

**ADSORPSI MULTIKOMPONEN (ION Cu(II), METILEN BIRU, DAN
KRISTAL VIOLET) PADA ADSORBEN HIBRIDA ALGA
Nannochloropsis sp. SILIKA-MAGNETIT (Fe₃O₄)**

(Skripsi)

Oleh

TRI AGUS WIJAYANTI



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019**

ABSTRAK

ADSORPSI MULTIKOMPONEN (ION Cu(II), METILEN BIRU, DAN KRISTAL VIOLET) PADA ADSORBEN HIBRIDA ALGA *Nannochloropsis* sp. SILIKA-MAGNETIT (Fe₃O₄)

Oleh

TRI AGUS WIJAYANTI

Pada penelitian ini telah dilakukan sintesis adsorben hibrida alga *Nannochloropsis* sp. dengan menggunakan silika sebagai matriks (HAS) dan pelapisan magnetit (HASM) sebagai adsorben campuran pasangan larutan metilen biru (MB) dan kristal violet (KV), serta larutan multikomponen. Karakterisasi material menggunakan Spektrofotometer Inframerah (IR) untuk mengidentifikasi gugus fungsi, *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui tingkat kekristalan, *Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-ray* (SEM-EDX) untuk mengetahui morfologi permukaan. Kadar MB dan KV dianalisis dengan Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang masing-masing 664 dan 591 nm sedangkan kadar ion Cu(II) ditentukan dengan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Adsorpsi MB dan KV pada HAS dan HASM dipelajari meliputi variasi waktu, variasi konsentrasi, penggunaan ulang, dan mekanisme adsorpsi. Kinetika adsorpsi pada adsorben HAS dan HASM dalam campuran pasangan larutan MB dan KV, serta larutan multikomponen cenderung mendekati model kinetika pseudo orde dua dengan nilai koefisien korelasi (R^2) mendekati 1. Isoterm adsorpsi larutan MB dan KV dalam campuran pasangan larutan MB dan KV, serta larutan multikomponen pada adsorben HAS dan HASM cenderung mengikuti model isoterm Freundlich dengan nilai koefisien korelasi (R^2) mendekati 1. Penggunaan ulang adsorben HASM dilakukan sebanyak 5 kali dengan persen adsorpsi > 99%. Mekanisme adsorpsi MB pada HAS dan HASM didominasi oleh interaksi pertukaran ion.

Kata Kunci : *Nannochloropsis* sp., hibrida alga-silika, magnetit, adsorpsi-desorpsi, Metilen biru, Kristal violet, ion Cu(II).

ABSTRACT

ADSORPTION OF MULTICOMPONENT OF (Cu(II) IONS, METHYLENE BLUE, AND CRYSTAL VIOLET) ON HYBRID *Nannochloropsis* sp. ALGAE SILICA-MAGNETITE ADSORBENT

By

TRI AGUS WIJAYANTI

It has been conducted synthesis of hybrid *Nannochloropsis* sp. algae adsorbent by using silica as a matrix (HAS) and magnetite coating (HASM) as an adsorbent of methylene blue (MB) and crystal violet (CV) mixture, as well as multicomponent solutions. Material characterization used Infrared Spectrophotometer (IR) to identify functional groups, X-Ray Diffraction (XRD) to determine the level of crystallinity and Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX) to determine surface morphology. The MB and CV concentration were analyzed by UV-Vis Spectrophotometer at 664 and 591 nm wavelengths while Cu (II) ion concentration was determined using Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). The MB and CV adsorption on HAS and HASM were studied including time variation, concentration variation, reusability, and adsorption mechanism. The kinetics of adsorption on HAS and HASM adsorbents in a mixture of MB and CV solution pair as well as multicomponent solutions tend to approach the pseudo-second order kinetics model with a correlation coefficient (R^2) close to 1. The isotherm adsorption of MB and CV solutions in a pair of mixtures, and multicomponent solutions on HAS and HASM adsorbent tend to follow the Freundlich isotherm model with a correlation coefficient (R^2) close to 1. Reuse of HASM adsorbent is done 5 times with percent of adsorption > 99%. The MB adsorption mechanism on HAS and HASM is dominated by ion exchange interactions.

Keywords: *Nannochloropsis* sp., Hybrid algae-silica, magnetite, adsorption-desorption, Methylene blue, Crystal violet, Cu (II) ion.

**ADSORPSI MULTIKOMPONEN (ION Cu(II), METILEN BIRU, DAN
KRISTAL VIOLET) PADA ADSORBEN HIBRIDA ALGA
Nannochloropsis sp. SILIKA-MAGNETIT (Fe₃O₄)**

Oleh

TRI AGUS WIJAYANTI

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019**

Judul Skripsi : **ADSORPSI MULTIKOMPONEN (ION Cu(II), METILEN BIRU, DAN KRISTAL VIOLET) PADA ADSORBEN HIBRIDA ALGA *Nannochloropsis* sp. SILIKA-MAGNETIT (Fe₃O₄)**

Nama Mahasiswa : **Tri Agus Wijayanti**

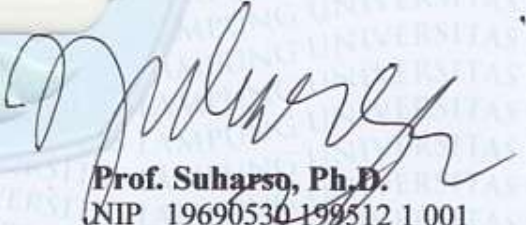
No. Pokok Mahasiswa : 1517011100

Jurusan : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam




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


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

2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA


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

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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

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

Penguji
Bukan Pembimbing : **Dr. Hardoko Insan Qudus, M.S.**

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Drs. Suratman, M.Sc.
NIP. 19640604 199003 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **02 Oktober 2019**

PERNYATAAN

Nama : Tri Agus Wijayanti

Nomor Pokok Mahasiswa : 1517011100

Program Studi : Kimia

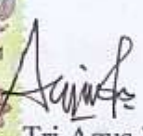
Jurusan : Kimia

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul Adsorpsi Multikomponen (Ion Cu(II), Metilen Biru, dan Kristal Violet) pada Adsorben Hibrida Alga *Nannochloropsis* sp. Silika-Magnetit (Fe_3O_4) ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain, dan sepengetahuan saya tidak ada karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini, sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila ada pernyataan saya yang tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, Oktober 2019
Menyatakan,




Tri Agus Wijayanti
NPM 1517011100

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Way Tuba, Kec. Way Tuba, Kab. Way Kanan, pada tanggal 15 Agustus 1998, putri dari Bapak Sutarman (Alm.) dan Ibu Paini sebagai anak ketiga dari tiga bersaudara. Jenjang pendidikan dimulai dari Taman Kanak-Kanak (TK) di TK Pertiwi, diselesaikan pada tahun 2002, Sekolah Dasar (SD) di SD Negeri 1 Way Tuba, diselesaikan pada tahun 2009, Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Pembangunan Way Tuba, diselesaikan pada tahun 2012, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMA Negeri 1 Way Tuba, diselesaikan pada tahun 2015.

Pada tahun 2015 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Kimia FMIPA Unila melalui jalur SBMPTN (Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri). Penulis juga pernah mengikuti organisasi Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI) sebagai anggota biro penerbitan pada tahun 2015-2016. Pada tahun 2016 penulis pernah menjadi peserta KWI (Karya Wisata Ilmiah) dan pada tahun 2017 penulis menjadi panitia KWI.

Tahun 2018 penulis melakukan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Laboratorium Kimia Anorganik Jurusan Kimia FMIPA Unila yang berjudul ” Sintesis Hibrida Alga-Silika Magnetit dari Biomassa *Tetraselmis sp.* dan Uji Adsorpsi Terhadap

Larutan Metilen Biru, Kristal Violet dan Ion Cu(II). Pada tahun 2019 penulis melaksanakan KKN (Kuliah Kerja Nyata) di desa Timbul Rejo, Kec. Bangun Rejo, Kab. Lampung Tengah selama 32 hari. Penulis juga pernah menjadi asisten praktikum pada praktikum Kimia Anorganik II pada tahun 2019.

MOTTO

Allah tidak membebani seseorang melainkan
sesuai dengan kesanggupannya
QS. Al-Baqarah : 286

La Tahzan Innallaha Ma'ana
"Don't be sad, Allah is with us"
QS. At-Taubah : 40

Ingatlah! Allah sesuai dengan prasangka hamba-Nya
-HR. Bukhari & Muslim-

YAKINLAH

Ada sesuatu yang menantimu setelah banyak kesabaran yang kau
jalani
yang akan membuatmu terpana hingga kau lupa betapa perihnya
rasa sakit.
-Ali bin Abi Thalib-

يُسِّرَا الْعُسْرَ مَعَ إِنَّ
"Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan"
QS. Al-Insyirah : 6

بِأَنفُسِهِمْ مَا يُغَيِّرُوا حَتَّىٰ بِقَوْمٍ مَا يُغَيِّرُ لَا إِلَهَ إِلَّا
Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah keadaan suatu kaum,
sebelum kaum itu sendiri mengubah apa yang ada
pada diri mereka
QS. Ar-Rad : 11

*Dengan mengucapkan syukur Alhamdulillah rabbil' alamin
kepada Allah SWT. Kupersembahkan karya sederhana ini
kepada:*

*Kedua orang tuaku, bapak dan mamaku tersayang
yang selalu memberikan do'a, kasih sayang
dan menjadi penyemangatkmu
di dalam setiap langkah.*

*Kakak-kakakmu, dan keponakan-keponankmu,
serta seluruh keluarga besarku yang selalu memberikan bantuan,
dukungan, penyemangat, dan kebahagiaan dalam hidupmu.*

*Dengan rasa hormat kepada Prof. Dr. Buhani, M.Si.,
Prof. Suharso, Ph.D., dan Dr. Hardoko Insan Qudus, M.S.
serta seluruh Dosen Jurusan Kimia yang telah
membimbing dan mendidikmu selama menempuh
pendidikan di kampus.*

*Sahabat dan teman-temanku yang telah memberikan warna
dan kebahagiaan, serta menemani dan berjuang bersamaku.*

Dan almamater tercinta, Universitas Lampung

SANWACANA

Puji Syukur penulis haturkan kepada Allah SWT. *Laa hawla wala quwwata illa billah*. Hanya pertolongan dari Allah lah penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Tak lupa shalawat serta salam penulis haturkan kepada suri tauladan terbaik umat manusia, Rasulullah Muhammad *shalallahu 'alaihi wassalam* beserta keluarga, sahabat, dan pengikut setianya hingga akhir zaman.

Skripsi yang berjudul “Adsorpsi Multikomponen (Ion Cu, Metilen Biru, dan Kristal Violet) pada Adsorben Hibrida Alga *Nannochloropsis* sp. Silika-Magnetit (Fe_3O_4)” merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa dalam menyelesaikan skripsi ini tidak dapat terlepas dari bimbingan serta bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Allah SWT
2. Kedua orang tuaku yang amat aku cintai, Bapak (Sutarman (Alm.)) dan Mamake (Paini) sebagai “*strong women*” yang telah mendidik, merawat, dan tak pernah lupa menyelipkan namaku disetiap do’a. Terima kasih yang teramat dalam penulis ucapkan atas segala dukungan, nasihat, motivasi, dan kasih sayang serta pengorbanannya yang tidak ternilai harganya. Semoga Allah membalas kebaikan yang lebih banyak kepada Bapak dan Mamak, dan semoga Allah mempersatukan keluarga kita di surga-Nya kelak.

3. Saudaraku, Mas Purwo Santoso, A.md., Mbak Sri Handayani, A.md. Keb., Mas M. Yusuf, A.md., dan Mbak Ayu Dian Pertiwi, A.md., serta keponakanku Muhammad Nesta Al-Fatih dan Alif Khair Al-Fathan terima kasih telah memberikan dukungan, doa, dan nasihat sehingga penulis tetap bertahan hingga dapat menyelesaikan penulisan skripsi.
4. Prof. Dr. Buhani, M.Si. selaku Pembimbing I yang begitu sabar dalam membimbing, mendidik, mengarahkan, memotivasi, menasihati dengan penuh dedikasi sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini dengan baik. Semoga Allah membalas beliau dengan kebaikan di dunia dan akhirat.
5. Prof. Suharso, P. hD. selaku pembimbing II yang telah membimbing, mengarahkan, dan memberikan nasihatnya sehingga skripsi ini terselesaikan dengan baik. Semoga Allah memberikan kebaikan kepada beliau.
6. Dr. Hardoko Insan Qudus, M.S. selaku pembahas yang banyak memberikan motivasi dan masukan positif serta membangun kepada penulis dalam proses menyelesaikan skripsi. Semoga Allah memberikan kebaikan kepada beliau.
7. Dr. Zipora Sembiring, M.Si. selaku pembimbing akademik yang telah memberikan nasihat dan masukan kepada penulis selama menjadi mahasiswa di Jurusan Kimia.
8. Dr. Eng. Suripto Dwi Yuwono, S. T. selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung.
9. Drs. Suratman Umar, M.Sc. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung.
10. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung, terima kasih atas segala pelajaran, ilmu, pengalaman, dan motivasi yang telah diberikan selama di kampus.

11. Mbak Liza Aprilia, M.Si. selaku laboran di Laboratorium Kimia Anorganik / Fisik dan segenap staff dan karyawan Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung. Semoga selalu diberikan kesehatan dan keberkahan oleh Allah.
12. My team in research “Alga dan Karbon Squad” Siti Nuraini, Aderika Nuralita, Miranda Sari, Tri Handayani Surya Ningrum, dan Desy Permata Sari. Makasih guys kalian udah sabar ngadepin aku yang kadang keras kepala, makasih udah mau bantuin aku selama kita penelitian sehingga semua beban terasa ringan.
13. My best friends “CCA” Cibud, Pila, Dira, Intan, Nadya, Widya, Mala, Aul dan Meitri, Terimakasih guys karena kalian aku bisa bertahan, kalian selalu ada saat aku suka maupun duka, saling berbagi dan menasihati dalam hal apapun, belajar bareng, makan bareng. Semoga kita segera mendapatkan kesuksesan masing-masing dan kelak dipertemukan di Surga-Nya. Aamiin.
14. Teruntuk orang yang selalu bersamaku lebih lama dari siapapun selama 4 tahun ini “Ani Setiawati / Ani Marliando” makasih beb selalu ada buat aku, mau dengerin keluh kesahku setiap saat tiada henti. Untuk Desi Nurjannah trimakasih untuk segalanya. Semoga kita segera meraih kesuksesan masing-masing dan kelak dipertemukan di Surga-Nya. Aamiin.
15. Teman-teman Laboratorium Anorganik/Fisik terimakasih guys kalian adalah orang-orang yang luar biasa, semangat kalian dalam melakukan penelitian membuat penulis termotivasi, sabar, dan bersyukur.
16. Kimia C “Asti, Mala, Vina, Nissa, Uhti, Atika, Rulan, Cibud, Siska, Naina, Meitri, Pila, Enca, Dira, Pitsun, Intan, Siwi, Rita, Ela, Fatma, Nurmalia, Mentari, Dias, Nadya, Widya, Desi, Tiara, Rani, Aul, Hani, Gilang, Tria, Daus, Musaso, Ponco, Jefi, Hanif, Fikri, dan Rizky. Thanks’s All kalian adalah bagian dari segenap cerita selama penulis kuliah terhitung dari tahun 2015.

