

**ADSORPSI MULTIKOMPONEN ION Cu(II), METILEN BIRU, DAN
KRISTAL VIOLET OLEH ADSORBEN BIOMASSA *Porphyridium* sp.
SILIKA-MAGNETIT (Fe₃O₄)**

(Skripsi)

Oleh

Desy Permatasari



FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2019

ABSTRACT

ADSORPTION OF MULTICOMPONENT SOLUTION OF Cu(II) IONS, METHYLENE BLUE, AND CRYSTAL VIOLET ON ADSORBENT BIOMASS *Porphyridium* sp. SILICA-MAGNETITE (Fe₃O₄)

By

Desy Permatasari

This study has been carried out the synthesis of the hybrid adsorbent algae *Porphyridium* sp. using silica coating (HA-S) and *Porphyridium* sp. algae hybrid with magnetite silica coating technique, Fe₃O₄ (HA-SM). 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 HA-S 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 (CV) and methylene blue (MB) dyes solution and the multicomponent solution adsorption of Cu(II) ions, (MB), and (CV) on HA-S and HA-SM were analyzed using a UV-VIS spectrophotometer and Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). The optimum of dyes solution and the multicomponent solution adsorption for HA-S and HA-SM adsorbents occurred at pH 8 with a contact time of 90 and 15 minutes respectively. The rate of dyes solution and the multicomponent solution adsorption on HA-S and HA-SM tends to follow the second order pseudo kinetics model. The dyes solution and the multicomponent solution adsorption isotherms for HA-S and HA-SM tend to follow Freundlich isotherm model. The reusability of HA-S and HA-SM adsorbent to adsorption MB was succeed as much as 7 times repetition with the repeat cycle with % MB adsorb >80%.

Keyword: *Porphyridium* sp., adsorption, multicomponent, HA-S, HA-SM.

ABSTRAK

ADSORPSI MULTIKOMPONEN ION Cu(II), METILEN BIRU, DAN KRISTAL VIOLET OLEH ADSORBEN BIOMASSA *Porphyridium* sp. SILIKA-MAGNETIT (Fe₃O₄)

Oleh

Desy Permatasari

Pada penelitian ini telah dilakukan sintesis adsorben hibrida alga *Porphyridium* sp. menggunakan teknik pelapisan silika (HA-S) dan hibrida alga *Porphyridium* sp. dengan teknik pelapisan silika magnetit, Fe₃O₄ (HA-SM). Adsorben hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer inframerah (IR) untuk mengidentifikasi gugus fungsi pada adsorben, *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk menentukan tingkat kekristalan dari hasil modifikasi HA-S dan magnetit, serta *Scanning Electron Microscopy with Energi Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) untuk menganalisis morfologi permukaan dan komposisi unsur dalam adsorben. Hasil adsorpsi pasangan larutan zat warna kristal violet (KV) dan metilen biru (MB) serta larutan multikomponen ion Cu(II), MB, dan KV terhadap HA-S dan HA-SM dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan spektrofotometer serapan atom (SSA). Tingkat optimum adsorpsi pasangan larutan zat warna dan larutan multikomponen terhadap HA-S dan HA-SM terjadi pada pH 8 dengan waktu kontak masing-masing 90 dan 15 menit. Laju adsorpsi pasangan larutan zat warna dan larutan multikomponen terhadap HA-S dan HA-SM cenderung mengikuti model kinetika pseudo orde dua. Isoterm adsorpsi pasangan larutan zat warna dan larutan multikomponen terhadap HA-S dan HA-SM cenderung mengikuti model isoterm Freundlich. Adsorben HA-S dan HA-SM dapat digunakan secara berulang untuk mengadsorpsi MB sebanyak 7 kali siklus pengulangan dengan % MB teradsorpsi > 80%.

Kata kunci : *Porphyridium* sp., adsorpsi, multikomponen, HA-S, HA-SM.

**ADSORPSI MULTI KOMPONEN LOGAM Cu(II), METILEN BIRU, DAN
KRISTAL VIOLET OLEH ADSORBEN BIOMASSA ALGA MERAH
(*Porphyridium* sp.) SILIKA-MAGNETIT (Fe₃O₄)**

Oleh

DESY PERMATASARI

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

2019

Judul Skripsi : ADSORPSI MULTIKOMPONEN ION Cu(II), METILEN BIRU, DAN KRISTAL VIOLET OLEH ADSORBEN BIOMASSA *Porphyridium* sp. SILIKA-MAGNETIT (Fe₃O₄)

Nama Mahasiswa : Desy Permatasari

No. Pokok Mahasiswa : 1517011084

Jurusan : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



1. Komisi Pembimbing

Prof. Dr. Buhani, M.Si.
NIP 196904161994032003

Dr. Mita Rilyanti, M.Si.
NIP 197205302000032001

2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA

Dr. Sripto Dwi Yuwono, M.T.
NIP 19740705200003100

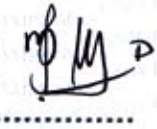
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

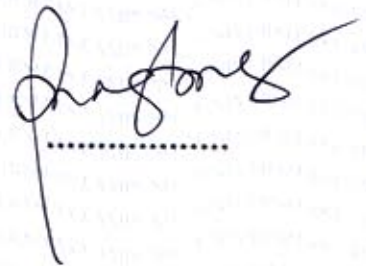
Ketua : Prof. Dr. Buhani, M.Si.


.....

Sekretaris : Dr. Mita Rilyanti, M.Si.


.....

**Penguji
Bukan Pembimbing : Rudy T. Mangapul S., Ph.D.**


.....

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Suratman, M.Sc.
NIP. 196406041990031002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 26 Juli 2019

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung, pada tanggal 17 Desember 1996, sebagai anak kedua dari dua bersaudara, putri dari bapak Ridhwan Jauhari dan Ibu Isnaini Nurrochimah. Jenjang pendidikan dimulai dari Taman Kanak-Kanak (TK) di TKIT Qurrota A'yun Bandar Lampung, diselesaikan pada tahun 2003, Sekolah Dasar (SD) di SDN 1 Labuhan Ratu Bandar Lampung, diselesaikan pada tahun 2009. Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMPN 8 Bandar Lampung, diselesaikan pada tahun 2012, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMAN 9 Bandar Lampung, diselesaikan pada tahun 2015. Pada tahun 2015 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Kimia FMIPA Unila melalui jalur SBMPTN (Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Nasional) yang kemudian mendapatkan beasiswa Bidikmisi, YBM BRI, dan beasiswa al-kautsar. Pada tahun 2018 penulis melakukan Praktek Kerja Lapangan di Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Bandung.

Selama menjadi mahasiswa penulis pernah menjadi asisten kimia dasar, asisten kimia dalam kehidupan, dan asisten anorganik I tahun 2018, serta menjadi asisten anorganik II tahun 2019. Prestasi yang pernah diraih oleh penulis selama menjadi mahasiswa kimia diantaranya adalah menjadi finalis pada Lomba Karya Tulis Ilmiah (LKTI) tingkat nasional di Universitas Negeri Semarang dan Universitas Mulawarman, serta mendapat juara 2 Lomba Karya Tulis Ilmiah (LKTI) tingkat nasional di Unila pada tahun 2017. Mengikuti *student exchange* ke Universitas Putra Malaysia pada tahun 2019.

Penulis juga aktif diberbagai bidang organisasi kemahasiswaan antara lain di Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI) FMIPA Unila sebagai anggota biro usaha mandiri periode kepengurusan 2015/2016. Di Unit Kegiatan Mahasiswa Penelitian (UKMP) Unila sebagai bendahara bidang eksakta periode kepengurusan 2016/2017 dan bendahara umum periode kepengurusan 2017/2018. Penulis juga mengikuti beberapa komunitas diluar kampus seperti Jalan Inovasi Sosial (JANIS) sebagai ketua bidang sosial tahun 2016, *Nano World* Indonesia (NWI) sebagai anggota bidang *Human Resources* tahun 2017. *Sandya Institute Volunteer* Jakarta sebagai ketua koordinator bidang *Campaign*, Hamada Lampung sebagai ketua Divisi ESDM, JJE Lampung sebagai anggota, Jendela Lampung

sebagai anggota, ACT (aksi cepat tanggap) Lampung sebagai anggota dan relawan pada tahun 2018-2019.

Beberapa kegiatan sosial juga pernah diikuti oleh penulis seperti Karya Wisata Ilmiah (KWI) BEM FMIPA UNILA di desa Sidokato, Gisting, Tanggamus, Lampung pada tahun 2015 dan di desa Margosari, Pagelaran, Lampung pada tahun 2016, Yayasan Baitul Maal BRI di desa Margomulyo, Tegineneng, Lampung dan di Pondok Pesantren Sunaul Huda, Natar, Bandar Lampung pada tahun 2017, SSEAYP *International* and ASEAN sebagai *volunteering* pada tahun 2017. Pada bulan Juli 2018 penulis melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Kebangsaan di Desa Mercu Buana, Kecamatan Way Kenanga, Kabupaten Tulang Bawang Barat, Provinsi Lampung selama 40 hari.

السَّلَامُ عَلَيْكُمْ وَرَحْمَةُ اللَّهِ وَبَرَكَاتُهُ

MOTTO

"Yang terdekat dengan dirimu bisa jadi sangat mengecewakanmu, tetapi jika yang terdekat denganmu adalah Allah swt, maka dia tidak akan mengecewakanmu"

(Desy Permatasari)

"Amalan yang lebih dicintai Allah adalah amalan yang terus-menerus dilakukan walaupun sedikit"

(Nabi Muhammad S. A. W)

"Ilmu pengetahuan itu bukanlah yang dihafal, melainkan yang memberi manfaat"

(Imam Syafi'i)

"Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai kesanggupannya"

(Q. S Al-Baqarah : 286)

"Genius is 1% talent and 99% hard work"

(Albert Einstein)

"Nothing in life is to be feared, it's only to be understood"

(Marie Curie)

"The only way to do great work is to love what you do"

(Steven Paul Jobs)

"Ubah pikiranmu dan kau dapat mengubah duniamu"

(Norman Vincent Peale)

"Terasa sulit ketika aku merasa harus melakukan sesuatu. Tetapi, menjadi mudah ketika aku menginginkannya"

(Annie Gottlieb)

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

*Atas rahmat Allah SWT, ku persembahkan karya sederhanaku ini
teruntuk :*

*Kedua orangtua ku, Ayahanda Ridhwan Jaahari dan Ibunda Isnaini
Nurrochimah yang telah memberikan rasa kasih sayang, cinta,
pengorbanan, dan motivasi serta doa indah yang tak terbatas utukku.*

Kakakku Farhanah, yang telah perhatian dan mendukungku.

*Prof. Bukani, M.Si dan semua dosen jurusan kimia yang telah
membimbing dan mendidik ananda selama menempuh pendidikan di kampus.*

Sahabat dan teman-temanku yang selalu membantuku.

Seseorang yang selalu menghiburku.

Dan almamater tercinta Universitas Lampung.

وَسَلَامٌ عَلَيْكُمْ وَرَحْمَةُ اللَّهِ وَبَرَكَاتُهُ

SANWACANA

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT, Rabb semesta alam atas Nikmat-Nya yang tak terhingga, kasih sayang-Nya yang tak terbilang, serta nikmat persaudaraan yang senantiasa terjaga hingga hari ini sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul

“ADSORPSI MULTIKOMPONEN ION Cu(II), METILEN BIRU, DAN KRISTAL VIOLET OLEH ADSORBEN BIOMASSA *Porphyridium* sp. SILIKA-MAGNETIT (Fe₃O₄)”

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

Shalawat teriring salam semoga tersampaikan kepada Rasulullah SAW beserta keluarga dan sahabat serta umatnya yang tetap *istiqomah* dan menjalankan *sunnah-sunnahnya* dan *syariat-syariat* islam, semoga kita juga termasuk umatnya yang mendapatkan syafa'at beliau nanti di hari akhir, *aamiin yarabbal'amin*. Teriring doa nan tulus jazaakumullah khairan katsir, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT.
2. Teriring syukur ananda berikan kepada Ayahanda Ridhwan Jauhari dan Ibunda Isnaini Nurrohimah, atas seluruh cinta, kasih sayang, kesabaran, keikhlasan, doa serta semua dedikasi dalam mendidik ananda, semoga Allah SWT membalas cintanya dengan *jannah*-Nya, aamiin Allahuma aamiin.
3. Ayunda Farhanah dan kakak iparku Ahmad Fuady, serta keluarga besar, terimakasih atas semua doa dan kasih sayangnya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

4. Ibu Prof. Buhani, S.Si, M. Si., selaku Pembimbing I atas seluruh dedikasi yang beliau berikan selama menempuh pendidikan di kampus, atas semua kesabaran, keikhlasan, bimbingan dan nasihat yang selalu diberikan hingga skripsi ini dapat terselesaikan. Semoga Allah SWT membalas kebaikan beliau dengan *baraakah* yang tidak ternilai.
5. Ibu Dr. Mita Rilyanti, M. Si., selaku Pembimbing II yang telah membimbing penulis dengan penuh kesabaran, serta bimbingan yang telah diberikan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Semoga Allah membalasnya dengan kebaikan.
6. Bapak Dr. Rudy TM Situmeang, M. Sc., selaku penguji penelitian yang telah memberikan ilmu, saran, motivasi, nasehat, kritik, serta saran yang membangun kepada penulis sehingga skripsi ini terselesaikan dengan baik. Semoga Allah membalasnya dengan kebaikan.
7. Bapak Dr. Agung Abadi K, M.Sc sebagai Pembimbing Akademik penulis yang telah memberi nasehat dan bimbingan dengan kesabaran serta keikhlasannya.
8. Bapak Dr. Eng Suropto Dwi Yuwono, M. T. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Unila.
9. Bapak Drs. Suratman, M.Sc., selaku dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
10. Mba Liza Aprilia S. Si., selaku Laboran Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik yang telah banyak membantu penulis untuk mendapatkan bahan kimia, alat laboratorium, dan karakterisasi uv-vis dan juga Uni selaku Laboran Laboratorium Kimia Dasar terimakasih telah memberikan ilmunya padaku.
11. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung terima kasih atas seluruh dedikasi dan ilmu yang diberikan selama penulis menempuh perkuliahan. Semoga Allah SWT melimpahkan *barakah* kepada Bapak dan Ibu.
12. Teruntuk sahabat terbaikku selama perkuliahan Mona Dwi Fenska dan Nadya Syarifatul Fajriyah, terimakasih sudah menemaniku selama 4 tahun ini, terimakasih sudah banyak menolong akademikku, sudah mau selalu aku reportkan dengan segala kesibukkanku, selalu mendengarkan kegelisahan dan amarahku, ayo tetap bersama lanjutkan studi kita, see you next time, love you!

