

**SINTESIS HIBRIDA ALGA *Porphyridium* sp. DENGAN TEKNIK  
PELAPISAN SILIKA MAGNETIT (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) SEBAGAI ADSORBEN  
ZAT WARNA KRISTAL VIOLET**

**( Skripsi )**

**Oleh**

**ANA DEVITA MUTIARA**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS LAMPUNG**

**BANDAR LAMPUNG**

**2018**

## ABSTRACT

### SYNTHESIS *Porphyridium* sp. ALGAE HYBRID USING THE COATING TECHNIQUE OF MAGNETITE (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) SILICA AS AN ADSORBENT OF CRYSTAL VIOLET DYES

By

Ana Devita Mutiara

This study has been carried out the synthesis of the hybrid adsorbent algae *Porphyridium* sp. using silica coating (HAS) and *Porphyridium* sp. algae hybrid with magnetite silica coating technique, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (HASM). The synthesized adsorbent was characterized using an infrared spectrophotometer (IR) to identify the functional groups contained in the adsorbent, *X-Ray Diffraction* (XRD) to determine the crystallinity is mainly modify by HAS and magnetite and then *Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) to analyze surface morphology and element composition in the adsorbent. The results of crystal violet adsorption on HAS and HASM were analyzed using a UV-Vis spectrophotometer. The optimum level of crystal violet adsorption for HAS and HASM adsorbents occurred at pH 8 with a contact time of 120 minutes. The rate of crystal violet adsorption on HAS and HASM tends to follow the second order pseudo kinetics model with the values of  $k_2$  is  $0,477 \times 10^{-5}$  and  $0,046 \times 10^{-5} \text{ g mmol}^{-1} \text{ minute}^{-1}$  and then the correlation coefficient ( $R^2$ ) is close to 1. Crystal violet adsorption isotherms for HAS and HASM tend to follow the Freundlich isotherm model.

**Keyword:** *Porphyridium* sp. Algae, Silica, Silica Algae Hybrids, Magnetite, Crystals Violet.

## ABSTRAK

### SINTESIS HIBRIDA ALGA *Porphyridium* sp. DENGAN TEKNIK PELAPISAN SILIKA MAGNETIT (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) SEBAGAI ADSORBEN ZAT WARNA KRISTAL VIOLET

Oleh

Ana Devita Mutiara

Pada penelitian ini telah dilakukan sintesis adsorben hibrida alga *Porphyridium* sp. menggunakan teknik pelapisan silika (HAS) dan hibrida alga *Porphyridium* sp. dengan teknik pelapisan silika magnetit, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (HASM). Adsorben hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer inframerah (IR) untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat pada adsorben, *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk menentukan tingkat kekristalan terutama dari hasil modifikasi HAS dan magnetit serta *Scanning Electron Microscopy with Energi Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) untuk menganalisis morfologi permukaan dan komposisi unsur dalam adsorben. Hasil adsorpsi kristal violet terhadap HAS dan HASM dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Tingkat optimum adsorpsi kristal violet terhadap adsorben HAS dan HASM terjadi pada pH 8 dengan waktu kontak 120 menit. Laju adsorpsi kristal violet terhadap HAS dan HASM cenderung mengikuti model kinetika pseudo orde dua dengan nilai  $k_2$  masing – masing sebesar  $0,477 \times 10^{-5}$  dan  $0,046 \times 10^{-5}$  g mmol<sup>-1</sup> menit<sup>-1</sup> serta nilai koefisien korelasi ( $R^2$ ) mendekati 1. Isoterm adsorpsi kristal violet terhadap HAS dan HASM cenderung mengikuti model isoterm Freundlich.

**Kata Kunci** : Alga *Porphyridium* sp., Silika, Hibrida Alga Silika, Magnetit, Kristal Violet.

**SINTESIS HIBRIDA ALGA *Porphyridium* sp. DENGAN TEKNIK  
PELAPISAN SILIKA MAGNETIT (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) SEBAGAI ADSORBEN  
ZAT WARNA KRISTAL VIOLET**

Oleh

**ANA DEVITA MUTIARA**

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 HIBRIDA ALGA *Porphyridium* sp.  
DENGAN TEKNIK PELAPISAN SILIKA  
MAGNETIT (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) SEBAGAI ADSORBEN  
ZAT WARNA KRISTAL VIOLET**

Nama Mahasiswa : **Ana Devita Mutiara**

No. Pokok Mahasiswa : 1417011005

Jurusan : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

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

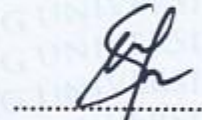
2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA

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

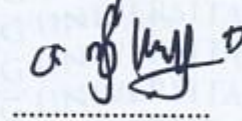
**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

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

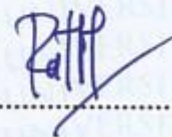


Sekretaris : **Dr. Mita Rilyanti, M.Si.**



Penguji

Bukan Pembimbing : **Dr. Ni Luh Gede Ratna Juliasih, M.Si.**



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 : **26 September 2018**

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung, pada tanggal 17 Juli 1996, sebagai anak keempat dari empat bersaudara yang merupakan putri dari pasangan Bapak Choirin Z. Semenguk dan Ibu Farida Yati.

Penulis mengawali jenjang pendidikan dari Taman Kanak-Kanak (TK) Dewi Sartika Bandar Lampung pada tahun 2001 – 2002. Kemudian melanjutkan pendidikan Sekolah Dasar (SD) di SD Al - Azhar 1 Bandar Lampung hingga tahun 2008. Pendidikan Sekolah Menengah Pertama (SMP) diselesaikan pada tahun 2011 di SMP Negeri 25 Bandar Lampung. Pendidikan Sekolah Menengah Atas (SMA) diselesaikan di SMA YP UNILA Bandar Lampung 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 Universitas Lampung sebagai anggota Bidang Kaderisasi dan Pengembangan Organisasi (KPO) 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 bulan Juni 2017 penulis menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik yang diberi judul **Sintesis Hibrida Biomassa Alga *Phorpyridium* sp. Dengan Teknik Pelapisan Magnetit Sebagai Adsorben Zat Warna Metilen Biru dan Kristal Violet**. Pada tahun yang sama penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) pada tanggal 24 Juli – 31 Agustus 2017 di Desa Pekondoh, Kecamatan Cukuh Balak, Kabupaten Tanggamus.



## *MOTTO*

إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا (٦) فَإِذَا فَرَغْتَ فَانصَبْ (٧)  
وَالِإِلَىٰ رَبِّكَ فَارْغَبْ (٨)

Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila kamu telah selesai (dari sesuatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain. dan hanya kepada Tuhanmulah hendaknya kamu berharap.

( QS. Al - Insyirah [94] : 6 - 8 )

“Barang siapa yang menempuh jalan untuk mencari suatu ilmu. Niscaya Allah memudahkannya ke jalan menuju surga.”

(HR. Turmudzi)

“Sometimes you find out what you are supposed to be doing by doing the things you are not supposed to do.”

- Oprah Winfrey -

“Real courage is holding on to a still voice in your head that says, ‘I must keep going.’ It’s that voice that says nothing is a failure if it is not final. That voice that says to you, Get out of bed. Keep going. I will not quit.”

- Cory Booker -

“Keep smiling because life is a beautiful thing and there’s so much to smile about.”



Alhamdulillah Puji Syukur Atas Kehadirat Allah SWT yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang

Kupersembahkan karya sederhanaku ini sebagai wujud sayang, bakti, dan tanggung jawab kepada :

Kedua orang tuaku yang telah merawatku hingga seperti sekarang, yang selalu memberikan do'a - do'a terbaik, nasihat, dukungan,serta senantiasa berkorban untukku.

Kakak-kakakku yang selalu memberikan dukungan, semangat, serta motivasi untukku.

Para ibu dan bapak dosen yang selama ini telah memberikan banyak ilmu pengetahuan, pelajaran, arahan, serta bimbingannya kepadaku.

Seseorang yang telah mendukungku, memberikan semangat, dan menjadi tempat untuk berbagi cerita serta berkeluh kesah

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

Serta

Almamater yang tercinta

## SANWACANA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul “**Sintesis Hibrida Alga *Porphyridium* sp. Dengan Teknik Pelapisan Silika Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) 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 atas segala bimbingan, bantuan, nasihat, dan saran yang diberikan dengan sabar dan penuh dedikasi hingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini dengan baik.
2. Ibu Dr. Mita Rilyanti, M.Si. selaku Pembimbing II penelitian yang telah memberikan kritik, saran, dan arahan kepada penulis sehingga skripsi ini terselesaikan dengan baik.

3. Ibu Dr. Ni Luh Gede Ratna Juliasih, M.Si. 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 Diky Hidayat, M.Sc. selaku Pembimbing Akademik yang telah memberikan nasihat, masukan serta semangat kepada penulis selama menjadi mahasiswa di Jurusan Kimia.
5. Bapak Dr. Eng Suropto Dwi Yuwono., M.T. selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung
6. Prof. Warsito, S.Si., D.E.A., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung.
7. Mba Liza Aprilia, S.Si. selaku laboran Laboratorium Kimia Anorganik / Fisik yang telah banyak membantu dalam menyediakan alat serta bahan untuk penelitian penulis.
8. 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.
9. Kedua orang tuaku tercinta Papa Choirin Z. Semenguk dan Mama Farida Yati yang selama ini tak henti-hentinya memberikan do'a, dukungan kepadaku, yang selalu menyayangiku, menasihati dan menyemangati sehingga memberikan kekuatan bagi penulis untuk bisa menyelesaikan skripsi ini dengan baik.

10. Kakak – Kakakku Uwan Angga Ekanata, Mba Ressa Kusuma Yusniar, Enan Andre Resa Falevi, Mba Rifany Meylasari, Abang Andika Ramadona Trianjaya, serta keponakanku Fabian Aileendra Falevi yang selalu memberi semangat, dukungan serta bantuan kepada penulis.
11. Rahmad Syah Putra yang telah menemani, memberikan semangat, dukungan serta bantuan dalam proses penyelesaian skripsi ini.
12. Sepupu – sepupu seperjuanganku Nitami Muttia Putri, Farastika Unjunan Muli, Fermata Unjunan Sari, M. Imam Berdikari yang sudah mensupport serta menjadi tempat berkeluh kesah selama menghadapi masa perkuliahan.
13. Rekan – rekan “*Grup Anak Bubu*” yaitu Asdini Virginia, Ferita Angriana, Fitria Luziana, dan Ismi Aditiya atas kerjasama yang baik, dukungan, bantuan serta semangat yang diberikan selama ini.
14. Serta kakak – kakak penghuni “*Adsorption Group*” yaitu kak Radho, Mbak Murnita, Mbak Fentri, Mbak Melita, Mbak Indah, Mbak Annisa, dan Kak Rifky, serta adik - adik 2015 yaitu Ade Rika, Tri Handayani, Miranda, Desi, Yanti dan Aini yang telah memberikan dukungan, bantuan, motivasi, serta saran kepada penulis. Sukses untuk kita semua.
15. Keluarga besar Kerajaan Anorganik 2014 yaitu King Yusuf Hadi Kurniawan dan para anggota yaitu Devi Tri Lestari, Ismi Aditiya, 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.