17. Chem15try yang tergabung dari kumpulan kelas A, B, dan C menjadi satu kesatuan yang solid. Banyak kenangan yang pastinya akan penulis rindukan setelah kita menjalani hidup masing-masing. Kimia 15 “Solidaritas Tanpa Batas”
18. Renik-Renikku “Ade, Mpa, Ervi, Nindi, Ria, dan Leni” mokasih cuy kamuwong selalu nyemangatin aku, selalu ngasih kebahagiaan. Sehat terus buat kito yo, kompak terus, semoga kito segera meraih kesuksesan masing-masing dan kelak dipertemukan di Surga-Nya. Aamiin.
19. Kakak tingkat jurusan kimia 2013, 2014, dan adik tingkat 2016, 2017, dan 2018 yang selalu mendoakan, memotivasi, member saran dan kritik.
20. Teman dan keluarga baru KKN, Silvi, Fitsun, Putri, Mogi, Adit, dan Fana. Terimakasih untuk 32 hari yang berarti dan akan tetap terkenang.
21. Almamater tercinta Universitas Lampung
22. Semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu. Terimakasih atas segala ketulusan, bantuan, dukungan, dan doa. Semoga kebaikan yang sudah diberikan selama ini mendapat balasan dari Allah SWT.

Penulis tentu menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih banyak terdapat kekurangan sehingga penulis sangat mengharapkan kritik dan saran untuk skripsi ini. Namun, penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi orang banyak secara umum, dan secara khusus menjadi tambahan informasi bagi peneliti yang berfokus pada bidang Adsorpsi menggunakan Adsorben Alga *Nannochloropsis* sp.

Bandar Lampung, Oktober 2019
Penulis

Tri Agus Wijayanti

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	i
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR.....	vii
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang.....	1
B. Tujuan Penelitian	4
C. Manfaat Penelitian	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Biomassa Alga	6
B. Silika Gel	8
C. Proses Sol-Gel	10
D. Metilen Biru.....	13
E. Kristal Violet	14
F. Ion Logam Cu(II).....	16
G. Magnetit (Fe_3O_4).....	17
H. Penentuan <i>Zero Point Charge</i> (ZPC)	18
I. Adsorpsi	19
1. Adsorpsi Fisika (Fisisorpsi).....	19
2. Adsorpsi Kimia (Kemisorpsi).....	20
3. Kinetika Adsorpsi	22
4. Kapasitas Adsorpsi	24
J. Karakterisasi	28
1. Spektrofotometer Inframerah (IR).....	28
2. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	29
3. <i>Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-ray</i> (SEM-EDX)	30
4. Spektrofotometer UV-VIS.....	31
5. Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)	32

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat.....	34
B. Alat dan Bahan	35
C. Prosedur Penelitian	35
1. Penyiapan Biomassa Alga <i>Nannochloropsis</i> sp.	35
2. Sintesis	36
3. Karakterisasi Material.....	38
4. Penentuan Nilai Zeta Potensial.....	38
5. Uji Adsorpsi.....	39
6. Uji Penggunaan Ulang Adsorben	40
7. Mekanisme Adsorpsi	41
8. Diagram Alir Penelitian.....	42

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Sintesis dan Karakterisasi Adsorben	43
B. Karakterisasi	44
1. Karakterisasi dengan Spektrofotometer IR	44
2. Karakterisasi dengan XRD	47
3. Karakterisasi dengan <i>Scanning Electron Microscope with Energy Dispersive X-ray</i> (SEM-EDX).....	49
C. Nilai Zeta Potensial	51
D. Uji Adsorpsi.....	52
1. Variasi Waktu	52
2. Variasi Konsentrasi.....	59
3. Penggunaan Ulang	65
4. Mekanisme Adsorpsi	66

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan	68
B. Saran	69

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN-LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Hasil analisis gugus fungsi pada adsorben	46
Tabel 2. Hasil analisis struktur kristal.....	49
Tabel 3. Parameter kinetika pseudo orde 1 dan kinetika pseudo orde 2 pada HAS dan HASM dalam campuran pasangan larutan MB dan KV	58
Tabel 4. Parameter kinetika pseudo orde 1 dan kinetika pseudo orde 2 pada HAS dan HASM dalam larutan multikomponen	58
Tabel 5. Parameter isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich pada adsorben HAS dan HASM dalam campuran pasangan larutan MB dan KV	64
Tabel 6. Parameter isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich pada adsorben HAS dan HASM dalam larutan multikomponen	64
Tabel 7. Nilai Zeta Potensial adsorben HAS dan HASM	79
Tabel 8. Kurva Standar MB (variasi waktu)	80
Tabel 9. Kurva Standar KV (variasi waktu).....	80
Tabel 10. Kurva Standar ion Cu(II) (variasi waktu).....	81
Tabel 11. Adsorpsi campuran pasangan larutan MB dan KV dengan variasi waktu 15-120 menit.....	82
Tabel 12. Adsorpsi larutan multikomponen oleh adsorben HAS dengan variasi waktu 15-120 menit.....	82
Tabel 13. Adsorpsi larutan multikomponen oleh adsorben HAS dengan variasi waktu 15-120 menit.....	82
Tabel 14. Kinetika pseudo orde satu MB pada adsorben HAS dalam campuran pasangan larutan MB dan KV	83

Tabel 15. Kinetika pseudo orde satu MB pada adsorben HASM dalam campuran pasangan larutan MB dan KV.....	83
Tabel 16. Kinetika pseudo orde satu KV pada adsorben HAS dalam campuran pasangan larutan MB dan KV.....	83
Tabel 17. Kinetika pseudo orde satu KV pada adsorben HASM dalam campuran pasangan larutan MB dan KV.....	84
Tabel 18. Kinetika pseudo orde satu MB pada adsorben HAS dalam larutan multikomponen	84
Tabel 19. Kinetika pseudo orde satu MB pada adsorben HASM dalam larutan multikomponen	84
Tabel 20. Kinetika pseudo orde satu KV pada adsorben HAS dalam larutan multikomponen	85
Tabel 21. Kinetika pseudo orde satu KV pada adsorben HASM dalam larutan multikomponen	85
Tabel 22. Kinetika pseudo orde satu Cu(II) pada adsorben HAS dalam larutan multikomponen	85
Tabel 23. Kinetika pseudo orde satu Cu(II) pada adsorben HASM dalam larutan multikomponen.....	86
Tabel 24. Kinetika pseudo orde dua MB pada adsorben HAS dalam campuran pasangan larutan MB dan KV.....	90
Tabel 25. Kinetika pseudo orde dua MB pada adsorben HASM dalam campuran pasangan larutan MB dan KV.....	90
Tabel 26. Kinetika pseudo orde dua KV pada adsorben HAS dalam campuran pasangan larutan MB dan KV.....	90
Tabel 27. Kinetika pseudo orde dua KV pada adsorben HASM dalam campuran pasangan larutan MB dan KV.....	91
Tabel 28. Kinetika pseudo orde dua MB pada adsorben HAS dalam larutan multikomponen.....	91
Tabel 29. Kinetika pseudo orde dua MB pada adsorben HASM dalam larutan multikomponen.....	91
Tabel 30. Kinetika pseudo orde dua KV pada adsorben HAS dalam larutan multikomponen.....	92

Tabel 31. Kinetika pseudo orde dua KV pada adsorben HASM dalam larutan multikomponen.....	92
Tabel 32. Kinetika pseudo orde Cu(II) violet pada adsorben HAS dalam larutan multikomponen.....	92
Tabel 33. Kinetika pseudo orde Cu(II) violet pada adsorben HAS dalam larutan multikomponen.....	93
Tabel 34. Kurva Standar MB (variasi konsentrasi)	97
Tabel 35. Kurva Standar KV (variasi konsentrasi).....	97
Tabel 36. Kurva Standar ion Cu(II) (variasi konsentrasi).....	98
Tabel 37. Adsorpsi campuran pasangan larutan MB dan kristal violet dengan variasi konsentrasi 0,1-0,5 mmol L ⁻¹	99
Tabel 38. Adsorpsi larutan multikomponen dengan variasi konsentrasi 0,1-0,5 mmol L ⁻¹	99
Tabel 39. Isoterm adsorpsi Langmuir MB pada adsorben HAS dan HASM dalam campuran pasangan larutan MB dan KV	100
Tabel 40. Isoterm adsorpsi Langmuir KV pada adsorben HAS dan HASM dalam campuran pasangan larutan MB dan KV	101
Tabel 41. Isoterm adsorpsi Langmuir MB pada adsorben HAS dan HASM dalam larutan multikomponen	102
Tabel 42. Isoterm adsorpsi Langmuir KV pada adsorben HAS dan HASM dalam larutan multikomponen	103
Tabel 43. Isoterm adsorpsi Langmuir Cu(II) pada adsorben HAS dan HASM dalam larutan multikomponen	104
Tabel 44. Isoterm adsorpsi Freundlich MB pada adsorben HAS dalam campuran pasangan larutan MB dan KV.....	107
Tabel 45. Isoterm adsorpsi Freundlich MB pada adsorben HASM dalam campuran pasangan larutan MB dan KV.....	107
Tabel 46. Isoterm adsorpsi Freundlich KV pada adsorben HAS dalam campuran pasangan larutan MB dan KV.....	108
Tabel 47. Isoterm adsorpsi Freundlich KV pada adsorben HASM dalam campuran pasangan larutan MB dan KV	108

Tabel 48. Isoterm adsorpsi Freundlich MB pada adsorben HAS dalam larutan multikomponen	109
Tabel 49. Isoterm adsorpsi Freundlich MB pada adsorben HASM dalam larutan multikomponen	109
Tabel 50. Isoterm adsorpsi Freundlich KV pada adsorben HAS dalam larutan multikomponen	110
Tabel 51. Isoterm adsorpsi Freundlich KV pada adsorben HASM dalam larutan multikomponen	110
Tabel 52. Isoterm adsorpsi Freundlich Cu(II) pada adsorben HAS dalam larutan multikomponen.....	111
Tabel 53. Isoterm adsorpsi Freundlich Cu(II) pada adsorben HASM dalam larutan multikomponen.....	111
Tabel 54. Kurva Standar MB (penggunaan ulang)	114
Tabel 55. Adsorpsi zat warna MB dalam penggunaan ulang.....	115
Tabel 56. Kurva Standar MB (mekanisme adsorpsi).....	116
Tabel 57. Data perhitungan adsorpsi MB yang teradsorpsi pada adsorben HAS dan HASM	116
Tabel 58. Data perhitungan desorpsi pada MB	117

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. <i>Nannochloropsis</i> sp.	7
Gambar 2. Struktur Silika Gel.....	11
Gambar 3. Struktur Tetraetilortosilikat (TEOS).....	13
Gambar 4. Serbuk Metilen Biru	14
Gambar 5. Struktur Kimia Molekul Metilen Biru	14
Gambar 6. Serbuk Kristal Violet	15
Gambar 7. Struktur Kimia Molekul Kristal Violet	15
Gambar 8. Model Isoterm Adsorpsi Langmuir	25
Gambar 9. Model Isoterm Adsorpsi Freundlich.....	27
Gambar 10. Klasifikasi Panjang Gelombang untuk Warna Spektrum Tertentu ...	32
Gambar 11. Diagram Alir Penelitian	42
Gambar 12. Hasil sintesis (a) HAS <i>Nannochloropsis</i> sp., (b) magnetit, (c) HASM <i>Nannochloropsis</i> sp.	43
Gambar 13. Spektra IR (a) alga, (b) silika, (c) HAS, dan (d) HASM.....	44
Gambar 14. Difaktogram dari (a) magnetit, (b) HAS, dan (c) HASM	48
Gambar 15. Mikrograf SEM dan Spektrum EDX (a) dan (d) magnetit, (b) dan (e) HAS, (c) dan (f) HASM.....	50
Gambar 16. Nilai PZC adsorben (a) HAS, dan (b) HASM.....	52
Gambar 17. Kurva pengaruh waktu pada adsorben HAS dan HASM dalam campuran pasangan larutan MB dan KV	53

Gambar 18. Kurva pengaruh waktu pada adsorben HAS dan HASM dalam larutan multikomponen	53
Gambar 19. Kinetika pseudo orde satu pada adsorben HAS dan HASM dalam campuran pasangan larutan MB dan KV	55
Gambar 20. Kinetika pseudo orde satu pada adsorben HAS dan HASM dalam larutan multikomponen	55
Gambar 21. Kinetika pseudo orde dua pada adsorben HAS dan HASM dalam campuran pasangan larutan MB dan KV	56
Gambar 22. Kinetika pseudo orde dua pada adsorben HAS dan HASM dalam larutan multikomponen	57
Gambar 23. Jumlah a) MB dan b) KV terdasorpsi pada HAS dan HASM dalam campuran MB dan KV dengan variasi konsentrasi 0,1-0,5 mmol L ⁻¹	59
Gambar 24. Jumlah a) MB, b) KV, dan c) Cu(II) terdasorpsi pada HAS dan HASM dalam larutan multikomponen dengan variasi konsentrasi 0,1-0,5 mmol L ⁻¹	60
Gambar 25. Pola isoterm adsorpsi (a) Langmuir, (b) Freundlich pada adsorben HAS dan HASM dalam campuran pasangan larutan MB dan KV	62
Gambar 26. Pola isoterm adsorpsi (a) Langmuir, (b) Freundlich pada adsorben HAS dan HASM dalam campuran multikomponen	63
Gambar 27. Grafik jumlah MB yang teradsorpsi pada adsorben HAS dan HASM dengan 5 kali pengulangan.....	65
Gambar 28. Grafik persen adsorpsi dan desorpsi MB dalam adsorben (a) HAS, (b) HASM.....	66
Gambar 29. Panjang Gelombang Maksimum Metilen Biru.....	79
Gambar 30. Panjang Gelombang Maksimum Kristal Violet	79
Gambar 31. Kurva Standar MB (variasi waktu).....	80
Gambar 32. Kurva Standar KV (variasi waktu)	81
Gambar 33. Kurva Standar Cu(II) (variasi waktu)	81
Gambar 34. Pola kinetika pseudo orde satu MB pada adsorben HAS dan HASM dalam pasangan campuran larutan MB dan KV	86