13. Teruntuk sahabat SMA ku, Felianda Thalia Ramadhanty dan Agieska Amallia, terimakasih dokter-dokter ku yang selalu memotivasi dan mendengarkan keluh kesahku, semoga suatu saat kita bisa berkumpul bersama.
14. Teruntuk sahabat SMP ku Rosanti Marlinda, Novi Amelia, Kesumayuda Agusrimanyah, dan Agung Afrizal, terimakasih karena selalu menghibur dan membuatku tertawa disetiap saat kita berkumpul bersama.
15. Rekan kerja penelitian *Adsorption Group* Ade Rika, Miranda Sari, Siti Nur'aini, Tri Handayani, Tri Agus Wijayanti, dan mb Annisaa Siti Zulaicha terima kasih untuk semua kerjasama dan bantuannya.
16. Teman-teman laboratorium kimia anorganik/fisik Putri Nursela, Annisa Tri Agustin, Alifa Dyah Savira, Rifka Amalia, Dwi Saraswati Luthfi, Naina Purnama Sari, Asti Dwi Rimawanti, Dinda Sefta Firguna, Ahmad Ammar Saputra, dan teman-teman yang lain semangat teman-teman, sukses selalu untuk kita!
17. Teman-teman angkatan 2015 Aulia Yulanda, Intan Tsamrotul Fu'adah, Siwi Meutia Sadewi, Mentari Yunika Sari, Valentino Budi Pratama, Fatry Sinjia, Widya Susanti, Mahyal Fadhilah, Melina Putri Ahmad, Santi Primadona, Rulan Aprilia, Rinda Harijuliatri, Fikri Ficaksono, Muhammad Alfarizi, Ahmad Gilang Arinanda, Rizki Gilang Gumelar, dan teman-teman yang lain juga adik tingkat 2016 Muhammad Rois terimakasih telah membantu dan memberikan kritik juga saran.
18. Kakak tingkat kimia 2013 kak Radho Al Kausar, kakak tingkat kimia 2014 mba ana, mba asdini, mba ismi dll, serta adik-adik kimia 2016 nurul, istikomah, laili, dan fransiska terimakasih telah membantu selama proses penelitian.
19. Teman-teman selama SMA Ricky Andrianto Nugroho, M. Dimas Ghiffari P, serta adik-adikku Dian Octaviana Aziza dan Cindy Wulandari, sukses terus alumni smalan & alkautsar!
20. Teman-teman kepengeurusan UKMP sinta, rita, bela, ayu, yesi, yoga, fikri, mb arina, kak toni, mba dila dan teman-teman yang lain semangat meneliti lanjutkan terus mimpi-mimpi kita!

21. Teman-teman KKN Kebangsaan 2018 Miko Ramadani (Ekonomi pembangunan, Universitas Jambi), Dinora Refiasari (Ilmu komputer, Universitas Lampung), Yeni Kartika (Ilmu komunikasi, Universitas Bengkulu), Indri Dwi Lestari (Ekonomi syariah, UIN Syarif Hidayatullah Jakarta), Fariz Adyatma (Perbenihan, Politeknik Negeri Lampung), dan Siti Nur Fatimah (Kimia, Universitas Tanjungpura Pontianak) terimakasih sudah hidup bersama selama 40 hari, jangan pernah lupakan semua kenangan kita ya, suatu hari nanti kita pasti bertemu, miss you!
22. Teman-teman *student exchange* Universitas Putra Malaysia dan Universitas Malaya 2019 nadya, alifa, winda, ellen, naurah, shoffiyah, vega, vina, mutia, nourma, siti, irham, dan irsyaad teman-teman yang lain see you next time guys, and semoga kita semua bisa berkeliling dunia ya! Aamiin.
23. Seluruh keluarga besar Jurusan Kimia Angkatan 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, dan 2019.
24. Almamater tercinta Universitas Lampung.
25. Semua pihak yang terlibat dalam penyelesaian skripsi ini, yang tidak bisa disebutkan satu persatu semoga kebajikannya mendapat balasan dari Allah SWT.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat kekurangan dan kesalahan, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan di masa datang. Aamiin. Semoga bermanfaat.

Bandarlampung, Agustus 2019
Penulis

Desy Permatasari

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	viii
I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang dan Masalah.....	1
B. Tujuan Penelitian	5
C. Manfaat Penelitian	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	7
A. Biomassa Alga	7
B. Immobilisasi Biomassa Alga	8
C. Silika Gel	9
D. Proses Silika Gel.....	10
E. Magnetit Fe ₃ SO ₄	13
F. Teknik Pelapisan Silika-Magnetit (<i>Silica-Coated Magnetite</i>).....	15
G. Interaksi Logam dengan Adsorben	16
H. Tembaga (Cu)	17
I. Zat Warna.....	18
J. Metilen Biru	19
K. Kristal Violet.....	20
L. Adsorpsi	21
1. Pengertian Adsorpsi	21
2. Jenis Adsorpsi	22
M. Adsorpsi Ion Logam	25
N. Desorpsi	26
O. Parameter Adsorpsi.....	28
1. Kinetika Adsorpsi	28
2. Keseimbangan Adsorpsi	31
P. Nilai Zeta Potensial.....	35
Q. Karakterisasi	36
1. Spektrofotometer UV-Visible (UV-Vis)	36
2. Spektrofotometer Inframerah (IR)	38
3. Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).....	40
4. X-Ray Diffraction (XRD).....	40

5. <i>Scanning Electron Microscopy With Energy Dispersive X-Ray</i> (SEM-EDX)	41
III. METODE PENELITIAN	43
A. Waktu dan Tempat	43
B. Alat dan Bahan	44
C. Prosedur Kerja	44
1. Penyiapan Biomassa Alga <i>Porphyridium</i> sp.	44
2. Sintesis	45
a. Magnetit (Fe ₃ O ₄)	45
b. Hibrida Alga <i>Porphyridium</i> sp.-Silika (HA-S)	45
c. Hibrida Alga <i>Porphyridium</i> sp.-Silika Magnetit (HA-SM)	46
3. Karakterisasi Material	47
4. Penentuan Nilai Zeta Potensial Adsorben	47
5. Uji Adsorpsi Multikomponen	48
a. Pembuatan Larutan Induk Adsorbat 0,05 mmol L ⁻¹	48
b. Variasi Waktu Adsorpsi	48
c. Variasi Konsentrasi Adsorbat	49
6. Penggunaan Ulang Adsorben	49
7. Mekanisme Adsorpsi	50
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	51
A. Sintesis dan Karakterisasi Adsorben	51
1. Karakterisasi Spektrofotometer Inframerah (IR)	53
2. Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	55
3. Karakterisasi <i>Scanning Electron Microscopy with Energy</i> <i>Dispersive X-Ray</i> (SEM-EDX)	56
B. Penentuan Nilai Zeta Potensial HA-S dan HA-SM <i>Porphyridium</i> sp	59
C. Adsorpsi HA-S dan HA-SM <i>Porphyridium</i> sp	60
1. Adsorpsi Pasangan Larutan Zat Warna Kristal Violet dan Metilen Biru Terhadap HA-S dan HA-SM <i>Porphyridium</i> sp	60
2. Adsorpsi Larutan Multikomponen Cu(II), Kristal Violet, dan Metilen Biru Terhadap HA-S dan HA-SM <i>Porphyridium</i> sp	68
D. Penggunaan Ulang Adsorben	76
E. Mekanisme Adsorpsi	78
V. KESIMPULAN DAN SARAN	80
A. Kesimpulan	80
B. Saran	81
DAFTAR PUSTAKA	82
LAMPIRAN	90

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Sifat asam dan basa beberapa senyawa.....	17
2. Persentase ikatan ionik hasil interaksi ion logam-ligan.....	22
3. Perbedaan adsorpsi dan kimia.....	24
4. Serapan khas beberapa gugus fungsi.....	39
5. Hasil analisis gugus fungsi pada adsorben.....	55
6. Hasil analisis struktur XRD.....	56
7. Parameter kinetika adsorpsi pasangan larutan zat warna kristal violet dan metilen biru terhadap HA-S dan HA-SM.....	64
8. Parameter isoterm adsorpsi pasangan larutan zat warna kristal violet dan metilen biru terhadap HA-S dan HA-SM.....	67
9. Parameter kinetika adsorpsi larutan multikomponen Cu(II), kristal violet, dan metilen biru terhadap HA-S dan HA-SM.....	72
10. Parameter isoterm adsorpsi larutan multikomponen Cu(II), kristal violet, dan metilen biru terhadap HA-S dan HA-SM.....	75
11. Data PZC pada adsorben HA-S dan HA-SM.....	91
12. Data absorbansi larutan multikomponen variasi waktu.....	92
13. Adsorpsi pasangan larutan zat warna kristal violet dan metilen biru pada adsorben dengan variasi waktu.....	94
14. Adsorpsi larutan multikomponen Cu(II), kristal violet, dan metilen biru pada adsorben dengan variasi waktu.....	95

15. Data perhitungan hasil kinetika pseudo orde satu pada HA-S terhadap pasangan larutan zat warna kristal violet dan metilen biru	97
16. Data perhitungan hasil kinetika pseudo orde satu pada HA-S terhadap larutan multikomponen Cu(II), kristal violet, dan metilen biru	98
17. Data perhitungan hasil kinetika pseudo orde satu pada HA-SM terhadap pasangan larutan zat warna kristal violet dan metilen biru	100
18. Data perhitungan hasil kinetika pseudo orde satu pada HA-SM terhadap larutan multikomponen Cu(II), kristal violet, dan metilen biru	101
19. Data perhitungan hasil kinetika pseudo orde dua pada HA-S terhadap pasangan larutan zat warna kristal violet dan metilen biru	103
20. Data perhitungan hasil kinetika pseudo orde dua pada HA-S terhadap larutan multikomponen Cu(II), kristal violet, dan metilen biru	104
21. Data perhitungan hasil kinetika pseudo orde dua pada HA-SM terhadap pasangan larutan zat warna kristal violet dan metilen biru	106
22. Data perhitungan hasil kinetika pseudo orde dua pada HA-SM terhadap larutan multikomponen Cu(II), kristal violet, dan metilen biru	107
23. Data absorbansi larutan multikomponen variasi konsentrasi	109
24. Adsorpsi pasangan larutan zat warna kristal violet dan metilen biru pada adsorben dengan variasi konsentrasi	111
25. Adsorpsi larutan multikomponen Cu(II), kristal violet, dan metilen biru pada adsorben dengan variasi konsentrasi	112
26. Data perhitungan dengan persamaan Langmuir pada adsorpsi pasangan larutan zat warna kristal violet dan metilen biru terhadap HA-S	114
27. Data perhitungan dengan persamaan Langmuir pada adsorpsi larutan multikomponen Cu(II), kristal violet, dan metilen biru terhadap HA-S	115
28. Data perhitungan dengan persamaan Langmuir pada adsorpsi pasangan larutan zat warna kristal violet dan metilen biru terhadap HA-SM	117
29. Data perhitungan dengan persamaan Langmuir pada adsorpsi larutan multikomponen Cu(II), kristal violet, dan metilen biru terhadap HA-SM ...	118
30. Data perhitungan dengan persamaan Freundlich pada adsorpsi pasangan larutan zat warna kristal violet dan metilen biru terhadap HA-S	120
31. Data perhitungan dengan persamaan Freundlich pada adsorpsi larutan multikomponen Cu(II), kristal violet, dan metilen biru terhadap HA-S	121

32. Data perhitungan dengan persamaan Freundlich pada adsorpsi pasangan larutan zat warna kristal violet dan metilen biru terhadap HA-SM	123
33. Data perhitungan dengan persamaan Freundlich pada adsorpsi larutan multikomponen Cu(II), kristal violet, dan metilen biru terhadap HA-SM ...	124
34. Data absorbansi metilen biru penggunaan ulang	126
35. Data perhitungan jumlah metilen biru yang teradsorpsi pada adsorben HA-S dan HA-SM.....	127
36. Data absorbansi metilen biru mekanisme adsorpsi	128
37. Data perhitungan jumlah metilen biru yang terdesorpsi pada adsorben HA-S dan HA-SM.....	129

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Alga <i>Porphyridium</i> sp	8
2. Struktur silika gel	11
3. Struktur TEOS.....	12
4. Struktur biomassa alga yang terimmobilisasi dalam silika gel	13
5. Bubuk metilen biru.....	19
6. Struktur kimia biomolekul metilen biru	19
7. Struktur kristal violet	21
8. Struktur EDTA	27
9. Reaksi pembentukan kompleks EDTA	28
10. Kurva isoterm adsorpsi Langmuir.....	33
11. Model isoterm adsorpsi Freundlich.....	34
12. Klasifikasi panjang gelombang untuk spektrum warna	37
13. Hasil sintesis (a) HA-S <i>Porphyridium</i> sp., (b) magnetit, dan (c) HA-SM <i>Porphyridium</i> sp.....	52
14. Spektra IR (a) biomassa alga <i>Porphyridium</i> sp., (b) HA-S, dan (c) HA-SM	53
15. Difraktogram (a) magnetit, (b) HA-S, dan (c) HA-SM	56
16. Hasil karakterisasi SEM (a) magnetit, (b) HA-S dan (c) HA-SM	57

17. Hasil karakterisasi EDX (a) magnetit, (b) HA-S dan (c) HA-SM	58
18. Kurva PZC pada adsorben HA-S dan HA-SM	59
19. Kurva pengaruh waktu kontak pada adsorpsi pasangan larutan zat warna kristal violet dan metilen biru	61
20. Kinetika pseudo orde satu pada HA-S dan HA-SM terhadap pasangan larutan zat warna kristal violet dan metilen biru	62
21. Kinetika pseudo orde dua pada HA-S dan HA-SM terhadap pasangan larutan zat warna kristal violet dan metilen biru	63
22. Kurva pengaruh konsentrasi pada adsorpsi pasangan larutan zat warna kristal violet dan metilen biru	65
23. Pola isoterm Langmuir HA-S dan HA-SM terhadap pasangan larutan zat warna kristal violet dan metilen biru	66
24. Pola isoterm Freundlich HA-S dan HA-SM terhadap pasangan larutan zat warna kristal violet dan metilen biru	66
25. Kurva pengaruh waktu kontak pada adsorpsi larutan mutlikomponen Cu(II), kristal violet, dan metilen biru	69
26. Kinetika pseudo orde satu pada HA-S dan HA-SM terhadap larutan mutlikomponen Cu(II), kristal violet, dan metilen biru	70
27. Kinetika pseudo orde dua pada HA-S dan HA-SM terhadap larutan mutlikomponen Cu(II), kristal violet, dan metilen biru	71
28. Kurva pengaruh konsentrasi pada adsorpsi larutan mutlikomponen Cu(II), kristal violet, dan metilen biru	73
29. Pola isoterm Langmuir HA-S dan HA-SM terhadap larutan mutlikomponen Cu(II), kristal violet, dan metilen biru	74
30. Pola isoterm Freundlich HA-S dan HA-SM terhadap larutan mutlikomponen Cu(II), kristal violet, dan metilen biru	74
31. Grafik hasil penggunaan ulang adsorpsi metilen biru oleh HA-S dan HA-SM	77
32. Grafik hasil mekanisme adsorpsi adsorpsi metilen biru oleh HA-S dan HA-SM	78
33. PZC oleh adsorben dengan variasi pH 2-10 (a) HA-S dan (b) HA-SM	91