16. Sahabat – sahabatku yang kusebut “AIBKU AIBMU” yaitu Devi Tri Lestari, Ismi Aditiya, Hestyaningsih Famela, Ferita Angriana, Cindy Claudya Putri, Erien Ratna Putri, Ayuning Fara Mudhita, Aniza Vidya Widata, Fergina Prawaning Tyas, Rica Aulia, Fitri Oktavianica yang selama ini selalu menjadi tim hore, tim receh dan juga menjadi *support system* terhebat dalam mengisi setiap momen selama masa perkuliahanku. SEE YOU ON TOP Guys!
17. Para penghuni Laboratorium Kimia Anorganik / Fisik yang telah memberi semangat, dukungan, hiburan, serta motivasi kepada penulis.
18. Teman – teman di Jurusan, Fakultas, Universitas lain atas bantuan, dukungan, saran yang diberikan kepada penulis.
19. Teman – teman sepermainanku dari masa SMP, Asih Berliani, Fergina Prawaning Tyas, Diana Putri Veronika, Oftika Sari, Faddel Raka Pratama yang sudah memberika dukungan serta motivasi kepada penulis.
20. Teman-teman KIMIA Unila 2014 yang luar biasa yang tidak bisa disebutkan satu per satu karena kalian terlalu banyak. Terimakasih karena sudah mau berjuang bersama – sama melewati masa perkuliahan ini. “Kami Bersatu, Satu Yang Solid!!!”

21. Semua pihak yang tidak dapat kusebutkan satu per satu yang telah mendukung dan memotivasi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini dan menyelesaikan studi sebagai mahasiswa S1 Kimia.

Akhir kata penulis menyadari bahwa skripsi ini masih kurang dari kesempurnaan. Penulis berharap semoga skripsi yang sederhana ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, September 2018  
Penulis

Ana Devita Mutiara

## DAFTAR ISI

Halaman

<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>i</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>iv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>vi</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b>	
A. Latar Belakang dan Masalah .....	1
B. Tujuan Penelitian .....	5
C. Manfaat Penelitian .....	5
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
A. Alga Merah <i>Porphyridium</i> sp. ....	6
1. Habitat .....	6
2. Deskripsi dan klasifikasi <i>Porphyridium</i> sp. ....	6
B. Immobilisasi Biomassa Alga .....	8
C. Silika Gel.....	9
D. Proses Sol Gel .....	11
E. Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) .....	13
F. Teknik Pelapisan Silika-magnetit ( <i>Silica-Coated Magnetite</i> ) .....	14
G. Zat Warna .....	15
H. Kristal Violet .....	16
I. Adsorpsi .....	17
1. Pengertian adsorpsi .....	17
2. Jenis adsorpsi .....	18



3. Faktor - faktor yang mempengaruhi adsorpsi .....	19
4. Kinetika adsorpsi .....	22
5. Kapasitas adsorpsi .....	24
J. Karakterisasi .....	28
1. Spektrofotometer <i>UV-Visible</i> (UV-Vis).....	28
2. Spektrofotometer Inframerah (IR) .....	29
3. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	30
4. <i>Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-Ray</i> (SEM-EDX) .....	32

### III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat .....	34
B. Alat dan Bahan.....	35
C. Prodesur Kerja .....	35
1. Penyiapan biomassa alga <i>Porphyridium</i> sp. ....	35
2. Sintesis hibrida alga <i>Porphyridium</i> sp. silika (HAS) .....	35
3. Sintesis magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) .....	36
4. Sintesis hibrida alga <i>Porphyridium</i> sp. silika magnetit (HASM) .....	36
5. Karakterisasi adsorben .....	37
6. Uji adsorpsi .....	38
a. Pembuatan larutan induk kristal violet 1000 ppm .....	38
b. Pengaruh pH adsorpsi .....	38
c. Pengaruh waktu adsorpsi .....	38
d. Pengaruh konsentrasi adsorbat.....	39
e. Adsorpsi simultan .....	39
f. Adsorpsi sekuensial.....	40

### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Sintesis dan Karakterisasi Adsorben .....	41
1. Karakterisasi Spektrofotometer Inframerah (IR) .....	43
2. Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	45

3. Karakterisasi <i>Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-Ray</i> (SEM-EDX) .....	46
B. Adsorpsi Kristal Violet oleh HAS dan HASM <i>Porphyridium</i> sp. ....	49
1. Pengaruh pH adsorpsi .....	49
2. Pengaruh waktu adsorpsi .....	50
3. Pengaruh konsentrasi adsorbat.....	54
4. Adsorpsi simultan .....	57
5. Adsorpsi sekuensial .....	58

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan .....	60
B. Saran .....	61

## DAFTAR PUSTAKA

## LAMPIRAN

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Nama dan struktur kromofor .....	15
2. Perbedaan adsorpsi fisika dan kimia .....	19
3. Serapan khas beberapa gugus fungsi .....	30
4. Hasil analisis gugus fungsi pada adsorben .....	45
5. Hasil analisis struktur XRD .....	46
6. Parameter kinetika adsorpsi kristal violet terhadap HAS dan HASM.....	53
7. Parameter isoterm adsorpsi kristal violet terhadap HAS dan HASM.....	56
8. Data absorbansi kristal violet variasi pH .....	70
9. Adsorpsi kristal violet pada adsorben dengan variasi pH.....	71
10. Data absorbansi kristal violet variasi waktu .....	72
11. Adsorpsi kristal violet pada adsorben dengan variasi waktu .....	73
12. Data perhitungan hasil kinetika pseudo orde satu pada HAS terhadap kristal violet .....	74
13. Data perhitungan hasil kinetika pseudo orde satu pada HASM terhadap kristal violet .....	76
14. Data perhitungan hasil kinetika pseudo orde dua pada HAS terhadap kristal violet .....	77
15. Data perhitungan hasil kinetika pseudo orde dua pada HASM terhadap kristal violet .....	78
16. Data absorbansi kristal violet variasi konsentrasi .....	79

17. Adsorpsi kristal violet pada adsorben dengan variasi konsentrasi .....	80
18. Data perhitungan dengan persamaan Langmuir pada adsorpsi kristal violet terhadap HAS .....	81
19. Data perhitungan dengan persamaan Langmuir pada adsorpsi kristal violet terhadap HASM .....	83
20. Data perhitungan dengan persamaan Freundlich pada adsorpsi kristal violet terhadap HAS .....	84
21. Data perhitungan dengan persamaan Freundlich pada adsorpsi kristal violet terhadap HASM .....	86
22. Data absorbansi kristal violet adsorpsi simultan dan sekuensial .....	87
23. Data absorbansi metilen biru adsorpsi simultan dan sekuensial .....	87
24. Data hasil analisis uji adsorpsi simultan .....	88
25. Data hasil analisis uji adsorpsi sekuensial .....	89

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. <i>Porphyridium</i> sp. ....	7
2. Struktur TEOS .....	11
3. Struktur kristal violet .....	17
4. Model isoterm adsorpsi Langmuir .....	26
5. Model isoterm adsorpsi Freundlich .....	28
6. Hasil sintesis (a) HAS <i>Porphyridium</i> sp., (b) magnetit, (c) HASM <i>Porphyridium</i> sp. ....	42
7. Spektra IR (a) biomassa alga <i>Porphyridium</i> sp., (b) HAS, (c) HASM.....	43
8. Difraktogram (a) magnetit, (b) HAS, (c) HASM.....	45
9. Hasil karakterisasi SEM (a) magnetit, (b) HAS, dan (c) HASM.....	47
10. Hasil karakterisasi EDX (a) magnetit, (b) HAS, dan (c) HASM .....	48
11. Kurva pengaruh pH pada adsorpsi kristal violet.....	49
12. Kurva pengaruh waktu kontak pada adsorpsi kristal violet .....	51
13. Kinetika pseudo orde satu pada HAS dan HASM terhadap kristal violet.....	52
14. Kinetika pseudo orde dua pada HAS dan HASM terhadap kristal violet.....	53
15. Kurva pengaruh konsentrasi pada adsorpsi kristal violet.....	54
16. Pola isoterm Langmuir HAS dan HASM terhadap kristal violet.....	55

17. Pola isoterm Freundlich HAS dan HASM terhadap kristal violet .....	55
18. Hasil uji adsorpsi simultan .....	57
19. Hasil uji adsorpsi sekuensial (a) CV <sub>1</sub> -MB <sub>2</sub> dan (b) MB <sub>1</sub> -CV <sub>2</sub> terhadap HAS dan HASM .....	59
20. Kurva hasil pengukuran panjang gelombang maksimum kristal violet .....	70
21. Kurva standar kristal violet untuk variasi pH .....	70
22. Adsorpsi kristal violet terhadap HAS dengan variasi pH .....	71
23. Adsorpsi kristal violet terhadap HASM dengan variasi pH.....	72
24. Kurva standar kristal violet untuk variasi waktu .....	72
25. Adsorpsi kristal violet terhadap HAS dengan variasi waktu .....	73
26. Adsorpsi kristal violet terhadap HASM dengan variasi waktu.....	74
27. Pola kinetika pseudo orde satu pada HAS terhadap kristal violet .....	75
28. Pola kinetika pseudo orde satu pada HASM terhadap kristal violet.....	76
29. Pola kinetika pseudo orde dua pada HAS terhadap kristal violet.....	77
30. Pola kinetika pseudo orde dua pada HASM terhadap kristal violet .....	78
31. Kurva standar kristal violet untuk variasi konsentrasi .....	79
32. Adsorpsi kristal violet terhadap HAS dengan variasi konsentrasi.....	80
33. Adsorpsi kristal violet terhadap HASM dengan variasi konsentrasi .....	80
34. Pola isoterm adsorpsi Langmuir pada HAS terhadap kristal violet .....	82
35. Pola isoterm adsorpsi Langmuir pada HASM terhadap kristal violet .....	83
36. Pola isoterm adsorpsi Freundlich pada HAS terhadap kristal violet .....	85
37. Pola isoterm adsorpsi Freundlich pada HASM terhadap kristal violet.....	86
38. Kurva standar kristal violet untuk adsorpsi simultan dan sekuensial .....	87
39. Kurva standar metilen biru untuk adsorpsi simultan dan sekuensial .....	88
40. Adsorpsi simultan terhadap HAS dan HASM .....	88

41. Adsorpsi sekuensial terhadap HAS .....	89
42. Adsorpsi sekuensial terhadap HASM .....	89

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang dan Masalah

Pada era global ini, tidak dapat dipungkiri bahwa semakin banyak industri maju dan berkembang, maka semakin banyak pula limbah yang dihasilkan oleh industri tersebut. Akhir-akhir ini banyak limbah dari sisa pembuangan industri maupun pabrik yang berupa cair, padat bahkan berupa zat gas yang berbahaya bagi kehidupan kita. Limbah yang dihasilkan oleh industri tersebut antara lain adalah senyawa fenol, zat warna tekstil, pestisida, poliklorobifenil (PCB), trikloroetilen (TCE), dan senyawa aromatik lain atau senyawa organik lain (Andayani dan Sumartono, 1999).

Zat warna dari industri tekstil merupakan salah satu sumber kontaminasi di lingkungan. 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). Hampir 10.000 jenis zat warna dengan jumlah yang lebih dari  $7 \times 10^5$  ton diproduksi setiap tahun. Sebanyak 10-15% dari zat warna hilang dalam eluen selama proses pewarnaan (Singh *et al.*, 2003).



Salah satu senyawa yang paling banyak digunakan di dalam industri yaitu kristal violet. Umumnya kristal violet ini digunakan pada sebuah industri sebagai pewarna kertas. Zat warna tersebut digunakan karena termasuk zat warna dasar yang mempunyai kelarutan yang relatif baik. Pada saat proses pewarnaan berlangsung, zat warna yang dapat terikat hanya sekitar 5% sedangkan sisanya 95% terbuang sebagai limbah, sehingga kontribusinya masuk ke dalam lingkungan perairan sangat besar. Hal ini yang dapat menyebabkan gangguan pada ekosistem dan penyakit seperti peningkatan denyut jantung, *quadriplegia* (kerusakan pada saraf tulang belakang), tubuh kebiruan (kekurangan oksigen dalam darah), hepatitis serta rusaknya jaringan sel pada manusia (Liu *et al.*, 2010).

