

**LAJU ADSORPSI DAN PENGARUH pH TERHADAP ADSORPSI  
LOGAM TEMBAGA (Cu) MENGGUNAKAN ADSORBEN *Hydrilla*  
*verticillata* TERMODIFIKASI ASAM SITRAT**

**SKRIPSI**

**Oleh:  
SUCI AMAROTUN NISA'  
NIM. 15630063**



**PROGRAM STUDI KIMIA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2021**

**LAJU ADSORPSI DAN PENGARUH pH TERHADAP ADSORPSI  
LOGAM TEMBAGA (Cu) MENGGUNAKAN ADSORBEN *Hydrilla*  
*verticillata* TERMODIFIKASI ASAM SITRAT**

SKRIPSI

Oleh:  
SUCI AMAROTUN NISA'  
15630063

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

**PROGRAM STUDI KIMIA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2021**

**LAJU ADSORPSI DAN PENGARUH pH TERHADAP ADSORPSI  
LOGAM TEMBAGA (Cu) MENGGUNAKAN ADSORBEN *Hydrilla*  
*verticillata* TERMODIFIKASI ASAM SITRAT**

**SKRIPSI**

**Oleh :  
SUCI AMAROTUN NISA'  
NIM. 15630063**

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji  
Tanggal: 20 Desember 2021

Pembimbing I



Suci Amalia, M. Sc  
NIP. 19821104 200901 2 007

Pembimbing II



A. Ghanaim Fasya, M.Si  
NIP. 19820616 200604 1 002

Mengetahui,  
Ketua Program Studi



Rachmawati Ningsih, M.Si  
NIP. 19810811 200801 2 010

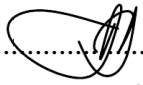
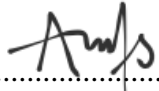

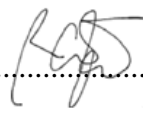
LAJU ADSORPSI DAN PENGARUH pH TERHADAP ADSORPSI LOGAM  
TEMBAGA (Cu) MENGGUNAKAN ADSORBEN *Hydrilla verticillata*  
TERMODIFIKASI ASAM SITRAT

SKRIPSI

oleh:  
SUCI AMAROTUN NISA'  
NIM. 15630063

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi  
Dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)  
Tanggal : 20 Desember 2021

Telah disetujui oleh :

Penguji Utama	: Himmatul Baroroh, M.Si NIP. 19750730 200312 2 001	(  )
Ketua Penguji	: Suci Amalia, M.Sc NIP. 19821104 200901 2 007	(  )
Pembimbing II	: A. Ghanaim Fasya, M.Si NIP. 19820616 200604 1 002	(  )
Konsultan	: Rif'atul Mahmudah, M.Si NIDT. 19830125 201608 01 2 068	(  )

Mengetahui,  
Ketua Program Studi



Rachmawati Ningsih, M.Si  
NIP. 19810811 200801 2 010

## PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Suci Amaratun Nisa'

NIM : 15630063


Jurusan : Kimia

Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini adalah benar-benar hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai 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 perbuatan tersebut.

Yang membuat pernyataan  
Malang, 22 Desember 2021



  
Suci Amaratun Nisa'  
NIM. 15630063

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT akhirnya dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Tanpa kehendak-Nya dan dukungan orang-orang sekitar, saya tidak dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Oleh karena itu, saya ingin mempersembahkan tulisan ini untuk:

Kedua orang tua saya Bapak Purwanto dan Ibu Rusthini Wahidatin serta adik-adik saya Yanuar Khoirul Anam dan Faridah Roudhotul Jannah yang selama ini telah memberikan segala dukungan mulai dari awal masuk kuliah hingga saya bisa memperoleh gelar sarjana ini. Terima kasih untuk segalanya, mungkin kiranya tulisan ini hanya sebagian kecil hal yang bisa saya persembahkan, karena semua kebaikan kalian takkan bisa terbalas dengan apapun. Semoga selalu diberi kesehatan, kebahagiaan dan panjang umur. Aamiin

Bapak dan Ibu Dosen Kimia, khususnya Ibu Suci Amalia, M.Sc, Ibu Rif'atul Mahmudah, M.Si, Bapak A. Ghanaim Fasya, M.Si dan Ibu Himmatul Baroroh, M.Si yang telah memotivasi, memberikan arahan, dan membimbing dengan sangat sabar selama ini. Semoga kebaikan Bapak dan Ibu Dosen melipat balasan yang lebih baik dari Allah SWT. Aamiin.

Seluruh teman-teman kimia 2015 khususnya Kimia-B 2015 yang telah menjadi bagian dari penelitian ini. Terima kasih untuk segala bantuan support selama ini. Semoga Allah memberikan keberkahan atas semua kerja keras yang telah kita lakukan. Semoga cita-cita kita semua bisa terwujud dan kita semua sukses. Aamiin.

## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum Wr. Wb.*

Syukur alhamdulillah penulis haturkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat dan Hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan proposal penelitian yang berjudul “Laju Adsorpsi dan Pengaruh pH Terhadap Adsorpsi Logam Tembaga (Cu) Menggunakan Adsorben *Hydrilla verticillata* Termodifikasi Asam Sitrat”.

Selanjutnya penulis haturkan ucapan terima kasih seiring do'a dan harapan jazakumullah ahsanal jaza' kepada semua pihak yang telah membantu terselesaikannya proposal penelitian ini. Ucapan terima kasih ini penulis sampaikan kepada:

1. Bapak Purwanto, Ibu Rusthini, Yanuar, Farida, serta seluruh keluarga besar penulis yang telah mendukung dan memotivasi baik dari segi waktu, materi, dan tenaga.
2. Prof. Dr. H.M. Zainuddin, MA selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Rachmawati Ningsih, M.Si selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
5. Suci Amalia, M.Sc dan A. Ghanaim Fasya, M.Si selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk membimbing, memotivasi, mengarahkan, dan memberi masukan untuk terselesainya proposal penelitian ini.
6. Seluruh Dosen Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah memberikan ilmu yang berharga.
7. Teman-teman Kimia Angkatan 2015 khususnya tim penelitian penulis dan sahabbat geng Ridlo, Kacong, Wakid, Andy, Rosi, Masuth, Burhan, Brenda, Shovi dan Siwi yang telah memberikan masukan dan memberikan canda tawa selama masa penelitian.
8. Semua pihak yang ikut membantu dalam menyelesaikan laporan ini

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan ini masih terdapat kekurangan dan penulis berharap semoga skripsi ini bisa memberikan manfaat kepada para pembaca khususnya bagi penulis secara pribadi. *Amin Ya Rabbal Alamin.*

*Wassalamu'alaikum Wr. Wb.*

Malang, 14 Desember 2021

Penyusun



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR PERSAMAAN</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xiv</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>xv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xvi</b>
<b>المخلص</b> .....	<b>xvii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan.....	5
1.4 Batasan Masalah .....	6
1.5 Manfaat Penelitian .....	6
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>7</b>
2.1 Potensi Tanaman <i>Hydrilla verticillata</i> sebagai Adsorben .....	7
2.1.1 Kandungan Kimia <i>Hydrilla verticillata</i> .....	8
2.2 Demineralisasi <i>Hydrilla verticillata</i> Menggunakan Asam Nitrat .....	9
2.3 Aktivasi <i>Hydrilla verticillata</i> Menggunakan Asam Sitrat .....	10
2.4 Adsorpsi Ion Logam Tembaga (Cu) .....	11
2.4.1 Proses Adsorpsi dan Mekanisme Adsorpsi Logam Tembaga .....	11
2.4.2 Logam Tembaga (Cu) Sebagai Limbah Pencemar .....	12
2.4.3 Kinetika Adsorpsi .....	13
2.5 Prinsip Analisa Tembaga (Cu) Menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom .....	15
2.6 Karakterisasi Gugus Fungsi dengan FTIR .....	18
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>20</b>
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	20
3.2 Alat & Bahan .....	20
3.2.1 Alat .....	20

3.2.2 Bahan .....	20
3.3 Rancangan Penelitian .....	20
3.4 Tahapan Penelitian .....	22
3.5 Prosedur Kerja .....	23
3.5.1 Preparasi Biomassa <i>Hydrilla verticillata</i> .....	23
3.5.2 Demineralisasi Biosorben <i>Hydrilla verticillata</i> Menggunakan Asam Klorida .....	23
3.5.3 Aktivasi Gugus Aktif Biomassa Menggunakan Asam Sitrat .....	23
3.5.4 Karakterisasi Biomassa <i>Hydrilla verticillata</i> Menggunakan FT-IR .....	24
3.5.5 Pembuatan Larutan Tembaga .....	24
3.5.5.1 Pembuatan Larutan Stok Tembaga .....	24
3.5.5.2 Kurva Standar Logam Tembaga .....	24
3.5.6 Adsorpsi Logam Tembaga Oleh Biomassa <i>Hydrilla verticillata</i> dengan Variasi Waktu Kontak .....	25
3.5.7 Adsorpsi Logam Tembaga Oleh Biomassa <i>Hydrilla verticillata</i> dengan Variasi pH.....	25
3.6 Analisis Data .....	26
3.6.1 Penentuan Laju Adsorpsi .....	26
<b>BAB IV PEMBAHASAN</b> .....	27
4.1 Preparasi <i>Hydrilla verticillata</i> .....	27
4.2 Demineralisasi <i>Hydrilla verticillata</i> .....	28
4.3 Modifikasi <i>Hydrilla verticillata</i> menggunakan Asam Sitrat .....	29
4.4 Kurva Standar Logam Tembaga (Cu) .....	32
4.5 Adsorpsi Logam Tembaga oleh Biomassa Termodifikasi.....	33
4.5.1 Penentuan Waktu Kontak Optimum Adsorpsi .....	33
4.5.2 Kinetika Adsorpsi Logam Tembaga .....	35
4.5.3 Pengaruh pH terhadap Adsorpsi Logam Tembaga (Cu) .....	37
4.6 Analisis One Way Anova .....	39
4.6.1 Faktor Waktu .....	39
4.6.2 Faktor pH .....	40
4.7 Hasil Penelitian dalam Perspektif Islam .....	42
<b>BAB IV PENUTUP</b> .....	44
5.1 Kesimpulan .....	44
5.1 Saran .....	44
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	45
<b>LAMPIRAN</b> .....	50

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tanaman <i>Hydrilla verticillata</i> .....	8
Gambar 2.2 Struktur selulosa .....	9
Gambar 2.3 Struktur asam sitrat .....	11
Gambar 2.4 Reaksi asam sitrat dengan selulosa melalui reaksi esterifikasi .....	12
Gambar 2.5 Skema umum atomisasi logam pada SSA .....	16
Gambar 2.6 Komponen SSA .....	17
Gambar 2.7 Hasil karakterisasi FT-IR adsorben serbuk <i>Hydrilla verticillata</i> setelah aktivasi NaOH .....	19
Gambar 4.1 Preparasi biomassa <i>Hydrilla verticillata</i> .....	27
Gambar 4.2 Reaksi dugaan antara asam sitrat dengan selulosa .....	29
Gambar 4.3 Spektra IR biomassa <i>Hydrilla verticillata</i> .....	31
Gambar 4.4 Kurva standar logam tembaga .....	33
Gambar 4.5 Waktu kontak terbaik adsorpsi logam tembaga .....	34
Gambar 4.6 Kinetika adsorpsi orde satu .....	36
Gambar 4.7 Kinetika adsorpsi orde dua .....	36
Gambar 4.8 Penentuan pH optimum logam tembaga .....	37

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kandungan nutrisi pada <i>Hydrilla verticillata</i> .....	9
Tabel 2.2 Parameter morfologi dan kandungan selulosa pada <i>Hydrilla verticillata</i> .....	9
Tabel 2.3 Penurunan kadar mineral oleh asam sitrat pada <i>Hydrilla verticillata</i> .....	10
Tabel 2.4 Hasil Kinetika Orde 1 dan Orde 2 dari Adsorpsi logam Pb(II).....	15
Tabel 4.1 Interpretasi spektra IR .....	32
Tabel 4.2 Hasil uji F dan nilai probabilitas faktor waktu.....	39
Tabel 4.3 Hasil uji BNT terhadap logam Cu.....	40
Tabel 4.4 Hasil uji F dan nilai probabilitas faktor pH.....	41
Tabel 4.5 Hasil uji BNT terhadap logam Cu.....	41

## DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 2.1. Laju reaksi .....	14
Persamaan 2.2. Orde reaksi satu .....	14
Persamaan 2.3. Integrasi persamaan 2.2 .....	14
Persamaan 2.4. Orde reaksi dua .....	14
Persamaan 2.5. Integrasi persamaan 2.4 .....	14
Persamaan 2.6. Bentuk linier orde dua.....	15
Persamaan 2.7. Hukum Lambert Beer.....	17
Persamaan 3.1. Orde satu .....	26
Persamaan 3.2. Orde dua .....	26
Persamaan 4.1. Mekanisme ionisasi H .....	38
Persamaan 4.2. Mekanisme pengikatan Cu .....	38
Persamaan 4.3. Reaksi pengikatan Cu oleh NaOH .....	38

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Rancangan penelitian .....	46
Lampiran 2. Diagram alir penelitian .....	47
Lampiran 3. Perhitungan .....	50
Lampiran 4. Data hasil penelitian .....	54
Lampiran 5. Dokumentasi .....	59
Lampiran 6. <i>Risk assesment</i> .....	61

## ABSTRAK

Nisa'. Suci Amaratun. 2021. **Laju Adsorpsi dan Pengaruh pH Terhadap Adsorpsi Logam Tembaga (Cu) Menggunakan Adsorben *Hydrilla verticillata* Termodifikasi Asam Sitrat.**Laporan Hasil Penelitian. Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing1: Suci Amalia, M.Sc.Pembimbing II: A. Ghanaim Fasya, M.Si

---

**Kata kunci:** *Hydrilla verticillata*, asam sitrat, kinetika adsorpsi, adsorpsi, logam Cu

Danau Ranu Grati Pasuruan merupakan danau alami yang kaya akan organisme perairan, salah satunya tumbuhan yang dapat digunakan sebagai biomassa adalah *Hydrilla verticillata*. *Hydrilla verticillata* memiliki kemampuan dalam mengakumulasi logam tembaga (Cu) dalam tubuhnya. Kandungan selulosa yang terdapat dalam *Hydrilla verticillata* dapat dimanfaatkan dengan adanya gugus hidroksil (-OH) yang memiliki kemampuan mengikat logam berat seperti logam tembaga (Cu).

Tahapan penelitian ini meliputi preparasi biosorben *Hydrilla verticillata*: demineralisasi menggunakan HCl 0,1 M aktivasi menggunakan asam sitrat 1 M: penentuan kinetika adsorpsi logam Tembaga (Cu), pengaruh pH terhadap adsorpsi logam Tembaga (Cu), dan karakterisasi *Hydrilla verticillata* menggunakan FTIR.

Hasil penelitian ini menyatakan kinetika adsorpsi logam tembaga (Cu) oleh adsorben *Hydrilla verticillata* termodifikasi asam sitrat mengikuti kinetika adsorpsi orde satu dengan nilai  $R^2$  0,9931 dan kapasitas adsorpsi maksimum 3,280 mg/g.. Berdasarkan spektra IR menunjukkan munculnya gugus baru setelah proses modifikasi, yaitu gugus ester pada bilangan gelombang  $1732,90\text{ cm}^{-1}$  yaitu gugus ester yang menambah gugus aktif adsoben sehingga meningkatkan kapasitas adsorpsi.

## ABSTRACT

Nisa'. Suci Amarotun. 2021. **Adsorption Rate and Effect of pH on Copper (Cu) Metal Adsorption Using Citric Acid Modified *Hydrilla verticillata* Adsorbent** . Research Report. Department of Chemistry Faculty of Science and Technology State Islamic University Maulana Malik Ibrahim Malang. Supervisor 1: Suci Amalia, M.Sc. Supervisor II: A. Ghanaim Fasya, M.Si

---

**Keywords:** *Hydrilla verticillata*, citric acid, adsorption kinetics, adsorption, copper metal

Lake Ranu Grati Pasuruan is a natural lake that is rich in aquatic organisms, one of which plants that can be used as biomass is *Hydrilla verticillata*. *Hydrilla verticillata* has the ability to accumulate copper metal (Cu) in the body. The cellulose content contained in *Hydrilla verticillata* can be utilized in the presence of hydroxyl groups (-OH) which have the ability to bind heavy metals such as copper metal (Cu).

The stages of this research included the preparation of *Hydrilla verticillata* biosorbent: demineralization using 0.1 M HCl activation using 1 M citric acid: determination of copper (Cu) metal adsorption kinetics, the effect of pH on copper (Cu) metal adsorption, and characterization of *Hydrilla verticillata* using FTIR.

The results of this study stated the kinetics of copper metal adsorption (Cu) by adsorbent *Hydrilla verticillata* modified with citric acid following the first order adsorption kinetics with  $R^2$  value 0,9931 and maximum adsorption capacity of 3,280 mg / g. the ester at wave number 1732,90 cm<sup>-1</sup> is the ester group which adds to the active group of adsorbent there by increasing the adsorption capacity.



## الملخص

نساء، سوجي أمراة. 2021. معدل الامتزاز وتأثير الرقم الهيدروجيني على امتصاص النحاس (Cu) للمعادن باستخدام مادة ماصة هيدريلا فرتيسيلاتا المعدلة بحمض الستريك. تقرير نتائج البحث. قسم الكيمياء بكلية العلوم والتكنولوجيا بجامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرفة الأولى: سوجي عمليا، الماجستير. المشرفة الثانية: أ. غنائم فشي، الماجستير.

---

**الكلمات الرئيسية:** هيدريلا فرتيسيلاتا، حمض الستريك، الحركية الإدمصاصية، الإدمصاص، معادن النحاس

بحيرة رانو غراتي باسوروان هي بحيرة طبيعية غنية بالكائنات المائية، إحداها النباتات يستخدم بها كتلة حيوية هيدريلا فرتيسيلاتا. تمتلك هيدريلا فرتيسيلاتا القدرة على تجميع معادن النحاس (Cu) في الجسم. يمكن استخدام محتوى السليلوز الموجود في هيدريلا فرتيسيلاتا في وجود مجموعات هيدروكسيل (-OH) التي لديها القدرة على ربط المعادن الثقيلة مثل معادن النحاس (Cu)

تشمل مراحل هذه الدراسة ما يلي: (1) تحضير مادة الامتصاص البيولوجي هيدريلا فرتيسيلاتا، (2) إزالة المعادن في هيدريلا فرتيسيلاتا باستخدام M 1, 0 حمض الهيدروكلوريك، (3) التنشيط استخدام حمض الستريك M 1، (4) تحديد حركيات امتصاص معادن النحاس، (5) تأثير درجة الحموضة على المعادن النحاس، (6) توصيف هيدريلا فرتيسيلاتا باستخدام FTIR.

عن طريق هيدريلا فرتيسيلاتا الممتزة (Cu) أشارت نتائج البحث إلى حركية ادمصاص معادن النحاس. وأقصى قدرة  $R^2$  0,9931 المعدلة بحامض الستريك بعد حركية الإدمصاص من الدرجة الثانية بقيمة جم وهي الإستر عند الموجة رقم 1732.90 سم<sup>-1</sup> هو مجموعة الإستر التي تضيف 3,280 امتصاص تبلغ إلى المجموعة النشطة من أدوبين وبالتالي تزيد من قدرة الإدمصاص



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Peningkatan jumlah penduduk dan perkembangan suatu kota berakibat pula pada keadaan lingkungan sekitarnya. Aktivitas manusia dalam memenuhi kebutuhan hidup yang berasal dari pertanian, industri dan kegiatan rumah tangga akan menghasilkan limbah yang memberi sumbangan pada penurunan kualitas air (Mahyudin, dkk., 2015). Limbah yang berasal dari logam berat merupakan salah satu pencemar yang bersifat racun. Pencemaran yang dihasilkan dari logam berat sangat berbahaya karena bersifat toksik, logam berat juga akan terakumulasi dalam sedimen dan biota melalui proses gravitasi. Tembaga (Cu) merupakan salah satu logam berat yang termasuk bahan beracun dan berbahaya (Rochyatun, dkk., 2006).

Keberadaan limbah merupakan masalah serius karena dapat merusak lingkungan hidup manusia. Salah satu tanda rusaknya lingkungan yang diakibatkan oleh limbah ialah pencemaran lingkungan. Pencemaran dapat terjadi di perairan maupun tanah. Kerusakan tersebut diakibatkan oleh perbuatan manusia sendiri. Allah SWT berfirman dalam surat Ar-Ruum:41 :

ظَهَرَ الْفُسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ  
يَرْجِعُونَ

*Artinya : Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebahagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar).*

Melalui ayat tersebut Allah SWT menegaskan bahwa kerusakan di bumi adalah akibat mempertuhankan hawa nafsu. Telah tampak kerusakan di darat dan di laut, baik kota maupun desa, disebabkan karena perbuatan tangan manusia yang dikendalikan oleh hawa nafsu dan jauh dari tuntunan fitrah. Allah menghendaki agar mereka merasakan sebagian dari akibat perbuatan buruk mereka agar mereka kembali ke jalan yang benar dengan menjaga kesesuaian perilakunya dengan fitrahnya (Shihab, 2001).

Logam Cu banyak dimanfaatkan dalam industri, terutama dalam industri elektroplating, tekstil dan industri logam (alloy). Tembaga (Cu) merupakan unsur esensial yang dibutuhkan oleh organisme namun dalam jumlah sedikit. Jika keberadaannya berlebih, Cu yang bersifat esensial akan berubah menjadi racun dan menyebabkan gangguan berbagai fungsi organ tubuh hingga kematian (Cahyani, dkk., 2012). Berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 2004 kadar Cu yang diperbolehkan dalam lingkungan perairan untuk keperluan budidaya adalah  $\leq 0,02$  mg/L, untuk wisata bahari sebesar 0,05 mg/L dan untuk kehidupan biota yaitu  $\leq 0,008$  mg/L (Sari, dkk., 2017).

Dewasa ini, telah banyak dikembangkan metode untuk mengurangi pencemaran lingkungan yang utamanya diakibatkan oleh logam berat. Metode-metode ini diantaranya adsorpsi, nano filtrasi, koagulasi elektro kinetik, koagulasi dan pengendapan, oksidasi kimia, oksidasi elektrokimia, ozonasi, ekstraksi cair-cair dan proses biologis (Kannan, dkk., 2010). Proses adsorpsi adalah salah satu metode yang efisien untuk menghilangkan pewarna dari limbah karena rendahnya biaya awal, kesederhanaan desain, kemudahan operasi dan ketidakpekaan terhadap zat beracun. Salah satu metode adsorpsi untuk mengurangi kontaminasi

air oleh logam berat ialah dengan proses biosorpsi (Fuad, dkk., 2013). Proses biosorpsi merupakan teknologi alternatif pengolahan limbah secara biologis untuk mengurangi ion logam berat dari air limbah. Proses biosorpsi ini terjadi di permukaan/lapisan pertama dinding sel dan permukaan eksternal lain dari suatu biomassa (Putri, 2014).

Menurut Nafie, dkk., (2010) dalam penelitiannya, biosorpsi memiliki keunggulan efektif menghilangkan ion logam berat pada limbah oleh materi biologi dari larutannya dalam air. Proses pengambilan logam berat oleh sel-sel mikrobial bersifat pasif, sehingga tidak diperlukan energi. Salah satu tanaman air yang dapat dimanfaatkan sebagai biomassa ialah *Hydrilla verticillata*. Tanaman ini dapat mentolerir toksisitas logam berat, sehingga dapat tumbuh walaupun medianya terkontaminasi oleh logam berat. Kelebihan proses biosorpsi logam berat menggunakan *Hydrilla verticillata* adalah biayanya yang relatif murah dibandingkan resin penukar ion dan penyerapan dengan karbon aktif. Selain itu, penggunaan biomassa memiliki selektivitas tinggi dan tidak menghasilkan limbah lumpur banyak (Seshadri, dkk., 2014).

Aktivasi diperlukan pada biomassa *Hydrilla verticillata* untuk meningkatkan kemampuan biosorpsi logam berat. Surbakti (2017) menyatakan bahwa, selulosa tanpa modifikasi hanya dapat menurunkan kadar logam Cd sebesar 14,7143%, dan setelah dimodifikasi asam sitrat memberikan kenaikan presentase adsorpsi yang signifikan, yaitu mencapai 74,7872%. Kapasitas adsorpsi logam Cd oleh batang jagung yang dimodifikasi asam sitrat 1 M meningkat sebesar 42,9 mg/g dari 1,62 mg/g batang jagung tanpa modifikasi (Ramos, dkk., 2012). Modifikasi dengan cara *cross-link* pada selulosa dilakukan

menggunakan asam sitrat, karena asam sitrat memiliki kelebihan dibandingkan asam lain, yaitu tingkat bahayanya rendah dan lebih murah (McSweeny, dkk., 2006).

