

**ADSORPSI LOGAM TEMBAGA (II) VARIASI DERAJAT KEASAMAN
(pH) OLEH ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*) TERMODIFIKASI
ASAM SITRAT (0,5 M; 1,0 M; DAN 1,5 M)**

SKRIPSI

Oleh:
AINUL IZZAH
NIM. 13630127



**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2019**

**ADSORPSI LOGAM TEMBAGA (II) VARIASI DERAJAT KEASAMAN
(pH) OLEH ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*) TERMODIFIKASI
ASAM SITRAT (0,5 M; 1,0 M; DAN 1,5 M)**

SKRIPSI

Oleh:
AINUL IZZAH
NIM. 13630127

Diajukan Kepada:
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)

JURUSAN KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2019

**ADSORPSI LOGAM TEMBAGA (II) VARIASI DERAJAT KEASAMAN
(pH) OLEH ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*) TERMODIFIKASI
ASAM SITRAT (0,5 M; 1,0 M; DAN 1,5 M)**

SKRIPSI

Oleh:
AINUL IZZAH
NIM. 13630127

Telah Diperiksa dan Disetujui Untuk Diuji
Tanggal: 14 Juni 2019

Pembimbing I



Suci Amalia, M.Sc
NIP. 19821101 200901 2 007

Pembimbing II



Nur Aini, M.Si
NIP. 19840608 201903 2 009

**Mengetahui,
Ketua Jurusan**



Elok Kurniati Hayati, M.Si
NIP. 19790620 200604 2 002

**ADSORPSI LOGAM TEMBAGA (II) VARIASI DERAJAT KEASAMAN
(pH) OLEH ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*) TERMODIFIKASI
ASAM SITRAT (0,5 M; 1,0 M; DAN 1,5 M)**

SKRIPSI

Oleh:
AINUL IZZAH
NIM. 13630127

**Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: 14 Juni 2019**

Penguji Utama	: Himmatul Barroroh, M.Si NIP. 19750730 200312 2 001	(.....)
Ketua Penguji	: Rif'atul Mahmudah, M.Si NIDT. 19830125 20160801 2 068	(.....)
Sekretaris Penguji	: Suci Amalia, M.Sc NIP. 19821101 200901 2 007	(.....)
Anggota Penguji	: Nur Aini, M.Si NIP. 19840608 201903 2 009	(.....)

**Mengesahkan,
Ketua Jurusan**

Elok Kamillah Hayati, M.Si
NIP. 19790620 200604 2 002

PERSEMBAHAN

Untuk almarhum Ayah,

Yang telah menginspirasi ku tentang ketangguhan dalam melaksanakan cita cita akademik setinggi-tingginya agar dapat bermanfaat bagi banyak orang. Semoga menjadi amal jariyah dan menginspirasi anak cucu mu kelak.

Untuk Ibu yang telah mendidik, mendampingi, menjadi ibu sekaligus ayah bagi kami. Menjadi tauladan bagi putri-putrinya agar menjadi wanita tangguh dan kuat, tidak hanya melalui petuah nya namun terus memotivasi dan sebagai sahabat bagi kami semua putri mu, semoga selalu dapat mendampingi kami, Bu...

Teruntuk kakak kakak dan adik tercinta, semoga selalu dalam ridla dan lindungan Allah s.w.t, dan terus saling memotivasi dalam rangka melaksanakan amanah ayah ibu, belajar, mengajar dan bermanfaat sampai Allah menakdirkan kita tidak lagi memiliki kewajiban untuk ummat.

Untuk almamater,

Jurusan Kimia UIN Maulana Malik Ibrahim Malang, terima kasih....

MOTTO

اللَّهُمَّ صَلِّ عَلَى سَيِّدِنَا مُحَمَّدٍ، الْفَاتِحِ لِمَا أُغْلِقَ وَالْخَاتِمِ لِمَا سَبَقَ، نَاصِرِ الْحَقِّ بِالْحَقِّ،

وَالْهَادِي إِلَى صِرَاطِكَ الْمُسْتَقِيمِ

Ya Allah curahkanlah keselamatan atas junjungan kita Nabi Muhammad SAW yang dapat membuka sesuatu yang terkunci, penutup dari semua yang terdahulu, penolong kebenaran dengan jalan yang benar, dan petunjuk kepada jalanmu yang lurus.

**“Bertanggung Jawab Atas Apa Yang Telah Kita Lakukan
dengan cara
Menuntaskan Apa Yang Telah Kita Mulai”**

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ainul Izzah

NIM : 13630127

Jurusan : Kimia

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Penelitian : Adsorpsi Logam Tembaga (II) Variasi Derajat Keasaman (pH) Oleh Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) Termodifikasi Asam Sitrat Konsentrasi 0,5 M; 1,0 M; dan 1,5 M.

menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri bukan merupakan pengambilalihan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 18 Juni 2019

Yang membuat pernyataan,



Ainul Izzah

NIM. 13630127

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, atas segala nikmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian yang berjudul “**Adsorpsi Logam Tembaga (II) Variasi Keasaman Larutan Menggunakan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) Termodifikasi Asam Sitrat Konsentrasi 0,5 M; 1,0 M dan 1,5 M**”.

Shalawat serta salam selalu penulis haturkan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW, sosok teladan dalam membangun peradaban dan budaya pemikiran. Iringan doa dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada:

1. Kedua orang tua penulis serta saudara-saudara penulis yang telah memberikan semangat penuh, nasihat, doa dan dukungan moral dan materil.
2. Ibu Suci Amalia, M.Sc., Ibu Nur Aini, M.Si., dan Ibu Rif'atul Mahmudah, M.Si., selaku dosen pembimbing dengan penuh kesabaran dan kearifan yang telah memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Ibu Elok Kamilah Hayati, M.Si., selaku ketua Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang
4. Seluruh dosen Jurusan Kimia beserta Segenap laboran dan staf administrasi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah memberikan ilmu pengetahuan, pengalaman, dan wawasannya sebagai pedoman serta bekal bagi penulis.

5. Teman-teman jurusan kimia angkatan 2013 serta adik-adik junior 2014 dan 2015 yang banyak membantu, memotivasi, memberi semangat hingga terselesaikannya skripsi ini.
6. Kepada semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah ikut memberikan bantuan dan motivasi selama penyusunan laporan penelitian ini sampai selesai disusun, yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu.

Semoga amal perbuatan Bapak/Ibu serta semua pihak yang membantu dalam proses penyelesaian penelitian ini diridhoi oleh Allah SWT dan dicatat sebagai amal sholeh Bapak/Ibu/Saudara sekalian. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis mengharapkan kritik dan saran dari semua pihak yang bersifat membangun. Akhir kata, penulis berharap semoga hasil penelitian ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak. Aamiin ya robbal alamin.

Malang, 21 Juni 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PENGAJUAN	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
MOTTO	v
LEMBAR KEASLIAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
ABSTRAK	xiv
ABSTRACT	xv
الملخص	xvi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	7
1.3 Tujuan Penelitian	7
1.4 Manfaat Penelitian	7
1.5 Batasan Masalah	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Potensi Eceng Gondok Sebagai Adsorben	9
2.1.1 Selulosa Pada Eceng Gondok	11
2.2 Demineralisasi Eceng Gondok	12
2.3 Modifikasi Menggunakan Asam Sitrat	13
2.4 Adsorpsi Logam Tembaga oleh Biosorben Termodifikasi Sitrat	15
2.4.1 Adsorpsi	15
2.4.2 Tembaga	16
2.4.3 Mekanisme Adsorpsi Logam Tembaga Selulosa-Asam Sitrat	16
2.5 Analisis Logam Tembaga Menggunakan SSA	17
2.6 Identifikasi Gugus Fungsi Pada Biosorben Menggunakan FTIR	19
2.7 Uji ANOVA	21
BAB III METODOLOGI	
3.1 Waktu dan Tempat	25
3.2 Alat dan Bahan	25
3.2.1 Alat	25
3.2.2 Bahan	25
3.3 Rancangan Penelitian	26
3.4 Tahap Penelitian	26
3.5 Prosedur Kerja	27
3.5.1 Preparasi dan Demineralisasi Biosorben Eceng Gondok	27

3.5.2	Modifikasi Biosorben Menggunakan Asam Sitrat	27
3.5.3	Karakterisasi Biosorben Eceng Gondok Menggunakan Spektrofotometer FTIR	28
3.5.4	Analisis Tembaga Menggunakan SSA	28
3.5.4.1	Kondisi Operasional SSA	28
3.5.4.2	Pembuatan Larutan Induk Tembaga	29
3.5.4.3	Pembuatan Larutan Kurva Standar Tembaga	29
3.5.5	Adsorpsi Logam Tembaga Variasi pH Larutan dan Konsentrasi Asam Sitrat	29
3.6	Analisis Data	30
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Preparasi dan Demineralisasi	32
4.2	Modifikasi Gugus Aktif Biosorben Menggunakan Asam Sitrat	33
4.3	Adsorpsi Tembaga Menggunakan Biosorben Termodifikasi	34
4.3.1	Pembuatan Kurva Standar Tembaga	34
4.3.2	Uji Kontrol Larutan Tembaga	35
4.4	Analisis Logam Tembaga Menggunakan SSA	35
4.4.1	Pengaruh pH Larutan	35
4.4.2	Pengaruh Biosorben	40
4.5	Analisis ANOVA	42
4.6	Karakterisasi Biosorben Eceng Gondok Menggunakan FTIR	44
4.7	Integrasi Penelitian	46
 BAB V PENUTUP		
5.1	Kesimpulan	50
5.2	Saran	50
DAFTAR PUSTAKA		51
LAMPIRAN		58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Eceng gondok	9
Gambar 2.2	Struktur selulosa	11
Gambar 2.3	Mekanisme reaksi hidrolisis selulosa oleh asam.....	12
Gambar 2.4	Rumus molekul asam sitrat	13
Gambar 2.5	Tahapan umum atomisasi pada SSA.....	18
Gambar 2.6	Spektra IR selulosa modifikasi dan tanpa modifikasi asam sitrat	20
Gambar 2.7	Pergeseran frekuensi serapan ester setelah adsorp logam.....	20
Gambar 4.1	Serbuk eceng gondok	32
Gambar 4.2	Mekanisme reaksi esterifikasi	34
Gambar 4.3	Kurva standar larutan tembaga.....	34
Gambar 4.4	Grafik persentase adsorpsi logam tembaga oleh biosorben modifikasi.....	37
Gambar 4.5	Perubahan pH larutan	38
Gambar 4.6	Grafik persentase adsorpsi oleh biosorben tanpa modifikasi	39
Gambar 4.7	Grafik persentase adsorpsi logam tembaga oleh biosorben pada pH 4, 5, 6, 7 dan 8	40
Gambar 4.8	Spektra IR eceng gondok tanpa modifikasi, demineralisasi, modifikasi dan setelah adsorpsi	45

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kandungan kimia eceng gondok.....	10
Tabel 2.2	Persentase penurunan kadar mineral oleh asam nitrat pada eceng gondok	13
Tabel 2.3	Konsentrasi gugus aktif batang jagung	15
Tabel 3.1	Rancangan penelitian penentuan pH optimum dan konsentrasi asam sitrat biosorben terhadap penurunan kadar Cu (II)	26
Tabel 4.1	Randemen massa biosorben sebelum dan setelah demineralisasi....	33
Tabel 4.2	Konsentrasi awal larutan tembaga	35
Tabel 4.3	pH asam itrat pada titik isoelektrik	36
Tabel 4.4	Hasil uji homogenitas.....	42
Tabel 4.5	Hasil uji <i>One Way</i> ANOVA analisis F_{hitung}	42
Tabel 4.6	Hasil uji Tukey.....	43
Tabel 4.7	Interpretasi FTIR.....	45

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Diagram alir penelitian	58
Lampiran 2	Perhitungan	61
Lampiran 3	Data hasil penelitian	66
Lampiran 4	Dokumentasi	69
Lampiran 5	Data hasil SPSS	71



ABSTRAK

Izzah, Ainul. 2019. **Adsorpsi Logam Tembaga (II) Variasi Derajat Keasaman (pH) Oleh Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) Termodifikasi Asam Sitrat Konsentrasi 0,5 M; 1,0 M; dan 1,5 M. Skripsi.** Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing I: Suci Amalia, M.Sc., Pembimbing II: Nur Aini, M.Si., Konsultan: Rif'atul Mahmudah, M.Si

Kata Kunci : eceng gondok (*Eichhornia crassipes*), asam sitrat, adsorpsi, logam Cu

Logam tembaga tergolong ke dalam salah satu logam berat yang diduga paling banyak berasal dari kegiatan laboratorium dan perindustrian misalnya proses pelapisan logam yang melibatkan reaksi elektrokimia. Adsorpsi merupakan suatu proses dimana zat terlarut yang ada dalam larutan, akan diserap oleh permukaan zat melibatkan interaksi kimia salah satunya secara ionik (pertukaran ion). Salah satu senyawa yang dapat digunakan sebagai adsorben adalah eceng gondok karena memiliki gugus hidroksil (-OH) pada selulosa sehingga memiliki kemampuan berinteraksi dengan logam. Penambahan gugus pengikat logam dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi oleh gugus karboksil (-COOH) yang berasal dari sitrat dengan gugus hidroksil (-OH) pada selulosa melalui reaksi esterifikasi dengan variasi konsentrasi 0,5 M; 1,0 M; dan 1,5 M lalu digunakan untuk proses adsorpsi logam tembaga pada variasi pH (4, 5, 6, 7 dan 8).

Hasil adsorpsi penelitian ini menyatakan biosorben termodifikasi sitrat 1 M pada pH 7 memiliki prosentase adsorpsi 91,4937%, merupakan persentase adsorpsi paling tinggi dibandingkan biosorben tanpa modifikasi, termodifikasi sitrat 0,5 M; 1,5 M dan pH larutan lain. Hasil adsorpsi ini sesuai dengan karakterisasi menggunakan spektrofotometer FTIR yaitu terbentuknya gugus ester di daerah serapan $1735,645\text{ cm}^{-1}$ pada biosorben hasil modifikasi. Gugus ester ini menunjukkan terikatnya sitrat pada selulosa sehingga meningkatkan gugus pengikat logam tembaga.

ABSTRACT

Izzah, Ainul. 2019. **Adsorption of Copper with Acidity Variation by Citric Acid Modified (0,5 M; 1,0 M; and 1,5 M) Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*).** Thesis. Chemistry Department Science and Technology Faculty, State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim Malang. Supervisor I: Suci Amalia, M.Sc., Supervisor II: Nur Aini, M.Si., Consultant: Rif'atul Mahmudah, M.Si.

Keywords : water hyacinth (*Eichhornia crassipes*), citric acid, adsorption, copper metal

Copper metal is classified as one of the heavy metals which thought to originate most from laboratory and industrial activities such as metal coating processes involving electrochemical reactions. Adsorption is a process if some solutes that are present in a solution, are absorbed by the surface of a substance involving chemical interactions, one of which is ionic (ion exchange). One of the compounds that can be used as an adsorbent is water hyacinth because it has a hydroxyl (-OH) group on cellulose which has the ability to interact with metals. Addition of metal binding groups can increase the adsorption ability of the carboxyl (-COOH) citrate group with hydroxyl (-OH) groups on cellulose through the esterification of citric acid with variations concentration 0.5 M; 1.0 M; and 1.5 M was used for copper metal adsorption in a variety of pH solution (4, 5, 6, 7 and 8).

The adsorption results of this study stated that biosorbent with 1 M citric acid modified at pH 7 had a percentage of 91.4937%, the highest percentage of adsorption compared to biosorbent without modification, 0.5 M citrate modified; 1.5 M and the pH in another solutions. The results of this adsorption are identified with the characterization using FTIR spectrophotometer, namely the formation of an ester group in uptake of $1735,645\text{ cm}^{-1}$ in modified biosorbent. This group of esters shows that citric acid was bound to cellulose therefore can increase the active group to bind copper metal.

الملخص

عزة، عين . ٢٠١٩ . امتصاص المعادن النحاسية تباين الحموضة بواسطة (*Eichhornia crassipes*) مع الاختلافات جرعة الممتمزات م ؛ ١,٠ م ؛ و ١,٥ م . مقال. قسم الكيمياء كلية العلوم والتكنولوجيا ، جامعة الدولة الإسلامية في مولانا مالك إبراهيم مالانج. المشرفة الأولى: سوسي أماليا ، الماجستير.، المشرفة الثانية: نور عيني، الماجستير. ، استشاري: رفعت المحمودة ، ماجستير.

لكلمات المفتاحية: صفيير الماء (*Eichhornia crassipes*) ، حامض الستريك ، معدّل ، امتصاص النحاس

يصنف معدن النحاس كأحد المعادن الثقيلة التي يُعتقد أنها ناشئة عن معظم الأنشطة المختبرية والصناعية مثل عمليات طلاء المعادن التي تنطوي على تفاعلات كهروكيميائية. الامتزاز هو العملية التي يتم من خلالها امتصاص المادة المذابة في المحلول بواسطة سطح مادة تنطوي على تفاعلات كيميائية ، أحدها عبارة عن التبادل الأيوني. واحدة من المركبات التي يمكن استخدامها كمادة ماصة هي صفيير الماء لأنه يحتوي على مجموعة الهيدروكسيل (OH^-) على السليلوز والتي لديها القدرة على التفاعل مع المعادن. يمكن أن تؤدي إضافة مجموعات ربط المعادن إلى زيادة قدرة امتصاص مجموعات الكربوكسيل (COOH) بمجموعات الهيدروكسيل (OH^-) على السليلوز من خلال استرات حمض الستريك بتغيرات في تركيز م ؛ ١,٠ م ؛ و ١,٥ م تستخدم بعد ذلك لامتصاص معدن النحاس في مختلف الأس الهيدروجيني (٤، ٥، ٦، ٧ و ٨)

أوضحت نتائج الامتزاز في هذه الدراسة أن نسبة الامتصاص الحيوي التي تحتوي على ١ م من السيترات المعدلة في الرقم الهيدروجيني ٧ تحتوي على نسبة امتزاز تبلغ ٩١,٤٩٣٧٪ ، وهي أعلى نسبة من الامتزاز مقارنة بالمواد الماصة الحيوية دون تعديل ، وتعديل ٠,٥ م من سترات ؛ ١,٥ م ودرجة الحموضة من الحلول الأخرى. تتوافق نتائج هذا الامتزاز مع التوصيف باستخدام مقياس الطيف الضوئي FTIR ، والذي يتكون من مجموعات استر في امتصاص ١٧٣٥،٦٤٥ سم^{-١} في المواد الماصة الحيوية. تبين هذه المجموعة من الاسترات أن السيترات مرتبط بالسليلوز وبالتالي يزيد من مجموعة ربط المعدن النحاسي.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pencemaran logam berat meningkat seiring dengan perkembangan industri dan kegiatan laboratorium. Pada konsentrasi yang sedemikian rendah, efek ion logam berat dapat berpengaruh langsung hingga terakumulasi pada rantai makanan karena berasal dari kandungan air yang diserap tanaman dan akhirnya berpengaruh terhadap kesehatan manusia (Suhendrayatna, 2001). Menurut pemantauan Kementerian Lingkungan Hidup (KLH) dari tahun 2008 hingga 2013 sekitar 70-75% air permukaan telah tercemar baik tercemar ringan, sedang maupun tercemar berat yang disebabkan oleh logam.

Logam tembaga (Cu) dilaporkan oleh *World Health Organization* (WHO) sebagai logam berat tingkat 1 paling berbahaya (WHO, 2010). Logam tembaga masuk ke dalam strata lingkungan dapat datang dari bermacam-macam sumber. Akan tetapi sumber logam Cu ke dalam strata lingkungan yang umum dan diduga paling banyak adalah dari kegiatan laboratorium dan perindustrian misalnya elektropalting atau proses pelapisan logam yang melibatkan reaksi elektrokimia. Industri ini berkembang semakin pesat seiring dengan kebutuhan rumah tangga pada masyarakat karena elektroplating diaplikasikan dalam industri alat listrik, peralatan rumah tangga seperti gelas, zat warna yang biasanya bercampur dengan logam lain (Junita, 2013).

Logam tembaga (Cu) berpotensi toksik terhadap tanaman dan berbahaya bagi manusia karena bersifat karsinogenik (Notodarmojo, 2005). Jonak, *et al* (2004) menjelaskan bahwa logam tembaga tidak diketahui fungsi biologis di dalam sel akan

tetapi logam ini memiliki sifat reaktif yang sangat tinggi dan dapat menonaktifkan aktivitas enzim yang diperlukan sel. Oleh karena itu Peraturan Pemerintah RI No. 82 Tahun 2001 memutuskan bahwa ambang batas kandungan tembaga pada badan air adalah sebesar 0,02 mg/L untuk semua golongan air baik golongan I, II dan III.