Beberapa cara untuk mengurangi pencemaran lingkungan akibat limbah cair, antara lain dengan metode koagulasi, kompleksasi, pertukaran ion, presipitasi, dan adsorpsi. Metode adsorpsi paling banyak dimanfaatkan dalam penyerapan senyawa berbahaya dalam limbah cair dari beberapa metode yang ada. Hal ini dikarenakan penggunaan metode adsorpsi ini memiliki beberapa keuntungan antara lain, prosesnya sangat sederhana, biaya yang dibutuhkan relatif murah, ramah lingkungan, dan tidak memiliki efek samping. Keberhasilan dari penggunaan metode adsorpsi ini umumnya bergantung kepada jenis adsorben yang digunakan (Gupta and Bhattacharyya, 2006).

Jenis adsorben yang biasa digunakan dalam proses adsorpsi antara lain adalah karbon aktif, silika gel, alumina, dan zeolit. Seiring berkembangnya zaman, saat ini biomassa alga mulai dikembangkan sebagai salah satu adsorben alternatif yang berasal dari alam karena harganya lebih ekonomis. Beberapa jenis biomassa alga

telah memiliki kemampuan yang cukup tinggi dalam mengadsorpsi ion atau molekul di dalam larutan melalui gugus – gugus fungsinya yang terdapat dalam biomassa alga, sehingga biomassa alga dapat dimanfaatkan sebagai adsorben dalam pengolahan limbah cair. Biomassa alga itu sendiri mempunyai beberapa kelemahan antara lain memiliki berat jenis yang relatif rendah, mudah rusak akibat penguraian oleh mikroorganisme lain, dan secara teknik biomassa alga sulit digunakan dalam kolom untuk aplikasinya sebagai adsorben (Buhani *et al.*, 2010; Buhani and Suharso, 2009).

Modifikasi pada biomassa alga perlu dilakukan untuk mengatasi kelemahan dari penggunaan biomassa alga sebagai adsorben sehingga dapat meningkatkan daya adsorpsi biomassa alga tersebut terhadap zat warna (Buhani *et al.*, 2012). Oleh karena itu, dilakukan immobilisasi biomassa alga dengan matriks silika gel melalui proses sol-gel. Proses sol-gel ini dapat menghomogenkan larutan namun tidak merusak strukturnya sehingga proses immobilisasi alga pada matriks silika diharapkan dapat mempertahankan keaktifan gugus-gugus fungsi yang terdapat pada biomassa alga dan meningkatkan kapasitas adsorpsi. Pemanfaatan silika ini juga memiliki kelemahan antara lain rendahnya efektivitas dan selektivitas permukaan dalam berinteraksi dengan ion logam berat. Akan tetapi, kelemahan ini dapat diatasi dengan teknik pelapisan silika magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) pada biomassa alga tersebut (Liu *et al.*, 2010; Buhani *et al.*, 2012; Buhani *et al.*, 2011).

Teknik pelapisan silika dengan partikel magnetit merupakan teknik yang ramah lingkungan. Penggunaan sifat magnetik ini juga bermanfaat ketika limbah dikembalikan ke lingkungan, karena tidak menghasilkan zat yang menyebabkan

kontaminasi (Chang and Chen, 2005; Hu *et al.*, 2006; Wicaksono dkk., 2015; Buhani dkk., 2013). Metode ini merupakan salah satu teknik yang dapat mengatasi adanya gumpalan padatan tersuspensi (*flocculant*) dalam limbah industri yang diolah. Adanya modifikasi tersebut, maka akan diperoleh adsorben yang memiliki kapasitas dan selektivitas yang besar terhadap zat yang diadsorpsi. (Jeon, 2011; Peng *et al.*, 2010; Lin *et al.*, 2011; Buhani *et al.*, 2017).

Pada penelitian sintesis hibrida alga-silika dari biomassa *Porphyridium* sp. dengan teknik pelapisan magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) dan uji adsorpsi terhadap metilen biru dalam larutan yang telah dilakukan oleh Hariyanti (2017), diperoleh hasil adsorpsi yang cukup baik yaitu di atas 80%. Pada penelitian ini dilakukan sintesis material hibrida alga *Porphyridium* sp. dengan teknik pelapisan silika magnetit sebagai adsorben zat warna kristal violet. Material yang diperoleh dikarakterisasi dengan spektrofotometri IR untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat pada adsorben, sedangkan untuk menentukan tingkat kekristalan hasil modifikasi HAS dan magnetit dikarakterisasi menggunakan XRD. Untuk mengetahui morfologi permukaan dilakukan karakterisasi menggunakan SEM-EDX. Selain itu, kadar kristal violet yang teradsorpsi pada adsorben dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

## **B. Tujuan Penelitian**

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

1. Mempelajari cara sintesis dan karakterisasi hibrida alga silika (HAS) dan hibrida alga silika magnetit (HASM) dari alga *Porphyridium* sp.
2. Mempelajari pengaruh pH, waktu, dan variasi konsentrasi kristal violet terhadap HAS dan HASM dari alga *Porphyridium* sp.
3. Menentukan laju dan kapasitas adsorpsi kristal violet pada HAS dan HASM dari alga *Porphyridium* sp.

## **C. Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah untuk memberikan informasi mengenai hasil modifikasi dari hibrida biomassa alga *Porphyridium* sp. silika dengan teknik pelapisan partikel magnetit sehingga dapat diaplikasikan sebagai adsorben zat warna kristal violet.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Alga Merah *Porphyridium* sp.

#### 1. Habitat

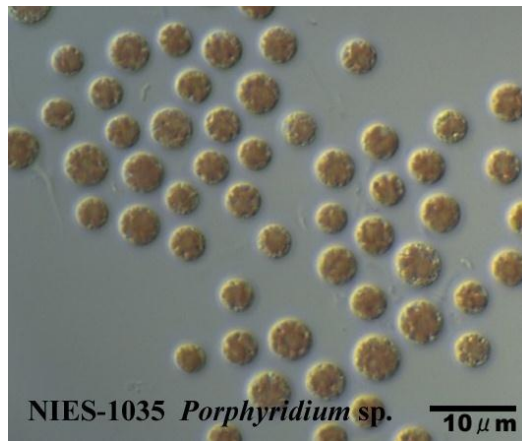
Secara umum habitat alga adalah lingkungan perairan, baik air tawar maupun laut. Pada habitat air tawar biasanya alga melimpah di kolam, sungai, danau atau waduk. Alga hidup dengan cara melayang, mengapung atau pada dasar perairan yang dangkal. Namun ada juga yang habitatnya pada lingkungan daratan. Alga yang habitatnya di daratan biasanya ditemukan pada tanah yang lembab, batang kayu, bahkan batu (Vashishta *et al.*, 2004). Habitat asli dari *Porphyridium* diduga berasal dari laut karena dapat hidup dengan baik pada media cair maupun media padat air laut (Borowitzka and Borowitzka, 1988).

#### 2. Deskripsi dan klasifikasi *Porphyridium* sp.

*Porphyridium* sp. adalah mikroalga merah bersel satu yang termasuk kelas *Rhodophyceae*, hidup bebas atau berkoloni yang terikat dalam *Mucilago*. Senyawa *mucilago* dieksresikan secara konstan oleh sel membentuk sebuah kapsul yang mengelilingi sel. *Mucilago* merupakan polisakarida sulfat yang bersifat larut dalam air. Bentuk dari alga *Porphyridium* sp. dapat dilihat pada Gambar 1.

Klasifikasi *Porphyridium* sp. menurut Vonshak (1988) adalah sebagai berikut :

Kingdom : Protista  
Filum : Rhodophyta  
Kelas : Bangiophycidae  
Ordo : Porphyridiales  
Famili : Porphyridiaceae  
Genus : *Porphyridium*  
Species : *Porphyridium* sp.



**Gambar 1.** *Porphyridium* sp.

Pemberian nama alga merah untuk *Porphyridium* sp. didasarkan atas kelebihan dan dominasi dari pigmen merah fikoeritrin dan fikosianin yang dimilikinya. Jenis klorofil yang dimilikinya adalah klorofil a sedangkan klorofil b tidak ada dan diganti dengan klorofil d. Pigmen merah menutupi warna dari pigmen fotosintesis lainnya. Pigmen r(*red*)-fikoeritrin, r(*red*)-fikosianin, dan allofikosianin terkandung dalam fikobillin dari alga merah. Fikobillin berperan penting dalam fotosintesis sebagai pigmen penerima cahaya terutama pada fotosistem II (PSII) dalam *phycobilliso* (Arylza, 2005).

Sel *Porphyridium* sp. berbentuk bulat dengan diameter 4 - 9  $\mu\text{m}$ . Struktur selnya terdiri dari sebuah nukleus (inti), kloroplas, badan golgi, mitokondria, pati dan vesikel. Setiap sel memiliki kloroplas dengan pirenoid di tengahnya.

*Porphyridium* sp. dapat hidup di berbagai habitat alam seperti air laut, air tawar, maupun pada permukaan tanah yang lembab dan membentuk lapisan kemerah-merahan yang sangat menarik.

Struktur sel *Porphyridium* sp. merupakan tipe struktur sel eukariotik. Setiap sel dikelilingi oleh dinding sel yang terdiri dari dua lapisan. Lapisan bagian luar terdiri dari bahan pektin dan lapisan bagian dalam terbuat dari mikrofibril selulosa. Biomassa kering sel *Porphyridium* mengandung protein 28-39%, karbohidrat 40-57%, dan lipid 9-14% (Spolaore *et al.*, 2006).

## **B. Immobilisasi Biomassa Alga**

Pemanfaatan biomassa alga terkadang memiliki beberapa kelemahan yaitu ukurannya yang sangat kecil, berat jenis yang rendah, dan strukturnya mudah rusak akibat degradasi oleh mikroorganisme lain. Untuk mengatasi kelemahan tersebut berbagai upaya dilakukan, diantaranya dengan mengimmobilisasi biomasannya. Immobilisasi biomassa dapat dilakukan dengan menggunakan matriks polimer seperti polietilen, glikol, dan akrilat, oksida seperti alumina, silika, dan campuran oksida seperti kristal aluminasilikat, asam polihetero, dan karbon (Harris and Rammelow, 1990).

Untuk meningkatkan kestabilan biomassa alga sebagai adsorben, pada penelitian ini dilakukan immobilisasi dengan matriks pendukung menggunakan silika gel.

Silika gel merupakan salah satu adsorben yang paling sering digunakan dalam proses adsorpsi. Hal ini disebabkan oleh mudahnya silika diproduksi dan sifat permukaan (struktur geometri pori dan sifat kimia pada permukaan) dan dapat dengan mudah dimodifikasi (Fahmiati dkk., 2004).

Agar laju dan kapasitas adsorben meningkat dalam mengadsorpsi ion logam, maka dilakukan teknik pelapisan silika dengan magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Penambahan magnetit ini dapat meningkatkan stabilitas adsorben dengan jalan melapisi permukaan silika dengan magnetit secara *in-situ*. Lapisan permukaan silika diharapkan berfungsi sebagai perisai atau pelindung terhadap pengaruh lingkungan, sehingga magnetit yang dilapisi oleh silika akan lebih stabil. Silika yang melapisi permukaan nanopartikel magnetit menghalangi gaya tarik-menarik magnetit dipolar antar partikel, sehingga terbentuk partikel yang mudah terdispersi di dalam media cair dan terlindungi dari kerusakan dalam suasana asam. Selain daripada itu, adanya gugus silanol dalam jumlah besar pada lapisan silika mempermudah aktivasi magnetit. Gugus silanol menjadi tempat terikatnya berbagai gugus fungsi seperti karbonil, biotin, avidin, dan molekul lainnya sehingga memudahkan aplikasi magnetit terutama di bidang biomedis. Selain itu, lapisan silika memberikan sifat *inert* yang berguna bagi aplikasi pada sistem biologis (Pankhurst *et al.*, 2003; Deng *et al.*, 2005).