Biomassa lebih efektif penggunaannya dibandingkan dengan fitoremediasi. Hal ini dikarenakan dalam biomassa tumbuhan yang digunakan tidak dalam bentuk hidup sehingga tidak perlu dilakukan kontrol sebagaimana pada proses fitoremediasi. Penggunaan metode fitoremediasi yang memanfaatkan tumbuhan hidup sebagai akumulator logam membutuhkan waktu yang cukup lama untuk menurunkan kadar logam, sehingga kurang efisien (Buasri, dkk., 2012). Selain itu, menurut Komari, dkk., (2007) sebesar 99,0509% logam  $\text{Cu}^{2+}$  terdesorpsi pada biomassa *Hydrilla verticillata* teraktivasi NaOH. Hal ini menunjukkan bahwa hampir semua logam  $\text{Cu}^{2+}$  yang telah berikatan dapat dilepas kembali, sehingga biosorpsi bersifat reversible dan biomassa dapat dipakai berulang-ulang.

Salah satu faktor yang mempengaruhi adsorpsi  $\text{Cu}^{2+}$  oleh biomassa *Hydrilla verticillata* ialah waktu kontak (interaksi). Semakin lama waktu kontak maka semakin banyak  $\text{Cu}^{2+}$  yang teradsorp oleh *Hydrilla verticillata* hingga sampai pada suatu titik, dimana seluruh situs aktif pada biomassa telah jenuh oleh  $\text{Cu}^{2+}$  sehingga jumlah  $\text{Cu}^{2+}$  yang terikat tidak mengalami perubahan yang signifikan. Waktu kontak tersebut yang kemudian akan mempengaruhi banyaknya kapasitas biosorpsi oleh biomassa *Hydrilla verticillata*. Penelitian Kannan, dkk., (2010) menyatakan bahwa pada biomassa *Hydrilla verticillata* terjadi adsorpsi maksimal dengan waktu kontak 90 menit hingga mendekati keseimbangan pada menit 150-300 menit. Oleh karena itu dilakukan penelitian ini untuk mengetahui

efek variasi waktu terhadap konsentrasi Cu serta mengetahui kapasitas biosorpsinya.

### **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana kemampuan biomassa *Hydrilla verticillata* teraktivasi asam sitrat terhadap penurunan kadar logam tembaga berdasarkan variasi waktu kontak dan variasi pH ?
2. Bagaimana model kinetika adsorpsi logam timbal (Pb) menggunakan adsorben *Hydrilla verticillata* termodifikasi asam sitrat ?
3. Bagaimana karakterisasi yang dihasilkan adsorben *Hydrilla verticillata* murni, sesudah demineralisasi, sesudah modifikasi asam sitrat dan setelah adsorpsi menggunakan FTIR (Fourier Transform Infra Red) ?

### **1.3 Tujuan**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui kemampuan biomassa *Hydrilla verticillata* teraktivasi terhadap penurunan kadar logam tembaga berdasarkan variasi waktu kontak dan variasi pH
2. Untuk mengetahui model kinetika adsorpsi logam timbal (Pb) menggunakan adsorben *Hydrilla verticillata* termodifikasi asam sitrat

3. Untuk mengetahui karakterisasi yang dihasilkan adsorben *Hydrilla verticillata* murni, sesudah demineralisasi, sesudah modifikasi asam sitrat dan setelah adsorpsi menggunakan FTIR (Fourier Transform Infra Red)

#### **1.4 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Sampel *Hydrilla verticillata* yang digunakan berasal dari Danau Ranu Grati Pasuruan.
2. Sampel yang diambil adalah yang tampak pada permukaan air saja.
3. Variasi waktu kontak dilakukan dengan interval 0,1, 5, 10, 30, dan 60 menit.
4. Karakterisasi gugus aktif menggunakan FTIR.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Menginformasikan kepada masyarakat tentang pentingnya biomassa *Hydrilla verticillata* dalam mengurangi pencemaran lingkungan khususnya mengurangi kadar logam berat dalam limbah laboratorium.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Potensi Tanaman *Hydrilla verticillata* sebagai Adsorben

*Hydrilla verticillata* merupakan salah satu tanaman air yang dapat hidup di kolam maupun danau dengan air yang relatif jernih. *Hydrilla verticillata* dianggap sebagai tanaman pengganggu oleh sebagian orang awam yang belum mengerti manfaat besar seperti sebagai adsorben logam berat dalam perairan. *Hydrilla verticillata* memiliki potensi yang sangat besar untuk dimanfaatkan sebagai pengadsorp logam berat karena memiliki gugus karboksil dan hidroksil sebagai gugus penyerap. Oleh karena itu, *Hydrilla verticillata* juga dianggap sebagai pengendali pencemaran bahan-bahan tertentu di air selain sebagai gulma (Urifah, dkk., 2017). Sebagaimana firman Allah SWT pada surat As-Syu'ara Ayat 7 berikut ini :

أَوَلَمْ يَرَوْا إِلَى الْأَرْضِ كَمْ أَنْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ زَوْجٍ كَرِيمٍ

Artinya : “Dan apakah mereka tidak memperhatikan bumi, berapakah banyaknya Kami tumbuhkan di bumi itu pelbagai macam tumbuh-tumbuhan yang baik ?”

Melalui ayat tersebut dapat diketahui bahwa Allah menumbuhkan berbagai macam tumbuh-tumbuhan di muka bumi beserta dengan manfaatnya. Allah memerintahkan kepada umat manusia untuk lebih memperhatikan lingkungan sekitar bahwasanya banyak sekali pohon dan tumbuhan yang diciptakan dengan dengan berbagai kegunaan. Sesungguhnya pada perkara ditumbuhkannya tanaman-tanaman di muka bumi benar-benar terkandung bukti petunjuk yang jelas tentang kesempurnaan Kuasa Allah, dan kebanyakan manusia tidak beriman (Shihab, 2001).



Gambar 2.1 Tanaman *Hydrilla verticillata*

Oleh karena itu, kita sebagai manusia haruslah memanfaatkan tanaman di sekitar lingkungan untuk kehidupan sehari-hari. Salah satunya ialah memanfaatkan *Hydrilla verticillata* sebagai adsorben.

Tanaman produktif ini, dapat tumbuh dalam air dengan cepat dan dapat berkembang dalam air dari beberapa sentimeter sampai 20 meter. *Hydrilla verticillata* dapat tumbuh di berbagai habitat, biasanya ditemukan di perairan dangkal dengan kedalaman 0,5 m dan dapat tumbuh di perairan dengan kedalaman lebih dari 10 m (Urifah, dkk., 2017). *Hydrilla verticillata* tumbuh bercabang-cabang hingga dapat menutupi permukaan air. Pertumbuhan tanaman ini dipengaruhi dari cahaya yang dapat diterima oleh *Hydrilla verticillata* yang digunakan untuk proses fotosintesis (Handoko dan Fajariyanti, 2013).

### **2.1.1 Kandungan Kimia *Hydrilla verticillata***

Menurut Pal dan Nimse (2006) tumbuhan *Hydrilla verticillata* mempunyai kandungan nutrisi yang tinggi seperti saponin,  $\beta$ -karoten, polisakarida, asam amino, mikro dan makronutrien, antioksidan dan agen detoksifikasi. Kandungan kimia tumbuhan *Hydrilla verticillata* dapat dilihat pada Tabel 2.1

Menurut (Zhu, dkk., 2012), *Hydrilla verticillata* mengandung selulosa sebagai penyusun utamanya. Selulosa merupakan penyusun utama dinding sel dan

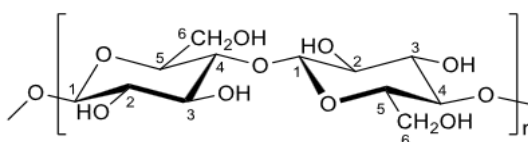
termasuk polimer glukosa dengan ikatan  $\beta$ -1,4-D-glikosida dalam rantai panjang lurus. Rantai selulosa terhubung dengan ikatan hidrogen dan gaya van der Waals. Selulosa merupakan polimer homogen dan jika dihidrolisis akan menghasilkan glukosa (Naufala dan Pandebesie, 2015). (Zhu dkk., (2012) menyatakan kandungan selulosa pada *Hydrilla verticillata* yang ditanam pada media tanah liat (*clay*) memiliki kadar paling tinggi diantara media pasir dan lempung seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2.2

Tabel 2.1 Kandungan nutrisi pada *Hydrilla verticillata*

Nutrisi/Mineral	Jumlah (mg/10,5 gr)	Nutrisi/Mineral	Jumlah (mg/10,5 gr)
Vitamin B-1	26,2	Fosfor	29,7
Vitamin B-2	0,08	Besi	35,8
Vitamin B-3	5,2	Seng	6,3
Vitamin B-5	11,4	Mangan	24,5
Vitamin B-6	35,9	Tembaga	0,2
Vitamin B-12	1,1	Kobalt	0,4
Kalsium	1460	Molibdenum	15 $\mu$ g/10,5 g
Magnesium	76,1	B-karoten	19600 IU/10,5 g

Tabel 2.2 Parameter morfologi dan kandungan selulosa pada *Hydrilla verticillata*

	Pasir	Tanah Liat	Lempung
Berat pucuk (g)	4,28 $\pm$ 0,28 a	4,88 $\pm$ 0,56 a	5,39 $\pm$ 0,55 a
Tinggi tanaman (m)	0,44 $\pm$ 0,06 a	0,43 $\pm$ 0,02 a	0,62 $\pm$ 0,03 b
Nomor cabang	3,00 $\pm$ 0,00 a	5,17 $\pm$ 0,45 b	4,5 $\pm$ 0,28 b
Kandungan selulosa (% DW)	15,17 $\pm$ 3,02 a	22,48 $\pm$ 4,12 b	18,35 $\pm$ 2,44 a



Gambar 2.2 Struktur selulosa (Sadeek, dkk., 2015)

*Hydrilla verticillata* merupakan tanaman air yang mengandung selulosa sebagai komposisi utama penyusunnya. Menurut Putri (2014), *Hydrilla verticillata* mengandung gugus fungsional hidroksil ( $-OH$ ) yang berfungsi sebagai gugus aktif untuk menyerap logam.

## 2.2 Demineralisasi *Hydrilla verticillata* Menggunakan Asam Nitrat

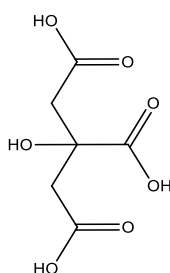
Demineralisasi merupakan tahapan yang dilakukan untuk menghilangkan mineral-mineral serta pengotor yang menempel pada adsorben melalui pertukaran ion (Mandasari, 2016). Penelitian yang dilakukan Najem (2015), menyatakan bahwa eceng gondok yang digunakan sebagai adsorben logam Cu direndam dalam  $HNO_3$  0,3 M memiliki nilai efisiensi sebesar 96,75%. Mukaratirwa (2016) pada penelitiannya juga menyatakan bahwa dengan merendam biomassa eceng gondok dengan menggunakan  $HNO_3$  0,1 M dapat menurunkan kadar pengotor berupa mineral dan logam pada biomassa eceng gondok yang ditampilkan pada Tabel 2.3. Demineralisasi pada eceng gondok juga dapat dilakukan pada *Hydrilla verticillata* mengingat keduanya memiliki kemiripan sifat sebagai adsorben alami.

Tabel 2.3 Penurunan kadar mineral oleh asam nitrat pada eceng gondok

Mineral	Analisis ( $\mu g/g$ )		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
Pb	176,6	163,8	7,2
Cr	244,66	52,6	78,5
Zn	616,5	154,3	75,0

### 2.3 Aktivasi *Hydrilla verticillata* Menggunakan Asam Sitrat Melalui Mekanisme Esterifikasi

Kemampuan biosorpsi logam dapat ditingkatkan melalui proses aktivasi, misalnya dengan menggunakan asam. Aktivasi tersebut menyebabkan biomassa memiliki lebih banyak situs aktif yang dapat berikatan dengan ion logam (Putri, 2014). 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, 2017). Struktur asam sitrat dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.3 Struktur Asam Sitrat

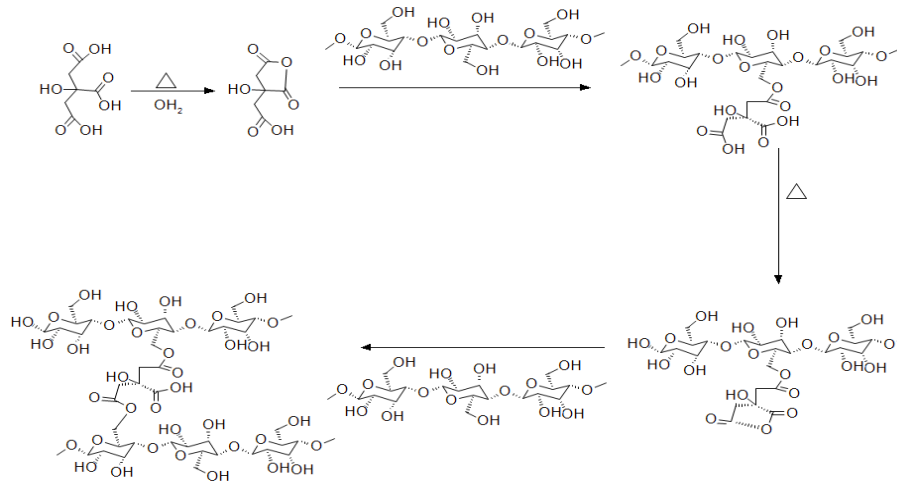
Aktivasi telah banyak dilakukan pada adsorben alami lain seperti pada penelitian Mahbubah (2016) yang telah melakukan modifikasi selulosa menggunakan asam sitrat menunjukkan nilai gugus karboksil yang lebih besar yaitu 0,783 Eq/g. Oleh karena itu asam sitrat menjadi salah satu reagen terbaik yang bertindak untuk memodifikasi situs aktif pada selulosa, sehingga dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi dari eceng gondok (Siswoyo, dkk., 2017).

## 2.4 Adsorpsi Ion Logam Tembaga (Cu)

### 2.4.1 Proses Adsorpsi dan Mekanisme Adsorpsi Logam Tembaga

Adsorpsi merupakan suatu peristiwa penyerapan pada lapisan permukaan atau antar fasa, dimana molekul dari suatu materi terkumpul pada bahan pengadsorpsi atau adsorben. Jenis adsorpsi yang umum dikenal adalah adsorpsi kimia (kemisorpsi) dan adsorpsi fisika (fisisorpsi) (Atkins, 1997). Peristiwa adsorpsi dapat terjadi karena adsorben yang umumnya zat padat, terdiri dari atom-atom atau molekul-molekul yang saling tarik-menarik dengan gaya Van der Waals. Bila ditinjau dari molekul-molekul dalam zat padat oleh karena banyaknya molekul-molekul atau atom-atom yang mengelilingi tiap-tiap arah sama, maka gaya tarik antara molekul yang satu dengan yang lain disekelilingnya adalah seimbang, sebab gaya tarik yang satu akan dinetralkan oleh yang lain yang letaknya simetris atau dengan kata lain resultan gayanya sama dengan nol. Lain halnya dengan yang ada pada permukaan, gaya-gaya tersebut tidak seimbang oleh karena pada satu arah di sekeliling molekul tersebut akan mempunyai sifat menarik molekul-molekul gas atau *solute* pada permukannya. Fenomena ini disebut adsorpsi (Krystiyanti, 2008).

Berdasarkan Thanh dan Nhung (2009) mekanisme reaksi asam sitrat terjadi ketika atom O<sup>-</sup> dari hidroksil pada atom C-6 selulosa yang bersifat nukleofil akan menyerang gugus karbonil dari asam sitrat anhidrat yang bersifat elektrofil sehingga terbentuk selulosa-sitrat dan terdiri dari gugus ester, seperti pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Reaksi asam sitrat dengan selulosa melalui reaksi esterifikasi (Thanh dan Nhung, 2009)

#### 2.4.2 Logam Tembaga (Cu) Sebagai Limbah Pencemar

Tembaga adalah logam yang mudah ditempa dan memiliki titik lebur 1038°C. Ada dua deret senyawa tembaga, yaitu senyawa tembaga (I) dan tembaga (II). Tembaga ini tidak larut dalam air. Garam-garam tembaga (II) umumnya ditemui dalam bentuk ion Cu<sup>2+</sup> (Vogel, 1990). Logam Cu termasuk logam berat yang berbahaya, akan tetapi berbeda dengan logam-logam lainnya, seperti Hg, Cd, dan Cr. Logam Cu merupakan logam berat esensial yang sangat diperlukan tubuh meskipun dalam jumlah yang sangat sedikit. Toksisitas yang dimiliki Cu akan bekerja dan berbahaya bagi tubuh jika melebihi ambang batas (Palar, 2005). Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 1995 tentang baku mutu limbah cair bagi kegiatan industri, konsentrasi tembaga yang diperbolehkan ada di dalam limbah industri adalah sebesar 3 mg/L. Jika konsentrasi tersebut melebihi baku mutu maka akan berdampak negatif bagi lingkungan dan kesehatan manusia.

Dalam tabel periodik, tembaga menempati posisi dengan nomor atom (NA) 29 dan mempunyai bobot atau berat atom (BA) 63,546 g/mol. Menurut Darmono (2001), faktor yang menyebabkan logam berat termasuk dalam kelompok zat pencemar adalah karena adanya sifat-sifat logam berat yang tidak dapat terurai (nondegradable) dan mudah diabsorpsi. Sifat logam berat sangat unik karena tidak dapat dihancurkan secara alami dan cenderung terakumulasi dalam rantai makanan melalui proses biomagnifikasi. Pencemaran logam berat ini menimbulkan berbagai permasalahan diantaranya (Darmono, 2001):

1. Berhubungan dengan estetika (perubahan bau, warna, dan rasa air)
2. Berbahaya bagi kehidupan tanaman dan binatang
3. Berbahaya bagi kesehatan manusia
4. Menyebabkan kerusakan pada ekosistem.

Logam Tembaga (Cu) dapat masuk ke dalam semua strata lingkungan, baik itu pada strata perairan, tanah ataupun udara (lapisan atmosfer). Tembaga (Cu) yang masuk dalam ketiga strata lingkungan tersebut dapat datang dari bermacam-macam sumber. Tetapi sumber-sumber masukan logam tembaga ke dalam strata lingkungan yang umum dan diduga paling banyak adalah dari kegiatan-kegiatan perindustrian, kegiatan rumah tangga, dan dari pembakaran serta mobilitas bahan-bahan bakar (Palar, 2005).

#### **2.4.3 Kinetika Adsorpsi Logam Tembaga (Cu) oleh Biomassa *Hydrilla verticillata***

Kinetika adsorpsi menyatakan adanya proses penyerapan suatu zat oleh adsorben dalam fungsi waktu. Adsorpsi terjadi pada permukaan zat padat karena adanya gaya tarik atom atau molekul pada permukaan zat padat.



Molekul-molekul pada permukaan zat padat atau zat cair, mempunyai gaya tarik ke arah dalam, karena tidak ada gaya-gaya lain yang mengimbangi. Adanya gaya-gaya ini menyebabkan zat padat dan zat cair, mempunyai gaya adsorpsi. (Sukardjo, 1990).

Kinetika mencakup suatu pembahasan tentang kecepatan (laju) reaksi dan bagaimana proses reaksi berlangsung. Laju reaksi merupakan suatu perubahan konsentrasi pereaksi maupun produk dalam satuan waktu (Keenan, 1984). Orde reaksi merupakan bagian dari persamaan laju reaksi. Menurut Atkins (1999), Orde reaksi terhadap suatu komponen merupakan pangkat dari konsentrasi komponen tersebut dalam persamaan laju reaksi. Menurut Chang (2005), kinetika yang merujuk pada laju reaksi merupakan perubahan konsentrasi reaktan atau produk terhadap waktu. Persamaan laju reaksi dapat dituliskan sebagai beriku : (Atkins, 1996)

$$v = k[A]^x[B]^y \quad (2.1)$$

Kinetika adsorpsi dapat dianalisis dengan menggunakan persamaan Lagergren yang sering disebut *Lagergren Pseudo First Order* atau *Second Order Kinetic Model* (Ho and McKay 1998). Persamaan orde reaksi satu yang ditulis oleh Lagergren adalah :

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_1 - q_t) \quad (2.2)$$

Integrasikan jika nilai  $t=0$  hingga  $t$ ,  $q_t=0$  hingga  $q_t=q_t$  sehingga didapatkan persamaan :

$$\log \log q_t - q_e = \log \log q_e - \frac{K_1}{2.303} t \quad (2.3)$$

Persamaan orde dua yang ditulis oleh Lagergren ialah :

$$\frac{dq}{dt} = k(q_e - q_t)^2 \quad (2.4)$$

Kemudian diintegrasikan menjadi persamaan

$$\frac{1}{q_e - q_t} = \frac{1}{q_e} + kt \quad (2.5)$$

Persamaan (2.5) dapat disusun untuk mendapatkan bentuk linier seperti berikut

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (2.6)$$

Model kinetika orde 1 mengasumsikan bahwa terjadi kesetimbangan antara laju penyerapan (adsorpsi) dan pelepasan (desorpsi) pada setiap situs adsorben. Model kinetika orde dua merupakan dua tahapan proses, yaitu tahapan awal yang berlangsung secara cepat dan tahapan kedua yang berlangsung lebih lambat. Proses adsorpsi berlangsung secara cepat seiring bertambahnya waktu kontak. Setelah terjadi adsorpsi pada waktu optimum, proses adsorpsi akan mengalami penurunan dan berlangsung lebih lambat setelah beberapa waktu kontak berikutnya. (Jama'atin, 2019)

Ibrahim, dkk (2012) melaporkan adsorpsi logam timbal (Pb) menggunakan adsorben eceng gondok dalam bentuk grafik pada Tabel 2.4 :

Tabel 2.4 Hasil Kinetika Orde 1 dan Orde 2 dari Adsorpsi logam Pb(II)

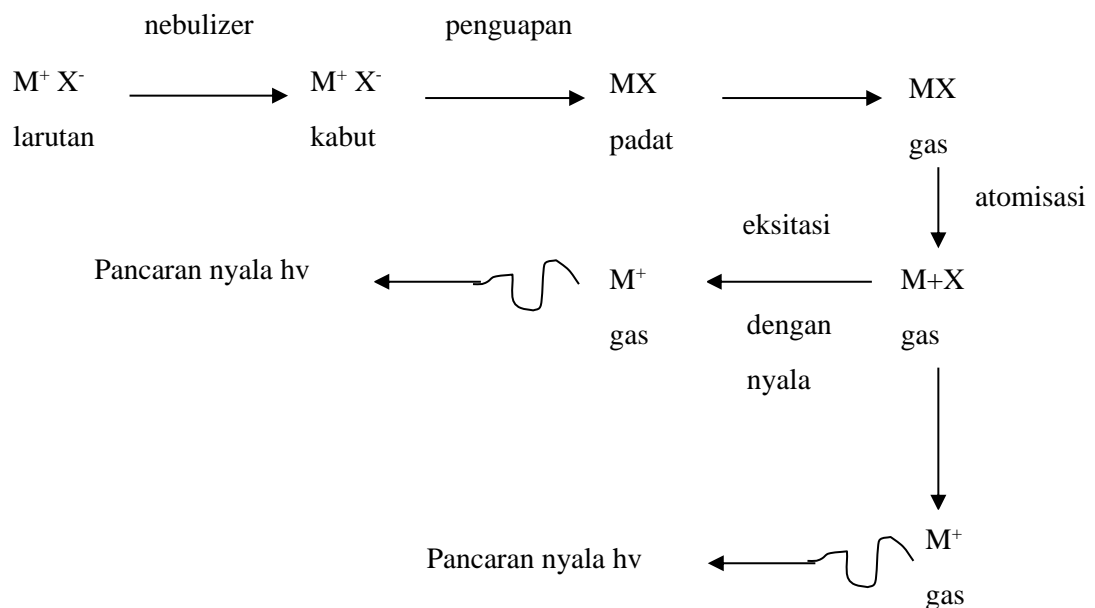
Metals	Adsorbent	Pseudo-first order kinetic		Second-order kinetic	
		K <sub>1</sub>	R <sup>2</sup>	K <sub>2</sub>	R <sup>2</sup>
Pb(II)	Shoot	0,018	0,864	18,04	0,9999
	Root	0,036	0,729	23,70	0,9999

Berdasarkan tabel diatas dapat diketahui nilai  $R^2$  dari orde satu sebesar 0,7287 lebih kecil dibandingkan dengan nilai  $R^2$  orde dua yaitu 0,9998. Data tersebut menunjukkan bahwa adsorpsi logam timbal (Pb) menggunakan orde dua.

