR_2Cl$ .

Golongan anion :  $-SO_3H$ ;  $-OH$ ;  $-COOH$  seperti  $-O$ ;  $-SO_3$ ; dan lain-lain.

Nama dan struktur gugus kromofor yang dapat memberi daya ikat terhadap serat yang diwarnainya, antara lain: Nitroso ( $NO$  atau  $(-N-OH)$ ), Nitro ( $NO_2$  atau  $(NN-OOH)$ ), Grup Azo ( $-N=N-$ ), Grup Etilen ( $-C-C-$ ), Grup Karbonil ( $-C-O-$ ), Grup Karbon-Nitrogen ( $-C=NH$ ;  $CH=N-$ ), dan Grup Karbon Sulfur ( $-C=S:-C-S-S-C-$ ) (Manurung *et al.*, 2004).

Prinsip yang digunakan untuk mengolah limbah cair secara kimia adalah menambahkan bahan kimia yang dapat mengikat bahan pencemar yang dikandung air limbah kemudian memisahkannya (mengendapkan atau mengapungkan). Zat warna dapat digolongkan menurut sumber yang diperolehnya yaitu zat warna alam dan zat warna sintetik. Van Croft menggolongkan zat warna berdasarkan pemakaiannya. Zat warna yang merupakan berasal dari garam-garam klorida atau oksalat dari basa-basa organik, misalnya ammonium, dan oksonium. Oleh karena

kromofor dari zat warna ini terdapat pada kationnya maka zat warna ini sering disebut sebagai zat warna kation atau basa ( Manurung *et al.*, 2004).

## **F. Adsorpsi**

Adsorpsi merupakan peristiwa penyerapan suatu zat pada permukaan zat lain. Zat yang diserap disebut adsorbat sedangkan zat yang menyerap disebut adsorben. Adsorben dapat berupa zat padat atau cair. Karena itu adsorpsi dapat terjadi antara zat padat - zat cair, zat padat - gas, zat cair - zat cair atau gas - zat cair.

Menurut Sukardjo (1990) bahwa molekul-molekul pada permukaan zat padat atau zat cair mempunyai gaya tarik ke arah dalam karena tidak ada gaya-gaya yang mengimbangi. Adanya gaya-gaya ini menyebabkan zat padat dan zat cair, mempunyai gaya adsorpsi. Adsorpsi berbeda dengan absorpsi. Pada absorpsi zat yang diserap masuk ke dalam adsorben sedang pada adsorpsi, zat yang diserap hanya pada permukaan.

### **1. Jenis Adsorpsi**

Adsorpsi terdiri dari dua jenis yaitu *physisorption* (adsorpsi fisika) dan *chemisorption* (adsorpsi kimia). *Physisorption* (adsorpsi fisika) terjadi karena gaya Van der Waals dimana ketika gaya tarik molekul antara larutan dan permukaan media lebih besar daripada gaya tarik substansi terlarut dan larutan, maka substansi terlarut akan diadsorpsi oleh permukaan media. *Physisorption* ini memiliki gaya tarik Van der Waals yang kekuatannya relative kecil. Molekul



terikat sangat lemah dan energi yang dilepaskan pada adsorpsi fisika relatif rendah sekitar 20 kJ/mol.

*Chemisorption* (adsorpsi kimia) terjadi ketika terbentuk ikatan kimia antara substansi terlarut dalam larutan dengan molekul dalam media. *Chemisorption* diawali dengan adsorpsi fisik, yaitu partikel-partikel adsorbat mendekati ke permukaan adsorben melalui gaya Van der Waals atau melalui ikatan hidrogen. Dalam adsorpsi kimia partikel melekat pada permukaan dengan membentuk ikatan kimia (biasanya ikatan kovalen), dan cenderung mencari tempat yang memaksimalkan bilangan koordinasi dengan substrat (Atkins, 1999).

**Tabel 1.** Perbedaan adsorpsi fisika dan kimia

No	Adsorpsi fisika (Fisisorpsi)	Adsorpsi kimia (Kemosorpsi)
1	Molekul terikat pada adsorben oleh gaya Van der Waals	Molekul terikat pada adsorben oleh ikatan kimia
2	Mempunyai entalpi reaksi -4 sampai -40 kJ/mol	Mempunyai entalpi reaksi -40 sampai 800kJ/mol
3	Dapat membentuk lapisan multilayer	Membentuk lapisan monolayer
4	Adsorpsi hanya terjadi pada suhu dibawah titik didih adsorbat	Adsorpsi terjadi pada suhu tinggi
5	Jumlah adsorpsi pada permukaan merupakan fungsi adsorbat	Jumlah adsorpsi pada permukaan merupakan karakteristik adsorben dan adsorbat
6	Tidak melibatkan energi aktivasi tertentu	Melibatkan energi aktivasi tertentu
7	Bersifat tidak spesifik	Bersifat sangat spesifik

(Atkins, 1999).

## 2. Parameter Adsorpsi

### 2.1. Kinetika Adsorpsi

Kinetika adalah deskripsi laju reaksi. Kinetika adsorpsi tergantung pada luas permukaan partikel. Urutan reaksi mendefinisikan ketergantungan laju reaksi pada konsentrasi spesies yang bereaksi. Orde reaksi ditentukan secara empiris, tetapi tidak berkaitan dengan stoikiometri reaksi. Sebaliknya, kinetika diatur oleh proses mekanisme, yaitu dengan jumlah spesies yang bertabrakan untuk terjadinya reaksi. Selain itu, kinetika juga dapat digunakan untuk menentukan kecepatan adsorpsi yang berlangsung dan menentukan kapasitas keseimbangan yang dapat dimanfaatkan dalam situasi yang dinamis dan praktis. Keseluruhan tingkat adsorpsi dipengaruhi oleh perubahan sifat dan komponen pelarut, serta ukuran partikel dan suhu. Kinetika reaksi adsorpsi juga tergantung pada gugus fungsional dan konsentrasi. Tingginya tingkat substitusi gugus fungsional pada polimer inert dapat meningkatkan laju reaksi keseluruhan (Allen *et al.*, 2004).