Konsentrasi logam berat yang larut dalam air jika melebihi ambang batas dapat mengganggu keseimbangan kehidupan biota di perairan. Pencemaran air akan berlanjut ke lingkungan sekitarnya sehingga pencemaran ini akan selalu berkesinambungan dan berakhir pada kerusakan. Sementara itu Allah SWT berfirman dalam Q.S Furqaan [25] :77 bahwa semua diciptakan dengan ukuran yang tepat tidak ada yang cacat dan melebihi batas. Semua itu dijadikan Allah sebagai pelengkapan, sesuai fungsinya masing-masing dalam hidup.

الَّذِي لَهُ مُلْكُ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَلَمْ يَتَّخِذْ وَلَدًا وَلَمْ يَكُن لَّهُ شَرِيكٌ فِي الْمُلْكِ وَخَلَقَ كُلَّ شَيْءٍ فَقَدَرَهُ تَقْدِيرًا ﴿٢٧﴾

Artinya: “Yang kepunyaan-Nya-lah kerajaan langit dan bumi, dan Dia tidak mempunyai anak, dan tidak ada sekutu baginya dalam kekuasaan(Nya), dan Dia telah menciptakan segala sesuatu, dan Dia menetapkan ukuran-ukurannya dengan serapi-rapinya.”

Menurut ath-Thabari ayat di atas menjelaskan bahwa keteraturan dan keseimbangan alam semesta ini karena Allah tidak luput dalam mengaturnya. Namun selajutnya manusia sendiri memiliki peran untuk menjaga. Seperti yang termaktub dalam QS. Al-Jatsiyah [45] : 12.

اللَّهُ الَّذِي سَخَّرَ لَكُمْ الْبَحْرَ لِتَجْرِيَ الْفُلُكُ فِيهِ بِأَمْرِهِ ۗ وَلِتَبْتَغُوا مِنْ فَضْلِهِ ۗ وَلَعَلَّكُمْ تَشْكُرُونَ ﴿١٢﴾

Artinya: “Allah-lah yang menundukkan lautan untukmu supaya kapal kapal dapat berlayar padanya dengan seizin-Nya dan supaya kamu dapat mencari karunia -Nya dan Mudah-mudahan kamu bersyukur.”

Shihab (2008) menjelaskan bahwa kalimat تَشْكُرُونَ memiliki arti orang orang bersyukur yaitu yang dapat menggunakan atau mengolah nikmat yang dilimpahkan Tuhan sesuai dengan tujuan dianugerahkannya. Sedangkan berdasarkan keterangan Al-Isfahany, kata سَخَّرَ yang berarti menundukkan, termasuk lafadz *taskhir* bermakna menundukkan atau menguasai sesuatu karna ada tujuan tertentu secara paksa. Dari uraian di atas bahwa semua apa yang ada di langit dan di bumi ditundukkan oleh Allah swt bagi manusia agar memelihara alam sehingga tidak mengalami kerusakan.

Oleh karena itu perlu adanya pengolahan untuk mengurangi kandungan logam tembaga dalam limbah logam sebelum dibuang ke lingkungan. Metode yang pernah dilakukan untuk menurunkan konsentrasi logam tembaga dalam limbah cair adalah metode elektrolisis dengan memanfaatkan lempengan elektroda kation yang dialiri listrik sehingga pada 50 menit dapat menurunkan kadar tembaga sebesar 18,61% (Trisniawan, 2016). Namun dalam aplikasinya, Trisniawan (2016) menyebutkan metode ini memerlukan biaya operasional yang mahal dan rumit serta menghasilkan efek samping yaitu gas hidrogen pada saat proses elektrolisis berlangsung. Metode lain yang dapat dilakukan adalah pengendapan, penukar ion dengan menggunakan resin, filtrasi dan adsorpsi. Tangio (2013) menyebutkan adsorpsi merupakan metode yang paling umum dipakai karena menawarkan fleksibilitas dan keuntungan, baik dalam desain, operasi, konsep yang lebih sederhana dan juga ekonomis. Hal ini menjadikan perlu dilakukannya pengembangan penelitian terhadap teknologi alternatif untuk pemisahan logam yang lebih ekonomis, mudah didapat, dan lebih ramah lingkungan.

Adsorpsi dikenal sebagai suatu proses dimana zat terlarut yang ada dalam larutan, akan diserap oleh permukaan zat atau benda penyerap yang disebut adsorben. Logam berat dalam limbah cair yang berupa kation dapat diserap oleh adsorben sehingga konsentrasinya dalam larutan akan menurun. Adsorben yang digunakan biasanya merupakan zat padat dengan pori di permukaanya. Salah satu adsorben yang digunakan dalam pengolahan limbah adalah eceng gondok (Mahmood, dkk., 2010).

Penelitian adsorpsi logam oleh eceng gondok tanpa diaranngkan bertujuan untuk meminimalkan biaya pembuatan adsorben selain itu agar adsorben bersifat *biodegradable*. Pratiwi dan Dahlia (2013) menyatakan keberadaan gugus -COOH dan -OH pada selulosa menyebabkan eceng gondok memiliki potensi sebagai komponen penyerap logam karena dapat dengan mudah membentuk serangkaian reaksi kimia dan melakukan pengikatan dengan senyawa kationik maupun anionik (Hanifah, 2014). Selulosa pada eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) sebesar 64,51% sementara sisanya terdiri dari pentosa sebesar 15,61%, sillica abu 5,56% dan lignin 7,69% (Sukaryo, 2016).

Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dikenal sebagai gulma di air karena pertumbuhannya yang sangat cepat. Sementara itu Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Jawa Timur dalam penelitian Muhtar (2008) melaporkan bahwa setiap 10 tanaman eceng gondok mampu berkembang biak menjadi 600.000 tanaman baru dalam waktu 8 bulan. Pertumbuhan yang cepat pada eceng gondok ini dapat menutupi permukaan air dan menimbulkan masalah pada lingkungan sehingga usaha untuk memberantas tanaman gulma air ini dibutuhkan pengolahan lebih lanjut karena tingkat pertumbuhannya lebih cepat dari pembuangannya.

Pemanfaatan eceng gondok untuk mengadsorpsi logam berat memiliki potensi yang sangat besar selain karena memiliki gugus karboksil dan hidroksil sebagai gugus penyerap, juga pengendali eceng gondok sebagai gulma di lingkungan.

Demineralisasi atau pencucian dengan larutan asam menurut Mandasari (2016) bertujuan untuk menghilangkan mineral-mineral asam serta pengotor yang menempel pada adsorben sehingga daya adsorpsi semakin besar. Penelitian Azhari (2017) pada eceng gondok yang didemineralisasi untuk adsorpsi logam Cd menghasilkan nilai kapasitas adsorpsi 57,175 mg/L, nilai ini lebih besar dibanding tanpa demineralisasi yang dilakukan Singh (2016) pada eceng gondok kering menggunakan oven suhu 60-70°C selama dua hari memiliki kemampuan sebagai biosorben dengan kapasitas adsorpsi sebesar 36 mg/g. Sementara itu penelitian Mukaratirwa, dkk. (2016) menunjukkan bahwa eceng gondok yang telah didemineralisasi HNO₃ 0,1 M dapat menurunkan kadar tembaga sebesar 51,9%

Ismanto, dkk. (2010) dalam Rahmayanti (2017) menyatakan intensitas karbonil, hidroksil dan karboksil sebagai gugus aktif penyerap logam berasal dari bertambahnya gugus oksigen yang mana dapat ditingkatkan dengan cara modifikasi kimia menggunakan asam. Diantara penelitian yang telah dilaporkan mengenai adsorpsi tembaga menggunakan eceng gondok antara lain Rumapar (2014); Azhari (2017); Najem (2015); Najem dan Hasson (2017) sebagian besar menggunakan asam nitrat dan asam fosfat.

Sementara itu Mahbubah (2016) telah menentukan jumlah gugus asam (karboksil, karbonil dan hidroksil) pada selulosa batang jagung termodifikasi asam sitrat yaitu sebesar 0,783 Eq/g. Angka ini lebih besar dibandingkan modifikasi selulosa menggunakan asam nitrat (HNO₃) yang dilakukan oleh Harfianti (2016)

sebesar 0,0018997 Eq/g. Sementara itu Surbakti (2016) menggunakan nanas yang memiliki kandungan selulosa, setelah dimodifikasi asam sitrat mengalami peningkatan prosentase adsorpsi dari 14,7143% menjadi 74,7872% .

Modifikasi asam sitrat meliputi interaksi gugus karbonil pada sitrat dengan hidroksil pada selulosa sehingga terbentuk gugus ester (C=O) dan akan teridentifikasi puncak serapan di daerah 1700 cm^{-1} sebagai serapan khas ester. Selanjutnya penelitian Zhu, *et al* (2008) menggunakan jerami kedelai termodifikasi asam sitrat untuk mengadsorp tembaga diperoleh kenaikan kapasitas adsorpsi dari 38,44 mg/g menjadi 48,14 mg/g. Penelitian dilakukan pada kondisi optimum pH 6 dan waktu kontak 60 menit.

Anzeze (2011) melakukan uji untuk memperoleh kondisi optimum adsorpsi logam berat oleh biosorben misalnya pH larutan dan variasi biosorben. Sehingga Pitsari, *et al* (2013) melakukan adsorpsi logam menggunakan pulp yang memiliki kandungan selulosa dengan massa optimum sebesar 1 gram. Sedangkan Ramos, dkk. (2012) melakukan variasi konsentrasi asam sitrat pada adsorpsi logam Cd menggunakan biosorben batang jagung, hasil yang diperoleh yaitu nilai kapasitas adsorpsi maksimum sebesar 42,9 mg/g pada konsentrasi asam sitrat 1,0 M dan pH larutan 7.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka penelitian mengenai biosorben eceng gondok termodifikasi sitrat pada variasi pH dan konsentrasi sitrat perlu dilakukan untuk mengetahui kemampuan optimum biosorben dalam mengadsorpsi tembaga (II) sebagai salah satu logam berat yang dapat berpotensi mencemari badan air. Analisis konsentrasi tembaga setelah dilakukan adsorpsi menggunakan AAS

(*Atomic Absorption Spectrophotometry*), sementara itu karakterisasi menggunakan FTIR untuk mengetahui interaksi gugus aktif selulosa-sitrat dan logam.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, diperoleh rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kemampuan optimum selulosa termodifikasi asam sitrat terhadap penurunan kadar tembaga variasi derajat keasaman (pH)?
2. Bagaimana kemampuan optimum selulosa termodifikasi asam sitrat terhadap penurunan kadar tembaga variasi konsentrasi asam sitrat?
3. Bagaimana karakter vibrasi IR senyawa selulosa eceng gondok tanpa modifikasi, selulosa modifikasi asam sitrat sebelum dan setelah mengadsorp logam tembaga?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui kemampuan optimum selulosa termodifikasi asam sitrat terhadap penurunan kadar tembaga variasi derajat keasaman (pH).
2. Untuk mengetahui kemampuan optimum selulosa termodifikasi asam sitrat terhadap penurunan kadar tembaga variasi konsentrasi asam sitrat.
3. Untuk mengetahui karakter vibrasi IR senyawa selulosa eceng gondok tanpa modifikasi, selulosa modifikasi asam sitrat sebelum dan setelah mengadsorp logam tembaga.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai potensi eceng gondok yang dapat digunakan sebagai adsorben logam tembaga

dengan mengetahui kondisi pH dan konsentrasi sitrat optimum melalui proses adsorpsi.

1.5 Batasan Masalah

Mengingat banyaknya cakupan permasalahan, maka dalam penelitian ini hanya dibatasi pada:

- a. Sampel eceng gondok yang digunakan berasal dari bendungan Selorejo, Kab. Malang
- b. Suhu adsorpsi 298 K
- c. Waktu adsorpsi 150 menit.
- d. pH adsorpsi : 4, 5, 6, 7, dan 8.
- e. Massa adsorben 1,0 g.
- f. Konsentrasi asam sitrat : 0,5 M; 1,0 M; dan 1,5 M.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Potensi Eceng Gondok Sebagai Adsorben

Berdasarkan Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Jawa Timur (2003), satu batang eceng gondok dalam waktu 52 hari mampu berkembang seluas 1 hektar atau dalam waktu 1 tahun mampu menutup area seluas 7 hektar. Gupta, dkk. (2009) menyebutkan bahwa pertumbuhan eceng gondok dalam 30 hari adalah sebesar 6402 g/m^3 . Pertumbuhan yang cepat pada eceng gondok ini dapat menutupi permukaan air dan menimbulkan masalah pada lingkungan sehingga usaha untuk memberantas tanaman gulma air ini dibutuhkan pengolahan lebih lanjut karena tingkat pertumbuhannya lebih cepat dari pembuangannya.



Gambar 2.1 Eceng Gondok (Safeera, 2016)

Dalam al-Quran surat Al-Isra' [17]: 70, Allah berfirman bahwa segala yang diciptakan merupakan rezeki dan bermanfaat bagi manusia.

وَلَقَدْ كَرَّمْنَا بَنِي آدَمَ وَحَمَلْنَاهُمْ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ وَرَزَقْنَاهُمْ مِّنَ الطَّيِّبَاتِ وَفَضَّلْنَاهُمْ عَلَىٰ
كَثِيرٍ مِّمَّنْ خَلَقْنَا تَفْضِيلًا ﴿٧٠﴾

Artinya :*“Sesungguhnya telah Kami muliakan anak-anak Adam, Kami angkut mereka di daratan dan di lautan, Kami beri mereka rizki dari yang baik-baik dan Kami lebihkan mereka dengan kelebihan yang sempurna atas kebanyakan makhluk yang telah Kami ciptakan”*.

Menurut Shihab (2003) dalam al-Misbah, ayat di atas menjelaskan bahwa rizki Allah meliputi apa yang ada di langit dan di bumi. Segala bentuk yang Allah ciptakan pasti bermanfaat bagi manusia. Sementara itu dalam tafsir yang sama, kata فَضَّلَ memiliki makna sebaik baik ciptaan yaitu manusia memiliki kelebihan yang tidak dimiliki makhluk lain berupa akal. Oleh karena itu manusia harus menggunakan rezeki Allah berupa akal untuk bisa mengambil manfaat bahkan dari ciptaan yang mustahil diambil manfaatnya seperti mengolah tanaman yang selama ini dianggap mencemari dan tidak ada manfaatnya. Karena dalam penciptaan langit dan bumi memberikan pelajaran bagi manusia, bagaimana manusia memaknai kehidupan.

Pemanfaatan eceng gondok di daerah Selorejo, Kabupaten Malang telah banyak dikembangkan pada sektor kerajinan, akan tetapi eceng gondok juga dapat dimanfaatkan dari beberapa kandungan mayor sehingga eceng gondok berpotensi sebagai tanaman adsorben (biosorben) yang tercantum pada Tabel 2.1:

Tabel 2.1 Kandungan kimia eceng gondok

Senyawa	Kadar (%)
Selulosa	64,51
Pentosa	15,61
Lignin	7,69
Silika	5,56
Abu	12

Sumber : Moeksin (2016)

Klasifikasi tumbuhan eceng gondok adalah sebagai berikut (Safeera, 2016):

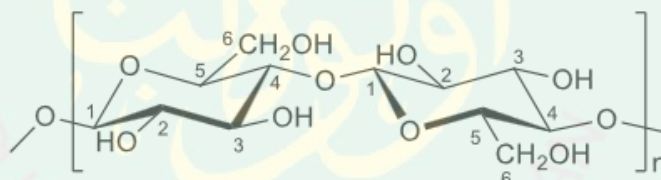
Kingdom : Plantae (Tumbuhan)

Subkingdom : Tracheobionta (Tumbuhan berpembuluh)

Super Divisi : Spermatophyta (Menghasilkan biji)
 Divisi : Magnoliophyta (Tumbuhan berbunga)
 Kelas : Liliopsida (berkeping satu / monokotil)
 Sub Kelas : Alismatidae
 Ordo : Alismatales
 Famili : Butomaceae
 Genus : Eichornia
 Spesies : *Eichornia crassipes* (Mart.) Solms

2.1.1 Senyawa Selulosa Pada Eceng Gondok

Selulosa adalah polimer rantai panjang karbohidrat polisakarida dengan gugus fungsi yang ada dalam selulosa murni yaitu gugus hidroksil (OH) yang membuat selulosa poliol dengan gugus fungsi alkohol primer (-CH₂OH) atau alkohol sekunder (-CHOH) sehingga dapat terjadi adsorpsi pada material selulosa (Azhari, 2017). Penelitian Ni'mah dan Ita (2007) menyatakan gugus hidroksil pada selulosa memungkinkan bertindak sebagai penukar ion dan sebagai adsorben terhadap logam berat.

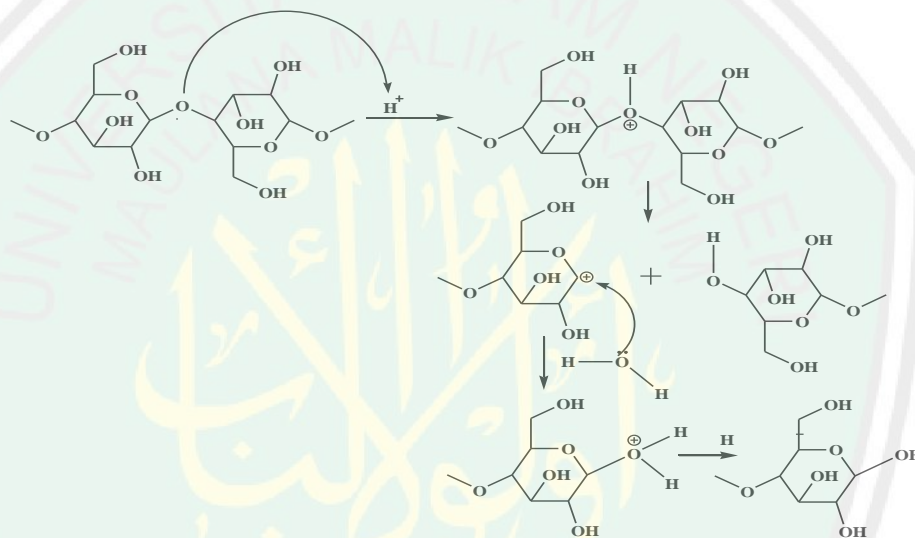


Gambar 2.2 Struktur Selulosa (Yun Jin, 2015)

Setiap unit β -D-glikopiranosida di dalam rantai selulosa memiliki tiga gugus hidroksil reaktif. Terdiri dari dua sekunder dan satu primer (OH-6). Pada saat selulosa mengalami esterifikasi, gugus hidroksil primer biasanya paling mudah beresterifikasi karena memiliki reaktifitas yang lebih tinggi hal ini disebabkan lebih sedikitnya halangan sterik gugus hidroksil primer dibanding gugus hidroksil lain (Fengel, 1995).

2.2 Demineralisasi Eceng Gondok

Demineralisasi menurut Mandasari, dkk. (2016) merupakan pencucian dengan larutan asam bertujuan untuk menghilangkan mineral-mineral asam serta pengotor yang menempel pada adsorben melalui proses pertukaran ion. Penelitian Loow (2016) melakukan hidrolisis beberapa jenis selulosa menggunakan asam. Salah satu golongan yang diamati adalah glikosidik hemiselulosa. Mekanisme hidrolisis ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Mekanisme reaksi hidrolisis selulosa oleh asam (Loow, 2016)

Demineralisasi pada eceng gondok menggunakan HNO_3 0,3 M juga dilakukan Najem (2015) pada biosorben eceng gondok yang digunakan untuk menyerap ion logam tembaga (Cu) memiliki nilai efisiensi penyerapan sebesar 96,75%. Sementara itu pada penelitian lain, demineralisasi pernah Mukaratirwa (2016) dengan merendam eceng gondok menggunakan HNO_3 0,1 M dapat menurunkan kadar pengotor berupa mineral dan logam pada biomassa eceng gondok yang ditampilkan pada Tabel 2.2.

