

**PEMANFAATAN SELULOSA DARI KORAN
BEKAS TERAKTIVASI KOH SEBAGAI
ADSORBEN ION LOGAM Cu(II)**

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat Guna Memperoleh
Gelar Sarjana Sains
dalam Ilmu Kimia



Oleh: **Leni Sarastini Putri**

NIM: 1708036012

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO SEMARANG
2021**

**PEMANFAATAN SELULOSA DARI KORAN
BEKAS TERAKTIVASI KOH SEBAGAI
ADSORBEN ION LOGAM Cu(II)**

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat Guna Memperoleh
Gelar Sarjana Sains
dalam Ilmu Kimia

Oleh

Leni Sarastini Putri

1708036012

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO SEMARANG
2021**

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : Leni Sarastini Putri

NIM : 1708036012

Jurusan : Kimia

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul:

**PEMANFAATAN SELULOSA DARI KORAN BEKAS
TERAKTIVASI KOH SEBAGAI ADSORBEN ION LOGAM
Cu(II)**

Secara keseluruhan adalah hasil penelitian/karya saya sendiri, kecuali bagian tertentu yang dirujuk sumbernya.

Semarang, 11 Desember 2021

Pembuat Pernyataan,



Leni Sarastini Putri

NIM : 1708036012

PENGESAHAN

Judul : Pemanfaatan Selulosa dari Koran Bekas

Teraktivasi KOH sebagai Adsorben Ion Logam Cu(II)

Penulis : **Leni Sarastini Putri**

NIM : 1708036012

Jurusan : Kimia

Telah diujikan dalam sidang tugas akhir oleh Dewan Penguji Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo dan dapat diterima sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana dalam Ilmu Kimia.

Semarang, 29 Desember 2021

DEWAN PENGUJI

Ketua Sidang



Atik Rahmawati, S. Pd., M. Si.
NIP. 19750516 200604 2 002

Sekretaris Sidang



Kustomo, S. Pd., M. Sc
NIP. 19880226 201903 1 007

Penguji I



Dr. Ervin Tri Suryandari, M. Si.
NIP. 19740716 200912 2 008

Penguji II



Dr. Eng. Anissa Adiwena Putri, M. Sc
NIP. 19850405 201101 2 015

Pembimbing I



Kholidah, S. Si., M. Sc.
NIP. 19850811 201903 2 008

Pembimbing II



Kustomo, S. Pd., M. Sc
NIP. 19880226 201903 1 007

NOTA DINAS

Semarang, 17 Desember 2021

Yth. Ketua Program Studi Kimia
Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo Semarang

Assalamu'alaikum. Wr. Wb.

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : **Pemanfaatan Selulosa dari Koran Bekas
Teraktivasi KOH sebagai Adsorben Ion Logam
Cu(II)**

Nama : Leni Sarastini Putri

NIM : 1708036012

Jurusan: Kimia

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang untuk diujikan dalam Sidang Munaqosah.

Wassalamu'alaikum. Wr. Wb.

Dosen Pembimbing I



Kholidah, M. Sc.

 NIP. 198508112019032008

NOTA DINAS 2

Semarang, 17 Desember 2021

Yth. Ketua Program Studi Kimia
Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo Semarang

Assalamu'alaikum. Wr. Wb.

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : **Pemanfaatan Selulosa dari Koran Bekas
Teraktivasi KOH sebagai Adsorben Ion Logam
Cu(II)**

Nama : Leni Sarastini Putri

NIM : 1708036012

Jurusan: Kimia

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang untuk diujikan dalam Sidang Munaqosah.

Wassalamu'alaikum. Wr. Wb.

Dosen Pembimbing II



Kustomo, M. Sc.