## **2.5 Prinsip Analisa Tembaga (Cu) Menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom**

SSA adalah salah satu jenis spektroskopi yang merupakan analisa unsur secara kuantitatif yang didasarkan pada penyerapan cahaya dengan panjang gelombang tertentu oleh atom logam dalam keadaan bebas. Prinsip dasar pada metode SSA adalah interaksi antara radiasi elektromagnetik dengan sampel (Khopkar, 1990). Metode SSA memiliki kelebihan yaitu sensitifitas tinggi, mudah, murah, sederhana, cepat, dan cuplikan yang digunakan sedikit (Supriyanto dan Samin, 2007). Skema kerja umum pada metode SSA ditampilkan pada Gambar 2.5. Secara umum proses atomisasi yang terjadi pada SSA adalah sebagai berikut (Chasten, 2000):

1. Nebulizer mencampur asetilena dan oksidan, menciptakan tekanan
2. Tekanan akan mengakibatkan sampel terserap ke ruang nebulizer
3. Glass bead dan mixing paddle di dalam chamber menciptakan campuran yang heterogen dari bahan bakar, oksidan, dan aerosol sampel
4. Campuran kemudian mengalir langsung ke kepala burner
5. Sampel cair akan menuju tempat pembuangan
6. Nyala memecah analit dan menjadikannya menjadi bentuk atom
7. Monokromator mengisolasi sinar dari analit dan memisahkannya dari sinar
8. Detektor akan menentukan sinar yang keluar dari monokromator



Gambar 2.5 Skema umum atomisasi logam pada SSA

Apabila cahaya dengan lambang gelombang tertentu dilewatkan pada suatu sel yang mengandung atom bebas, maka sebagian cahaya akan diserap dan intensitas serapan akan berbanding lurus dengan banyaknya atom bebas tersebut. Hubungan antara absorbansi dengan konsentrasi diperoleh dari pernyataan berikut (Day dan Underwood, 2002):

- Hukum Lambert yang menyatakan bahwa bila suatu sumber sinar monokromatik melewati medium transparan, maka intensitas sinar yang diteruskan berkurang dengan bertambahnya ketebalan medium yang mengabsorpsi.
- Hukum Beer yang menyatakan bahwa intensitas sinar yang diteruskan berkurang secara eksponensial dengan bertambahnya konsentrasi spesi yang menyerap sinar tersebut.

Melalui hukum tersebut diperoleh persamaan yang ditampilkan pada Persamaan 2.7 (Day dan Underwood, 2002).

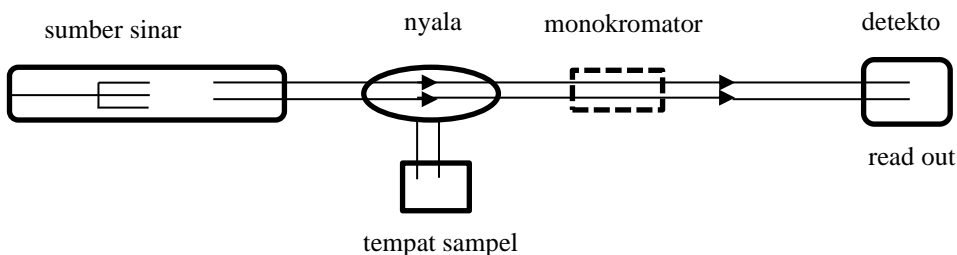
$$A = \epsilon \cdot b \cdot C \text{ atau } A = a \cdot b \cdot C \quad (2.7)$$

Dimana:

- A = Absorbansi
- $\epsilon$  = Absorptivitas molar (mol/L)
- a = Absorptivitas (gr/L)
- b = Tebal nyala (cm)
- C = Konsentrasi (ppm)

Instrumen SSA secara umum ditampilkan pada Gambar 2.6 dan dijelaskan

sebagai berikut (Gandjar dan Rohman, 2007):



Gambar 2.6 Komponen SSA (Gandjar dan Rohman, 2010)

a. Sumber Radiasi

Sumber radiasi pada SSA adalah lampu katoda berongga berisikan katoda dan anoda yang tertutup tabung kaca.

b. Tempat Sampel

Sampel harus diuraikan menjadi atom-atom netral yang masih dalam keadaan azas. Sampel diubah menjadi uap atomnya dan untuk proses atomisasi.

c. Monokromator

Merupakan alat untuk memilih spektrum yang sesuai dengan panjang gelombang yang diinginkan.

d. Detektor

Digunakan untuk mengukur intensitas cahaya yang melalui tempat pengatoman.

e. Amplifier

Merupakan alat untuk memperkuat sinyal yang diterima dari detektor sehingga alat pencatat sinyal

f. Read Out

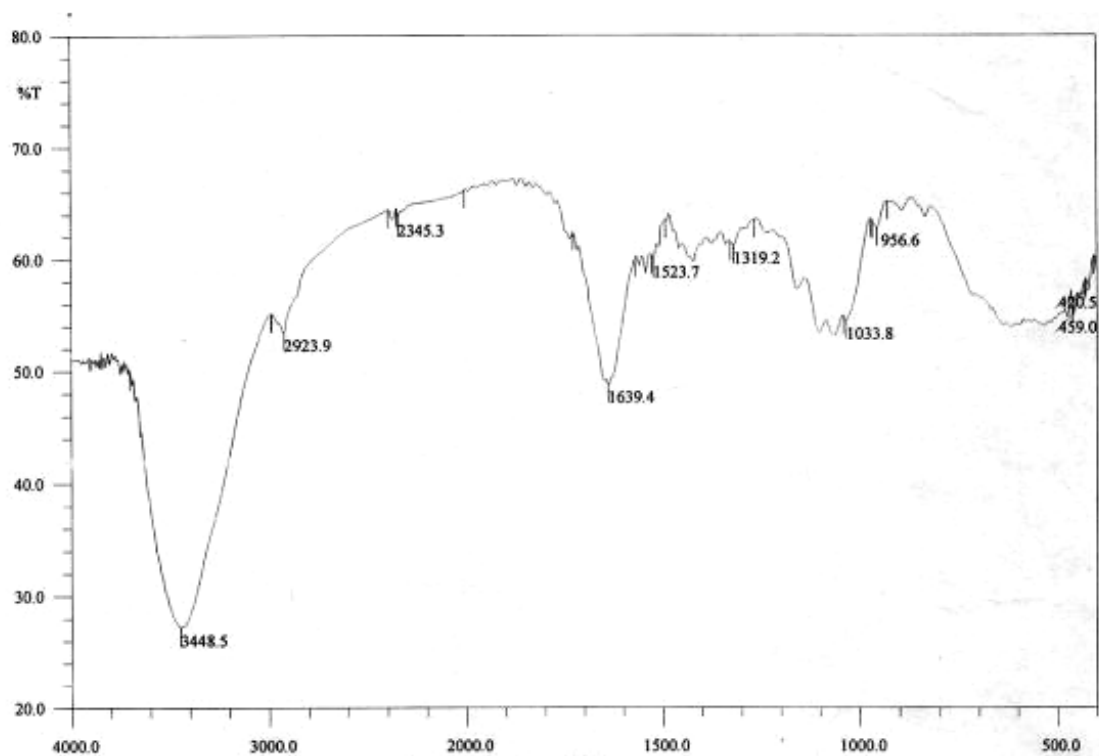
Merupakan alat penunjuk atau alat pencatat hasil yang dapat berupa angka atau kurva.

## 2.6 Karakterisasi Gugus Fungsi dengan FTIR

Adsorben serbuk *Hydrilla verticillata* teraktivasi pada konsentrasi dan waktu kontak optimum memiliki gugus hidroksil ( $-OH$ ), dalam penelitian Komari, dkk., (2007), hal tersebut dapat terlihat dari munculnya puncak yang melebar pada panjang gelombang  $3435,3\text{ cm}^{-1}$ , selanjutnya pada panjang gelombang  $2923,9\text{ cm}^{-1}$  terdapat puncak CH dari  $CH_3$ . Pada panjang gelombang  $2341,4\text{ cm}^{-1}$  kembali muncul puncak dengan gugus hidroksil ( $-OH$ ). Kemudian pada  $1639,4\text{ cm}^{-1}$  muncul puncak yang terindikasi gugus  $C=C$  aromatik,  $C=O$  ikatan H ganda yang terkonjugasi dengan vibrasi karbonil, dan  $COO^-$ . Pada panjang gelombang  $1524,9\text{ cm}^{-1}$  dan  $1419,5\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya rangkaian asimetri dari gugus  $COO^-$ . Selanjutnya rangkaian  $-C-O$  muncul pada panjang gelombang  $1323,1\text{ cm}^{-1}$ . Pada panjang gelombang  $1033,8\text{ cm}^{-1}$  dan  $1068,5\text{ cm}^{-1}$  terlihat adanya Getaran dari  $O-CH_3$ . Sedangkan pada panjang gelombang  $1157,2\text{ cm}^{-1}$   $956,6\text{ cm}^{-1}$  dan  $894,9\text{ cm}^{-1}$  terdapat gugus  $C-C$ ,  $C-OH$ ,  $C-O-C$  yang

merupakan ciri khas sambungan glukosida, bahan polimer, dan ketidak murnian dalam senyawa. Hasil karakterisasi menggunakan FTIR ditunjukkan pada Gambar

2.7



Gambar 2.7 Hasil karakterisasi FT-IR adsorben serbuk *Hydrilla verticillata* setelah aktivasi NaOH (Komari, dkk., 2007).

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November 2019 s.d. Oktober 2020 di Laboratorium Kimia Fisika dan Laboratorium Kimia Instrumentasi Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.

#### **3.2 Alat dan Bahan**

##### **3.2.1 Alat**

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: neraca analitik, seperangkat alat gelas, *shaker bath*, *sentrifuge*, pisau, ayakan 100 mesh, spektrofotometer FT-IR dan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

##### **3.2.2 Bahan**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: sampel tanaman *Hydrilla verticillata* yang diperoleh dari Danau Ranu Grati Pasuruan, asam sitrat 1 M, asam klorida 0,1 M, indikator pH universal, dan  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , dan akuades.

#### **3.3 Rancangan Penelitian**

##### 1. Uji Awal

Penelitian yang akan dilakukan yaitu penentuan kapasitas adsorpsi dan model isoterm adsorpsi logam tembaga (Cu) oleh biomassa *Hydrilla verticillata* teraktivasi asam sitrat melalui reaksi esterifikasi. Sebelum diaktivasi menggunakan asam sitrat, adsorben didemineralisasi menggunakan asam nitrat untuk menghilangkan pengotor-pengotor berupa mineral logam yang terakumulasi pada *Hydrilla verticillata*. Untuk mengetahui kondisi optimum



adsorpsi, maka dilakukan beberapa variasi waktu kontak yaitu selama 0, 1, 5, 10, 30, dan 60 menit. Selain itu dilakukan variasi pH mula-mula pada logam tembaga, yaitu dengan variasi pH 4,5, 6, 7, dan 8. Dengan demikian, dapat ditentukan kapasitas adsorpsi dan model kinetika adsorpsi setelah dianalisis konsentrasi sisa logam tembaga menggunakan SSA serta uji statistik.

## 2. Rancangan Percobaan

Model rancangan percobaan yang dipakai dalam penelitian ini adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang terdiri dari 2 faktor yakni faktor waktu dan pH. Faktor waktu terdiri dari 5 variasi yaitu :

t1 = 1 menit                      t4 = 30 menit

t2 = 5 menit                      t5 = 60 menit

t3 = 10 menit

Sedangkan variasi pH juga terdiri dari 5 variasi yakni :

p1 = pH 4                      p4 = pH 7

p2 = pH 5                      p5 = pH 8

p3 = pH 6

Analisis yang digunakan adalah *One Way Anova* dengan alpha atau taraf signifikan sebesar 5% dengan hipotesis sebagai berikut :

Hipotesis 1 :

$H_0 : \mu\alpha_1 = \mu\alpha_2 = \mu\alpha_3 = \mu\alpha_4 = \mu\alpha_5 = 0$

Tidak ada perbedaan pengaruh waktu terhadap kapasitas adsorpsi

$H_1 : \mu\alpha_1 \neq \mu\alpha_2 \neq \mu\alpha_3 \neq \mu\alpha_4 \neq \mu\alpha_5 \neq 0$

Minimal terdapat satu pasang waktu yang mempengaruhi kapasitas adsorpsi

Hipotesis 2 :

$$H_0 : \mu\alpha_1 = \mu\alpha_2 = \mu\alpha_3 = \mu\alpha_4 = \mu\alpha_5 = 0$$

Tidak ada perbedaan pengaruh pH terhadap kapasitas adsorpsi

$$H_1 : \mu\alpha_1 \neq \mu\alpha_2 \neq \mu\alpha_3 \neq \mu\alpha_4 \neq \mu\alpha_5 \neq 0$$

Minimal terdapat satu pasang pH yang mempengaruhi kapasitas adsorpsi

Berdasarkan rancangan percobaan di atas, maka dibuat analisis variasi (ANOVA) untuk mendapatkan kesimpulan mengenai pengaruh perlakuan. Selanjutnya dapat diketahui hasil penolakan hipotesis. Apabila terdapat pengaruh perbedaan perlakuan yang signifikan maka dilakukan uji lanjut dengan menggunakan uji BNT atau LSD Tukey untuk mengetahui perbedaan antar perlakuan. Berikut ini kesimpulan penolakan hipotesis yaitu :

- a.  $H_0$  diterima, jika  $F$  hitung  $<$   $F$  tabel pada taraf 5% yang berarti tidak terdapat pengaruh yang signifikan.
- b.  $H_0$  ditolak, jika  $F$  hitung  $>$   $F$  tabel pada taraf 5% yang berarti terdapat pengaruh yang signifikan.

### 3.4 Tahap Penelitian

1. Preparasi sampel
2. Demineralisasi *Hydrilla verticillata* menggunakan HCl 0,1 M
3. Aktivasi gugus aktif biomassa menggunakan asam sitrat 1 M melalui mekanisme esterifikasi
4. Pembuatan kurva standar larutan tembaga (Cu)
5. Adsorpsi logam tembaga menggunakan biosorben *Hydrilla verticillata* dengan variasi waktu kontak dan variasi pH

6. Adsorpsi kadar tembaga (Cu) pada biomassa *Hydrilla verticillata* sebelum dan sesudah aktivasi
7. Karakterisasi biomassa *Hydrilla verticillata*
8. Analisis data.

### **3.5 Prosedur Kerja**

#### **3.5.1 Preparasi Biomassa *Hydrilla verticillata***

Sampel *Hydrilla verticillata* dicuci bersih dan dikeringkan di bawah sinar matahari. Kemudian dicuci dengan akuades dan dioven pada suhu 105°C selama satu jam sampai suhu konstan. Sampel yang sudah kering ditumbuk sampai halus dan diayak dengan ukuran partikel 100 mesh.

#### **3.5.2 Demineralisasi Biosorben *Hydrilla verticillata* Menggunakan Asam Klorida**

Serbuk biosorben kering direndam dengan HCl 0,1 M dengan volume berlebih selama 24 jam. Campuran sampel dan asam klorida disaring, kemudian residu yang diperoleh dibilas menggunakan akuades hingga pH mendekati 7. Setelah itu residu dikeringkan dalam oven selama 4 jam dengan suhu 95°C, dan dibiarkan pada suhu ruang.

#### **3.5.3 Aktivasi Gugus Aktif Biomassa Menggunakan Asam Sitrat**

Biosorben *Hydrilla verticillata* kering yang telah didemineralisasi menggunakan asam klorida dicuci kembali menggunakan asam sitrat 1 M dengan rasio asam sitrat : serbuk biosorben sebesar 5 mL : 1,0 g (Izzah, 2019). Reaksi dilakukan di atas shaker dengan kecepatan 200 rpm selama 30 menit

pada suhu ruang. Selanjutnya campuran dimasukkan ke dalam oven pada suhu 50°C. Setelah 24 jam, 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.

### **3.5.4 Karakterisasi Biomassa *Hydrilla verticillata* Menggunakan FT-IR**

Biosorben *Hydrilla verticillata* baik sebelum dan sesudah didemineralisasi asam nitrat, setelah dimodifikasi dengan asam sitrat, dan setelah digunakan untuk mengadsorpsi tembaga diidentifikasi menggunakan FT-IR Varian tipe FT 1000. Biosorben diayak ukuran 100 mesh, lalu disimpan dalam desikator selama tujuh hari. Kemudian sampel dicampur dengan KBr lalu digerus dalam mortar agate. Selanjutnya campuran dipress dan dibentuk pellet, lalu pellet diletakkan di *sample holder* dalam instrumen FT-IR dan dianalisis pada bilangan gelombang 4000-400  $\text{cm}^{-1}$ .

### **3.5.5 Pembuatan Larutan Tembaga**

#### **3.5.5.1 Pembuatan Larutan Stok Tembaga**

Larutan stok tembaga (Cu) 1000 ppm dibuat dengan cara ditimbang sebanyak 3,819 g serbuk  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  kemudian dilarutkan dengan akuades dan dimasukkan ke dalam labu takar 1000 mL. Larutan ditandabataskan menggunakan akuades dan dihomogenkan. Selanjutnya larutan dianalisis dengan Spektroskopi Serapan Atom (SSA) varian *spectra* AA 240 untuk mengetahui absorbansi larutan.

#### **3.5.5.2 Kurva Standar Logam Tembaga**

Larutan tembaga (Cu) diperoleh dari pengenceran larutan induk tembaga 1000 ppm, dengan cara memindahkan 100 mL larutan baku 1000

mg/L ke dalam labu ukur 1000 mL, kemudian ditambahkan akuades sampai tanda batas. Kemudian larutan standar 1, 2, 3, 4, dan 5 ppm dibuat dengan cara memindahkan 20; 40; 60; dan 80 mL larutan 100 ppm ke dalam labu ukur 100 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.

### **3.5.6 Adsorpsi Logam Tembaga Oleh Biomassa *Hydrilla verticillata* dengan Variasi Waktu Kontak**

Sebanyak 0,5 gram adsorben serbuk *Hydrilla verticillata* teraktivasi dikontakkan dengan 50 mL larutan logam tembaga pada konsentrasi 100 mg/L dengan cara diletakkan erlenmeyer pada *shaker* dengan variasi waktu kontak 0, 1, 5, 10, 30 dan 60 menit pada temperatur ruang. Dipisahkan campuran dengan menyaring larutan pada erlenmeyer dan konsentrasi filtrat ion logam dianalisis menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA).

### **3.5.7 Adsorpsi Logam Tembaga (Cu) Oleh Biosorben *Hydrilla verticillata* dengan Variasi pH**

Sebanyak 0,5 gram biosorben termodifikasi asam sitrat 1 M diinteraksikan dengan 50 mL larutan Tembaga 100 ppm kedalam masing-masing 5 botol 100 mL dengan variasi pH 4, 5, 6, 7, dan 8. Larutan dikondisikan dengan menambahkan buffer pH dan reagen HCl dan NaOH menggunakan pH meter. Kemudian dishaker selama 60 menit dengan kecepatan 200 rpm. Kemudian dipisahkan menggunakan sentrifuge selama 15 menit dengan kecepatan 3000 rpm. Filtrat yang dihasilkan akan digunakan untuk pengukuran kadar logam

Tembaga (P) menggunakan Spektroskopi Serapan Atom (SSA). Perlakuan dilakukan pengulangan sebanyak 3x.

### 3.6 Analisis Data

#### 3.6.1 Penentuan Laju Adsorpsi

Hasil yang didapat dari Spektroskopi Serapan Atom (SSA) dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai  $q_t$ . Setelah didapatkan nilai  $q_t$ , dibuat kurva untuk mendapatkan persamaan  $y=ax+b$ . Persamaan tersebut untuk mencari nilai  $K$  yang kemudian dimasukkan kedalam Persamaan Lagergen 3.1 dan 3.2 untuk mencari nilai  $q_e$ .

Orde 1

$$\log q_t - q_e = \log q_e + \frac{K_1}{2,303} t \dots\dots\dots (3.1)$$

Orde 2

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_r q_p^2} + \frac{1}{q_r} t \dots\dots\dots (3.2)$$

Setelah nilai  $q_e$  di dapatkan, dibuat kurva untuk mendapatkan nilai  $r^2$  untuk menentukan orde terbaik. Nilai  $r^2$  pada masing-masing orde yang mendekati 1 merupakan orde terbaik.

## BAB IV

### PEMBAHASAN

#### 4.1 Preparasi *Hydrilla verticillata*

Tahap awal penelitian ini dilakukan dengan preparasi *hydrilla verticillata*. *Hydrilla verticillata* yang digunakan diambil dari Waduk Ranu Grati, Pasuruan. Preparasi sampel dimulai dari pencucian untuk memisahkan pengotor fisik berupa lumpur yang menempel pada daun dan batang *hydrilla verticillata*, selanjutnya dilakukan pengeringan dan pemotongan. Tanaman yang telah bersih kemudian dipotong kecil-kecil agar mempercepat proses pengeringan. Setelah itu, *hydrilla verticillata* dikeringkan tanpa terkena sinar matahari langsung hingga benar-benar kering. Proses pengeringan sampel bertujuan untuk menguapkan kandungan air sehingga memudahkan proses penggilingan sampel menjadi serbuk *hydrilla verticillata*.



(a)



(b)

Gambar 4.1 Preparasi biomassa *Hydrilla verticillata*: (a) sebelum digiling dan (b) sesudah digiling

Penggilangan *hydrilla verticillata* bertujuan untuk memperluas permukaan *hydrilla verticillata* dan memudahkan proses adsorpsi. Proses preparasi *Hydrilla verticillata* menjadi serbuk biomassa pada penelitian ini ditampilkan pada Gambar 4.1. Serbuk *hydrilla verticillata* yang diperoleh disimpan diwadah kering dan tertutup.

#### **4.2 Demineralisasi *Hydrilla verticillata***

Demineralisasi merupakan aktivasi kimia yang bertujuan agar mineral-mineral yang menempel pada permukaan dinding sel *hydrilla verticillata* yang dapat menghambat proses penyerapan sehingga biosorben *hydrilla verticillata* bertambah. Penggunaan HCl dengan konsentrasi 0,1 M mengacu pada penelitian oleh Nurmasari (2008) menggunakan HCl 0.1 M. Tahap demineralisasi dilakukan perendaman HCl 0.1 M selama 24 jam bertujuan untuk memaksimalkan proses penghilangan mineral-mineral pengotor. Setelah proses perendaman, biosorben dinetralkan dengan cara dicuci menggunakan akuades sehingga terbebas dari ion Cl<sup>-</sup>. Setelah pH filtrat mencapai pH netral pencucian biomassa dihentikan dan disaring sehingga diperoleh residu yang masih basah. Tujuan pengeringan ini adalah untuk mengurangi kadar air dalam biomassa. Sesudah kering, biomassa dibiarkan dingin pada suhu ruang dan ditimbang menggunakan neraca analitik sampai berat konstan.

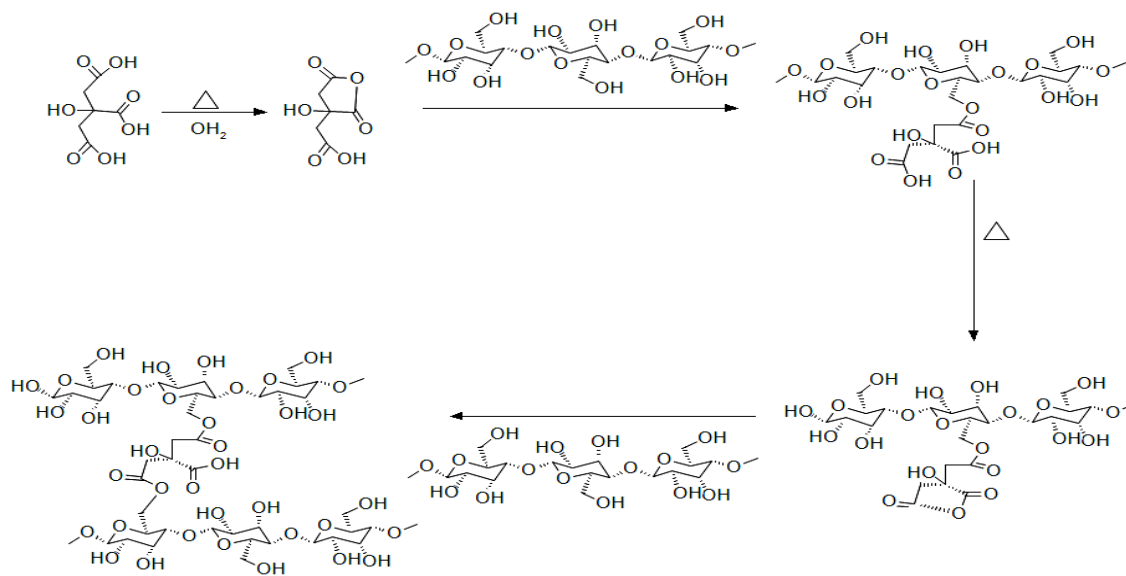
Hasil dari demineralisasi biomassa *hydrilla* berupa serbuk berwarna kecoklatan, lebih pucat dibandingkan dengan *hydrilla* sebelum didemineralisasi. Berat sampel setelah didemineralisasi berkurang mencapai 28,3% dimana 100 gram biomassa yang direndam dalam larutan HCl 0.1 M sebanyak 2000 mL



berkurang menjadi 71,7 gram. Hal ini dikarenakan beberapa unsur seperti kalium sulfur, klor dan barium telah berkurang jumlahnya sehingga berat biomassa mengalami penurunan.