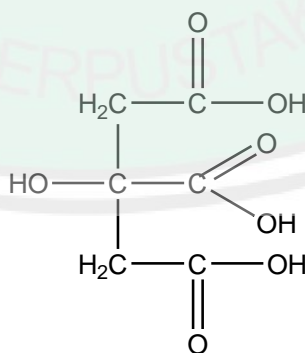
Tabel 2.2 Persentase penurunan kadar mineral eceng gondok oleh asam nitrat

Mineral	Analisis ($\mu\text{g/g}$)		Kadar Penurunan (%)
	Sebelum pencucian	Setelah pencucian	
Fe	2399.2	317.9	86.8
Ni	172.4	42.95	75.1
Cu	427.3	205.4	51,9

Sumber: Mukaratirwa (2016)

2.3 Modifikasi Menggunakan Asam Sitrat Melalui Reaksi Esterifikasi

Modifikasi yang sering ditempuh oleh para peneliti yaitu dengan cara *cross linked* antar rantai. *Cross linked* dilakukan dengan menggunakan senyawa yang setidaknya memiliki dua gugus aktif salah satunya adalah asam sitrat. Asam sitrat merupakan suatu karboksilat tribasis, berwujud kristal berwarna putih, berasa kecut dan ada di dalam jeruk dan buah asam lainnya sebagai asam bebas. Memiliki rumus kimia $\text{CH}_2(\text{COOH})\text{-COH}(\text{COOH})\text{CH}_2(\text{COOH})$ dengan nama IUPAC asam 2-hidroksi-1,2,3-propanatrikarboksilat. Keasaman asam sitrat diperoleh dari tiga gugus karboksil ($-\text{COOH}$) yang dapat melepas proton dalam larutan sehingga dihasilkan ion sitrat (Surbakti, 2016). Struktur asam sitrat dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Rumus Molekul Asam Sitrat (Fatih, 2008)

Kemampuan biosorben dalam mengadsorpsi logam tembaga dipengaruhi oleh gugus karboksil (-COOH) pada selulosa sebagai gugus aktif pengadsorpsi logam melalui proses modifikasi. Penelitian Harfianti (2006) melakukan modifikasi selulosa batang jagung menggunakan beberapa reagen yaitu asam nitrat, asam sulfat dan asam peroksida dengan total gugus karboksil berturut-turut sebesar 0,7425; 0,5413; dan 0,6419 mEq/g. Sementara itu penelitian Mahbubah (2016) menunjukkan nilai gugus karboksil asam sitrat sebesar 0,783 Eq/g. Oleh karena itu asam sitrat menjadi salah satu reagen terbaik yang bertindak untuk memodifikasi situs aktif pada selulosa, sehingga dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi dari eceng gondok (Siswoyo, 2017).

Modifikasi kimia menggunakan asam sitrat pada selulosa jerami kedelai dilakukan Zhu (2008) melalui reaksi esterifikasi untuk mengadsorpsi logam tembaga. Esterifikasi dilakukan dengan cara menambahkan asam sitrat 0,6 M dengan rasio 1,0 gram jerami kedelai ke dalam 10 mL larutan asam sitrat. Kemudian diaduk pada 500 rpm selama 30 menit pada suhu kamar. Esterifikasi terjadi bila gugus asam karboksilat (-COOH) dan gugus alkohol (-OH) dipanaskan dalam suasana asam, maka kesetimbangan antara ester dan air akan terjadi. Namun Osifo *et al.* (2008) dalam penelitian modifikasi kitosan oleh glutaraldehid menyatakan derajat *cross linked* yang terlalu banyak juga akan menurunkan jumlah situs aktif, sehingga kapasitas bisorben dalam mengadsorpsi juga menurun. Selain itu reaksi glutaraldehid dan kitosan akan melemahkan ikatan nitrogen (kitosan) dan ion logam yang diserap.

Gugus aktif adsorben memiliki peran penting pada proses adsorpsi oleh karena itu penentuan situs aktif batang jagung yang memiliki senyawa selulosa

dimodifikasi asam sitrat pernah dilakukan Vinayaka (2018) tercantum dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Konsentrasi gugus aktif batang jagung (*Zea mays L.*)

Variasi Batang Jagung	Situs Asam (meq per gr)			
	Total asam	Hidroksil	Karboksil	Lakton
BA	1,35	0,05	0,6	0,7
BDA1,5	2,25	0,2	1,95	0,1
BDA2	2,6	0,3	1,65	0,65
BDA2,5	3,15	0,7	2,4	0,05

Keterangan: Batang Jagung Alami (BA), Teraktivasi Asam Sitrat 1,5 (BDA1,5), Batang Jagung Terdelignifikasi dan Teraktivasi Asam Sitrat 2,0 (BDA2,0), Batang Jagung Terdelignifikasi dan Teraktivasi Asam Sitrat 2,5 (BDA2,5). Sumber: Vinayaka (2018)

Sementara itu penelitian Thanh dan Nhung (2009) menyebutkan mekanisme reaksi asam sitrat terjadi ketika gugus hidroksil pada atom C-6 selulosa yang bersifat nukleofil akan menyerang gugus karbonil pada asam sitrat anhidrat. Low *et al.*, (2004) menyatakan terbentuknya gugus karbonil dapat meningkatkan jumlah gugus yang digunakan untuk berikatan dengan kation logam. Sehingga daya serap terhadap kation logam semakin besar.

2.4 Adsorpsi Logam Tembaga oleh Biosorben Termodifikasi Asam Sitrat

2.4.1 Adsorpsi

Adsorpsi merupakan suatu peristiwa penyerapan pada lapisan permukaan atau antar fasa, dimana molekul dari suatu materi terkumpul pada bahan pengadsorpsi atau adsorben (Atkins, 1997). Jenis adsorpsi yang umum dikenal adalah adsorpsi kimia (kemisorpsi) dan adsorpsi fisika (fisorpsi). Adsorpsi kimia (kemisorpsi) menurut Atkins menyebabkan terbentuknya ikatan secara kimia dan

didasarkan atas ikatan ionik atau pertukaran ion. Sementara itu pada adsorpsi fisika, molekul tidak terikat kuat sehingga mudah diganti oleh molekul lain karena adsorpsi ini didasarkan pada gaya Van Der Waals. Mekanisme pertukaran dapat terjadi berdasarkan penggabungan dari kemisorpsi dan fisorpsi, karena mengikat ion-ion dengan ikatan secara kimia tetapi ikatan mudah dilepas kembali untuk terjadinya pertukaran ion.

2.4.2 Tembaga

Tembaga merupakan unsur pada golongan 1B periode 4 dalam tabel periodik kimia. Tembaga mempunyai lambang Cu dengan nomor atom 29, massa relatif 63,546, titik lebur 1983,4 °C, dan titik didih 2567 °C. Unsur logam ini berbentuk kristal dengan warna kemerahan (Palar, 2004). Asam nitrat yang memiliki kepekatan sedang mudah melarutkan tembaga dengan reaksi sebagai berikut :



Tembaga mempunyai struktur elektronik [Ar] 3d⁹ 4s² sementara itu ion logam yang digunakan dalam penelitian ini adalah ion Cu²⁺ dengan struktur elektronik [Ar] 3d⁹ 4s⁰. Koordinasi antara karbohidrat dengan ion logam dapat terbentuk dalam berbagai proses biokimia.

2.4.3 Mekanisme Adsorpsi Logam Tembaga Oleh Biosorben Termodifikasi Asam Sitrat

Interaksi yang terjadi antara biomassa eceng gondok dan logam adalah ikatan pertukaran ion akibat gugus karboksilat (-COOH) mengalami deprotonasi dan bermuatan negatif menjadi COO⁻. Gugus karboksil bermuatan negatif ini sangat mudah berikatan dengan logam yang bermuatan positif. Menurut Voleskey (2003) hal ini terjadi karena tingginya nilai kapasitas adsorpsi berbanding lurus dengan

konsentrasi karboksilat dan hidroksil pada saat modifikasi menggunakan asam sitrat.

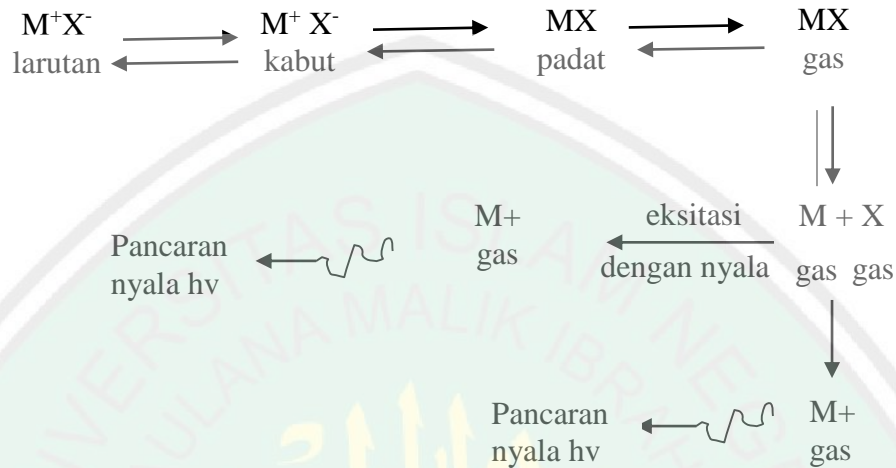
2.5 Analisis Logam Tembaga Menggunakan SSA

Spektroskopi Serapan Atom (SSA) merupakan metode analisis unsur secara kuantitatif yang pengukurannya berdasarkan penyerapan cahaya dengan panjang gelombang tertentu tergantung sifat unsurnya. Analisis SSA ini bersifat sangat selektif dan akurat walaupun unsur yang diidentifikasi sangat kecil, dapat dilakukan pada berbagai jenis sampel baik sampel organik maupun anorganik (Gandjar, 2007).

Abdullah (2017) melakukan analisis kadar logam Cu pada filtrat setelah proses adsorpsi dan diperoleh konsentrasi sebesar 8,75-22,76 ppm. Kemudian analisis logam Cu setelah adsorpsi oleh batang jagung pernah dilakukan Ma'rifah (2018), analisis pada SSA diperoleh kadar Cu sebesar 34,5 ppm.

Analisis SSA didasarkan pada proses penyerapan energi radiasi dari sumber nyala atom-atom yang berada pada tingkat energi dasar. Pada setiap elektron yang berada di kulit terluar akan mengalami eksitasi dari keadaan dasar dengan menyerap energi yang disebabkan oleh lampu (sumber radiasi). Atom atom keadaan dasar ini mampu menyerap energi cahaya pada panjang gelombang resonansi yang khas. Panjang gelombang yang digunakan untuk analisis logam tembaga sebesar 324,7 nm sebab panjang gelombang ini paling kuat menyerap energi transisi elektronik dari *ground state* ke keadaan tereksitasi. Sehingga cahaya dengan panjang gelombang resonansi itu dilewatkan nyala yang mengandung atom-atom yang bersangkutan, maka sebagian cahaya itu akan diserap dan jauhnya penyerapan akan

berbanding lurus dengan banyaknya atom keadaan dasar yang berada dalam keadaan nyala (Maria, 2009).



Gambar 2.5 Tahapan umum atomisasi pada SSA (Anshori dan Jamaludin, 2005)

Prinsip dasar SSA meliputi interaksi antara radiasi elektromagnetik dengan sampel. Menurut Darmono (1995) cara kerja Spektroskopi Serapan Atom (SSA) ini adalah berdasarkan atas penguapan larutan sampel, kemudian logam yang terkandung di dalamnya diubah menjadi atom bebas. Sampel yang dianalisis dengan menggunakan menggunakan SSA harus dalam diubah terlebih dahulu menjadi atom-atom bebas. Secara umum, tahapan atomisasi pada SSA ditampilkan dalam Gambar 2.5.

Gas pembakar yang digunakan adalah campuran udara dan asetilen dengan temperatur pembakaran 2000°C . Temperatur pembakaran yang digunakan harus melebihi titik didih logam yang akan dianalisis. Hal tersebut dilakukan agar atomisasi berlangsung secara maksimal.

Ditinjau dari hubungan antara konsentrasi dan absorbansi, maka hukum Lambert Beer dapat digunakan jika sumbernya adalah monokromatis. Hubungan serapan atom dengan konsentrasi dapat dinyatakan dengan hukum Lambert-Beer, yaitu:

$$\text{Log } I_0 / I = abc \quad (2.1)$$

Dimana :

- I_0 = Intensitas mula-mula
- I = Intensitas sinar yang ditransmisikan
- a = Intensitas molar
- b = Tinggi tungku pembakaran
- c = Konsentrasi atom

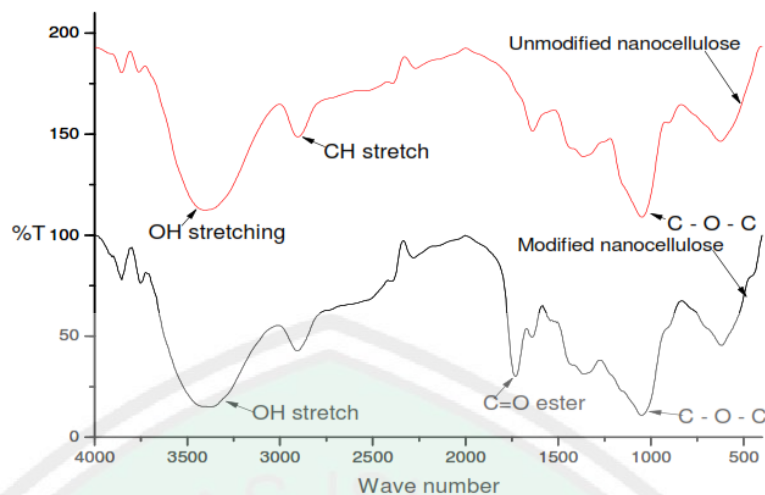
2.6 Identifikasi Gugus Fungsi Pada Biosorben Menggunakan FTIR

Spektrofotometer FTIR (*Fourier Transform InfraRed spectrophotometer*) merupakan suatu instrumen yang digunakan untuk menganalisis gugus fungsi suatu senyawa organik maupun anorganik. Analisis didasarkan pada serapannya terhadap radiasi elektromagnetik di daerah inframerah. Daerah serapan radiasi inframerah berkisar antara bilangan gelombang $650\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$. Serapan ini sebanding dengan frekuensi vibrasi ikatan pada molekul yang umumnya berikatan kovalen (Panji, 2012). Frekuensi vibrasi dapat didekati dengan penerapan hukum Hooke's seperti ditunjukkan pada persamaan 2.2 (Supratman, 2010).

$$\nu = \frac{1}{2\pi c} \sqrt{\frac{f}{\mu}} \quad (2.2)$$

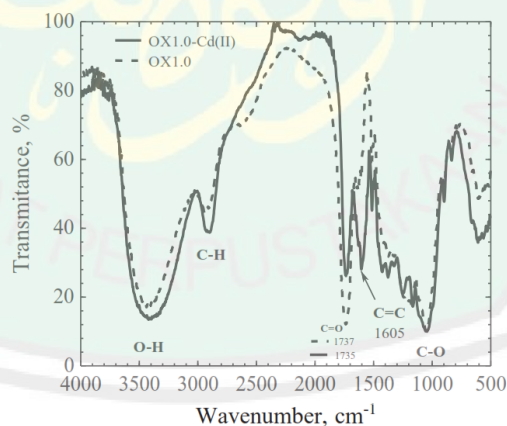
Keterangan:

- ν = frekuensi vibrasi (cm^{-1})
- c = kecepatan cahaya (cm/s)
- f = konstanta gaya (dyne/cm)
- μ = massa tereduksi = $\left(\frac{M_1 M_2}{M_1 + M_2}\right)$



Gambar 2.6 Spektra IR (hitam) selulosa termodifikasi asam sitrat dan (merah) selulosa tanpa modifikasi (Madivoli, dkk., 2016)

Penelitian mengenai selulosa termodifikasi asam sitrat, pada spektra IR menunjukkan adanya serapan vibrasi di daerah 1735 cm^{-1} sebagai serapan khas gugus ester ($\text{C}=\text{O}$). Terbentuknya ester menurut Madivoli, dkk. (2016) merupakan produk esterifikasi yang ditampilkan Gambar 2.6.



Gambar 2.7 Pergeseran frekuensi setelah adsorp logam (Ramos, dkk., 2012)

Pitsari (2013) pada penelitiannya menyatakan interaksi gugus karbonil dan logam dapat terdeteksi berdasarkan bergesernya frekuensi serapan karbonil. Hal ini dimungkinkan karena berkurangnya kekuatan vibrasi akibat terikatnya logam

pada atom O karbonil. Hasil penelitian Ramos, dkk. (2016) menunjukkan terjadinya pergeseran bilangan gelombang terutama pada daerah vibrasi O-H, C-O alkohol primer, mengindikasikan adanya kepolaran akibat molekul baru yang terikat pada gugus tersebut.

2.7 Uji ANOVA

Analisis varians (*analysis of variance* atau ANOVA) adalah suatu metode analisis statistika yang termasuk ke dalam cabang statistika inferensi, pertama kali diperkenalkan oleh Sir Ronald Fisher, bapak statistika modern. Dalam praktik, analisis varians dapat merupakan uji hipotesis (lebih sering dipakai) maupun pendugaan (estimation, khususnya di bidang genetika terapan). ANOVA merupakan salah satu teknik analisis multivariate yang berfungsi untuk membedakan rerata lebih dari dua kelompok data dengan cara membandingkan variansinya. Analisis varian dapat dilakukan untuk menganalisis data yang berasal dari berbagai macam jenis dan desain penelitian. Analisis varian banyak dipergunakan pada penelitian-penelitian yang banyak melibatkan pengujian komparatif yaitu menguji variabel terikat dengan cara membandingkannya pada kelompok-kelompok sampel independen yang diamati. Analisis varian saat ini banyak digunakan dalam penelitian survey dan penelitian eksperimen. Secara umum, analisis varians menguji dua varians (atau ragam) berdasarkan hipotesis nol bahwa kedua varians itu sama. Varians pertama adalah varians antarcontoh (among samples) dan varians kedua adalah varians di dalam masing-masing contoh (within samples).

Analisis varian termasuk dalam kategori statistik parametrik. Sebagai alat statistika parametrik, maka untuk dapat menggunakan rumus ANOVA harus

terlebih dahulu perlu dilakukan uji asumsi meliputi normalitas, heterokedastisitas dan random sampling (Ghozali, 2009) sehingga dalam menafsirkan hasilnya beberapa asumsi harus dipenuhi dalam perancangan percobaan antara lain (Ghozali, 2009):

1. *Homogeneity of variance*: variabel dependen harus memiliki varian yang sama dalam setiap kategori variabel independen. Jika terdapat lebih dari satu variabel independen, maka harus ada *homogeneity of variance* di dalam cell yang dibentuk oleh variabel independen kategorikal
2. *Random sampling*: untuk tujuan uji signifikansi, maka subyek di dalam setiap grup harus diambil secara acak.
3. *Multivariate normality*: untuk tujuan uji signifikansi, maka variabel harus mengikuti distribusi normal multivariate. Variabel dependen terdistribusi normal dalam setiap kategori variabel independen. ANOVA masih tetap robust walaupun terdapat penyimpangan asumsi *multivariate normality*.

Analisis varians satu jalur merupakan teknik statistika parametrik yang digunakan untuk pengujian perbedaan beberapa kelompok rata-rata, di mana hanya terdapat satu variabel bebas atau independen yang dibagi dalam beberapa kelompok dan satu variabel terikat atau dependen. Hipotesis dalam ANOVA akan membandingkan rata-rata dari beberapa populasi yang diwakili oleh beberapa kelompok sampel secara bersama, sehingga hipotesis matematikanya adalah :

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 \dots = \mu_k$$

- a. Seluruh mean populasi adalah sama
- b. Tak ada efek treatment (tak ada keragaman mean dalam grup)

H₁ : tidak seluruh mean populasi adalah sama

- a. Minimal ada 1 mean populasi yang berbeda
- b. Terdapat sebuah efek treatment
- c. Tidak seluruh mean populasi berbeda (beberapa pasang mungkin sama).

Langkah-langkah dalam analisis ANOVA satu jalur sebagai berikut:

1. Menghitung jumlah kuadrat total (JKT), jumlah kuadrat perlakuan (JKA), jumlah kuadrat galat (JKG), rataan kuadrat perlakuan (RKA), dan rataan kuadrat galat (RKD).
2. Menghitung derajat kebebasan total (dbT), derajat kebebasan rerata (dbR), derajat kebebasan direduksi/dikoreksi (dbTR), derajat kebebasan antar kelompok (dbA), dan derajat kebebasan dalam kelompok (dbD),
3. Menghitung nilai F

Melakukan interpretasi dan uji signifikansi dengan membandingkan nilai uji F_{hitung} dengan F_{tabel} . Koefisien F_{tabel} diperoleh dari distribusi F yang nilainya didasarkan pada derajat kebebasan antar kelompok (dbA) dan derajat kebebasan dalam kelompok (dbD) pada taraf signifikansi baik $\alpha = 0,05$ atau $\alpha = 0,01$. Apabila nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$ maka H_0 ditolak dan H_1 diterima yang diinterpretasikan signifikan, berarti terdapat perbedaan rata-rata dari kelompok yang dibandingkan. Sebaliknya jika nilai $F_{hitung} < F_{tabel}$ maka H_0 diterima dan H_1 ditolak yang diinterpretasikan tidak signifikan, berarti tidak terdapat perbedaan rata-rata dari kelompok yang dibandingkan.

F_{tabel} bisa dihitung pada tabel F dengan cara: (a) tingkat signifikansi (α) adalah 5%, (b) numerator adalah $(k - 1)$ dalam ini sebagai pembilang (df2), (c) denominator adalah $(n - k)$ dalam hal ini sebagai penyebut (df1).

Bunyi hipotesis alternatif seperti tersebut diatas, merupakan hipotesis yang fleksibel, karena tidak menyebutkan secara pasti μ mana yang berbeda dengan yang lainnya. Hal ini mempunyai arti bahwa μ mana yang tidak sama bukan merupakan masalah dalam penolakan hipotesis nol. H_0 pada *One Way* ANOVA adalah tidak ada perbedaan signifikan rata-rata sampel yang ada. Bila H_0 ditolak, maka analisisnya belum selesai sehingga perlu analisis lanjutan misalnya LSD (*Least Significance Difference*), Tukey (HSD: *Honestly Significant Difference*), Tukey's-b, Duncan, S-N-K (*Student Newman Keuls*), Dunnet, Scheffe.