NIP. 198802262019031007

ABSTRAK

Perkembangan kegiatan industri terutama sektor penambangan serta pengelasan logam akan meningkatkan permasalahan lingkungan, salah satunya adalah pencemaran air oleh logam berat Cu(II) yang melebihi ambang batas akibat dari pembuangan limbah industri ke lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan solusi alternatif untuk mengatasi permasalahan tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi adsorpsi logam berat Cu(II) oleh adsorben dari koran bekas yang mengandung selulosa dengan KOH sebagai aktivator yang diharapkan dapat mengurangi kadar logam berat Cu(II) pada perairan. Variabel yang digunakan yaitu pH larutan, dosis adsorben, waktu kontak, serta konsentrasi larutan. Koran bekas diaktivasi dengan KOH kemudian dikeringkan dan dikalsinasi. Kemudian dilakukan tahap adsorpsi terhadap variasi yang telah ditentukan. Larutan Cu(II) hasil adsorpsi dianalisis dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) untuk mengetahui efisiensi adsorpsinya. Pengujian juga dilakukan dengan instrumen FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) terhadap kertas koran bekas non-aktivasi (KKB-NA), teraktivasi KOH tanpa kalsinasi (KKB-TTK), serta teraktivasi KOH dan terkalsinasi (KKB-TT) untuk mengetahui gugus fungsi yang berperan dalam proses adsorpsi. Hasil karakterisasi FTIR menunjukkan adanya gugus fungsi karbonil dan hidroksil sebagai pengikat adsorbat. Efisiensi adsorpsi terbaik terjadi pada pH 5, massa adsorben 0,02 gram, waktu kontak 3 jam, dan konsentrasi awal larutan sebesar 15,5 ppm, dengan nilai Q_e sebesar 15,33 mg/g dan efisiensi adsorpsi sebesar 98,90%. Kinetika kimia pada penelitian ini mengikuti persamaan kinetika pseudo orde 2 dengan $R^2 = 0,9999$ serta merupakan isoterm adsorpsi Langmuir dengan nilai R^2 sebesar 0,9876 dan nilai K_L sebesar 1,199142764 serta nilai Q_{max} sebesar 2,749518834.

Kata Kunci : *Logam Cu, Adsorben, Koran Bekas*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Alhamdulillahillobbil Alamiin.

Puji serta syukur penulis panjatkan atas berkat dan rahmat Allah SWT yang telah melimpahkan karunia-Nya, sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini dengan sebaik-baiknya. Shalawat serta salam tidak lupa penulis panjatkan kepada panutan umat Islam yaitu baginda Rasulullah SAW yang telah membawa manusia dari kehidupan yang gelap menuju kehidupan yang terang benderang dengan penuh *Rahmatan Lil'alamin*.

Skripsi yang berjudul "Pemanfaatan Selulosa dari Koran Bekas Teraktivasi KOH sebagai Adsorben Ion Logam Cu(II)" disusun untuk memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Strata Satu Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari doa, bimbingan, serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. H. Imam Taufiq, M.Ag. sebagai Rektor UIN Walisongo Semarang.
2. DR. H. Ismail, M.Ag. sebagai Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang.

3. Hj. Malikhatul Hidayah, S.T., M.Pd. sebagai Ketua Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang.
4. Kholidah, M.Sc. sebagai Dosen Pembimbing I.
5. Kustomo, M.Sc. sebagai Dosen Pembimbing II.
6. Bapak/Ibu dosen Program Studi Kimia, serta sivitas akademik Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang yang telah memberikan banyak ilmu kepada penulis selama menempuh pendidikan.
7. Keluarga penulis yaitu Ayah dan Mamah yang selalu memberikan doa terbaik untuk putrinya. Terima kasih atas perjuangan luar biasa serta pengorbanan yang tiada ternilai.
8. Lukmanul Hakim yang selalu memberikan dukungan, semangat dan motivasi terbaik di setiap waktu.
9. Nurmilatillah, Awwalunisa Aliya Kusuma, Salma Nabila yang selalu menemani dan memberikan dukungan terbaik.
10. Teman-teman Program Studi Kimia Angkatan 2017 Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang yang telah memberikan kesan terbaik dalam pertemanan
11. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi diri sendiri serta Mahasiswa Prodi Kimia UIN Walisongo Semarang khususnya dan rekan-rekan pembaca pada umumnya. Penulis juga berharap semoga skripsi ini dapat berperan dalam kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Semarang, 11 Desember 2021