### **C. Silika Gel**

Silika gel merupakan silika amorf 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 banyak digunakan karena merupakan padatan pendukung yang memiliki kelebihan yaitu stabil pada kondisi asam, inert, biaya sintesis rendah, memiliki karakteristik pertukaran massa yang tinggi, porositas, luas permukaan, dan memiliki daya tahan tinggi terhadap panas. Selain itu, silika gel juga memiliki situs aktif berupa gugus silanol ( $\text{Si-OH}$ ) dan siloksan ( $\text{Si-O-Si}$ ) pada permukaannya (Na *et al.*, 2006). Adapun kelemahan dari penggunaan silika gel adalah rendahnya efektivitas dan selektivitas permukaan dalam berinteraksi dengan ion logam berat sehingga silika gel tidak mampu berfungsi sebagai adsorben yang efektif yang ada hanya berupa gugus silanol ( $\text{Si-OH}$ ) dan siloksan ( $\text{Si-O-Si}$ ). Akan tetapi, kekurangan ini dapat diatasi dengan memodifikasi permukaan dengan menggunakan situs aktif yang sesuai untuk mengadsorpsi ion logam berat yang dikehendaki (Nuzula, 2004; Buhani *et al.*, 2010).

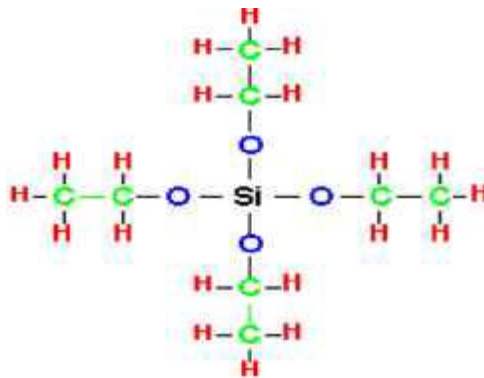
Jaringan silika amorf 3 dimensi (3D) dapat terbentuk pada temperatur ruang. Viskositas larutan secara kontinyu meningkat dimana pada saat itu larutan akan menjadi gel. Kemampuan adsorpsi silika gel dipengaruhi oleh adanya situs aktif pada permukaannya yakni berupa gugus silanol ( $\text{Si-OH}$ ) dan gugus siloksan ( $\text{Si-O-Si}$ ). Sifat adsorpsi silika gel ditentukan oleh orientasi dari ujung tempat gugus hidroksi yang berkombinasi (Hartono dkk., 2002). Ketidakteraturan susunan permukaan tetrahedral  $\text{SiO}_4$  pada silika gel menyebabkan jumlah distribusi satuan luas bukan menjadi ukuran kemampuan adsorpsi silika gel walaupun gugus silanol dan siloksan terdapat pada permukaan silika gel. Kemampuan adsorpsi silika gel ternyata tidak sebanding dengan jumlah gugus silanol dan siloksan yang

ada pada permukaan silika gel, namun bergantung pada distribusi gugus -OH per satuan luas adsorben (Oscik, 1982).

#### D. Proses Sol Gel

Sol-gel adalah suatu suspensi koloid dari partikel silika yang digelkan membentuk padatan. Sol adalah suspensi dari partikel koloid pada suatu cairan atau larutan molekul polimer (Rahaman, 1995). Pada sol ini terlarut partikel halus dari senyawa hidroksida atau senyawa oksida logam. Proses tersebut kemudian dilanjutkan dengan proses gelasi dari sol tersebut untuk membentuk jaringan dalam suatu fasa cair yang kontinyu, sehingga terbentuk gel (Sopyan dkk., 1997).

Pada proses sol-gel, bahan dasar yang digunakan untuk membentuk sol tersebut dapat berupa logam alkoksida seperti *Tetraethyl Orthosilicate* (TEOS). Rumus kimia dari TEOS adalah  $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$ . Struktur dari TEOS dapat dilihat pada Gambar 2.



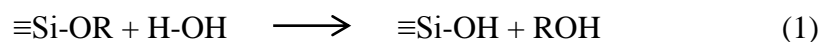
**Gambar 2.** Struktur TEOS (Brinker and Scherer, 1990).

TEOS mudah terhidrolisis oleh air dan mudah digantikan oleh grup OH.

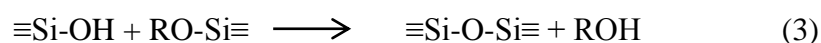
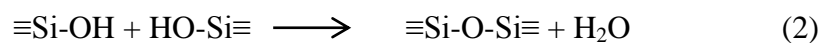
Selanjutnya silanol (Si-OH) direaksikan antara keduanya atau direaksikan dengan

grup alkoksida non hidrolisis untuk membentuk ikatan siloksan (Si-O-Si) dan mulailah terbentuk jaringan silika. Reaksi tersebut dapat dilihat dari persamaan (Prassas, 2002).

#### Hidrolisis



#### Polikondensasi



Proses sol-gel umumnya telah banyak dikembangkan terutama untuk pembuatan hibrida, kombinasi oksida anorganik (terutama silika) dengan alkoksilan (Fahmiati dkk., 2004). Penggunaan proses sol-gel untuk sintesis beberapa bahan hibrida anorganik-organik telah banyak dilakukan diantaranya yaitu dengan metode pembuatan hibrida silika terutama proses sol-gel untuk tujuan adsorpsi (Buhani dkk., 2012). Penggunaan TEOS yang digunakan sebagai bahan dasar yang dicampur dengan senyawa organik aktif 2-{2-[3-(trimetoksisilil)-propilamino]-etiltio} etanatiol (NSSH) (Airoldi and Ararki, 2001). Hibrida silika yang dihasilkan digunakan untuk adsorpsi logam divalen (Terrada *et al.*, 1983).

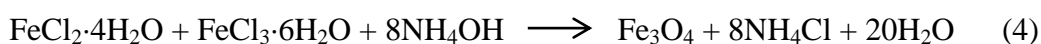
Berdasarkan penelitian Cestari *et al.*, (2000) immobilisasi etilendiamin pada permukaan silika gel dari prekursor TEOS melalui proses sol-gel digunakan sebagai adsorben untuk adsorpsi ion Cu(II), Hg(II), dan Co(II). Selain itu, ada pula modifikasi silika gel dari prekursor TEOS dengan 5-Amino-1, 3, 4-Tiadiazol-

2-Tiol untuk adsorpsi beberapa ion logam berat yaitu Cu(II), Co(II), Ni(II), Cd(II), Pb(II), dan Hg(II) (Tzvetkova *et al.*, 2010). Untuk memodifikasi silika gel, dengan proses sol-gel ini akan lebih sederhana dan cepat karena reaksi pengikatan berlangsung bersamaan dengan proses pembentukan padatan, sehingga diharapkan ligan yang terimobilisasi lebih banyak (Sriyanti dkk., 2004).

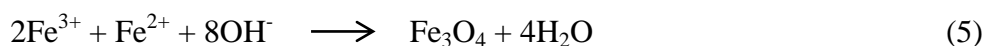
### E. Magnetit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)

Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> merupakan rumus kimia dari material magnetit. Magnetit mempunyai struktur spinel dengan sel unit kubik yang terdiri dari 32 ion oksigen, celah-celahnya ditempati oleh ion Fe<sup>2+</sup> dan Fe<sup>3+</sup>. Beberapa sifat nanopartikel magnetit ini bergantung pada ukurannya. Magnetit ini akan bersifat superparamagnetik ketika ukuran suatu partikel magnetisnya di bawah 10 nm pada suhu ruang, artinya bahwa energi termal dapat menghalangi anisotropi energi penghalang dari sebuah nanopartikel tunggal. Karena itu, sintesis nanopartikel yang seragam dengan mengatur ukurannya menjadi salah satu kunci masalah dalam ruang lingkup sintesis ini. Nanopartikel magnetit sangat intensif dikembangkan karena sifatnya yang menarik dalam aplikasinya di berbagai bidang, seperti fluida dan gel magnet, katalis, pigmen pewarna, dan diagnosa medis (Hook and Hall, 1991).

Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dapat dihasilkan dari endapan campuran FeCl<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O dan FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O dalam suasana basa, reaksinya adalah sebagai berikut :



Secara umum reaksinya:



Magnetit yang berukuran nano banyak dimanfaatkan pada proses-proses industri (misalnya sebagai tinta cetak, pigmen pada kosmetik) dan pada penanganan masalah-masalah lingkungan (misalnya sebagai *magnetic carrier precipitation process* untuk menghilangkan anion ataupun ion logam dari air dan air limbah). Nanopartikel magnetit juga dimanfaatkan dalam bidang biomedis baik secara *in vivo* (di dalam tubuh) maupun *in vitro* (di luar tubuh), misalnya sebagai agen magnetis pada aplikasi-aplikasi *biomolecule separation*, *drug delivery system*, *hyperthermia therapy*, maupun sebagai *contrast agent* pada *magnetic resonance imaging* (Cabrera *et al.*, 2008).

#### **F. Teknik Pelapisan Silika-Magnetit (*Silica-Coated Magnetite*)**

Untuk meningkatkan adsorpsivitas biomassa alga, modifikasi dengan pelapisan partikel magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) dapat menjadi pilihan. Teknik pelapisan silika dengan partikel magnetit merupakan teknik yang ramah lingkungan karena tidak mengandung produk kontaminan seperti padatan tersuspensi, selain itu dapat mempercepat proses pemisahan logam dari larutan. Hal ini disebabkan oleh adsorben yang memiliki sifat magnet (Xin *et al.*, 2012; Chang and Chen, 2005). Penggunaan teknik tersebut, maka akan diperoleh adsorben yang memiliki kapasitas dan selektivitas besar terhadap ion logam serta dapat memisahkan logam target dengan cepat (Badrudoza *et al.*, 2013; Donia *et al.*, 2012; Ren *et al.*, 2008).

## G. Zat Warna

Molekul zat warna merupakan gabungan dari zat organik tidak jenuh dengan kromofor sebagai pembawa warna. 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 (Manurung dkk., 2004).