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober 2018-April 2019 di Laboratorium Kimia Fisika Jurusan Kimia Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang. Analisis SSA dan karakterisasi FTIR di Laboratorium Jurusan Kimia Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: gelas arloji, spatula, neraca analitik, beaker glass 100 mL, beaker glass 250 mL, pipet tetes, pipet ukur 10 mL, pipet ukur 25 mL *mortar agate*, *hotplate*, *magnetic stirer*, aluminium foil, oven, gelas ukur 50 mL, corong gelas, erlenmeyer 250 mL, botol semprot, *shaker*, tabung reaksi, *sentrifuge*, seperangkat alat FTIR, spektrofotometer SSA.

3.2.2 Bahan

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah eceng gondok yang diambil dari rawa di daerah Waduk Selorejo, Kecamatan Ngantang, Kabupaten Malang, NaOH, HCl, HNO₃ 65%, asam sitrat p.a., Na₂HPO₄, NaH₂PO₄, Na₂CO₃, NaHCO₃, kertas indikator pH, akuades, KBr, CuSO₄.5H₂O, akuademin.

3.3 Rancangan Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan ini adalah adsorpsi logam tembaga (II) oleh selulosa eceng gondok termodifikasi asam sitrat melalui reaksi esterifikasi. Sebelum dimodifikasi menggunakan asam sitrat, biosorben didemineralisasi untuk menghilangkan pengotor berupa mineral-mineral. Kemudian untuk mengetahui interaksi gugus penyerap dan logam tembaga, dilakukan karakterisasi biosorben menggunakan FTIR. Beberapa kondisi dilakukan untuk mengetahui kondisi optimum adsorpsi berdasarkan beberapa variasi antara lain variasi derajat keasaman (pH) 4, 5, 6, 7 dan 8. Konsentrasi asam sitrat 0,5 M; 1,0 M; dan 1,5 M.

Tabel 3.1 Rancangan penelitian penentuan pH optimum dan konsentrasi asam sitrat biosorben terhadap penurunan kadar Cu (II)

pH	Presentase penurunan (%)			
	M 0,5	M 1,0	M 1,5	TM
4				
5				
6				
7				
8				

M 0,5 : biosorben demineralisasi + modifikasi sitrat 0,5 M

M 1,0 : biosorben demineralisasi + modifikasi sitrat 1,0 M

M 1,5 : biosorben demineralisasi + modifikasi sitrat 1,5 M

TM : biosorben tanpa demineralisasi dan modifikasi

3.4 Tahap Penelitian

1. Preparasi dan demineralisasi eceng gondok menggunakan asam nitrat
2. Modifikasi gugus aktif biosorben menggunakan asam sitrat
3. Karakterisasi biosorben eceng gondok
4. Pembuatan kurva standar tembaga (II)

5. Adsorpsi logam tembaga menggunakan biosorben eceng gondok dengan variasi pH dan konsentrasi asam sitrat.
6. Analisis data

3.5 Prosedur Kerja

3.5.1 Preparasi dan Demineralisasi Biosorben Eceng Gondok Menggunakan Asam Nitrat (Azhari, 2017) (Mukaratirwa, 2016)

Sampel eceng gondok dicuci dan dipisahkan batang dan daun dari akarnya. Kemudian dipotong kecil-kecil dan dikeringkan ke dalam oven selama 50 menit pada suhu 70°C. Sampel kering dihaluskan lalu disimpan dalam wadah kering.

Biosorben direndam dengan HNO₃ 0,1 M dengan volume berlebih selama 24 jam. Campuran sampel dan asam nitrat disaring dan diperoleh residu lalu dibilas akuades hingga pH mendekati 7. Dikeringkan ke dalam oven selama 4 jam dengan suhu 95 °C lalu dikeringkan suhu ruang.

3.5.2 Modifikasi Gugus Aktif Biosorben Menggunakan Asam Sitrat (Surbakti, 2016) (Zhu, dkk., 2008)

Biosorben eceng gondok kering yang telah diaktivasi menggunakan asam nitrat dicuci kembali menggunakan asam sitrat 0,5 M; 1,0 M dan 1,5 M dengan rasio asam sitrat : serbuk biosorben sebesar 5 mL : 1,0 g. Sampel direaksikan di atas stirrer kec. 150 rpm selama 90 menit pada suhu 60°C. Selanjutnya kedua campuran ini dimasukkan ke oven pada suhu 60°C. Setelah 24 jam kemudian suhu dinaikkan menjadi 120°C selama 90 menit. Selanjutnya dicuci dengan akuades hangat sampai pH mendekati 7. Lalu dikeringkan pada suhu 50°C sampai berat konstan. Biosorben yang terbentuk

dapat digunakan sebagai biosorben untuk menurunkan kadar tembaga dalam larutan logam.

3.5.3 Karakterisasi Biosorben Eceng Gondok Menggunakan Spektrofotometer FTIR

Gugus fungsi senyawa biosorben eceng gondok sebelum dimodifikasi, setelah demineralisasi, setelah modifikasi asam sitrat dan setelah mengadsorpsi tembaga diidentifikasi menggunakan spektrofotometer FTIR VARIAN tipe FT 1000. Sampel biosorben diayak ukuran 100 mesh, lalu disimpan dalam desikator selama tujuh hari. Kemudian sampel dicampur dengan KBr lalu digerus dalam mortas agate. Selanjutnya campuran dipress dan dibentuk pellet, lalu pellet diletakkan di *cell holder* dalam instrumen FTIR dan dibuat spektrum IR pada rentang bilangan gelombang 4000-400 cm^{-1} .

3.5.4 Analisis Tembaga Menggunakan SSA

3.5.4.1 Kondisi Operasional SSA

Sederetan larutan standar tembaga (Cu) dianalisis dengan Spektroskopi Serapan Atom (SSA) varian spektra AA 240 pada kondisi sebagai berikut: alat Spektroskopi Serapan Atom (SSA) varian *spectra* AA 240 dengan komponen meliputi lampu katoda (HCl) terbuat dari wolfram / tungsten dengan kuat arus HCl 10,0 μA , panjang gelombang untuk tembaga pada 324,8 nm, burner Mark 7, monokromator, detektor jenis MPT (Multiplayer tube), laju alir asetilen pada 2,0 L/menit, laju alir udara pada 10,0 L/menit, lebar celah pada 0,7 nm, tinggi burner 2,0 mm (Khopkar, 1990).

3.5.4.2 Pembuatan Larutan Stok Tembaga

Larutan tembaga (Cu) diperoleh dari pembuatan larutan tembaga pentahidrat Emerck $\text{Cu}(\text{SO}_4)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Larutan stok tembaga (Cu) 1000 ppm dibuat dengan cara ditimbang sebanyak 3,819 gram garam $\text{Cu}(\text{SO}_4)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ kemudian dilarutkan dengan akuades dan dimasukkan ke labu takar 1000 mL. Larutan ditambahkan akuades sampai tanda batas dan dihomogenkan. Larutan standar tembaga tersebut selanjutnya dianalisis dengan Spektroskopi Serapan Atom (SSA) varian *spectra* AA 240 untuk mengetahui adsorbansi larutan tembaga (Rohman, 2007).

3.5.4.3 Pembuatan Kurva Standar Tembaga (Rohman, 2007)

Larutan Tembaga (Cu) diperoleh dari pengenceran larutan induk tembaga Emerck $\text{Cu}(\text{SO}_4)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 1000 ppm yaitu larutan tembaga (Cu) dibuat dengan cara memindahkan 100 mL larutan baku 1000mg/L ke dalam labu ukur 1000 mL, kemudian ditambahkan akuades sampai tanda batas. Kemudian larutan standar 1 ppm, 2 ppm, 3 ppm, 4 ppm dan 5 ppm dibuat dengan cara memindahkan 0,5 mL; 1,0 mL; 1,5 mL; 2,0 mL dan 2,5 mL larutan 100 ppm ke dalam labu ukur 50 mL, kemudian diencerkan sampai tanda batas. Sederet larutan standar tembaga tersebut selanjutnya dianalisis dengan Spektroskopi Serapan Atom (SSA) varian *spectra* AA 240 sehingga diperoleh data absorbansi masing-masing larutan standar.

3.5.5 Adsorpsi Logam Tembaga dengan Variasi pH Larutan dan Konsentrasi Asam Sitrat (Pitsari, 2013)

Biosorben yang telah dimodifikasi asam sitrat konsentrasi 0,5 M; 1,0 M dan 1,5 M ditimbang sebanyak 1 gram, kemudian dimasukkan ke dalam erlenmeyer 250 mL. Selanjutnya ditambahkan 100 mL larutan tembaga 100

ppm ke dalam erlenmeyer 250 mL. Larutan dikondisikan pada variasi pH 4, 5, 6, 7 dan 8 dengan menambahkan reagen HCl dan NaOH. Campuran larutan dishaker selama 120 menit dengan kecepatan 200 rpm selanjutnya disaring menggunakan kertas saring Whatmann, dan diencerkan dengan memindahkan 2,5 mL filtrat dalam labu ukur 50 mL (fp 20) lalu ditandabatkan menggunakan larutan HNO₃ 1% (v/v). Larutan dianalisis menggunakan SSA. Uji adsorpsi dilakukan secara duplo.

3.6 Analisis Data

1. Identifikasi gugus fungsi senyawa aktif selulosa biosorben eceng gondok menggunakan spektrofotometer FTIR dimana senyawa target mempunyai serapan yang khas, yaitu serapan gugus fungsi -OH yang kuat dan lebar pada bilangan gelombang 3500-3000 cm⁻¹ dan C=O ester sebagai gugus aktif pada daerah serapan 1735 cm⁻¹.
2. Persentase penyisihan adsorbat dihitung berdasarkan rumus (Najem, 2015) :

$$\text{Removal (\%)} = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100\%$$

Keterangan

C_i : konsentrasi awal logam di dalam larutan (mg/L)

C_f : konsentrasi akhir logam di dalam larutan (mg/L)

3. Nilai absorbansi yang didapat diinterpolarisasikan ke dalam kurva standar dengan sumbu x adalah konsentrasi dan sumbu y adalah absorbansi. Kemudian dianalisis dengan metode uji varian *Two Way ANOVA* untuk mengetahui apakah variasi pH larutan dan konsentrasi asam sitrat mempunyai pengaruh dalam

pembacaan konsentrasi yang diukur dengan instrumen Spektrofotometri Serapan Atom (SSA).



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Preparasi dan Demineralisasi Eceng Gondok

Penelitian ini menggunakan sampel eceng gondok dari Waduk Selorejo, Ngantang, Kabupaten Malang. Preparasi sampel dimulai dari pencucian untuk memisahkan pengotor fisik berupa lumpur yang menempel pada daun dan batang eceng gondok, selanjutnya dilakukan pengeringan dan pemotongan. Proses pengeringan sampel bertujuan untuk menguapkan kandungan air sehingga memudahkan proses penggilingan sampel menjadi serbuk eceng gondok seperti Gambar 4.1. Pembuatan serbuk eceng gondok bertujuan untuk memperluas permukaan yang besar merupakan salah satu karakter yang diperlukan suatu material untuk dijadikan sebagai adsorben.



Gambar 4.1 Serbuk eceng gondok

Proses demineralisasi menggunakan asam nitrat berdasarkan dilakukan untuk menghilangkan mineral yang menempel pada dinding sel eceng gondok yang dapat menghambat proses adsorpsi sehingga luas permukaan biosorben bertambah.

Biomassa dikeringkan untuk menguapkan kandungan air yang mungkin terjerap dalam biosorben. Hasil dari demineralisasi sampel eceng gondok berupa padatan berwarna hijau lebih pucat dan mengalami pengurangan massa seperti yang ditampilkan Tabel 4.1.

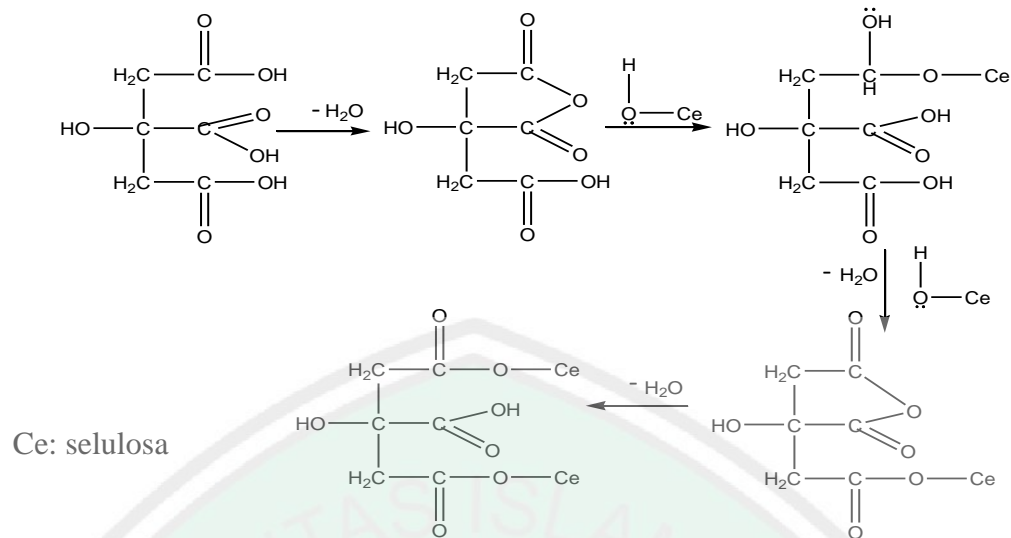
Tabel 4.1 Randemen massa biosorben setelah proses demineralisasi

Ulang	Massa (gram)		Randemen (%)
	Sebelum	Setelah	
1	115	109,85	4,478
2	110	107,3	2,454

4.2 Modifikasi gugus aktif biosorben menggunakan asam sitrat

Modifikasi biosorben menggunakan asam sitrat bertujuan untuk menambah situs aktif yang berperan dalam proses adsorpsi. Larutan asam sitrat yang berisi biosorben eceng gondok dipanaskan untuk membentuk sitrat anhidrat. Senyawa anhidrat yang reaktif berinteraksi dengan gugus hidroksil selulosa membentuk ester siklik (*ester linkage*).

Mekanisme molekul asam sitrat anhidrat berikatan dengan selulosa eceng gondok dijelaskan Ramos, dkk. (2012), dimulai dari dehidrasi asam sitrat karena pemanasan kemudian menjadi anhidra reaktif yang bereaksi dengan gugus hidroksil pada selulosa. Reaksi berlangsung dalam air membentuk ester. Atom O yang terikat pada karbon-6 selulosa bersifat elektronegatif dan tidak meruah dibanding hidroksil pada atom C lain pada selulosa, sehingga lebih mudah menyerang atom yang bersifat elektrofil. Mekanisme reaksi esterifikasi ditampilkan pada Gambar 4.2.

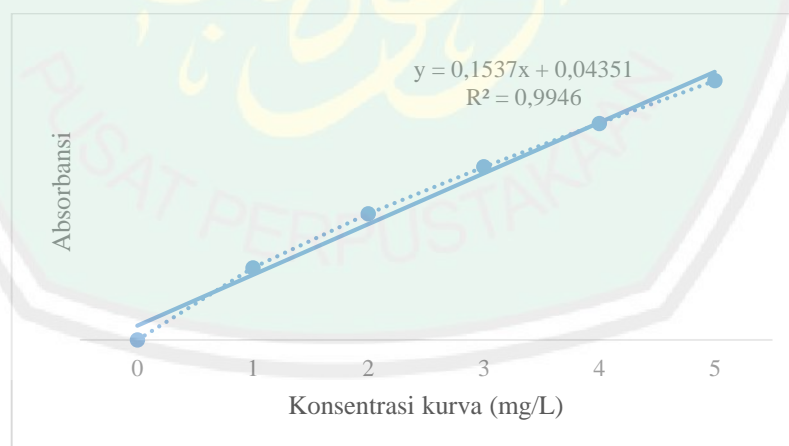


Gambar 4.2 Mekanisme reaksi esterifikasi selulosa dengan asam sitrat (Zhu, dkk., 2008)

4.3 Adsorpsi Logam Tembaga Menggunakan Biosorben Termodifikasi

4.3.1 Pembuatan Kurva Standar Cu

Pembuatan kurva standar bertujuan mengetahui hubungan konsentrasi larutan dengan nilai absorbansinya sehingga konsentrasi logam dapat diketahui. Pembuatan kurva standar menghasilkan kurva yang ditampilkan pada Gambar 4.3



Gambar 4.3 Kurva standar larutan tembaga

Pada Gambar 4.3 menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi logam Cu yang dianalisis maka semakin tinggi pula absorbansinya sesuai kurva garis lurus dari perbandingan antara sumbu x dan y. Regresi linear $y = ax + b$ dapat diketahui

nilai (koefisien korelasi) $R = 0,9946$ yang bernilai positif. Pembuatan kurva standar dapat dibaca ulang untuk standar pembacaan logam Cu yang diadsorpsi dengan biosorben eceng gondok sebelum dan sesudah modifikasi.

4.3.2 Uji Kontrol Larutan Tembaga

Berdasarkan persamaan regresi linier kurva standar, larutan tembaga dianalisis SSA dan diketahui memiliki konsentrasi sebesar 96,88163 ppm. Larutan ini dikondisikan pH 4, 5, 6, 7 dan 8. Konsentrasi larutan ini digunakan sebagai konsentrasi awal larutan sampel. Larutan kontrol diuji SSA sehingga diperoleh konsentrasi yang ditampilkan Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Konsentrasi awal larutan tembaga

pH	Konsentrasi awal larutan (ppm)
4	94,92939
5	94,39578
6	94,05740
7	96,51721
8	93,84916

4.4 Analisis Logam Tembaga Menggunakan SSA

4.4.1 Pengaruh pH Larutan

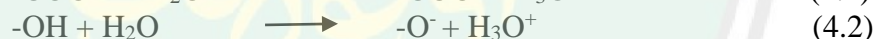
Derajat keasaman dari suatu larutan merupakan salah satu parameter penting yang karena parameter pH mempengaruhi reaksi kompleks dan interaksi elektrostatik pada proses adsorpsi yang terjadi di permukaan. Analisis pengaruh variasi pH larutan adsorbat dilakukan dengan cara membandingkan kemampuan adsorpsi pH 4, 5, 6, 7 dan 8 oleh biosorben yang sama. Penambahan biosorben termodifikasi ke dalam larutan tembaga dengan medium air akan memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap kelarutan logam. Mengingat situs aktif selulosa sitrat terdiri dari $-COOH$ dan $-OH$ dalam medium air akan terhidrolisis. Secara teoritis yang disampaikan Zhu, dkk. (2008) dalam penelitiannya mengatakan

adsorpsi yang terjadi pada $\text{pH} > 3$ akan merubah karboksilat menjadi $-\text{COO}^-$ yang bersifat basa kuat. Hal ini dapat dijelaskan dengan perhitungan menggunakan nilai K_a (tetapan ionisasi) asam sitrat yang ditampilkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 pH asam sitrat pada titik isoelektrik

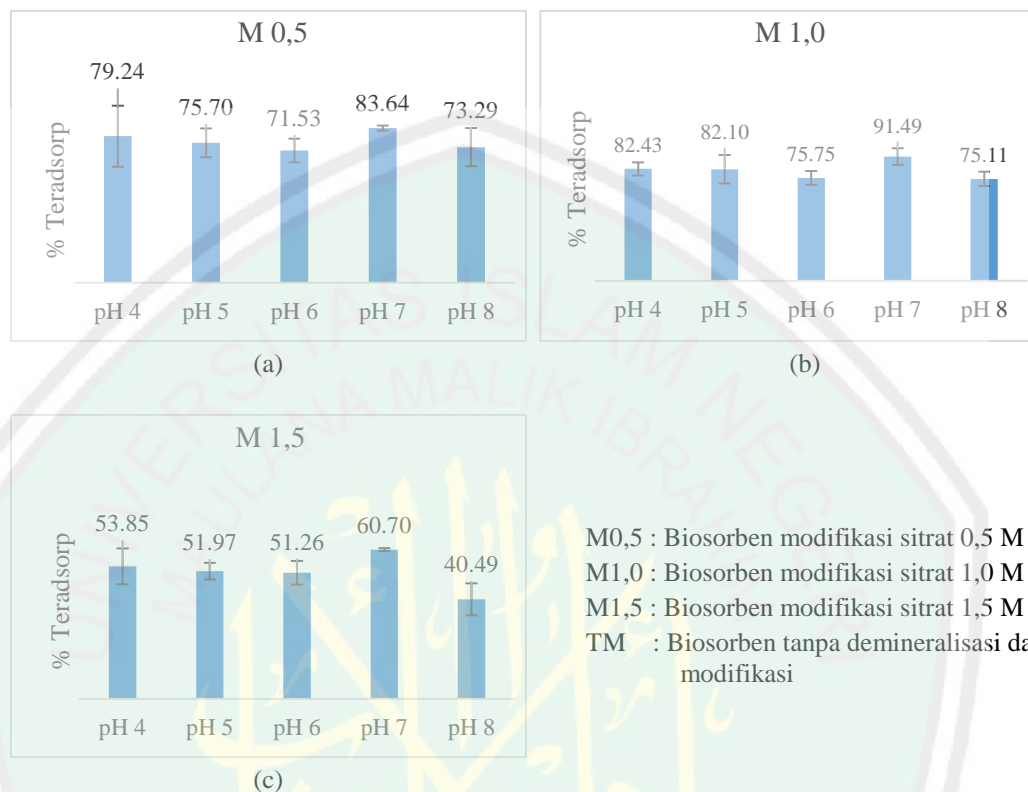
Konsentrasi Sitrat (M)	K_a	pH
0,5	$6,3 \times 10^{-6}$	2,77
1,0		2,60
1,5		2,53

Asam sitrat merupakan asam lemah yang memiliki 3 K_a dan berdasarkan nilai K_a ketiga/terakhir ($6,3 \times 10^{-6}$) yang ditampilkan pada Tabel 4.3 menunjukkan bahwa titik isoelektrik terjadi pada pH 2,5 – 3,0. Titik isoelektrik ini memengaruhi kondisi asam sitrat karena pada titik ini asam sitrat berada pada bentuk amfoter dimana jumlah kation dan anion yang terbentuk sama banyaknya sehingga kelarutan rendah dalam air. Selanjutnya lebih dari pH 3, asam sitrat dalam air akan mengalami deprotonasi dengan reaksi:



Persentase adsorpsi oleh biosorben termodifikasi sitrat yang ditampilkan Gambar 4.4 menunjukkan berkurangnya kemampuan adsorpsi dari pH 4 ke pH 6. Kation logam transisi dengan elektronegativitas yang relatif tinggi cenderung membentuk ikatan kovalen dengan H_2O dalam bentuk ion kompleks akuo yang larut dalam air. Asumsi ini dikuatkan oleh Andreas, dkk. (2008) menyatakan pada $\text{pH} \leq 5$, ion logam dalam air terdapat dalam bentuk kation bebas atau ion-ion kompleks $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}$ yang larut dalam air. Sehingga kemungkinan Cu (II) yang dapat teradsorpsi lebih besar karena tidak mengalami pengendapan atau masih terlarut dalam air. Rendahnya kemampuan adsorpsi pada pH 6 dijelaskan oleh

Manahan (2004) bahwa pada pH 6 logam Cu dalam larutan akan membentuk $\text{Cu}(\text{OH})^+$ yang sukar teradsorb oleh selulosa.