Penulis

DAFTAR ISI

COVER

HALAMAN JUDUL

PERNYATAAN KEASLIAN	i
PENGESAHAN	ii
NOTA DINAS.....	iii
NOTA DINAS 2.....	iv
ABSTRAK.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	5
C. Tujuan Penelitian	5
D. Manfaat Penelitian.....	6
BAB II	7
LANDASAN TEORI DAN KAJIAN PUSTAKA.....	7
A. Landasan Teori.....	7
1. Limbah Industri.....	7
2. Pencemaran Air.....	8
3. Logam Berat Cu(II).....	10
4. Selulosa	12
5. Adsorben	13
6. Aktivasi	14
7. Adsorpsi.....	16
8. Isoterm Adsorpsi	19
9. Kinetika Adsorpsi.....	21
10. Selektivitas Adsorpsi.....	23
12. Spektrofotometri Serapan Atom (SSA).....	24
13. Spektroskopi FTIR (<i>Fourier Transform Infra Red</i>)..	26

B. Kajian Pustaka	28
C. Hipotesis	29
BAB III.....	30
METODE PENELITIAN	30
A. Alat dan Bahan	30
1. Alat.....	30
2. Bahan	30
B. Metode dan Analisa Data	30
1. Tahap Preparasi	30
2. Tahap Aktivasi dan Kalsinasi.....	31
3. Tahap Adsorpsi Uji Coba.....	32
4. Tahap Adsorpsi.....	33
C. Karakterisasi	35
BAB IV	36
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	36
A. Pembuatan Adsorben.....	37
B. Karakterisasi Adsorben dengan FTIR.....	41
C. Optimasi Kondisi Adsorpsi	48
BAB V.....	70
SIMPULAN.....	70
A. Simpulan.....	70
B.Saran.....	71
DAFTAR PUSTAKA.....	xiii
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Struktur Selulosa	13
Gambar 2. 2 Mekanisme Adsorpsi (Worch, 2012)	16
Gambar 2. 3 Bagian-bagian SSA (Hasanah N., 2015).....	25
Gambar 2.4 Cara Kerja Instrumentasi FTIR (Gunawan <i>et al.</i> , 2010).....	28
Gambar 4. 1 Spektra FTIR Adsorben Non Aktivasi	42
Gambar 4. 2 Spektra FTIR Adsorben Teraktivasi KOH 30%..	46
Gambar 4. 3 Spektra FTIR Adsorben Terkalsinasi	48
Gambar 4.4 Spektra FTIR Adsorben Non Aktivasi, Aktivasi, dan Kalsinasi	48
Gambar 4. 5 Pengaruh Aktivasi dan Kalsinasi Terhadap Efisiensi Adsorpsi (%R)	50
Gambar 4. 6 Pengaruh pH terhadap Efisiensi Adsorpsi	52
Gambar 4. 7 Pengaruh Massa Adsorben Terhadap Efisiensi Adsorpsi.....	55
Gambar 4. 8 Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Efisiensi Adsorpsi.....	58
Gambar 4.9 Kinetika Pseudo Orde 1	60
Gambar 4. 10 Kinetika Pseudo Orde 2.....	62
Gambar 4. 11 Pengaruh Konsentrasi Larutan terhadap Efisiensi Adsorpsi	64
Gambar 4. 12 Isoterm Adsorpsi Langmuir	67
Gambar 4. 13 Isoterm Adsorpsi Freundlich.....	68

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Pengamatan Fisik.....	41
Tabel 4. 2 Kinetika Adsorpsi Cu(II) dengan Adsorben KKB-TT	60
Tabel 4. 3 Kapasitas Adsorpsi Pseudo Orde 2.....	61
Tabel 4. 4 Kinetika Adsorpsi Cu(II) dengan Adsorben KKB-TT	62
Tabel 4. 5 Isoterm Adsorpsi Logam Cu(II) dengan Adsorben KKB-TT	66
Tabel 4. 6 Data Penghitungan Isoterm Adsorpsi Langmuir ...	66
Tabel 4. 7 Data Penghitungan Isoterm Adsorpsi Freundlich.	68