34. Kurva hasil pengukuran panjang gelombang maksimum (a) kristal violet dan (b) metilen biru	92
35. Kurva standar larutan multikomponen untuk variasi waktu (a) Cu(II), (b) kristal violet, dan (c) metilen biru	93
36. Adsorpsi larutan pasangan zat warna kristal violet dan metilen biru dengan variasi waktu (a) HA-S dan (b) HA-SM.....	96
37. Adsorpsi larutan multikomponen Cu(II), kristal violet, dan metilen biru dengan variasi waktu (a) HA-S dan (b) HA-SM.....	96
38. Pola kinetika pseudo orde satu pada HA-S terhadap (a) pasangan larutan zat warna kristal violet dan metilen dan (b) larutan multikomponen Cu(II), kristal violet, dan metilen biru	99
39. Pola kinetika pseudo orde satu pada HA-SM terhadap (a) pasangan larutan zat warna kristal violet dan metilen dan (b) larutan multikomponen Cu(II), kristal violet, dan metilen biru	102
40. Pola kinetika pseudo orde dua pada HA-S terhadap (a) pasangan larutan zat warna kristal violet dan metilen dan (b) larutan multikomponen Cu(II), kristal violet, dan metilen biru	105
41. Pola kinetika pseudo orde dua pada HA-SM terhadap (a) pasangan larutan zat warna kristal violet dan metilen, dan (b) larutan multikomponen Cu(II), kristal violet, dan metilen biru	108
42. Kurva standar larutan multikomponen untuk variasi konsentrasi (a) Cu(II), (b) kristal violet, dan (c) metilen biru.....	110
43. Adsorpsi pasangan larutan zat warna kristal violet dan metilen biru dengan variasi konsentrasi (a) HA-S dan (b) HA-SM	113
44. Adsorpsi larutan multikomponen Cu(II), kristal violet, dan metilen biru dengan variasi konsentrasi (a) HA-S dan (b) HA-SM	113
45. Pola isoterm adsorpsi Langmuir pada HA-S terhadap (a) pasangan larutan zat warna kristal violet dan metilen biru, dan (b) larutan multikomponen Cu(II), kristal violet, dan metilen biru	116
46. Pola isoterm adsorpsi Langmuir pada HA-SM terhadap (a) pasangan larutan zat warna kristal violet dan metilen biru, dan (b) larutan multikomponen Cu(II), kristal violet, dan metilen biru	119
47. Pola isoterm adsorpsi Freundlich pada HA-S terhadap (a) pasangan larutan zat warna kristal violet dan metilen biru, dan (b) larutan multikomponen Cu(II), kristal violet, dan metilen biru	122

48. Pola isoterm adsorpsi Freundlich pada HA-SM terhadap (a) pasangan larutan zat warna kristal violet dan metilen biru, dan (b) larutan multikomponen Cu(II), kristal violet, dan metilen biru 125
49. Kurva standar larutan metilen biru untuk penggunaan ulang 126
50. Adsorben HA-S dan HA-SM pada penggunaan ulang ke- (a) satu, (b) dua, (c) tiga, (d) empat, (e) lima, (f) enam, dan (g) tujuh..... 128
51. Kurva standar metilen biru untuk mekanisme adsorpsi 129
52. Mekanisme adsorpsi terhadap HA-S dan HA-SM (a) metilen biru, (b) akuades, (c) CH_4N_2 , (d) KNO_3 , dan (e) Na_2EDTA 130

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang dan Masalah

Pencemaran air yang terjadi di perairan seperti sungai dan laut menjadi salah satu masalah yang serius bagi dunia. Penyebab terjadinya pencemaran ini berasal dari limbah cair berbagai pabrik industri. Limbah tersebut berbahaya karena mengandung logam berat dan zat warna yang dapat menyebabkan berbagai penyakit bagi makhluk hidup maupun biota laut (Maley *and* Arbiser, 2013). Kegiatan pabrik industri tekstil pada proses pencelupan menghasilkan limbah logam berat seperti logam nikel, cadmium, dan tembaga.

Tembaga (Cu) merupakan logam berat yang berbahaya karena bersifat korosif, sulit terdegradasi di alam, dan dapat terakumulasi pada organisme. Selain itu, pabrik industri tekstil pada proses pewarnaan menggunakan zat warna berbahaya seperti metilen biru dan kristal violet karena memiliki sifat kelarutan yang relatif baik. Namun, zat warna yang dapat terikat hanya 5% sedangkan sisanya 95% terbuang sebagai limbah (Buhani *et al.*, 2012). Limbah dari logam Cu dan zat warna yang dihasilkan menyebabkan penyakit seperti peningkatan denyut jantung, *quadriplegia* (kerusakan pada saraf tulang belakang), hepatitis, tubuh kebiruan

(kekurangan oksigen dalam darah), serta rusaknya jaringan sel pada manusia (Liu *et al.*, 2010).

Beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengurangi pencemaran lingkungan akibat logam berat dan zat warna antara lain metode presipitasi, koagulasi, kompleksasi, ekstraksi pelarut, pemisahan membran, pertukaran ion, dan adsorpsi (Buhani *et al.*, 2015). Metode adsorpsi sering digunakan dalam penyerapan limbah cair. Metode ini memiliki keunggulan dibandingkan dengan metode lain seperti prosesnya lebih sederhana, biaya relatif murah, ramah lingkungan, tidak ada efek samping zat beracun, dan menawarkan fleksibilitas dalam desain operasi seperti adsorbennya dapat digunakan kembali (Buhani *et al.*, 2012; Buhani *et al.*, 2011).

Jenis adsorben yang biasa digunakan dalam metode adsorpsi adalah karbon aktif, silika gel, alumina, dan zeolit. Seiring perkembangan zaman, biomassa alga mulai dikembangkan sebagai salah satu adsorben alternatif yang berasal dari alam karena harganya lebih ekonomis (Buhani *et al.*, 2010; Buhani *et al.*, 2013; Buhani *et al.*, 2017). Pada penelitian ini digunakan biomassa alga *Porphridium* sp. karena kemampuan adsorpsinya yang cukup tinggi terhadap logam dan zat warna dalam larutan melalui gugus-gugus fungsi yang terdapat pada biomassa alga (Buhani *et al.*, 2006; Buhani *et al.*, 2012). Menurut Harris and Ramelow (1990), meskipun kemampuan alga mengadsorpsi cukup baik namun material ini tidak dapat digunakan sebagai adsorben secara langsung karena biomassa alga mempunyai beberapa kelemahan yaitu ukurannya yang kecil, berat jenis rendah,

strukturnya yang mudah rusak karena dekomposisi oleh mikroorganisme lain (Buhani *et al.*, 2012; Buhani *et al.*, 2017) dan juga secara teknik sulit digunakan dalam kolom untuk aplikasinya sebagai adsorben (Buhani *et al.*, 2006).

Modifikasi pada biomassa alga perlu dilakukan untuk mengatasi kelemahan dari penggunaan biomassa alga sebagai adsorben untuk dapat meningkatkan daya adsorpsi terhadap larutan logam dan zat warna (Buhani *et al.*, 2012). Oleh karena itu, dilakukan immobilisasi pada biomassa alga dengan matriks pendukung silika gel yang mampu mempertahankan keaktifan gugus fungsi dan menambah kekuatan serta ketahanan partikel kimia dari biomassa alga (Buhani *and* Suharso, 2009). Silika gel sering digunakan dalam proses adsorpsi karena memiliki keunggulan yakni sifat yang stabil pada kondisi asam, non *swelling*, memiliki karakteristik pertukaran massa yang tinggi, porositas dan luas permukaan spesifik serta memiliki daya tahan yang tinggi terhadap panas (Buhani *and* Suharso, 2010).

Pemanfaatan silika ini juga memiliki kelemahan antara lain rendahnya efektivitas dan selektivitas permukaan dalam berinteraksi dengan ion logam dan zat warna. Akan tetapi, kelemahan ini dapat diatasi dengan teknik pelapisan menggunakan partikel magnetit (Fe_3O_4) pada biomassa alga. Teknik pelapisan magnetit ini merupakan salah satu teknik yang ramah lingkungan dan dapat mengatasi adanya gumpalan padatan tersuspensi (*flocculant*) dalam limbah industri yang diolah (Pankhurst *et al.*, 2003).

Partikel magnetit (Fe_3O_4) memiliki ukuran yang kecil, luas permukaan besar serta kapasitas penyerapan tinggi yang dapat menghalangi gaya tarik-menarik magnetit dipolar antar partikel, sehingga terbentuk partikel yang mudah terdispersi dalam media cair dan terlindungi dari kerusakan suasana asam (Chang *and* Cheng, 2005; Hu *et al.*, 2006). Modifikasi ini ternyata dapat memperoleh adsorben yang memiliki kapasitas dan selektivitas yang besar terhadap zat yang diadsorpsi (Jeon, 2011; Buhani *et al.*, 2017).

Kemampuan biomassa *Porphyridium sp.* sebagai adsorben logam berat juga telah diketahui dari hasil penelitian sebelumnya, seperti biomassa *Porphyridium sp.* sangat efisien dalam mengurangi ion $\text{Ca}(\text{II})$, $\text{Cu}(\text{II})$, dan $\text{Cd}(\text{II})$ tanpa dimodifikasi. Hasil terbaik yakni dalam mengadsorpsi ion $\text{Cu}(\text{II})$ sebesar 96,38% (Supriyanto, 2014). Kemudian biomassa *Porphyridium sp.* dengan teknik pelapisan magnetit (Fe_3O_4) dan uji adsorpsi terhadap metilen biru dalam larutan juga telah dilakukan oleh Hariyanti (2017), diperoleh hasil adsorpsi sebesar 98,12%.

Penelitian selanjutnya menunjukkan bahwa biomassa *Porphyridium sp.* yang dilapisi partikel magnetit (Fe_3O_4) mampu mengadsorpsi kristal violet sebanyak 95,80% (Mutiarra, 2018). Namun, penelitian yang membahas tentang adsorpsi untuk campuran logam berat dengan zat warna belum dilakukan. Pada penelitian ini dilakukan adsorpsi multikomponen dari ion $\text{Cu}(\text{II})$, metilen biru, dan kristal violet menggunakan biomassa *Porphyridium sp.* yang dilapisi silika magnetit (Fe_3O_4).

Material yang telah diperoleh dikarakterisasi dengan Spektrofotometer UV-Vis, Spektrofotometer Inframerah (IR), *X-Ray Diffraction* (XRD), Spektrofotometer Serapan Atom (SSA), dan *Scanning Electron Microscopy With Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (SEM-EDX). Setelah itu, dilakukan kajian tentang faktor-faktor yang mempengaruhi kemampuan adsorpsi biomassa *Porphyridium* sp. terhadap multikomponen ion Cu(II), metilen biru, dan kristal violet serta penentuan nilai zeta potensial, penggunaan ulang, dan mekanisme adsorpsi.

B. Tujuan Penelitian

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

1. Mempelajari cara sintesis dan karakterisasi Hibrida Alga *Porphyridium* sp.-Silika (HA-S) dan Hibrida Alga *Porphyridium* sp.-Silika Magnetit (HA-SM).
2. Menentukan nilai zeta potensial dari adsorben HA-S dan HA-SM.
3. Mempelajari adsorpsi multikomponen ion Cu(II), metilen biru, dan kristal violet terhadap adsorben HA-S dan HA-SM.
4. Mempelajari kemampuan penggunaan ulang dan mekanisme adsorpsi dari adsorben HA-S dan HA-SM.

C. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah memberikan informasi mengenai proses dan hasil modifikasi dari hibrida biomassa *Porphyridium* sp.-silika dengan pelapisan magnetit (Fe_3O_4) sebagai adsorben terhadap adsorbat multikomponen ion Cu(II), metilen biru, dan kristal violet untuk mengatasi pencemaran lingkungan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

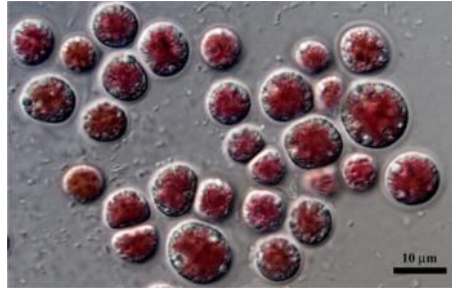
A. Biomassa Alga Merah (*Porphyridium sp.*)

Alga adalah organisme berklorofil, tubuhnya merupakan thalus (uniselular dan multiselular), alat reproduksi pada umumnya berupa sel tunggal (Sulisetijono, 2000). *Porphyridium sp.* merupakan jenis alga merah uniseluler dengan sel berbentuk seperti bola. Alga ini merupakan jenis alga dari filum Rhodophyta dan ordo Porphyridiales, memiliki dinding sel antara 4-9 μm . Pada *Porphyridium sp.* sel-selnya tidak memiliki dinding sel tetapi mengandung kloroplas tunggal yang dikelilingi oleh lapisan polisakarida sulfat yang mudah larut dalam air (Singh *et al.*, 2005).

Biomassa *Porphyridium sp.* mengandung polisakarida sulfat dan pigmen merah protein yakni *phycoerythin*. Bentuk dari alga *Porphyridium sp.* dapat dilihat pada Gambar 1. Klarifikasi *Porphyridium cruentum* menurut Vonshak (1988) adalah sebagai berikut:

Kingdom : Prosista
Filum : Rhodophyta
Kelas : Bangiophycidae
Ordo : Porphyridiales

Famili : Porphyridiaceae
Genus : *Porphyridium*
Species : *Porphyridium* sp.



Gambar 1. Alga *Porphyridium* sp. (Vonshak, 1988).

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. Kelemahan tersebut dapat diatasi dengan cara mengimmobilisasi biomasnya. Immobilisasi biomassa dapat dilakukan dengan menggunakan:

1. Matriks polimer seperti polietilen, glikol, dan akrilat.
2. Oksida seperti alumina dan silika.
3. Campuran oksida seperti kristal aluminasilikat, asam polihetero, dan karbon.

(Harris *and* Rammelow, 1990).

Laju dan kapasitas adsorben dapat meningkat dalam mengadsorpsi adsorbat, dengan cara dilakukan teknik pelapisan silika dengan magnetit (Fe_3O_4).

Penambahan magnetit ini dapat meningkatkan stabilitas adsorben dengan cara melapisi permukaan silika dengan magnetit secara *in-situ*. Lapisan permukaan silika diharapkan berfungsi sebagai perisai atau perlindungan terhadap pengaruh lingkungan, sehingga magnetit yang melapisi oleh silika akan lebih stabil (Pankhurst *et al.*, 2003).

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 dibidang biomedis. (Deng *et al.*, 2005). Teknik pelapisan silika dengan magnet merupakan teknik yang ramah lingkungan, karena tidak membentuk produk yang mengandung kontaminasi seperti padatan tersuspensi (Buhani *et al.*, 2013).

C. Silika Gel

Silika gel merupakan silika amorf yang tersusun dari globula-globula $[\text{SiO}_4]^{4-}$ tetrahedral yang tersusun secara tidak beraturan dan beragregasi membentuk kerangka tiga dimensi yang terbentuk karena kondensasi asam ortosilikat, juga sebagai bentuk dari silika yang dihasilkan melalui penggumpalan sol natrium silikat (NaSiO_2). Silika banyak digunakan karena merupakan padatan pendukung yang memiliki kelebihan yaitu stabil pada kondisi asam, *non-swelling*, *inert*, biaya sintesis murah, memiliki karakterisasi pertukaran massa yang tinggi, porositas, luas permukaan spesifik, dan memiliki daya tahan tinggi terhadap panas

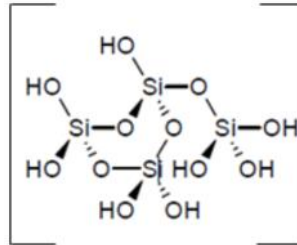
(Na *et al.*, 2006). Silika gel memiliki situs aktif berupa gugus silanol (Si-OH) dan siloksan (Si-O-Si) di permukaan. Adanya gugus OH memberikan peluang secara luas untuk memodifikasi gugus tersebut menjadi gugus lain yang lebih aktif (Hartono dkk., 2002). Adapun kelemahan dari penggunaan silika gel adalah rendahnya efektivitas dan selektivitas permukaan dalam berinteraksi dengan ion logam berat, metilen biru, dan kristal violet sehingga silika gel tidak mampu berfungsi sebagai adsorben yang efektif. Akan tetapi, kekurangan ini dapat diatasi dengan memodifikasi permukaan dengan menggunakan situs aktif yang sesuai untuk mengadsorpsi ion logam berat, metilen biru, dan kristal violet yang dikehendaki (Nuzula, 2004; Buhani *et al.*, 2010).