### 4.3 Modifikasi Selulosa *Hydrilla verticillata* Menggunakan Asam Sitrat

Biomassa *Hydrilla verticillata* mengandung senyawa selulosa yang mana selulosa tersebut memiliki gugus hidroksil (-OH). Gugus tersebut dapat mengikat logam dalam proses adsorpsi. Akan tetapi dilakukannya modifikasi pada penelitian ini bertujuan untuk menambah gugus dalam selulosa yang aktif terhadap pengikatan logam. Gugus aktif tersebut antara lain: karboksil, ester. Ramos, dkk.(2012) menyebutkan bahwa asam sitrat yang digunakan sebagai aktivator pada biomassa yang menyebabkan terjadinya reaksi esterifikasi, yaitu terbentuknya gugus ester. Gugus karbonil pada sitrat anhidrat bersifat nukleofil sehingga mudah diserang oleh ion O-pada atom C-6 selulosa membentuk ester.



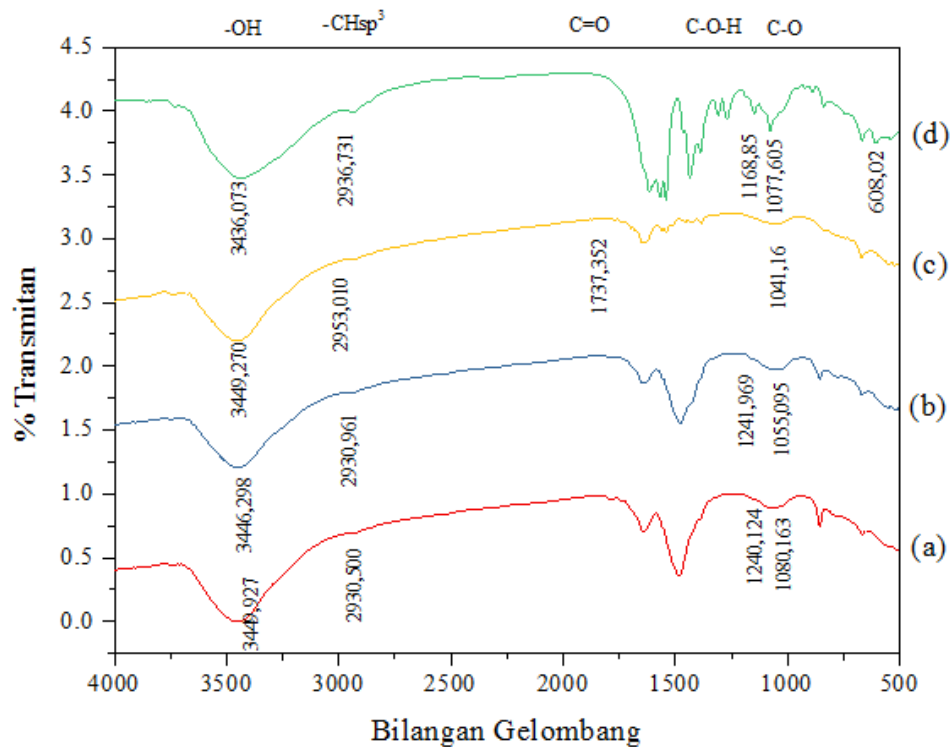
Gambar 4.2 Reaksi dugaan antara asam sitrat dengan selulosa

Pemanasan dalam proses modifikasi yang dibantu dengan pengadukan ini bertujuan untuk membentuk sitrat anhidrat. Sitrat anhidrat lebih reaktif terhadap hidroksil dalam selulosa, sehingga membentuk gugus baru yaitu ester. Ester berperan penting karena dapat menambah kemampuan biomassa dalam mengikat logam. Mekanisme reaksi antara sitrat dengan selulosa dijelaskan oleh Surbakti (2016) yang digambarkan reaksi dugaannya pada Gambar 4.2.

Gambar 4.2 Menunjukkan atom O pada atom C-6 selulosa yang bersifat nukleofil (elektronegatif) akan menyerang gugus karbonil dari asam sitrat yang bersifat elektrofil. Gugus hidroksil (-OH) pada selulosa dan gugus karbonil (C=O) pada ester dari asam sitrat bereaksi membentuk selulosa sitrat dengan rantai karbon yang lebih panjang. Reaksi yang terjadi antara gugus hidroksil dari selulosa dengan karboksil dari asam sitrat membentuk gugus C=O ester disebut dengan reaksi esterifikasi. Hasil modifikasi menunjukkan adanya gugus baru C=O ester yang dikonfirmasi dengan karakterisasi menggunakan FTIR. Spektra IR hasil karakterisasi ditunjukkan pada Gambar 4.3.

Gambar 4.3 menunjukkan vibrasi ulur -OH stretching band yang kuat dan melebar pada bilangan gelombang 3436-3449  $\text{cm}^{-1}$ . Puncak serapan pada bilangan gelombang 1080-1077  $\text{cm}^{-1}$  mengindikasikan adanya C-O stretching band yang kuat baik pada hydrilla murni, hydrilla demineralisasi, hydrilla modifikasi asam sitrat dan hydrilla setelah adsorpsi. Bilangan gelombang 1240-1168  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan adanya vibration bond C-O-H namun pada setelah proses modifikasi terjadi penurunan yang mengakibatkan puncak bilangan gelombang tidak muncul. Bilangan gelombang 2930-2953  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan adanya C-H stretching  $\text{sp}^3$  pada hydrilla murni, hydrilla demineralisasi, hydrilla modifikasi asam

sitrat dan hydrilla setelah adsorpsi. Setelah proses modifikasi muncul puncak baru pada bilangan gelombang  $1737\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya serapan gugus C=O ester yang diperoleh dari proses esterifikasi antara gugus asam karboksilat pada asam sitrat dan gugus hidroksil pada adsorben.



Gambar 4.3 Spektra IR biomassa *Hydrilla verticillata*(a) *Hydrilla verticillata* Murni, (b) *Hydrilla verticillata* Demineralisasi, (c) *Hydrilla verticillata* Modifikasi Asam Sitrat, (d) *Hydrilla verticillata* Setelah Adsorpsi Logam Tembaga

Terbentuknya gugus ester menunjukkan bahwa proses modifikasi berhasil sedangkan hidroksil dan karbonil merupakan gugus aktif yang berperan dalam adsorpsi. Hal ini menunjukkan bahwa hydrilla mempunyai gugus alkohol, eter dan

karboksil. Pada bilangan gelombang 608, 02  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan adanya ikatan logam (M – CO) atau Cu dengan CO

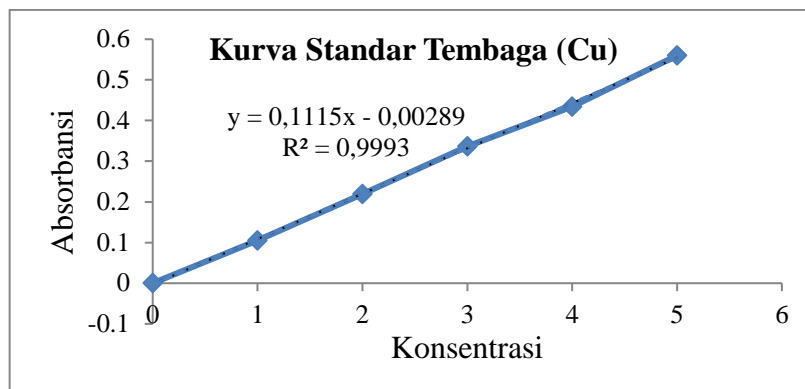
Tabel 4.1 Interpretasi Spektra IR

No	Murni	Demineralisasi	Modifikasi	Setelah adsorp	Jenis Vibrasi
1	3449,92	3446,51	3449,27	3436,07	-OH
2	2930,50	2930,96	2953,01	2936,73	-CH sp <sup>3</sup>
3	-	-	1737,352	-	C=O ester
4	1240,12	1241,96	-	1168,85	C-O – H
6	1080,16	1055,09	1041,16	1077,605	C-O
7	-	-	-	608, 02	M – CO

#### 4.4 Kurva Standar Logam Tembaga (Cu)

Kurva standar digunakan untuk mengetahui konsentrasi logam tembaga dengan cara membuat hubungan antara konsentrasi larutan dengan nilai absorbansinya. Pembuatan kurva standar dilakukan dengan membuat seri larutan standar logam tembaga dari konsentrasi 1 ppm, 2 ppm, 3 ppm, 4 ppm dan 5 ppm. Kelima larutan standar tersebut diukur absorbansinya menggunakan SSA pada panjang gelombang Cu yaitu 324,8 nm. Larutan standar yang dianalisis menggunakan SSA menghasilkan kurva yang ditampilkan pada Gambar 4.4.

Berdasarkan Gambar 4.4 dapat diketahui bahwa semakin besar konsentrasi larutan tembaga maka semakin besar pula absorbansinya. Seperti yang terlihat pada Gambar 4.4, kurva yang terbentuk merupakan garis lurus perbandingan antara konsentrasi larutan (sumbu x) dan absorbansinya (sumbu y).



Gambar 4.4 Kurva standar larutan tembaga (Cu)

Nilai koefisien korelasi ( $R^2$ ) yang dihasilkan adalah 0,9993. Nilai koefisien relasi ( $R^2$ ) yang semakin mendekati 1 maka akurasi dalam pembuatan larutan standar semakin baik.

#### 4.5 Adsorpsi Logam Tembaga Oleh Biomassa Termodifikasi

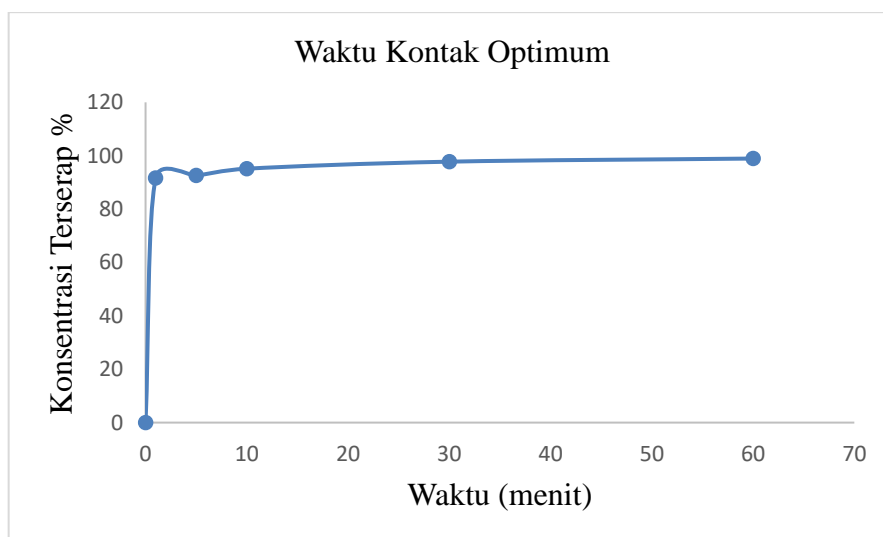
##### 4.5.1 Penentuan Waktu Kontak Optimum Adsorpsi

Penentuan waktu optimum adsorpsi dilakukan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan adsorben untuk mengadsorpsi logam tembaga (Cu) secara optimal. Semakin lama waktu kontak adsorpsi logam tembaga dengan hydrilla maka semakin banyak kesempatan situs aktif adsorben mengikat logam, akan tetapi ketika sudah mencapai titik jenuh, waktu kontak tidak lagi berpengaruh sehingga terjadi penurunan daya serap adsorpsi.

Waktu optimum adsorpsi logam tembaga oleh biomassa hydrilla dilakukan dengan cara mereaksikan 0,5 gram biomassa dalam 50 mL larutan tembaga 100 ppm. Sebelum direaksikan, larutan tembaga dikondisikan pada pH netral. Pengkondisian pH dilakukan dengan cara menambahkan larutan NaOH 0,1 M dan diaduk, kemudian di cek menggunakan pH meter. Campuran tersebut kemudian di

shaker pada variasi 0, 1, 5, 10, 30 dan 60 menit dalam kondisi pH 7 dengan kecepatan 200 rpm. Setelah proses adsorpsi didapatkan filtrat yang digunakan untuk mengukur adsorbansi akhir setelah adsorpsi menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) sehingga didapatkan nilai konsentrasi akhir ( $q_e$ ) dari logam tembaga (Cu). Hasil fitting kurva antara waktu (menit) dengan logam yang terserap dilampirkan pada Gambar 4.5.

Berdasarkan Gambar 4.5 diketahui adsorpsi logam tembaga (Cu) oleh adsorben hydrilla pada menit ke 0 mempunyai persen 0%, dikarenakan belum ada interaksi antara sisi aktif adsorben hydrilla dengan logam tembaga (Cu).



Gambar 4.5 Waktu kontak terbaik adsorpsi logam tembaga

Menit ke-1 menunjukkan kenaikan daya serap adsorpsi yang disebabkan sisi aktif adsorben berinteraksi dengan adsorbat, sehingga kemungkinan adsorbat sudah berikatan dengan adsorben (Astuti, dkk, 2018). Menit ke-10 sampai menit ke-60 menunjukkan bahwa adsorben mulai menuju ke titik keseimbangan,

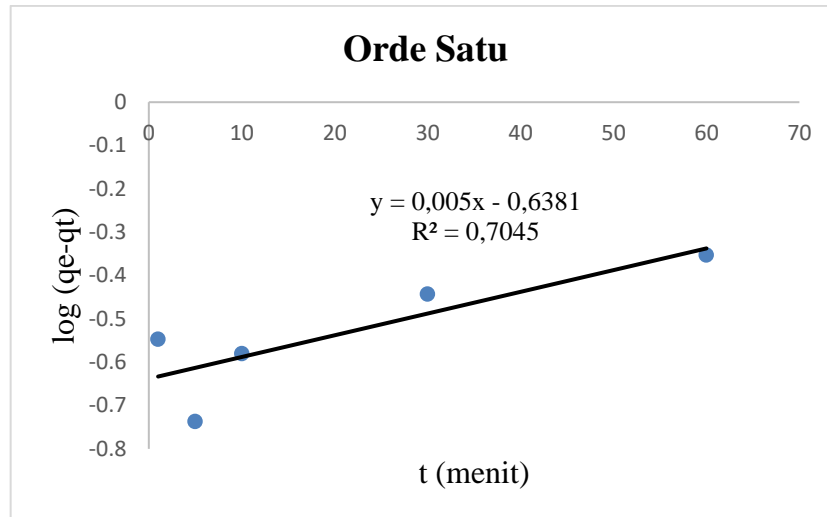
ditandai dengan grafik yang landai dan titik optimum sampai menit ke-60 dengan nilai konsentrasi penyerapan sebesar 97,53%.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa waktu kontak optimum adsorpsi logam tembaga oleh adsorben hydrilla termodifikasi asam sitrat adalah 60 menit. Pada menit ke-60 menunjukkan adsorpsi sudah mencapai kesetimbangan, dimana laju adsorpsi sama dengan laju desorpsi sehingga laju adsorpsi menjadi konstan (Rakhmania, dkk, 2017).

#### **4.5.2 Kinetika Adsorpsi Logam Tembaga**

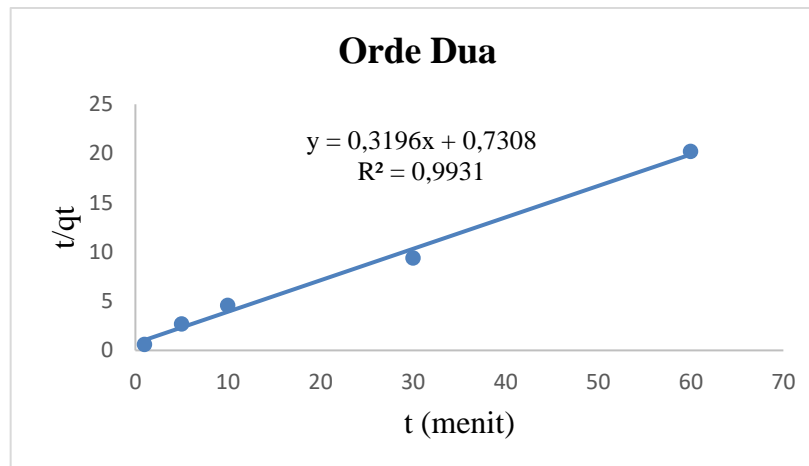
Penelitian yang dilakukan adsorpsi logam Cu berdasarkan variasi waktu kontak 1, 5, 10, 30, dan 60 menit oleh adsorben hydrilla dengan konsentrasi larutan logam tembaga 100 ppm sebanyak 50 mL. Menurut (Widihati, dkk, 2012) kinetika adsorpsi merupakan salah satu faktor penting dalam proses adsorpsi karena menunjukkan tingkat kecepatan penyerapan adsorben terhadap adsorbatnya. Kemampuan penyerapan dapat dilihat dari laju adsorpsinya dalam hal ini pengujian terhadap laju adsorpsi yang dilakukan melalui penentuan orde reaksi secara eksperimen. Hasil pengujian adsorpsi digunakan untuk menentukan kinetika adsorpsi yang dihitung dengan persamaan 2.1 dan 2.2 untuk mengetahui nilai  $R^2$  pada orde satu dan orde dua, dimana nilai  $R^2$  menunjukkan klasifikasi orde yang diikuti.

Berdasarkan Gambar 4.6 dan 4.7 dapat ditentukan bahwa adsorpsi logam tembaga (Cu) menggunakan adsorben hydrilla termodifikasi asam sitrat menggunakan kinetika adsorpsi orde dua, yang ditandai dengan nilai  $R^2$  yaitu 0,9931 yang artinya lebih mendekati nilai 1.



Gambar 4.6 Kinetika adsorpsi orde 1

Reaksi orde dua menyatakan bahwa proses adsorpsi terjadi secara kimia (kimisorpsi), partikel melekat pada permukaan dengan membentuk ikatan kimia dan cenderung mencari tempat yang memaksimalkan bilangan koordinasinya dengan substrat (Atkins P.W., 1990)



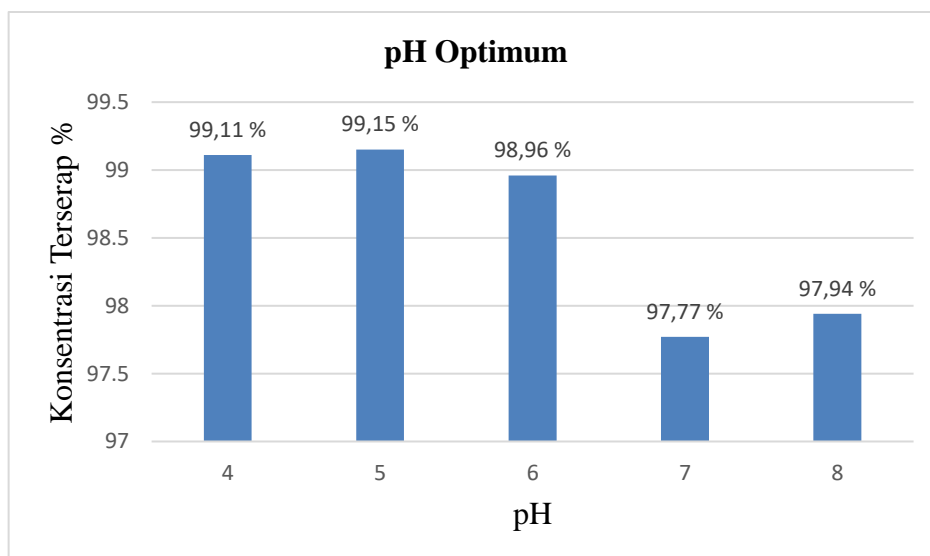
Gambar 4.7 Kinetika adsorpsi orde 2



### 4.5.3 Pengaruh pH Terhadap Adsorpsi Logam Tembaga (Cu)

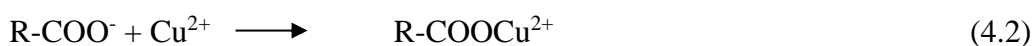
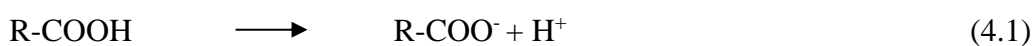
Derajat keasaman (pH) merupakan faktor yang sangat mempengaruhi proses adsorpsi ion logam dalam larutan. Analisis pengaruh variasi pH larutan adsorbat dilakukan dengan cara membandingkan kemampuan adsorpsi pH 4, 5, 6,7 dan 8 oleh biosorben yang sama. Penentuan pH optimum dilakukan dengan cara adsorpsi logam tembaga dengan variasi pH 4-8 menggunakan biosorben *hydrilla verticillata* termodifikasi asam sitrat pada waktu kontak 60 menit. Konsentrasi logam tembaga yang terserap pada variasi pH ditunjukkan pada gambar 4.7.

Penurunan daya adsorpsi cenderung terjadi setelah melewati pH 5. Pada proses adsorpsi ini terlihat bahwa adsorpsi paling maksimum yakni pada pH 5 dengan konsentrasi teradsorp sebesar 99,15 %. Sedangkan daya adsorpsi paling rendah ditunjukkan pada pH 7 dengan daya adsorpsi sebesar 97,77 %.

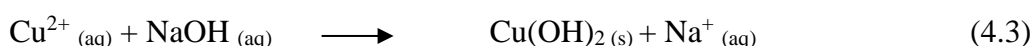


Gambar 4.8 Penentuan pH optimum logam tembaga

Daya adsorpsi pada pH di bawah 5 serapan ion tembaga (Cu) oleh biomassa *Hydrilla verticillata* lebih rendah dibandingkan pada pH 5. Hal ini dikarenakan jumlah ion H<sup>+</sup> dalam larutan lebih banyak sehingga diduga terjadi persaingan antara ion H<sup>+</sup> dan ion tembaga (II) untuk berikatan dengan gugus fungsi yang terdapat pada biomassa *Hydrilla verticillata* sehingga adsorpsi logam tembaga semakin sedikit. Hal ini disebabkan oleh kemungkinan terjadinya persaingan antara ion H<sup>+</sup> dan kation Cu<sup>2+</sup> (Kanjial, dkk., 2017) dengan reaksi :



Penurunan daya adsorpsi logam tembaga oleh biosorben terjadi pada pH 7 dan 8. Keadaan pH tinggi gugus aktif selulosa berupa -COO<sup>-</sup> dan O<sup>-</sup> yang akan berikatan dengan kation logam Cu<sup>2+</sup> dengan gaya elektrostatik (Rahmawati, 2020). Pengkondisian pH basa dengan penambahan NaOH berlebih menghasilkan ion OH<sup>-</sup> yang akan bersaing dengan situs aktif selulosa berupa -COO<sup>-</sup> dan O<sup>-</sup> untuk mengikat kation Cu<sup>2+</sup>. Penurunan pada pH 7 dan 8 disebabkan sudah terbentuknya senyawa kompleks seperti Cu(OH)<sub>2</sub> yang berupa endapan putih yang dapat menutupi permukaan adsorben dan menghalangi proses penyerapan partikel-partikel terlarut oleh adsorben. Persamaan reaksi yang terjadi adalah : (Sadeek, 2015)



Berdasarkan Gambar 4.7 menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi optimum adsorben *Hydrilla verticillata* terhadap logam tembaga (Cu) terjadi pada pH 5 yakni sebesar 99,15%. Namun, perbedaan nilai antara pH 4 hingga 6 tidak begitu

jauh sehingga diperlukan analisis lanjut menggunakan metode One Way ANOVA dan Uji BNT.

## 4.6 Analisis One Way Anova

### 4.6.1 Faktor Waktu

Selain pengukuran konsentrasi menggunakan instrumentasi SSA, dilakukan pula analisis statistik dengan metode Rancangan Acak Lengkap (RAL) menggunakan SPSS secara One Way Anova. Taraf signifikan atau alpha yang digunakan ialah sebesar 5%. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu dan pH terhadap adsorpsi logam tembaga (Cu). Faktor yang digunakan pada penelitian ini ialah faktor waktu dan pH. Faktor waktu terdiri dari 5 variasi yakni 1 menit, 5 menit, 10 menit, 30 menit dan 60 menit. Sedangkan variasi faktor pH yang digunakan ialah pH 4, 5, 6, 7 dan 8.

Tabel 4.2 Hasil uji F dan nilai probabilitas faktor waktu

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	853.119	4	213.280	5.222	.049
Within Groups	204.193	5	40.839		
Total	1057.312	9			

Berdasarkan pengujian statistik logam Cu didapatkan nilai uji F terhadap waktu adsorpsi adalah sebesar 5, 222 dengan probabilitas (sig.) sebesar 0,049. Nilai F hitung ( $5,222 > F \text{ tabel } (4,260)$ ), atau sig. ( $0,049 < \alpha (0,050)$ ) sehingga  $H_0$  ditolak. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat pengaruh waktu pemaparan yang menghasilkan kadar logam Cu yang berbeda signifikan. Selanjutnya dilakukan uji lanjut berupa uji BNT (Beda Nyata Terkecil). Uji BNT ini dilakukan untuk

mengetahui ada tidaknya pengaruh variasi waktu pemaparan terhadap kadar logam Cu. Berikut ini hasil uji BNT terdapat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil uji BNT terhadap logam Cu

Waktu	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
Tukey HSD <sup>a</sup> 1 menit	2	71.4500	
5 menit	2	89.2000	89.2000
10 menit	2	90.1200	90.1200
30 menit	2	95.6800	95.6800
60 menit	2		97.5350
Sig.		.062	.701

Berdasarkan hasil Tabel 4.3, dapat diketahui bahwa kadar logam Cu pada variasi waktu 1 menit berbeda nyata dengan kadar logam pada variasi waktu 60 menit, yang diketahui dari perbedaan notasi hasil uji BNT. Akan tetapi, kadar logam Cu pada variasi waktu 5, 10 dan 30 menit tidak berbeda nyata, yang ditandai dengan adanya kesamaan huruf pada notasi hasil uji BNT. Hal ini dimungkinkan karena pada saat penyerapan di waktu 5, 10 dan 30 menit terjadi kesetimbangan. Sedangkan pada variasi waktu 60 menit logam Cu akan dilepaskan kembali oleh *Hydrilla verticillata*, sehingga kadar logam Cu meningkat.