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kegiatan perindustrian terutama sektor penambangan serta pengelasan logam tentu menimbulkan permasalahan lingkungan yang dapat mengganggu keseimbangan ekosistem. Salah satu permasalahan lingkungan yang sering terjadi ialah pencemaran pada lingkungan perairan seperti laut, sungai, danau, serta air dalam tanah yang disebabkan oleh pembuangan limbah industri. Pencemaran adalah masuknya zat-zat organik atau sisa pembuangan limbah ke dalam lingkungan. Pembuangan limbah industri yang dilakukan tanpa melalui pengolahan yang tepat akan berdampak pada kesehatan masyarakat sekitar. Limbah industri yang dibuang langsung ke lingkungan perairan dapat menurunkan kualitas fisik, kimia, dan biologi air serta berdampak pada organisme lain. Air dikatakan tercemar apabila tidak dapat lagi digunakan sesuai fungsinya, akibat dari kualitasnya yang menurun. Kualitas air berhubungan dengan sifat air serta komponen-komponen dalam air seperti makhluk hidup, zat, dan energi (Sahabuddin *et al.*, 2014). Salah satu penyebab kualitas air dapat menurun ialah karena logam berat yang melebihi ambang batas yang terdapat dalam lingkungan perairan.

Logam berat umumnya bersifat racun terhadap makhluk hidup (La Ode *et al.*, 2019). Logam berat yang berada di lingkungan perairan secara langsung dapat membahayakan kehidupan biota akuatik yang kemudian berpengaruh secara tidak langsung terhadap kesehatan manusia. Pada penelitian ini, logam berat Cu dipilih karena tingginya potensi industri yang dapat menghasilkan limbah logam berat tersebut. Logam berat Cu dapat bersumber dari limbah industri serta domestik, kegiatan pengelasan logam, kegiatan penambangan, dan proses pencucian mineral. Logam berat Cu dapat bersifat toksik pada manusia sehingga menyebabkan reaksi alergi yang ditandai dengan rasa gatal serta dapat menyebabkan iritasi. Paparan logam Cu pada dosis besar dapat menyebabkan gangguan pada fungsi hati serta ginjal (Zhang *et al.*, 2013). Kematian dapat terjadi pada biota akuatik yang berada di perairan dengan konsentrasi ion logam Cu(II) mencapai 2,5-3,0 ppm (Imelda *et al.*, 2019). Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 492 tahun 2010 menjelaskan bahwa kadar Cu(II) maksimal dalam badan perairan lingkungan yakni sebesar 2 ppm (Lieswito, 2019).

Limbah industri harus melalui proses pengolahan sebelum dibiarkan mengalir ke lingkungan untuk

meminimalisir kadar logam berat dalam perairan. Beberapa metode pengolahan yang sudah sering digunakan untuk mengurangi pencemaran logam berat dalam perairan diantaranya adalah dengan cara adsorpsi, presipitasi kimia, filtrasi, elektrokimia, pertukaran ion, teknologi membran, pelapisan, penguapan, dan fotokatalisis (Gautam *et al.*, 2014) Pengolahan limbah industri dengan metode adsorpsi lebih banyak digunakan karena proses yang lebih mudah dan biaya yang lebih murah jika dibandingkan dengan metode lainnya. Upaya untuk mengurangi pencemaran logam berat Cu(II) menggunakan metode adsorpsi telah dilakukan menggunakan beberapa bahan alam, diantaranya yaitu dengan membuat adsorben berbahan kulit salak (Rahmadini, 2016), berbahan tongkol jagung dan tempurung kelapa sawit (Sukarta, 2014), berbahan batang jagung (Azmiyani, 2018), serta koran bekas (Herlenasari *et al.*, 2017).