Analisis kinetika didasarkan pada kinetika reaksi terutama pseudo orde pertama atau mekanisme pseudo pertama bertingkat. Untuk meneliti mekanisme adsorpsi, konstanta kecepatan reaksi sorpsi kimia untuk ion-ion logam, digunakan persamaan sistem pseudo order pertama oleh Lagergren dan mekanisme pseudo order kedua (Buhani *et al.*, 2010). Persamaan ini digunakan untuk menguji data percobaan dari konsentrasi awal, suhu dan berat ion-ion logam dalam larutan (Zhang *et al.*, 2003). Model kinetika (pseudo urutan pertama dan persamaan orde dua) dapat digunakan dengan asumsi bahwa konsentrasi diukur sama dengan konsentrasi permukaan adsorben. Tingkat

persamaan urutan pertama Lagergren adalah salah satu yang paling banyak digunakan untuk adsorpsi zat terlarut dari larutan cair (Peng *et al.*, 2010).

Untuk konstanta laju kinetika pseudo orde satu:

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

Dengan  $q_e$  adalah jumlah ion logam divalen yang teradsorpsi (mg/g) pada waktu keseimbangan,  $q_t$  adalah jumlah ion logam divalen yang teradsorpsi pada waktu  $t$  (menit),  $k_1$  adalah konstanta kecepatan adsorpsi (jam<sup>-1</sup>). Integrasi persamaan ini dengan kondisi batas  $t=0$  sampai  $t=t$  dan  $q_t = q_t$ , memberikan:

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

Dengan menggunakan regresi linear dan mengalurkan  $\ln(q_e - q_t)$  terhadap  $t$  diperoleh konstanta  $k_1$ . Untuk konstanta kecepatan reaksi pseudo orde kedua proses kemisorpsi:

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

Integrasi persamaan ini dengan kondisi batas  $t = 0$  sampai  $t = t$  dan  $q_t = 0$  sampai  $q_t = q_t$ , memberikan:

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

Dengan  $k_2$  konstanta keseimbangan order kedua kemisorpsi (g/mg.jam).

Model kinetika pseudo order kedua dapat disusun untuk mendapatkan bentuk linear :

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (5)$$

(Zhang *et al.*, 1998).

## 2.2. Isoterm Adsorpsi

Model kesetimbangan adsorpsi yang sering digunakan untuk menentukan kesetimbangan adsorpsi adalah isotermal Langmuir dan Freundlich.

### a. Isoterm Adsorpsi Langmuir

Menurut Oscik (1982), teori Langmuir menjelaskan bahwa pada permukaan adsorben terdapat sejumlah tertentu situs aktif yang sebanding dengan luas permukaan. Setiap situs aktif hanya satu molekul yang dapat diadsorpsi. Ikatan antara zat yang teradsorpsi dengan adsorben dapat terjadi secara fisika atau secara kimia. Ikatan tersebut harus cukup kuat untuk mencegah perpindahan molekul yang telah teradsorpsi sepanjang permukaan adsorben.

Model adsorpsi isoterm Langmuir dapat dinyatakan dalam persamaan:

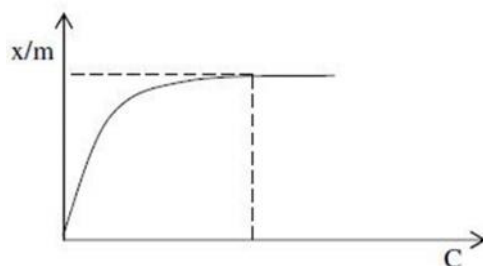
$$\frac{C}{m} = \frac{1}{bK} + \frac{1}{b}C \quad (6)$$

dimana  $C$  adalah konsentrasi kesetimbangan,  $m$  adalah jumlah zat yang teradsorpsi per gram adsorben,  $b$  adalah kapasitas adsorpsi dan  $K$  adalah tetapan kesetimbangan adsorpsi. Dengan kurva linier hubungan antara  $C/m$  versus  $C$ , maka dapat ditentukan nilai  $b$  dari kemiringan (*slope*) dan  $K$  dari intersep kurva. Energi adsorpsi ( $E_{ads}$ ) yang didefinisikan sebagai energi yang dihasilkan apabila satu mol ion logam teradsorpsi dalam adsorben dan nilainya ekuivalen dengan nilai negatif dari perubahan energi bebas Gibbs standar,  $G$ , dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\Delta G_{ads} = \Delta G^{\circ} = -RT \ln K \quad (7)$$

Dengan  $R$  adalah tetapan gas umum (8,314 J/mol K),  $T$  temperatur (K) dan  $K$  adalah tetapan kesetimbangan adsorpsi yang diperoleh dari persamaan Langmuir dan energi total adsorpsi adalah sama dengan energi bebas Gibbs (Oscik, 1982).  $G$  sistem negatif artinya adsorpsi beralangsur spontan.

Kurva isoterm adsorpsi Langmuir dapat disajikan seperti pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Kurva isoterm adsorpsi Langmuir (Oscik and Cooper, 1994).

#### **b. Isoterm Adsorpsi Freundlich**

Model isoterm Freundlich menjelaskan bahwa proses adsorpsi pada bagian permukaan adalah heterogen dimana tidak semua permukaan adsorben mempunyai daya adsorpsi. Model isoterm Freundlich menunjukkan lapisan adsorbat yang terbentuk pada permukaan adsorben adalah *multilayer*. Hal tersebut berkaitan dengan ciri-ciri dari adsorpsi secara fisika dimana adsorpsi dapat terjadi pada banyak lapisan (*multilayer*) (Husin and Rosnelly, 2005).