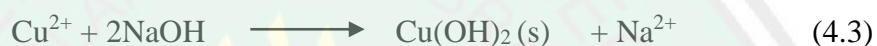


Gambar 4.4 Grafik persentase adsorpsi logam tembaga (II) yang terserap biosorben (a) M 0,5; (b) M 1,0 dan (c) M 1,5.

Namun pada hasil penelitian yang ditampilkan Gambar 4.4, pengkondisian pH 7 memiliki nilai persentase adsorpsi paling optimum. Ramos, dkk. (2012) dalam penelitiannya menyatakan pada kisaran pH 6-7, karboksilat tidak mengalami deprotonasi akan tetapi pada pH 7 dalam air terjadi kesetimbangan antara H_2O , ion H^+ dan ion OH^- , sehingga ion logam akan memiliki kecenderungan membentuk kation terhidrat dengan H_2O . Zhu, dkk. (2008) dalam penelitiannya menyatakan bahwa pH sangat memengaruhi tidak hanya pada sisi aktif adsorben, tetapi juga jumlah spesi dan ketersediaan biosorben terhadap logam. Walaupun karboksilat tidak mengalami deprotonasi pada pH 7 akan tetapi spesi dalam larutan mengalami

kesetimbangan sehingga hambatan interaksi logam dan biosorben tidak cukup besar.

Sementara itu pada keasaman yang rendah (basa), peningkatan konsentrasi ion OH^- yang berasal dari NaOH menyebabkan terjadinya kompetisi antara situs aktif selulosa ($-\text{COO}^-$ dan $-\text{O}^-$) dan ion OH^- dalam mengikat ion logam. Mengingat ion hidroksida (OH^-) merupakan ligan yang lebih kuat daripada gugus karboksilat dan gugus hidroksi fenolat. Jumlah gugus $-\text{OH}$ berlebih menyebabkan kemungkinan terbentuknya ikatan Cu dan O semakin besar. Interaksi ini membentuk endapan berwarna biru dan jika dituliskan persamaan reaksinya adalah:



Analisis ini sesuai acuan besar konsentrasi awal larutan sebelum adsorpsi yang ditampilkan pada Tabel 4.2. Pernyataan Khamidah, dkk. (2011) penambahan NaOH pada larutan Cu membentuk endapan $\text{Cu}(\text{OH})_2$ dan $\text{Cu}(\text{OH})_3$ mengakibatkan berkurangnya Cu^{2+} yang larut. Dengan kata lain, kondisi pH 8 tidak disebut sebagai adsorpsi akan tetapi presipitasi (pengendapan).



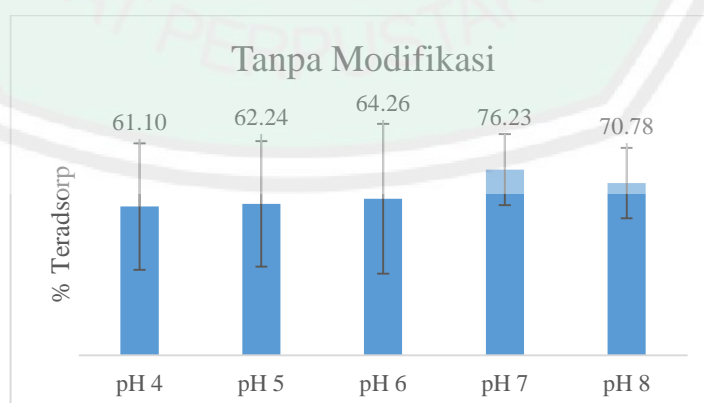
Gambar 4.5 Perubahan pH larutan

Sementara itu interaksi Cu dengan gugus fungsi pada selulosa-sitrat (COO^- atau O^-) dikonfirmasi dengan adanya turunnya pH larutan tembaga setelah adsorpsi

berlangsung. Alasan ini diungkapkan Kuo, dkk. (2014) bahwa turunnya pH selama adsorpsi mengindikasikan ion H^+ yang terlepas akibat terjadinya interaksi antara logam Cu^{2+} dengan ion karboksil atau hidroksi. Perubahan pH larutan selama adsorpsi ditampilkan pada Gambar 4.5.

Persentase adsorpsi tembaga oleh biosorben tanpa modifikasi yang ditampilkan Gambar 4.6 menunjukkan *trendline* yang berbeda dengan biosorben modifikasi. Pada variasi pH larutan mengalami kenaikan persentase adsorpsi yang tidak cukup signifikan terjadi pada pH asam. Biosorben TM hanya memiliki gugus pengadsorp hidroksil dari selulosa. Sesuai dengan pernyataan Azhari, dkk. (2017) bahwa gugus hidroksil (OH^-) yang membuat selulosa poliol yang terdiri dari gugus fungsi alkohol primer ($-CH_2OH$) atau alkohol sekunder ($-CHOH$) dapat bertindak sebagai gugus pengikat logam yang bermuatan positif.

Akan tetapi NaOH yang berlebih untuk pengkondisian pH 8 menyebabkan jumlah $-OH$ yang lebih banyak dari logam menyebabkan kemungkinan terbentuknya ikatan $Cu(OH)_2$ semakin besar. Reaksi pada pH 8 ini membentuk endapan berwarna biru sehingga mengurangi kadar tembaga yang larut dalam air untuk proses adsorpsi.

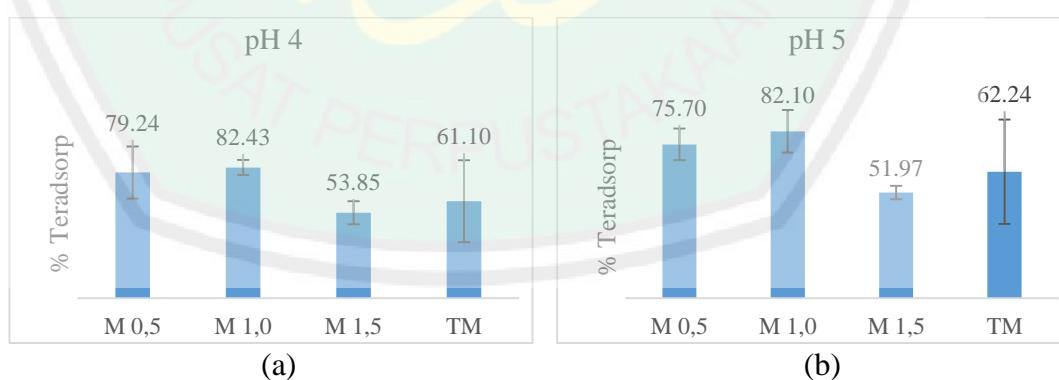


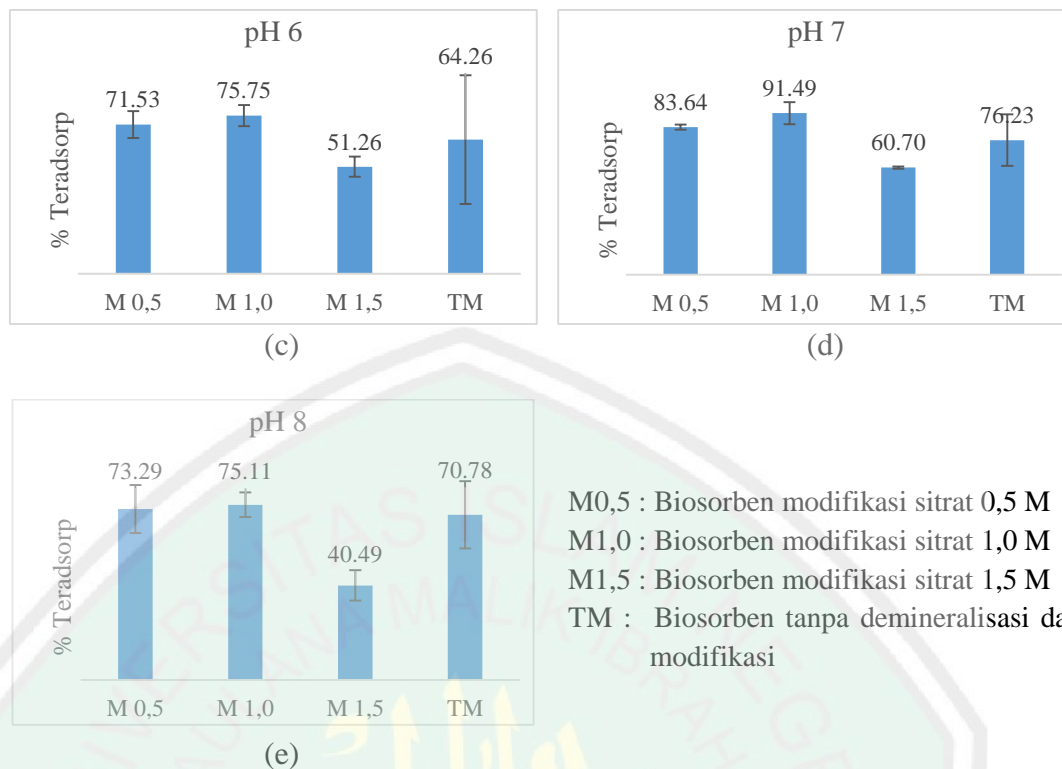
Gambar 4.6 Grafik persentase logam tembaga (II) yang terserap biosorben tanpa modifikasi (TM)

4.4.2 Pengaruh Biosorben

Selain mengetahui pengaruh pH larutan terhadap daya adsorpsi, parameter konsentrasi sitrat pemodifikasi biosorben juga dilakukan pada penelitian ini. Kemudian untuk mengetahui perbedaan antara biosorben tanpa modifikasi dan termodifikasi 0,5 M; 1,0 M; dan 1,5 M ditampilkan grafik berisi keempat biosorben pada kondisi pH yang sama. Perbandingan dari kemampuan adsorpsi masing masing biosorben pada larutan adsorbat pH 4 dapat dilihat pada Gambar 4.7.

Gambar 4.7 menampilkan persentase adsorpsi tembaga oleh biosorben M 0,5 dan M 1,0 memiliki persentase adsorpsi yang lebih besar dibanding biosorben TM. Hal ini disebabkan karena gugus pengikat logam pada biosorben TM hanya bersumber dari hidrosil selulosa. Sedangkan pada biosorben modifikasi memiliki gugus karboksilat yang mana semakin besar konsentrasi sitrat maka semakin tinggi kemampuannya sebagai gugus pengikat logam. Saat adsorpsi berlangsung dalam medium air, gugus karboksil dalam biosorben akan terdeprotonasi menjadi gugus karboksilat ($-\text{COO}^-$) yang memiliki muatan negatif sehingga cenderung lebih mudah berikatan dengan Cu^{2+} .





Gambar 4.7 Grafik persentase logam tembaga (II) yang terserap biosorben pada pH (a) 4, (b) 5, (c) 6, (d) 7, dan (e) 8.

Andereass, dkk. (2008) menyatakan ion hidroksida (OH^-) merupakan ligan yang lebih kuat daripada gugus karboksilat, sehingga adsorpsi masih dapat berlangsung walaupun gugus karboksilat tidak ditambahkan dalam biosorben. Selain analisis mengenai kemampuan adsorpsi TM, M 0,5; M 1,0; yang paling terlihat dari Gambar 4.7 adalah kemampuan adsorpsi biosorben M 1,5 memiliki nilai paling rendah dari biosorben modifikasi 0,5 M; 1,0 M dan tanpa modifikasi. Alasan rendahnya persentase adsorpsi oleh biosorben M 1,5 dijelaskan oleh Ramos, dkk. (2012), hasil menyatakan bahwa pada biosorben yang dimodifikasi sitrat 1,5 M mengalami pengurangan situs asam 1,6 kali lebih rendah dari modifikasi sitrat 1 M. Pengurangan situs asam ini dapat dikaitkan telah terjadinya *cross-link* antara

gugus karboksilat dengan hidroksil selulosa membentuk ester sehingga mengurangi gugus pengikat logam.

4.5 Uji ANOVA

Penelitian ini didukung oleh data uji statistik ANOVA untuk mengetahui perbedaan pengaruh variasi pH larutan dan konsentrasi sitrat untuk modifikasi. Uji homogenitas dilakukan untuk mengetahui apakah data ulangan yang diperoleh memiliki varians yang sama. Uji homogenitas dilakukan pada data dari kedua ulangan sebelum dirata-rata. Hasil uji homogenitas ditampilkan pada Tabel 4.4

Tabel 4.4 Hasil uji homogenitas variasi pH

Variasi	Sumber	Statistik Levene	df1	df2	Sig.
pH	Ulangan 1	0,141	4	15	0,964
	Ulangan 2	0,770	4	15	0,561
Konsentrasi Sitrat	Ulangan 1	2,021	3	16	0,152
	Ulangan 2	2,747	3	16	0,077

Berdasarkan nilai signifikansi yang ditampilkan Tabel 4.4 diketahui bahwa seluruh data variasi pH dan konsentrasi sitrat bersifat homogen karena nilai signifikan $> 0,05$. Kemudian untuk mengetahui pengaruh kedua variasi terhadap persentase adsorpsi, dilakukan analisis *One Way ANOVA* untuk mengetahui variasi yang berpengaruh terhadap adsorpsi logam tembaga.

Tabel 4.5 Hasil uji *One Way ANOVA* analisis F_{hitung}

Variasi	Ulangan	df1	df2	F_{tabel}	F_{hitung}	Sig.
pH	1	4	15	3,08	1,076	0,403
	2	4	15	3,08	0,773	0,560
Konsentrasi Sitrat	1	3	16	3,24	10,296	0,001
	2	3	16	3,24	17,948	0,000

Berdasarkan Tabel 4.5, nilai F_{hitung} untuk tiap data ulangan terhadap variasi pH $< F_{tabel}$ maka H_0 diterima dan H_1 ditolak yang diinterpretasikan tidak signifikan,

berarti tidak terdapat perbedaan rata-rata dari kelompok yang dibandingkan. Sebaliknya pada variasi konsentrasi sitrat nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$ maka H_0 ditolak dan H_1 diterima yang diinterpretasikan signifikan, berarti terdapat perbedaan rata-rata dari kelompok yang dibandingkan. Berdasarkan teori bila H_0 ditolak, maka analisisnya belum selesai sehingga perlu analisis lanjutan (*Post Hoc Test*) salah satunya adalah Tukey. Pengujian Tukey HSD adalah pengujian perbandingan jamak untuk menentukan lebih dari satu rata-rata berbeda secara signifikan dalam jumlah analisis varian yang ditampilkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil uji Tukey

Ulangan	Sitrat (i)	Sitrat (ii)	Signifikasi
1	0	0,5	0,788
		1	1,000
		1,5	0,001
	0,5	1	0,826
		1,5	0,007
		1	0,001
2	0	0,5	0,001
		1	0,000
		1,5	1,000
	0,5	1	0,884
		1,5	0,001
		1	0,000

0 = tanpa modifikasi; 0,5 = modifikasi 0,5 M;
1 = modifikasi 1 M; dan 1,5 = modifikasi 1,5 M

Hasil uji Tukey yang ditampilkan Tabel 4.6 dapat diketahui jika nilai signifikansi $> 0,05$ maka dapat disimpulkan bahwa data logam tembaga yang teradsorp antar konsentrasi memiliki nilai yang sama dan perbedaan rata-rata antar kedua konsentrasi tersebut tidak berbeda signifikan. Misalnya pada data ulangan 1, nilai tembaga yang teradsorp pada biosorben 0 (tanpa modifikasi) dan modifikasi 0,5 yaitu 0,778 ($> 0,05$) sehingga disimpulkan bahwa kedua data pada kedua perlakuan tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Sehingga berdasarkan nilai

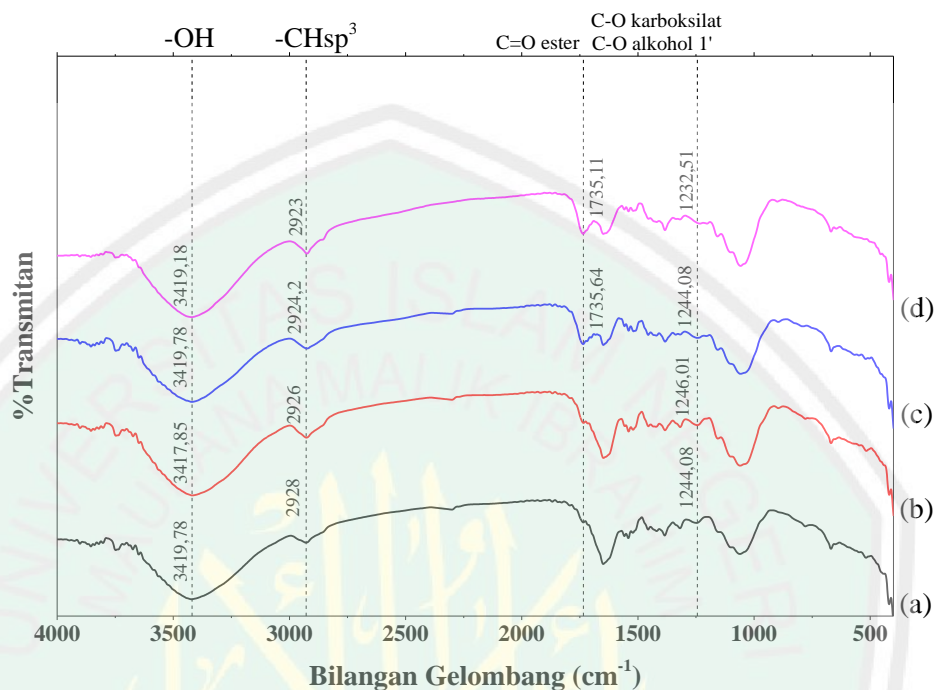
signifikansi pada ulangan 1 yang ditampilkan Tabel 4.6 menunjukkan biosorben yang dimodifikasi oleh sitrat konsentrasi 1,5 M memiliki perbedaan yang signifikan terhadap konsentrasi lain (0 M; 0,5 M dan 1,0 M) karena nilai Sig. < 0,05. Sementara itu pada ulangan 2, nilai konsentrasi tembaga yang teradsorpsi yang tidak memiliki perbedaan signifikan hanya terdapat pada hubungan biosorben modifikasi 1 M dan 0,5 M juga antara sampel tanpa modifikasi (0 M) dan 1,5 M karena karena nilai Sig. > 0,05.