Gambar 35. Pola kinetika pseudo orde satu KV pada adsorben HAS dan HASM dalam pasangan campuran larutan MB dan KV.....	87
Gambar 36. Pola kinetika pseudo orde satu MB pada adsorben HAS dan HASM dalam campuran multikomponen	87
Gambar 37. Pola kinetika pseudo orde satu KV pada adsorben HAS dan HASM dalam campuran multikomponen	87
Gambar 38. Pola kinetika pseudo orde satu Cu(II) pada adsorben HAS dan HASM dalam campuran multikomponen	88
Gambar 39. Pola kinetika pseudo orde dua MB pada adsorben HAS dan HASM dalam pasangan campuran larutan MB dan KV.....	93
Gambar 40. Pola kinetika pseudo orde dua KV pada adsorben HAS dan HASM dalam pasangan campuran larutan MB dan KV.....	93
Gambar 41. Pola kinetika pseudo orde dua MB pada adsorben HAS dan HASM dalam campuran multikomponen	94
Gambar 42. Pola kinetika pseudo orde dua kristal violet pada adsorben HAS dan HASM dalam campuran multikomponen.....	94
Gambar 43. Pola kinetika pseudo orde dua Cu(II) pada adsorben HAS dan HASM dalam campuran multikomponen	95
Gambar 44. Kurva Standar Metilen Biru (variasi konsentrasi).....	97
Gambar 45. Kurva Standar Kristal Violet (variasi konsentrasi).....	98
Gambar 46. Kurva Standar Cu(II) (variasi konsentrasi)	98
Gambar 47. Pola isoterm adsorpsi Langmuir MB pada adsorben HAS dan HASM dalam pasangan campuran larutan MB dan KV.....	100
Gambar 48. Pola isoterm adsorpsi Langmuir KV pada adsorben HAS dan HASM dalam pasangan campuran larutan MB dan KV.....	101
Gambar 49. Pola isoterm adsorpsi Langmuir MB pada adsorben HAS dan HASM dalam larutan multikomponen.....	102
Gambar 50. Pola isoterm adsorpsi Langmuir KV pada adsorben HAS dan HASM dalam larutan multikomponen.....	103
Gambar 51. Pola isoterm adsorpsi Langmuir Cu(II) pada adsorben HAS dan HASM dalam larutan multikomponen	104

Gambar 52. Pola isoterm adsorpsi Freundlich MB pada adsorben HAS dan HASM dalam pasangan campuran larutan MB dan KV.....	107
Gambar 53. Pola isoterm adsorpsi Freundlich KV pada adsorben HAS dan HASM dalam pasangan campuran larutan MB dan KV.....	108
Gambar 54. Pola isoterm adsorpsi Freundlich MB pada adsorben HAS dan HASM dalam larutan multikomponen.....	109
Gambar 55. Pola isoterm adsorpsi Freundlich KV pada adsorben HAS dan HASM dalam larutan multikomponen.....	110
Gambar 56. Pola isoterm adsorpsi Freundlich Cu(II) pada adsorben HAS dan HASM dalam larutan multikomponen	111
Gambar 57. Kurva Standar MB (penggunaan ulang)	114
Gambar 58. Kurva Standar MB (mekanisme adsorpsi)	116
Gambar 59. Adsorpsi campuran MB dan KV dengan variasi waktu 15-120 menit (a) HAS, (b) HASM	118
Gambar 60. Adsorpsi multikomponen dengan variasi waktu 15-120 menit (a) HAS, (b) HASM	118
Gambar 61. Adsorpsi campuran MB dan KV dengan variasi konsentrasi 0,1-0,5 mmol L ⁻¹ (a) HAS, (b) HASM	119
Gambar 62. Adsorpsi multikomponen dengan variasi konsentrasi 0,1-0,5 mmol L ⁻¹ (a) HAS, (b) HASM	119
Gambar 63. Penggunaan ulang MB dengan pengulangan 1-5 dengan adsorben HAS.....	119
Gambar 64. Penggunaan ulang MB dengan pengulangan 1-5 dengan adsorben HASM	120
Gambar 65. Mekanisme Adsorpsi MB (a) HAS, (b) HASM	120

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan bidang industri yang semakin meningkat memberikan dampak negatif terhadap lingkungan, seperti terjadinya peningkatan pencemaran yang terjadi dalam lingkungan air terutama berasal dari pembuangan zat warna tekstil dan logam berat. Zat warna tekstil umumnya dibuat dari senyawa azo dan turunannya dari gugus benzen. Gugus benzen sangat sulit didegradasi, sehingga dibutuhkan waktu yang cukup lama untuk mendegradasi gugus tersebut. Senyawa azo bila terlalu lama berada dilingkungan akan menjadi sumber penyakit karena bersifat karsinogenik dan mutagenik (Seshandri *et al.*, 1994; Sen dan Demirer, 2003; Jayganes *et al.*, 2017).

Beberapa zat warna yang dapat mencemari lingkungan seperti metilen biru dan kristal violet. Metilen biru dan kristal violet merupakan zat warna dasar dalam proses pewarnaan kulit, kain mori dan kain katun karena harganya yang relatif murah dan mudah diperoleh (Hamdaoui *and* Chiha, 2006; Hameed *and* Ahmad, 2007). Apabila terkena paparan metilen biru secara berlebihan dapat meningkatkan detak jantung, muntah, *shock*, dan jaringan nekrosis pada manusia. Sedangkan apabila terkena paparan kristal violet dapat menyebabkan iritasi kulit dan saluran pencernaan, selain itu bersifat

non-biodegradable dan berada dalam lingkungan dalam waktu yang lebih lama (Benjelloun *et al.*, 2017).

Selain zat warna tekstil terdapat logam berat yang dapat mencemari lingkungan perairan, seperti logam Cu. Logam Cu biasanya berasal dari limbah kerajinan perak, industri pelapisan logam, industri baterai, industri cat, dan industri pestisida. Keberadaan logam Cu dalam perairan dapat menyebabkan bahaya bagi lingkungan baik itu hewan, tumbuhan, maupun manusia apabila dikonsumsi terus-menerus akan terakumulasi dan menimbulkan keracunan (Inglezakis *et al.*, 2003; Palar, 2004). Pada manusia kandungan logam Cu dalam dosis tinggi dapat menyebabkan gejala ginjal, hati, muntaber, pusing, lemah, anemia, koma, dan dapat menyebabkan penderita meninggal. Pada dosis rendah dapat menimbulkan rasa kesat, warna dan korosi pada pipa, sambungan, dan peralatan dapur.

Beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengurangi pencemaran akibat limbah cair seperti metode presipitasi, pertukaran ion, koagulasi, kompleksasi maupun adsorpsi. Dari beberapa metode tersebut, adsorpsi merupakan metode yang paling sering digunakan untuk mengurangi pencemaran lingkungan (Buhani *et al.*, 2017; Buhani *et al.*, 2012; Buhani *et al.*, 2010). Metode adsorpsi ini digunakan karena prosesnya sangat sederhana, biaya yang digunakan cukup murah, dan ramah lingkungan (Gupta, *et al.*, 2006). Proses adsorpsi biasanya menggunakan adsorben berupa karbon aktif, silika gel, alumina serta zeolit. Saat ini telah dikembangkan adsorben alternatif yang berasal dari alam seperti biomassa alga karena efektif untuk mengurangi

masalah pencemaran yang ada di lingkungan perairan dan lebih ekonomis (Haris *and* Ramelow, 1990; Suharso *et al.*, 2010). Karena biomassa alga mengandung beberapa gugus fungsi yang dapat berperan sebagai ligan terhadap ion logam (Gupta *and* Rastogi, 2008; Buhani *and* Suharso, 2009).

Pada penelitian ini digunakan biomassa *Nannochloropsis* sp. yang merupakan jenis alga hijau bersel satu yang dapat berfungsi sebagai adsorben terutama untuk mengikat ion-ion logam dengan kemampuan adsorben yang cukup tinggi. Menurut Sembiring dkk (2008) kemampuan tersebut diperoleh karena biomassa alga *Nannochloropsis* sp. memiliki gugus fungsi -COOH yang merupakan penyusun utama dari polisakarida dan terdapat gugus amina yang merupakan penyusun pektin dan protein yang mampu berikatan dengan ion logam. Namun biomassa alga juga memiliki kelemahan seperti berat jenis yang rendah, mudah rusak karena dekomposisi oleh mikroorganisme lain dan juga secara teknik sulit digunakan dalam kolom untuk aplikasinya sebagai adsorben (Buhani *et al.*, 2006; Buhani *et al.*, 2012). Oleh karena itu untuk meningkatkan sifatnya baik secara fisik maupun kimia perlu dilakukan immobilisasi (Buhani *and* Suharso, 2009).

Silika gel merupakan salah satu matriks pendukung yang banyak digunakan pada proses adsorpsi karena stabil pada kondisi asam, memiliki karakteristik pertukaran massa yang tinggi, porositas dan luas permukaan spesifik serta memiliki daya tahan tinggi terhadap panas. Silika gel juga memiliki gugus aktif berupa gugus silanol (≡SiOH) dan siloksan (≡Si-O-Si≡) pada permukaanya (Buhani *et al.*, 2009), sehingga dapat berikatan secara kimia

dengan gugus-gugus fungsi yang terdapat pada biomassa alga. Adanya gugus -OH memberikan peluang secara luas untuk memodifikasi gugus tersebut menjadi gugus lain yang lebih aktif (Buhani and Suharso, 2010). Selanjutnya biomassa alga dilapisi menggunakan magnetit (Fe_3O_4). Metode ini cukup baik untuk mengatasi gumpalan padatan tersuspensi (*flocculant*) dalam limbah industri yang diolah.

Saat ini, sintesis dari adsorben menggunakan teknik pelapisan magnetit magnet telah dikembangkan karena peningkatan kualitas adsorben dapat dilakukan dengan pelapisan magnet pada silika sebagai matriks pendukung. Diharapkan dengan menggunakan teknik pelapisan magnetit (Fe_3O_4) ini dapat meningkatkan kualitas fisik dan laju adsorpsinya sehingga dapat digunakan sebagai adsorben yang efektif terhadap larutan multikomponen (Buhani *et al.*, 2017; Buhani *et al.*, 2011; Jeon, 2011; Lin *et al.*, 2011; Peng *et al.*, 2010).

Pada penelitian ini akan dilakukan modifikasi biomassa alga *Nannochloropsis* sp. dengan modifikasi silika yang dilapisi oleh magnetit (Fe_3O_4) sebagai adsorben larutan multikomponen (ion Cu(II) , metilen biru, dan kristal violet). Larutan multikomponen dipilih karena pencemaran pada perairan tidak hanya diakibatkan oleh limbah zat tekstil, melainkan juga dapat berasal dari limbah logam berat.

B. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sintesis dan karakterisasi hibrida alga silika (HAS) dan hibrida alga silika-magnetit (HASM) *Nannochloropsis* sp.

2. Menentukan nilai Zeta Potensial untuk mempelajari pengaruh pH pada muatan permukaan hibrida alga silika (HAS) dan hibrida alga silika-magnetit (HASM) *Nannochloropsis* sp.
3. Mempelajari pengaruh waktu dan konsentrasi larutan multikomponen terhadap adsorben hibrida alga silika (HAS) dan hibrida alga silika-magnetit (HASM) *Nannochloropsis* sp.
4. Mempelajari kemampuan penggunaan ulang dan mekanisme adsorpsi dari adsorben hibrida alga silika (HAS) dan hibrida alga silika-magnetit (HASM) *Nannochloropsis* sp.

C. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah untuk memberikan informasi tentang hasil modifikasi dari hibrida alga *Nannochloropsis* sp. silika dengan pelapisan magnetit sehingga dapat digunakan sebagai adsorben dan dapat membantu mengurangi pencemaran zat warna tekstil serta logam berat di lingkungan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Biomassa Alga

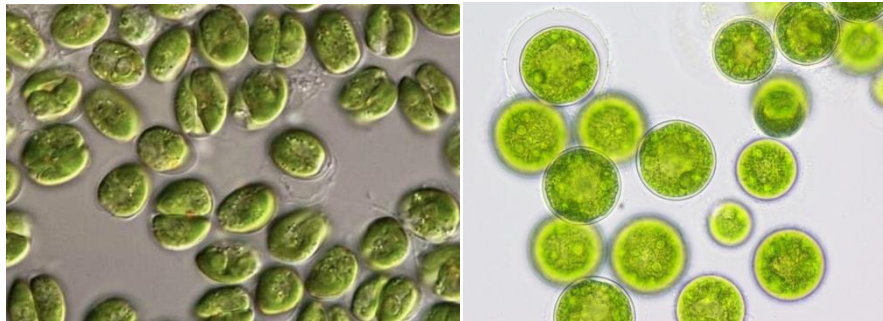
Alga merupakan organisme berklorofil, tubuhnya merupakan thalus (uniselular dan multiselular), alat reproduksi pada umumnya berupa sel tunggal, meskipun ada juga alga yang alat reproduksinya tersusun dari banyak sel (Sulisetijono, 2009). Makro alga laut ini tidak mempunyai akar, batang, dan daun sejati yang kemudian disebut dengan thalus, karenanya secara taksonomi dikelompokkan ke dalam Divisi Thallophyta. Tiga kelas cukup besar dalam Divisi ini adalah Chlorophyta (alga hijau), Phaephyta (alga coklat), Rhodophyta (alga merah) (Waryono, 2001).