Gugus kromofor adalah gugus yang menyebabkan molekul menjadi berwarna. Daya serap terhadap serat tidak besar sehingga zat warna yang tidak bereaksi dengan serat mudah dihilangkan. Gugus-gugus penghubung dapat mempengaruhi daya serap dan ketahanan zat warna terhadap asam atau basa. Gugus-gugus reaktif merupakan bagian-bagian dari zat warna yang mudah lepas. Dengan lepasnya gugus reaktif ini, zat warna menjadi mudah bereaksi dengan serat kain pada pakaian. Pada umumnya, agar reaksi dapat berjalan dengan baik maka diperlukan penambahan alkali atau asam sehingga mencapai pH tertentu (Manurung dkk., 2004). Nama dan struktur kimia kromofor dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Nama dan struktur kimia kromofor

Nama Gugus	Struktur Kimia
Nitroso	NO atau (-N-OH)
Nitro	NO <sub>2</sub> atau (NN-OOH)
Grup Azo	-N=N-
Grup Etilen	-C=C-
Grup Karbonil	-CO-
Grup Karbon – Nitrogen	-C=NH ; CH=N-
Grup Karbon Sulfur	-C=S ; -C-S-S-C-

(Manurung dkk., 2004)

## H. Kristal Violet

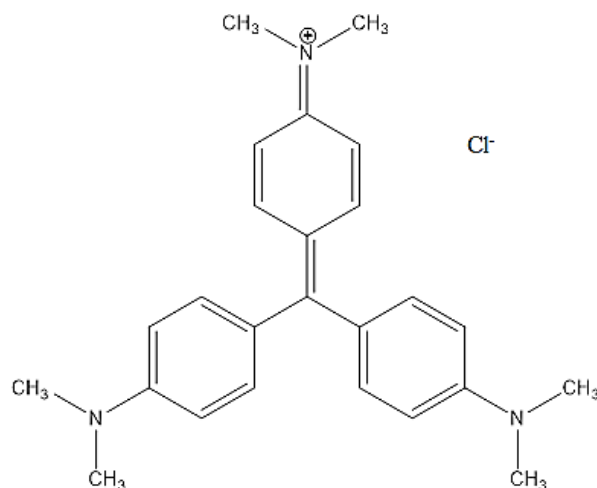
Kristal violet termasuk ke dalam pewarna kationik yang umumnya dikenal sebagai basic violet 3, gentian violet, dan metil violet 10B. Nama IUPAC kristal violet adalah Tris(4-(dimethylamino)phenyl)methylium chloride. Rumus molekul kristal violet yaitu  $C_{25}H_{30}N_3Cl$  dan berat molekul 407,98 g/mol. Kristal violet termasuk dalam kelas pewarna triarilmetana. Daya serap maksimum berkisar antara 589 sampai 594 nm. 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).

Kristal violet atau ungu gentian (juga dikenal sebagai metil ungu 10B atau heksametil pararosanilina klorida) merupakan zat warna golongan trifenilmetana yang umum digunakan sebagai pewarna tekstil, percetakan, pembuatan kertas, dan pewarnaan kulit (Ayed *et al.*, 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 pararosanilina metil (metil violet) tetapi sekarang sering dianggap sebagai sinonim untuk kristal violet.

Metil violet atau kristal violet bersifat persisten dan sulit dibiodegradasi. Anilina yang terdapat dalam senyawa ini bersifat toksik, mutagenik dan karsinogenik. Bahan kimia ini dapat memicu tumor pada beberapa spesies ikan yang hidup di dasar perairan (Azmi *et al.*, 1998). Kristal violet mempunyai diameter 110 Å dan

mempunyai kromofor pada kationnya sehingga dikelompokkan dalam zat warna basa.

Menurut Gessner dan Mayer (2002), pembuatan kristal violet melibatkan reaksi dimetilnilina dengan fosgen untuk memberikan 4,4-bis(dimetilamino) benzofenon ( keton Michler ) sebagai perantara. Hal ini kemudian direaksikan dengan dimetilnilina ditambahkan dengan oksiklorida fosfor dan asam klorida. Strukur dari kristal violet dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Struktur kristal violet

## I. Adsorpsi

### 1. Pengertian adsorpsi

Adsorpsi merupakan peristiwa penyerapan suatu zat pada permukaan zat lain. Zat yang diserap disebut fase terserap (adsorbat), sedangkan zat yang menyerap disebut adsorben. Kecuali zat padat, adsorben dapat pula zat cair. Karena itu adsorpsi dapat terjadi antara : zat padat dan zat cair, zat padat dan gas, zat cair dan zat cair atau gas dan 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 yang menyebabkan zat padat dan zat cair mempunyai gaya adsorpsi. Adsorpsi berbeda dengan absorpsi. Pada absorpsi zat yang diserap masuk ke dalam adsorben sedangkan pada adsorpsi, zat yang diserap hanya pada permukaan.

## **2. Jenis adsorpsi**

- **Adsorpsi fisika**

Terjadi karena gaya Van der Waals yaitu 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. Adsorpsi ini memiliki gaya tarik Van der Waals yang kekuatannya relatif kecil. Molekul terikat sangat lemah dan energi yang dilepaskan pada adsorpsi fisika relatif rendah sekitar 20 kJ/mol.

- **Adsorpsi kimia**

Adsorpsi kimia terjadi ketika terbentuknya ikatan kimia antara substansi terlarut dalam larutan dengan molekul dalam media. Adsorpsi ini juga terjadi dengan adanya adsorpsi fisik, yaitu partikel-partikel adsorbat mendekat ke permukaan adsorben melalui gaya Van der Waals atau melalui ikatan hidrogen. Partikel-partikel dalam adsorpsi kimia melekat pada permukaan dengan membentuk ikatan kimia (biasanya ikatan kovalen), dan cenderung

mencari tempat yang memaksimumkan bilangan koordinasi dengan substrat (Atkins, 1999). Perbedaan adsorpsi fisika dan kimia dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Perbedaan adsorpsi fisika dan kimia

No	Adsorpsi Fisika	Adsorpsi Kimia
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 800 kJ/mol
3.	Dapat membentuk lapisan multilayer	Membentuk lapisan monolayer
4.	Adsorpsi hanya terjadi pada suhu di bawah titik didih adsorbat	Adsorpsi dapat 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

(Seader and Henley, 1998)

### 3. Faktor-faktor yang mempengaruhi adsorpsi

Faktor-faktor yang mempengaruhi adsorpsi adalah sebagai berikut :

#### a. Sifat logam dan ligan

Sifat ion logam yaitu: (1) ukuran ion logam, makin kecil ukuran ion logam maka kompleks yang terbentuk makin stabil. (2) polarisabilitas ion logam, makin tinggi polarisabilitas ion logam maka kompleks yang terbentuk juga semakin stabil. (3) energi ionisasi, kestabilan kompleks akan makin stabil jika logam memiliki energi ionisasi tinggi.

Sifat ligan adalah: (1) kebasaan, makin kuat sifat basa Lewis suatu ligan maka kompleks yang terbentuk makin stabil. (2) polarisabilitas dan momen dipol, semakin tinggi polarisabilitas suatu ligan maka semakin stabil kompleks yang terbentuk. (3) faktor sterik, tingginya rintangan sterik pada ligan akan menurunkan stabilitas kompleks (Huheey *et al.*, 1993).

### **b. Waktu kontak**

Pada awal reaksi, peristiwa adsorpsi lebih dominan dibanding desorpsi, sehingga adsorpsi berlangsung cepat. Pada waktu tertentu peristiwa adsorpsi cenderung berlangsung lambat, namun sebaliknya laju desorpsi cenderung meningkat. Saat laju adsorpsi sama dengan laju desorpsi disebut sebagai keadaan setimbang. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai keadaan setimbang pada proses adsorpsi berbeda-beda, hal ini dipengaruhi oleh jenis interaksi yang terjadi antara adsorben dengan adsorbat. Secara umum, waktu tercapainya keadaan setimbang adsorpsi secara fisika lebih cepat dibandingkan adsorpsi dengan mekanisme kimia (Castellan, 1982).

### **c. pH sistem**

Pengaruh pH sistem pada proses adsorpsi adalah pada pH rendah permukaan ligan cenderung terprotonasi sehingga kation logam akan berkompetisi dengan  $H^+$  untuk berikatan dengan ligan pada permukaan. pH tinggi memungkinkan jumlah ion  $OH^-$  bertambah besar dan anion permukaan ligan cenderung terprotonasi akibatnya pada saat yang sama terjadi kompetisi

antara anion permukaan ligan dengan ion OH<sup>-</sup> untuk berikatan dengan kation logam (Stum and Morgan, 1996).

#### **d. Temperatur**

Temperatur merupakan efek yang sangat vital karena dapat mempengaruhi kecepatan dalam proses adsorpsi logam. Proses adsorpsi menggunakan biomassa alga terhadap ion logam Cu secara cepat terjadi pada temperatur 20 °C dan keadaan setimbang terjadi pada suhu 20-60 °C, dan adsorpsi secara optimum terjadi pada temperatur 37 °C (Al-Homaidan *et al.*, 2013).

Peristiwa adsorpsi tergolong reaksi eksoterm sehingga pada umumnya tingkat adsorpsi meningkat seiring dengan naiknya suhu (Reynold, 1982).

#### **e. Konsentrasi**

Peningkatan konsentrasi diharapkan juga dapat meningkatkan adsorpsi logam selama gugus fungsional yang tersedia juga banyak (Karaca, 2008). Proses adsorpsi ion logam terhadap adsorben dapat digunakan persamaan berikut:

$$Q = (C_0 - C_e) \cdot V/W \quad (1)$$

$$D = Q/C \quad (2)$$

$$\% A = (C_0 - C_e)/C_0 \times 100 \quad (3)$$

di mana Q merupakan jumlah ion logam yang teradsorpsi (mg.g<sup>-1</sup>), C<sub>0</sub> dan C<sub>e</sub> adalah konsentrasi awal dan kesetimbangan dari ion logam (mmol.L<sup>-1</sup>), W adalah massa adsorben (g), V adalah volume larutan ion logam (L), %A

menyatakan persen dari zat teradsorpsi, dan  $D$  adalah rasio distribusi ( $\text{mL.g}^{-1}$ ) (Buhani *et al.*, 2009).

#### 4. Kinetika adsorpsi

Kinetika adalah deskripsi laju reaksi yang 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. Tingkat adsorpsi keseluruhan dipengaruhi oleh adanya perubahan sifat dan komponen pelarut, serta ukuran partikel dan suhu. Kinetika reaksi adsorpsi juga tergantung pada gugus – gugus fungsional dan konsentrasi. Tingginya tingkat substitusi gugus – gugus fungsional pada polimer inert dapat meningkatkan laju reaksi keseluruhan (Allen *et al.*, 2004).

Analisa kinetika didasarkan pada kinetika reaksi terutama pseudo orde pertama atau mekanisme pseudo pertama bertingkat. Untuk meneliti mekanisme adsorpsi, konstanta kecepatan reaksi adsorpsi kimia, digunakan persamaan sistem pseudo order pertama oleh Lagergren dan mekanisme pseudo order kedua (Buhani *et al.*, 2010). Model kinetik (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 (Liu *et al.*, 2004).

Persamaan pseudo orde satu ditentukan dengan persamaan berikut ini :

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (4)$$

dimana :

$q_e$  = Jumlah ion yang teradsorpsi pada keadaan setimbang ( $\text{mg g}^{-1}$ )

$q_t$  = Jumlah ion yang teradsorpsi pada waktu tertentu ( $\text{mg g}^{-1}$ )

$t$  = Waktu (menit)

$k_1$  = Konstanta laju pseudo orde pertama ( $\text{menit}^{-1}$ )

Persamaan dapat diintegrasikan dengan memakai kondisi batas seperti  $q_t=0$  pada  $t=0$

dan  $q_t=q_t$  pada  $t=t$ , sehingga persamaan berubah menjadi

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (5)$$

Persamaan pseudo orde dua ditentukan dengan persamaan berikut ini :

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (6)$$

dimana :

$q_e$  = Jumlah ion yang teradsorpsi pada keadaan setimbang ( $\text{mg g}^{-1}$ )

$q_t$  = Jumlah ion yang teradsorpsi pada waktu tertentu ( $\text{mg g}^{-1}$ )

$t$  = Waktu (menit)

$k_2$  = Konstanta laju pseudo orde kedua (dalam  $\text{g mmol}^{-1} \text{menit}^{-1}$ )

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

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (7)$$

Untuk menghitung laju penyerapan awal,  $h$  ( $\text{mg g}^{-1}$ ) dengan kondisi  $t=0$  dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$h = k_2 q_e^2 \quad (8)$$

dimana :

$h$  = Laju adsorpsi awal

$q_e$  = Adsorpsi kesetimbangan

$k_2$  = Konstanta laju pseudo orde dua

## 5. Kapasitas adsorpsi

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

- **Model 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 terdapat satu molekul saja yang dapat diadsorpsi. Ikatan yang terjadi antara zat yang teradsorpsi dengan adsorben dapat terjadi secara fisika atau secara kimia. Ikatan tersebut harus cukup kuat

untuk mencegah terjadinya perpindahan molekul yang telah teradsorpsi sepanjang permukaan adsorben.