D. Proses Sol-Gel

Sol-gel adalah suatu suspensi koloid dari partikel silika yang digelkan menjadi bentuk padatan. Sol adalah suspensi dari partikel koloid pada suatu cairan atau larutan molekul polimer. Proses sol-gel 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 sol, *gelation* dari sol dan akhirnya membentuk gel (Schubert *and* Husing, 2000).

Keunggulan teknik sol-gel antara lain: homogen, memiliki kemurnian yang tinggi, dapat dipreparasi pada temperatur rendah, bercampur dengan baik pada sistem multikomponen, ukuran, bentuk, sifat partikel dapat dikontrol, dan dapat dibuat material hibrida-organik untuk meningkatkan selektivitas dalam kromatografi

(Kumar *et al.*, 2008; Buhani *et al.*, 2012). Struktur silika gel dapat dilihat pada Gambar 2.

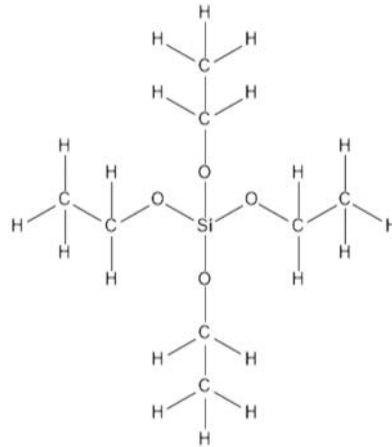


Gambar 2. Struktur silika gel (Handoyo, 2000).

Menurut Handoyo (2000) proses sol-gel berlangsung melalui langkah-langkah sebagai berikut:

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

Proses tersebut kemudian dilanjutkan dengan proses gelasi dari sol tersebut untuk membentuk jaringan dalam suatu fasa cair, sehingga terbentuk gel. Pada proses sol-gel, bahan dasar yang digunakan untuk membentuk sol dapat berupa senyawa atau logam alkoksida seperti tetrametilortosilikat (TMOS) atau TEOS (Jamarun, 2000). Struktur TEOS dapat dilihat pada Gambar 3.



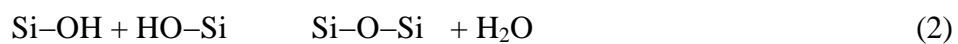
Gambar 3. Struktur TEOS (Brinker and Scherer, 1990).

Keunggulan dari TEOS diantaranya: 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 sebagai berikut:

1. Hidrolisis



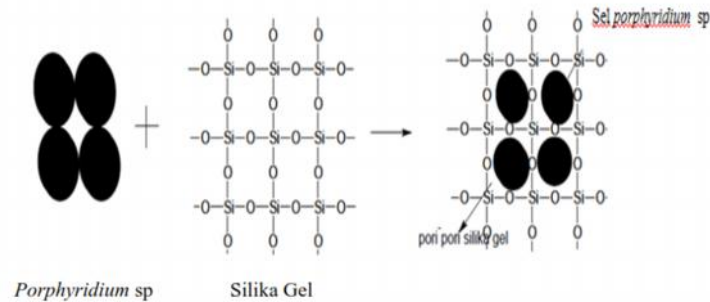
2. Polikondensasi



(Suhendrayatna, 2001).

Pada metode adsorpsi, biomassa diletakkan pada permukaan materi berpori atas dasar mekanisme bahwa bahan pembawa tersebut dapat berinteraksi dengan biomassa secara fisik. Pada metode penjerapan, biomassa yang dijerap di dalam

suatu mikrokapsul dari bahan polimer organik akan mempunyai permukaan luas sehingga memperbesar kontak dengan substrat (Ruswati, 2003). Struktur biomassa alga yang terimmobilisasi dalam silika gel dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Struktur biomassa alga yang terimmobilisasi dalam silika gel (Triyanto, 2004).

E. Magnetit (Fe_3O_4)

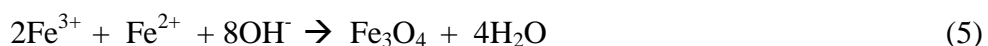
Fe_3O_4 merupakan rumus kimia dari material magnetit. Fe_3O_4 atau oksida besi di alam memiliki banyak bentuk diantaranya: magnetit, *maghemite* ($-\text{Fe}_2\text{O}_3$), dan *hematite* ($-\text{Fe}_2\text{O}_3$). Magnetit dikenal sebagai oksida besi hitam (*black iron oxide*), *ferrous*, *ferrite*, *loadstone*, atau *magnetic iron ore*. Magnetit merupakan ferimagnetik, satu dari beberapa besi oksida yang mempunyai struktur spinel dengan sel unit kubik yang terdiri dari 32 ion oksigen, celah-celahnya ditempati oleh ion Fe^{2+} dan Fe^{3+} . Beberapa sifat nanopartikel magnetit ini bergantung pada ukurannya. Magnetit ini akan bersifat superparamagnetik ketika ukuran suatu partikel magnetiknya di bawah 10 nm pada suhu ruang, artinya bahwa energi termal dapat menghalangi anisotropi energi penghalang dari sebuah nanopartikel tunggal (Itoh and Sugimoto, 2013).

Magnetit yang berukuran nano banyak dimanfaatkan pada proses-proses industri misalnya sebagai tinta cetak dan pigmen pada kosmetik. Di lingkungan, magnetit dimanfaatkan sebagai *magnetic carrier precipitation process* untuk menghilangkan anion ataupun ion logam dari air dan air limbah (Teja *and* Koh, 2008). Nanopartikel magnetit juga dimanfaatkan dalam bidang biomedis baik secara *in vivo* (di dalam tubuh) maupun *in vitro* (di luar tubuh), misalnya sebagai agen magnetik pada aplikasi-aplikasi *biomolecule separation*, *Drug Delivery System (DDS)*, *hyperthermia therapy*, maupun sebagai *contrast agent* pada *Magnetic Resonance Imaging (MRI)*, dan terapi kanker (Cabrera *et al.*, 2008).

Menurut Dung (2009), Fe₃O₄ dapat dihasilkan dari endapan campuran FeCl₂·4H₂O dan FeCl₃·6H₂O dalam suasana basa dengan reaksi sebagai berikut:



Secara umum reaksinya adalah sebagai berikut:



Beberapa metode sintesis magnetit yang telah dikembangkan adalah sol-gel dan hidrotermal. Metode sol-gel dan hidrotermal lebih unggul dalam hal mengontrol ukuran dan komposisi kimiawi magnetit yang dihasilkan dalam ukuran nanopartikel. Namun di sisi lain cara sol-gel biasanya menggunakan reaktan alkoksida yang harganya relatif mahal, suhu kalsinasi tinggi, dan waktu sintesis yang panjang. Demikian juga dengan cara hidrotermal yang juga membutuhkan

suhu tinggi dan waktu yang lama untuk mencapai produk akhir (Itoh *and* Sugimoto, 2013).

Nanopartikel magnetit digunakan untuk melapisi beberapa surfaktan untuk anti penggumpalan yang diakibatkan oleh interaksi dipol magnet antara partikel.

Nanopartikel magnetit biasanya terdiri dari pusat magnet dan cangkang polimer yang mempunyai gugus fungsi yang aktif dan istimewa untuk berbagi aplikasi.

Aplikasi yang paling terkenal dari teknologi magnetit yaitu kromatografi bioafinitas, penanggulangan limbah cair, penghentian enzim atau biomolekul lain, dan preparasi uji imunologi (Liu *et al.*, 2004).

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

Cara untuk meningkatkan adsorpsitivitas biomassa alga adalah dengan modifikasi pelapisan partikel magnetit (Fe_3O_4). Teknik pelapisan silika dengan partikel magnetit merupakan teknik yang ramah lingkungan karena tidak mempercepat proses pemisahan logam dari larutan. Hal ini disebabkan oleh adsorben yang memiliki sifat magnet (Chang *and* Chen, 2005). Penggunaan teknik tersebut, 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. Interaksi Ion Logam dengan Adsorben

Kekuatan interaksi adsorbat dengan adsorben dipengaruhi oleh sifat dari adsorbat maupun adsorbennya. Gejala yang umum untuk meramalkan komponen mana yang diadsorpsi lebih kuat adalah kepolaran adsorben dengan adsorbatnya.

Apabila adsorben bersifat polar, maka komponen yang bersifat polar akan terikat lebih kuat dibandingkan dengan komponen yang kurang polar. Kekuatan interaksi juga dipengaruhi oleh sifat keras-lemahnya dari adsorbat maupun adsorben (Keenan dan Kleinfelter, 1984).

Bila ditinjau dari definisi asam-basa menurut G.N.Lewis, maka interaksi antara ion logam dengan adsorben dapat dipandang sebagai reaksi asam Lewis dengan basa Lewis, yang mana ion logam berperan sebagai asam Lewis yang menjadi akseptor pasangan elektron dan adsorben sebagai basa Lewis yang menjadi donor pasangan elektron. Dengan demikian, prinsip-prinsip yang berlaku dalam interaksi asam-basa dapat digunakan dalam adsorpsi ion logam. Prinsip yang digunakan secara luas dalam reaksi asam-basa Lewis adalah prinsip *Hard and Soft Acid and Bases* (HSAB) yang dikembangkan Pearson. Prinsip ini didasarkan pada polaribilitas unsur yang dikaitkan dengan kecenderungan suatu unsur untuk berinteraksi dengan unsur lainnya (Keenan dan Kleinfelter, 1984).

Menurut prinsip HSAB, asam keras berinteraksi dengan basa keras untuk membentuk kompleks, begitu juga asam lemah dengan basa lemah. Interaksi asam keras dengan basa keras merupakan interaksi ionik, sedangkan interaksi asam lemah dengan basa lemah, interaksinya bersifat kovalen. Ion Cu(II)

menurut prinsip HSAB merupakan asam madya (sedang) (Keenan dan Kleinfelter, 1984). Sifat asam dan basa beberapa senyawa dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat Asam dan Basa Beberapa Senyawa

	Asam	Basa
Kuat	H^+ , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Al^{3+} , Cr^{3+} , Co^{3+} , Fe^{3+} , Ti^{4+} , Zr^{4+} , Cr^{6+}	NH_3 , RNH_2 , H_2O , OH^- , O_2^- , F^- , Cl^- , NO_3^- , ClO_4^- , SO_4^{2-} , CH_3COO^-
Sedang	Fe^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Sn^{2+} , Pb^{2+}	Br^- , NO_2^- , SO_3^{2-}
Lemah	Cu^+ , Ag^+ , Au^+ , Pd^{2+} , Pt^{2+} , Pt^{4+}	H^- , CN^- , C_2H_4 , CO , RSH , $S_2O_3^{2-}$, I^-

(Keenan dan Kleinfelter, 1984).

H. Tembaga (Cu)

Tembaga merupakan salah satu logam berat yang banyak dimanfaatkan, hal ini berkaitan dengan sifat tembaga yang tahan karat dan sebagai konduktor listrik yang baik. Penggunaan tembaga yang berlebihan dapat menyebabkan berbagai penyakit seperti kulit hati, pankreas, miokardium, gangguan pada usus, kerusakan ginjal, dan anemia. Selain itu, dapat menyebabkan keracunan, seperti muntah, kejang, tegang, bahkan kematian (Trisnawati, 2008).

Pada manusia konsumsi Cu yang baik adalah 2,5 mg/kg berat tubuh orang dewasa dan 0,05 mg/kg berat tubuh untuk anak-anak dan bayi. Kompleks Cu-protein sesuai sifatnya sebagai logam berat yang berbahaya, Cu dapat mengakibatkan keracunan baik secara akut maupun kronis. Keracunan akut dan kronis dapat

terjadi karena besarnya dosis yang masuk dan kemampuan mikroorganisme untuk menetralkan dosis tersebut (Trisnawati, 2008).

I. Zat Warna

Zat warna dari limbah industri tekstil berbahaya bagi lingkungan antara lain senyawa fenol, zat warna tekstil, pestisida, poliklorobifenil (PCB), trikloroetilen (TCE), senyawa organik, dan senyawa aromatik lainnya. Keberadaan zat warna beberapa mg L⁻¹ dapat menyebabkan perubahan warna air, mengurangi penetrasi sinar matahari dan menghambat fotosintesis (Panic *et al.*, 2014). Terdapat lebih dari 10.000 jenis zat warna dengan jumlah lebih dari 7x10⁵ ton diproduksi setiap tahun. Sebanyak 10-15% dari zat warna hilang dalam eluen selama proses pewarnaan (Singh *et al.*, 2005).

Penggunaan jenis zat warna kationik pada industri tekstil diketahui cukup luas, pewarna kationik seperti metilen biru dan kristal violet dianggap lebih beracun dibandingkan zat anionik. Industri tekstil biasanya menggunakan zat warna pada proses pencelupan. Pada proses pencelupan pewarnaan dengan menggunakan zat warna dapat memenuhi kebutuhan skala besar dengan warna yang bervariasi dan lebih praktis dalam pemakainya (Gao *et al.*, 2016).

Limbah zat warna dari industri tekstil merupakan salah satu sumber kontaminan di lingkungan. Setelah pewarna masuk ke dalam air limbah, maka campuran tersebut menjadi lebih stabil dan sulit untuk terurai karena struktur kimia kompleks yang terbentuk (Forgacs *et al.*, 2004). Zat warna sintetik yang paling

sering digunakan dalam industri tekstil adalah metilen biru dan kristal violet (Ruswati, 2003).

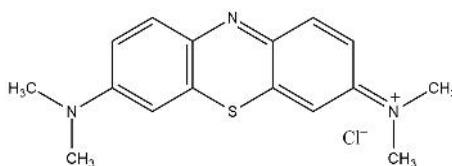
J. Metilen biru

Metilen biru yang memiliki rumus kimia $C_{16}H_{18}C_1N_3S$, adalah senyawa hidrokarbon aromatik yang beracun dan merupakan zat warna kationik dengan daya adsorpsi yang sangat kuat. Pada umumnya metilen biru digunakan sebagai pewarna sutra, wool, tekstil, kertas, peralatan kantor dan kosmetik. Senyawa ini berupa kristal berwarna hijau gelap. Ketika dilarutkan, metilen biru dalam air atau alkohol akan menghasilkan larutan berwarna biru (Endang, 2006).

Metilen biru memiliki berat molekul 319,86 g/mol, dengan titik lebur di $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan daya larut sebesar $4,36 \times 10^4$ mg/L. Kadar metilen biru yang terabsorpsi dapat dilakukan dengan cara dianalisis untuk mengetahui panjang gelombang maksimum dari metilen biru yakni sebesar 664 nm (Endang, 2006). Metilen biru yang berbentuk serbuk dan struktur kimianya dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6.



Gambar 5. Bubuk metilen biru (Trisnawati, 2008).



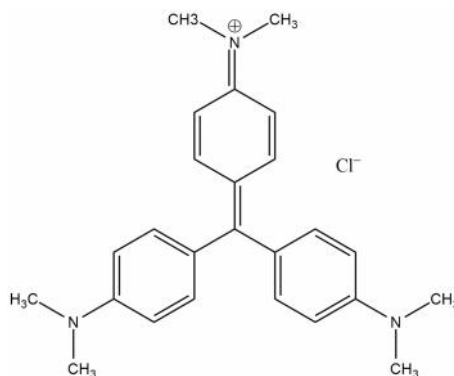
Gambar 6. Struktur kimia molekul metilen biru klorida (Trisnawati, 2008).