Chlorophyta (alga hijau) merupakan kelompok terbesar dari vegetasi alga. Salah satu alga dari kelas Chlorophyta adalah alga *Nannochloropsis* sp. Alga *Nannochloropsis* sp. merupakan jenis alga hijau bersel satu yang dapat dimanfaatkan untuk mengadsorpsi ion-ion logam. Kemampuan adsorpsinya cukup tinggi karena di dalam alga *Nannochloropsis* sp. terdapat gugus fungsi amina, amida dan karboksilat yang dapat berikatan dengan ion logam (Putra, 2007). Sel *Nannochloropsis* sp. berukuran 2-4 μm , berwarna hijau, bentuk bulat memanjang. Dinding sel *Nannochloropsis* sp. terbuat dari komponen selulosa yang kuat dan merupakan karbohidrat kompleks yang bermanfaat

untuk mengikat zat-zat toksik sehingga dapat dikeluarkan dari dalam tubuh serta mempunyai kemampuan mengikat aktivitas sistem kekebalan tubuh (Waggoner dan Speer, 1999).

Menurut Adehoog dan Fitzsimmons (2001) klasifikasi *Nannochloropsis* sp. adalah sebagai berikut:

Divisi : Chromophyta
Kelas : Eustigmatophyceae
Ordo : Eustigmatales
Faimili : Eustigmataceae
Genus : *Nannochloropsis*
Spesies : *Nannochloropsis* sp.



Gambar 1. *Nannochloropsis* sp.

Saat ini telah dikembangkan adsorben yang berasal dari biomassa alga karena efektif untuk mengurangi masalah pencemaran yang ada di lingkungan perairan (Haris dan Ramelow, 1990). Karena biomassa alga mengandung beberapa gugus fungsi yang dapat berperan sebagai ligan terhadap ion logam (Gupta and Rastogi, 2008; Buhani and Suharso, 2009).

Menurut Sembiring dkk. (2008) mengungkapkan bahwa alga *Nannochloropsis* sp. dapat digunakan sebagai biosorben karena memiliki toleransi yang tinggi terhadap logam berat dan tidak memiliki proteksi khusus untuk masuknya logam berat kedalam sel. Gugus fungsional yang utama bertindak sebagai ligan yaitu -COOH yang merupakan penyusun utama dari polisakarida dan juga gugus amina sebagai penyusun pektin dan protein berada pada alga *Nannochloropsis* sp. yang mampu berikatan dengan baik pada ion logam seperti Cu, Pb, dan Cd.

Namun, biomassa alga juga memiliki kelemahan seperti berat jenis yang rendah, mudah rusak karena dekomposisi oleh mikroorganisme lain dan juga secara teknik sulit digunakan dalam kolom untuk aplikasinya sebagai adsorben (Buhani *et al.*, 2006; Buhani *et al.*, 2012). Oleh karena itu, dilakukan immobilisasi untuk meningkatkan sifatnya baik secara fisik maupun kimia (Buhani *and* Suharso, 2009).

B. Silika Gel

Silika gel merupakan suatu bentuk dari silika yang dihasilkan melalui penggumpalan sol natrium silikat (Na_2SiO_3). Sol mirip agar-agar ini dapat didehidrasi sehingga berubah menjadi padatan atau butiran mirip kacang yang bersifat tidak elastis. Sifat ini menjadikan silika gel dimanfaatkan sebagai zat penyerap, pengering, dan penopang katalis. Dalam proses adsorpsi, silika gel merupakan salah satu yang paling sering digunakan sebagai adsorben. Hal ini disebabkan oleh mudahnya silika untuk diproduksi dan dapat dengan mudah dimodifikasi (Fahmiati dkk., 2004).

Gel silika adalah butiran seperti kaca dengan bentuk yang sangat berpori, silika dibuat secara sintesa dari natrium silikat. Walaupun namanya gel, namun gel silika berbentuk padatan. Gel silika adalah mineral alami yang dimurnikan dan diolah menjadi salah satu bentuk butiran atau manik-manik, berukuran pori rata-rata 2,4 nm dan memiliki afinitas yang kuat untuk molekul air. Silika gel mencegah terjadinya kelembaban yang berlebihan. Menurut Scott (1993), pembuatan silika gel dapat dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu :

- a. Pembentukan natrium silikat (Na_2SiO_3) dari reaksi SiO_2 dengan NaOH
- b. Reaksi pembentukan silikat Hidrosol dari reaksi antara Na_2SiO_3 dengan asam
- c. Reaksi pembentukan silika hidrogel, yaitu polimerisasi asam silikat 4.
Pemanasan silika hidrogel menghasilkan silika gel.

Silika gel memiliki ketidakaturan susunan permukaan tetrahedral SiO_4 yang menyebabkan jumlah distribusi satuan luas bukan menjadi ukuran kemampuan adsorpsi silika gel walaupun gugus silanol dan siloksan terdapat pada permukaan silika gel. Kemampuan adsorpsi silika gel ternyata tidak sebanding dengan jumlah gugus silanol dan siloksan yang ada pada permukaan silika gel, namun bergantung pada distribusi gugus $-\text{OH}$ per satuan luas adsorben (Oscik, 1982).

Namun, dalam penggunaannya silika gel memiliki kelemahan seperti pada rendahnya efektivitas dan selektivitas permukaan dalam berinteraksi dengan ion logam berat sehingga silika gel tidak mampu berfungsi sebagai adsorben

yang efektif untuk ion logam berat. Hal ini terjadi karena situs aktif yang ada hanya berupa gugus silanol (Si-OH) dan siloksan (Si-O-Si). Akan tetapi, kekurangan ini dapat diatasi dengan modifikasi permukaan dengan menggunakan situs aktif yang sesuai untuk mengadsorpsi ion logam berat yang dikehendaki (Nuzula, 2004).

Oleh karena itu, perlu ditambahkan gugus aktif tertentu pada permukaan silika gel dengan memodifikasi dengan penambahan gugus fungsional organik yang mampu sebagai pengompleks logam-logam berat atau zat warna baik secara langsung maupun menggunakan perantara suatu senyawa organosilan. Modifikasi silika dilakukan dengan mendesain molekul menggunakan agen suatu senyawa organosilan sebagai prekursor untuk membentuk permukaan baru pada silika gel yang mengandung molekul organik (Filha *et al.*, 2006).

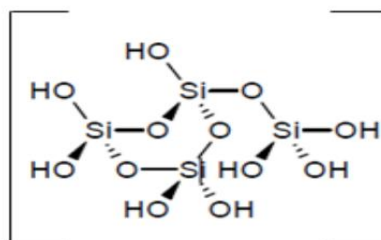
C. Proses Sol-Gel

Proses sol-gel adalah pembentukan jaringan oksida dengan reaksi polikondensasi yang progresif dari molekul prekursor dalam medium air. Proses sol-gel juga diartikan sebagai proses larutan serbaguna yang awalnya digunakan dalam pembuatan material anorganik seperti gelas dan keramik dengan kemurnian dan homogenitas yang tinggi. Proses ini meliputi transisi sistem dari fasa larutan “sol” menjadi fasa padat “gel” (Schubert *and* Husing, 2000). Beberapa keunggulan teknik sol-gel antara lain, homogen, memiliki kemurnian tinggi, dapat dipreparasi pada temperatur rendah, bercampur dengan baik pada sistem multikomponen, ukuran, bentuk, dan sifat partikel

dapat dikontrol, dan dapat dibuat material hibrida-organik dan dapat digunakan untuk meningkatkan selektivitas dalam kromatografi (Kumar *et al.*, 2008; Buhani *et al.*, 2012).

Menurut Rahman (1995) sol adalah suspensi dari partikel koloid pada suatu cairan atau molekul polimer. Gel dibentuk ketika partikel-partikel koloid bergabung akibat gaya permukaan yang membentuk suatu jaringan dan molekul-molekul polimer saling bersilangan. Proses sol-gel berlangsung melalui langkah-langkah sebagai berikut:

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



Gambar 2. Struktur Silika Gel (Handoyo, 2000).

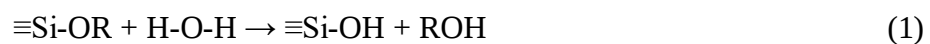
Farook *and* Ravendran (2000) melaporkan bahwa melalui polimerisasi kondensasi akan terbentuk dimer, trimer, dan seterusnya sehingga membentuk bola- bola polimer. Hingga pada ukuran tertentu dengan diameter sekitar 1,5 nm dan disebut sebagai partikel silika primer. Gugus silanol permukaan partikel bola polimer yang berdekatan disertai pelepasan air sampai terbentuk partikel sekunder dengan diameter sekitar 4,5 nm

mengakibatkan proses kondensasi. Pada tahap ini larutan mulai menjadi gel ditandai dengan bertambahnya viskositas. Gel yang dihasilkan masih sangat lunak dan tidak kaku yang disebut *alkogel*.

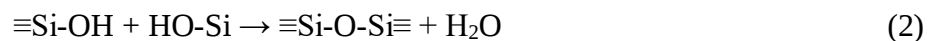
Tahap selanjutnya yaitu proses pembentukan gel dimana kondensasi antara bola-bola primer terus berlangsung membentuk ikatan siloksan menyebabkan menurunnya jari-jari partikel sekunder dari 4,5 nm menjadi 4 nm dan akan teramati penyusutan *alkogel* yang diikuti dengan berlangsungnya eliminasi larutan garam. Tahap akhir pembentukan silika gel adalah *xerogel* yang merupakan fasa silika yang telah mengalami pencucian dan pemanasan. Pemanasan pada suhu 110 °C mengakibatkan dehidrasi pada *hidrogel* dan terbentuknya silika gel dengan struktur $\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ dengan produk akhir yang diperoleh berupa bahan *amorf* dan kertas yang disebut silika gel kering (Enymia dan Sulistriani, 1998; Kalapathy *et al.*, 2000).

Adapun reaksi pada proses sol-gel dapat dilihat pada persamaan berikut:

1. Reaksi Hidrolisis



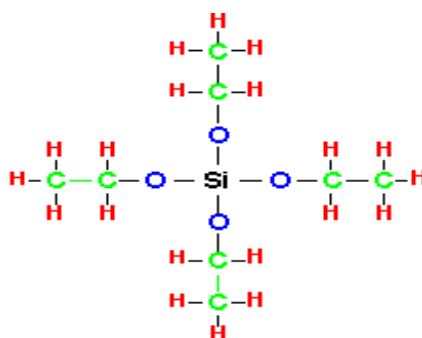
2. Reaksi Polikondensasi



Untuk membuat sol-gel dapat menggunakan bahan dasar berupa logam alkoksida seperti tetraetilortosilikat (TEOS). Keunggulan dari TEOS yaitu mudah terhidrolisis oleh air dan mudah digantikan oleh gugus -OH.

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

dengan gugus alkoksida non-hidrolisis untuk membentuk ikatan siloksan (Si-O-Si). Reaksi hidrolisis dan kondensasi ini terus berlanjut hingga viskositas larutan meningkat dan membentuk gel. Senyawa TEOS dapat ditunjukkan pada Gambar 3.



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

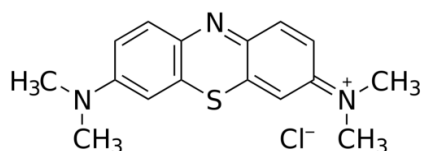
D. Metilen Biru

Metilen biru merupakan zat warna dasar dalam proses pewarnaan kulit, kain mori, dan kain katun karena harganya yang relatif murah dan mudah diperoleh (Hamdaoui *and* Chiha, 2006; Hameed *and* Ahmad, 2007). Metilen biru yang memiliki rumus kimia $C_{16}H_{18}ClN_3S$ merupakan senyawa hidrokarbon aromatik yang beracun dan merupakan zat warna kationik dengan daya adsorpsi yang sangat kuat. Metilen biru umumnya digunakan sebagai pewarna sutra, wol, tekstil, kertas, peralatan kantor, dan kosmetik. Senyawa ini berupa kristal berwarna hijau gelap. Metilen biru bila dilarutkan dalam air atau alkohol akan menghasilkan larutan berwarna biru. Metilen biru memiliki berat molekul $319,86 \text{ g mol}^{-1}$, dengan titik lebur 105°C dan daya larut sebesar $4,36 \times 10^4 \text{ mg L}^{-1}$ (Endang, 2006).



Gambar 4. Serbuk Metilen Biru

Struktur kimia dari molekul metilen biru dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Struktur Kimia Molekul Metilen Biru (Trisnawati, 2008).

Apabila terkena paparan metilen biru secara berlebihan dapat meningkatkan detak jantung, muntah, *shock*, dan jaringan nekrosis pada manusia

E. Kristal Violet

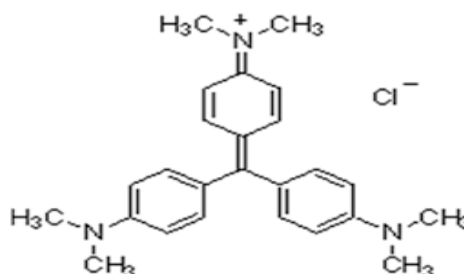
Kristal violet adalah salah satu dari pewarna sintesis yang berupa pewarna kationik yang dapat dengan mudah berinteraksi dengan sel-sel bermuatan negatif permukaan membran, masuk kedalam sel dan dapat terakumulasi dalam sitoplasma (Rajeswari *et al.*, 2017). Kristal violet adalah anggota dari kelompok trifenilmetana. 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 $407,98 \text{ g mol}^{-1}$. Daya serap maksimum berkisar antara 589-594 nm. Meskipun kristal violet merupakan

pewarna karsinogenik, namun masih banyak digunakan sebagai noda biologis untuk mengidentifikasi sidik jari berdarah menjadi pewarna protein, sebagai agen dermatologis dan digunakan dalam berbagai operasi tekstil komersial. Hal ini juga digunakan dalam pewarnaan Gram untuk demonstrasi dan klasifikasi utama dari pewarna. Banyak peneliti telah melaporkan bahwa kristal violet bisa menyebabkan efek karsinogenik, merupakan racun bagi sel-sel mamalia dan juga bersifat mutagenik (Jayganes *et al.*, 2017), juga dapat menyebabkan iritasi kulit dan saluran pencernaan. Kristal violet juga bersifat *non-biodegradable* dan tetap dalam lingkungan untuk waktu yang lebih lama (Benjelloun *et al.*, 2017). Daya serap maksimum berkisar antara 589-594 nm.



Gambar 6. Serbuk Kristal Violet

Struktur kimia dari molekul kristal violet dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Struktur Kimia Molekul Metilen Biru.