#### 4.6.2 Faktor pH

Berdasarkan pengujian statistik logam Cu didapatkan nilai uji F terhadap variasi pH adalah sebesar 258,898 dengan probabilitas (sig.) sebesar 0,000. Nilai F hitung (258,898) > F tabel (4,260), atau sig. (0,000) < alpha (0,050) sehingga H<sub>0</sub> ditolak. Hal ini ditunjukkan pada Tabel 4.4 berikut ini

Tabel 4.4 Hasil uji F dan nilai probabilitas faktor pH

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3.593	4	.898	258.898	.000
Within Groups	.017	5	.003		
Total	3.611	9			

Hal ini menunjukkan bahwa terdapat pengaruh pH yang menghasilkan kadar logam Cu yang berbeda signifikan. Selanjutnya dilakukan uji lanjut berupa uji BNT (Beda Nyata Terkecil). Uji BNT ini dilakukan untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh variasi pH terhadap kadar logam Cu. Berikut ini hasil uji BNT terdapat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil uji BNT terhadap logam Cu

pH	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
Tukey HSD <sup>a</sup> pH 7	2	97.7750	
pH 8	2	97.9400	
pH 6	2		98.9600
pH 4	2		99.1050
pH 5	2		99.1450
Sig.		.166	.117

Berdasarkan hasil Tabel 4.5, dapat diketahui bahwa kadar logam Cu pada variasi pH 4, 5 dan 6 yang cenderung asam berbeda nyata dengan kadar logam pada variasi pH 7 dan 8 yang cenderung basa, yang diketahui dari perbedaan notasi hasil uji BNT. Sehingga dapat disimpulkan bahwa adsorpsi terjadi dengan optimum pada pH 4 hingga 6.

#### 4.5 Hasil Penelitian dalam Perspektif Islam

Lingkungan dan manusia adalah dua hal yang tidak dapat dipisahkan. Sebagian besar aktivitas manusia baik secara langsung maupun tidak langsung membutuhkan lingkungan untuk mendukung keberlangsungan hidupnya. Manusia bertanggung jawab atas keseimbangan dan kelestarian alam yang berdampak pada kehidupannya. Oleh karena itu, perlu upaya untuk menjaga kelestarian lingkungan supaya dapat berfungsi sebagaimana mestinya dan dapat dimanfaatkan secara optimal. Allah SWT berfirman dalam surat Al-A'raf ayat 56:

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا ۚ إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ

Artinya: *“Dan janganlah kamu membuat kerusakan di muka bumi, sesudah (Allah) memperbaikinya dan berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut ( tidak akan diterima) dan harapan (akan dikabulkan). Sesungguhnya rahmat Allah amat dekat dengan kepada orang-orang yang berbuat baik”.*

Tafsir Ibnu Katsir (2015) menjelaskan bahwa Allah SWT melarang manusia untuk melakukan perbuatan yang menimbulkan kerusakan di muka bumi dan hal-hal yang membahayakan kelestariannya. Karena sesungguhnya apabila sesuatunya berjalan sesuai dengan kelestariannya, kemudian terjadi pengrusakan padanya, hal tersebut akan membahayakan semua hamba Allah SWT di bumi ini.

Kegiatan pembangunan yang didukung ilmu pengetahuan dan teknologi, selain meningkatkan kualitas hidup manusia juga beresiko terhadap terjadinya pencemaran dan kerusakan lingkungan apabila tidak bijaksana dalam mengolahnya. Pemanfaatan logam tembaga yang diolah di berbagai industri dan laboratorium mengakibatkan sejumlah lingkungan terutama perairan tercemar.

Banyaknya senyawaan organik maupun anorganik yang masuk ke perairan juga menimbulkan tanaman air yang tidak diinginkan tumbuh meluap, salah satunya hydrilla.

Kelebihan manusia dari makhluk hidup lainnya adalah anugrah otak yang dengannya manusia dapat berkembang menjadi makhluk yang cerdas. Kecerdasan ini digunakan manusia untuk memperoleh informasi, sehingga peluangnya semua besar untuk menguasai ilmu pengetahuan. Allah SWT berfirman:

أَمَّنْ هُوَ قَانِثٌ آذَاءَ اللَّيْلِ سَاجِدًا وَقَائِمًا يَحْذَرُ الْآخِرَةَ وَيَرْجُو رَحْمَةَ رَبِّهِ ۗ قُلْ هَلْ يَسْتَوِي الَّذِينَ يَعْلَمُونَ وَالَّذِينَ لَا يَعْلَمُونَ ۗ إِنَّمَا يَتَذَكَّرُ أُولُو الْأَلْبَابِ

Artinya: “(Apakah kamu Hai orang musyrik yang lebih beruntung) ataukah orang yang beribadat di waktu-waktu malam dengan sujud dan berdiri, sedang ia takut kepada (azab) akhirat dan mengharap rahmat Tuhannya? Katakanlah: “Adakah sama orang-orang yang mengetahui dengan orang-orang yang tidak mengetahui?” Sesungguhnya orang yang berakallah yang dapat menerima pelajaran” (Az-Zumar:9)

Ayat diatas berisi pesan dan perintah Allah kepada manusia agar memanfaatkan bekal kecerdsan otaknya untuk menuntut ilmu pengetahuan. Maka dengan berpikir dan menelaah akan mengajari manusia agar bekerja dengan berorientasi pada amaliah yang akan menghasilkan amal yang lebih baik serta pemahaman ilmu yang lebih dalam. Salah satu bentuk penalaran manusia adalah dengan mengkaji manfaat tanaman hydrilla yang dianggap sebagai gulma diperairan. Ternyata hydrilla juga dapat dimanfaatkan sebagai biomassa penyerap limbah logam. Dari penelitian ini dibuktikan bahwa biomassa hydrilla dapat menyerap logam tembaga (Cu) dengan hasil baik yakni sebesar 98,94 % dalam waktu 60 menit.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Kemampuan selulosa yang berasal dari *Hydrilla verticillata* termodifikasi asam sitrat dalam hasil penelitian ini menunjukkan bahwa adsorpsi *Hydrilla verticillata* terhadap logam tembaga (Cu) terjadi pada pH 4-6 dan pada waktu optimum selama 60 menit dengan kapasitas adsorpsi sebesar 97,53%.
2. Kinetika adsorpsi logam tembaga (Cu) oleh adsorben *Hydrilla verticillata* mengikuti kinetika adsorpsi orde dua dengan nilai  $R^2 = 0,9931$
3. Berdasarkan analisis spektra IR, menunjukkan gugus C=O ester mulai pada bilangan gelombang 1737  $\text{cm}^{-1}$  setelah proses modifikasi asam sitrat. Penurunan intensitas gugus ester terjadi setelah proses adsorpsi menggunakan *Hydrilla verticillata*.

#### **5.2 Saran**

1. Sebaiknya dilakukan karakterisasi dengan instrumen penunjang lain seperti XRF untuk mengetahui mineral-mineral yang terkandung dalam adsorben.
2. Dibutuhkan juga penelitian lanjutan faktor lain yang mempengaruhi proses adsorpsi seperti variasi temperatur, dan lain-lain



## DAFTAR PUSTAKA

- Atkins, P.W. 1997. *Kimia Fisika 2*. Jakarta: Erlangga.
- Buasri, A., K. Tapang, S. Jaroensin, dan S. Panphrom. 2012. "Biosorption of Heavy Metals from Aqueous Solution using Water Hyacinth as A Low Cost Biosorbent," *Jurnal Civil and Environmental Research*, Volume 2 Nomor 2: 17–25.
- Cahyani, Maryuli, D, Ria Azizah, dan Bambang Yulianto. 2012. "Studi Kandungan Logam Berat Tembaga (Cu) pada Air, Sedimen, dan Kerang Darah (*Anadara granosa*) di Perairan Sungai Sayung dan Sungai Gonjol, Kecamatan Sayung, Kabupaten Demak." *Journal Of Marine Research* Volume 1, Nomor 2: 73–79.
- Chasten, T. G. 2000. *Atomic Absorption Spectroscopy*. Texas: Sam Houston State University.
- Darmono. 2001. *Lingkungan Hidup dan Pencemaran (Hubungannya dengan Toksikologi Senyawa Logam)*. Jakarta: UI Press.
- Day, R. A, dan A. L Underwood. 2002. *Analisis Kimia Kuantitatif*. Jakarta: Erlangga.
- Fuad, Muhammad T., Aunurohim, dan Tutik Nur Hidayati. 2013. "Efektivitas Kombinasi *Salvinia molesta* dengan *Hydrilla verticillata* dalam Remediasi Logam Cu pada Limbah Elektroplating." *Sains Dan Seni Pomits* Volume 2, No.1: 2337–3520.
- Gandjar, I. G, dan A Rohman. 2007. *Kimia Farmasi Analisis*. Yogyakarta: UGM Press.
- Gogoi, Pankaj, Pooja Adhikari, dan Tarun K. Maji. 2017. "Bioremediation of Arsenic from Water with Citric Acid Cross-linked Water Hyacinth (*E. crassipes*) Root Powder," *Environ Monit Assess*, Halaman:1–11.
- Handoko, Papib, dan Yunie Fajariyanti. 2013. "Pengaruh Spektrum Cahaya Tampak terhadap Laju Fotosintesis Tanaman Air *Hydrilla Verticillata*." Dalam *Seminar Nasional X Pendidikan Biologi FKIP UNS*, 1–8. Kediri: FKIP Universitas Nusantara PGRI Kediri.

Kannan M., Rajesh, Rajasimman M., Rajamohan N., dan Sivaprakash B. 2010. "Equilibrium and Kinetic Studies on Sorption of Malachite Green using *Hydrilla Verticillata* Biomass." *Int. J. Environ. Res.*, Halaman:817–24.

Khopkar, S.M. 1990. *Konsep Dasar Kimia Analitik Edisi Kedua*. Jakarta: UI Press.

Komari, Noer, Azidi Irwan, dan Eka Susilawati. 2007. "Kajian Adsorpsi Cu(II) dengan Biomassa *Hydrilla verticillata* Teraktivasi." *J. Sains MIPA* Volume 13, No. 1: 37–42.

Krystiyanti, K. 2008. *Adsorpsi Merkuri (II) oleh Biomassa Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) yang Diimobilisasi pada Polisilikat Menggunakan Metode Kolom*. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.

Mahbubah, A. 2016. *Karakterisasi Gugus Aktif Batang Jagung (*Zea mays* L.) Menggunakan Asam Sitrat sebagai Bahan Pengaktivasi*. [skripsi]. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.

Mahyudin, Soemarno, dan Tri Budi .P. 2015. "Analisis Kualitas Air dan Strategi Pengendalian Pencemaran Air Sungai Metro di Kota Kepanjen Kabupaten Malang." *J-PAL, J-PAL*, Volume 6, No. 2,.

Mandasari. 2016. "Pembuatan Arang Aktif dari Batang Jagung Menggunakan Aktivator Asam Sulfat dan Penggunaannya pada Penjerapan Ion Tembaga (II)," *Makara Sains*, Volume 14 Nomor 1: 22–26.

McSweeny, J.D, M.R Roger, dan M Soo Hong. 2006. "Effect of Citric Acid Modification of Aspen on Sorption of Copper Ion," *Journal of Natural Fibers*, Volume 3 Nomor 1: 41–58.

Mukaratirwa-Muchanyereyi, N, K James, dan F.Z Mark. 2016. "Surface Composition and Surface Properties of Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) Root Biomass: Effect of Mineral Acid and Organic Solvent Treatment," *African Journal of Biotechnology*, Volume 15 Nomor 21: 897–909.

Nafie, Nursiah La, Paulina Taba, Andi Irawati, dan Cici Rosdiati. 2010. "Biosorpsi Ion Logam Pb (II) dengan Menggunakan Biomassa Lamun *Thalassia hemprichii* yang Terdapat di Pulau Barrang Lompo," *Marina Chimica Acta*, Volume 11 Nomer 1: 6–12.

- Naufala, Wilda A., dan Ellina Pandebesie. 2015. "Hidrolisis Eceng Gondok dan Sekam Padi untuk Menghasilkan Gula Reduksi sebagai Tahap Awal Produksi Bioetanol," *Jurnal Teknik ITS*, Volume 4 Nomor 2: 109–13.
- Nurmasari, Ratna. 2008. Kajian Adsorpsi Krom (III) pada biomassa Tandon Kosong Kelapa Sawit. *Sains dan Terapan Kimia*, Vol. 2, No. 2.
- Pal, D.K, dan S.B Nimse. 2006. "Screening of the Antioxidant Activity of *Hydrilla verticillata* Plant," *Asian Journal of Chemistry*, Volume 18: 3004–8.
- Palar, H. 2005. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Putri, Meyrina Eka. 2014. "Analisis Parameter Optimum Penyerapan Kation Zn (II) oleh Biomassa *Hydrilla verticillata*." *Widyariset* Volume 17, Nomor 3: 373–380.
- Rakhmania, C.D., Khaeronnisa,I., Ismuyanto, B., Nanda, J., Himma, N,F. 2017. Adsorpsi Ion Kalsium Menggunakan Biomass Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) Diregenerasi HCl. *Jurnal Rekayasa Bahan Alam dan Energi Berkelanjutan*, Vol. 1, No.1, Hal. 16-24.
- Ramos, L.R, L.E.L Rodriguez, Leyva R. S., dan Medellin C. N. A. 2012. "Modification of Corncob with Citric Acid to Enhance its Capacity for Adsorbing Cadmium (II) from Water Solution," *Chemical Engineering Journal*, 180: 113–20.
- Rochyatun, Endang, M. Taufik Kaisupy, dan Abdul Rozak. 2006. "Distribusi Logam Berat dalam Air dan Sedimen Di Perairan Muara Sungai Cisadane." *Makara, Sains* Volume 10, NO. 1: 35–40.
- Sadeek, A.S, A.N Nabel, H. H. H Hassan, dan M.A.W Mostafa. 2015. "Metal Adsorption By Agricultural Biosorbents: Adsorption Isotherm, Kinetic And Biosorbent Chemical Structures.," *International Journal of Biological Macromolecules*, Volume 81: 400–409.
- Sari, Syarifah H.J, Jessica F.A Kirana, dan Guntur. 2017. "Analisis Kandungan Logam Berat Hg dan Cu Terlarut Di Perairan Pesisir Wonorejo, Pantai Timur Surabaya." *Pendidikan Geografi* Volume 22 No. 1: 1–9.
- Seshadri, N., Naik B.R, Kumar N. V. S, dan Sshaiah K. 2014. "Application Of Citric Acid Modified *Annona Squamosa* (Custard Apple) Bark Powder as Biosorbent to Remove Ni (II) From Wastewater." *Indian Journal Of Advance on*

*Chemical Science, Indian Journal of Advance on Chemical Science*, Volume 3: 1–10.

Shihab, M, Quraish. 2001. *Tafsir Al-Misbah, Pesan, Kesan dan Keserasian Al-Quran*. Vol. 1. Jakarta: Lentera Hati.

Shofiyani, A, dan Gusrizal. 2006. . “. Determination of pH Effect and Capacity of Heavy Metals Adsorption by Water Hyacinth (*Eichornia crassipes*) Biomass,” *Indo. J. Chem*, Volume 6 Nomor 1: 56–60.

Silalahi, J. 2010. “*Analisis Kualitas Air dan Hubungannya dengan Keanekaragaman Vegetasi Akuatik di Perairan Balige Danau Toba.*” [Tesis]. Universitas Sumatera Utara.

Siswoyo, E, A.R Adrian, dan S Tanaka. 2017. “Bioadsorbent Based on Water Hyacinth Modified with Citric Acid for Adsorption of Methylene Blue in Water,” *MATEC Web of Conferences*, Volume 1 Nomor 12: 154.

Supriyanto, C, dan Z. K Samin. 2007. “*Analisis Cemar Logam Berat Pb, Cu, dan Cd pada Ikan Air Tawar Dengan Metode Spektrometri Nyala Serapan Atom (SSA).*” Dalam Seminar Nasional III, Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan . Yogyakarta: BATAN.

Surbakti, S.R. 2017. “Sintesis Selulosa Sitrat dari Selulosa Daun Nenas (*Ananascomosus (L) Merr*) melalui Reaksi Esterifikasi dengan Asam Sitrat sebagai Pengadsorpsi Ion Kadmium ( $Cd^{2+}$ ).” Departemen Kimia. Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam. [Skripsi]. Universitas Sumatera Utara.

Thanh, N. D, dan H. L Nhung. 2009. “Cellulose Modified with Citric Acid and Its Adsorption of  $Pb^{2+}$  and  $Cd^{2+}$  Ion.” Dalam 13rd International Electronic Conference on Synthetic Organic Chemistry (ECSOC-13) . Vol. 1–13. Vietnam.

Urifah, Dewi, Kusriani, Umi Zakiyah, Handaru B.C, dan Rieke Y. 2017. “Adsorpsi Logam Timbal (Pb) oleh Tanaman Hydrilla (*Hydrilla verticillata*),” *Jurnal Teknologi Industri*, Volume 11 Nomor 2.

Vogel. 1990. *Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro. Jilid II*. Jakarta: PT. Kalman Media Pustaka.

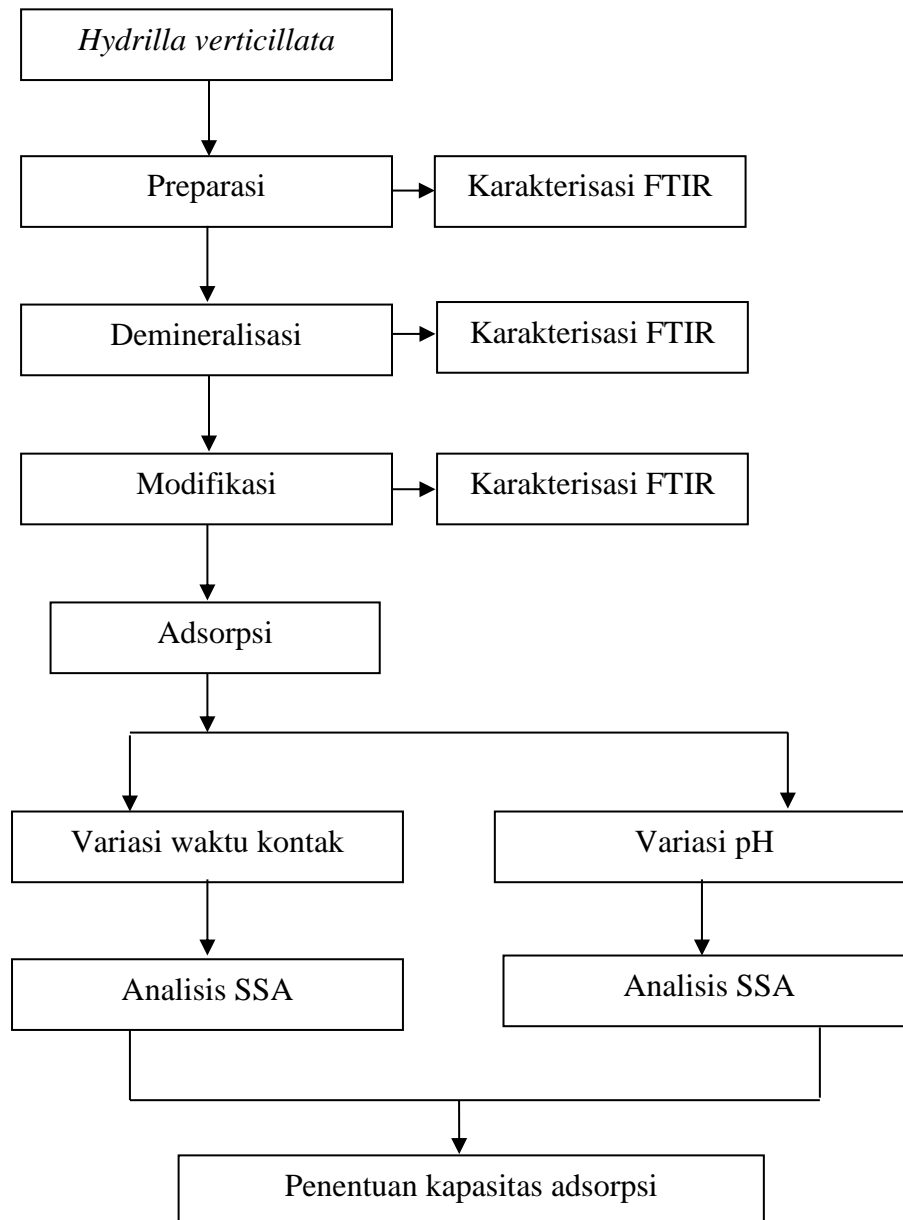
Widihati, I.A.G, Suastuti, Ni.G.A.M.D.A, Nirmalasari, M.A.Y. 2012 Studi Kinetika Adsorpsi Larutan Ion Logam Kromium Cr menggunakan Arang

Batang Pisang (*Musa Paradisiaca*). *Jurnal Kimia (Journal Of Chemistry)*, (S.1), ISSN 2599-2740).

Zhu, Guorong, Wei Li, Meng Zhang, Leyi Ni, dan Shengrui Wang. 2012. "Adaptation of Submerged Macrophytes to Both Water Depth and Flood Intensity as Revealed by Their Mechanical Resistance," *Hydrobiologia*, .