K. 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 $407,98 \text{ g mol}^{-1}$. Kristal violet dapat dengan mudah berinteraksi dengan permukaan sel membran bermuatan negatif, masuk ke dalam sel dan dapat berkonsentrasi dalam sitoplasma (Idrissi *et al.*, 2016).

Pewarna ini digunakan sebagai histologis noda dan digunakan pada 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). Berbagai penelitian telah melaporkan bahwa kristal violet dapat menyebabkan efek karsinogenik, beracun untuk sel mamalia dan juga bersifat mutagenik (Jayganes *et al.*, 2017).

Hal ini dapat menyebabkan iritasi kulit dan gangguan saluran pencernaan. Kristal violet juga dapat menyebabkan iritasi mata sehingga menyebabkan nyeri sensitisasi terhadap cahaya dan dapat menyebabkan cedera permanen pada kornea dan konjungtiva. Kristal violet bersifat non *biodegradable* dan tetap dalam lingkungan untuk waktu yang lebih lama (Benjelloun *et al.*, 2017). Struktur kristal violet dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Struktur kristal violet (Benjelloun *et al.*, 2017).

L. Adsorpsi

1. Pengertian Adsorpsi

Adsorpsi adalah proses pemisahan secara selektif terhadap suatu komponen atau zat pengotor (*impurity*) yang terkandung di dalam fluida dengan cara mengkontakkan fluida tersebut dengan adsorben padatan. Proses dimana suatu komponen bergerak dari suatu fasa menuju permukaan yang lain sehingga terjadinya perubahan konsentrasi pada permukaan atau sering disebut juga kemampuan menempel atau menyerap suatu zat pada permukaan, sedangkan kemampuan suatu zat untuk melepaskan diri dari permukaan disebut desorpsi. Zat yang diserap disebut adsorbat sedangkan zat yang menyerap disebut adsorben. Adsorben dapat berupa zat padat maupun zat cair (Atkins, 1999).

Perhitungan karakter ionik dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\% \text{ ikatan ionik A-B} = 100 [1 - e^{-(1/4)(\chi_A - \chi_B)^2}] \quad (6)$$

Keterangan:

A = Harga elektronegatifitas Pauling A

B = Harga elektronegatifitas Pauling B

Hasil perhitungan karakter ikatan ionik antara ion logam dengan atom O dalam molekul air, dapat dilihat pada masing-masing harga elektronegatifitas Pauling (Atkins, 1999). Persentase ikatan ionik hasil interaksi ion logam-ligan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Persentase Ikatan Ionik Hasil Interaksi Ion Logam-Ligan

Interaksi Logam-ligan	Selisih Elektronegatifitas	Ikatan Ionik (%)	Ikatan Kovalen (%)
Ni-O	1,53	44,3	55,7
Ni-N	1,13	27,33	72,67
Cu-O	1,54	44,73	55,27
Cu-N	1,14	27,74	72,26
Zn-O	1,79	55,11	44,89
Zn-N	1,39	38,31	61,69
Cd-O	1,75	53,49	46,51
Cd-N	1,35	36,59	63,41
Pb-O	1,11	26,51	73,49
Pb-N	0,71	11,84	88,16

(Atkins, 1999).

2. Jenis Adsorpsi

a. Adsorpsi Fisika

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 *relative* kecil. Molekul terikat sangat lemah dan energi yang dilepaskan pada adsorpsi fisika *relative* rendah sekitar 20 kJ/mol. Semakin luas permukaan, maka semakin banyak substansi terlarut yang melekat pada permukaan media adsorpsi (Atkins, 1999).

Adsorpsi fisika merupakan peristiwa reversibel. Jika dalam keadaan setimbang kondisinya bisa diubah misalnya tekanan diturunkan atau temperatur dinaikkan, maka sebagian adsorbat akan terlepas dan akan membentuk kesetimbangan baru. Peristiwa adsorpsi disertai dengan pengeluaran panas, umumnya panas adsorpsi fisik rendah berkisar 5-10 kkal g⁻¹ mol dan terjadi pada temperatur rendah yaitu di bawah titik didih adsorbat. Hal ini dapat menyebabkan kesetimbangan dari proses adsorpsi fisik bersifat *reversibel* dan berlangsung sangat cepat (Sukardjo, 1985).

b. 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 fisika, yaitu partikel-partikel adsorbat mendekat ke permukaan adsorben melalui gaya Van der Waals atau melalui ikatan hidrogen. Partikel-partikel dalam adsorpsi kimia pada permukaan dengan membentuk ikatan kimia dan cenderung mencari tempat yang memaksimalkan bilangan koordinasi dengan substrat. Adsorpsi jenis ini menyebabkan terbentuknya ikatan secara kimia sehingga

diikuti dengan reaksi kimia, maka adsorpsi jenis ini akan menghasilkan produksi reaksi berupa senyawa yang baru. (Atkins, 1999). Perbedaan adsorpsi fisika dan kimia dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. 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	Dapat 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.	Energi aktivasi kurang dari 1 kkal g ⁻¹ mol	Energi aktivasi antara 10-60 kkal g ⁻¹ mol
7.	Bersifat tidak spesifik	Bersifat sangat spesifik
8.	Kemampuan adsorpsi lebih bergantung pada adsorbat daripada adsorben	Kemampuan adsorpsi lebih bergantung pada adsorben daripada adsorbat
9.	Jumlah zat teradsorpsi sebanding dengan kenaikan tekanan	Jumlah zat teradsorpsi sebanding dengan banyaknya inti aktif adsorben yang dapat bereaksi dengan adsorbat
10.	Tidak ada transfer elektron, meskipun mungkin terjadi polarisasi pada adsorbat (<i>driving force</i>)	Ada transfer elektron, terbentuk pada ikatan antara adsorbat dan permukaan padatan (<i>driving force</i>)
11.	Kalor adsorpsi antara 5-10 kkal g ⁻¹ mol gas	Kalor adsorpsi antara 10-100 kkal g ⁻¹ mol gas

(Seader and Henley, 1998).

M. Adsorpsi Ion Logam

Adsorpsi secara umum didefinisikan sebagai akumulasi sejumlah molekul, ion atau atom yang terjadi pada batas antara dua fasa. Adsorpsi menyangkut akumulasi atau pemusatan substansi adsorbat dan dapat terjadi pada antarmuka dua fasa. Fasa yang menyerap disebut adsorben dan fasa yang diserap disebut adsorbat. Proses adsorpsi secara fisik (interaksi antara adsorbat dan permukaan) terjadi akibat adanya interaksi melalui gaya Van der Waals, gaya elektrostatis, ikatan hidrogen, dan ikatan kovalen. Gaya Van der Waals mempunyai jarak jauh, tetapi lemah, dan energi yang dilepaskan jika partikel terfisisorpsi mempunyai orde besaran yang sama dengan entalpi kondensasi (Oscik, 1982).

Molekul teradsorpsi bereaksi secara kimia dengan permukaan, fenomenanya disebut dengan kemisorpsi. Dalam kemisorpsi, partikel melekat pada permukaan dengan membentuk ikatan kimia (biasanya ikatan kovalen). Entalpi kemisorpsi jauh lebih besar dari pada untuk fisisorpsi dan nilai khasnya adalah lebih dari 20 kJ mol^{-1} . Adsorpsi ini terjadi ketika terbentuk ikatan kimia antara substansi terlarut dalam larutan dengan molekul dalam media. Adsorpsi kimia terjadi diawali dengan adsorpsi fisik, yaitu partikel-partikel adsorbat mendekati ke permukaan adsorben melalui gaya Van der Waals atau melalui ikatan hidrogen. Kemudian diikuti oleh adsorpsi kimia yang terjadi setelah adsorpsi fisika. Dalam adsorpsi kimia partikel melekat pada permukaan dan cenderung mencari tempat yang memaksimalkan bilangan koordinasi dengan substrat (Atkins, 1999).

Gaya elektrostatik timbul karena adanya gaya tarik menarik antara ion-ion yang berlawanan muatannya. Gaya tersebut akan menimbulkan tarikan ion-ion ke permukaan adsorben yang muatannya berlawanan. Ikatan hidrogen terjadi antara molekul jika atom hidrogennya berikatan secara kovalen dengan atom yang sangat elektronegatif. Ikatan kovalen terjadi karena penggunaan elektron secara bersama-sama atau pembentukan ikatan kompleks antara gugus donor dan akseptor elektron (Keenan *and* Kleinfelter, 1984).

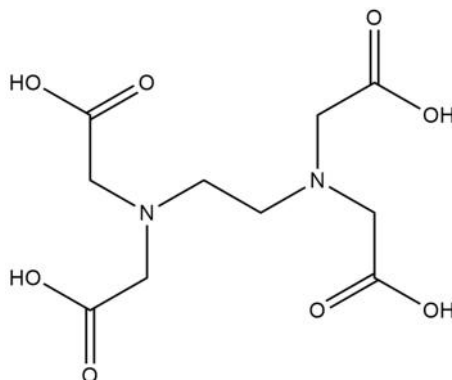
N. Desorpsi

Desorpsi merupakan proses pelepasan kembali spesi-spesi yang telah berikatan dengan sisi aktif dari permukaan mikroorganisme sebagai biosorben. Selain untuk mengatasi permasalahan yang timbul akibat proses adsorpsi, desorpsi juga dapat digunakan untuk meregenerasi biosorben sehingga dapat digunakan kembali serta dapat mengekstrak logam yang telah terikat pada biosorben. Agen pendesorpsi dibutuhkan untuk membantu meregenerasi biomassa tetapi tidak menyebabkan kerusakan pada adsorben. Berbagai larutan dapat digunakan untuk mendesorpsi logam berat dari biosorben (Aksu, 2005).

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa asam mineral encer dapat digunakan untuk mendesorpsi logam berat dari biosorben. Beberapa asam mineral encer seperti HCl dapat digunakan untuk mendesorpsi ion logam dari biomassa. Pelepasan ion logam yang telah teradsorpsi dapat dilakukan dengan cara menurunkan harga pH. Mekanisme desorpsi yaitu logam dielusi dari

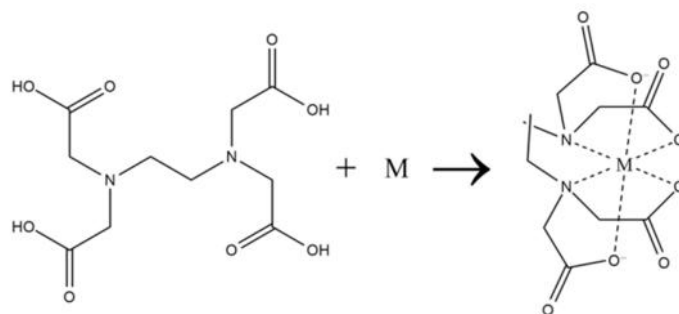
biosorben oleh larutan pengelusi. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa biomassa dapat dielusi dan diregenerasi dengan beberapa pelarut organik seperti metanol, etanol atau dengan pelarut anorganik seperti HCl, H₂SO₄, HNO₃, dan EDTA (Saeed dan Iqbal, 2003).

Ion Ethylene Diamine Tetraacetic Acid (EDTA) merupakan komplekson, komplekson adalah zat-zat yang dapat membentuk senyawa kompleks khelat dengan ion logam. Ion EDTA terdapat sebagai kristal H₄Y dan kristal garam dinatriumnya, Na₂H₂Y. Struktur EDTA ditampilkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Struktur EDTA (Saeed dan Iqbal, 2003).

Ion EDTA memiliki 6 pasang electron yang belum berikatan (masing-masing pada dua atom N dan 4 gugus karboksil) mampu membentuk kompleks dengan ion logam. Ion EDTA merupakan asam tetraprotik, biasa disingkat H₄Y. Bentuk terionisasinya, Y⁴⁻ dan apabila bereaksi dengan ion logam (M), membentuk kompleks MY²⁻. Ion EDTA merupakan ligan heksadentat, reaksinya dengan ion logam membentuk kompleks EDTA octahedral (Volesky *and* Diniz, 2005). Adapun reaksinya dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Reaksi pembentukan kompleks EDTA (Volesky *and* Diniz, 2005).

O. Parameter Adsorpsi

1. Kinetika Adsorpsi

Kinetika kimia adalah tentang kecepatan (laju) reaksi dan bagaimana proses reaksi berlangsung. Kinetika adsorpsi tergantung pada luas permukaan partikel. 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. Laju reaksi bergantung pada konsentrasi reaktan, tekanan, temperatur, dan pengaruh katalis (Oxtoby, 1990).

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). Kinetika reaksi didasarkan pada analisis kinetika terutama pseudo orde pertama atau

mekanisme pseudo pertama bertingkat. Cara meneliti mekanisme adsorpsi, konstanta kecepatan reaksi adsorpsi kimia untuk ion-ion logam digunakan persamaan sistem pseudo orde pertama Lagergen dan sistem pseudo orde 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 Lagergen adalah salah satu yang paling banyak digunakan untuk adsorpsi zat terlarut dari larutan cair (Liu *et al.*, 2004). Menurut Soeprijanto *et al.*, (2006) untuk konstanta laju kinetika pseudo orde satu dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (7)$$

Keterangan:

q_e = Jumlah ion logam divalen yang teradsorpsi (mg/g) pada waktu

keseimbangan

q_t = Jumlah ion logam divalen yang teradsorpsi pada waktu tertentu (mg g⁻¹)

t = Waktu (menit)

k_1 = Konstanta kecepatan adsorpsi (g mmol⁻¹ menit⁻¹).

Persamaan dapat diintegrasikan dengan memakai kondisi-kondisi batas $q_t = 0$

pada $t = 0$ dan $q_t = q_t$ pada $t = t$, persamaannya menjadi:

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (8)$$

Adanya regresi linear dan menggunakan rumus $\ln(q_e - q_t)$ terhadap t diperoleh konstanta k_1 . Sementara untuk konstanta kecepatan reaksi kedua proses kemisorpsi sebagai berikut:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (9)$$

Integrasi persamaan ini dengan kondisi batas $t = 0$ sampai $t = t$ dan $q_t = 0$ sampai $q_t = q_t$, maka dapat dibuat persamaan sebagai berikut:

$$\frac{1}{(q_e - q_t)} = \frac{1}{q_e} + k_2 t \quad (10)$$

Keterangan:

k_2 = Konstanta kecepatan adsorpsi (laju pseudo orde kedua)

(g mmol⁻¹ menit⁻¹)

Setelah integrasi dan penggunaan kondisi-kondisi batas $q_t=0$ pada $t=0$

dan $q_t=q_t$ pada $t=t$, persamaan linier dapat diperoleh sebagai berikut:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (11)$$

Cara untuk menghitung laju penyerapan awal, h (mg g⁻¹) dengan kondisi $t=0$ dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$h = k_2 q_e^2 \quad (12)$$

Keterangan :

h = Laju adsorpsi awal

q_e = Adsorpsi kesetimbangan

k_2 = Konstanta laju pseudo orde dua

2. Keseimbangan adsorpsi

Keseimbangan adsorpsi menunjukkan hubungan antara konsentrasi solut pada fasa padatan (q_e) konsentrasi solut pada fasa cair (C_e). Keseimbangan adsorpsi mencakup informasi penting yang diperlukan untuk mengevaluasi afinitas atau kapasitas dari suatu adsorben. Menurut. Jenis isoterm adsorpsi dapat digunakan untuk mempelajari mekanisme adsorpsi. Adsorpsi fase cair-padat pada umumnya mengikuti isoterm Langmuir dan Freundlich (Buhani *et al.*, 2013).

a. Isoterm Adsorpsi Langmuir

Teori Langmuir menjelaskan bahwa terdapat sejumlah tertentu situs aktif yang sebanding dengan luas permukaan pada permukaan adsorben. Setiap situs aktif hanya satu molekul yang dapat diadsorpsi (Oscik, 1982). Menurut Husin *and* Rosnelly (2005), bagian yang terpenting dalam proses adsorpsi yaitu situs yang dimiliki oleh adsorben yang terletak pada permukaan, akan tetapi jumlah situs-situs ini akan berkurang jika permukaan yang tertutup semakin bertambah. 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 ditulis dalam persamaan:

$$\frac{c}{m} = \frac{1}{b_k} + \frac{1}{b} c \quad (13)$$

Keterangan:

- c = Konsentrasi kesetimbangan (mg L^{-1})
 m = Jumlah logam yang teradsorpsi per gram adsorben pada konsentrasi (mmol g^{-1})
 b_k = Jumlah logam yang teradsorpsi saat konsentrasi tertentu (mg L^{-1})
 b = Jumlah logam yang teradsorpsi saat keadaan jenuh (mg L^{-1})

Pada kurva linier hubungan antara C/m versus C , maka dapat ditentukan nilai b dari kemiringan (slop) dan K dari intersep kurva.