Limbah kertas koran selama ini digunakan sebagai pembungkus makanan seperti gorengan, padahal tinta yang terdapat pada kertas koran mengandung timbal yang dikhawatirkan dapat mengontaminasi makanan yang dibungkusnya. Bila kertas yang mengandung tinta seperti kertas koran disalahgunakan untuk membungkus

makanan berminyak, minyak yang panas tersebut dapat melarutkan timbal sehingga timbal akan mengontaminasi makanan yang dikonsumsi oleh konsumen dan berdampak pada gangguan kesehatan (Suwaidah *et al.*, 2014).

Konsep daur ulang sangat penting untuk mengurangi limbah yang berada di lingkungan (Mulyatun, 2015). Kertas koran bekas mengandung 50,1% selulosa, 16,8% hemiselulosa, 18,1% lignin, 6,8% abu dan 5,9% *moisture* (Irvan, 2012). Penelitian Herlenasari, dkk (2017), menghasilkan persen *removal* Cu(II) rata-rata yaitu 97,50% menggunakan adsorben dari koran bekas dengan aktivasi NaOH. Kertas koran bekas dapat dimanfaatkan untuk pembuatan adsorben karena mengandung selulosa dengan gugus senyawa polar seperti alkohol dan eter (Dehghani *et al.*, 2016). Pada pH rendah, gugus senyawa ini dapat mengikat senyawa lain (Herlenasari *et al.*, 2017). Berdasarkan hal tersebut, dilakukan penelitian “PEMANFAATAN SELULOSA DARI KORAN BEKAS TERAKTIVASI KOH SEBAGAI ADSORBEN ION LOGAM Cu(II)”. Penelitian ini penting dilakukan sebagai upaya mengurangi tingkat pencemaran logam berat pada perairan sebagai akibat dari pembuangan limbah industri. Penelitian ini dapat mengatasi dua masalah lingkungan

sekaligus, yang pertama ialah mengurangi tingkat pencemaran logam berat perairan dan yang kedua ialah mengurangi jumlah koran bekas serta mengubahnya menjadi sesuatu yang memiliki daya guna. Koran bekas dapat dimanfaatkan sebagai adsorben logam berat dengan biaya yang murah dan proses produksi yang mudah.

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana karakteristik adsorben yang berasal dari selulosa dari kertas koran bekas?
2. Bagaimana kondisi reaksi optimum pada proses adsorpsi ion logam Cu^{2+} oleh adsorben yang berasal dari selulosa dari kertas koran bekas?
3. Bagaimana efisiensi adsorpsi dari adsorben yang berasal dari selulosa dari kertas koran bekas?
4. Bagaimana kinetika dan isoterm adsorpsi pada penelitian ini?

C. Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui karakteristik adsorben yang berasal dari selulosa dari kertas koran bekas.
2. Untuk mengetahui kondisi reaksi optimum pada proses adsorpsi ion logam Cu^{2+} oleh adsorben yang berasal dari selulosa dari kertas koran bekas.
3. Untuk mengetahui efisiensi adsorpsi dari adsorben yang berasal dari selulosa dari kertas koran bekas?

4. Untuk mengetahui kinetika dan isoterm adsorpsi pada penelitian ini.

D. Manfaat Penelitian

1. Memberikan informasi kepada industri dan masyarakat mengenai karakteristik dan kemampuan penyerapan adsorben dengan biaya murah dan proses produksi yang relatif mudah menggunakan kertas koran bekas.
2. Hasil penelitian ini dapat diaplikasikan bagi masyarakat pada umumnya dan industri pada khususnya.

BAB II

LANDASAN TEORI DAN KAJIAN PUSTAKA

A. Landasan Teori

1. Limbah Industri

Pembangunan industri akibat peningkatan konsumsi dari pertumbuhan penduduk akan berdampak pada meningkatnya pencemaran terhadap lingkungan akibat dari limbah industri yang dihasilkan. Limbah industri apabila dibuang langsung ke lingkungan akan menyebabkan pencemaran. Salah satu pencemaran yang banyak terjadi ialah pencemaran lingkungan perairan seperti sungai. Pembuangan limbah industri ke sungai dapat menyebabkan perubahan pada perairan, serta memengaruhi kualitas air sehingga lingkungan perairan tercemar dan tidak sesuai lagi dengan peruntukannya (Pohan, 2016). Adanya logam berat yang dihasilkan dari limbah industri juga memengaruhi sumber daya hayati perairan, karena pada tubuh biota akuatik logam berat bersifat akumulatif (Aditriawan *et al.*, 2013).