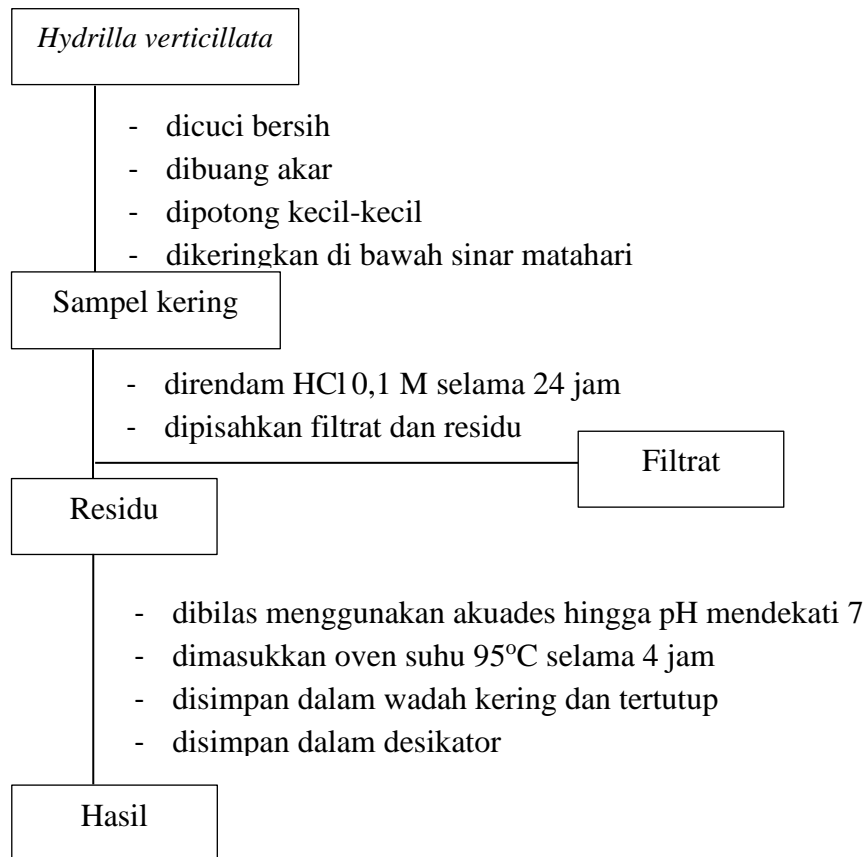
## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Rancangan Penelitian

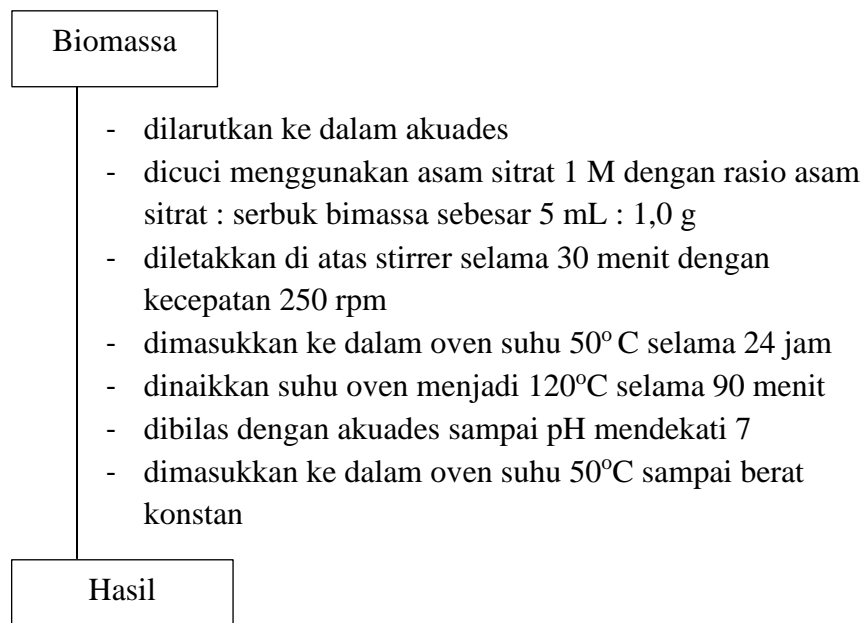


## Lampiran 2. Diagram Alir Penelitian

### 2.1 Preparasi Biomassa dan Demineralisasi Biomassa

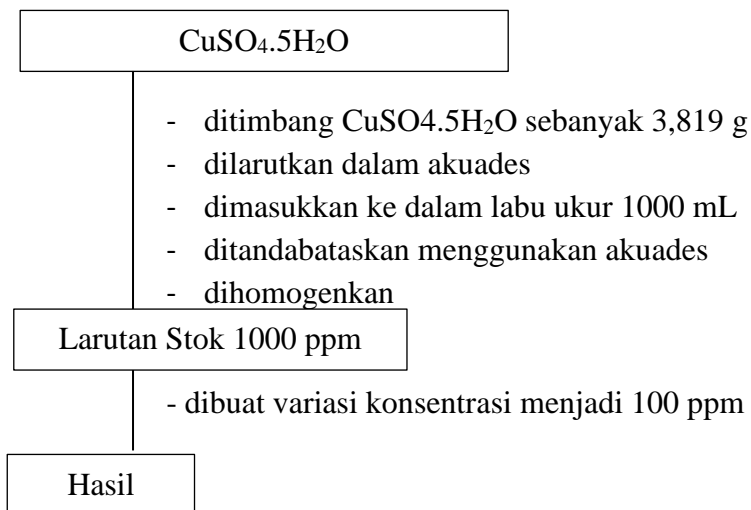


### 2.2 Aktivasi Biomassa Menggunakan Asam Sitrat



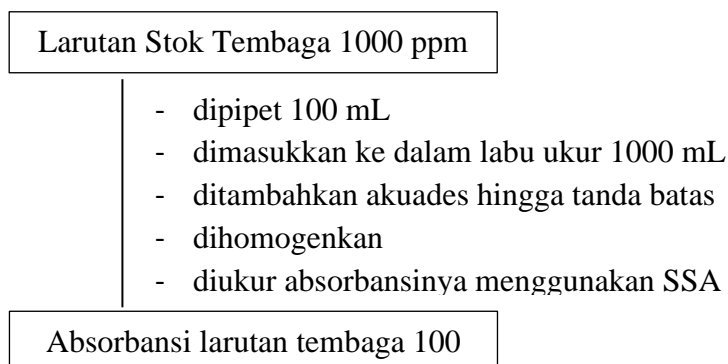
## 2.4 Pembuatan Larutan Tembaga

### 2.4.1 Pembuatan Larutan Stok Tembaga

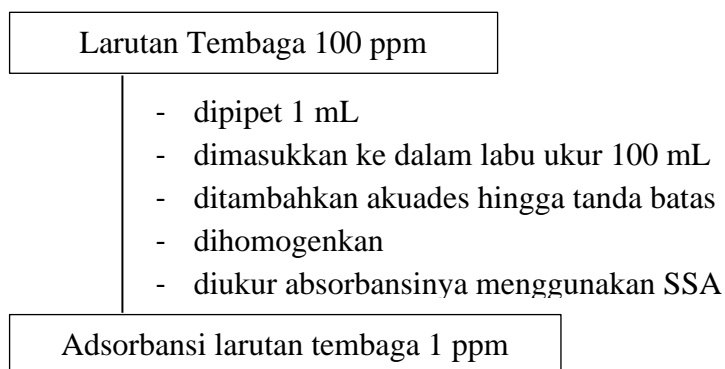


### 2.4.2 Pembuatan Larutan Kurva Standar

#### a. Larutan Standar 100 ppm



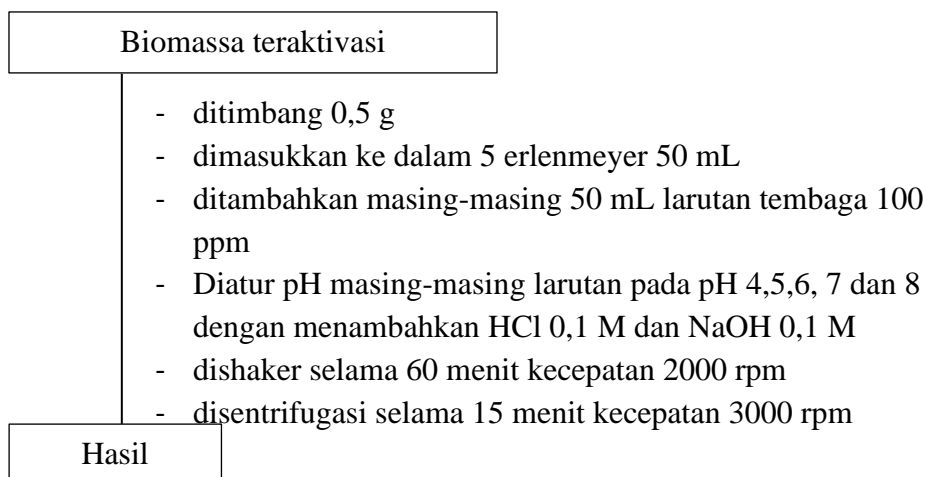
#### b. Larutan Kurva Standar 1, 2, 3, 4, dan 5 ppm



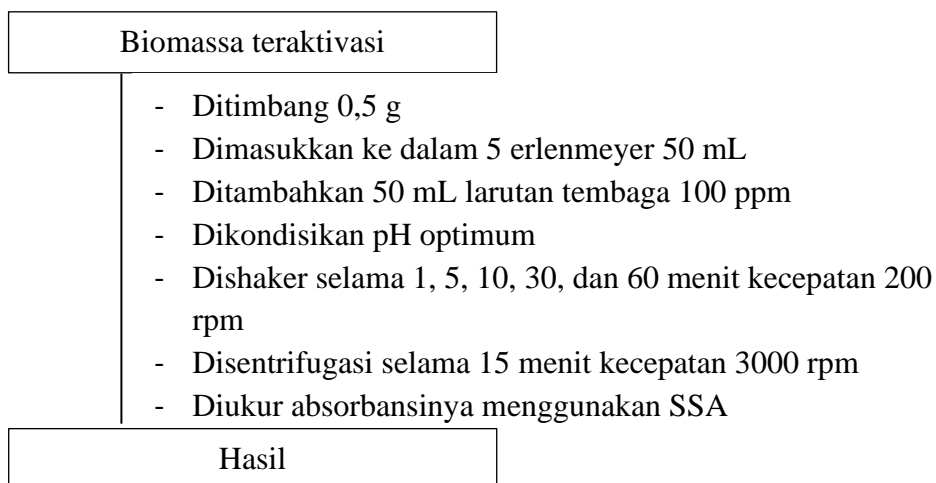


NB: Pembuatan larutan tembaga 2, 3, 4, 5 ppm secara berturut-turut dilakukan dengan cara dipipet 2, 3, 4, dan 5 mL larutan tembaga 100 ppm ke dalam labu ukur 100 mL.

## 2.5 Pengaruh Variasi pH



## 2.6 Pengaruh Variasi Waktu Kontak



### Lampiran 3. Perhitungan

#### 3.1 Pembuatan Larutan Logam Cu

##### 3.1.1 Larutan Induk

Pembuatan larutan induk logam tembaga 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 dari  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  yang dilarutkan dalam 1000 mL akuades menggunakan rumus:

$$\begin{aligned} \text{massa} &= \frac{\text{ppm} \times V \times \text{Mr } \text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}}{\text{Ar Cu}} \\ &= \frac{100 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 1 \text{ L} \times 249,68 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{65,37 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \\ &= 3819,95 \text{ mg} \\ &= 3,919 \text{ g.} \end{aligned}$$

Larutan stok Cu 1000 ppm dibuat dengan cara menimbang 3,819 gram padatan  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  kemudian dilarutkan menggunakan akuademin dalam labu takar 1000 mL dan ditandabatkan.

##### 3.1.2 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 sebagai berikut:

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

$$1000 \text{ mg/L} \times V_1 = 100 \text{ mg/L} \times 1 \text{ L}$$

$$V_1 = \frac{100 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 1 \text{ L}}{1000 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}$$

$$V_1 = 0,1 \text{ L}$$

$$V_1 = 100 \text{ mL}$$

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.

### 3.1.3 Larutan Standar 1, 2, 3, 4 dan 5 ppm dari Larutan Sampel 100 ppm

#### a. Larutan Cu 1 ppm

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

$$V_1 \times 100 \text{ ppm} = 0,1 \text{ L} \times 1 \text{ ppm}$$

$$V_1 = \frac{0,1 \text{ L} \times 1 \text{ ppm}}{100 \text{ ppm}}$$

$$= 0,001 \text{ L}$$

$$= 1 \text{ mL}$$

Pembuatan larutan Cu 1 ppm dilakukan dengan melarutkan 1 mL larutan  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  100 ppm dalam labu ukur 100 mL dan ditandabatkan menggunakan larutan aquades.

#### b. Larutan Cu 2 ppm

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

$$V_1 \times 100 \text{ ppm} = 0,1 \text{ L} \times 2 \text{ ppm}$$

$$V_1 = \frac{0,1 \text{ L} \times 2 \text{ ppm}}{100 \text{ ppm}}$$

$$= 0,002 \text{ L}$$

$$= 2 \text{ mL}$$

Pembuatan larutan Cu 2 ppm dilakukan dengan melarutkan 2 mL larutan  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  100 ppm dalam labu ukur 100 mL dan ditandabatkan menggunakan aquades.

**c. Larutan Cu 3 ppm**

$$\begin{aligned} V_1 \times M_1 &= V_2 \times M_2 \\ V_1 \times 100 \text{ ppm} &= 0,1 \text{ L} \times 3 \text{ ppm} \\ V_1 &= \frac{0,1 \text{ L} \times 3 \text{ ppm}}{100 \text{ ppm}} \\ &= 0,003 \text{ L} \\ &= 3 \text{ mL} \end{aligned}$$

Pembuatan larutan Cu 3 ppm dilakukan dengan melarutkan 3 mL larutan  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  100 ppm dalam labu ukur 100 mL dan ditandabatkan menggunakan aquades.

**d. Larutan Cu 4 ppm**

$$\begin{aligned} V_1 \times M_1 &= V_2 \times M_2 \\ V_1 \times 100 \text{ ppm} &= 0,1 \text{ L} \times 4 \text{ ppm} \\ V_1 &= \frac{0,1 \text{ L} \times 4 \text{ ppm}}{100 \text{ ppm}} \\ &= 0,004 \text{ L} \\ &= 4 \text{ mL} \end{aligned}$$

Pembuatan larutan Cu 4 ppm dilakukan dengan melarutkan 4 mL larutan  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  100 ppm dalam labu ukur 100 mL dan ditandabatkan menggunakan aquades.

**e. Larutan Cu 5 ppm**

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

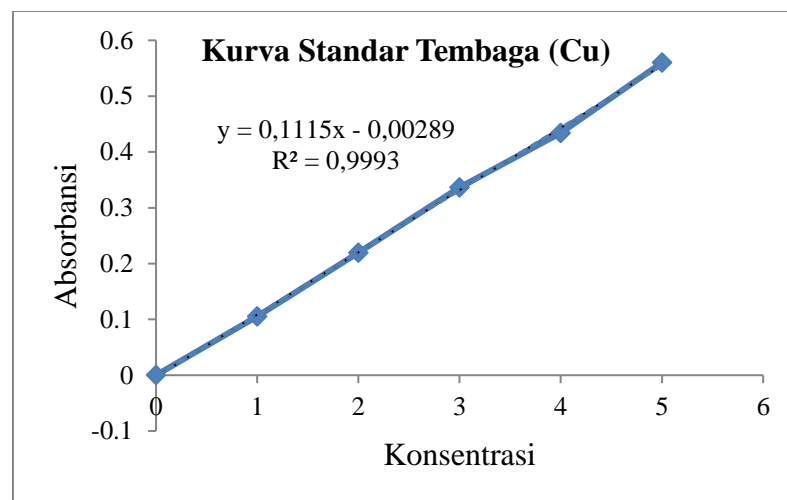
$$\begin{aligned}V_1 \times 100 \text{ ppm} &= 0,1 \text{ L} \times 5 \text{ ppm} \\V_1 &= \frac{0,1 \text{ L} \times 5 \text{ ppm}}{100 \text{ ppm}} \\&= 0,005 \text{ L} \\&= 5 \text{ mL}\end{aligned}$$

Pembuatan larutan Cu 5 ppm dilakukan dengan melarutkan 5 mL larutan  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  100 ppm dalam labu ukur 100 mL dan ditandabatkan menggunakan aquades.

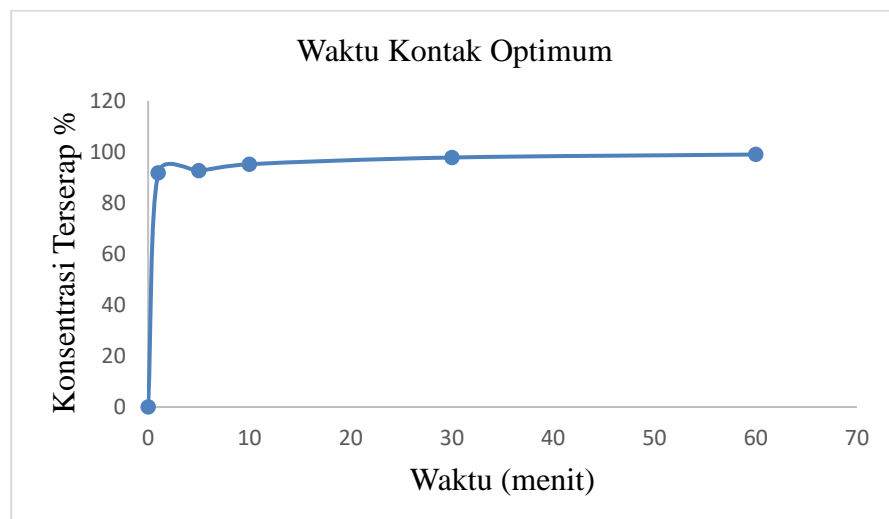
## Lampiran 4. Data Hasil Penelitian

### 4.1 Kurva Standar Logam Timbal (Pb)

Konsentrasi	Absorbansi
0 ppm	0,0001
1 ppm	0,1054
2 ppm	0,2193
3 ppm	0,3364
4 ppm	0,4339
5 ppm	0,56



### 4.2 Penentuan Waktu Kontak Optimum Adsorpsi



waktu (s)	Abs awal	Abs Akhir	Abs Rata2	V (L)	W (g)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Co-Ce (mg/L)	Qe (mg/g)	%
0	0	0	0	0,05	0,5	-38,5813	-38,5813	0	0	0
1	0,2087	0,1387 0,1398	0,1392	0,05	0,5	33,6332	9,6020	24,0311	2,4031	71,4506
5	0,2087	0,1261 0,1179	0,122	0,05	0,5	33,6332	3,6332	30	3	89,1975
10	0,2087	0,1142 0,128	0,1211	0,05	0,5	33,6332	3,3217	30,3114	3,0311	90,1234
30	0,2087	0,1188 0,1126	0,1157	0,05	0,5	33,6332	1,4532	32,1799	3,2179	95,6790
60	0,2087	0,1092 0,1186	0,1139	0,05	0,5	33,6332	0,830	32,8027	3,2802	97,5308

$$\text{Kapasitas adsorpsi (Qe)} = \frac{Co-Ce}{W} \times V \implies Qe = \frac{24,03 \text{ mg/L}}{0,5 \text{ g}} \times 0,05 \text{ L}$$

$$= 2,403 \text{ mg/g}$$

### 4.3 Data Orde Satu

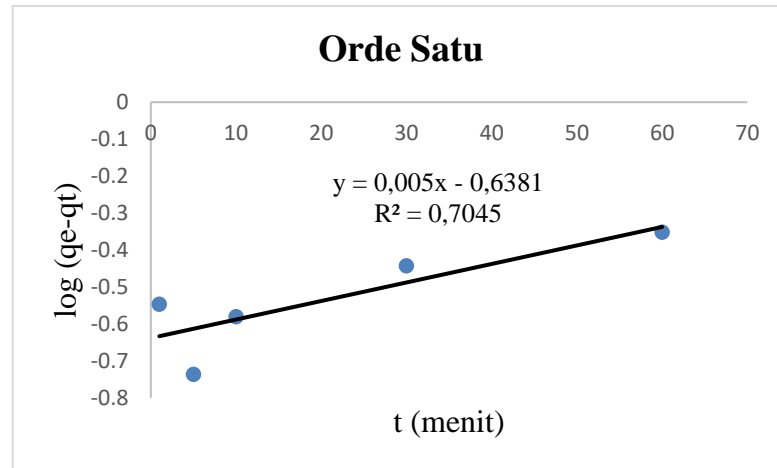
t	k1	qe	$\frac{K1 \cdot t}{2,303}$	log qe	log (qe-qt)	log qt
1	2,48	2,40311	1,07686	0,38077	-0,696082	-0,547
5	0,518	3	1,12462	0,47712	-0,647499	-0,7369
10	0,302	3,03114	1,31133	0,48161	-0,829727	-0,5804
30	0,127	3,21799	1,65436	0,50759	-1,146779	-0,4426
60	0,076	3,28028	1,98003	0,51591	-1,464116	-0,3524

Orde satu

$$\log (qe-qt) = \log qe - (k1.t/2,303)$$

$$\log (qe-qt) = (0,38077) - (1,07686)$$

$$= -0,696082$$

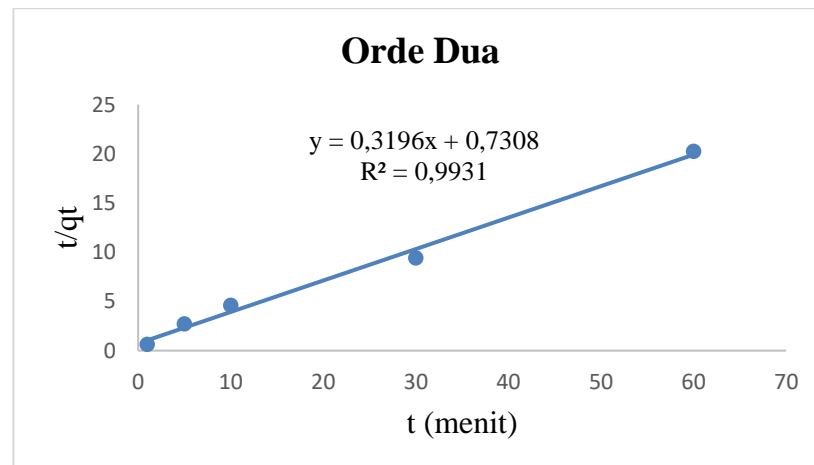


#### 4.4 Data Orde Dua

k2	t	qe	qe2	1/k2. qe2	(1/qe).t	t/qt
0,872	1	2,403114	5,774957	0,19858	0,416127	0,614706
0,1082	5	3	9	1,026905	1,666667	2,693572
0,0847	10	3,03114	9,187822	1,285003	3,299087	4,584089
1,099	30	3,21799	10,35548	0,087868	9,322581	9,410449
0,048	60	3,28028	10,76022	1,936144	18,29114	20,22728

Orde dua

$$\begin{aligned}
 t/qt &= 1/k2.qe2 + 1/qe.t \\
 &= 0,19858+0,416127 \\
 &= 0,614706
 \end{aligned}$$





**4.5 Data pH Optimum Adsorpsi**

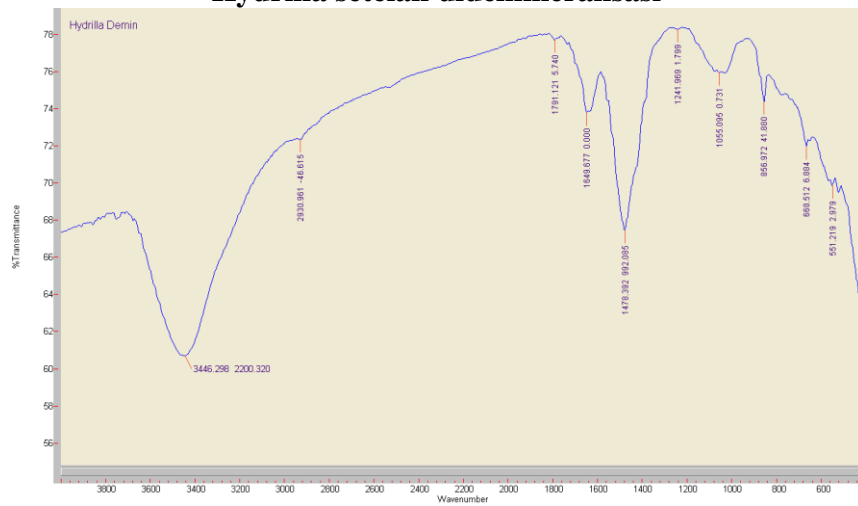
pH	Konsentrasi awal (ppm)	Konsentrasi akhir (ppm)	Konsentrasi terserap (%)
4	117,84	1,0484	99,11031908
5	113,089	0,9574	99,15341015
6	95,6	0,99105	98,96333682
7	65,255	1,44975	97,77833116
8	58,829	1,2093	97,94438117

## 4.6 Karakterisasi FTIR

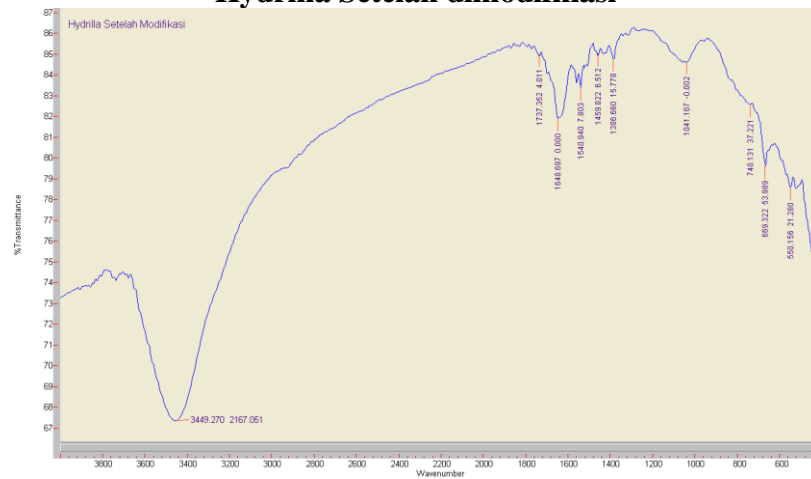
### Hydrilla Alami



### Hydrilla setelah didemineralisasi



### Hydrilla Setelah dimodifikasi





## 4.7 Hasil Uji Anova

```
EXAMINE VARIABLES=Kadar BY pH
/PLOT BOXPLOT STEMLEAF NPLOT
/COMPARE GROUPS
/STATISTICS DESCRIPTIVES
/CINTERVAL 95
/MISSING LISTWISE
/NOTOTAL.
```

### Explore

		Notes	
Output Created			16-APR-2021 08:10:07
Comments			
Input	Active Dataset	DataSet2	
	Filter	<none>	
	Weight	<none>	
	Split File	<none>	
Missing Value Handling	N of Rows in Working Data File		10
	Definition of Missing	User-defined missing values for dependent variables are treated as missing. Statistics are based on cases with no missing values for any dependent variable or factor used.	
	Cases Used	EXAMINE VARIABLES=Kadar BY pH /PLOT BOXPLOT STEMLEAF NPLOT /COMPARE GROUPS /STATISTICS DESCRIPTIVES /CINTERVAL 95 /MISSING LISTWISE /NOTOTAL.	
Syntax			
Resources	Processor Time		00:00:03.16
	Elapsed Time		00:00:02.72

### pH

Case Processing Summary

		Cases					
		Valid		Missing		Total	
pH		N	Percent	N	Percent	N	Percent
Kadar	pH 4	2	100.0%	0	0.0%	2	100.0%
	pH 5	2	100.0%	0	0.0%	2	100.0%
	pH 6	2	100.0%	0	0.0%	2	100.0%
	pH 7	2	100.0%	0	0.0%	2	100.0%
	pH 8	2	100.0%	0	0.0%	2	100.0%

## Descriptives

pH		Statistic	Std. Error		
Kadar	pH 4	Mean	99.1050	.04500	
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	98.5332	
			Upper Bound	99.6768	
		5% Trimmed Mean			
		Median	99.1050		
		Variance	.004		
		Std. Deviation	.06364		
		Minimum	99.06		
		Maximum	99.15		
		Range	.09		
		Interquartile Range			
		Skewness			
		Kurtosis			
			pH 5	Mean	99.1450
95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound			98.9544	
	Upper Bound			99.3356	
5% Trimmed Mean					
Median	99.1450				
Variance	.000				
Std. Deviation	.02121				
Minimum	99.13				
Maximum	99.16				
Range	.03				
Interquartile Range					
Skewness					
Kurtosis					
	pH 6			Mean	98.9600
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	98.4518	
			Upper Bound	99.4682	
		5% Trimmed Mean			
		Median	98.9600		
		Variance	.003		
		Std. Deviation	.05657		
		Minimum	98.92		
		Maximum	99.00		
		Range	.08		
		Interquartile Range			
		Skewness			
		Kurtosis			
			pH 7	Mean	97.7750
95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound			97.3303	

	Mean	Upper Bound	98.2197	
	5% Trimmed Mean		.	
	Median		97.7750	
	Variance		.002	
	Std. Deviation		.04950	
	Minimum		97.74	
	Maximum		97.81	
	Range		.07	
	Interquartile Range		.	
	Skewness		.	.
	Kurtosis		.	.
pH 8	Mean		97.9400	.06000
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	97.1776	
		Upper Bound	98.7024	
	5% Trimmed Mean		.	
	Median		97.9400	
	Variance		.007	
	Std. Deviation		.08485	
	Minimum		97.88	
	Maximum		98.00	
	Range		.12	
	Interquartile Range		.	
	Skewness		.	.
	Kurtosis		.	.