F. Ion Logam Cu(II)

Logam berat yang dapat mencemari lingkungan perairan baik berasal dari industri maupun rumah tangga seperti Timbal (Pb), Magnesium (Mg), Kalsium (Ca), Nikel (Ni), dan Tembaga (Cu) (Heriyanto, 2011). Logam Cu, Pb, dan Cd termasuk kedalam beberapa elemen logam berat yang merupakan polutan perairan yang berbahaya menurut *United State Environmetal Agency* (USEPA) (Suhendaryatna, 2001). Salah satu logam berat yang dapat mencemari lingkungan perairan yaitu logam Cu. Limbah logam Cu biasanya diperoleh dari industri kerajinan perak, industri pelapisan logam, industri baterai, industri cat, dan industri pestisida.

Keberadaan logam Cu dalam perairan dapat menyebabkan bahaya bagi lingkungan baik itu hewan, tumbuhan, maupun manusia. Apabila air di permukaan telah tercemar logam Cu dan air tersebut di konsumsi dan masuk kedalam tubuh manusia, maka akan terakumulasi terus-menerus dan menimbulkan keracunan (Inglezakis *et al.*, 2003; Palar, 2004). Toksisitas yang dimiliki oleh logam Cu akan terlihat ketika logam tersebut telah masuk kedalam tubuh dalam jumlah yang cukup besar. Pada manusia kandungan logam Cu dalam dosis tinggi dapat menyebabkan gejala ginjal, hati, muntaber, pusing, lemah, anemia, koma, dan dapat menyebabkan penderita meninggal. Dalam dosis rendah dapat menimbulkan rasa kesat, warna dan korosi pada pipa, sambungan, dan peralatan dapur.

Pada tabel periodik, Cu menempati posisi dengan nomor atom 29 dan mempunyai massa atom relatif (Ar) 63,546. Cu terdapat dalam keadaan

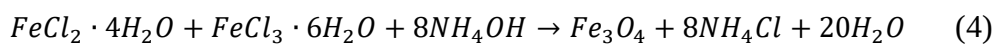
oksidasi +1 (kupro) dan +2 (kupri). Konfigurasi dari logam Cu(II) adalah $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^1$. Pada manusia efek keracunan utama yang ditimbulkan oleh Cu adalah terjadinya gangguan pada jalur pernapasan. Selain itu, keracunan Cu secara kronis dapat dilihat dengan timbulnya penyakit Wilson dan Kinsky. Gejala dari penyakit Wilson adalah terjadi kerusakan otak serta terjadinya penurunan kerja ginjal dan pengendapan Cu dalam kornea mata. Sedangkan untuk penyakit Kinsky dapat dilihat dengan terbentuknya rambut yang kaku dan berwarna kemerahan pada penderita (Palar, 1994).

G. Magnetit (Fe_3O_4)

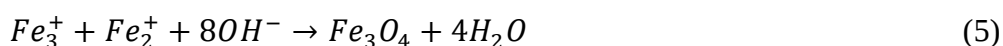
Magnetit (Fe_3O_4) atau biasa dikenal sebagai oksida besi berwarna hitam (*black iron oxide*) atau *ferrous ferrite* yang merupakan oksida logam yang paling kuat sifat magnetisnya (Teja and Koh, 2008). Magnetit merupakan salah satu bentuk oksida besi di alam selain maghemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) dan hematite ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$). Magnetit yang berukuran nano banyak dimanfaatkan pada proses-proses industri (misalnya sebagai tinta cetak, pigmen pada kosmetik) dan pada penanganan masalah-masalah lingkungan (misalnya sebagai *magnetic carrier precipitation process* untuk menghilangkan anion ataupun ion logam dari air dan air limbah). Nanopartikel magnetit juga dimanfaatkan dalam bidang biomedis baik secara *in vivo* (di dalam tubuh) maupun *in vitro* (di luar tubuh), misalnya sebagai agen magnetis pada aplikasi-aplikasi *biomolecule separation, drug delivery system, hyperthermia*

therapy, ataupun sebagai *contras agent* pada *magnetic Resonance Imaging* (Cabrera *et al.*, 2008).

Menurut Dung *et al* (2009), Fe_3O_4 dapat dihasilkan dari endapan campuran $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dalam suasana basa (dengan kehadiran NH_4Cl). Magnetit juga merupakan oksida besi yang mudah disintesis dalam skala laboratorium menggunakan reagen kimia $[\text{Fe}^{3+}]$ dan $[\text{Fe}^{2+}]$ pada umumnya (Alorro *et al.*, 2010). Adapun reaksi adalah sebagai berikut:



Secara umum reaksinya:



H. Penentuan *Zero Point Charge* (ZPC)

Menurut Bohn *et al.* (1979) *Zero Point of Charge* (ZPC) atau Muatan Titik Nol (MTN) merupakan muatan tertentu pada saat muatan permukaanya secara elektrik netral atau nol. Muatan permukaan bersih akan menjadi nol jika kerapatan muatan negatif sama dengan kerapatan muatan positif. Nilai pH saat terjadinya kesamaan muatan-muatan tersebut disebut titik isoelektrik atau ZPC (Tan, 1995). Bila pH aktual (pH H_2O) diatas muatan titik nol maka adsorben akan bermuatan negatif sehingga akan mempunyai kemampuan untuk menukarkan kation (mempertukarkan suatu kation positif yang satu dengan yang lainnya), namun sebaliknya adsorben akan mengikat anion (secara elektrostatis) apabila pH dibawah atau lebih rendah dari pada muatan titik nol atau pH_0 yang disebut kapasitas tukar anion (Appel *et al.*, 2002). ZPC

diukur untuk mempelajari pengaruh pH pada muatan permukaan bahan hibrida (Jamwal *et al.*, 2016).

I. Adsorpsi

Adsorpsi adalah suatu proses pemisahan secara selektif terhadap suatu komponen atau zat pengotor (*impurity*) yang terkandung dalam fluida dengan cara mengkontakkan fluida tersebut dengan adsorben padatan (Ho and Kay, 2003). Dalam peristiwa adsorpsi dikenal istilah adsorbat dan adsorben. Adsorbat adalah zat atau molekul yang terserap ke permukaan padatan, sedangkan adsorben adalah zat yang bertindak menyerap molekul atau zat lain (Sukardjo, 1985).

Secara umum adsorpsi dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. Adsorpsi Fisika (Fisorpsi)

Adsorpsi fisika disebabkan oleh gaya *Van der Waals* dimana ketika gaya tarik molekul antara larutan dan permukaan media lebih besar dari pada gaya tarik substansi terlarut dan larutan, maka substansi terlarut akan diadsorpsi oleh permukaan media. Adsorpsi fisika memiliki molekul terikat sangat lemah dan energi yang dilepaskan pada adsorpsi fisika relatif rendah sekitar 20 kJ mol^{-1} . Semakin besar luas permukaan maka semakin banyak substansi yang melekat pada permukaan media adsorpsi (Atkins, 1999). Menurut Adamson (1990), adsorpsi fisika umumnya terjadi pada temperatur rendah dan dengan bertambahnya temperatur jumlah adsorpsi berkurang dengan mencolok.

Adsorpsi fisika merupakan suatu peristiwa *reversible*. 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 fisika relatif rendah yaitu berkisar 5-10 kkal g⁻¹mol⁻¹ dan terjadi pada temperatur rendah yaitu di bawah titik didih adsorbat. Hal ini yang menyebabkan kesetimbangan dari proses adsorpsi fisika bersifat *reversible* dan berlangsung sangat cepat (Sukardjo, 1985).

2. Adsorpsi Kimia (Kemisorpsi)

Adsorpsi kimia terjadi karena adanya gaya kimia yang diikuti oleh reaksi kimia. Pada proses adsorpsi ini lapisan yang terbentuk yaitu *monolayer* dengan besarnya energi adsorpsi sekitar 100 kJ mol⁻¹. Ikatan yang terbentuk antara adsorben dan adsorbat adalah ikatan kimia sehingga sangat sulit untuk dilepaskan kembali (*irreversible*) karena ikatan yang terjadi sangat kuat. Kemungkinan pelapisan adsorbat dari adsorben pada adsorpsi kimia sangat kecil (Alberty and Daniel, 1997) karena adsorpsi ini umumnya terjadi pada suhu tinggi diatas suhu kritis adsorbat. Oleh karena itu, diperlukan energi yang besar untuk melakukan proses desorpsi untuk memutuskan ikatan antara adsorben dan adsorbat.

Adapun interaksi antara adsorbat dengan adsorben pada proses adsorpsi dipengaruhi oleh beberapa faktor:

- a. Sifat logam dan ligan

Sifat ion logam seperti:

1. Ukuran ion logam, makin kecil ukuran ion logam maka kompleks yang terbentuk semakin stabil
2. Polarisabilitas ion logam, makin tinggi polarisabilitas ion logam maka kompleks yang terbentuk makin stabil
3. Energi ionisasi, makin tinggi energi ionisasi suatu logam maka kompleks yang terbentuk semakin tinggi

Sifat ligan seperti:

1. Kebasaan, makin kuat basa Lewis suatu ligan maka semakin stabil kompleks yang terbentuk
2. Polarisabilitas dan momen dipol, makin tinggi polarisabilitas suatu ligan maka semakin stabil kompleks yang terbentuk
3. Faktor sterik, tingginya rintangan sterik yang dimiliki oleh ligan akan menurunkan stabilitas kompleks (Huheey *et al.*, 1993).

b. Pengaruh pH sistem

Pada kondisi pH tinggi, maka silika gel akan bermuatan netto negatif (kondisi larutan basa), sedangkan pada pH rendah (kondisi larutan asam) akan bermuatan netto positif sampai netral (Spiakov, 2006).

Pada pH rendah, permukaan ligan cenderung terprotonasi sehingga kation logam juga berkompetisi dengan H^+ untuk terikat pada ligan permukaan. Pada pH tinggi, dimana jumlah ion OH^- besar menyebabkan ligan permukaan cenderung terdeprotonasi sehingga pada

saat yang sama terjadi kompetisi antara ligan permukaan dengan ion OH^- untuk berikatan dengan kation logam (Stum *and* Morgan, 1996).

c. Pelarut

Proses adsorpsi dapat ditinjau melalui sifat kepolaran baik dari adsorben, komponen terlarut maupun pelarutnya. Pada adsorpsi padat cair, mekanisme adsorpsi bergantung pada gaya interaksi antara molekul dari komponen larutan dengan lapisan permukaan adsorben dengan pori-porinya. Pelarut dapat ikut teradsorpsi atau sebaliknya dapat mendorong proses adsorpsi. Didalam pelarut air umumnya zat-zat yang hidrofob dari larutan encer atau cenderung teradsorpsi lebih banyak pada adsorben dibandingkan zat hidrofil (Oscik, 1982).

3. Kinetika Adsorpsi

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

gugus fungsional dan konsentrasi. Tingginya tingkat substitusi gugus fungsional pada polimer *inert* dapat meningkatkan laju reaksi keseluruhan.

Analisa kinetika didasarkan pada kinetika reaksi terutama pseudo orde pertama atau mekanisme pseudo pertama bertingkat. Untuk meneliti mekanisme adsorpsi, konstanta kecepatan reaksi sorpsi kimia, digunakan persamaan sistem pseudo orde pertama oleh Lagergren dan mekanisme pseudo orde kedua (Buhani *et al.*, 2010). Untuk konstanta laju kinetika pseudo orde satu:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1 (q_e - q_t) \quad (6)$$

Dimana q_e adalah jumlah ion yang teradsorpsi (mg g^{-1}) pada waktu keseimbangan, q_t adalah jumlah ion yang teradsorpsi pada waktu t (menit), k_1 adalah konstanta kecepatan adsorpsi (jam^{-1}) integrasi persamaan ini dengan kondisi batas $t = 0$ sampai $t = t$ dan $q_t = q_t$, memberikan:

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (7)$$

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

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2 (q_e - q_t)^2 \quad (8)$$

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

$$\frac{1}{(q_e - q_t)} = \frac{1}{q_e} + k_2 t \quad (9)$$

Dengan k_2 konstanta keseimbangan orde kedua kemisorpsi ($\text{g mg}^{-1}\text{jam}^{-1}$).

Model kinetika orde kedua dapat disusun untuk mendapatkan bentuk

linear:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (10)$$

(Soeprijanto dan Bambang, 2006).

4. Kapasitas Adsorpsi

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

a. Model Adsorpsi Langmuir

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

Model teori isotherm Langmuir dapat dinyatakan dengan persamaan:

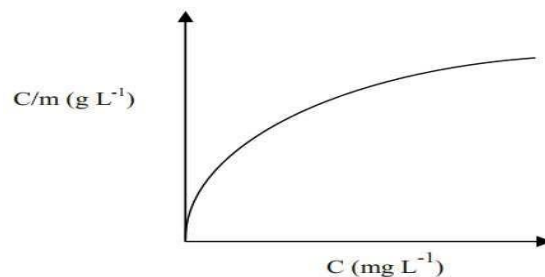
$$\frac{C}{m} = \frac{1}{n_m K} + \frac{1}{n_m} C \quad (11)$$

Dimana C adalah konsentrasi keseimbangan, m adalah jumlah zat yang teradsorpsi per gram adsorben, n_m adalah kapasitas adsorpsi, K adalah tetapan kesetimbangan adsorpsi.

Dengan kurva linier hubungan antara C/m versus C , maka dapat ditentukan nilai n_m dari kemiringan (*slop*) dan K dari intersep kurva. Energi adsorpsi (E_{ads}) yang didefinisikan sebagai energi yang dihasilkan apabila satu mol zat teradsorpsi dalam adsorben dan nilainya ekuivalen dengan nilai negatif dari perubahan energi bebas Gibbs standar ΔG° , dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\Delta G_{ads} = -\Delta G^\circ = R T \ln K \quad (12)$$

dimana R adalah tetapan gas umum ($8,312 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$), T adalah temperatur (K), K adalah tetapan kesetimbangan adsorpsi yang diperoleh dari persamaan Langmuir, E total adalah Energi bebas Gibbs, ΔG sistem negatif artinya adsorpsi berlangsung spontan sehingga dapat dibuat grafik sebagai berikut:



Gambar 8. Model Isotherm Adsorpsi Langmuir (Husin and Rosnelly, 2007).

b. Model Adsorpsi Freundlich

model isotherm Freundlich menjelaskan bahwa proses adsorpsi pada bagian permukaan adalah heterogen dimana tidak semua permukaan adsorben mempunyai daya adsorpsi. Model isotherm Freundlich menunjukkan lapisan adsorben adalah *multilayer*. Hal tersebut berkaitan dengan ciri-ciri dari adsorpsi secara fisika dimana adsorpsi

dapat terjadi pada banyak lapisan (*multilayer*) (Husin and Rosnelly, 2007).