Kegiatan industri yang intensif dan aktivitas manusia telah banyak mengakibatkan pelepasan limbah logam berat ke lingkungan (Karbassi *et al.*, 2011). Logam-logam berat seperti seng, kadmium, tembaga, timah, kromium, dan nikel apabila tidak diolah sebelum

dilepas ke lingkungan maka akan menimbulkan permasalahan yang serius bagi lingkungan. Logam-logam yang terakumulasi akan bersifat neurotoksik sehingga dapat menyebabkan bahaya kesehatan serius seperti gatal-gatal, iritasi, penyakit kulit, kanker hati, ginjal bahkan paru-paru (Pitsari *et al.*, 2013).

Metode penanganan limbah yang dapat menurunkan kadar logam berat sebelum dibuang ke lingkungan ialah koagulasi, adsorpsi, oksidasi atau reduksi, pengendapan kimia, pemisahan membran, ultrafiltrasi dan metode lainnya. Di antara metode-metode tersebut, adsorpsi merupakan metode paling efektif dengan biaya murah serta bahan yang banyak tersedia (Pitsari *et al.*, 2013).

2. Pencemaran Air

Pencemaran air menurut Surat Keputusan Menteri Negara Kependudukan Dan Lingkungan Hidup Nomor: Kep-02/Menklh/I/1988 tentang Penetapan Baku Mutu Lingkungan adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam air dan atau berubahnya tatanan air oleh kegiatan manusia atau oleh proses alam, sehingga kualitas air turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air menjadi kurang atau

sudah tidak berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya (pasal 1).

Berdasarkan PP No. 82 Tahun 2001, air yang terdapat pada sumber air menurut fungsinya digolongkan ke dalam 4 golongan, yaitu:

1. Golongan A (I), yaitu air yang difungsikan sebagai air minum secara langsung tanpa dilakukan pengolahan sebelumnya.
2. Golongan B (II), yaitu air yang difungsikan sebagai air baku untuk digunakan sebagai air minum dan keperluan rumah tangga melalui proses pengolahan terlebih dahulu.
3. Golongan C (III), yaitu air yang difungsikan untuk keperluan peternakan serta perikanan.
4. Golongan D (IV), yaitu air yang difungsikan untuk keperluan pertanian, serta dapat dimanfaatkan untuk usaha di perkotaan, industri, dan listrik Negara.

Perintah Allah SWT untuk tidak membuat kerusakan di bumi terdapat dalam Q.S. *Al-A'raf* (7) ayat 56 yang berbunyi:

ولا تفسدوا في الارض بعد اصلاحها وادعوه خوفا وطمعاً^{٥٦} ان رحمت الله
قريب من المحسنين (٥٦)

Artinya:

“Dan janganlah kamu berbuat kerusakan di bumi setelah (diciptakan) dengan baik. Berdoalah kepadanya dengan rasa takut dan penuh harap. Sesungguhnya rahmat Allah sangat dekat kepada orang yang berbuat kebaikan.”

Ayat tersebut menjelaskan larangan berbuat kerusakan di bumi setelah bumi diciptakan dengan sangat baik oleh Allah SWT. Salah satu perlakuan merusak bumi ialah dengan mencemari lingkungan. Oleh karena itu, sebagai makhluk-Nya merupakan kewajiban untuk tetap menjaga bumi dari kerusakan-kerusakan yang mungkin diakibatkan oleh kegiatan manusia.