#### Tests of Normality

	pH	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>		
		Statistic	df	Sig.
Kadar	pH 4	.260	2	.
	pH 5	.260	2	.
	pH 6	.260	2	.
	pH 7	.260	2	.
	pH 8	.260	2	.

a. Lilliefors Significance Correction

## Kadar

## Stem-and-Leaf Plots

Kadar Stem-and-Leaf Plot for  
pH= pH 4

Frequency	Stem &	Leaf
1.00	990 .	6
1.00	991 .	5
Stem width:	.10	
Each leaf:	1 case(s)	

Kadar Stem-and-Leaf Plot for  
pH= pH 5

Frequency	Stem &	Leaf
1.00	991 .	3
1.00	991 .	6
Stem width:	.10	
Each leaf:	1 case(s)	

Kadar Stem-and-Leaf Plot for  
pH= pH 6

Frequency	Stem &	Leaf
1.00	989 .	2
1.00	990 .	0
Stem width:	.10	
Each leaf:	1 case(s)	

Kadar Stem-and-Leaf Plot for  
pH= pH 7

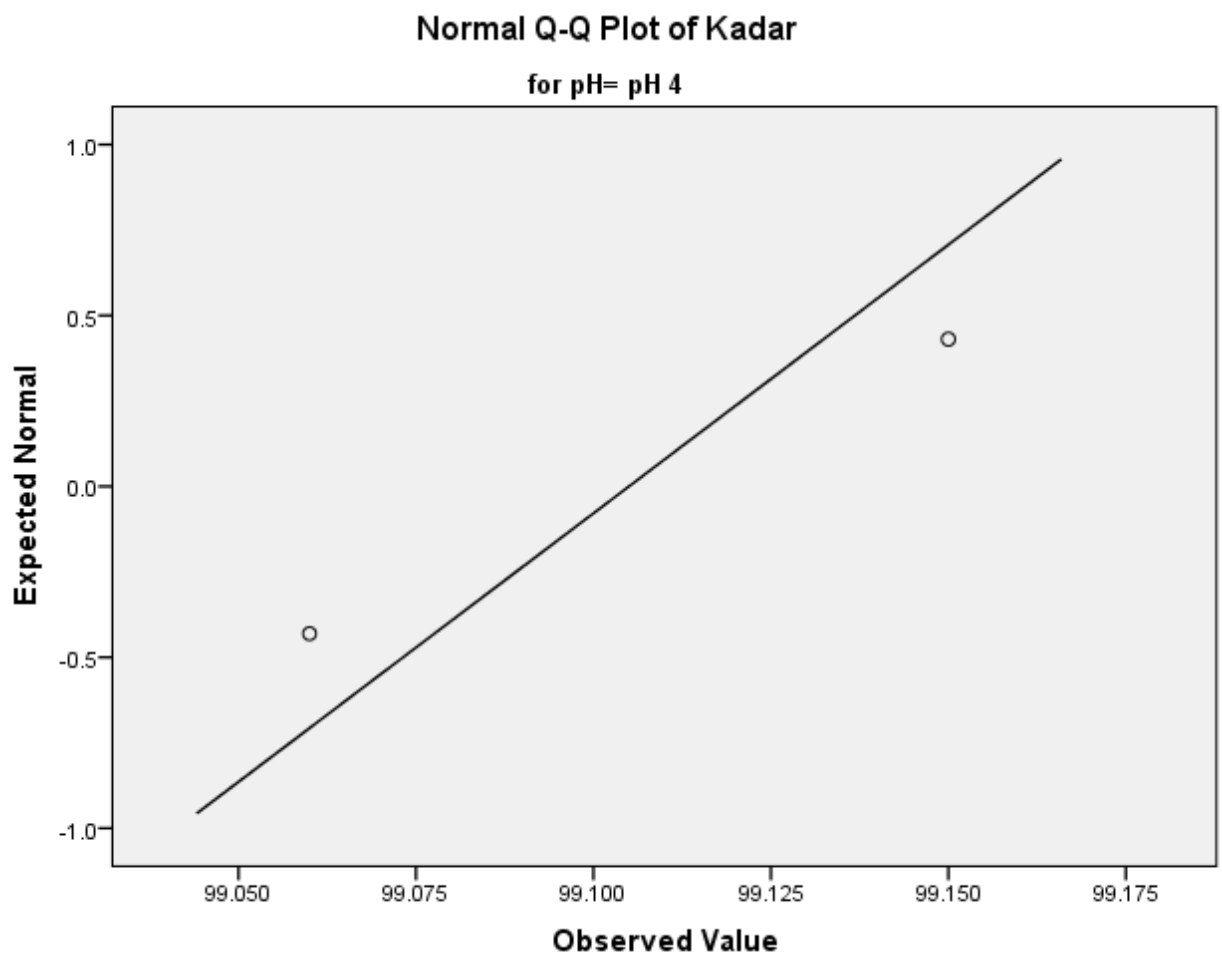
Frequency	Stem &	Leaf
1.00	977 .	4
1.00	978 .	1
Stem width:	.10	
Each leaf:	1 case(s)	

Kadar Stem-and-Leaf Plot for  
pH= pH 8

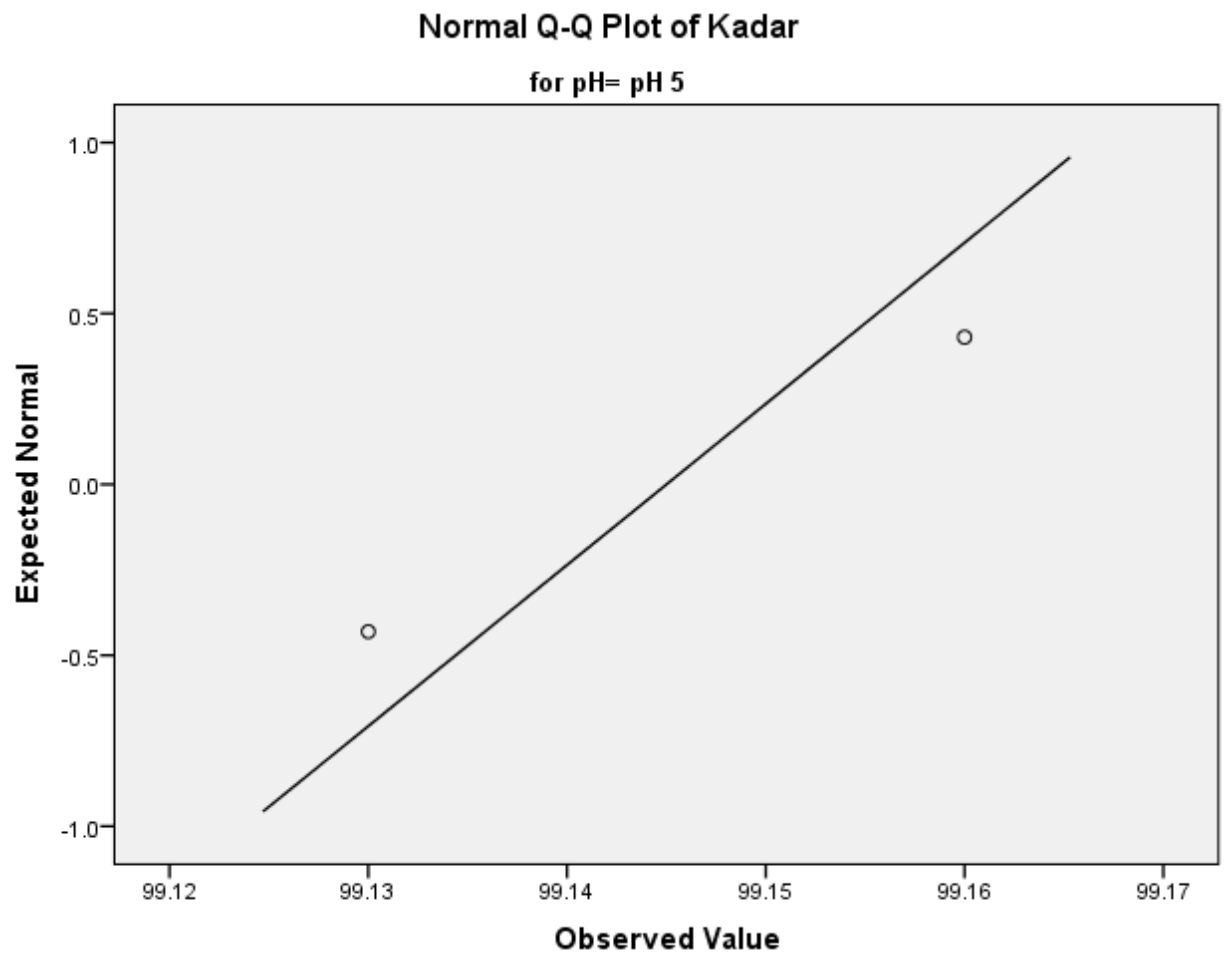
Frequency	Stem &	Leaf
1.00	978 .	8
.00	979 .	
1.00	980 .	0

Stem width: .10  
Each leaf: 1 case(s)