Energi adsorpsi (E_{ads}) 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 sebagai berikut:

$$E = G_{\text{ads}} = G^\circ = -RT \ln K \quad (14)$$

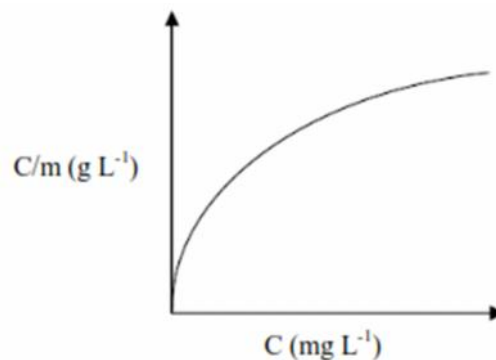
Keterangan:

- R = Tetapan gas umum ($8,314 \text{ J/mol K}$)
 T = Temperatur (K)
 K = Ketetapan keseimbangan adsorpsi

Ketetapan keseimbangan adsorpsi yang diperoleh dari persamaan

Langmuir sehingga energi total adsorpsi E harganya sama dengan negatif

energi bebas Gibbs. Jika ΔG sistem negatif artinya adsorpsi berlangsung spontan (Oscik, 1982). Grafik isoterm adsorpsi Langmuir dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Kurva isoterm adsorpsi Langmuir (Oscik, 1982).

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). Asumsi yang digunakan:

1. Tidak ada asosiasi dan disosiasi molekul-molekul adsorbat setelah teradsorpsi pada permukaan padatan.
2. Hanya berlangsung mekanisme adsorpsi secara fisik tanpa adanya adsorpsi kimia.
3. Permukaan padat bersifat heterogen.

Bentuk persamaan Freundlich adalah sebagai berikut:

$$Q_e = K_f C_e^{1/n} \quad (15)$$

Keterangan:

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

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

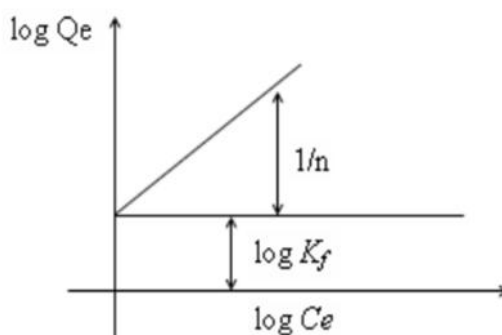
n = Kapasitas adsorpsi maksimum (mol/g)

K_f = Konstanta Freundlich (L/mol)

Persamaan 15 dapat diubah ke dalam bentuk linier dengan mengambil bentuk logaritmanya:

$$\text{Log } Q_e = \text{log } K_f + 1/n \text{ log } C_e \quad (16)$$

Bentuk linier dapat digunakan untuk menentukan kelinearan data percobaan dengan cara mengplotkan C/Q terhadap C_e . Konstanta Freundlich K_f dapat diperoleh dari kemiringan garis lurus dan $1/n$ merupakan harga slop. Bila n diketahui K_f dapat dicari, semakin baik dan dari harga K_f yang diperoleh, maka energi adsorpsi akan dapat dihitung. Grafik isoterm adsorpsi Freundlich dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Model isoterm adsorpsi Freundlich (Rousseau, 1987).

P. Nilai Zeta Potensial

Nilai zeta potensial adalah perbedaan nilai potensial antara permukaan lapisan ion-ion yang terikat kuat pada permukaan zat padat dan larutan. Penentuan nilai zeta potensial dilakukan untuk mengetahui muatan dari partikel yang dihasilkan. Muatan dari suatu partikel penting untuk ditentukan agar dapat diketahui interaksi elektrostatik suatu komponen. Penentuan nilai zeta potensial dilakukan untuk memprediksi stabilitas penyimpanan dari sediaan nilai zeta potensial tinggi memiliki muatan positif atau negatif harus dicapai untuk memastikan stabilitas dari sediaan dan mencegah terjadinya aglomerasi dari partikel (Olson, 2012).

Zeta potential juga sebagai parameter muatan listrik antara partikel koloid. Semakin tinggi nilai potensial zeta maka akan semakin mencegah terjadinya flokulasi (peristiwa penggabungan koloid dari yang kecil menjadi besar), yang disebut sebagai zeta potensial adalah area yang menunjukkan adanya beda potensial antara stern layer dan difuse layer dari koloid, yang disebut *stern layer* adalah lapisan kuat ion positif yang berdekatan dengan lapisan negatif dari koloid. Sementara *difuse layer* adalah keseimbangan dinamik antara ion positif dan ion negatif tersebut. Kedua lapisan tersebut digunakan untuk menerangkan distribusi dari ion-ion disekeliling partikel koloid (Olson, 2012).

Teori ini dikembangkan oleh ilmuwan Derjaguin, Verwey, Landau dan Overbeek bahwa stabilitas dispersi koloid tergantung pada potensial zeta. Potensi zeta menunjukkan tingkatan tolak-menolak antara partikel yang bermuatan sama yang saling berdekatan. Pada sistem koloid, nilai zeta potensial yang tinggi

akan memberikan stabilitas larutan untuk menolak agregasi. Sebaliknya, ketika nilai zeta potensial rendah maka daya tarik menarik muatan antar partikel dispersi melebihi daya tolak menolaknya hingga terjadi flokulasi. Jadi koloid dengan dengan nilai potensial zeta tinggi adalah elektrik stabil. Sementara koloid dengan nilai potensial rendah cenderung akan mengental.

Kegunaan Nilai Zeta Potensial adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui kestabilan suatu larutan.
2. Untuk memprediksi morfologi permukaan suatu partikel.
3. Untuk mengetahui muatan permukaan (surface charge) (Olson, 2012).

Q. Karakterisasi

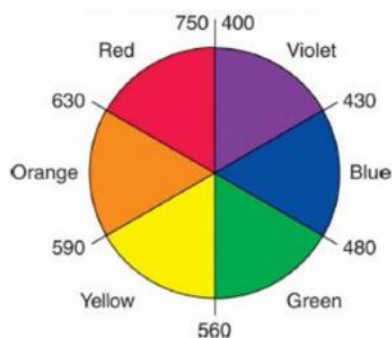
1. Spektrofotometer UV-Visible (UV-Vis)

Spektrofotometri Ultraviolet (UV) dan tampak (Vis) merupakan metode yang digunakan untuk mengukur banyaknya radiasi ultraviolet dan tampak yang diserap oleh senyawa sebagai fungsi dari panjang gelombang radiasi.

Absorpsi cahaya ultraviolet atau cahaya tampak mengakibatkan transisi elektronik, yaitu promosi elektron-elektron dari orbital keadaan dasar yang berenergi rendah ke orbital keadaan tereksitasi berenergi lebih tinggi.

Spektrum 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) (Fessenden dan Fessenden, 1986).

Setiap molekul atau atom dari cahaya (foton) UV dan sinar tampak memiliki energi yang dapat menyebabkan adanya efek transisi antara tingkat energi–energi elektronik yang spesifik. 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 (Sastrohamidjojo, 2001). Klasifikasi panjang gelombang untuk spektrum warna tertentu dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Klasifikasi panjang gelombang untuk spektrum warna tertentu (Sastrohamidjojo, 2001).

Absorbansi sampel tergantung pada konsentrasi larutan (c dalam mg/L), panjang sel pada sampel (b dalam cm) dan karakteristik konstanta fisika dari sampel yang menyerap (absorptivitas, a dalam $L\ mg^{-1}\ cm^{-1}$).

Ketergantungan ini diekspresikan dalam hukum Lambert-Beer (Sastrohamidjojo, 1999).

$$A = a.b.c \quad (17)$$

Fungsi spektrofotometer UV adalah untuk mengukur jumlah ikatan rangkap atau konjugasi aromatik dalam suatu molekul. Spektrofotometri ini secara umum membedakan diena terkonjugasi dari diena tidak terkonjugasi, diena terkonjugasi dari triena dan sebagainya (Fessenden dan Fessenden, 1986).

2. Spektrofotometer Inframerah (IR)

Spektrofotometer inframerah adalah suatu metode analisis yang didasarkan pada penyerapan sinar inframerah, yakni sinar yang berada pada jangkauan panjang gelombang 2,5–25 μm atau jangkauan frekuensi 400–4000 cm^{-1} . Sinar ini muncul akibat vibrasi atom-atom pada posisi kesetimbangan dalam molekul dan kombinasi vibrasi dengan rotasi menghasilkan spektrum vibrasi-rotasi. Cara mengidentifikasi senyawa yang tidak dikenal adalah dengan membandingkan spektrum inframerah dengan sederat spektrum standar yang dibuat pada kondisi yang sama (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 (Sastrohamidjojo, 1999). Serapan khas beberapa gugus fungsi dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Serapan Khas Beberapa Gugus Fungsi

Gugus	Jenis Senyawa	Daerah Serapan (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 ₂	Nitro	1515-1560, 1345-1385
C-H	Alkane	2850-2960, 1350-1470
Si-O-Si	Silika	1087, 85
Fe-O-Fe	Magnetit	586, 36

(Sastrohamidjojo, 1999).

3. Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)

Metode analisis dengan SSA didasarkan pada penyerapan energi cahaya oleh atom-atom netral suatu unsur yang berada dalam keadaan gas. Penyerapan cahaya oleh atom bersifat karakteristik karena tiap atom hanya menyerap

cahaya pada panjang gelombang tertentu yang energinya sesuai dengan energi yang diperlukan untuk transisi elektron-elektron dari atom yang bersangkutan ditingkat yang lebih tinggi sedangkan energi transisi untuk masing-masing unsur adalah sangat khas (Khopkar, 2001).

Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) ditujukan untuk analisis kuantitatif terhadap unsur-unsur logam. Alat ini memiliki sensitivitas yang sangat tinggi, sehingga sering dijadikan sebagai pilihan utama dalam menganalisis unsur logam yang konsentrasinya sangat kecil (ppm bahkan ppb). Prinsip dasar pengukuran dengan SSA adalah penyerapan energi (sumber cahaya) oleh atom-atom dalam keadaan dasar menjadi atom-atom dalam keadaan tereksitasi (Khopkar, 2001).

4. *X-Ray Diffraction (XRD)*

Difaksi sinar X (*X-ray Diffraction*) atau yang sering dikenal dengan XRD. Instrumen ini digunakan untuk mengidentifikasi material kristalit maupun non-kristalit. Identifikasi struktur kristalit (kualitatif) dan fasa (kuantitatif) dalam suatu bahan dengan memanfaatkan radiasi gelombang elektromagnetik sinar X (Cullity dan Stock, 2001).

Prinsip kerja dari XRD yaitu ketika sinar-X yang monokromatik jatuh pada sebuah kristal maka sinar-X tersebut akan dihamburkan ke segala arah.

Keteraturan letak atom-atom dalam kristal maka pada arah tertentu saja gelombang hambur akan berinterferensi konstruktif dan pada arah lainnya

akan berinterferensi destruktif. Atom-atom dalam kristal dapat dipandang sebagai unsur yang membentuk keluarga bidang datar yang mempunyai jarak karakteristik antar bidang (Cullity dan Stock, 2001).

Syarat yang diperlukan agar berkas yang sejajar ketika dihamburkan atom-atom kristal akan berinterferensi konstruktif adalah memiliki beda jarak lintasan tepat $n\lambda$, dimana selisih jarak antara 2 berkas sejajar adalah $2d \sin \theta$, dan memenuhi persamaan Bragg, yakni:

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (18)$$

Dimana n adalah bilangan bulat dan merupakan tingkat difraksi sinar-X, adalah panjang gelombang yang dihasilkan oleh katoda yang digunakan (\AA), sedangkan d merupakan jarak antara batas lapisan permukaan (\AA), dan merupakan sudut difraksi sinar-X terhadap permukaan kristal ($^\circ$) (Cullity, 1978).

5. Scanning Electron Microscopy With Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)

SEM adalah sebuah mikroskop elektron yang digunakan untuk menyelidiki bagian permukaan dari objek solid 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 (Abdullah, 2009).

Prinsip kerja dari SEM adalah deteksi elektron yang dihamburkan oleh padatan ketika ditembak oleh berkas elektron berenergi tinggi di dalam *electromagnetic coil* yang dihubungkan dengan *cathode ray tube* (CRT) sehingga dihasilkan suatu informasi mengenai keadaan permukaan suatu sampel senyawa. Secara bersamaan pula dialirkan arus pada kawat filamen tersebut dan dilakukan 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 intensitanya (Nurjana, 2015).

Setiap jumlah sinar yang dihasilkan dari tabung sinar katoda dihubungkan dengan jumlah target. Berkas elektron akan kehilangan energi karena terjadi ionisasi atom dari cuplikan padatan. Elektron bebas ini tersebar keluar dari aliran sinar utama, kemudian elektron dialirkan ke unit demagnifikasi dan dideteksi oleh detektor dan selanjutnya dicatat sebagai suatu foton (Nurjana, 2015).

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat

Penelitian ini telah dilakukan dari bulan Januari 2019 hingga April 2019 di Laboratorium Kimia Anorganik / Fisik FMIPA Universitas Lampung. Biomassa *Porphyridium* sp. diambil dari Balai Besar Pengembangan Budidaya Laut Lampung (BBPBL). Identifikasi gugus fungsional menggunakan spektrofotometer IR dilakukan di Laboratorium Kimia Organik FMIPA Universitas Gadjah Mada. Analisis tingkat kekristalan menggunakan XRD dilakukan di Laboratorium Kimia Dasar FMIPA Universitas Gadjah Mada.

Analisis morfologi permukaan dan konstituen unsur dilakukan dengan spektrofotometer SEM-EDX di UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi Universitas Lampung. Adsorpsi zat warna metilen biru dan kristal violet dianalisis menggunakan Spektrofotometer UV-Vis di Laboratorium Biokimia FMIPA Universitas Lampung. Adsorpsi kadar ion Cu(II) dianalisis menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) di Laboratorium Kimia Analitik FMIPA Universitas Gadjah Mada.

B. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini antara lain alat-alat gelas, wadah plastik, spatula, *shaker*, neraca analitik, *magnetic stirrer*, oven, desikator, sentrifugasi, tabung sentrifugasi, mortar dan alu, *grinder*, indikator universal, kertas saring, spektrofotometer IR model 8201 PC Shimadzu, XRD tipe Minilex 600 Rigaku, SEM-EDX model EVO MA 10, spektrofotometer UV-VIS Agilent Technologies Cary 100, dan SSA Agilent Technologies 240AA.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah biomassa *Porphyridium* sp.; TEOS; akuades; larutan HCl 1 M; HCl 0,1 M; NH₄OH 1 M; NaOH 0,1 M; HNO₃ 0,1 M; FeSO₄·7H₂O; FeCl₃·6H₂O; metilen biru; kristal violet; CuSO₄·5H₂O; NaNO₃ 0,1 M; buffer sitrat; buffer fosfat; etanol 96%; KNO₃ 1 M; CH₄N₂O 0,1 M; dan Na₂EDTA 0,1 M.

C. Prosedur Kerja

1. Penyiapan Biomassa *Porphyridium* sp.

Biomassa *Porphyridium* sp. diperoleh dari pembudidayaan dalam skala laboratorium di BBPBL Lampung. Alga yang diperoleh lalu dikeringkan selama 3 hari. Lalu dikeringkan di dalam oven pada suhu 40 °C selama 3 jam. Kemudian digerus hingga halus menggunakan *grinder* hingga berbentuk bubuk halus (Buhani *et al.*, 2017).

2. Sintesis

a. Magnetit (Fe_3O_4)

$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ sebanyak 3,96 g 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). Lalu larutan A dicampurkan dengan larutan B disertai dengan pengadukan hingga larutan menjadi homogen. Kemudian larutan homogen ditambahkan NH_4OH 1 M tetes demi tetes hingga pH 10 dan berbentuk endapan hitam. Selanjutnya campuran disonikasi pada suhu 60°C selama 30 menit. Endapan hitam yang terbentuk kemudian disaring dengan kertas saring. Setelah itu endapan dicuci dengan akuades : etanol 96% (60:40) hingga pH 7. Lalu dikeringkan di dalam oven pada suhu 40°C selama 3 jam kemudian digerus hingga halus menggunakan *grinder* hingga berbentuk bubuk halus (Buhani *et al.*, 2017).

b. Hibrida Alga *Porphyridium* Sp.-Silika (HA-S)

TEOS sebanyak 5 mL dimasukkan ke dalam wadah plastik lalu dilarutkan dengan 2,5 mL akuades kemudian diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 30 menit hingga larutan menjadi homogen. Selanjutnya ditambahkan HCl 1 M hingga pH 2 (larutan A). Pada wadah yang berbeda, biomassa *Porphyridium* sp. sebanyak 0,4 g dimasukkan ke dalam wadah plastik lalu dilarutkan dengan 5 mL etanol 96% kemudian diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 30 menit hingga larutan homogen

(larutan B). Larutan A yang telah homogen lalu dicampur dengan larutan B disertai dengan pengadukan sampai berbentuk gel. Gel basah yang terbentuk disaring dengan kertas saring dan didiamkan selama 24 jam. Selanjutnya gel dicuci dengan akuades dan etanol 96% (60:40) hingga pH 7. Setelah itu dikeringkan di dalam oven pada suhu 40 °C selama 3 jam lalu digerus hingga halus menggunakan *grinder* hingga berbentuk bubuk halus (Buhani *et al.*, 2009).

c. Hibrida Alga *Porphyridium* sp.-Silika Magnetit (HA-SM)

TEOS sebanyak 5 mL dimasukkan ke dalam wadah plastik lalu dilarutkan dengan 2,5 mL akuades kemudian ditambahkan 0,1 g partikel magnetit dan diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 30 menit, saat proses pengadukan ditambahkan HCl 1 M tetes demi tetes hingga pH 2 (larutan A). Pada wadah yang berbeda, biomassa *Porphyridium* sp. sebanyak 0,4 g dimasukkan ke dalam wadah plastik lalu dilarutkan dengan 5 mL etanol 96% kemudian diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 30 menit (larutan B).

Kedua larutan dicampurkan dengan disertai pengadukan hingga larutan homogen dan berbentuk gel. Gel basah yang berbentuk didiamkan selama 24 jam lalu dicuci dengan akuades dan etanol 96% (60:40) hingga pH 7. Kemudian dikeringkan di dalam oven pada suhu 40 °C selama 3 jam selanjutnya digerus hingga halus menggunakan *grinder* hingga berbentuk bubuk halus (Buhani *et al.*, 2013).

3. Karakterisasi Material

Analisis dengan Spektroskopi UV-Vis digunakan untuk mengetahui kadar metilen biru (664 nm) dan kristal violet (591 nm) yang teradsorpsi pada adsorben. Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) dilakukan untuk mengetahui kadar ion Cu(II) yang teradsorpsi pada adsorben. Difraktometer Sinar-X (XRD) dilakukan untuk menganalisis tingkat kekristalan magnetit (Fe_3O_4), HA-S, dan HA-SM. Spektrofotometer IR dilakukan untuk mengetahui perubahan gugus-gugus fungsi dalam material biomassa *Porphyridium* sp., HA-S dan HA-SM. Scanning Electron Microscopy With Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX) dilakukan untuk mengidentifikasi morfologi permukaan dan konstituen magnetit (Fe_3O_4), HA-S, dan HA-SM.

4. Penentuan Nilai Zeta Potensial Adsorben

Adsorben HA-S dan HA-SM masing-masing sebanyak 0,1 g dimasukkan ke dalam 9 gelas beaker yang berbeda. Lalu ditambahkan 20 mL larutan NaNO_3 0,1 M ke dalam masing-masing gelas beaker. Kemudian masing-masing larutan diatur pH yang berbeda yaitu 2–10. Pengaturan pH dilakukan dengan penambahan HCl 0,1 M untuk suasana asam dan penambahan NaOH 0,1 M untuk suasana basa. Selanjutnya ditambahkan buffer untuk mempertahankan nilai pH, untuk pH 2 dan 6 digunakan buffer sitrat dan untuk pH 7–10 digunakan buffer posfat. Lalu diaduk selama 24 jam. Setelah 24 jam diamati pH akhir setiap larutan (Shen *et al.*, 2009).

5. Uji Adsorpsi Multikomponen

a. Pembuatan Larutan Induk Adsorbat dalam satuan mmol L^{-1}

Serbuk metilen biru, kristal violet, dan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ masing-masing sebanyak 1 g dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 mL yang berbeda, masing-masing labu ukur ditambahkan akuades hingga tanda batas lalu dihomogenkan dan terbentuk larutan dengan konsentrasi metilen biru $3,13 \text{ mmol L}^{-1}$, kristal violet $2,45 \text{ mmol L}^{-1}$, dan larutan Cu(II) $1,01 \text{ mmol L}^{-1}$.

b. Variasi Waktu Adsorpsi

Adsorben HA-S dan HA-SM masing-masing sebanyak 0,1 g dimasukkan ke dalam 5 labu erlenmeyer yang berbeda. Lalu ditambahkan 25 mL larutan kristal violet dan metilen biru $0,5 \text{ mmol L}^{-1}$ pH optimum ke dalam masing-masing labu erlenmeyer. Kemudian diaduk dengan variasi waktu 15, 30, 60, 90, dan 120 menit pada kecepatan 100 rpm. Selanjutnya larutan dan adsorben dipisahkan dengan menggunakan sentrifugasi. Filtrat yang diperoleh dianalisis dengan SSA dan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum metilen biru (664 nm) kristal violet (591 nm). Prosedur yang sama dilakukan untuk larutan Cu(II) , kristal violet, dan metilen biru (Buhani *et al.*, 2017).

c. Variasi Konsentrasi Adsorbat

Adsorben HA-S dan HA-SM masing-masing sebanyak 0,1 g dimasukkan ke dalam 5 labu erlenmeyer yang berbeda. Lalu ditambahkan 25 mL larutan kristal violet dan metilen biru pH optimum dengan variasi konsentrasi 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; dan 0,5 mmol L⁻¹ ke dalam masing-masing labu erlenmeyer. Kemudian diaduk dengan waktu optimum pada kecepatan 100 rpm. Selanjutnya larutan dan adsorben dipisahkan dengan menggunakan sentrifugasi. Filtrat yang diperoleh dianalisis dengan SSA dan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum metilen biru (664 nm) kristal violet (591 nm). Prosedur yang sama dilakukan untuk larutan Cu(II), kristal violet, dan metilen biru (Buhani *et al.*, 2017).

6. Penggunaan Ulang Adsorben

Adsorben HA-S dan HA-SM masing-masing sebanyak 0,1 g dimasukkan ke dalam labu erlenmeyer yang berbeda. Lalu ditambahkan 25 mL larutan metilen biru dengan pH dan konsentrasi optimum ke dalam labu erlenmeyer. Kemudian diaduk dengan waktu optimum pada kecepatan 100 rpm. Selanjutnya larutan dan adsorben dipisahkan dengan menggunakan sentrifugasi. Filtrat yang diperoleh dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum metilen biru 664 nm. Endapan yang diperoleh dielusi dengan HCl 0,1 M sebanyak 25 mL. Kemudian

diaduk dengan waktu optimum pada kecepatan 100 rpm. Endapan yang diperoleh disaring dengan kertas saring, dicuci dengan akuades hingga pH 7, dan dikeringkan dengan oven pada suhu 40°C selama 3 jam. Setelah itu, adsorben digunakan kembali untuk mengadsorpsi metilen biru (Buhani *et al.*, 2011).

7. Mekanisme adsorpsi

Adsorben HA-S dan HA-SM masing-masing sebanyak 0,1 g dimasukkan ke dalam erlenmeyer yang berbeda. Lalu ditambahkan 25 mL larutan metilen biru dengan pH dan konsentrasi optimum ke dalam erlenmeyer. Kemudian diaduk dengan waktu optimum pada kecepatan 100 rpm. Selanjutnya larutan dan adsorben dipisahkan dengan menggunakan sentrifugasi. Filtrat dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum metilen biru 664 nm.

Kemudian endapan digunakan kembali dengan diberikan beberapa eluen sebanyak 25 mL yakni akuades untuk mengetahui mekanisme pemerangkapan, KNO_3 1 M untuk mengetahui pertukaran ion dengan larutan, $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ 0,1 M untuk mengetahui pembentukan ikatan hidrogen, dan Na_2EDTA 0,1 M untuk mengetahui pembentukan ikatan kompleks. Kemudian diaduk dengan waktu optimum pada kecepatan 100 rpm. Selanjutnya larutan dan adsorben dipisahkan dengan menggunakan sentrifugasi. Filtrat dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum metilen biru 664 nm (Buhani *et al.*, 2010).

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

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

1. Sintesis hibrida alga-silika (HA-S) dan hibrida alga-silika magnetit (HA-SM) *Porphyridium* sp. telah berhasil dilakukan yang ditunjukkan dengan karakterisasi menggunakan spektrofotometer IR, XRD, dan SEM-EDX.
2. Nilai zeta potensial adsorben HA-S dan HA-SM optimum pada pH 8.
3. Adsorpsi HA-S dan HA-SM pada pasangan larutan zat warna dan larutan multikomponen masing-masing optimum pada waktu kontak 90 dan 15 menit, serta pada konsentrasi $0,5 \text{ mmol L}^{-1}$.
4. Laju adsorpsi pasangan larutan zat warna dan larutan multikomponen terhadap HA-S dan HA-SM cenderung mengikuti model kinetika pseudo orde dua dengan nilai R^2 mendekati 1.
5. Isoterm adsorpsi pasangan larutan zat warna dan larutan multikomponen terhadap HA-S dan HA-SM cenderung mengikuti model isoterm Freundlich dengan nilai R^2 mendekati 1.

6. Penggunaan ulang HA-S dan HA-SM terhadap metilen biru cukup efektif digunakan kembali sebanyak 7 siklus pengulangan.
7. Mekanisme adsorpsi HA-S dan HA-SM terhadap metilen biru lebih didominasi oleh pembentukan senyawa kompleks.

B. Saran

Pada penelitian lebih lanjut disarankan:

1. Melakukan perhitungan untuk model Dubinin-Radushkevich (D-B) untuk memastikan kecenderungan model isotherm.
2. Melakukan kompetisi dengan logam dan zat warna lain untuk mengetahui keefektifan dari adsorben HA-S dan HA-SM.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. 2009. Review: Karakterisasi Nanomaterial . *Journal Nanosains dan Nanoteknologi*. **2**(1):1-2.
- Aksu Z. 2005. Application of Biosorption for The Removal of Organic Pollutants: A Review. *Process Biochemistry*. **40**: 997-1026.
- 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**: 322-333.
- Atkins. 1999. *Kimia Fisik III*. Erlangga. Jakarta. 946-947.
- Badrudoza, A. Z. M., Z. Shawon, W. J. D. Tay, K. Hidayat, and M. S. Uddin. 2013. Fe₃O₄. Cyclodextrin Polymer Nanocomposites for Selective Heavy Metals Removal from Industrial Waste Waste. *Carbohydrate Polymers*. **91**(1): 322-332.
- Benjelloun Y., Lahrichi A., Boumchita S., Idrissi M., Miyah Y., Anis Kh., Nenov V., Zerrouq F., J. 2017. Mater. *Environmental Science*. **8**(7): 2259.
- Brinker, C.J., and G. W. Scherer. 1990. Applications in: Sol Gel Science, The Physics and Chemistry of Metal Ions Pb(II), Cu(II), and Cd(II) on *Sargassum duplicatum* Immobilized Silica Gel Matrix. *Indonesia Journal of Chemistry*. **9**(2): 170-176.
- Buhani and Suharso. 2009. Immobilization of *Nanochloropsis* sp.. Biomass by Sol-Gel Technique As Adsorbent of Metal Ion Cu(II) from Aqueous Solution. *Asian Journal of Chemistry*. **21**(5): 3799-3803.
- Buhani and Suharso. 2010. The Influence of pH Towards Multiple Metal Ion Adsorption of Cu(II), Zn(II), Mn(II) and Fe(II) on Humic Acid. *Indonesian Journal of Chemistry*. **6**(1): 43-46.
- Buhani and Suharso. 2013. Modifikasi Silika dengan 3 Aminopropiltrimetoksisilan Melalui Proses Sol Gel untuk Adsorpsi Ion Cd(II) dari Lautan. *Jurnal Sains MIPA Universitas Lampung*. **8**(3): 177-183.