Bentuk persamaan Freundlich adalah sebagai berikut:

$$Q_e = K_f C_e^{\frac{1}{n}} \quad (8)$$

Dimana:

$Q_e$  = Banyaknya zat yang terserap per satuan berat adsorben (mol/g)

$C_e$  = Konsentrasi adsorbat pada saat kesetimbangan (mol/L)

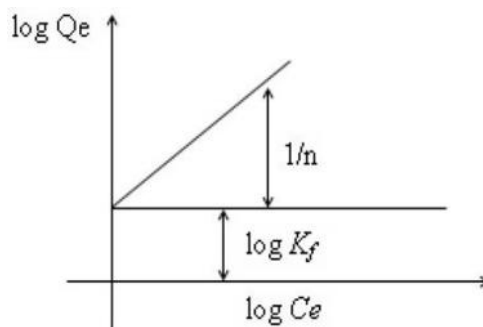
$n$  = Kapasitas adsorpsi maksimum (mol/g)

$K_f$  = Konstanta Freundlich (L/mol)

Persamaan di atas dapat diubah kedalam bentuk linier dengan mengambil bentuk logaritmanya:

$$\log Q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (9)$$

Sehingga kurva isoterm adsorpsinya disajikan pada Gambar 7.



**Gambar 7.** Kurva isoterm adsorpsi Freundlich (Rousseau, 1987).

Bentuk linear dapat digunakan untuk menentukan kelinearan data percobaan dengan cara mengplotkan  $C/Q$  terhadap  $C_e$ . Konstanta Freundlich  $K_f$  dapat diperoleh dari kemiringan garis lurusnya dan  $1/n$  merupakan harga slop. Bila  $n$  diketahui  $K_f$  dapat dicari, semakin besar harga  $K$  maka daya adsorpsi akan semakin baik dan dari harga  $K_f$  yang diperoleh, maka energi adsorpsi akan dapat dihitung (Rousseau, 1987). Selain itu, untuk menentukan jumlah adsorbat teradsorpsi, rasio distribusi dan koefisien selektivitas pada proses adsorpsi adsorbat terhadap adsorben alga *Spirulina* sp dapat digunakan persamaan berikut ini :

$$Q = (C_o - C_a)V/W \quad (10)$$

Dimana Q menyatakan jumlah adsorbat yang teradsorpsi (mg/g),  $C_o$  dan  $C_a$  menyatakan konsentrasi awal dan kesetimbangan adsorbat (mmol/L),  $W$  adalah massa adsorben yang digunakan (g),  $V$  adalah volume larutan adsorbat (L) (Buhani *et al.*, 2009).

## **G. Karakterisasi Material**

### **1. Spektrofotometer Inframerah (IR)**

Spektrum inframerah suatu molekul adalah hasil transisi antara tingkat energi getaran (vibrasi) atau osilasi (*oscillation*). Bila molekul menyerap radiasi inframerah, energi yang diserap menyebabkan kenaikan dalam amplitudo getaran atom-atom yang terikat itu. Jadi molekul ini berada pada keadaan vibrasi tereksitasi (*excited vibrational state*); energi yang diserap ini akan dibuang dalam bentuk panas bila molekul itu kembali ke keadaan dasar. Panjang gelombang eksak dari absorpsi oleh suatu tipe ikatan, bergantung pada macam getaran dari ikatan tersebut. Oleh karena itu, tipe ikatan yang berlainan menyerap radiasi inframerah pada panjang gelombang yang berlainan. Dengan demikian spektrometri inframerah dapat digunakan untuk mengidentifikasi adanya gugus fungsi dalam suatu molekul (Supratman, 2010).

### **2. X-Ray Diffraction (XRD)**

Difraksi sinar X (*X-ray Diffractometer*), atau yang sering dikenal dengan XRD adalah instrumen yang digunakan untuk mengidentifikasi material kristalit

maupun non-kristalit, sebagai contoh identifikasi struktur kristalit(kualitatif) dan fasa (kuantitatif) dalam suatu bahan dengan memanfaatkan radiasi gelombang elektromagnetik sinar X. Dengan kata lain, teknik ini digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel.

Kegunaan XRD antara lain :

- Membedakan antara material yang bersifat kristal dengan amorf
- Karakterisasi material kristal
- Identifikasi mineral-mineral yang berbutir halus seperti tanah liat
- Penentuan dimensi-dimensi sel satuan

Metode difraksi sinar-x adalah metode analisis yang didasarkan pada difraksi radiasi elektromagnetik yang berupa sinar-x oleh suatu kristal. Sinar-x merupakan radiasi gelombang elektromagnetik yang memiliki panjang gelombang yang pendek yaitu 0,5-2,5Å. Sinar-x dihasilkan dengan cara menembakkan suatu berkas elektron berenergi tinggi ke suatu target dan menunjukkan gejala difraksi jika jatuh pada benda yang jarak antar bidangnya kira-kira sama dengan panjang gelombangnya pada suatu bidang dengan sudut  $\theta$  (Cullity, 1967).

### **3. Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX)**

SEM adalah sebuah instrumen berkekuatan besar dan sangat handal yang dipadukan dengan EDX (*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*) sehingga dapat digunakan untuk memeriksa, observasi, dan karakterisasi struktur terkecil benda-benda padat dari material organik maupun anorganik yang heterogen serta



permukaan bahan dengan skala mikrometer bahkan sampai sub-mikrometer yang menggunakan sumber medan emisi dan mempunyai resolusi gambar 1,5 nm, sehingga kita dapat menentukan sifat dari bahan yang diuji baik sifat fisis, kimia maupun mekanis yang dapat mempengaruhi mutu dan kualitas dari suatu produk, dengan demikian kita dapat mengembangkan produk tersebut melalui informasi ukuran partikel dari mikro struktur yang terbentuk dan komposisi unturnya. Bagian terpenting dari SEM adalah apa yang disebut sebagai kolom elektron (*electron column*) (Liani, 2012).