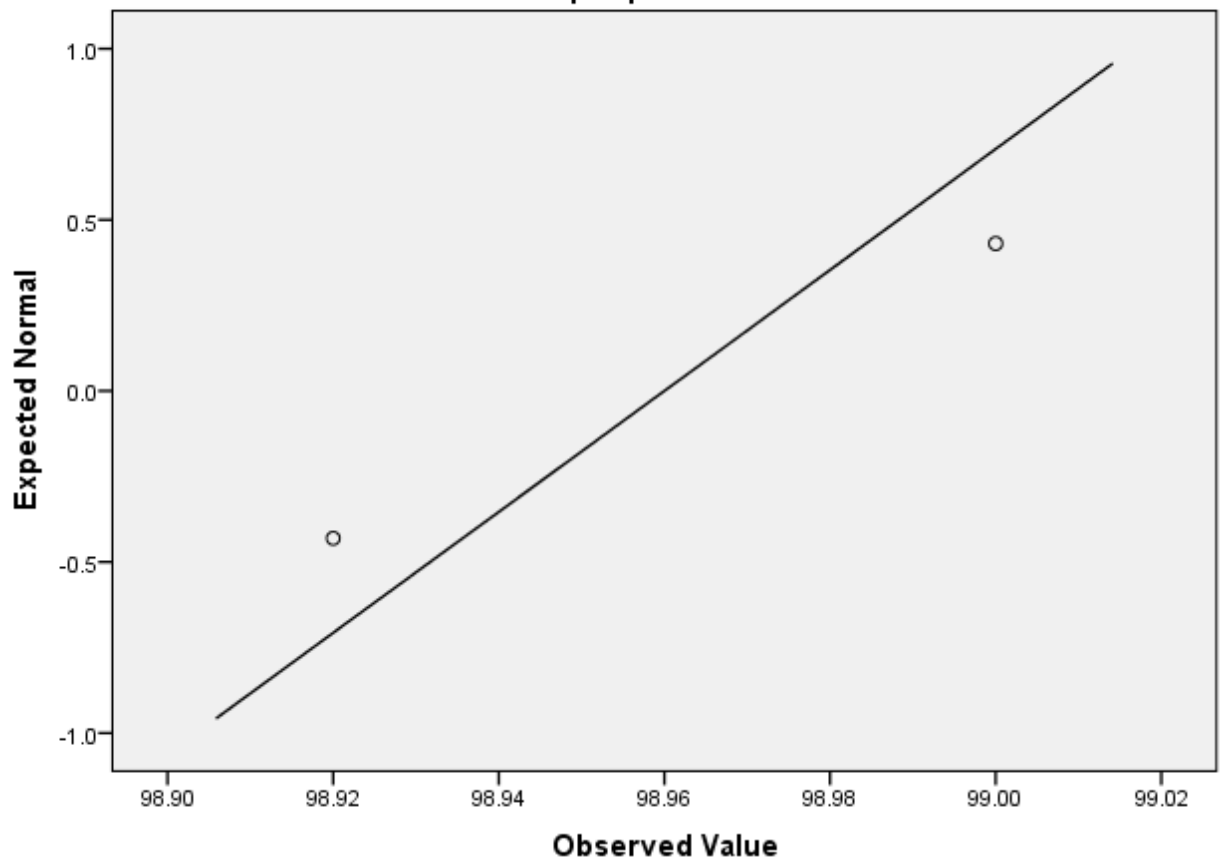
## Normal Q-Q Plots



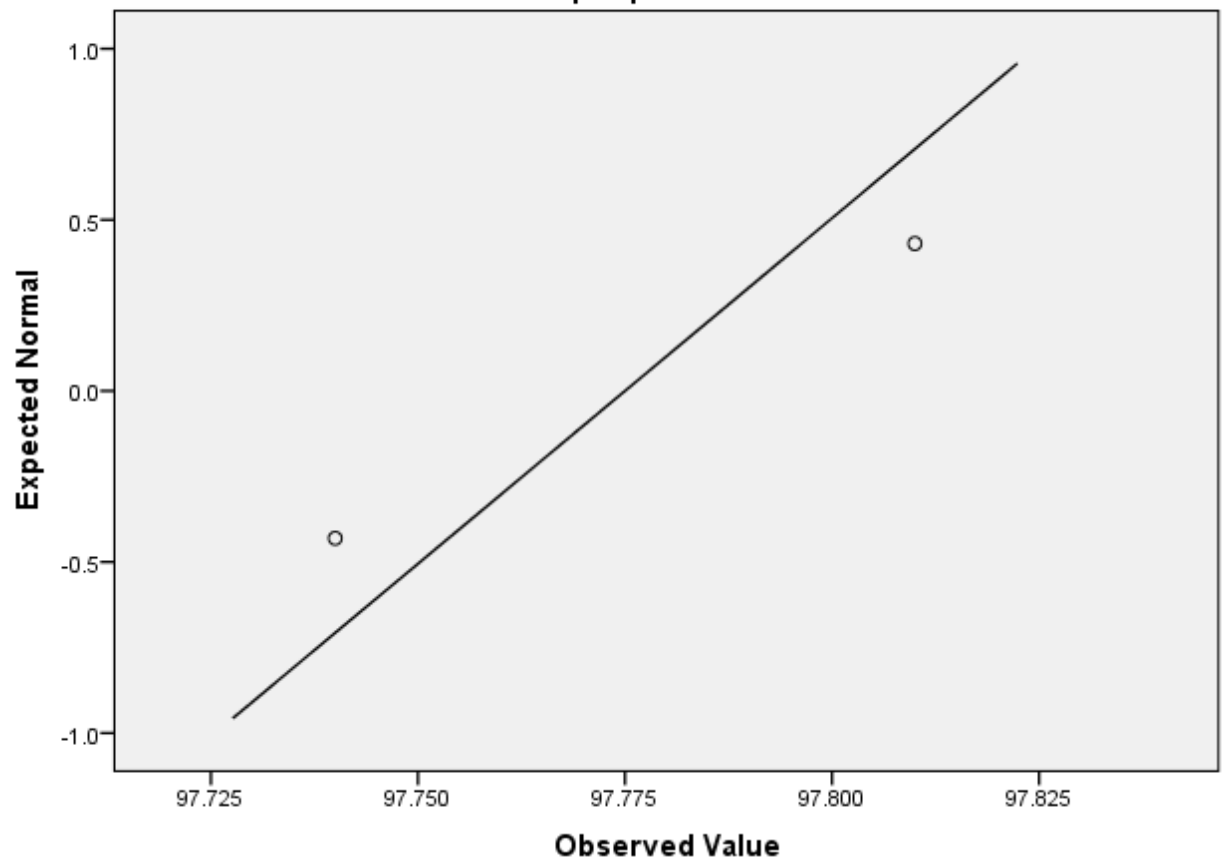


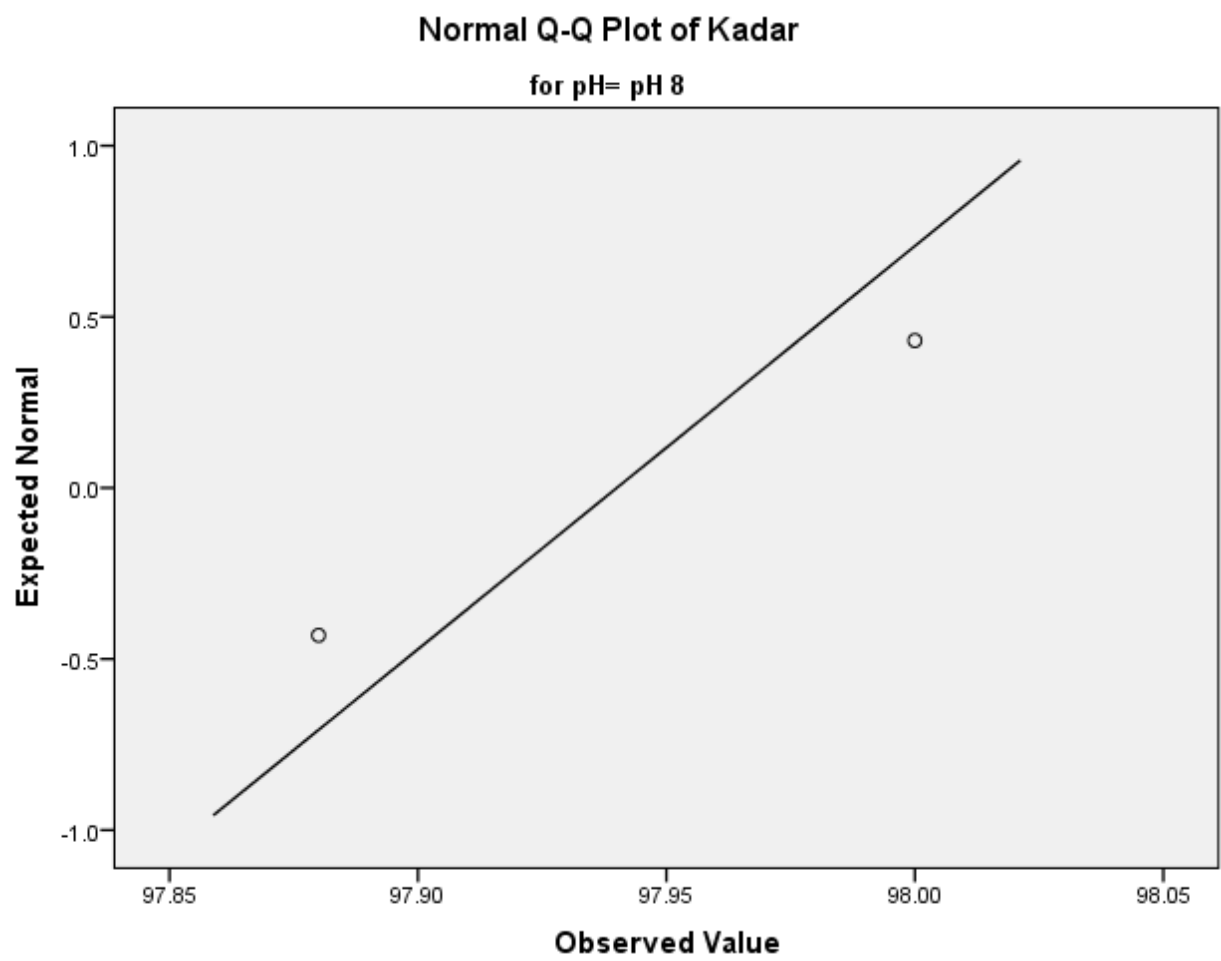


Normal Q-Q Plot of Kadar  
for pH= pH 6

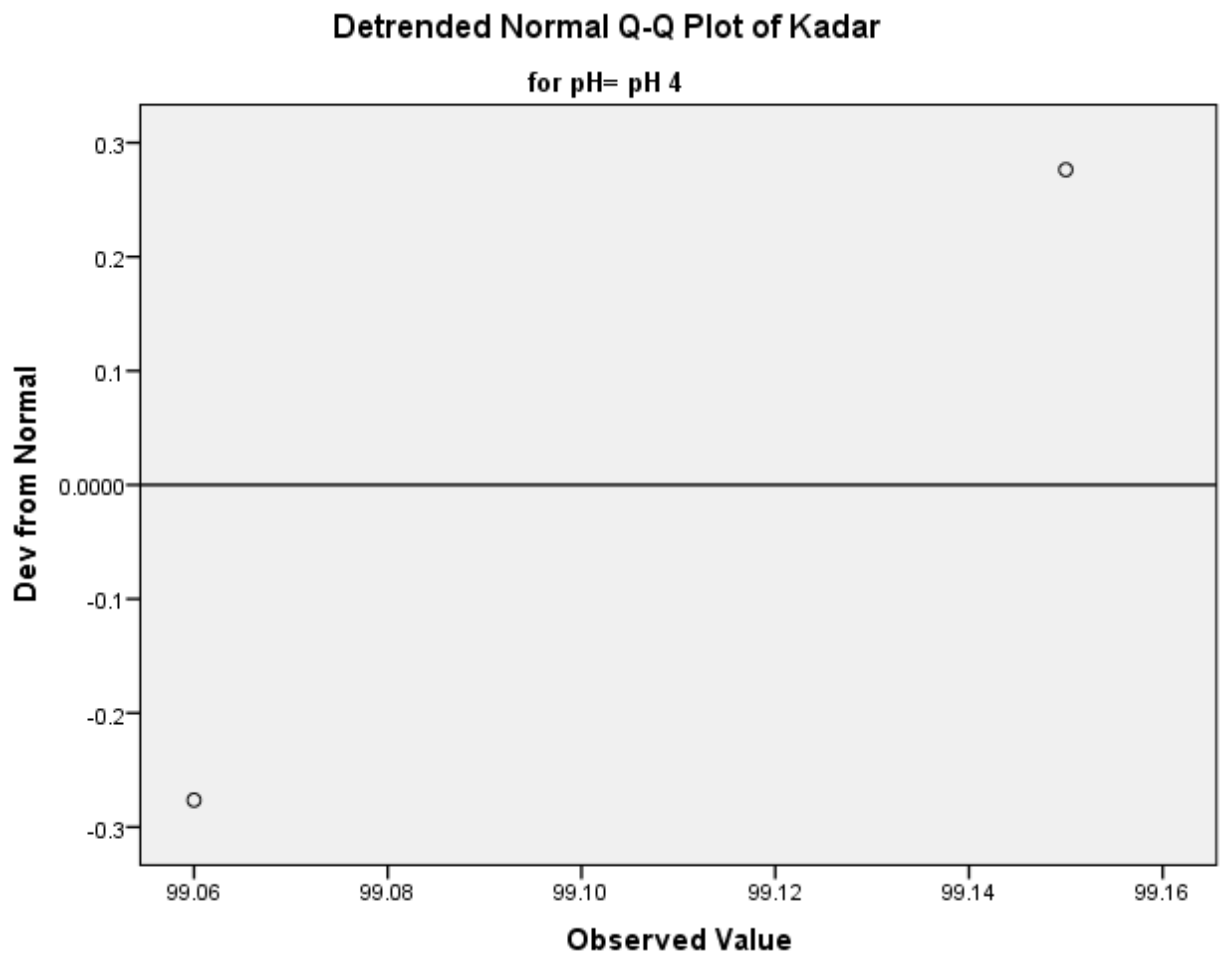


Normal Q-Q Plot of Kadar  
for pH= pH 7

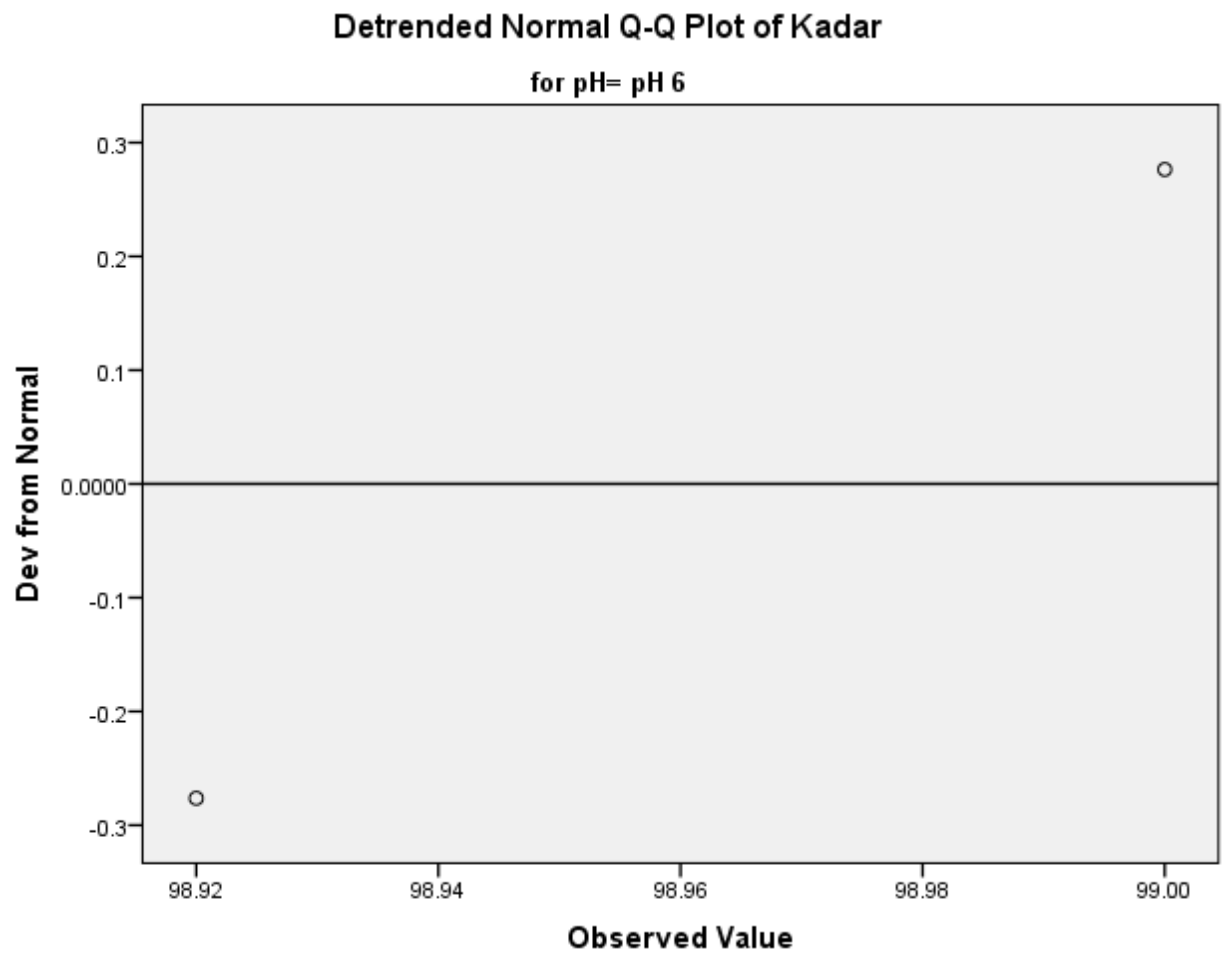


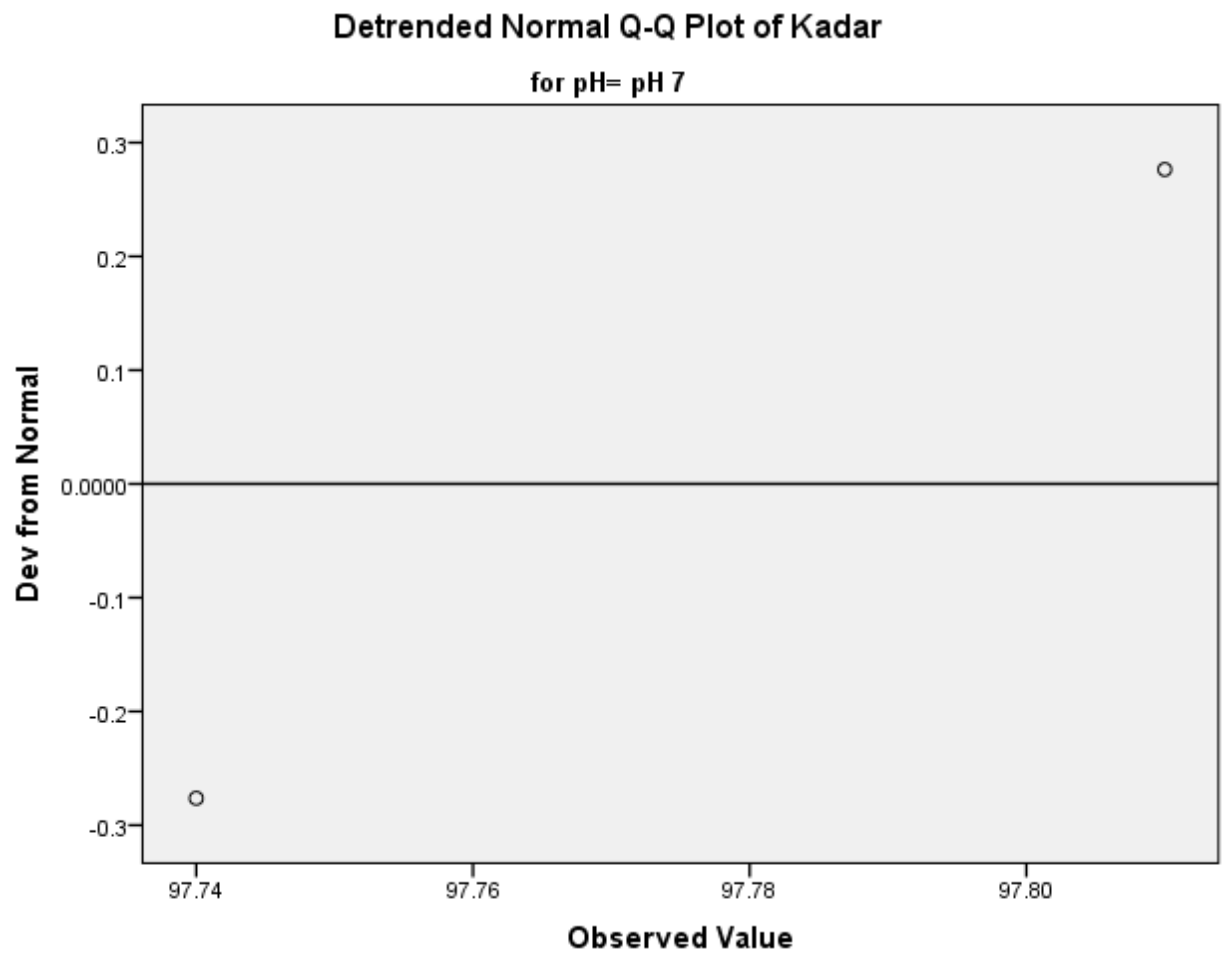


**Detrended Normal Q-Q Plots**

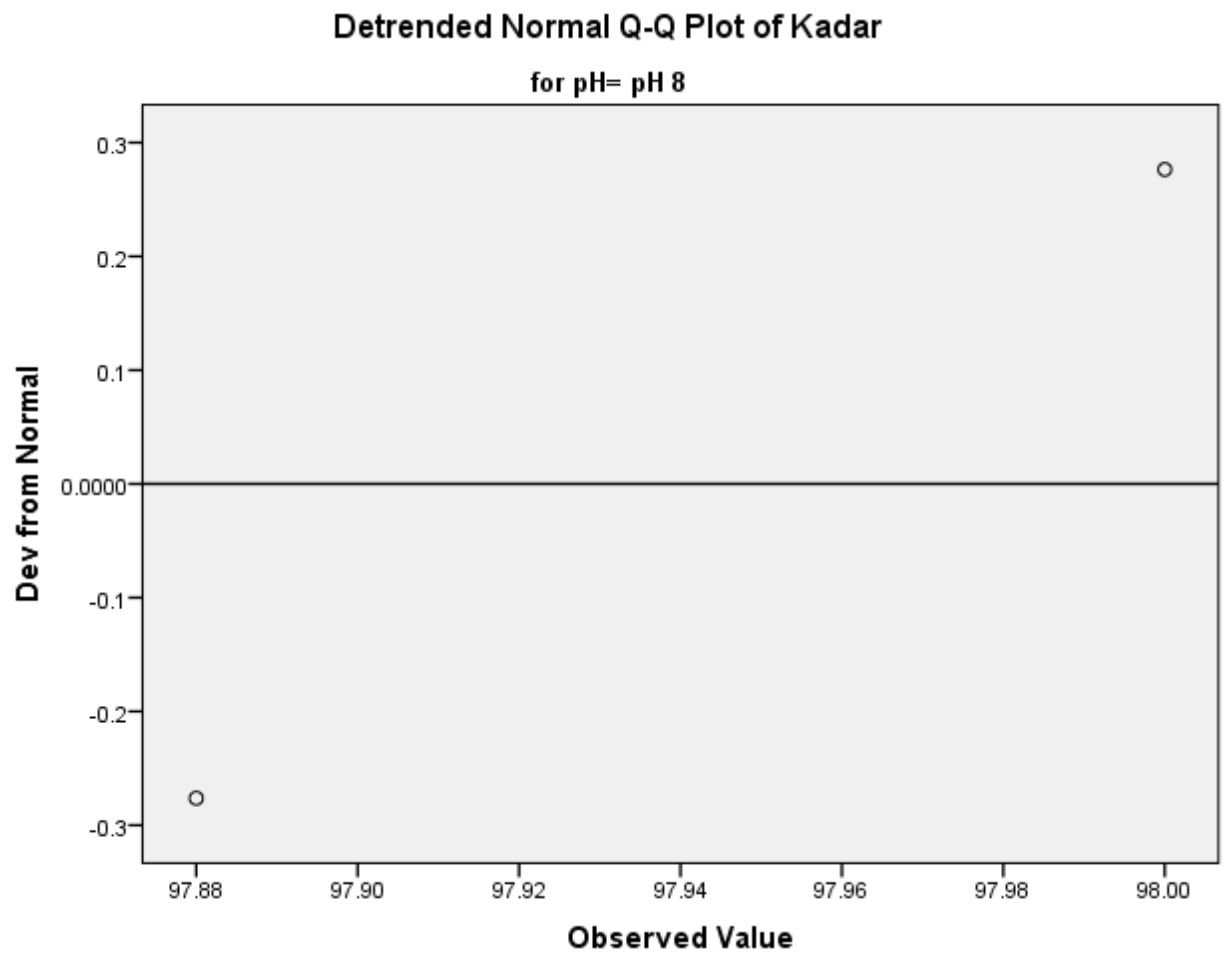


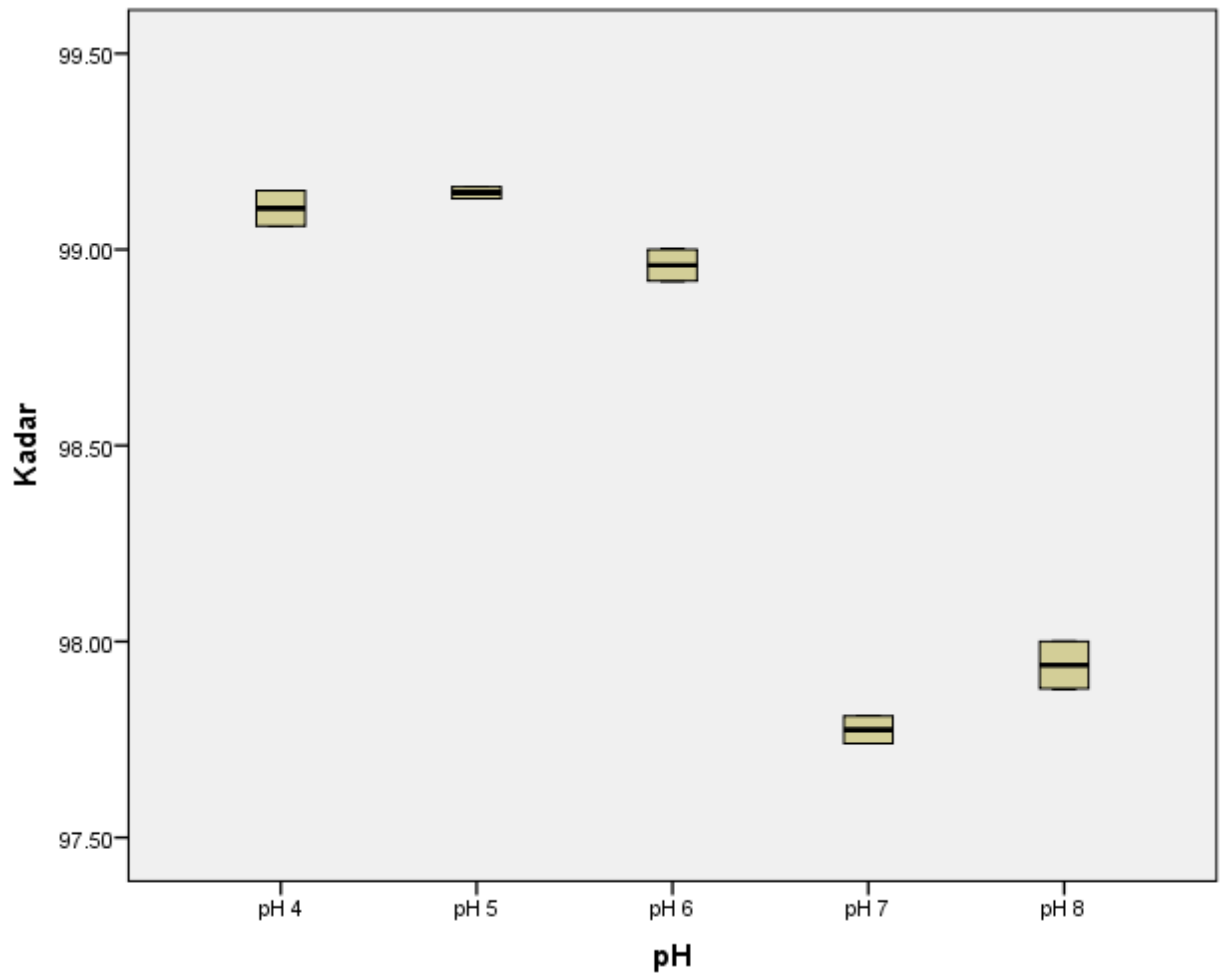












```

ONEWAY Kadar BY pH
  /STATISTICS DESCRIPTIVES
  /MISSING ANALYSIS
  /POSTHOC=TUKEY LSD ALPHA(0.05) .

```

## Oneway

### Notes

Output Created		16-APR-2021 08:12:01
Comments		
Input	Active Dataset	DataSet2
	Filter	<none>
	Weight	<none>
	Split File	<none>
	N of Rows in Working Data File	

Missing Value Handling	Definition of Missing	User-defined missing values are treated as missing. Statistics for each analysis are based on cases with no missing data for any variable in the analysis. ONEWAY Kadar BY pH /STATISTICS DESCRIPTIVES /MISSING ANALYSIS /POSTHOC=TUKEY LSD ALPHA(0.05).
Syntax	Cases Used	
Resources	Processor Time	00:00:00.03
	Elapsed Time	00:00:00.08

### Descriptives

Kadar

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
pH 4	2	99.1050	.06364	.04500	98.5332	99.6768	99.06	
pH 5	2	99.1450	.02121	.01500	98.9544	99.3356	99.13	
pH 6	2	98.9600	.05657	.04000	98.4518	99.4682	98.92	
pH 7	2	97.7750	.04950	.03500	97.3303	98.2197	97.74	
pH 8	2	97.9400	.08485	.06000	97.1776	98.7024	97.88	
Total	10	98.5850	.63341	.20030	98.1319	99.0381	97.74	

### ANOVA

Kadar

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3.593	4	.898	258.898	.000
Within Groups	.017	5	.003		
Total	3.611	9			

### Post Hoc Tests

#### Multiple Comparisons

Dependent Variable: Kadar

	(I) pH	(J) pH	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	pH 4	pH 5	-.04000	.05891	.953	-.2763	
		pH 6	.14500	.05891	.237	-.0913	
		pH 7	1.33000*	.05891	.000	1.0937	1.5663
		pH 8	1.16500*	.05891	.000	.9287	1.4013
	pH 5	pH 4	.04000	.05891	.953	-.1963	
		pH 6	.18500	.05891	.117	-.0513	
		pH 7	1.37000*	.05891	.000	1.1337	1.6063
		pH 8	1.20500*	.05891	.000	.9687	1.4413
	pH 6	pH 4	-.14500	.05891	.237	-.3813	
		pH 5	-.18500	.05891	.117	-.4213	
		pH 7	1.18500*	.05891	.000	.9487	1.4213
		pH 8	1.02000*	.05891	.000	.7837	1.2563

	pH 7	pH 4	-1.33000*	.05891	.000	-1.5663	-1
		pH 5	-1.37000*	.05891	.000	-1.6063	-1
		pH 6	-1.18500*	.05891	.000	-1.4213	-
		pH 8	-.16500	.05891	.166	-.4013	-
	pH 8	pH 4	-1.16500*	.05891	.000	-1.4013	-
		pH 5	-1.20500*	.05891	.000	-1.4413	-
		pH 6	-1.02000*	.05891	.000	-1.2563	-
		pH 7	.16500	.05891	.166	-.0713	-
LSD	pH 4	pH 5	-.04000	.05891	.527	-.1914	
		pH 6	.14500	.05891	.057	-.0064	
		pH 7	1.33000*	.05891	.000	1.1786	1
		pH 8	1.16500*	.05891	.000	1.0136	1
	pH 5	pH 4	.04000	.05891	.527	-.1114	
		pH 6	.18500*	.05891	.026	.0336	
		pH 7	1.37000*	.05891	.000	1.2186	1
		pH 8	1.20500*	.05891	.000	1.0536	1
pH 6	pH 4	-.14500	.05891	.057	-.2964	-	
	pH 5	-.18500*	.05891	.026	-.3364	-	
	pH 7	1.18500*	.05891	.000	1.0336	1	
	pH 8	1.02000*	.05891	.000	.8686	1	
pH 7	pH 4	-1.33000*	.05891	.000	-1.4814	-1	
	pH 5	-1.37000*	.05891	.000	-1.5214	-1	
	pH 6	-1.18500*	.05891	.000	-1.3364	-1	
	pH 8	-.16500*	.05891	.038	-.3164	-	
pH 8	pH 4	-1.16500*	.05891	.000	-1.3164	-1	
	pH 5	-1.20500*	.05891	.000	-1.3564	-1	
	pH 6	-1.02000*	.05891	.000	-1.1714	-	
	pH 7	.16500*	.05891	.038	.0136	-	

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

## Homogeneous Subsets

Kadar				
	pH	N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
Tukey HSD <sup>a</sup>	pH 7	2	97.7750	
	pH 8	2	97.9400	
	pH 6	2		98.9600
	pH 4	2		99.1050
	pH 5	2		99.1450
	Sig.			.166

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.

```

ONEWAY Kadar BY Waktu
  /STATISTICS DESCRIPTIVES
  /MISSING ANALYSIS
  /POSTHOC=TUKEY LSD ALPHA(0.05)

```

## Oneway

### Notes

Output Created		18-APR-2021 19:48:43
Comments		
Input	Active Dataset	DataSet0
	Filter	<none>
	Weight	<none>
	Split File	<none>
	N of Rows in Working Data File	10
Missing Value Handling	Definition of Missing	User-defined missing values are treated as missing.
	Cases Used	Statistics for each analysis are based on cases with no missing data for any variable in the analysis.
Syntax		ONEWAY Kadar BY Waktu /STATISTICS DESCRIPTIVES /MISSING ANALYSIS /POSTHOC=TUKEY LSD ALPHA(0.05).
Resources	Processor Time	00:00:00.05
	Elapsed Time	00:00:00.17

### Descriptives

Kadar

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
1 menit	2	71.4500	.80610	.57000	64.2075	78.6925	70.88	72.00
5 menit	2	89.2000	5.96798	4.22000	35.5798	142.8202	84.98	93.00
10 menit	2	90.1200	10.04092	7.10000	-.0941	180.3341	83.02	97.00
30 menit	2	95.6800	4.51134	3.19000	55.1472	136.2128	92.49	98.00
60 menit	2	97.5350	6.83772	4.83500	36.1005	158.9695	92.70	102.00
Total	10	88.7970	10.83878	3.42752	81.0434	96.5506	70.88	102.00

### ANOVA

Kadar

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	853.119	4	213.280	5.222	.049
Within Groups	204.193	5	40.839		
Total	1057.312	9			

### Post Hoc Tests

#### Multiple Comparisons

Dependent Variable: Kadar

	(I) Waktu	(J) Waktu	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	1 menit	5 menit	-17.75000	6.39051	.171	-43.3856	7.8856
		10 menit	-18.67000	6.39051	.147	-44.3056	6.9656
		30 menit	-24.23000	6.39051	.062	-49.8656	1.4056
		60 menit	-26.08500 <sup>*</sup>	6.39051	.047	-51.7206	-.4456
	5 menit	1 menit	17.75000	6.39051	.171	-7.8856	43.3856
		10 menit	-.92000	6.39051	1.000	-26.5556	24.7156
		30 menit	-6.48000	6.39051	.840	-32.1156	19.1556
		60 menit	-8.33500	6.39051	.701	-33.9706	17.3056

	10 menit	1 menit	18.67000	6.39051	.147	-6.9656	44.30
		5 menit	.92000	6.39051	1.000	-24.7156	26.55
		30 menit	-5.56000	6.39051	.897	-31.1956	20.07
		60 menit	-7.41500	6.39051	.773	-33.0506	18.22
	30 menit	1 menit	24.23000	6.39051	.062	-1.4056	49.86
		5 menit	6.48000	6.39051	.840	-19.1556	32.11
		10 menit	5.56000	6.39051	.897	-20.0756	31.19
		60 menit	-1.85500	6.39051	.998	-27.4906	23.78
	60 menit	1 menit	26.08500*	6.39051	.047	.4494	51.72
		5 menit	8.33500	6.39051	.701	-17.3006	33.97
		10 menit	7.41500	6.39051	.773	-18.2206	33.05
		30 menit	1.85500	6.39051	.998	-23.7806	27.49
LSD	1 menit	5 menit	-17.75000*	6.39051	.039	-34.1773	-1.32
		10 menit	-18.67000*	6.39051	.033	-35.0973	-2.24
		30 menit	-24.23000*	6.39051	.013	-40.6573	-7.80
		60 menit	-26.08500*	6.39051	.010	-42.5123	-9.65
	5 menit	1 menit	17.75000*	6.39051	.039	1.3227	34.17
		10 menit	-.92000	6.39051	.891	-17.3473	15.50
		30 menit	-6.48000	6.39051	.357	-22.9073	9.94
		60 menit	-8.33500	6.39051	.249	-24.7623	8.09
	10 menit	1 menit	18.67000*	6.39051	.033	2.2427	35.09
		5 menit	.92000	6.39051	.891	-15.5073	17.34
		30 menit	-5.56000	6.39051	.424	-21.9873	10.86
		60 menit	-7.41500	6.39051	.298	-23.8423	9.01
	30 menit	1 menit	24.23000*	6.39051	.013	7.8027	40.65
		5 menit	6.48000	6.39051	.357	-9.9473	22.90
		10 menit	5.56000	6.39051	.424	-10.8673	21.98
		60 menit	-1.85500	6.39051	.783	-18.2823	14.57
	60 menit	1 menit	26.08500*	6.39051	.010	9.6577	42.51
		5 menit	8.33500	6.39051	.249	-8.0923	24.76
		10 menit	7.41500	6.39051	.298	-9.0123	23.84
		30 menit	1.85500	6.39051	.783	-14.5723	18.28

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

## Homogeneous Subsets

Kadar				
	Waktu	N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
Tukey HSD <sup>a</sup>	1 menit	2	71.4500	
	5 menit	2	89.2000	89.2000
	10 menit	2	90.1200	90.1200
	30 menit	2	95.6800	95.6800
	60 menit	2		97.5350
	Sig.		.062	.701

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.



**Lampiran 5. Dokumentasi**



**Hydrilla alami**



**Proses pengayakan 100 mesh**



**Hasil Demineralisasi**



**Hasil Modifikasi**



**Proses shaker 200 rpm**



**Proses penyaringan filtrat**



**Proses pengujian analisa AAS**