Asumsi yang digunakan:

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

Bentuk persamaan Freundlich adalah sebagai berikut:

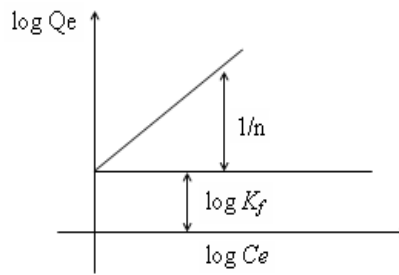
$$Q_e = K_f C_e^{\frac{1}{n}} \quad (13)$$

dimana Q_e adalah banyaknya zat yang terserap per satuan berat adsorben (mol g^{-1}), C_e adalah konsentrasi adsorbat saat kesetimbangan (mol L^{-1}), n adalah kapasitas adsorpsi maksimum (mol g^{-1}), K_f adalah konstanta Freundlich (L mol^{-1}).

Bentuk linear dari persamaan 13 dapat diubah dengan mengambil bentuk logaritmanya:

$$\log Q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (14)$$

Sehingga dapat dibuat grafik sebagai berikut:



Gambar 9. Model Isoterm Adsorpsi Freundlich

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

Selain itu, untuk menentukan jumlah larutan multikomponen yang teradsorpsi, rasio distribusi dan koefisien selektivitas pada proses adsorpsi larutan multikomponen terhadap adsorben alga *Nannochloropsis* sp., HAS, dan HASM dapat digunakan persamaan berikut:

$$Q = \frac{(C_o - C_e)}{W} V \quad (15)$$

$$\%A = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100 \quad (16)$$

dimana Q adalah jumlah adsorbat teradsorpsi (mg g^{-1}), C_o dan C_e adalah konstanta awal dan kesetimbangan dari adsorbat (mmol L^{-1}), W adalah massa adsorben (g), dan V adalah volume adsorbat (L) (Buhani *et al.*, 2009; Buhani *et al.*, 2015).

J. Karakterisasi

1. Spektrofotometer Inframerah (IR)

Analisis spektrofotometri inframerah digunakan untuk penentuan gugus fungsi suatu sample. Dengan spektrofotometri inframerah dapat diketahui gugus-gugus fungsi dari material alga *Nannochloropsis* sp., HAS dan HASM. Spektrofotometer IR adalah spektrofotometer yang memanfaatkan sinar IR dekat, 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 (Khopkar, 2001).

Spektrum inframerah suatu molekul adalah hasil transisi antara tingkat energi getaran (vibrasi) atau osilasi (*oscillation*). Bila molekul menyerap radiasi inframerah, energi yang diserap menyebabkan kenaikan dalam amplitude getaran atom-atom yang terikat itu. Jadi molekul ini berada pada keadaan vibrasi tereksitasi (*excited vibrational state*), energi yang diserap ini akan dibuang dalam bentuk panas bila molekul itu kembali ke keadaan dasar. Panjang gelombang eksak dari absorpsi oleh suatu tipe ikatan bergantung pada macam menyerap radiasi inframerah pada panjang gelombang yang berlainan (Supratman, 2010).

2. *X-Ray Diffraction (XRD)*

Apabila sinar-X monokromatis mengenai material kristal, maka setiap bidang kristal akan memantulkan atau menghamburkan sinar-X sehingga hanya terdapat sinar-X pantulan tertentu saja. *X-Ray Diffraction (XRD)* merupakan suatu teknik yang digunakan untuk menentukan sistem kristal (kubus, tetragonal, ortorombik, rombohedral, heksagonal, monoklin, dan triklin), kualitas kristal (kristal tunggal, polikristalin, dan amorf), simetri kristal, menentukan cacat kristal, mencari parameter kristal (parameter kisi, jarak antar atom, jumlah atom per unit sel), identifikasi campuran dan analisis kimia (Zakaria, 2003). Prinsip kerjanya yaitu ketika sinar-X yang monokromatik jatuh pada sebuah kristal, maka sinar-X tersebut akan dihamburkan ke segala arah, tetapi karena ada keteraturan letak atom-atom dalam kristal maka pada arah tertentu saja gelombang hambur akan berinterferensi konstruktif dan pada arah lainnya akan berinterferensi destruktif (Cullity dan Stock, 2001). Atom-atom dan kristal dapat dipandang sebagai unsur yang membentuk bidang datar yang mempunyai jarak karakteristik antar bidang (West, 1989).

Syarat yang diperlukan agar berkas yang sejajar ketika dihamburkan atom-atom kristal atau 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, yaitu:

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (17)$$

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

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

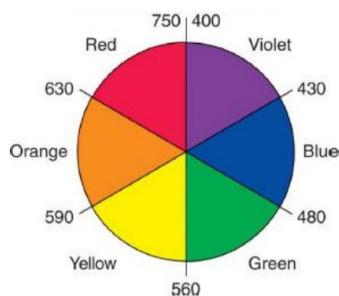
Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan salah satu jenis mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron untuk menggambarkan profil permukaan benda. Prinsip kerja SEM adalah menembakkan permukaan benda dengan berkas elektron berenergi tinggi (Abdullah *et al.*, 2009). Prinsip kerja SEM dengan cara mengalirkan arus pada kawat filament tersebut dan perlakuan pemanasan, sehingga dihasilkan elektron. Elektron tersebut dikumpulkan dengan tegangan tinggi dan berkas elektron difokuskan dengan sederetan lensa elektromagnetik. Ketika berkas elektron mengenai target, informasi dikumpulkan melalui tabung sinar katoda yang mengatur intensitasnya. Setiap jumlah sinar yang dihasilkan dari tabung sinar katoda dihubungkan dengan jumlah target, jika terkena berkas elektron berenergi tinggi dan menembus permukaan target, elektron kehilangan energi, karena terjadi ionisasi atom dari cuplikan padatan. Elektron bebas ini tersebar keluar dari aliran sinar utama sehingga tercipta lebih banyak elektron bebas, dengan demikian energinya habis lalu melepaskan diri dari target. Elektron ini kemudian dialirkan ke unit demagnifikasi dan dideteksi oleh

detektor dan selanjutnya dicatat sebagai suatu foto (Wagiyo *and* Handayani, 1997).

Energy Dispersive X-ray (EDX) adalah salah satu teknik analisis untuk menganalisis unsur atau karakteristik kimia dari spesimen. Karakterisasi ini bergantung pada penelitian dari interaksi beberapa eksitasi sinar-X dengan spesimen. Kemampuan untuk mengkarakterisasi sejalan dengan sebagian besar prinsip dasar yang menyatakan bahwa setiap elemen memiliki struktur atom suatu unsur, sehingga memungkinkan sinar-X untuk mengidentifikasinya (Nurjana, 2015).

4. Spektrofotometer 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 (Fessenden dan Fessenden, 1995). Pada Gambar 10 di paparkan klasifikasi panjang gelombang untuk spektrum warna tertentu.



Gambar 10. Klasifikasi Panjang Gelombang untuk Warna Spektrum Tertentu

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

Ketergantungan ini diekspresikan dalam hukum Lambert-Beer:

$$A = a \cdot b \cdot c \quad (18)$$

(Sastrohamidjojo, 1999).

Fungsi spektrofotometer UV adalah untuk mengukur jumlah ikatan rangkap atau konjugasi aromatik dalam suatu molekul. Spektrofotometri ini secara umum membedakan diena terkonjugasi dari triena dan sebagainya (Fessenden dan Fessenden, 1995).

5. Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)

Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) dapat digunakan untuk mengetahui kadar ion logam yang teradsorpsi maupun yang terdapat dalam adsorben. Ion logam yang teradsorpsi dihitung secara kuantitatif berdasarkan selisih konsentrasi ion logam sebelum dan sesudah adsorpsi (Yuliasari, 2003). 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 di tingkat yang lebih tinggi, sedangkan energi transisi untuk masing-masing unsur adalah sangat khas.

Metode ini sangat tepat untuk analisis zat pada konsentrasi rendah. Teknik ini mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan metode spektroskopi emisi konvensional. Pada metode konvensional emisi tergantung pada sumber eksitasi, bila eksitasi dilakukan secara termal maka akan tergantung pada temperatur sumber (Khopkar, 2001).

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat

Penelitian ini telah dilakukan dari bulan Februari 2019 hingga Mei 2019 di Laboratorium Kimia Anorganik / Fisik FMIPA Universitas Lampung. Pengambilan biomassa alga *Nannochloropsis* sp. dilakukan di 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 *X - Ray Diffraction* (XRD) dilakukan di Laboratorium Institut Teknologi Sepuluh November. Analisis morfologi permukaan dan konstituen unsur menggunakan Spektrofotometer SEM-EDX dilakukan di UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi Universitas Lampung. Analisis zat warna metilen biru dan kristal violet menggunakan Spektrofotometer UV-Vis dilakukan di Laboratorium Biokimia FMIPA Universitas Lampung. Analisis kadar ion logam Cu(II) menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) di Laboratorium Kimia Analitik FMIPA Universitas Gadjah Mada.

B. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain alat-alat gelas dalam laboratorium, spatula, wadah plastik, neraca analitik, pengaduk magnet, *shaker*, batang pengaduk, oven, sentrifugasi, rak reaksi, mortal dan alu, indikator pH, kertas saring, alumunium foil, *X-Ray Diffraction* (XRD) merek Rigaku tipe Miniflex 600, Spektrofotometer UV-Vis merek Agilent tipe Cary 100, Spektrofotometer inframerah (IR) merek 8201 PC Shimadzu, *Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-ray* (SEM-EDX) merek EVO MA 10 dan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) merek Agilent 240 aa.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain biomassa alga *Nannochloropsis* sp., TEOS, $\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, Fe_3O_4 , akuades, NaOH, etanol teknis, HCl, metilen biru, kristal violet, dan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, NH_4OH , HNO_3 , CH_3COOH , buffer posfat, buffer sitrat, NaNO_3 , KNO_3 , $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$, dan Na_2EDTA .

C. Prosedur Penelitian

1. Penyiapan Biomassa Alga *Nannochloropsis* sp.

Biomassa alga *Nannochloropsis* sp. diperoleh dari Balai Besar Pengembangan Budidaya Laut Lampung (BBPBL). Alga yang diperoleh kemudian dikeringkan selama 3 hari. Selanjutnya di oven pada suhu 40 °C selama 2-3 jam kemudian di gerus menggunakan grinding hingga halus dengan ukuran 100 mesh.

2. Sintesis

a. Sintesis Magnetit (Fe_3O_4)

Sebanyak 3,96 g $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dilarutkan dengan 10 mL akuades (Larutan A) dan 1,45 g $\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ dilarutkan dalam 10 mL akuades (Larutan B). Kemudian Larutan A dicampur dengan Larutan B disertai pengadukan dengan pengaduk magnet hingga homogen. Setelah larutan homogen selanjutnya ditambahkan NH_4OH 1 M tetes demi tetes hingga $\text{pH} \pm 10,5$ hingga terbentuk endapan hitam. Endapan hitam yang terbentuk tersebut kemudian disaring dengan kertas saring. Setelah itu endapan dicuci dengan akuades dan etanol (60:40) sampai pH netral ($\text{pH} \approx 7$). Selanjutnya dikeringkan dalam oven dengan suhu 40°C selama 2-3 jam dan digerus menggunakan grinding hingga halus dengan ukuran 100 mesh (Bharathi *et al.*, 2013).

b. Sintesis Hibrida Alga Silika (HAS) *Nannochloropsis* sp.

Sebanyak 5 mL TEOS dan 2,5 mL akuades dicampurkan ke dalam wadah plastik, lalu diaduk dengan pengaduk magnet selama 30 menit dan ditambahkan HCl 1 M hingga pH larutan mencapai pH 2 (Larutan A). Di wadah lain, sebanyak 0,4 g biomassa *Nannochloropsis* sp. dan 5 mL etanol dicampur ke dalam wadah plastik, lalu diaduk dengan pengaduk magnet selama 30 menit (Larutan B). Larutan A dicampur dengan larutan B disertai dengan pengadukan menggunakan pengaduk magnet hingga larutan tersebut menjadi gel dan disaring dengan kertas

saring, lalu didiamkan selama 24 jam. Gel kemudian dibilas dengan menggunakan akuades dan etanol (60:40) hingga pH netral ($\text{pH} \approx 7$). Selanjutnya gel dikeringkan dengan oven pada suhu 40°C selama 2-3 jam dan digerus menggunakan grinding hingga halus dengan ukuran 100 mesh (Buhani *et al.*, 2017).

c. Sintesis Hibrida Alga Silika Magnetit (HASM) *Nannochloropsis* sp.

Sebanyak 5 mL TEOS dan 2,5 mL akuades dicampur kedalam wadah plastik, lalu ditambahkan 0,1 g magnetit dan diaduk dengan pengaduk magnet selama 30 menit. Saat pengadukan ditambahkan HCl 1 M tetes demi tetes hingga pH larutan mencapai pH 2 (Larutan A). Pada wadah lain, sebanyak 0,4 g biomassa *Nannochloropsis* sp. dan 5 mL etanol dicampur ke dalam wadah plastik, lalu diaduk dengan pengaduk magnet selama 30 menit (Larutan B). Larutan A yang telah homogen dicampur dengan larutan B disertai pengadukan menggunakan pengaduk magnet hingga larutan tersebut menjadi gel. Gel yang terbentuk disaring dengan kertas saring, lalu didiamkan selama 24 jam. Gel kemudian dibilas dengan menggunakan akuades dan etanol (60:40) hingga $\text{pH} \approx 7$. Selanjutnya gel dikeringkan dengan oven pada suhu 40°C selama 2-3 jam dan digerus menggunakan grinding hingga halus dengan ukuran 100 mesh (Buhani *et al.*, 2017).

3. Karakterisasi Material

Karakterisasi spektrofotometer IR digunakan untuk mengetahui gugus-gugus fungsi dari biomassa *Nannochloropsis* sp., HAS, dan HASM. XRD dilakukan untuk mengetahui tingkat kekristalan dari magnetit, HAS, dan HASM. Analisis morfologi permukaan dari magnetit, HAS, dan HASM menggunakan alat *Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX). Banyaknya kadar metilen biru dan kristal violet yang dapat teradsorpsi pada adsorben dilakukan dengan analisis menggunakan alat spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum 664 nm untuk metilen biru dan 591 nm untuk kristal violet. Untuk menentukan kadar ion logam yang teradsorpsi oleh adsorben di uji dengan spektrofotometer serapan atom (SSA).