Prinsip kerja SEM, dengan cara mengalirkan arus pada kawat filamen tersebut dan perlakuan pemanasan, sehingga dihasilkan elektron. Elektron tersebut dikumpulkan dengan tegangan tinggi dan berkas elektron difokuskan dengan sederetan lensa elektromagnetik. Ketika berkas elektron mengenai target, informasi dikumpulkan melalui tabung sinar katoda yang mengatur intensitasnya. Setiap jumlah sinar yang dihasilkan dari tabung sinar katoda dihubungkan dengan jumlah target, jika terkena berkas elektron berenergi tinggi dan menembus permukaan target, elektron kehilangan energi, karena terjadi ionisasi atom dari cuplikan padatan. Elektron bebas ini tersebar keluar dari aliran sinar utama, sehingga tercipta lebih banyak elektron bebas, dengan demikian energinya habis lalu melepaskan diri dari target. Elektron ini kemudian dialirkan ke unit demagnifikasi dan dideteksi oleh detektor dan selanjutnya dicatat sebagai suatu foto (Wagiyo dan Handayani, 1997).

Pada *EDX* analisis kualitatif 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. Analisa kuantitatif tidak hanya menjawab unsur apa yang ada dalam sampel tetapi juga 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).

#### **4. Spektrofotometer UV-Vis**

Spektrum sinar UV terentang pada panjang gelombang 100 - 400 nm, sedangkan untuk spektrum tampak (*visible*) pada panjang gelombang 400 nm (ungu) hingga 800 nm (merah). Serapan cahaya oleh molekul dalam daerah spektrum UV dan Vis tergantung pada struktur elektronik dari molekul. Serapan UV dan Vis dari senyawa-senyawa organik berkaitan erat dengan transisi-transisi diantara energi elektronik. Transisi-transisi tersebut biasanya terjadi antara orbital ikatan atau orbital pasangan elektron bebas dan orbital non ikatan tak jenuh atau orbital anti ikatan. Panjang gelombang serapan merupakan ukuran dari pemisahan tingkat energi orbital yang bersangkutan. Spektrum UV dan Vis berupa gambar hubungan antara panjang gelombang atau frekuensi serapan dengan intensitas serapan (transmitansi atau absorbansi). Sering juga data ditunjukkan sebagai grafik atau tabel yang menyatakan hubungan antara panjang gelombang dengan serapan molar atau log dari serapan molar,  $\lambda_{max}$ , atau  $\log \lambda_{max}$  (Sastrohamidjojo, 2001).

Menurut Skoog (1996), menjelaskan bahwa secara garis besar prinsip kerja dari alat ini adalah cahaya yang berasal dari lampu deuterium maupun wolfram yang bersifat polikromatis di teruskan melalui lensa menuju ke monokromator pada spektrofotometer dan filter cahaya pada fotometer. Monokromator kemudian akan mengubah cahaya polikromatis menjadi cahaya monokromatis (tunggal). Berkas-berkas cahaya dengan panjang tertentu kemudian akan dilewatkan pada sampel yang mengandung suatu zat dalam konsentrasi tertentu. Oleh karena itu, terdapat cahaya yang diserap (diadsorpsi) dan ada pula yang dilewatkan. Cahaya yang dilewatkan ini kemudian di terima oleh detektor. Detektor kemudian akan menghitung cahaya yang diterima dan mengetahui cahaya yang diserap oleh sampel. Cahaya yang diserap sebanding dengan konsentrasi zat yang terkandung dalam sampel sehingga akan diketahui konsentrasi zat dalam sampel secara kuantitatif.

### III. METODE PENELITIAN

#### A. Waktu dan Tempat

Penelitian ini telah dilakukan pada bulan Januari 2018 hingga Mei 2018 di Laboratorium Kimia Fisik/Anorganik FMIPA Universitas Lampung. Pengambilan biomassa alga *Spirulina* sp. dilakukan di Balai Besar Pengembangan Budidaya Laut Lampung (BBPBL). Proses sonikasi dilakukan di Laboratorium Biopolimer FMIPA Universitas Lampung. Identifikasi gugus fungsional menggunakan alat spektrofotometer *IR* di Laboratorium Kimia Organik FMIPA Universitas Gajah Mada. Karakterisasi tingkat kekristalan menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)* di Laboratorium Kimia Dasar FMIPA Universitas Gajah Mada. Identifikasi morfologi permukaan dan konstituen unsur menggunakan *Scanning Electron Microscopy With Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX)* di UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) Universitas Lampung. Penentuan kadar kristal violet menggunakan spektrofotometer *UV-Vis* dilakukan di Laboratorium Botani FMIPA Universitas Lampung.

## **B. Alat dan Bahan**

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini antara lain alat-alat gelas, wadah plastik, spatula, kertas saring, indikator universal, aluminium foil, neraca analitik, pengaduk magnet, *shaker*, tabung sentrifugasi, sentrifugasi, oven, SEM-EDX merek EVO® MA 10, XRD Type Miniflex 600 Merek Rigaku, spektrofotometer *IR* merek 8201PC SHIMADZU, dan spektrofotometer *UV-Vis*.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah biomassa alga *Spirulina* sp., tetraetilortosilikat (TEOS), akuades, etanol, larutan HCl, NH<sub>4</sub>OH, HNO<sub>3</sub>, NaOH, FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O, FeSO<sub>4</sub>·4H<sub>2</sub>O, buffer fosfat, dan buffer sitrat, kristal violet.

## **C. Prosedur Penelitian**

### **1. Penyiapan Biomassa Alga *Spirulina* sp.**

Biomassa alga *Spirulina* sp. diperoleh dari pembudidayaan dalam skala laboratorium di Balai Besar Pengembangan Budidaya Laut Lampung (BBPBL). Biomassa alga yang diperoleh sebanyak 20 gram kemudian dikeringkan selama 3 hari. Selanjutnya dioven pada suhu 40<sup>0</sup>C selama 2-3 jam, kemudian digerus hingga halus (100-200 mesh) dan disimpan dalam desikator (Buhani *et al.*, 2012b).