4.6 Karakterisasi Biosorben Eceng Gondok Menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)

Analisis menggunakan FTIR bertujuan untuk mengidentifikasi gugus fungsi pada biosorben eceng gondok tanpa modifikasi, termodifikasi sebelum adsorpsi, dan setelah adsorpsi. Spektra FTIR memberikan data gugus fungsi pada eceng gondok secara kualitatif. Spektra IR biosorben yang ditampilkan pada Gambar secara umum memiliki gugus fungsi yang sama antara lain CH_3 , alkohol dan eter. Namun demikian, terdapat perbedaan spektra FTIR eceng gondok termodifikasi asam sitrat adalah munculnya serapan pada bilangan gelombang 1735 cm^{-1} sebagai serapan khas $\text{C}=\text{O}$ ester dan mengidentifikasi terbentuknya ikatan selulosa-sitrat.

Sementara itu salah satu identifikasi terikatnya logam Cu (II) pada biosorben yaitu adanya pergeseran menuju bilangan gelombang yang lebih rendah terjadi pada daerah vibrasi C-O karboksilat (1210 cm^{-1} - 1320 cm^{-1}). Sebelum adsorpsi berlangsung, serapan vibrasi muncul di daerah $1244,08\text{ cm}^{-1}$, namun setelah adsorpsi, serapan vibrasi bergeser ke daerah $1232,51\text{ cm}^{-1}$. Gugus karboksilat yang terdiri atas OH mengalami deprotonasi selanjutnya ion Cu (II) berinteraksi dengan O^- , ion Cu (II) memiliki jari-jari yang lebih besar dibanding

ion H^+ sehingga mengakibatkan berkurangnya kekuatan C-O karboksilat. Penelitian Madivoli (2016) menyatakan bahwa terikatnya logam pada permukaan biosorben ditandai dengan berkurangnya bilangan gelombang.



Gambar 4.8 Spektra FTIR eceng gondok (a) tanpa modifikasi dan demineralisasi, (b) setelah demineralisasi, (c) modifikasi sebelum adsorpsi, dan (d) modifikasi setelah adsorpsi.

Berbeda dengan gugus -OH yang mengalami penurunan bilangan gelombang karena ion H tergantikan oleh Cu, hal sebaliknya terjadi pada vibrasi C-O ester yang mana mengalami kenaikan bilangan gelombang dari $1056,98\text{ cm}^{-1}$ menjadi $1157,28\text{ cm}^{-1}$, pernyataan Santoso (2012) kenaikan terjadi sebagai indikasi adanya perubahan kepolaran akibat molekul baru yang terikat pada gugus tersebut.

Interpretasi serapan vibrasi gugus biosorben ditampilkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Interpretasi FTIR

No.	Tanpa Modifikasi	Demineralisasi	Modifikasi	Setelah Adsorpsi	Jenis Vibrasi
1.	3747,92	3747,04	3747,16	-	OH free
2.	3421,24	3417,94	3420,05	3438,20	-OH

3.	2928,18	2926,68	2924,23	2923,50	-CH ₃
4.	-	-	1735,64	1735,11	C=O ester
5.	-	-	1244,08	1232,51	C-O karboksilat
6.	1244,08	1246,01	1244,08	1232,51	C-O alkohol 1°
7.	1056,98	1060,84	1056,98	1157,28	C-O ester

4.7 Integrasi Penelitian

Eceng gondok merupakan salah satu tanaman yang memiliki kemampuan pertumbuhan yang cepat di daerah rawa, sehingga dapat mengganggu ekosistem makhluk hidup di bawah air dan pencemaran lingkungan. Eceng gondok di Indonesia banyak diolah sebagai produk kerajinan tangan seperti topi, tas dan sandal. Akan tetapi pemanfaatan ini belum cukup efektif karena tingkat pertumbuhannya lebih cepat dari pemanfaatannya. Fakhri (2010) menyatakan bahwa fenomena alam ditunjukkan kepada manusia agar mampu melihat, memahami dan memikirkan filosofi ciptaanNya. Hal ini ditegaskan dalam surat Yunus ayat 101:

قُلْ أَنْظُرُوا مَاذَا فِي السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَمَا تُعْنِي الْآيَاتِ وَالنُّذُرِ عَنْ قَوْمٍ لَا يُؤْمِنُونَ ﴿١٠١﴾
 Artinya: "Katakanlah: "Perhatikanlah apa yang ada di langit dan di bumi. Tidaklah bermanfaat tanda kekuasaan Allah dan rasul-rasul yang memberi peringatan bagi orang-orang yang tidak beriman"

Menurut tafsir Ibnu Katsir, ayat di atas memerintahkan kepada orang-orang yang berakal untuk memperhatikan segala yang terjadi di alam serta memikirkan dan meyakini bahwa semua yang diciptakan Allah tanpa sia-sia. Al-Qur'an juga memerintahkan pentingnya analisis yang mendalam terhadap fenomena alam melalui proses penalaran yang kritis dan sehat.

Pemanfaatan eceng gondok sebagai adsorben logam merupakan salah satu bentuk penalaran manusia terhadap fenomena ciptaan Allah. Termasuk

menganalisa potensi dari kandungan mayor dan memikirkan zat apa saja yang dapat diadsorp oleh eceng gondok ini. Di sisi lain, karakteristik logam yang khas masih menjadi objek observasi dan dibutuhkan terutama di laboratorium. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai suatu usaha manusia dalam proses berfikir agar dapat memanfaatkan limbah eceng gondok untuk menangani limbah juga berupa logam. Firman Allah SWT dalam QS. Al-Jaatsiyah ayat 13 menjelaskan bahwa segala sesuatu yang Allah SWT ciptakan tidak sia-sia.

وَسَخَّرَ لَكُمْ مَّا فِي السَّمَوَاتِ وَمَا فِي الْأَرْضِ جَمِيعًا مِّنْهُ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ
يَتَفَكَّرُونَ ﴿١٣﴾

Artinya: “Dan Dia telah menundukkan untukmu apa yang di langit dan apa yang di bumi semuanya, (sebagai rahmat) daripada-Nya. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda-tanda (kekuasaan Allah) bagi kaum yang berfikir”

Berdasarkan ayat tersebut dalam Tafsir Al-Maraghi memberikan penjelasan bahwa segala sesuatu Allah SWT ciptakan tidak ada yang sia-sia dan tidak berarti. Bahkan semua ciptaanNya adalah *haq* (benar), mengandung hikmah-hikmah yang agung dan maslahat yang besar. *إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يَتَفَكَّرُونَ*

“Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda-tanda (kekuasaan Allah) bagi kaum yang berfikir.” Segala nikmat ini merupakan bukti kekuasaan Allah SWT bagi kaum yang memikirkan ayat-ayat, mengkajinya dan melakukan penelitian ilmiah. Itulah bentuk dari bagaimana manusia dapat mengoptimalkan daya fikir yang telah diberikan oleh Allah SWT (Mahran, 2006).

Eceng gondok digunakan untuk mengadsorp logam berat karena mengandung senyawa selulosa. Penambahan gugus pengikat logam (modifikasi)

pada selulosa menggunakan asam sitrat diketahui dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi logam berat salah satunya adalah tembaga. Hasil uji menunjukkan kemampuan selulosa tanpa modifikasi untuk mengadsorpsi logam tembaga yaitu sebesar 76,23% sedangkan selulosa dengan modifikasi mampu menurunkan kadar tembaga sebesar 91,49%.

Suatu metode, pemilihan bahan dan parameter yang dianggap efektif namun terkadang memiliki potensi merusak dan berbahaya bagi lingkungan. Salah satunya penggunaan asam lemah untuk memodifikasi adsorben yang tidak cukup berbahaya bagi lingkungan. Dalam kehidupan manusia melakukan sesuatu atas dasar manfaat pada setiap kegiatan dan aktifitasnya baik untuk diri nya sendiri maupun orang lain. Segala yang dilakukan manusia berupa kebaikan dan keburukan pasti akan dimintai pertanggungjawaban oleh Allah. Menjadi manfaat atau *mafsadat* adalah pilihan tiap manusia tidak hanya pada jangka pendek saja tetapi harus dipikirkan jangka panjang. Hal ini tercantum dalam surat Al-Jaatsiyah ayat 22 yang berbunyi:

وَخَلَقَ اللَّهُ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضَ بِالْحَقِّ وَلِيُجْزَىٰ كُلُّ نَفْسٍ بِمَا كَسَبَتْ وَهُمْ لَا يُظْلَمُونَ ﴿٢٢﴾

Artinya: “Dan Allah menciptakan langit dan bumi dengan tujuan yang benar dan agar dibalasi tiap-tiap diri terhadap apa yang dikerjakannya, dan mereka tidak akan dirugikan”.

Makna tafsir menurut Shihab (2008) pada ayat ini adalah bahwasanya Allah telah menciptakan langit dan bumi dengan penuh hikmah dan aturan, supaya bukti-bukti mengenai ketuhanan dan kemahakuasaan Allah menjadi tampak jelas. Selain itu, juga supaya setiap jiwa diberi balasan atas kebaikan dan kejahatan yang dilakukannya yang mana balasan tersebut tidak akan dikurangi sedikit pun termasuk amal perbuatan yang saat ini dilakukan.

Salah satu hal yang perlu dipertimbangkan dalam suatu penelitian adalah mengenai limbah biosorben sisa dari adsorpsi logam. Biosorben eceng gondok sisa adsorpsi yang mengandung logam jika langsung dibuang dapat menjadi masalah baru di lingkungan. Karena pada dasarnya proses adsorpsi tidak menghilangkan logam namun hanya mengakumulasi dalam bentuk lain yang lebih sedikit menyebabkan dampak buruknya. Terutama sifat logam yang mudah larut di air sehingga pada jangka panjang terakumulasi dalam jumlah besar dapat menimbulkan dampak yang lebih berbahaya. Dengan mempertimbangkan sifat logam yang tidak dapat musnah, maka solusi yang dapat dilakukan adalah pemanfaatannya sebagai bahan campuran beton (Anam, dkk., 2015). Prinsip solutif penting bagi manusia sebagai bentuk pertanggungjawaban atas apa yang telah dilakukan agar segala yang diusahakan baik berupa pemikiran, pertimbangan dan perlakuan yang bermanfaat itu tidak menjadi masalah baru.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat diperoleh berbagai kesimpulan yaitu :

1. Kemampuan optimum adsorpsi yaitu pada larutan tembaga pH 7 pada seluruh kondisi biosorben termodifikasi maupun tanpa modifikasi.
2. Kemampuan optimum adsorpsi logam tembaga oleh biosorben termodifikasi asam sitrat 1 M.
3. Melalui analisis FTIR, hasil modifikasi senyawa mayor biosorben mengidentifikasi adanya serapan gugus ester di daerah 1735 cm^{-1} .

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan analisis kadar logam dalam biosorben.
2. Perlu dilakukan analisis untuk mengetahui ikatan Cu dan gugus pengikatnya (Cu-COO^- dan Cu-O^-).

DAFTAR PUSTAKA

- al-Jashash. 2005. *Ahkamul Qur'an Al-Jashash*. Beirut: Daar Ihyaussirat Al-Arabi.
- al-Qurthubi, Muhammad bin Ahmad abi Bakr Abi 'Abdullah. 2006. *Tafsir al-Qurthubi al-Jami' li Ahkam al-Qur'an* Cetakan I. Beirut: Daar Ar-Risalah.
- Anam, S, Ilmiyati, Rochim, Ravendra, RM. 2015. *Pemanfaatan Serbuk Eceng Gondok Sebagai Campuran Beton Mutu Tinggi*. Jurusan Teknik Sipil. Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung: Semarang.
- Anshori, JA. 2005. *Spektroskopi Serapan Atom*. Bandung: Universitas Padjajaran.
- Andreas, R, Narsito, Noegrahati. 2008. Karakteristik Adsorpsi Tembaga (II) Pada Humin dalam Medium Air Tawar. *Jurnal Molekul* 1(1): 1-9.
- Anzeze, AD. 2011. Biosorption of Heavy Metals Using Water Hyacinth : Adsorption Properties and Technological Assesment. *Thesis*. Departement of Chemistry. University of Nairobi
- Atkins, PW. 1997. *Kimia Fisika 2*. Jakarta: Erlangga.
- Ayubi, MC. 2010. Keseimbangan Adsorpsi Merkuri (II) pada Biomassa Daun Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*). *Jurnal Alchemy*. 1 (2): 53-103.
- Azhari, M. 2017. Pemanfaatan Serbuk Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) Teraktivasi dengan Sistem Kantong Celup Sebagai Adsorben Penjerap Ion Logam Kadmium (Cd). *Jurnal Atomik*, 02 (2): 197-203.
- Buasri, A. 2012. Biosorption of Heavy Metals from Aqueous Solutions Using Water Hyacinth as a Low Cost Biosorbent. *Civil and Environmental Research*, 2 (2) : 23-25.
- Darmawan, R. 2017. Sintesis dan Karakterisasi Zeolit NAA dari Kaolin dan Metakaolin sebagai Adsorben Logam Tembaga (Cu), Besi (Fe), dan Timbal (Pb) pada Limbah Logam Laboratorium. *Skripsi S-1*. Malang. Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Pratiwi, DM, Dahlia. 2013. Potensi Pembuatan Etanol dari Eceng Gondok Melalui Proses Hidrothermal. *Tugas Akhir*. Politeknik Negri Ujung Pandang, Makasar.
- El-Wakil, AM, Abou, EM, Awad, FS. 2014. Removal of Lead from Aqueous Solution on Activated Carbon and Modified Activated Carbon Prepared from Dried Water Hyacinth Plant. *Journal Anal Bioanal Tech*, 5 (2).

- Fatih. 2008. *Kamus Kimia*. Panji Pustaka: Yogyakarta.
- Fengel, D, Wegener, G. 1995. Kayu: Kimia, Ultrastruktur, Reaksi-Reaksi. Terjemahan Hardjono Sastrohamidjojo. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Fennema, OR. 1985. *Food Chemistry 3rd Edition*. New York: Marcel Dekker Inc.
- Gandjar. 2007. *Kimia Farmasi Analisis*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Ghandi, NN. 1997. Application of Lipase. *Journal. Am. Oil Chem. Soc.*, 74 (6).
- Gupta, VK, Carrott, PJM, Ribeiron, MMLR, Suhas. 2009. Low-Cost Adsorbents: Growing Approach to Wastewater Treatment-A review. *Critic. Rev. Environ. Sci. Technol.* 39: 783-842.
- Hanifah, RF. 2014. *Adsorpsi Timbal (II) Menggunakan Biomassa Azolla microphylla Diesterifikasi dengan Asam Sitrat*. Skripsi. Malang. Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya.
- Harfianti, A. 2016. Modifikasi Permukaan Karbon Aktif Tongkol Jagung (*Zea mays*) dengan HNO₃, H₂SO₄, dan H₂O Sebagai Bahan Elektroda Superkapasitor. Skripsi. Makassar: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Hasanuddin.
- Hendaya, S. 2001. *Kimia Analitik Instrumen*. Edisi Kesatu. Semarang.
- Hernowo, S, Sipon. 1999. Kajian Eceng Gondok Sebagai Bahan Baku Industri Dan Penyelamatan Lingkungan Hidup di Daerah Perairan. *Thesis*. Fakultas Kehutanan Mulawarman.
- Ismanto, AE, Wang, S, Soetaredjo, FE, Ismadji, S. 2010. Preparation of Capacitor's Electrode from Cassava Peel Waste. *Bioresour. Technol.*, 101: 3534-3540.
- Junita, LN. Profil Penyebaran Logam Berat di Sekitar TPA Pakusari Jember. *Skripsi*. Jember: Universitas Jember, 2013.
- Jonak, C, Kiegerl, S, Ligterink W, Barker, PJ, Huskisson, NS, Hirt, H. 1996. Stress Signaling in Plants: a Mitogen-Activated Protein Kinase Pathway is Activated by Cold and Drought. *Proc Natl Acad Sci, USA* 93: 11274-11279.
- Kementerian Agama RI. 2012. *Tafsir Ilmu: Penciptaan Manusia Dalam Perspektif Al-Qur'an and Sains*. Jakarta: PT. Sinergi Pustaka Indonesia.

- Khamidah, IN, Djunaidi, MC, Khabibi. 2011. Pemanfaatan Kitosan Termodifikasi Asam Askorbat Sebagai Adsorben Ion Logam Kobalt (II) dan Nikel (II). *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. 14 (1) : 21-25.
- Khopkar, SM. 1984. *Konsep Dasar Kimia Analitik (terjemahan)*. Bombay: Analytical Laboratory Department of Chemistry Indian Institute of Technology. Bombay: 204 – 243.
- Kuo, CY, Chung, HW, Meng-Jia, C. 2014. *Adsorption of lead ions from aqueous solutions by citric acid-modified celluloses*. Department of Environmental and Safety Engineering, National Yunlin University of Science and Technology. Taiwan.
- Low, KS, Lee, CK, Mak, SM. 2004. Sorption of Copper and Lead by Citric Acid Modified Wood. *Wood Sci. Technol.*, 38: 629-640.
- Loow, YL, Wu, TY, Jahim, J, Mohammad, AW, & Teoh, WH. 2016. Typical conversion of lignocellulosic biomass into reducing sugars using dilute acid hydrolysis and alkaline pretreatment. *Journal Cellulose*, 23(3), 1491–1520.
- Madivoli, ES. 2016. Adsorption of Selected Heavy Metals on Modified Nano Cellulose. *International Research Journal of Pure & Applied Chemistry*, 12(3): 1-9.
- Mahamadi, C. 2011. Water Hyacinth As A Biosorbent: A Review *African Journal of Environmental Science and Technology*, 5(13): 1137-1145.
- Mahamadi, C, Zambara, P. 2012. Adsorption of Cu(II) From Aquatic Systems Using Alginate-Immobilized Water Hyacinth Beads. *Eur. Journal Science Research*, (71): 581–589.
- Mahamadi, C. 2013. High Cu Removal From Water Using Water Hyacinth Fxed on Alginate. *Environ Chem. Lett.*, 11: 377–383.
- Mahbubah, A. 2016. Karakterisasi Gugus Aktif Batang Jagung (*Zea mays L.*) Menggunakan Asam Sitrat Sebagai Bahan Pengaktivasi. *Skripsi*. Malang: Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Malang.
- Mahmood, T, Malik, SA, Hussain, ST. 2010. Biosorption and Recovery of Heavy Metals From Aqueous Solutions By *Eichhornia crassipes* (Water Hyacinth) Ash. *BioResources*, 5(2): 1244-1256.
- Mahrani, J, Mubasyir, Hafna, AA. 2006. *al-Qur'an Bertutur tentang Makanan dan Obat terj. Irwan raihan*. Mitra Pustaka: Yogyakarta.
- Manahan, SE. 2004. *Environmental Chemistry*. CRC Press. Florida.

- Mandasari. 2016. Pembuatan Arang Aktif Dari Batang Jagung Menggunakan Aktivator Asam Sulfat dan Penggunaannya pada Penjerapan Ion Tembaga (II). *Makara Sains*, 14 (1): 22 – 26.
- Maria. 2009. Penentuan Kadar Logam Besi dalam Tepung Gandum dengan Cara Dekstruksi Basah dan Dekstruksi Kering dengan Spektroskopi Serapan Atom (SSA). *Skripsi*. Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Sumatera Utara.
- Moeksin, R. 2016. Pembuatan Bioetanol dari Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dengan Perlakuan Fermentasi. *Jurnal Teknik Kimia*, 1 (22): 9-17.
- Mohadi, R. 2004. Immobilisasi Asam Humat pada Kitin dan Aplikasinya Untuk Adsorpsi Ag(I) dalam Medium Air, *Tesis*: UGM Yogyakarta.
- Muhtar, A. 2008. Penggunaan Tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) sebagai *Pre-treatment* Pengolahan Air Minum pada Air Selokan Mataram. Yogyakarta: Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
- Mukaratirwa, MN, Kugara, J, Zaranyika, MF. 2016. Surface Composition And Surface Properties of Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) Root Biomass: Effect of Mineral Acid and Organic Solvent Treatment. *Africa Journal Biotechnology*, 15(21): 897-909.
- Najem, AM. 2015. Evaluation the Biosorption Capacity of Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) Root for Some Heavy Metals. *Iraqi Journal of Science*, 56.(4): 2846-2852.
- Najem, HA, Hassoon. 2017. Removal of Some Traces Heavy Metals from Aqueous Solutions by Water Hyacinth Leaves Powder. *Iraqi Journal of Science*, 58(2A): 611-618.
- Ni'mah, YL, Ita, U. 2007. Penurunan Kadar Tembaga dalam Larutan dengan Menggunakan Biomassa Bulu Ayam. *Jurnal Kimia*, 2 (1): 57–66.
- Nikiforova, TE, Atiana, E, Vladimir, A, Kozlov. 2014. Peculiarities of the Adsorption of Heavy-Metal Ions from Aqueous Media by Modified Cellulose. *Adsorption Science & Technology*, 32. (5): 389-402.
- Notodarmojo, S. 2005. *Pencemaran Tanah dan Air*. Bandung: Penerbit ITB.
- Obi, C. 2015. Sorption Characteristics of Water Hyacinth Leaf Biomass on The Removal of Cu (II) Ion from Aqueous Solution. *International Journal Of Innovative Environmental Studies Research*, 3(3):36-43.