4. Penentuan Nilai Zeta Potensial

Sebanyak 0,05 g adsorben HAS atau HASM masing-masing dimasukkan ke dalam 20 mL larutan NaNO_3 0,1 M dalam 5 erlenmeyer yang berbeda. Setiap erlenmeyer dibuat pH yang berbeda yaitu 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, dan 10. Pengaturan pH dilakukan dengan cara penambahan HCl 0,1 M untuk suasana asam dan NaOH 0,1 M untuk suasana basa. Larutan buffer sitrat digunakan untuk mempertahankan pH asam dengan kisaran pH 2-6. Larutan buffer posfat digunakan untuk mempertahankan pH basa dengan kisaran pH 7-9. Kemudian larutan tersebut diaduk dengan pengaduk selama 24 jam dengan kecepatan 100 rpm. Setelah 24 jam pH larutan kemudian diukur dengan pH meter (Jamwal *et al.*, 2016).

5. Uji Adsorpsi

a. Pembuatan Larutan Induk Kristal Violet dan Metilen Biru dalam bentuk mmol L^{-1}

Sebanyak 1 g serbuk kristal violet, metilen biru, dan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ masing-masing dimasukkan kedalam labu ukur yang berbeda dengan ukuran 1000 mL, kemudian di tambahkan akuades hingga tanda batas lalu dihomogenkan dan terbentuk larutan kristal violet $2,45 \text{ mmol L}^{-1}$, larutan metilen biru $3,13 \text{ mmol L}^{-1}$, dan $1,01 \text{ mmol L}^{-1}$.

b. Kurva Standar

Pembuatan kurva standar dilakukan dengan cara mengukur nilai absorbansi larutan kristal violet dan metilen biru dari konsentrasi $0,1\text{-}0,7 \text{ mmol L}^{-1}$ pada panjang gelombang 591 nm untuk kristal violet dan 664 nm untuk metilen biru. Setelah dilakukan pengukuran absorbansi larutan kristal violet dan metilen biru maka dibuat kurva yang berupa garis lurus hubungan antara absorbansi dan konsentrasi.

c. Pengaruh Waktu Adsorpsi Multikomponen

Sebanyak 0,1 g adsorben HAS atau HASM masing-masing dimasukkan kedalam 5 erlenmeyer yang berbeda. Kemudian ditambahkan larutan metilen biru dan kristal violet dengan pH optimum sebanyak 25 mL dengan konsentrasi $0,5 \text{ mmol L}^{-1}$ ditambahkan ke dalam erlenmeyer. Lalu larutan tersebut diaduk dengan menggunakan pengaduk dengan variasi waktu 15, 30, 60, 90, dan 120 menit dengan kecepatan 100 rpm.

Selanjutnya larutan dan adsorben dipisahkan menggunakan sentrifugasi. Filtrat yang diperoleh dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum 591 nm untuk kristal violet dan 664 nm untuk metilen biru. Prosedur yang sama dilakukan untuk larutan multikomponen. Cu(II) yang teradsorpsi diuji dengan spektrofotometer serapan atom.

d. Pengaruh Konsentrasi Adsorbat

Sebanyak 0,1 g adsorben HAS atau HASM masing-masing dimasukkan kedalam 5 erlenmeyer yang berbeda. Kemudian ditambahkan larutan metilen biru dan kristal violet dengan pH optimum sebanyak 25 mL dengan konsentrasi yang berbeda, yaitu 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; dan 0,5 mmol L⁻¹ ditambahkan ke dalam masing-masing erlenmeyer. Lalu larutan tersebut diaduk dengan menggunakan pengaduk pada waktu optimum dengan kecepatan 100 rpm. Selanjutnya larutan dan adsorben dipisahkan menggunakan sentrifugasi. Filtrat yang diperoleh dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum 664 nm untuk metilen biru dan 591 nm untuk larutan kristal violet. Prosedur yang sama dilakukan untuk larutan multikomponen. Cu(II) yang teradsorpsi diuji dengan spektrofotometer serapan atom.

6. Uji Penggunaan Ulang Adsorben

Sebanyak 0,1 g adsorben HAS dan HASM masing-masing dimasukkan kedalam erlenmeyer yang berbeda. Kemudian ditambahkan 20 mL larutan

metilen biru dengan pH dan konsentrasi optimum. Lalu larutan tersebut diaduk menggunakan pengaduk pada waktu optimum dengan kecepatan 100 rpm. Selanjutnya larutan dan adsorben sentrifugasi dan dipisahkan dengan cara dekantasi. Filtrat yang diperoleh dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum 664 nm. Sedangkan endapan yang diperoleh digunakan kembali untuk melepaskan zat warna yang teradsorpsi pada adsorben dengan menggunakan eluen berupa 25 mL larutan HCl 0,1 M. Setelah dicuci dengan akuades sampai netral, kemudian adsorben digunakan lagi untuk mengadsorpsi zat warna metilen biru.

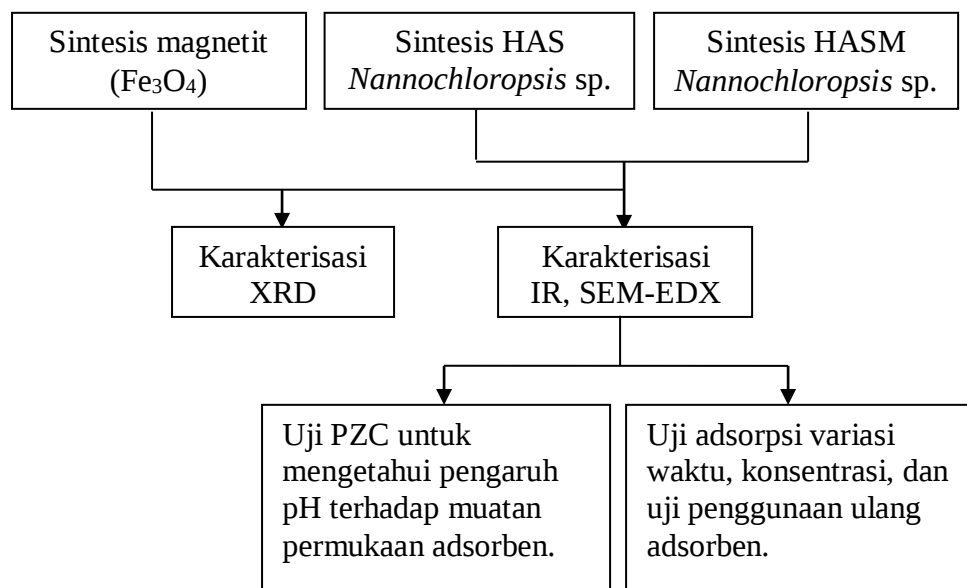
7. Mekanisme Adsorpsi

Sebanyak 0,1 g adsorben HAS dan HASM masing-masing dimasukkan kedalam erlenmeyer yang berbeda. Kemudian ditambahkan larutan metilen biru sebanyak 20 mL dengan pH dan konsentrasi optimum. Lalu larutan tersebut diaduk menggunakan pengaduk pada waktu optimum dengan kecepatan 100 rpm. Selanjutnya larutan dan adsorben disentrifugasi dan dipisahkan dengan cara dekantasi. Filtrat yang diperoleh dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum 664 nm. Sedangkan endapan yang diperoleh digunakan kembali untuk melepaskan zat warna yang teradsorpsi pada adsorben dengan menggunakan eluen berupa 25 mL akuades untuk mekanisme pemerangkapan melalui desorpsi, 25 mL larutan KNO_3 1 M untuk pertukaran ion, 25 mL larutan $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ 0,1 M untuk pembentukan

ikatan hidrogen, dan lautan Na_2EDTA 0,1 M untuk pembentukkan ikatan kompleks. Prosedur yang sama dilakukan untuk kristal violet dan Cu(II) .

8. Diagram Alir Penelitian

Adapun seluruh proses yang dilakukan dalam prosedur diatas dirangkum dalam diagram alir yang disajikan pada Gambar 11.



Gambar 11. Diagram Alir Penelitian

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Sintesis hibrida alga *Nannochloropsis* sp. silika (HAS) dan hibrida alga *Nannochloropsis* sp. silika magnetit (HASM) telah berhasil dilakukan yang ditunjukkan melalui hasil karakterisasi menggunakan spektrofotometer IR, XRD, dan SEM-EDX.
2. Nilai PZC yang diperoleh untuk HAS dan HASM yaitu sebesar 7,6.
3. Adsorpsi campuran metilen biru dan kristal violet, serta larutan multikomponen oleh HAS dan HASM cenderung mengikuti model kinetika pseudo orde dua dengan nilai koefisien korelasi (R^2) mendekati 1.
4. Isoterm adsorpsi HAS dan HASM terhadap adsorbat campuran metilen biru dan kristal violet, serta larutan multikomponen cenderung mengikuti isoterm Freundlich dengan nilai koefisien korelasi (R^2) mendekati 1.
5. Penggunaan ulang terhadap adsorben HAS dan HASM sebanyak 5 kali dengan persen adsorpsi yang cenderung berkurang.
6. Mekanisme adsorpsi menunjukkan bahwa MB memiliki persen desorpsi tertinggi pada eluen KNO_3 oleh adsorben HAS dan HASM sebesar 37,21 dan 39,21%.

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan disarankan untuk penelitian selanjutnya mempelajari lebih lanjut mengenai penggunaan ulang dengan zat warna lain untuk mengetahui keefektifan adsorben dalam menyerap zat warna tekstil serta mempelajari lebih lanjut mengenai mekanisme adsorpsi.

DAFTAR PUSTAKA

- Atkins, P. W. 1999. *Kimia Fisik III*. Erlangga, Jakarta.
- Abdullah, M. 2009. Review: Karakterisasi Nanomaterial. *Journal Nanosains dan Nanoteknologi*. 2(1):1-2.
- Adamson. 1990. *Physical Chemistry First Edition*. John Willey and Sons Inc, New York.
- Adehoog and K. Fitzsimmons. 2001. *Marine Ecological Proseses*. Great Britain. London.
- Alberty, R. A. and F. Daniel. 1987. *Physical Chemistry Fifth edition*. John Willey and Sons Inc, New York.
- Allen, S. J., G. Mckay, and J. F. Porter. 2004. Adsorption Isotherm Models for Basic Dye Adsorption by Peatin Single and Binary Component Systems. *Journal of Colloid and Interface Science*. 280:322-333.
- Alorro, R. D., N. Hiroyoshi, H. Kijitani, M. Ito, and M. Tsunekawa. 2010. On the use of Magnetite for Gold Recovery from Chloride Solution. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy*. 31(4):201-213.
- Apple, C., Q. M. Lena, R. D. Rhue and E. Kennelley. 2002. Point of Zero Charge Determination in Soils and Minerals via Traditional Methods and Detection of Electroacoustic Mobility. *Geodema. Elsevier Science*. 113 (2003):77- 93.
- Ariastuti, D. A. 2006. Pemanfaatan Batu Pasir Teraktivasi H_2SO_4 dan $NaOH$ Tersalut Fe_2O_3 sebagai Penyerap $Cr(IV)$. (Skripsi). Jurusan Kimia FMIPA Universitas Udayana. Bali.
- Benjelloun, Y., A. Lahrichi, S. Boumchita, M. Idrissi, Y. Miyah, K. H. Anis, K, V. Nenov, and F. Zerrouq. 2017. Removal of Crystal Violet by Wet Oxidation with H_2O_2 Over an Iron Oxide Catalyst Synthesized from Fly Ash. *Journal Mater. Environ*. 8:2259-2269.
- Bharathi, K. S., S. Kulkarni, and S. T. Ramesh. 2013. Removal of Dyes Using Agricultural Waste as Low-Cost Adsorbents: A Review. *Applied Water Scince*. 3(4):773-790.

- Bohn, H. L., B. L. Mc Neal, and G. A. O. Connor. 1979. *Soil Chemistry*. John Wiley and Sons, New York. 155-171.
- Brinker, C. J., and G. W. Scheriee. 1990. *Aplication in : Sol Gel Science, the Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing*. Academic Press, Inc. San Diego, California. 839-880.
- Buhani and Suharso. 2009. Immobilization of *Nannochloropsis* sp. Biomassa by Sol-Gel Technique as Adsorbat of Metal Ion Cu(II) from Aqueous Solution. *Asian Journal Chemistry*. 21(5):3799-3808.
- 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, Musrifatun, D. S. Pratama, Suharso, and Rinawati. 2017. Modificaton of *Chaetoceros* sp. Biomass with Silica-Magnetite Coating and Adsorption Studies Towards Cu(II) Ions in Single and Binary System. *Asian Journal of Chemistry*. 29(12):2734-2738.
- Buhani, Narsito, Nuryono, E.S. Kunarti, and Suharso. 2015. Adsorption Competition of Cu(II) Ion in Ionic Pair and Multi-Metal Solution by Ionic Imprinted Amino-Silica Hybrid Adsorbent. *Desalination and Water Treatment*. 55(5):1240-1252.
- Buhani, Narsito, Nuryono, and E. S. Kunarti. 2009. Amino and Mercapto-Silica Hybrid for Cd(II) Adsorption in Aqueous Solution. *Indonesian Journal of Chemistry*. 9(2):170-176.
- Buhani, Narsito, Nuryono, dan E. S. Kunarti. 2012. Proses Sol-Gel dalam Pembuatan Hibrida Merkapto Silika untuk Adsorpsi Ion Cu(II) dalam Larutan. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*. 19(3):246-272.
- Buhani, Rinawati, Suharso, D. P. Yuliasari, and S. D. Yuwono. 2017. Removal of Ni(II), Cu(II), and Zn(II) Ions from Aqueous Solution using *Tetraselmis* sp. Biomass Modified with Silica Coated Magnetite Nanoparticles. *Desalination and Water Treatment*. 80:203-213.
- Buhani, Suharso, and H. Satria. 2011. Hybridization of *Nannochloropsis* sp. Biomass-Silica through Sol-Gel Process to Adsorb Cd(II) Ion in Aqueous Solutions. *European Journal of Scientific Research*. 51(4):467-476.
- Buhani, Suharso, and Sumadi. 2010. Adsorption Kinetics and Isotherm of Cd(II) Ion on *Nannochloropsis* sp. Biomass Imprinted Ionic Polymer. *Desalination*. 259:140-146.