### **2. Sintesis HAS dari Biomassa Alga *Spirulina* sp.**

Sebanyak 5 mL TEOS dicampurkan dengan 2,5 mL akuades dimasukkan ke dalam wadah plastik, lalu diaduk dengan pengaduk magnet selama 30 menit dan ditambahkan HCl 1 M hingga pH 2 (Larutan A). Di wadah plastik lain, sebanyak

0,4 gram biomassa alga *Spirulina* sp. dicampurkan dengan 5 mL etanol lalu diaduk dengan pengaduk magnet selama 30 menit (Larutan B). Larutan A yang telah homogen kemudian dicampur dengan larutan B disertai pengadukan menggunakan pengaduk magnet sampai larutan tersebut menjadi gel. Gel yang terbentuk disaring dengan kertas saring, lalu didiamkan selama 24 jam. Gel kemudian dicuci dengan akuades dan etanol (60:40) sampai pH netral. Gel dikeringkan dengan menggunakan oven dan selanjutnya digerus hingga halus (Buhani *et. al.*, 2009).

### **3. Sintesis Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )**

Sintesis magnetit dilakukan sesuai dengan prosedur Entezari *et al.*, 2013. Sebanyak 3,96 g  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  dilarutkan dalam 10 mL akuades (larutan A) dan 1,45 g  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  dilarutkan dalam 10 mL akuades (larutan B). Selanjutnya (larutan A) dicampur dengan (larutan B) disertai pengadukkan hingga larutan menjadi homogen. Setelah larutannya homogen ditambahkan  $\text{NH}_4\text{OH}$  1 M tetes demi tetes hingga terbentuk endapan hitam. Kemudian campuran disonikasi selama 30 menit. Endapan hitam yang terbentuk disaring dengan kertas saring. Setelah itu endapan tersebut dibilas dengan akuades dan etanol (60:40) hingga pH netral. Endapan kemudian dioven pada suhu  $60^\circ\text{C}$  selama 2-3 jam hingga berat konstan, selanjutnya digerus hingga halus (200 mesh).

### **4. Sintesis HASM dari Biomassa Alga *Spirulina* sp.**

Sintesis HASM dengan magnetit dilakukan sesuai dengan prosedur Buhani *et al.*, 2017b. Larutan A, sebanyak 5 mL TEOS dicampurkan dengan 2,5 mL akuades

ditambahkan 0,1 g magnetit dimasukkan ke dalam wadah plastik, lalu ditambahkan beberapa tetes HCl 1 M hingga pH 2. Larutan B, sebanyak 0,4 g biomassa alga *Spirulina* sp. dicampurkan dengan 5 mL etanol diaduk dengan pengaduk magnet sampai larutan tersebut homogen. Kedua larutan dicampur hingga terbentuk gel. Gel basah yang terbentuk didiamkan selama 24 jam, kemudian dicuci dengan akuades dan etanol (60:40) sampai pH netral. Gel dikeringkan menggunakan oven, selanjutnya digerus hingga halus.

## **5. Karakterisasi Material**

Untuk mengetahui perubahan gugus-gugus fungsi dalam material biomassa alga *Spirulina* sp., HAS dan HASM dilakukan karakterisasi dengan menggunakan spektrofotometer *IR*. Analisis elemental skala nanopartikel permukaan dan tingkat kekristalan dilakukan dengan alat Difraktometer Sinar-X (*XRD*). Identifikasi morfologi permukaan dan konstituen unsur menggunakan alat *Scanning Electron Microscopy With Energy Dispersive X-ray* (*SEM-EDX*). Kadar kristal violet yang teradsorpsi pada adsorben dilakukan analisis menggunakan spektroskopi *UV-Vis* pada panjang gelombang maksimum kristal violet 591 nm (Mittal *et al.*, 2010).

## **6. Eksperimen Adsorpsi**

### **a. Pembuatan Larutan Induk Kristal Violet 1000 mg/L**

Sebanyak 1 gram serbuk kristal violet dimasukkan ke dalam labu takar 1000 mL. Kemudian masing – masing labu takar ditambahkan akuades ke dalamnya hingga tanda batas dan dihomogenkan.

### **b. Membuat Kurva Standar Kristal Violet**

Kurva standar dibuat dengan mengukur nilai absorbansi kristal violet dengan variasi konsentrasi, yaitu 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; dan 0,7 mg/L pada panjang gelombang maksimum kristal violet 591 nm. Fungsi dari pembuatan kurva standar ini adalah untuk mengetahui hubungan linieritas antara konsentrasi kristal violet dengan nilai absorbansinya.

### **c. Variasi pH**

Sebanyak 0,1 gram adsorben HAS dan HASM dimasukkan ke dalam 7 wadah plastik yang berbeda. Kemudian 20 mL larutan kristal violet dengan konsentrasi 10 mg/L ditambahkan ke masing-masing labu erlenmeyer. Masing-masing labu erlenmeyer dibuat pH yang berbeda dengan menggunakan larutan buffer sitrat dan buffer fosfat agar kondisi tingkat keasaman atau kebasaan dalam suatu larutan tetap terjaga pada nilai pH yang diinginkan. Larutan buffer sitrat digunakan untuk kisaran pH asam, yaitu pada kisaran nilai pH 3,0 – 6,0. Larutan buffer fosfat digunakan pada pH basa, yaitu pada kisaran nilai pH 7,0 – 9,0. Selanjutnya larutan tersebut *dishaker* selama 60 menit. Setelah selesai, adsorben dan larutan dipisahkan menggunakan sentrifugasi dengan kecepatan 3000 rpm. Filtrat yang diperoleh kemudian dianalisis secara kuantitatif dengan spektrofotometer *UV-Vis* pada panjang gelombang maksimum kristal violet 591 nm (Bharathi *et al.*, 2013).

### **d. Variasi Waktu (Kinetika Adsorpsi)**

Sebanyak 0,1 gram adsorben HAS dan HASM dimasukkan ke dalam 5 wadah plastik yang berbeda. Kemudian 20 mL larutan kristal violet dengan konsentrasi



10 mg/L ditambahkan ke masing-masing labu erlenmeyer. Selanjutnya larutan tersebut *dishaker* dengan variasi waktu dari 0, 5, 15, 30, 60, dan 120 menit.