- Osifo, PO, Webster, A, Neomagus, WJP, David, M. 2008. The Influence of The Defree of cross-linking on the Adsorption properties of Chitosan Beads. *Bioresource technol.* 99: 7377-7382.
- Palar, H. 2004. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Bandung: Rineka Cipta.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia. 2011. *Baku Mutu Air Limbah*. Jakarta.
- Pitsari, S, Tsoufakis, E, Loizidou, M. 2013. Enhanced Lead Adsorption by Unbleached Newspaper Modified With Citric Acid. *Chemical Engineering Journal*. Environmental Science and Technology. School of Chemical Engineering National Technical University of Athens.
- Rahmayanti, Zakir, M, Karim, A. 2017. Penentuan Kapasitansi Spesifik Karbon Aktif Sekam Padi (*Oryza sativa*) Hasil Modifikasi dengan HNO₃, H₂SO₄, dan H₂O₂ dengan Metode *Cyclic Voltammetry*. *Jurnal Elektronika*, 1 (2): 12-15.
- Ramos, RL, Rodriguez, LEL, Castillo, NAM. 2011. Modification of Corncob with Citric Acid to Enhance Its Capacity for adsorbing Cadmium(II) from Water Solution. *Chemical Engineering Journal*, 180: 113 – 120.
- Rumapar, KF, Rumhayati, B, Triandi, R. 2014. Adsorption of Lead and Copper Using Water Hyacinth Compost (*Eichornia crassipes*). *Journal Pure App Chem Res*, 3 (1): 27-34.
- Safeera. 2016. Efektifitas Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) dalam Penyerapan Kadmium (Cd) pada Leachete TPA Gunung Tugel. *Jurnal Molekul*, 6 (1) :13-17.
- Santoso. 2012. Preparasi dan Aplikasi Komposit Hidroksiapatit/Kitosan Sebagai Adsorben Logam Berat. *Skripsi*. Fakultas Teknik. Universitas Indonesia: Depok.
- Shofiyani, A, Gusrizal. 2006. Pengaruh pH dan Penentuan Kapasitas Adsorpsi Logam Berat Pada Biomassa Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*). Pontianak: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Tanjung Pura.
- Singh, G. 2016. Study on Cadmium (II) Biosorption by Water Hyacinth Biomass. *SSRG International Journal of Civil Engineering (SSRG-IJCE)*, 3 (5).
- Siswoyo, E, Adrian, AR, Tanaka, S. 2017 Bioadsorbent Based on Water Hyacinth Modified with Citric Acid for Adsorption of Methylene Blue in Water. *MATEC Web of Conferences*, 01 (12): 154.

- Suhendrayatna. 2001. Bioremoval Logam Berat dengan Menggunakan Microorganime: Suatu Kajian Kepustakaan (Heavy Metal Bio-removal by Microorganisms: A Literature Study). *Journal of Biotechnology*, 10 (1).
- Sukaryo, Purwaningrum, SD. 2016. Pembuatan Bioetanol dari Eceng Gondok (*Eichhornia crassipe*) dengan Proses Fermentasi. *Jurnal Neo Teknika*, 2 (1): 32-36.
- Surbakti, SR. 2016. Sintesis Selulosa Sitrat dari Selulosa Daun Nenas (*Ananascomosus (l) merr*) Melalui Reaksi Esterifikasi dengan Asam Sitrat Sebagai Pengadsorpsi Ion Kadmium (Cd). *Thesis*. Medan: Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sumatera Utara.
- Tangio, Julhim, S. 2013. Adsorpsi Logam Timbal (Pb) dengan Menggunakan Biomassa Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*). *Jurnal Entropi*, 8 (1): 120-112.
- Thanh, ND, Nhung, HL. 2009. Cellulose Modified With Citric Acid and Its Absorption of Pb and Cd²⁺ Ions. *Proceedings of the 13 International Electronic Conference on Synthetic Organic Chemistry*, 1-13.
- Trisniawan, U, Shoflatul. 2016. Recovery Tembaga (Cu) Dari Limbah Pengolahan/Peleburan Emas Menggunakan Bak Elektrolisis Bertingkat dan Mesin Pengontrol Debit Air Limbah. *Al Jazari Journal of Mechanical Engineering*, 1 (1): 1-5.
- Vaughan, CW, Seo, WE, Marshall. 2001. Removal of Selected Metal Ions From Aqueous Solution Using Modified Corncobs. *Bioresour. Technol*, 78: 133-139.
- Vogel. 1990. *Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatis Makro Dan Semimikro*. Jakarta: PT Kalman Media Pustaka.
- Volesky, B. 2003. Sorption and Biosorption. *Int J Technol Transf Commer*, 6: 96-211.
- Volesky, B. 2007. Biosorption and Me. *Water Res.*, (41): 4017-4029.
- World Health Organization (WHO). 2004. Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture, *WHO Technical Report Series*,. 778. Geneva, Switzerland.
- Yun, J. 2015. Synthesis and Application of Oxidised Cellulose. *A thesis*. University of Bath Department of Chemistry.
- Zheng, L, Guining, LU, Wei, CAO, Dan, P, Teng. 2016. Modified Cellulose of Agricultural Residue Used for Removal of Heavy Metals and Oil.

Technologies and Applications Polymer Science: research advances, practical applications and educational aspects, 12: 329-341.

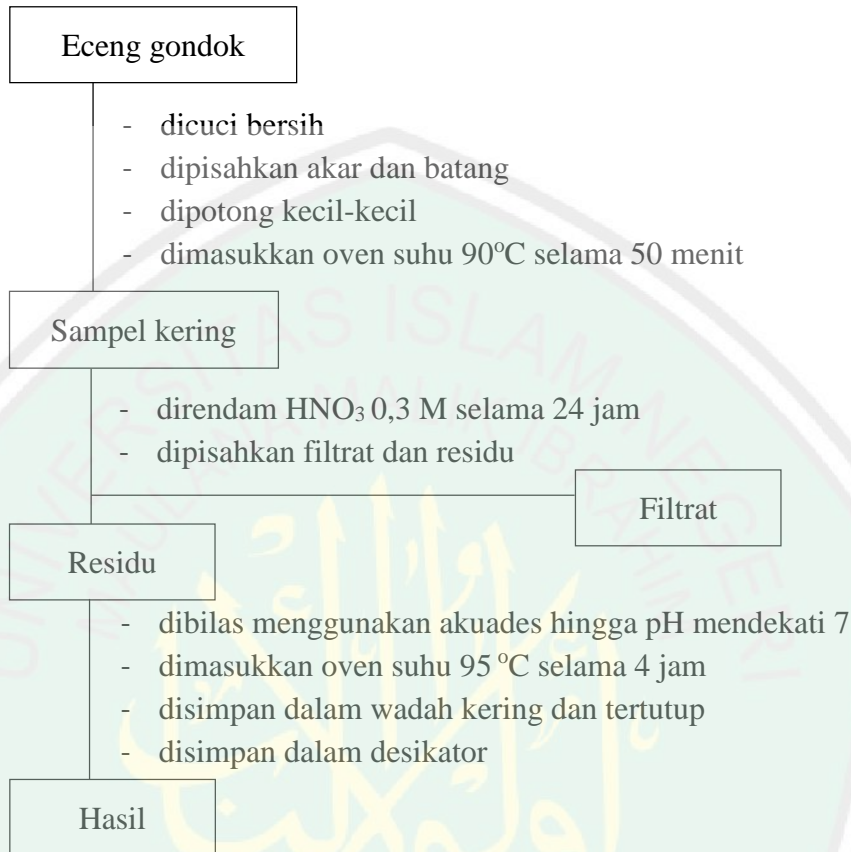
Zhu, B, Fan, T, Zhang, D. 2008. Adsorption of Copper Ions From Aqueous Solution by Citric Acid Modified Soybean Straw. *Jurnal of Hazardous Materials*, 153: 300–308.



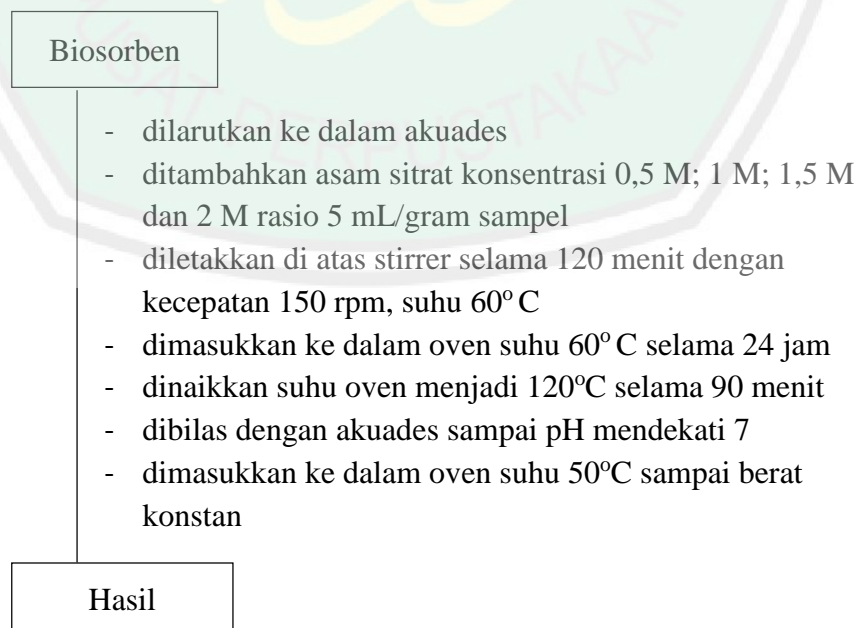
LAMPIRAN – LAMPIRAN

LAMPIRAN 1. DIAGRAM ALIR PENELITIAN

L.1.1 Preparasi Biosorben dan Demineralisasi Biosorben

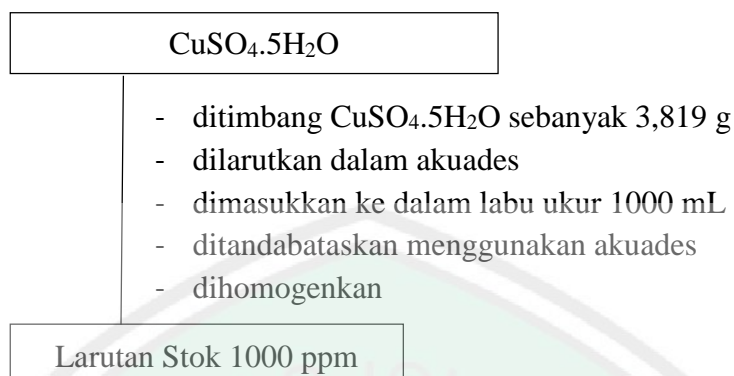


L.1.2 Modifikasi Biosorben Pada Beberapa Variasi Konsentrasi Asam Sitrat

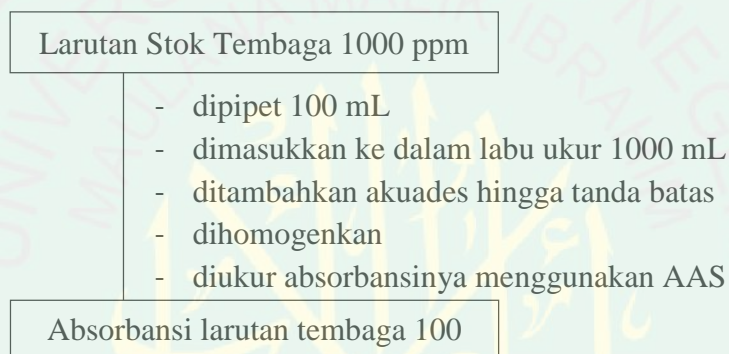


L1.3 Pembuatan Larutan Tembaga

L1.3.1 Pembuatan Larutan Stok Tembaga

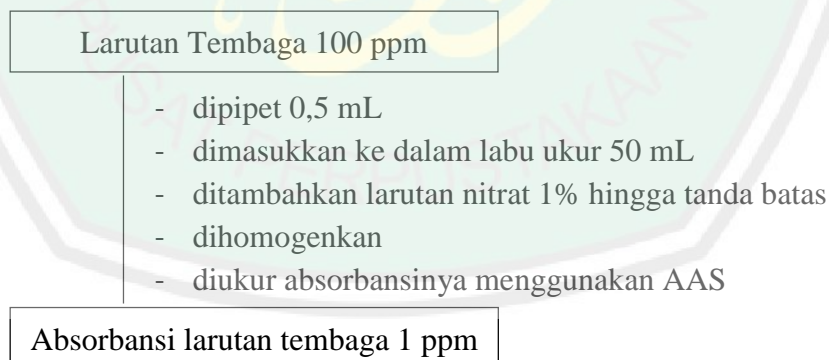


L1.3.2 Pembuatan Larutan Sampel



L1.3.3 Pembuatan Larutan Standar

a. Larutan Standar 1 ppm



Note: Pembuatan larutan tembaga 2 ppm, 3 ppm, 4 ppm, dan 5 ppm sama seperti pembuatan larutan tembaga 1 ppm dengan volume larutan standar 100 ppm berturut turut sebanyak 1 mL; 1,5 mL; 2,0 mL dan 2,5 mL ke dalam labu ukur 50 mL.

L.1.4 Uji kontrol larutan pH

Larutan Cu 100 ppm

- diambil sebanyak 100 mL
- dimasukkan ke dalam beaker glass 250 mL
- dikondisikan pH 4,5,6,7 dan 8 menggunakan NaOH dan HCl
- ditambahkan buffer
- dipipet sebanyak 2,5 mL
- dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL
- ditandabatkan menggunakan HNO₃ 1%
- dianalisis menggunakan AAS

Absorbansi

L.1.5 Adsorpsi tembaga oleh biosorben variasi pH larutan dan konsentrasi asam sitrat biosorben

Biosorben termodifikasi konsentrasi sitrat 0,5 M; 1 M; dan 1,5 M

- ditimbang adsorben sebanyak 1 gram
- dimasukkan ke dalam erlenmeyer 250 mL
- ditambahkan 100 mL larutan tembaga 100 ppm yang telah dikondisikan pH 4,5,6,7 dan 8
- dishaker selama 120 menit kecepatan 200 rpm
- disaring menggunakan kertas Whatman
- dipipet filtrat sebanyak 2,5 mL
- dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL
- ditandabatkan menggunakan HNO₃ 1%
- dianalisis menggunakan AAS

Hasil

L.1.6 Karakterisasi Selulosa Biosorben Menggunakan FTIR

Biosorben terdemineralisasi, termodifikasi sitrat dan teradsorp tembaga

- digerus sampel biosorben
- diayak ukuran 100 mesh
- ditambahkan KBr
- dibuat pellet
- dianalisis

Hasil

LAMPIRAN 2. PERHITUNGAN

L.2.1 Pembuatan Larutan Logam Cu

L.2.1.1 Larutan Induk

Pembuatan larutan induk logam tembaga (II) 1000 ppm = 1000 mg/L

$$\text{ppm} = \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$1000 \text{ ppm} = 1000 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

Menentukan massa garam Cu ($\text{Cu}(\text{SO}_4)_2$) dilarutkan dalam 1000 mL (1L)

menggunakan rumus:

$$\begin{aligned} \text{massa} &= \frac{\text{ppm} \times v \times \text{Mr Cu}(\text{SO}_4)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}}{\text{Ar Cu}} \\ &= \frac{1000 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 1 \text{ L} \times 249,68 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{65,37 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \\ &= 3819,49 \text{ mg} \\ &= 3,819 \text{ g} \end{aligned}$$

Pembuatan larutan Cu 1000 ppm dilakukan dengan melarutkan 3,819 g garam tembaga ke dalam labu ukur 1 L dan ditandabatkan menggunakan akuades.

L.2.1.2 Larutan Sampel Logam Tembaga (II)

Larutan tembaga (Cu) diperoleh dari pengenceran larutan induk tembaga $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 1000 ppm. Larutan tembaga (Cu) 100 ppm dibuat dengan cara memindahkan 100 mL larutan baku 1000 ppm ke dalam labu ukur 1000 mL, kemudian diencerkan sampai tanda batas. Perhitungan sbb:

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$\begin{aligned} V_1 \times 1000 \text{ mg/L} &= 1 \text{ L} \cdot 100 \text{ mg/L} \\ V_1 &= \frac{1 \text{ L} \cdot 100 \text{ mg/L}}{1000 \text{ mg/L}} \\ &= 0,1 \text{ L} \\ &= 100 \text{ mL} \end{aligned}$$

Keterangan : V_1 adalah volume larutan sebelum pengenceran, M_1 adalah konsentrasi larutan sebelum pengenceran, V_2 adalah volume larutan setelah pengenceran, M_2 adalah konsentrasi larutan setelah pengenceran

L.2.1.3 Larutan Standar 1 ppm, 2 ppm, 3 ppm, 4 ppm dan 5 ppm dari Larutan Sampel 100 ppm

a) Larutan Cu 1 ppm

$$\begin{aligned} V_1 \times M_1 &= V_2 \times M_2 \\ V_1 \times 100 \text{ ppm} &= 50 \text{ mL} \times 1 \text{ ppm} \\ V_1 &= \frac{50 \times 1 \text{ ppm}}{100 \text{ ppm}} \\ &= 0,5 \text{ mL} \end{aligned}$$

Pembuatan larutan Cu 1 ppm dilakukan dengan melarutkan 0,5 mL larutan Cu 100 ppm dalam labu ukur 50 mL dan ditandabatkan menggunakan nitrat 1%.

b) Larutan Cu 2 ppm

$$\begin{aligned} V_1 \times M_1 &= V_2 \times M_2 \\ V_1 \times 100 \text{ ppm} &= 50 \text{ mL} \times 2 \text{ ppm} \\ V_1 &= \frac{50 \times 2 \text{ ppm}}{100 \text{ ppm}} \\ &= 1 \text{ mL} \end{aligned}$$

Pembuatan larutan Cu 1 ppm dilakukan dengan melarutkan 1 mL larutan Cu 100 ppm dalam labu ukur 50 mL dan ditandabatkan menggunakan nitrat 1%.

c) Larutan Cu 3 ppm

$$\begin{aligned} V_1 \times M_1 &= V_2 \times M_2 \\ V_1 \times 100 \text{ ppm} &= 50 \text{ mL} \times 3 \text{ ppm} \\ V_1 &= \frac{50 \times 3 \text{ ppm}}{100 \text{ ppm}} \\ &= 1,5 \text{ mL} \end{aligned}$$

Pembuatan larutan Cu 1 ppm dilakukan dengan melarutkan 1,5 mL larutan Cu 100 ppm dalam labu ukur 50 mL dan ditandabatkan menggunakan nitrat 1%.

d) Larutan Cu 4 ppm

$$\begin{aligned}
 V_1 \times M_1 &= V_2 \times M_2 \\
 V_1 \times 100 \text{ ppm} &= 50 \text{ mL} \times 4 \text{ ppm} \\
 V_1 &= \frac{50 \times 4 \text{ ppm}}{100 \text{ ppm}} \\
 &= 2 \text{ mL}
 \end{aligned}$$

Pembuatan larutan Cu 1 ppm dilakukan dengan melarutkan 2 mL larutan Cu 100 ppm dalam labu ukur 50 mL dan ditandabatkan menggunakan nitrat 1%.

e) Larutan Cu 5 ppm

$$\begin{aligned}
 V_1 \times M_1 &= V_2 \times M_2 \\
 V_1 \times 100 \text{ ppm} &= 50 \text{ mL} \times 5 \text{ ppm} \\
 V_1 &= \frac{50 \times 5 \text{ ppm}}{100 \text{ ppm}} \\
 &= 2,5 \text{ mL}
 \end{aligned}$$

Pembuatan larutan Cu 1 ppm dilakukan dengan melarutkan 2,5 mL larutan Cu 100 ppm dalam labu ukur 50 mL dan ditandabatkan menggunakan nitrat 1%.