- Buhani, D. Herasari, Suharso, S. D. Yuwono. 2017. Correlation of Ionic Imprinting Cavity Sites on The Amino-Silica Hybrid Adsorbent with Adsorption Rate and Capacity of Cd^{2+} Ion in Solution. *Oriental Journal of Chemistry*. **33**(1): 418-429.
- Buhani, F. Hariyanti. Suharso. Rinawati. and Sumadi. 2019. Magnetized Algae Silica Hybrid from *Porphyridium* sp. Biomass with Fe_3O_4 Particle and Its Application as Adsorbent for The Removal of Methylene Blue from Aqueous Solution. *Desalination and Water Treatment*. **142**: 331-340.
- Buhani, M R., dan Fitriyah. 2007. Pengaruh Temperatur Pada Laju Adsorpsi Biomassa *Sargasum duplicatum* yang Diimmobilisasi dengan Polietilena Glutaraldehyda Terhadap Ion Logam Pb(II) , Cu(II) , dan Cd(II) . *Jurnal Sains MIPA*. 139-142.
- 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**: 2734-2739.
- 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, Narsito, Nuryono dan Kunarti, E. S. 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, Narsito, Nuryono, Kunarti, E.S and Suharso. 2014. Adsorption Competition of Cu(II) Ion in Ionic Pair and Multi-Metal Solution by Ionic Imprinted Amino-Silica Hybrid Adsorbent. *Desalination and Water Treatment*. 1-13.
- Buhani, Narsito, Nuryono, Kunarti, E.S and Suharso. 2015. Adsorption Competition of Cu(II) Ion in Ionic Pair and Multi-Metal Solution by Ionic Imprinted Amino-Silica Hybrid Adsorbent. *Desalination and Water Treatment*. **55**(5): 1240-1252.
- Buhani, Rinawati, Suharso, D. P. Yuliasari, 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 Fitriyani, A. Y. 2013. Comparative Study of Adsorption Ability of Ni(II) and Zn(II) Ionic Imprinted Amino-Silica Toward Target Metal in Solution. *Asian Journal of Chemistry*. **25**(5): 2875-2880.
- Buhani, Suharso, and H. Satria. 2011. Hybridization of *Nannochloropsis* sp Biomass-Silika Through Sol-Gel Process to Adsorp Cd(II) ion In Aqueous Solutions. *European Journal of Scientific Research*. **51**(4): 467-478.
- Buhani, Suharso, and L. Aprilia. 2012. Chemical Stability and Adsorption Selectivity on Cd²⁺ Ionic Imprinted *Nannochloropsis* sp. Material with Silica Matrix from Tetraethyl Orthosilicate. *Indonesian Journal of Chemistry*. **12**(1): 94-99.
- Buhani, Suharso, and Sumadi. 2010. Adsorption Kinetics and Isoterm of Cd(II) Ion on *Nannochloropsis* sp. Biomass Imprinted Ionic Polymer. *Desalination*. **259**: 140-146.
- Buhani, Suharso, 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.
- Buhani, Suharso, and Sumadi. 2012. Production of Ionic Imprinted Polymer from *Nannochloropsis* sp. Biomass and its Adsorption Characteristic Toward Cu(II) Ion in Solutions. *Asian Journal Chemistry*. **24**(1): 133-140.
- Buhani, Suharso, and Zipora 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 Zipora 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, Zipora S, Suharso, and Sumadi. 2009. The Isothermic Adsorpsi of Pb(II), Cu(II), and Cd(II) Ions On *Nannochloropsis* sp. Encapsulated By Silica Aqua Gel. *Departement of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Science, Lampung University*. Bandar Lampung. **9**(1): 1-5.
- Buhani. 2006. Tinjauan Kinetika Adsorpsi Ion Logam Cd(II) dan Pb(II) pada Biomassa *Nannochloropsis* sp. dengan Matrik Pendukung Zeolit. *Jurnal Sains dan Teknologi*. 36-40.
- Cabrera, L., S. Gutierrez, N. Menendez, M. P. Morales. and P. Herrasti. 2008. Magnetite Nanoparticles: Electrochemical Synthesis and Characterization. *Electro Chimica Acta*, **53**: 3436-3441.

- Chang Y C, Chen D H. 2005. Preparation and Adsorption Properties of Monodisperse Chitosan-Bound Fe₃O₄ Magnetic Nanoparticles for Removal of Cu(II) Ions. *Journal of Colloid Interface Science*. **283**: 446-451.
- Cullity, B. D. 1978. *Element of X-Ray Diffraction*. Departement of Metallurgical Engineering and Materials Science. Addison-Wesley Publishing Company. Inc. USA. **514**: 285-310.
- Cullity, B. D. dan S. R. Stock. 2001. *Element of X-Ray Diffraction*. Third Edition, Prentice Hall. New Jersey. 27-28.
- Deng, Y., C. Wang., J. Hu., W. Yang., S. Fu. 2005. "Investigation of Formation of Silica-Coated Magnetite Nanoparticles Via Sol-Gel Process Approach. J. *Colloid Surfaces*. Science. 262: 87-88.
- 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.
- Dung, K. T. D., H. T. Hai, H. L. Phuc. and D. B. Long. 2009. Preparation and Characterization of Magnetic Nanoparticles with Chitosan Coating. *Journal of Physics*; Conferences Series 187 Vietnam, no 1. Article ID 012036.
- Endang, Palupi. 2006. *Degradasi Methylene Blue dengan Metode Fotokatalisis dan Fotoelektrokatalisis Menggunakan Film TiO₂*. (Skripsi). Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor. 107-108.
- Fessenden dan Fessenden. 1986. Kimia Organik Jilid I. Edisi ke-3. Penerjemah: Pudjaatmaka AH. Erlangga. Jakarta. 215-126.
- Forgacs, E., T. Cserhati, and G. Oros. 2004. Removal of Synthetics Dyes from Wastewater. *Environment International*. **30**(7): 953-971.
- Gao, W., S. Zhao, H. Wu, W. Deligeer, pS. 2016. Asuha, Direct Acid Activation of Kaolinite and Its Effects on The Adsorption of Methylene Blue. *Applied Clay Science*. 126-127.
- Ghosh, S., Badruddoza, A.Z.M., Hidayat, K., Uddin M.S. 2013. Adsorptive Removal of Emerging Contaminants from Water Using Superparamagnetic Fe₃O₄ Nanoparticles Bearing Aminated Cyclodextrin. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. **1**: 122-130.

- Guler., U.A. Ersan., M. Tuncel., E. and Dugenci., F. 2016 - Mono and Simultaneous Removal of Crystal Violet and Safranin Dyes from Aqueous Solutions by HDTMA-modified *Spirulina* sp. *Process Safety and Environmental Protection*. **99**: 194-206.
- Handoyo, S. 2000. *Kimia Anorganik I*. FMIPA UNY. Yogyakarta. 104-105.
- Hariyanti, F. 2017. Sintesis Hibrida Alga-Silika dari Biomassa *Porphyridium* sp. dengan Teknik Pelapisan Magnetit (Fe_3O_4) dan Uji Adsorpsi terhadap Metilen Biru dalam Larutan. (*Skripsi*). Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Lampung. 16-17.
- Harris, O. P. and J. G. Rammelow. 1990. Binding of Metal Ions by Particulate Quadricauda. *Environment Science and Technology*. **24**: 220-227.
- 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. 35-36.
- 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.
- 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 Darrusalam. Banda Aceh. 22-23.
- Idrissi M., Miyah Y., Benjelloun Y., Chaouch M., J. 2016. *Master Environmental Science*. 50.
- Itoh, H., T and Sugimoto. 2013. Systematic Control of Size, Shape, Structure, and Magnetic Properties of Uniform Magnetite and Maghemite Particles. *Journal of Colloid Interface Science*. **265**: 283-295.
- Jamarun, N. 2000. Proses Sol Gel. (*Tesis*). FMIPA Kimia Universitas Andalas. 34-35.
- Jamwal, H.S. Kumari, S. Chauhan, G.S. Ahn, J.H. and Reddy, N.S. 2016. New Silica Based Polymeric Hybrid Materials for The Removal of Cu(II) Ions from Their Aqueous Solutions. *Environmental Chemical Engineering*. **5**(1): 103-113.
- Jayganesh D., Tamilarasan R., Kumar M., Murugavelu M., Sivakumar V., J. 2017. *Material Environmental Science*. **8**(4): 1508-1517.
- Jeon, P. 2011. Adsorption Characteristic of Cooperation Using Magnetically Modified Medicinal Stones. *Chemical Engineering Journal*. **17**: 1487-1493.

- Keenan, C. W. dan W. Kleinfelter. 1984. *Ilmu Kimia untuk Universitas Edisi Keenam*. Terjemahan Aloysius Hadyana Pudjaatmaka. Erlangga. Jakarta. 512-543.
- Khopkar, S. M. 2001. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. UI Press. Jakarta. 843-844.
- Kittappa, S., Pichiah, S., Kim, J.R., Yoon Y., Snyder, S.A., Jang, M. 2015. Magnetized Nanocomposite Mesoporous Silica and Its Application for Effective Removal of Methylene Blue from Aqueous Solution. *Separation and Purification Technology*. **153**: 67–75.
- Kumar, A., Gaurav, Malik, A.K., Tewary, D. , and Singh, B. 2008. A Review on Development of Solid Phase Microextraction Fiber by Sol-Gel Methods and Their Application. *Analytica Chimica Acta*. **610**: 1-14.
- 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 Cooper(II) by Immobilizing *Saccharomyces cerevisiae* on The Surface of Chitosan Coated Magnetic Nanoparticles from Aqueous Solution. *Journal of Hazardous Materials*. **177**: 676-682.
- Maley, A., and J. Arbiser. 2013. Gentian Violet: a 19th Century Drug Reemerge in Rge 21st Century. *Experimental Dermatology*. **22**: 775-780.
- Meitei, M. D. and M. N. V. Prasad. 2013. Lead(II) and Cadmium(II) Biosorption on Spirodela Polyrhiza Schleiden Biomass. *Journal of Enviromental Chemical Engineering*. **1**: 200-207.
- 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): 463-372.
- Mutiara, A. D. 2018. Sintesis Hibrida Alga *Porphyridium* sp. dengan Teknik Pelapisan Silika Magnetit (Fe₃O₄) Sebagai Adsorben Zat Warna Kristal Violet. (*Skripsi*). Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Lampung. 16-17.
- Na, J., X. Chang, H. Zheng, Q. He and Z. Hu. 2006. Selective Solid-Phase Extraction of Ni(II) Usinga Surface-Imprinted Silica Gel Sorbent. *Analytical Chemistry Acta*. **577**: 225-231.
- Nurjana.2015. *Pembuatan Elektroda Ag-N-TiO₂/Ti dan Aplikasinya Terhadap Degradasi Senyawa Rhodamin B Secara Fotoelektrokatalisis*. Universitas Halu Oleo. Kendari.

- Nuzula, F. 2004. Adsorpsi Cd^{2+} , Ni^{2+} , dan Mg^{2+} pada 2-Merkapto Benzimidazol yang diimmobilisasikan pada Silika Gel. (Tesis). Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gajah Mada. Yogyakarta. 37-38.
- Olson, Eric. 2012. Potential Zeta and Colloid Chemistry. *Journal of GXP Compliance*. **16**(1): 81-96
- Oscik, J. 1982. *Adsorption*. Ellis Horwood Limited. England. 347-348.
- Oxtoby, D. 1990. *Prinsip-Prinsip Kimia Modern*. Erlangga. Jakarta. 285-290.
- Panic, V. V., S. J. Velickovic. 2014. Removal of Model Cationic Dye by Adsorption Onto Poly(methacrylic acid)/zeolite Hydrogel Composites: Kinetics, Equilibrium Study and Image Analysis. *Separation Purification Technology*. **122**: 384-394.
- Pankhurst, Q. A., J. Connolly., S. K. Jones., and J. Dobson. 2003. "Applications of Magnetic Nano Particles in Biomedicine". *Journal Physical*. **36**: 167-181.
- 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.
- Rousseau, R. W. 1987. *Handbook of Separation Process Technology*. John Wiley and Sons Inc. United States. 67.
- Ruswati. 2003. *Sintesis dan Karakterisasi Algasorb Chlorella sp dalam Polistirena*. Tugas Akhir II. Jurusan Kimia FMIPA UNNES. Semarang. 27-28.
- Saeed A. dan Iqbal M., 2003. Bioremoval of Cadmium from Aqueous Solution by Black Gram Husk (*Cicer arietinum*). *Water Research*. **37**: 3472-3480.
- Saney., I. Y. 2016. Uji Adsorpsi-Desorpsi Larutan Monologam (Ni(II), Cu(II), Cd(II)) dan Multilogam Pada Material biomassa Alga Porphyridium sp. yang Dimodifikasi dengan Pelapisan Silika-Magnetit (Fe_3O_4). (Skripsi). Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Lampung. 55-56.
- Sastrohamidjojo, H. 1999. *Spektroskopi UV-Vis*. Penerbit Liberty. Yogyakarta. 53-54.
- Sastrohamidjojo, H. 2001. *Spektroskopi*. Liberty. Yogyakarta. 42-43.
- Schubert, U., and Husing, N. 2000. *Synthesis of Inorganic Materials*. Willey-VCH Verlag GmbH. D-69469 Wernheim. Federal Republik of Germany.
- Seader, J. D. and E. J. Henley. 1998. *Separation Process Principles*. John Wiley And Sons Inc. New York. 7-11.

- Shao, Y., Zhou, L., Bao, C., Ma, J., Wang F. 2016. Magnetic Responsive Metal Organic Frameworks Nanosphere with Core–Shell Structure for Highly Efficient Removal of Methylene Blue. *Chemical Engineering Journal*. **283**: 1127-1136.
- Shen, Y. D., Zhao, Y.N., Li, X.R. 2009. Polyacrylate/Silica Hybrids Prepared by Emulsifier Free Emulsion Polymerization and The Sol Gel Process. *Polymer Bulletin*. **63**: 687–698.
- Singh, S., B. N. Kate, and U.C. Banerjee. 2005. Bioactive Compounds from Cyanobacteria and Microalgae: an overview. *Critical Reviews in Biotechnology*. **25**: 73-95.
- Soeprijanto, F. Ryan, and A. Bambang. 2006. *Adsorption Minerals to Reduce The Availability of Cadmium and Arsenic In Contaminated Soils*. Schools of Land, Water and Crop Science. University of Sidney. 97-98.
- Suhendrayatna. 2001. Bioremoval Logam Berat dengan Menggunakan Mikroorganisme. *Kajian Kepustakaan*. Sinergi Forum PPI Tokyo. Kagosami. 30-31.
- Sukardjo. 1985. *Kimia Koordinasi*. Bumi Aksara. Jakarta. 21-22.
- Sulisetijono. 2000. *Studi Eksplorasi Potensi dan Taksonomi Makroalga di Pantai Kondang Merak Kabupaten Malang*. Lembaga Penelitian Universitas Negeri Malang. Malang. 25-26.
- Supriyanto, Agung. 2014. *Kajian Adsorpsi Ion-Ion Logam Divalen Ca(II), Cu(II), dan Cd(II) oleh Biomassa Alga Merah (Porphyridium sp) (Skripsi)*. Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. 18-19.
- Teja, A. S. and P. Y. Koh. 2008. Synthesis, Properties, and Applications of Magnetic Iron Oxide Nanoparticles. *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials*. **20**: 1-24.
- Trisnawati, T., 2008. *Studi Adsorpsi Karbon Mesopori Sintetik Terhadap Methilene Blue (Skripsi)*. FMIPA Universitas Brawijaya, Malang. 10-11.
- Triyanto. 2004. *Kapasitas Adsorpsi Alga Chlorella sp yang Diimobilisasi dalam Silika Gel Terhadap Ion Logam Cu dalam Limbah Kuningan*. Tugas Akhir II. Semarang: Jurusan Kimia FMIPA UNNES. 32-33.
- Volesky and Diniz, V. 2005. Effect of Counterions on Lanthanum Biosorption by *Sargassum polycystum*. *Water Research*. **39**: 2229-2236.
- Vonshak, A. 1988. *Porphyridium*. Microalgal Biotechnology. Cambridge University Press. New York. 477.