Model adsorpsi isoterm Langmuir dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$\frac{c}{m} = \frac{1}{bK} + \frac{1}{b} C \quad (9)$$

dimana :

$C$  = konsentrasi kesetimbangan

$m$  = jumlah zat yang teradsorpsi per gram adsorben

$b$  = kapasitas adsorpsi

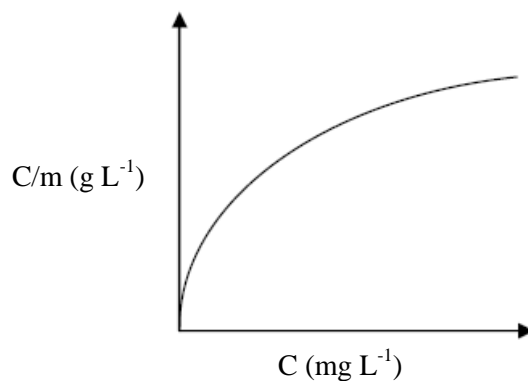
$K$  = tetapan kesetimbangan adsorpsi.

Kurva linier hubungan antara  $C/m$  dan  $C$  digunakan untuk menentukan nilai  $b$  dari kemiringan (*slop*) dan  $K$  dari intersep kurva. Energi adsorpsi ( $E_{ads}$ ) yang didefinisikan sebagai energi yang dihasilkan apabila satu mol zat yang teradsorpsi dalam adsorben dan nilainya ekuivalen dengan nilai negatif dari perubahan energi bebas Gibbs standar,  $\Delta G^0$  dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\Delta G_{ads} = - \Delta G^0 = R T \ln K \quad (10)$$

$R$  adalah tetapan gas umum (8,314 J/mol K),  $T$  adalah 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). Jika  $\Delta G$  sistem negatif artinya adsorpsi berlangsung spontan. Grafik isotherm adsorpsi Langmuir dapat dilihat pada Gambar 4.





**Gambar 4.** Model isoterm adsorpsi Langmuir

- **Model 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 dan Rosnelly, 2007).

Asumsi yang digunakan :

- Tidak ada asosiasi dan disosiasi molekul-molekul adsorbat setelah teradsorpsi pada permukaan padatan.
- Hanya berlangsung mekanisme adsorpsi secara fisis tanpa adanya adsorpsi kimia.
- Permukaan padat bersifat heterogen (Noll *et al.*, 1992).

Bentuk persamaan Freundlich adalah sebagai berikut:

$$Q_e = K_f C_e^{\frac{1}{n}} \quad (11)$$

dimana:

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

$C_e$  = Konsentrasi adsorbat pada saat kesetimbangan

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

$K_f$  = Konstanta Feundlich (L/mol)

Persamaan di atas dapat diubah ke dalam bentuk linier dengan mengambil bentuk logaritmanya:

$$\log Q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (12)$$

dimana:

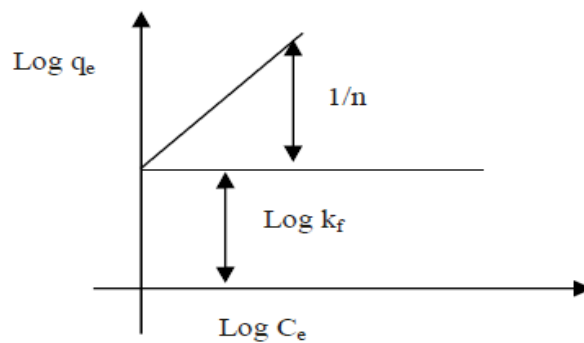
$Q_e$  = Banyaknya zat yang terserap per satuan berat adsorben (mol/g)

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

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

$K_f$  = Konstanta freundlich (L/mol)

Bentuk linear dapat digunakan untuk menentukan kelinearan data percobaan dengan cara memplotkan  $C/Q$  terhadap  $C_e$ . Konstanta Freundlich  $K_f$  dapat diperoleh dari kemiringan garis lurus nya dan  $1/n$  merupakan harga slop. Bila  $n$  diketahui, maka  $K_f$  dapat dicari, semakin besar harga  $K_f$  maka daya adsorpsi akan semakin baik. Jika harga  $K_f$  yang diketahui, maka energi adsorpsi akan dapat dihitung (Rousseau, 1987). Grafik isotherm adsorpsi Freundlich dapat dilihat pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Model isoterm adsorpsi Freundlich

## J. Karakterisasi

### 1. Spektrofotometer *UV-Visible* (UV-Vis)

Spektrum dari sinar UV terentang antara panjang gelombang 100 - 400 nm, sedangkan untuk spektrum tampak (*visible*) terentang antara panjang gelombang 400 nm (ungu) hingga 800 nm (merah). Dalam setiap molekul atau atom, foton dari cahaya UV dan sinar tampak memiliki energi yang dapat menyebabkan adanya efek transisi antara tingkat energi - energi elektronik yang spesifik (Creswell, 1982).

Serapan cahaya oleh molekul – 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. Dengan demikian, serapan radiasi UV dan Vis sering dikenal sebagai spektroskopi 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 maupun tabel yang menyatakan hubungan antara panjang gelombang dengan serapan molar atau log dari serapan molar,  $\epsilon_{\max}$ , atau  $\log \epsilon_{\max}$  (Sastrohamidjojo, 2001).

## 2. Spektrofotometer Inframerah (IR)

Spektrofotometer IR adalah spektrofotometer yang menggunakan sinar IR dekat, yakni sinar yang berada pada jangkauan panjang gelombang 2,5 – 25  $\mu\text{m}$  atau jangkauan frekuensi 400 – 4000  $\text{cm}^{-1}$ . Sinar ini muncul akibat vibrasi atom-atom pada posisi kesetimbangan dalam molekul dan kombinasi vibrasi dengan rotasi menghasilkan spektrum vibrasi – rotasi (Khopkar, 2001).

Spektrum IR suatu molekul adalah hasil transisi antara tingkat energi vibrasi dan osilasi. Bila molekul menyerap radiasi IR, energi yang diserap akan menyebabkan kenaikan amplitudo getaran atom-atom yang terikat sehingga molekul-molekul tersebut 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 dari adsorpsi oleh suatu tipe ikatan, tergantung pada macam vibrasi dari ikatan tersebut. Oleh karena itu, tipe ikatan yang berlainan menyerap radiasi IR pada panjang gelombang yang berbeda. Dengan demikian, pada spektrofotometer IR dapat digunakan untuk mengidentifikasi adanya gugus fungsi dalam suatu molekul

(Supratman, 2010). Serapan untuk beberapa macam gugus fungsi dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Serapan khas beberapa gugus fungsi

Gugus	Jenis Senyawa	Daerah Serapan ( $\text{Cm}^{-1}$ )
C-H	Alkane	2850-2960, 1350-1470
C-H	Alkena	3020-3080, 675-870
C-H	Aromatic	3000-3100, 675-870
C-H	Alkuna	3300
C=C	Alkena	1640-1680
C=C	Aromatic (cincin)	1500-1600
C-O	Alkohol, eter, asam karboksilat, ester	1080-1300
C=O	Aldehida, keton, asam karboksilat, ester	1690-1760
O-H	Alkohol, fenol (monomer)	3610-3640
O-H	Alkohol, fenol (ikatan H)	2000-3600 (lebar)
O-H	Asam karboksilat	3000-3600 (lebar)
N-H	Amina	3310-3500
C-N	Amina	1180-1360
-NO <sub>2</sub>	Nitro	1515-1560, 1345-1385
C-H	Alkane	2850-2960, 1350-1470
Si-O-Si	Silika	1087, 85
Fe-O-Fe	Magnetit	586, 36

(Sudjadi, 1983)

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

Difraksi sinar X (*X-ray Diffraction*) atau yang sering dikenal dengan XRD merupakan 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.

Dengan teknik-teknik yang khusus, XRD dapat digunakan untuk:

- Menentukan struktur kristal dengan menggunakan *rietveld refinement*.
- Analisis kuantitatif dari mineral.
- Karakteristik sampel film.

Dari penggunaan X-ray Difraktometer tersebut, kita akan memperoleh suatu pola difraksi dari bahan yang kita analisis. Dari pola tersebut, kita akan mendapatkan beberapa informasi antara lain :

- ♦ Panjang gelombang sinar X yang digunakan ( $\lambda$ ).
- ♦ Orde pembiasan/kekuatan intensitas ( $n$ ).
- ♦ Sudut antara sinar datang dengan bidang normal ( $\theta$ ).

#### **4. *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 observasi, dan karakterisasi struktur terkecil benda- benda padat dari material organik maupun anorganik yang heterogen. SEM-EDX juga dapat melihat permukaan bahan dengan skala mikrometer bahkan sampai sub-mikrometer 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 kualitas suatu produk. Dengan demikian, kita dapat mengembangkan produk tersebut melalui informasi ukuran partikel dari mikro struktur yang terbentuk dan komposisi unsurnya.

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 akan 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).

Bagian terpenting dari SEM adalah apa yang disebut sebagai kolom elektron (*electron column*) yang memiliki piranti-piranti sebagai berikut:

1. Pembangkit elektron (*electron gun*) dengan filamen sebagai pengemisi elektron atau disebut juga sumber iluminasi.
2. Sebuah sistem lensa elektromagnetik yang dapat dimuati untuk dapat memfokuskan atau mereduksi berkas elektron yang dihasilkan filamen ke diameter yang sangat kecil.
3. Sebuah sistem perambah (*scan*) untuk menggerakkan berkas elektron terfokus tadi pada permukaan specimen.
4. Satu atau lebih sistem deteksi untuk mengumpulkan hasil interaksi antara berkas elektron dengan spesimen dan merubahnya ke signal listrik.
5. Sebuah konektor ke pompa vakum.

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).



### **III. METODE PENELITIAN**

#### **A. Waktu dan Tempat**

Penelitian ini dilakukan dari bulan Januari 2018 hingga Juni 2018 di Laboratorium Kimia Anorganik / Fisik FMIPA Universitas Lampung. Pengambilan biomassa alga *Porphyridium* sp. dilakukan di Balai Besar Pengembangan Budidaya Laut Lampung (BBPBL). Identifikasi gugus fungsional menggunakan spektrofotometer IR dilakukan di Laboratorium Kimia Organik FMIPA Universitas Gajah Mada. Analisis tingkat kekristalan menggunakan XRD dilakukan di Laboratorium Kimia Dasar FMIPA Universitas Gajah Mada. Analisis morfologi permukaan dan konstituen unsur dilakukan dengan spektrofotometer SEM-EDX dilakukan di UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi Universitas Lampung. Adsorpsi zat warna kristal violet dianalisis menggunakan Spektrofotometer UV-Vis di Laboratorium Anorganik FMIPA Universitas Lampung.

## **B. Alat dan Bahan**

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini antara lain alat - alat gelas, wadah plastik, spatula, *shaker*, neraca analitik, pengaduk magnet, oven, sentrifugasi dan tabung sentrifugasi, mortar dan alu, indikator universal, kertas saring, spektrofotometer IR, XRD, SEM-EDX, dan spektrofotometer UV-Vis.