L.2.2 Pembuatan Larutan Asam Sitrat

Diket : Konsentrasi asam sitrat p.a = 99,5%

Massa jenis asam sitrat (ρ) = 1,66 g/mL

Mr asam sitrat = 192 g/mol

Ditanya : g sampel ?

$$\text{Jawab: } M = \frac{\% \times \rho \times 10}{Mr} = \frac{99,5\% \times 1,66 \text{ g/mL} \times 10}{192 \text{ g/mol}} = 8,603 \text{ M}$$

L.2.2.1 Larutan Asam Sitrat 0,5 M; 1 M; dan 1,5 M

a. Asam sitrat konsentrasi 0,5 M

Jika akan dibuat asam sitrat 0,5 M dalam labu takar 1000 mL maka dicari V_1 , dengan rumus:

$$\begin{aligned} M_1 \times V_1 &= M_2 \times V_2 \\ 8,603 \text{ M} \times V_1 &= 0,5 \text{ M} \times 1000 \text{ mL} \\ &= 58,119 \text{ mL} \end{aligned}$$

Dicari massa jika diketahui V , dengan rumus:

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{m}{v} \\ 1,66 \text{ g/mL} &= \frac{m}{58,119 \text{ mL}} \\ m &= 1,66 \text{ g/mL} \times 58,119 \text{ mL} \\ &= 96,477 \text{ g} \end{aligned}$$

Asam sitrat sebanyak 96,477 g dilarutkan menggunakan aquades, dimasukkan kedalam labu takar 1000 mL dan diencerkan dengan akuades hingga tanda batas.

b. Asam sitrat konsentrasi 1 M

Jika akan dibuat asam sitrat 1 M dalam labu takar 1000 mL maka dicari V_1 , dengan rumus:

$$\begin{aligned} M_1 \times V_1 &= M_2 \times V_2 \\ 8,603 \text{ M} \times V_1 &= 1 \text{ M} \times 1000 \text{ mL} \\ &= 116,2385 \text{ mL} \end{aligned}$$

Dicari massa jika diketahui V , dengan rumus:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$1,66 \text{ g/mL} = \frac{m}{116,2385 \text{ mL}}$$

$$\begin{aligned} m &= 1,66 \text{ g/mL} \times 116,2385 \text{ mL} \\ &= 192,95591 \text{ g} \end{aligned}$$

Asam sitrat sebanyak 192,95591 g dilarutkan menggunakan aquades, dimasukkan kedalam labu takar 1000 mL dan diencerkan dengan akuades hingga tanda batas.

c. Asam sitrat konsentrasi 1,5 M

Jika akan dibuat asam sitrat 1,5 M dalam labu takar 1000 mL maka dicari V_1 , dengan rumus:

$$\begin{aligned} M_1 \times V_1 &= M_2 \times V_2 \\ 8,603 \text{ M} \times V_1 &= 1,5 \text{ M} \times 1000 \text{ mL} \\ &= 174,3578 \text{ mL} \end{aligned}$$

Dicari massa jika diketahui V , dengan rumus:

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{m}{v} \\ 1,66 \text{ g/mL} &= \frac{m}{174,3578 \text{ mL}} \\ m &= 1,66 \text{ g/mL} \times 174,3578 \text{ mL} \\ &= 289,433948 \text{ g} \end{aligned}$$

Asam sitrat sebanyak 289,433948 g dilarutkan menggunakan aquades, dimasukkan kedalam labu takar 1000 mL dan diencerkan dengan akuades hingga tanda batas.

LAMPIRAN 3. DATA HASIL PENELITIAN

a. Kurva Standar

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
0	0,00001
1	0,2184
2	0,3825
3	0,5245
4	0,6556
5	0,7851

$$y = 0,1537x + 0,04351$$

$$R^2 = 0,9946$$

b. Absorbansi Filtrat

pH	Kontrol	0,5		1,0	
		1	2	1	2
4	0,7729	0,1054	0,2845	0,1456	0,1977
5	0,7688	0,1773	0,2622	0,1164	0,2303
6	0,7662	0,2842	0,2143	0,2461	0,1914
7	0,7879	0,3029	0,2713	0,1027	0,2376
8	0,7646	0,2919	0,1803	0,2517	0,1943

pH	Kontrol	1,5		Tanpa modifikasi	
		1	2	1	2
4	0,7729	0,3406	0,4197	0,3295	0,468
5	0,7688	0,3736	0,4102	0,3115	0,4572
6	0,7662	0,3696	0,4219	0,2259	0,4689
7	0,7879	0,6286	0,6286	0,2389	0,2997
8	0,7646	0,5078	0,4374	0,3078	0,3328

c. Konsentrasi Filtrat Sisa

$$Y = ax + b$$

Dimana y : absorbansi sampel

x : konsentrasi sampel

pH	0,5		1,0	
	1	2	1	2
4	8,0549	31,36461	13,28691	20,06768
5	17,4126	28,46229	9,486562	24,31054
6	31,3256	22,22815	26,36689	19,24774
7	16,8797	14,82332	3,85176	12,63031
8	32,3277	17,80308	27,09572	19,62517

pH	1,5		Tanpa modifikasi	
	1	2	1	2
4	38,66597	48,96076	18,6107	55,24696
5	42,96089	47,72434	17,4393	53,84135
6	42,44029	49,24709	11,8689	55,36409
7	38,07445	38,07445	12,7149	33,34288
8	60,42689	51,2644	17,1985	37,65081

d. Konsentrasi teradsorp

Teradsorp (ppm) = Kons. Awal/kontrol – Kons. Filtrat

pH	0,5				1,0			
	1	2	Rata rata	Std. dev	1	2	Rata rata	Std. dev
4	86,87	63,57	75,22	16,482	81,64	74,86	78,25	4,795
5	76,98	65,93	71,46	7,813	84,91	70,09	77,50	10,482
6	62,73	71,83	67,28	6,433	67,69	74,81	71,25	5,034
7	80,01	82,06	81,03	1,454	93,03	84,25	88,64	6,207
8	61,52	76,05	68,78	10,270	66,75	74,22	70,49	5,282

pH	1,5				Tanpa modifikasi			
	1	2	Rata rata	Std. dev	1	2	Rata rata	Std. dev
4	56,26	45,97	51,12	7,280	76,32	39,68	58,00	25,906
5	51,43	46,67	49,05	3,368	76,96	40,55	58,75	25,740
6	51,62	44,81	48,21	4,813	82,19	38,70	60,44	30,756
7	58,81	58,81	58,81	0,630	84,17	63,54	73,85	14,586
8	33,42	42,58	38,01	6,479	76,65	56,2	66,42	14,462

e. Persentase Teradsorp

$$\text{Removal (\%)} = \frac{\text{kadar sebelum adsorpsi/kontrol} - \text{kadar setelah adsorpsi}}{\text{kadar sebelum adsorpsi/kontrol}} \times 100\%$$

pH	Kontrol (ppm)	0,5 M		Tanpa Modifikasi	
		Teradsorp (ppm)	% Teradsorp	Teradsorp (ppm)	% Teradsorp
4	94,929	75,219626	79,23744	78,2521	82,432
5	94,396	71,458319	75,70075	77,49723	82,098
6	94,057	67,280536	71,53136	71,25008	75,752
7	96,882	81,030129	83,63828	88,64059	91,494
8	93,849	68,783757	73,29182	70,48871	75,109

pH	Kontrol	1,5 M		Tanpa Modifikasi	
		Teradsorp (ppm)	% Teradsorp	Teradsorp (ppm)	% Teradsorp
4	94,929	51,11603	51,96542	58,00059	61,09866
5	94,396	49,05317	51,25988	58,75545	62,24372
6	94,057	48,2137	60,70004	60,44088	64,25957
7	96,882	58,80718	40,49425	73,85274	76,22987
8	93,849	38,00351	53,84636	66,42448	70,77792

f. Analisis Kondisi Optimum Filtrat (modifikasi 1 M; pH 7)

Absorbansi filtrat	0,1027
Konsentrasi awal	96,8816 ppm
Konsentrasi filtrat setelah adsorp	3,8517 ppm
Konsentrasi teradsorp	93,0299 ppm

g. Analisis Dekstruksi Biosorben (0,5 gram)

Konsentrasi sebenarnya = (kons. Hasil pembacaan SSA x V x fp) / massa

Keterangan, v : volume sampel (L)

Fp : faktor pengenceran

Massa : massa biosorben (kg)

	Satuan	Hasil Dekstruksi			
		(a)	(b)	(c)	(d)
Absorbansi	-	0,3627	0,3433	0,3587	2,1685
Konsentrasi Filtrat	ppm	6,491	6,097	6,4096	43,213
Konsentrasi Sebenarnya	mg/Kg	324,549	304,823	320,481	2160,667

(a) Sebelum demineralisasi

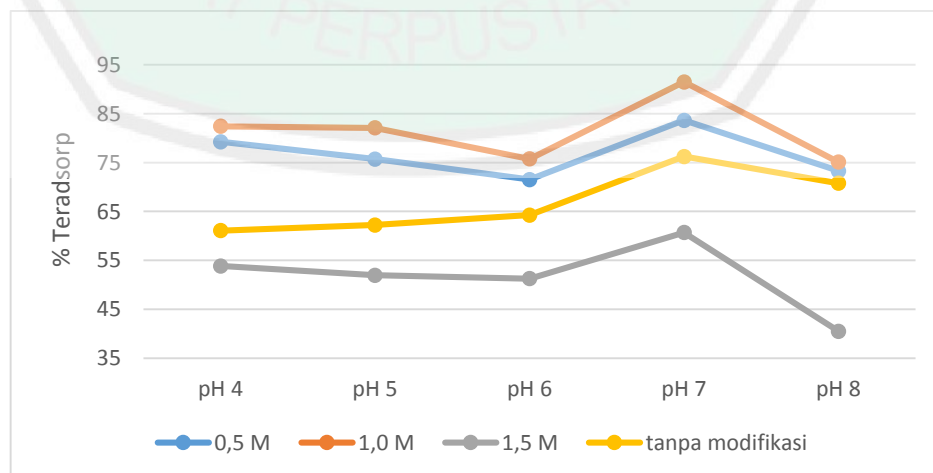
(b) Setelah demineralisasi

(c) Sebelum adsorpsi

(d) Setelah adsorpsi kondisi optimum (modifikasi 1 M; pH 7)

h. Presentase penurunan logam setelah demineralisasi

$$\begin{aligned}
 \text{Removal (\%)} &= \frac{6,4909 - 6,0965}{6,4909} \times 100\% \\
 &= \frac{0,3944}{6,4909} \times 100\% \\
 &= 0,06076 \times 100\% \\
 &= 6,076 \%
 \end{aligned}$$



Perbandingan Persentase adsorpsi pada keseluruhan variasi

LAMPIRAN 4. DOKUMENTASI



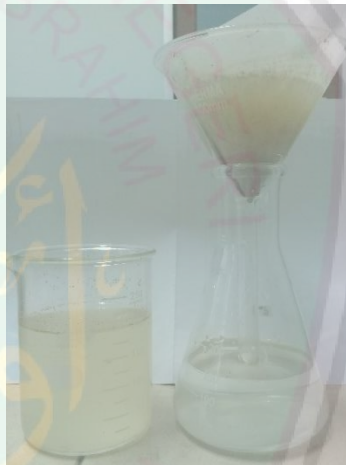
Proses Modifikasi



Proses Demineralisasi



Pencucian biosorben dari nitrat



Larutan demineralisasi netral



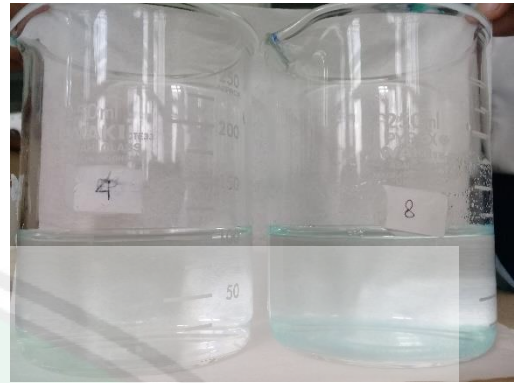
Pengkondisian pH



Proses adsorpsi



Larutan sampel tembaga



Endapan pada larutan pH 8



LAMPIRAN 5. DATA HASIL SPSS

a. Homogenisasi dan ANOVA variasi pH

Test of Homogeneity of Variances

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
ulang 1	.141	4	15	.964
ulang 2	.770	4	15	.561

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ulang 1	Between Groups	952.790	4	238.198	1.076	.403
	Within Groups	3320.893	15	221.393		
	Total	4273.683	19			
ulang 2	Between Groups	759.961	4	189.990	.773	.560
	Within Groups	3687.471	15	245.831		
	Total	4447.433	19			

ONEWAY x1 x2 BY Sitrat /STATISTICS HOMOGENEITY/MISSING ANALYSIS /POSTHOC=DUKE ALPHA(0.05)

b. Homogenisasi, ANOVA dan *Post Hoc Test* variasi konsentrasi sitrat

Test of Homogeneity of Variances

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
ulang 1	2.021	3	16	.152
ulang 2	2.747	3	16	.077

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ulang 1	Between Groups	2815.367	3	938.456	10.296	.001
	Within Groups	1458.317	16	91.145		
	Total	4273.683	19			
ulang 2	Between Groups	3428.616	3	1142.872	17.948	.000
	Within Groups	1018.817	16	63.676		
	Total	4447.433	19			

Multiple Comparisons

Tukey HSD

Dependent Variable	(I) Sitrat	(J) Sitrat	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval		
						Lower Bound	Upper Bound	
ulang 1	0	0.5	5.6336400	6.0380388E0	.788	-11.641309	22.908589	
		1	-.4511000	6.0380388E0	1.000	-16.823849	17.726049	
		1.5	28.9472200*	6.0380388E0	.001	11.672271	46.222169	
	0.5	0	-5.6336400	6.0380388E0	.788	-22.908589	11.641309	
		1	-5.1825400	6.0380388E0	.826	-22.457489	12.092409	
		1.5	23.3135800*	6.0380388E0	.007	6.038631	40.588529	
	1	0	-.4511000	6.0380388E0	1.000	-17.726049	16.823849	
		0.5	5.1825400	6.0380388E0	.826	-12.092409	22.457489	
		1.5	28.4961200*	6.0380388E0	.001	11.221171	45.771069	
	1.5	0	-28.9472200*	6.0380388E0	.001	-46.222169	-11.672271	
		0.5	-23.3135800*	6.0380388E0	.007	-40.588529	-6.038631	
		1	-28.4961200*	6.0380388E0	.001	-45.771069	-11.221171	
	ulang 2	0	0.5	-24.2358800*	5.0468232E0	.001	-38.674941	-9.796819
			1	-27.9129600*	5.0468232E0	.000	-42.352021	-13.473899
			1.5	-.0350400	5.0468232E0	1.000	-14.474101	14.404021
0.5		0	24.2358800*	5.0468232E0	.001	9.796819	38.674941	
		1	-3.6770800	5.0468232E0	.884	-18.116141	10.761981	
		1.5	24.2008400*	5.0468232E0	.001	9.761779	38.639901	
1		0	27.9129600*	5.0468232E0	.000	13.473899	42.352021	
		0.5	3.6770800	5.0468232E0	.884	-10.761981	18.116141	
		1.5	27.8779200*	5.0468232E0	.000	13.438859	42.316981	
1.5		0	-.0350400	5.0468232E0	1.000	-14.404021	14.474101	
		0.5	-24.2008400*	5.0468232E0	.001	-38.639901	-9.761779	
		1	-27.8779200*	5.0468232E0	.000	-42.316981	-13.438859	

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Homogeneous Subsets

ulang 1

Tukey HSD

Sitrat	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
1.5	5	5.030898E1	
0.5	5		7.362256E1
1	5		7.880510E1
0	5		7.925620E1
Sig.		1.000	.788

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

ulang 2

Tukey HSD

Sitrat	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
0	5	4.773342E1	
1.5	5	4.776846E1	
0.5	5		7.196930E1
1	5		7.564638E1
Sig.		1.000	.884

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

c. Data F tabel

	pH	Konsentrasi Sitrat
k	5	4
n	20	20
df1 (k-1)	4	3
df2 (n-k)	15	16
F _{tabel}	3,08	3,24

keterangan :

n : jumlah sampel

k : jumlah variasi

Distribution Nilai Tabel F_{0,05}
Degrees of freedom for Nominator

D e g r e e s o f f r e e d o m f o r D e n o m i n a t o r	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞	
1	161	200	236	265	290	312	331	348	363	376	388	399	410	420	429	438	446	454	461	468
2	18,5	19,0	19,2	19,3	19,3	19,3	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5
3	10,1	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81	8,79	8,74	8,70	8,66	8,64	8,62	8,59	8,57	8,55	8,53	8,53
4	7,71	6,94	6,69	6,59	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96	5,91	5,86	5,80	5,77	5,75	5,72	5,69	5,66	5,63	5,63
5	6,61	5,79	5,57	5,49	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77	4,74	4,68	4,62	4,56	4,53	4,50	4,46	4,43	4,40	4,37	4,37
6	5,99	5,14	4,94	4,83	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06	4,00	3,94	3,87	3,84	3,81	3,77	3,74	3,70	3,67	3,67
7	5,59	4,74	4,55	4,42	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,64	3,57	3,51	3,44	3,41	3,38	3,34	3,30	3,27	3,23	3,23
8	5,32	4,46	4,28	4,14	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,35	3,28	3,22	3,15	3,12	3,08	3,04	3,01	2,97	2,93	2,93
9	5,12	4,26	4,08	3,94	3,49	3,37	3,29	3,23	3,18	3,14	3,07	3,01	2,94	2,90	2,86	2,83	2,79	2,75	2,71	2,71
10	4,96	4,10	3,92	3,78	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,98	2,91	2,85	2,77	2,74	2,70	2,66	2,62	2,58	2,54	2,54
11	4,84	3,98	3,79	3,66	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90	2,85	2,79	2,72	2,65	2,61	2,57	2,53	2,49	2,45	2,40	2,40
12	4,75	3,89	3,69	3,56	3,11	3,00	2,91	2,85	2,80	2,75	2,69	2,62	2,54	2,51	2,47	2,43	2,38	2,34	2,30	2,30
13	4,67	3,81	3,61	3,48	3,03	2,92	2,83	2,77	2,71	2,67	2,60	2,53	2,46	2,42	2,38	2,34	2,30	2,25	2,21	2,21
14	4,60	3,74	3,54	3,41	2,96	2,85	2,76	2,70	2,65	2,60	2,53	2,46	2,39	2,35	2,31	2,27	2,22	2,18	2,13	2,13
15	4,54	3,68	3,48	3,35	2,90	2,79	2,71	2,64	2,59	2,54	2,48	2,40	2,33	2,29	2,25	2,20	2,16	2,11	2,07	2,07
16	4,49	3,63	3,43	3,30	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54	2,49	2,42	2,35	2,28	2,24	2,19	2,15	2,11	2,06	2,01	2,01
17	4,45	3,59	3,39	3,26	2,81	2,70	2,61	2,55	2,49	2,45	2,38	2,31	2,23	2,19	2,15	2,10	2,06	2,01	1,96	1,96
18	4,41	3,55	3,35	3,22	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46	2,41	2,34	2,27	2,19	2,15	2,11	2,06	2,02	1,97	1,92	1,92
19	4,38	3,52	3,32	3,19	2,74	2,63	2,54	2,48	2,42	2,38	2,31	2,23	2,16	2,11	2,07	2,03	1,98	1,93	1,88	1,88
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,51	2,45	2,39	2,35	2,28	2,20	2,12	2,08	2,04	1,99	1,95	1,90	1,84	1,84
21	4,32	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,49	2,42	2,37	2,32	2,25	2,18	2,10	2,05	2,01	1,96	1,92	1,87	1,81	1,81
22	4,30	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,46	2,40	2,34	2,30	2,23	2,15	2,07	2,03	1,98	1,94	1,89	1,84	1,78	1,78
23	4,28	3,42	3,03	2,80	2,64	2,53	2,44	2,37	2,32	2,27	2,20	2,13	2,05	2,01	1,96	1,91	1,86	1,81	1,76	1,76
24	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,42	2,36	2,30	2,25	2,18	2,11	2,03	1,98	1,94	1,89	1,84	1,79	1,73	1,73
25	4,24	3,39	2,99	2,76	2,60	2,49	2,40	2,34	2,28	2,24	2,16	2,09	2,01	1,96	1,92	1,87	1,82	1,77	1,71	1,71
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,33	2,27	2,21	2,16	2,09	2,01	1,93	1,89	1,84	1,79	1,74	1,68	1,62	1,62
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,25	2,18	2,12	2,08	2,00	1,92	1,84	1,79	1,74	1,69	1,64	1,58	1,51	1,51
50	4,08	3,18	2,79	2,56	2,40	2,29	2,20	2,13	2,07	2,02	1,95	1,87	1,78	1,74	1,69	1,63	1,56	1,50	1,41	1,41
60	4,00	3,15	2,76	2,53	2,37	2,25	2,17	2,10	2,04	1,99	1,92	1,84	1,75	1,70	1,65	1,59	1,53	1,47	1,39	1,39
100	3,94	3,09	2,70	2,46	2,30	2,19	2,10	2,03	1,97	1,92	1,85	1,80	1,68	1,63	1,57	1,51	1,46	1,40	1,28	1,28
120	3,92	3,07	2,68	2,45	2,29	2,18	2,09	2,02	1,96	1,91	1,83	1,75	1,66	1,61	1,55	1,50	1,43	1,35	1,22	1,22
∞	3,84	3,00	2,60	2,37	2,21	2,10	2,01	1,94	1,88	1,83	1,75	1,67	1,57	1,52	1,46	1,39	1,32	1,22	1,00	1,00