Masing-masing labu erlenmeyer dibuat pH optimum dengan menggunakan larutan buffer sitrat untuk kisaran pH asam, yaitu pH 3,0 – 6,0. Larutan buffer fosfat digunakan pada kisaran pH basa, yaitu pH 7,0 – 9,0. Setelah selesai, adsorben dan larutan dipisahkan menggunakan sentrifugasi dengan kecepatan 3000 rpm. Filtrat yang diperoleh kemudian dianalisis dengan spektrofotometer *UV-Vis* pada panjang gelombang maksimum kristal violet 591 nm (Bharathi *et al.*, 2013).

#### **e. Variasi Konsentrasi (Isoterm Adsorpsi)**

Sebanyak 0,1 gram adsorben HAS dan HASM dimasukkan ke dalam 9 wadah plastik yang berbeda. Kemudian 20 mL larutan kristal violet dengan konsentrasi yang berbeda, yaitu 0, 10, 25, 50, 75, 100, 150, 200, 300, dan 400 mg/L *dishaker* dengan waktu pengadukan optimum. Masing-masing labu erlenmeyer dibuat pH optimum dengan menggunakan larutan buffer sitrat untuk kisaran pH asam yaitu pada pH 3,0 – 6,0. Larutan buffer fosfat digunakan pada pH basa, yaitu pada kisaran nilai pH 7,0 – 9,0. Setelah pengadukan, adsorben dan larutan dipisahkan menggunakan sentrifugasi. Filtrat yang diperoleh kemudian dianalisis dengan spektrofotometer *UV-Vis* pada panjang gelombang maksimum kristal violet 591 nm (Bharathi *et al.*, 2013).

#### **f. Adsorpsi Simultan**

Sebanyak masing-masing 20 mL larutan kristal violet dan metilen biru dengan konsentrasi optimum dicampur dan ditambahkan adsorben sebanyak 0,1 gram

pada pH optimum. Kemudian campuran tersebut *dishaker* pada waktu optimum dengan kecepatan 100 rpm. Setelah itu dilakukan pemisahan dengan teknik sentrifugasi dengan kecepatan 3000 rpm. Filtrat yang diperoleh, dianalisis menggunakan spektrofotometer *UV-Vis* pada panjang gelombang 591 nm untuk larutan kristal violet dan 664 nm untuk larutan metilen biru.

**g. Adsorpsi Sekuensial**

Sebanyak 20 mL larutan kristal violet dengan konsentrasi optimum ditambahkan adsorben sebanyak 0,1 gram pada pH optimum. Kemudian *dishaker* pada waktu optimum. Setelah itu dilakukan pemisahan dengan teknik sentrifugasi. Filtrat yang diperoleh diukur dengan spektrofotometer *UV-Vis* pada panjang gelombang 591 nm. Endapan adsorben yang diperoleh dari proses penyaringan setelah *dishaker* selanjutnya ditambahkan 20 mL larutan metilen biru dengan konsentrasi optimum. Kemudian *dishaker* pada waktu optimum dengan kecepatan 100 rpm. Setelah itu dilakukan pemisahan dengan teknik sentrifugasi. Filtrat yang diperoleh diukur menggunakan spektrofotometer *UV-Vis* pada panjang gelombang 664 nm. Kemudian dilakukan hal yang sama dengan larutan awalnya adalah metilen biru.

## V. SIMPULAN DAN SARAN

### A. Simpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Sintesis material HAS dan HASM telah berhasil dilakukan berdasarkan hasil karakterisasi menggunakan spektrofotometer *IR*, *XRD*, dan *SEM-EDX*.
2. Adsorpsi kristal violet oleh material HAS optimum pada pH 9 dalam waktu 90 menit dengan konsentrasi 400 mg/L sedangkan material HASM optimum pada pH 8 dalam waktu 120 menit dengan konsentrasi 400 mg/L.
3. Kinetika adsorpsi kristal violet oleh HAS dan HASM cenderung mengikuti model kinetika pseudo orde dua dengan nilai konstanta laju ( $k_2$ ) masing-masing material sebesar 0,0361 dan 0,0227 g mg<sup>-1</sup> menit<sup>-1</sup>.
4. Isoterm adsorpsi kristal violet oleh HAS dan HASM cenderung mengikuti model isoterm Freundlich dengan harga koefisien regresi ( $r^2$ ) lebih besar dari model isoterm adsorpsi Langmuir.
5. Interaksi yang terjadi antara kristal violet dengan material HAS dan HASM melibatkan energi adsorpsi kurang dari 20,92 kJ mol<sup>-1</sup> yang mengindikasikan bahwa proses adsorpsi cenderung terjadi secara fisika

## **B. Saran**

Saran untuk penelitian lebih lanjut adalah sebagai berikut :

1. Dilakukan karakterisasi lebih kompleks mengenai material HAS dan HASM untuk lebih mengetahui tingkat keberhasilan sintesis yang dilakukan, serta untuk mengetahui karakteristik material dari banyak aspek.
2. Dilakukan uji adsorpsi secara simultan dan sekuensial dengan adsorbat yang berbeda untuk mengetahui keefektifan proses adsorpsinya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adamson, A. W. 1990. *Physical Chemistry of Surface*, 5<sup>th</sup> ed. John Wiley and Sons. New York.
- Allen, S.J., G. McKay, and J.F. Porter. 2004. *Adsorption Isotherm Models for Basic Dye Adsorption by Peat in Single and Binary Component Systems*. J. of Colloid and Sons Inc. New York.
- Angelova, R., E. Baldikova, K. Pospiskova, Z. Maderova, M. Safarikova, and I. Safarik. 2016. Magnetically Modified Sargassum Horneri Biomass as an Adsorbent for Organic Dye Removal. *Journal of Cleaner Production*. 137:189-194.
- Atkins, P. W. 1999. *Kimia Fisika Jilid 3*. Erlangga. Jakarta.
- Becker, E. W. 1999. *Microalgae Biotechnology and Microbiology*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Bharathi, K. S. and S.T. Ramesh. 2013. Removal of Dyes Using Agricultural Waste as Low-Cost Adsorbents: A Review. *Journal of Applied Water Science*. Pp 773–790.
- Brinker, C.J., and G.W. Scherer. 1990. *Application in : Sol Gel Science, the Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing*. Academic Press, Inc. San Diego, California. Pp 839-880.
- Buhani, Suharso, and Z. Sembiring. 2006. 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 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, Narsito, Nuryono, and E.S Kunarti. 2009a. Amino and Mercapto-Silica Hybrid for Cd(II) Adsorption in Aqueous Solution. *Indonesian Journal of Chemistry*. 9(2):170-176.