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

## **C. Prosedur Kerja**

### **1. Penyiapan biomassa alga *Porphyridium* sp.**

Biomassa alga *Porphyridium* sp. diperoleh dari pembudidayaan dalam skala Laboratorium di BBPBL Lampung. Alga yang diperoleh kemudian dikeringanginkan selama 3 hari. Selanjutnya di oven pada suhu 40 °C selama 2-3 jam lalu digerus hingga halus.

### **2. Sintesis hibrida alga *Porphyridium* sp. silika (HAS)**

Sebanyak 5 mL TEOS dilarutkan dengan 2,5 mL aquades dalam wadah plastik, lalu diaduk selama 30 menit dengan pengaduk magnet dan ditambahkan HCl 1 M hingga pH larutan mencapai pH 2 (Larutan A). Pada wadah lain, sebanyak 0,4 g biomassa *Porphyridium* sp. dan etanol sebanyak 5 mL dicampur dalam wadah

plastik dan diaduk dengan pengaduk magnet selama 30 menit (Larutan B). Larutan A yang telah homogen kemudian dicampur dengan Larutan B disertai dengan pengadukan sampai terbentuk gel. Gel yang terbentuk disaring dengan kertas saring dan didiamkan selama 24 jam. Gel kemudian dibilas dengan menggunakan aquades dan etanol hingga pH netral ( $\text{pH} \approx 7$ ). Selanjutnya dikeringkan di dalam oven pada suhu  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  selama 2-3 jam lalu digerus hingga halus (Agung, 2014).

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

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  $\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  dilarutkan dalam 10 mL akuades (larutan B). Selanjutnya (larutan A) dicampur dengan (larutan B) disertai pengadukan hingga larutan menjadi homogen. Setelah larutan homogen ditambahkan  $\text{NH}_4\text{OH}$  1 M tetes demi tetes (kurang lebih sampai pH 10,5) sampai terbentuk endapan hitam. Endapan hitam yang terbentuk kemudian disaring dengan kertas saring. Setelah itu endapan tersebut dibilas dengan aquades dan etanol hingga pH netral ( $\text{pH} \approx 7$ ). Endapan kemudian dikeringkan di dalam oven pada suhu  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  selama 2-3 jam lalu digerus hingga halus (Buhani *et al.*, 2017).

### **4. Sintesis hibrida alga *Porphyridium* sp. silika magnetit (HASM)**

Sebanyak 2,5 mL aquades dimasukkan ke dalam wadah plastik dan ditambahkan 5 mL TEOS serta 0,1 g partikel magnetit lalu diaduk selama 30 menit. Saat pengadukan ditambahkan HCl tetes demi tetes hingga pH larutan mencapai pH 2

(Larutan A). Pada wadah lain, biomassa *Porphyridium* sp. sebanyak 0,4 g dicampurkan dengan 5 mL etanol kemudian diaduk selama 30 menit (Larutan B). Selanjutnya, kedua larutan tersebut dicampurkan dengan disertai pengadukan hingga larutan menjadi homogen dan membentuk gel. Gel yang terbentuk kemudian didiamkan 24 jam. Gel kemudian dicuci dengan aquades dan etanol hingga pH netral ( $\text{pH} \approx 7$ ). Setelah itu gel dikeringkan di dalam oven pada suhu 40 °C selama 2-3 jam lalu digerus hingga halus (Buhani *et al.*, 2013).

## 5. Karakterisasi adsorben

Perubahan gugus-gugus fungsi dalam material biomassa alga *Porphyridium* sp., HAS, dan HASM *Porphyridium* sp. dikarakterisasi dengan menggunakan spektrofotometer IR. Analisis morfologi permukaan dari magnetit, HAS, dan HASM *Porphyridium* sp. dianalisis dengan menggunakan SEM-EDX. Analisis pada magnetit, HAS, dan HASM *Porphyridium* sp. menggunakan XRD untuk menentukan perubahan struktur kristalnya. Kadar kristal violet yang teradsorpsi pada HAS dan HASM dilakukan analisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

## 6. Uji adsorpsi

### a. Pembuatan larutan induk kristal violet $1000 \text{ mg L}^{-1}$

Sebanyak 1 gram serbuk kristal violet dimasukkan ke dalam labu ukur yang berukuran 1000 mL, kemudian ditambahkan dengan aquades hingga tanda batas lalu dihomogenkan.

### b. Pengaruh pH adsorpsi

Sebanyak 20 mL larutan kristal violet dengan konsentrasi  $10 \text{ mg L}^{-1}$  dimasukkan ke dalam 7 erlenmeyer yang berbeda. Masing-masing larutan diatur pH yang berbeda yaitu 3, 4, 5, 6, 7, 8, dan 9. Pengaturan pH dilakukan dengan penambahan HCl 0,1 M untuk suasana asam dan penambahan NaOH 0,1 M untuk suasana basa. Setelah itu ditambahkan buffer untuk mempertahankan nilai pH, untuk pH 3-6 digunakan buffer sitrat dan untuk pH 7-9 digunakan buffer fosfat. Kemudian ditambahkan 0,1 g adsorben ke masing-masing erlenmeyer. Selanjutnya larutan tersebut diaduk menggunakan pengaduk selama 60 menit dengan kecepatan 100 rpm, lalu dipisahkan dengan menggunakan sentrifugasi. Filtrat yang diperoleh kemudian dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum kristal violet 591 nm (Bharathi *et al.*, 2013).

### c. Pengaruh waktu adsorpsi

Sebanyak 20 mL larutan kristal violet konsentrasi  $10 \text{ mg L}^{-1}$  dengan pH optimum dimasukkan ke dalam 5 erlenmeyer yang berbeda. Kemudian ditambahkan 0,1 g

adsorben ke masing-masing erlenmeyer. Selanjutnya larutan tersebut diaduk menggunakan pengaduk dengan variasi waktu dari 15, 30, 60, 90 dan 120 menit dengan kecepatan 100 rpm. Setelah selesai 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).

#### **d. Pengaruh konsentrasi adsorbat**

Sebanyak 20 mL larutan kristal violet pH optimum dengan konsentrasi yang berbeda, yaitu 10, 25, 50, 75, 100, 150, 200, 300 dan 400 mg L<sup>-1</sup> dimasukkan ke dalam 9 erlenmeyer yang berbeda. Kemudian ditambahkan 0,1 g adsorben dan diaduk menggunakan pengaduk pada waktu optimum dengan kecepatan 100 rpm. Setelah pengadukan, adsorben dan larutan dipisahkan dengan menggunakan sentrifugasi. Filtrat yang diperoleh kemudian dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum kristal violet 591 nm (Bharathi *et al.*, 2013).

#### **e. Adsorpsi simultan**

Sebanyak 20 mL larutan metilen biru dan kristal violet dengan konsentrasi dan pH optimum dicampur dan ditambahkan 0,1 g adsorben. Kemudian campuran tersebut diaduk menggunakan pengaduk pada waktu optimum dengan kecepatan 100 rpm. Setelah selesai pengadukan, dilakukan pemisahan dengan menggunakan sentrifugasi. Filtrat yang diperoleh dianalisis menggunakan spektrofotometer

UV-Vis pada panjang gelombang 664 nm untuk larutan metilen biru dan 591 nm untuk larutan kristal violet.

**f. Adsorpsi sekuensial**

Sebanyak 20 mL larutan kristal violet dengan konsentrasi dan pH optimum ditambahkan 0,1 g adsorben. Larutan tersebut kemudian diaduk menggunakan pengaduk pada waktu optimum dengan kecepatan 100 rpm, lalu dilakukan pemisahan dengan teknik sentrifugasi. Filtrat yang diperoleh dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 591 nm, sedangkan endapan yang diperoleh selanjutnya ditambahkan dengan 20 mL larutan metilen biru dengan konsentrasi dan pH optimum. Larutan tersebut kemudian diaduk menggunakan pengaduk pada waktu optimum dengan kecepatan 100 rpm, lalu dilakukan pemisahan dengan teknik sentrifugasi. Filtrat yang diperoleh dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 664 nm. Selanjutnya dilakukan prosedur yang sama seperti di atas dengan menggunakan metilen biru sebagai larutan awal.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

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

1. Sintesis hibrida alga silika (HAS) dan hibrida alga silika magnetit (HASM) telah berhasil dilakukan yang ditunjukkan dengan karakterisasi menggunakan spektrofotometer IR, XRD, dan SEM-EDX.
2. Adsorpsi kristal violet terhadap HAS dan HASM optimum pada pH 8 dengan waktu kontak optimum 120 menit.
3. Laju adsorpsi kristal violet terhadap HAS dan HASM cenderung mengikuti model kinetika pseudo orde dua dengan nilai  $k_2$  masing-masing  $0,477 \times 10^{-5}$  dan  $0,046 \times 10^{-5} \text{ g mmol}^{-1} \text{ menit}^{-1}$  serta nilai  $R^2$  mendekati 1.
4. Isoterm adsorpsi kristal violet terhadap HAS dan HASM cenderung mengikuti model isoterm Freundlich dengan nilai  $R^2$  mendekati 1. Nilai kapasitas adsorpsi kristal violet oleh HASM lebih besar dibandingkan dengan kapasitas adsorpsi oleh HAS.



## **B. Saran**

Pada penelitian lebih lanjut disarankan :

Melakukan studi lebih lanjut untuk mempelajari uji adsorpsi simultan dan sekuensial terhadap zat warna lain atau logam berat oleh HAS dan HASM

*Porphyridium* sp. sehingga dapat diaplikasikan ke lingkungan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agung, Supriyanto. 2014. Kajian Adsorpsi Ion-Ion Logam Divalen Ca(II), Cu(II), dan Cd(II) oleh Biomassa Alga Merah *Porphyridium* sp. *Skripsi*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Lampung.
- Airoldi, C. and L. N. Ararki. 2001. Immobilization of Ethylene sulfide of Silica Surface Through Sol-Gel Process and Some Thermodynamic Data of Divalent Cation Interaction. *Polyhedron*. 20(9-10) : 929-936.
- Al Homaidan, A. A., H. J. Al-Houri, A. A. Al-Hazzani, G. Legally, and N. M. S. Moubayed. 2013. Biosorption of Cooper Ion from Aqueous Solution By *Spirulina Platensis* Biomass. *Arabian Journal of Chemistry*. 7(1) : 57-62.
- 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. *Journal of Colloid and Interface Science*. 280(2) : 322-333.
- Andayani, W. dan A. Sumartono. 1999. Aplikasi Radiasi Pengion dalam Penguraian Limbah Industri Radiolisis Larutan Standar Zat Warna Reaktif Cibacron Violet 2 R. *Batan (Online)*. 32(1) : 2.
- Arylza, I. S. 2005. Isolasi Pigmen Biru Fikosianin dari Mikroalga *Spirulina Platensis*. *Jurnal Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*. 38 : 79-92.
- Atkins, P. W. 1999. *Kimia Fisika Jilid 3*. Erlangga. Jakarta.
- Ayed, L., K. Chaieb, A. Cheref, and A. Bakhrouf. 2009. Biodegradation of Triphenylmethane Dye MG by *Sphingomonas Paucimobilis*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 25 : 705-711.
- Azmi, W., R. K. Sani, and U. C. Banerjee. 1998. Biodegradation of Triphenylmethane Dyes. *Enzyme and Microbial Technology*. 22(3) : 185-191.
- Badrudoza, A. Z. M., Z. Shawon, W. J. D. Tay, K. Hidayat, and M. S. Uddin. 2013. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> /Cyclodextrin Polymer Nanocomposites for Selective Heavy Metals Removal from Industrial Waste Water. *Carbohydrate Polymers*. 91(1) : 322-332.