- Buhani, Suharso, and Sumadi. 2012. Production of Ionic Imprinted Polymer from *Nannochloropsis* sp. Biomass Imprented Ionic Polymer. *Desalination*. 259(1-3):140-146.
- Buhani, Suharso, and Z. Sembiring. 2006. Biosorption of Metal Ions Pb(II), Cu(II), and Cd(II) on Sargassum Duplicatum Immobilized Silica Toward Cu(II) Ion in Solutions. *Asian Journal Chemistry*. 6:245-250.
- Buhani, Suharso, and Z. Sembiring. 2012. Immobilization of *Chetoceros* sp. Microalgae with Silica Gel through Encapsulation Technique as Adsorbent of Pb Metal from Solution. *Oriental Journal of Chemistry*. 28(1):271-278.
- Cabrera, L., S. Gutierrez, N. Menendez, M.P. Morales, and P. Herrasti. 2008. Magnetite Nanoparticles: Electrochemical Synthesis and Characterization. *Electrochimica Acta*. 53:3436-3441.
- 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.
- Drbohlovova, J., R. Hardy, V. Adam, R. Kizek, O. Schneesweiss, and J. Hubalek. 2009. Preparation and Properties of Various Magnetic Nanoparticles. *Sensors*. 9 : 2352-2362.
- Dung, K. T. D., H. T. Hai, H. L. Phuc., and D. B. Long. 2009. Preperation and Characterization of Magnetic Nanoparticles with Chitosan Coating. *Journal of Physics: Conference Series*.
- Elizabeth, I. R. 2011. Biosintesis dan Karakteristik Nanopartikel Silika (SiO₂) dari Sekam oleh Fusarium Oxyporium. (Skripsi). Fakultas MIPA ITB. Bandung.
- Endang, P. 2006. *Degradasi Metilen Biru dengan Metode Fotokatalisis dan Fotoelektrokatalisis menggunakan Film TiO₂*. (Skripsi). Departemen Fisika. FMIPA Institut Pertanian Bogor.
- Enymia, S. dan N. Sulistriani. 1998. Pembuatan Silika Gel Kering dari Sekam Padi untuk Bahan Pengisi Karet Ban. *Jurnal Kimia Indonesia*. 7(1 & 2):1-9.
- Fahmiati, Nuryono dan Narsito. 2004. Kajian Kinetika Adsorpsi Cd(II), Ni(II), dan Mg(II) pada Silika Gel Termodifikasi 3-Merkapto-1,2,4-Triazol. *Alchemy*. 3(2):22-28.
- Farook, A., and S. Revendran. 2000. Saturated Fatty Acids Adsorption by Acidified Rice Hull Ash. *Journal Chemistry Society*. 77:437-440.
- Fessenden, R.J, dan J. S. Fessenden. 1995. *Kimia Organik*. Erlangga, Jakarta.

- Filha, V. L. S. A., A. F. Wanderley, K. S. de Sousa, J. G. P. Espinola, M. G. da Fonseca, T. Arakaki and L. N. H. Arakaki. 2006. Thermodynamic Properties of Divalent Cations Complexed by Ethylenesulfide Immobilized on Silica Gel. *Colloids Surface A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 279:64-68.
- Gupta, V. K., A. Mittal, R. Jain, M. Mathur, and S. Sikarwar. 2006. Adsorption of Safranin-T from Waste Water Using Waste Materials Activated Carbon and Activated Rice Husks. *Journal Colloids Interface Science*. 303:80-86.
- Gupta, V. K. and A. Rastogi. 2008. Biorsoption of Lead from Aqueous Solution by Green Algae *Spyrogyra Species*: Kinetics and Equilibrium Studies. *Journal Hazard Mater*. 152:407-414.
- Hamdaoui, O. and M. Chiha. 2006. Removal of Methylene Blue from Aqueous Solutions by Wheat Bran. *Acta Chimica Slovenica*. 54:407-418.
- Hameed, B. H., A. L. Ahmad, and K. N. A. Latiff. 2007. Adsorption of Basic Dye (Methylene Blue) onto Activated Carbon Prepared from Rattan Sawdust. *Dyes and Pigments*. 75:143-149.
- Handoyo, S. 2000. *Kimia Anorganik I*. FMIPA UNY, Yogyakarta.
- Harris, O. P. and J. G. Ramelow. 1990. Binding of Metal Ions by Particulate Quadricauda. *Environ Sci and Technology*. 24:220-227.
- Heriyanto, N. M. 2011. Kandungan Logam Berat pada Tumbuhan, Tanah, Air, Ikan dan Udang di Hutan Mangrove. Pusat Penelitian dan Pengembangan Konservasi dan Rehabilitasi. 9:197-205.
- Ho, Y.S. and G. Mc Kay. 2000. The Kinetics of Sorption of Divalent Metal Ions onto Sphagnum Moss Peat. *Water Research*. 34(3):735-742.
- Huheey, J. E., E. A. Keiterand, and R. L. Keiter. 1993. *Inorganic Chemistry Principles of Structure and Reactivity*. 4th edition. Harpelcolling College Publisher. New York.
- Husin, G. dan C. M. Rosnelly. 2005. Studi Kinetika Adsorpsi Larutan Logam Timbal Menggunakan Karbon Aktif dari Batang Pisang. (Tesis). Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala Darrusalam. Banda Aceh.
- Idris, M. N., Z. A. Ahmad, and M. A. Ahmad. 2011. Adsorption Equilibrium of Malachite Green Dye onto Rubber Seed Coat Based Activated Carbon. *International Journal of Basic and Applied Science*. 11(3):305-311.

- Inglezakis, V. J., M. D. Loizidou, and H. P. Grigoro-poulou. 2003. Ion Exchange of Pb^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{3+} , and Cr^{2+} on Natural Clinoptilolite: Selectivity Determination and Influence of Acidity on Metal uptake. *Journal of Colloid and Interface Science*. 261(1):49-54.
- Jeon, C. 2011. Adsorption Characteristic of Cooperation Using Magnetically. *Chemistry*. 17:1487-1493.
- Lin, Y., H. Chen, K. Lin, B. Chen, and C. Chiou. 2011. Application of Magnetic Particles Modified with Amino Groups to Adsorb Cooper Ions in Aqueous Solution. *Journal Environmental Scient*. 23:44-50.
- Jamwal, H. S., S. Kumari, G. S. Chauhan, N. S. Reddy, and J. H. Ahn. 2016. Silica-Polymer Hybrid Materials as Methylene Blue Adsorbents. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 1-30.
- Jayganes, D., R. Tamilarasan, M. Kumar, M. Murugavelu, V. Sivakumar. 2017. Equilibrium and Modelling Studies for the Removal of Crystal Violet Dye from Aqueous Solution Using Eco-Friendly Activated Carbon prepared from *Sargassum Wightii* Seaweeds. *Journal of Materials and Environmental Sciences*. 8(4):1508.
- Kalapathy, U., A. Proctor and J. Schultz. 2000. A Simple Method for Production of Pure Silica from Rice Hull Ash. *Bioresource Technology*. 73:257-262.
- Khopkar, S. M. 2001. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. UI Press, Jakarta.
- Kumar, A., Gaurav, A. K. Malik, D. K. Tewary, and B. Singh. 2008. A Review on Development of Solid Phase Microextraction Fiber by Sol-Gel Methods and Their Application. *Chimica Acta*. 610:1-14.
- Mahan, C. A., and J. A. Helcombe. 1989. The Journal of Evaluation of the Metal Uptake of Several Algae Strain in Multicomponent Matrixultizung Inductively Coupled Plasma Emission Spektrofotometry. *Analytica Chemica Acta*. 61 : 624-627.
- Noll, K. E., V. Gournaris, and W. S. Hou. 1992. *Adsorption Technology for Air and Water Polution Control*. Lewish Publisher Inc, Michigan.
- Nuzula, F. 2004. Adsorpsi Cd^{2+} , Ni^{2+} , dan Mg^{2+} pada 2-Merkapto Benzimidol yang Diimobilisasikan pada Silika Gel. (Tesis). FMIPA UGM. Yogyakarta.
- Nurjana. 2015. *Pembuatan Elektroda Ag-N-TiO₂/Ti dan Aplikasinya Terhadap Degradasi Senyawa Rhodamin B Secara Fotoelektrokatalisis*. Universitas Haluoleo, Kendari.
- Oscik, J. 1982. *Adsorption*. Ellis Horwood Limited, England.

- Oxford. 1994. *Kamus Lengkap Kimia*. Erlangga, Jakarta.
- Palar, H. 2004. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. PT. Rineka Cipta, Jakarta.
- Pankhurst, Q. A., J. Connolly, S. K. Jones, and J. Dobson. 2003. Applications of Magnetic Nanoparticles in Biomedicine. *Journal Physical*. 36:167-181.
- Peng, Q., Y. Liu, G. Zeng, W. Xu, C. Yang, and J. Zhang. 2010. Biosorption of Copper (II) Immobilizing *Saccharomyces cerevisiae* on the Surface of Chitosan Coated Magnetic Nanoparticle from Aqueous Solution. *Journal of Hazardous Materials*. 177:676-682.
- Putra, S. E. 2007. *Potensi Alga Sebagai Bioindikator dan Biosorben Logam Berat*. (Karya Tulis Ilmiah). Universitas Lampung. Lampung.
- Rahaman, M. N. 1995. *Ceramics Pressing and Sintering*. Department of Ceramics Engineering University of Missouri-Rolla, Rolla Missouri.
- Rajeswari, K. M., T. Revanth, A. Acharya, and P. Bhat. 2017. Phytochemical and Pharmacological Properties of *Annona muricata*: A Review. *Resource-Efficient Technologies*. 3(1):71.
- Ren, Y., M. Zhang, Zhao. 2007. Synthesis and Properties of Magnetic Cu(II) Ion Imprinted Composite Adsorbent for Selective Removal of Copper. *Journal of Materials Chemistry*.
- Rousseau, R.W. 1987. *Handbook of Separation Process Technology*. John Wiley and Sons Inc. United States.
- Sastroamidjojo, H. 1999. *Spektroskopi UV-Vis*. Penerbit Liberty, Yogyakarta.
- Schubert, U., and N. Husing. 2000. *Synthesis of Inorganic Material*. Wiley-VCH Verlag GmbH. D-69469 Weinheim. Federal Republic of Germany.
- Scott, J. M., F. Davis, B. Csuti, R. Noss, B. Butterfield, C. Groves, H. Anderson, S. Caicco, F. D'Erchia, T. C. Edwards, J. Ulliman, and R. G. Wright. 1993. Gap Analysis : A Geographic Approach to Protection of Biological Diversity. *Wildlife Monographs*. 123:1-41.
- Sen, S and G. N. Demirel. 2003. Anaerobic Treatment of Synthetic Textile Wastewater Containing Reactive Azo Dye. *Journal of Environmental Engineering (ASCE)*. 129:595-601.
- Sembiring, Z., Buhani, Suharto, dan Sumadi. 2008. Adsorption Isotherm of Pb(II), Cu(II), and Cd(II) on *Nannochloropsis* sp. that is encapsulated in Silica Gel. *Journal Chemistry*. 9(1):1-5.

- Seshadri, S., P. L. Bishop, and A. M. Agha. 1994. Anaerobic/Aerobic Treatment of Selected Azo Dyes in Wastewater. *Waste Management*. 14:127-137.
- Soeprijianto, R. F., dan A. Bambang. 2006. Kinetika Biosorpsi Ion Logam Berat Cu(II) dalam Larutan Menggunakan Biomassa *Phanerochaete Chrysosporium*. (Tesis). Fakultas Teknologi Industri. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- Spikiakov, B. Y. 2006. Solid Phase Extraction on Alkyl Bonded Silica Gels in Inorganics Analysis. *Analytica Chimica Acta*. 22:45-60.
- Stum W, dan J. J. Morgan. 1996. *Aquatic Chemistry*. John Wiley and Sons, New York.
- Suharso, Buhani, and Sumadi. 2010. Immobilization of *S. Duplicatum* Supported Silica Gel Matrix and its Application on Adsorption-Desorption of Cu(II), Cd(II) and Pb (II) Ions. *Desalination*. 263(1-3):140-146.
- Suhendaryatna. 2001. Bioremoval Logam Berat dengan Menggunakan Mikroorganisme. *Kajian Kepustakaan*. Sinergi Forum PPI Tokyo. Kagosami.
- Sukardjo. 1985. *Kimia Koordinasi*. Bumi Aksara, Jakarta.
- Sulisetijono. 2009. *Bahan Serahan Alga*. Universitas Islam Negeri Malang, Malang.
- Supratman, U. 2010. *Equilibrium Penentuan Senyawa Organik*. UNPAD, Bandung.
- Tan, K. H. 1995. *Dasar-dasar Kimia Tanah*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- 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*. 1-24.
- Trisnawati, T. 2008. Studi Adsorpsi Karbon Mesopori Sintetik terhadap Metilen Biru. (Skripsi). FMIPA Universitas Brawijaya. Malang.
- Virginia, A. 2018. Sintesis Hibrida Alga *Tetraselmis* sp. yang Diimobilisasi dengan Matriks Silika dan Pelapisan Magnetit (Fe_3O_4) sebagai Adsorben Zat Warna Kristal Violet. (Skripsi). FMIPA Universitas Lampung. Lampung.
- Wagiyo dan A. Handayani. 1997. *Petunjuk Praktikum Scanning Electron Microscope, SEM dan Energy Dispersive Spectrometer, EDS*. Badan Tenaga Atom Nasional. Tangerang.

- Waggoner and Speer. 1999. Lipid and Membrane Function in Green Algae. *Biochimica Biophysica Acta*.1302:17-45.
- Waryono, T. 2001. Biogeografi Alga Makro (Rumput Laut) di Kawasan Pesisir Indonesia. (Kumpulan Makalah) Periode 1987-2008.
- West, A. R. 1989. *Solid State Chemistry and Its Application*. John Wiley and Sons, New York.
- Yuliasari, L. 2003. Studi Penentuan Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) Dalam Organ Tubuh Ayam Broiler Secara Spektrofotometri Serapan Atom. (Skripsi). FMIPA Universitas Lampung. Lampung.
- Zakaria. 2003. *Analisis Kandungan Magnetik pada Batuan Beku dari Daerah Istimewa Yogyakarta dengan metode X-Ray Diffraction*. Universitas Haluoleo, Kendari.