- Buhani, Narsito, Nuryono, and E.S.Kunarti. 2010. Production of Metal Ion Imprinted Polymer from Mercapto-Silica Through Sol-Gel Process as Selective Adsorbent of Cadmium. *Desalination*. 251:83-89.
- Buhani, Suharso, and Sumadi. 2010a. Adsorption Kinetics and Isotherm of Cd (II) Ion on Nannochloropsis sp Biomass Imprinted Ionic Polymer. *Desalination*. 259 (1-3):140-146.
- 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 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.
- Buhani, Suharso, and Sumadi. 2012a. 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 L. Aprilia. 2012b. 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 A.F. Partogi. 2013. Isoterm Adsorpsi Ion Ni (II) dalam Larutan oleh Biomassa Alga Nannochloropsis sp yang Dimodifikasi dengan Silika-Magnet. *Prosiding SEMIRATA 2013*. 1:(1).
- Buhani, Narsito, Nuryono, E.S. 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 and Suharso. 2016. *Modifikasi Silika sebagai Penyerap Logam Berat*. Innosain. Yogyakarta.
- 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, D. Herasari, Suharso, and S.D. Yuwono. 2017a. Correlation of Ionic Imprinting Cavity Sites on the Amino-Silica Hybrid Adsorbent with Adsorption Rate and Capacity of Cd<sup>2+</sup> Ion in Solution. *Oriental Journal of Chemistry*. 33(1):418-429.

- Buhani, Rinawati, Suharso, D.P.Yuliasari, and S.D.Yuwono. 2017b. 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.
- Cabrera, L., S. Gutierrez, N. Menendez, M.P. Morales, and P. Herrasti. 2008. Magnetite Nanoparticles: Electrochemical Synthesis and Characterization *Electrochimica Acta*. 53:3436-3441.
- Chang Y.C. and D.H. Chen. 2005. Preparation and Adsorption Properties of Monodisperse Chitosan-Bound Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Magnetic Nanoparticles for Removal of Cu(II) Ions. *Journal of Colloid Interface Science*. 283:446-451.
- Cullity, B.D. 1967. *Elements of X-Ray Diffraction*. Addison – Wesley. USA.
- Drbohlavova, J., Hrdy, R., Adam, V., Kizek, R., Schneeweiss, O., Hubalek, J. 2009. Preparation and Properties of Various Magnetic Nanoparticles. *Sensors*. 9:2352 – 2362.
- Elizabeth, I.R. 2011. Biosintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Silika (SiO<sub>2</sub>) dari Sekam Oleh Fusarium Oxyporum. (Skripsi). Fakultas MIPA. ITB. Bogor.
- Entezari, M.H., and T. R. Bastami. 2013. *High stable suspension of magnetite nanoparticles in ethanol by using sono-synthesized nanomagnetite in polyol medium*, *Mater. Res. Bull.* 48:3149–3156.
- Enymia, S. and N. Sulistriani. 1998. Pembuatan Silika dari Sekam Padi untuk Bahan Pengisian Karet Ban. *Jurnal Kimia Indonesia*. 7(1 dan 2):1-9.
- Fahmiati, Nuryono and Narsito. 2004. Kajian Kinetika Adsorpsi Cd(II), Ni(II) dan Mg(II) pada Silika Gel Termodifikasi 3-Merkapto-1,2,4-Triazol. *Alchemy*. 3(2):22-28.
- Farook, A. and S. Ravendran. 2000. Saturated Fatty Acids Adsorpsi by Acidified Rice Hull Ash. *Journal Chemistry Society*. 77:437-440.
- Forgacs, E., T. Cserháti, and G. Oros. 2004. Removal of Synthetic Dyes from Wastewater. *A Review: Environment International*. Pp 953-971.
- Gessner, T. and Mayer, U. 2002. *Pewarna Triarylmethane dan Diarylmethane*. Ullmann's Encyclopedia. Weinheim.
- Gupta, G.S., G. Prasad, K.K. Panday, and V.N. Singh. 1988. Removal of Chorme Dyes from Aquos Solution by Fly Ash. *Journal Water, Air and Soil Pollution*. 32:384-395.
- Harris, O.P. and J.G. Ramelow. 1990. Binding Of Metal Ions by Particulate Quadricauda. *Environmental Science and Technology*. 24:220-227.