- Bharathi, K. S., S. Kulkarni, and S. T. Ramesh. 2013. Removal of Dyes Using Agricultural Waste as Low-Cost Adsorbents: A Review. *Applied Water Science*. 3(4) : 773-790.
- Borowitzka, M. A. and L. J. Borowitzka. 1988. *Micro-algae Biotechnology*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Brinker, C. J. and G. W. Scherer. 1990. *Applications in : Sol Gel Science the Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing*. Academic Press. California.
- 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. 2009. Amino and Mercapto-Silica Hybrid for Cd(II) Adsorption in Aqueous Solution. *Indonesian Journal of Chemistry*. 9(2) : 170-176.
- Buhani, Narsito, Nuryono, dan E. S. Kunarti. 2012. Proses Sol-Gel Dalam Pembuatan Hibrida Merkapto-Silika Untuk Adsorpsi Ion Cu (II) dalam Larutan. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*. 19(3) : 264-272.
- 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 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 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.

- Buhani, Suharso, dan 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).
- Cabrera, L., S. Gutierrez, N. Menendez, M. P. Morales. and P. Herrasti. 2008. Magnetite Nanoparticles: Electrochemical Synthesis and Characterization. *Electrochimica Acta*. 53(8) : 3436-3441.
- Castellan, G. W. 1982. *Physical Chemistry 3<sup>rd</sup> Edition*. General Graphic Services. New York.
- Cestari, A. R., E. F. S. Vieira, J. A. Simoni, and C. Airoidi. 2000. Thermochemical Investigation on The Adsorption of Some Divalent Cations on Modified Silicas Obtained from Sol-Gel Process. *Thermochimica Acta*. 348(1-2) : 25-31.
- 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 and Interface Science*. 283(2) : 446-451.
- Creswell, C. J. 1982. *Analisa Spektrum Senyawa Organik Edisi ke-2 Terjemahan Kosasih Padmawinata dan Iwang Soediro*. ITB. Bandung.
- Deng, Y., C. Wang, J. Hu, W. Yang, and S. Fu. 2005. Investigation of Formation of Silica-Coated Magnetite Nanoparticles Via Sol-Gel Process Approach. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 262(1-3) : 87-93.
- Donia, A. M., A. A. Atia, and F. I. Abouyazed. 2012. Preparation and Characterization of Nano-Magnetic Cellulose with Fast Kinetic Properties Towards the Adsorption of Some Metal Ions. *Chemical Engineering Journal*. 191 : 22-30.
- Fahmiati, Nuryono, dan 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.
- Forgacs, E., T. Cserhati, and G. Oros. 2004. Removal of Synthetics Dyes from Wastewater. *Environment International*. 30(7) : 953-971.
- Gessner, T. dan U. Mayer. 2002. *Pewarna Triarylmethane dan Diarylmethane*. Ullmann's Encyclopedia. Weinheim.
- Gupta, S. S. and K. G. Bhattacharyya. 2006. Adsorption of Ni(II) on Clay. *Journal of Colloid and Interface Science*. 295(1) : 21-32.

- Hariyanti, F. 2014. Sintesis Hibrida Alga-Silika dari Biomassa *Porphyridium* sp. dengan Teknik Pelapisan Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) dan Uji Adsorpsi terhadap Metylen Biru dalam Larutan. *Skripsi*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Lampung.
- Harris, O. P. and J. G. Rammelow. 1990. Binding of Metal Ions by Particulate Biomass Derived from *Chlorella Vulgaris* and *Scenedesmus Quadricauda*. *Environmental Science and Technology*. 24(2) : 220-228.
- Hartono, Y. M. V., A. R. W. Barbara, Suparta, Jumadi, dan Supomo. 2002. *Pembuatan SiC dari Sekam Padi*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Industri Keramik. Bandung.
- Hook, J. R. and H. E. Hall. 1991. *Solid State Physics 2<sup>nd</sup> Edition*. John Willey & Sons Inc. New York.
- Hu, Q. H., S. Z. Qiao, F. Haghseresht, M. A. Wilson, and G. Q. Lu. 2006. Adsorption Study for Removal of Basic Red Dye Using Bentonite. *Industrial and Engineering Chemistry Research*. 45(2) : 733-738.
- Huheey, J. E., E. A. Keiter, and R. L. Keiter. 1993. *Inorganic Chemistry : Principles of Structure and Reactivity 4<sup>th</sup> Edition*. Harpelcolling College Publisher. New York.
- Husin, G. dan C. M. Rosnelly. 2005. Studi Kinetika Adsorpsi Larutan Logam Timbal Menggunakan Karbon Aktif dari Batang Pisang. *Tesis*. Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala Darussalam. 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*. 11(3) : 305-311.
- Jeon, C. 2011. Adsorption Characteristic of Copper Ions Using Magnetically Modified Medicinal Stones. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 17(2) : 321-324.
- Kannan, S. 2014. FT-IR and EDS Analysis of The Seaweeds *Sargassum wightii* (brown algae) and *Gracilaria corticata* (red algae). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 3(4) : 341-351.
- Karaca, M. 2008. Biosorption of Aqueous  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ , and  $\text{Ni}^{2+}$  Ions by *Dunaliella salina*, *Oocystis* sp., *Porphyridium cruentum*, and *Scenedesmus protuberans* Prior to Atomic Spectrometric Determination. *Thesis*. Izmir Institute of Technology. Turki.
- Khopkar, S. M. 2001. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. UI Press. Jakarta.

- Kulkarni, M. R., T. Revanth, A. Acharya, and P. Bhat. 2017. Removal of Crystal Violet Dye from Aqueous Solution Using Water Hyacinth : Equilibrium, Kinetics and Thermodynamics Study. *Resource Efficient Technologies*. 3(1) : 71-77.
- Larry, D. H. 2001. *Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy in Handbook of Analytical Methods for Materials*. Marcel Dekker Inc. New York.
- Li, G., Su, H., Li, J., and Tianwei, T. 2007. Application of Surface Molecular Imprinting Adsorbent in Expanded Bed For The Adsorption of  $\text{Ni}^{2+}$  and Adsorption Model. *Journal of Environmental Management*. 85(4) : 900-907.
- Lin, Y., H. Chen, K. Lin, B. Chen, and C. Chiou. 2011. Application of Magnetic Particles Modified with Amino Groups to Absorb Copper Ions in Aqueous Solution. *Journal of Environmental Sciences*. 23(1) : 44-50.
- 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. *Analytica Chimica Acta*. 519(2) : 173-179.
- Liu, Y., Y. 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(1-3) : 676-682.
- Manurung, R., R. Hasibuan, dan H. 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(2) : 463-473.
- Na, J., X. Chang, H. Zheng, Q. He, and Z. Hu. 2006. Selective Solid-Phase Extraction of Ni(II) Using Surface-Imprinted Silica Gel Sorbent. *Analytica Chimica Acta*. 577(2) : 225-231.
- Noll, K. E., V. Gournaris, and W. S. Hou. 1992. *Adsorption Technology for Air and Water Pollution Control*. Lewish Publisher Inc. Michigan.
- Nuzula, F. 2004. Adsorpsi  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ , dan  $\text{Mg}^{2+}$  pada 2-Merkapto Benzimidazol yang Diimobilisasikan pada Silika Gel. *Tesis*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- Oscik, J. 1982. *Adsorption*. John Willey & Sons Inc. New York.

- 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(13) : R167-R181.
- Peng, Q., Y. Liu, G. Zeng, W. Xu, C. Yang, and J. Zhang. 2010. Biosorption of Copper (II) Immobilizing *Saccharomyces Cerevisiae* on the Surface of Chitosan Coated Magnetic Nanoparticle from Aqueous Solution. *Journal of Hazardous Materials*. 177(1-3) : 676-682
- Prassas, M. 2002. *Silica Glass from Aerogels*. <http://www.solgel.com>.
- Rahaman, M. N. 1995. *Ceramics Pressing and Sintering*. Departement of Ceramics Engineering University of Missouri Rolla. Rolla Missouri.
- Ren, Y., Zhang, and D. Zhao. 2008. Synthesis and Properties Cu(II) Ion Imprinted Composite Adsorbent for Selective Removal of Cooper. *Desalination*. 228(1-3) : 135-149.
- Reynold, T. D. 1982. *Unit Operation and Process in Environmental Engineering*. Woods Worths Inc. Texas.
- Rousseau, R. W. 1987. *Handbook of Separation Process Technology*. John Wiley and Sons Inc. New York.
- Sabna, V., S. G. Thampi, and S. Chandrakaran. 2015. Adsorption of Crystal Violet onto Functionalised Multi-Walled Carbon Nanotubes : Equilibrium and Kinetic Studies. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 134(2) : 390-397.
- Sastrohamidjojo, H. 2001. *Spektroskopi*. Liberty. Yogyakarta.
- Seader, J. D. and E. J. Henley. 1998. *Separation Process Principles*. John Wiley and Sons Inc. New York.
- Singh, K. P., D. Mohan, S. Sinha, G. S. Tandon, and D. Ghosh. 2003. Color Removal from Wastewater Using Low-Cost Activated Carbon Derived from Agricultural Waste Material. *Industrial and Engineering Chemistry Research*. 42(9) : 1965-1976.
- Sopyan, I., D. A. Winarto, dan Sukartini, 1997. *Pembuatan Bahan Keramik Melalui Teknologi Sol Gel*. Bidang Pengembangan teknologi BPPT. Jakarta.
- Spolaore, P., C. J. Cassan, E. Duran, and A. Isambert. 2006. Comercial Applications of Microalgae. *Journal of Bioscience and Bioengineering* 101(2) : 87-96.

- Sriyanti, Azmiyawati, Choiril, dan Taslimah. 2004. *Sintesis dan Karakterisasi Silika Gel Merkaptopropil Trimetoksisilan*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Diponegoro. Semarang.
- Stum, Z. and J. J. Morgan. 1996. *Aquatic Chemistry : Chemical Equilibria in Natural Water 3<sup>rd</sup> Edition*. John Wiley and Sons Inc. New York.
- Sudjadi. 1983. *Penentuan Struktur Senyawa Organik*. Ghalia Indonesia. Bandung.
- Sukardjo. 1990. *Ikatan Kimia*. Rineka Cipta. Yogyakarta.
- Supratman, U. 2010. *Equilibrium Penentuan Senyawa Organik*. Padjajaran. Bandung.
- Terada, K., K. Matsumoto, and H. Kimora. 1983. Sorption of Copper (II) by Some Complexing Agents Loaded on Various Support. *Analytica Chimica Acta*. 153 : 237-247.
- Tzvetkova, P., P. Vassileva, and Nickolov. 2010. Modified Silica Gel with 5 Amino-1, 3, 4-Thiadiazole-2-Thiol for Heavy Metal Ions Removal. *Journal of Porous Materials*. 17(4) : 459-463.
- Vashishta, B. R., A. K. Sinha, and V. P. Singh. 2004. *Botany for Degree Student : Algae*. S. Chand Group. New Delhi.
- Vonshak, A. 1998. *Porphyridium Microalga Biotechnology*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Wagiyo dan A. Handayani. 1997. *Petunjuk Praktikum Scanning Electron Microscope (SEM) dan Energy Dispersive Spectrometer (EDS)*. Badan Tenaga Atom Nasional. Tangerang.
- Wicaksono, R., Buhani, dan Suharso. 2015. Kajian Isoterm Adsorpsi Ion Ni(II) dan Zn(II) Pada Biomassa *Porphyridium* sp. yang Dimodifikasi dengan Silika – Magnet. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi VI* : 696-705.
- Xin , X., Q. Wei, J. Yang, L. Yan, R. Feng, G. Chen, B. Du, and H. Li. 2012. Highly Efficient Removal of Heavy Metal Ions by Amine Functionalized Mesoporous Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanoparticles. *Chemical Engineering Journal*. 184 : 132-140.