- Hernianti and E. Pratiwi. 1987. *Kultur Laboratoris Spirulina sp. J. Perikanan Laut No. 44/1987*. Balai Penelitian Laut. Jakarta.
- Husin, G. and C. M. Rosnelly. 2005. Studi Kinetika Adsorpsi Larutan Logam Timbal Menggunakan Karbon Aktif dari Batang Pisang. (Tesis). Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala Darrusalam. Banda Aceh.
- 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*. Pp 305-311.
- Jamarun, N. 2000. Proses Sol Gel. (Tesis). FMIPA Kimia Universitas Andalas. Padang.
- Jeon, C. 2011. Adsorption Characteristic of Cooperation Using Magnetically Modified Medicinal Stones. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 17: 1487-1493.
- Kabinawa, I Nyoman. 2006. *Spirulina Ganggang Penggempur Aneka Penyakit Edisi Pertama*. PT Agromedia Pustaka. Tangerang.
- Kalpathy, U., A. Proctor, and J. Schultz. 2000. A Simple Method for Production of Pure Silica From Rice Hull Ash. *Bioresource Technology*. 73:257-262.
- Larry, D.H. 2001. *Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy in Handbook of Analytical Methods for Materials*. Materials Evaluation and Engineering, Inc. Pp 13-14.
- Liani. 2012. *Pengaruh Temperatur Terhadap Struktur Kristal Dan Morfologi Lapisan TiCl<sub>4</sub> Pada Pelapisan Logam Dengan Menggunakan Metode Sol-Gel*. (Skripsi). FMIPA Fisika Universitas Negeri Medan. Medan.
- Lin, Y., H. Chen, K. Lin, B. Chen, and C. Chiou. 2011. Application of Magnetic Particles Modified with Amino Groups to Adsorb Cooper Ions in Aqueous Solution. *Journal Environmental Science*. 23:44-50.
- M, Widya Aryani. 2017. Konversi Nanoselulosa Menjadi Gula Alkohol Menggunakan Nanokomposit Ni<sub>0,1</sub>Cu<sub>0,9</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> yang Diiradiasi Sinar UV. (Skripsi). FMIPA Kimia Universitas Lampung. Bandar Lampung. 35-36 pp.
- Manurung, R., R. Hasibuan, and Irvan. 2004. Perombakan Zat Warna Azo Reaktif Secara Anaerob-Aerob. *e-USU Repository*. Universitas Sumatra Utara. Medan.
- Mittal, A., J. Mittal, A. Malviya, D. Kaur, and V. K. Gupta. 2010. Adsorption of Hazardous Dye Crystal Violet from Wastewater by Waste Materials. *Journal of Colloid and Interface Science*. 343:463-473.



- Oscik, J. 1982. *Adsorption*. Ellis Horwood Limited. England.
- Oscik, J. and I. L. Cooper. 1994. *Adsorption*. Ellis Horwood Publisher, Ltd. Chichester.
- Pankhurst, Q.A., J. Connolly, S.K. Jones, and J. Dobson. 2003. Applications of Magnetic Nanoparticles in Biomedicine. *Journal of Physics D: Applied Physics*. 36:R167-R181.
- Park, D., Y.S. Yun, and J.M. Park. 2010. The Past, Present, and Future Trends of Biosorption. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*. 15(1):86-102.
- Peng, Q., Y. Liu, G. Zeng, W. Xu, C. Yang, and J. Zhang. 2010. Biosorption of Copper(II) by Immobilizing *Saccharomyces cerevisiae* on the Surface of Chitosan Coated Magnetic Nanoparticles from Aqueous Solution. *Journal of Hazardous Materials*. 177:676-682.
- Rahaman, M.N. 1995. *Ceramics Pressing and Sintering*. Department of Materials Science and Engineering. Missouri University of Science and Technology. 214-219 hlm.
- Romimoharto, K. 2004. *Meroplankton Laut*. Penerbit Djambatan. Jakarta.
- Rousseau, R. W. 1987. *Handbook of Separation Process Technology*. John Wiley and Sons Inc. United States. Pp 67.
- Sastrohamidjojo, H. 2001. *Spektroskopi*. Liberty. Yogyakarta.
- Schubert, U., and N. Husing. 2000. *Synthesis of Inorganic Material*. Willey-VCH Verlag GmbH. D-69469 Wernheim Federal Republik of Germany. *Science, The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing*. Academic.
- Singh, K.P., S. Gupta, A.K. Singh, and S. Sinha. 2011. Optimizing Adsorption of Crystal Violet Dye from Water by Magnetic Nanocomposite Using Response Surface Modeling Approach. *Journal of Hazardous Materials*. 186:1462–1473.
- Skoog, D. A. 1996. *Fundamental of Analytical Chemistry 7<sup>th</sup> Edition*. Saunders College Publishing. United States of America.
- 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.
- 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.

- Sukardjo. 1990. *Kimia Anorganik*. Penerbit Rineka Cipta. Jakarta
- Supratman, U. 2010. *Equilibrium Penentuan Senyawa Organik*. Universitas Padjajaran. Bandung.
- Susilawati. 2009. Studi Adsorpsi Ion Logam Cd(II) oleh Biomassa Alga Hijau yang Diimobilisasi pada Silika Gel. (Skripsi). Universitas Indonesia. Depok.
- 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*. 55:22-45.
- Vonshak, A. 1997. *Spirulina Platensis (Arthrospira) Physiology In: Cell-Biology and Biotechnology*. Taylor & Francis Ltd. London.
- Wagiyo and A. Handayani. 1997. *Petunjuk Praktikum Scanning Electron Microscope, SEM dan Energy Dispersive Spectrometer, EDS*. Badan Tenaga Atom Nasional. Tangerang.
- Wicaksono, R., Buhani, and Suharso. 2015. Kajian Isoterm Adsorpsi Ion Ni(II) dan Zn(II) Pada Biomassa Porphyridium sp. yang Dimodifikasi dengan Silika-Magnet. *Seminar Nasional Sains & Teknologi*. VI:696-705.
- Winarno, F. G. 1984. *Kimia Pangan dan Gizi*. PT. Gramedia. Jakarta.
- Xu, X., B.Y. Gao, Q.Y. Yue, and Q.Q. Zhong. 2007. Preparation and Utilization of Wheat Straw Bearing Amine Groups for The Sorption of Acid and Reactive Dyes from Aqueous Solutions. *Journal of Hazardous Materials*. 182(1-3):1-9.
- Zhang, L., L. Zhao, Y. Yu, and C. Chen. 1998. Removal of Lead from Aqueous Solution by Non-Living Rhizopus nigricans. *Water Research*. 32(5):1437-1444.
- Zhang, L.Y., G.X. Chend, and C. Fu. 2003. Synthesis and Characteristic of Tyrosinase Imprinted Beads Via Suspension Polymerization. *Reaction functional Polymer*. 56:167-173.