3. Logam Berat Cu(II)

Pembuangan limbah industri yang mengandung logam berat ke lingkungan perairan menjadi masalah tersendiri bagi lingkungan tersebut, terutama jika logam berat terdapat dalam konsentrasi yang tinggi. Logam berat diklasifikasikan sebagai bahan pencemar dengan densitas logam lebih besar dari 6 g.cm^3 . Logam berat yang sering ditemukan dalam limbah perairan diantaranya adalah Kadmium (Cd), Kromium (Cr),

Tembaga (Cu), Raksa (Hg), Nikel (Ni), Timbal (Pb), Seng (Zn), dan Besi (Fe) (Dehghani *et al.*, 2016).

Pelapukan tanah dan batu, serta kegiatan manusia seperti limbah yang dihasilkan dari industri dan pemukiman apabila dibuang ke lingkungan perairan dapat menjadi penyebab masuknya logam berat ke dalam sistem akuatik secara alami (Boughriet *et al.*, 1992 dalam Susanti *et al.*, 2014). Menurut Connel dan Miller (1995) dalam Yuliati (2010), limbah cair rumah tangga dan aliran air di perkotaan juga merupakan salah satu faktor yang cukup berpotensi menjadi penyumbang logam berat ke dalam perairan .

Tembaga (Cu) dapat bersumber dari kegiatan limbah industri, pengelasan logam, pencucian mineral, serta kegiatan penambangan. Efek dan pengaruh dari logam berat tembaga ialah dapat berpengaruh pada unsur renik pokok, toksik terhadap tanaman dan ganggang dalam konsentrasi sedang, tidak terlalu toksik terhadap hewan. Pada manusia, paparan logam Cu dapat menyebabkan alergi dengan ditandai adanya reaksi gatal bahkan dapat menyebabkan iritasi. Paparan logam Cu pada dosis besar dapat menyebabkan gangguan fungsi hati serta ginjal. Uap Cu yang terhirup dapat meningkatkan risiko kanker pada paru-paru.

Paparan logam Cu pada dosis yang tinggi menyebabkan gejala seperti kelesuan, kerusakan saluran cerna, kelemahan otot, serta anoreksia (Gautam *et al.*, 2014).

Konsentrasi maksimum logam Cu dalam air minum untuk konsumsi yang diizinkan menurut *World Health Organization* (WHO), *United States Environmental Protection Agency* (USEPA) adalah sebesar $1-2 \text{ mgL}^{-1}$ dengan batas maksimal $1,3 \text{ mgL}^{-1}$ (Zhang *et al.*, 2013).

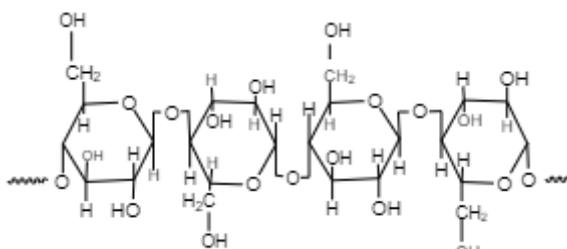
4. Selulosa

Selulosa merupakan komponen dominan penyusun struktur tanaman dengan jumlah hampir 60% serta merupakan karbohidrat utama hasil dari sintesis oleh tanaman. Selulosa $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$ merupakan polimer polisakarida karbohidrat yang memiliki rantai panjang dari β -glukosa. Selulosa tidak dapat dicerna oleh sistem pencernaan manusia serta tidak dapat larut dalam air maupun pelarut organik (Artati *et al.*, 2009).

Selulosa merupakan polimer yang bersifat hidrofilik yang tersusun atas tiga gugus hidroksil reaktif pada tiap unit hidroglukosa, serta tersusun atas ribuan gugus anhidroglukosa yang dihubungkan oleh ikatan $1,4\text{-}\beta$ -glukosida membentuk molekul berantai panjang dan linier (Fahrudin, 2020).

Rantai-rantai molekul yang terdapat pada selulosa mengalami stabilisasi dalam sistem yang beraturan sehingga membentuk struktur supramolekul dan menimbulkan adanya gugus-gugus fungsional yang dapat berinteraksi satu sama lain. Gugus hidroksil merupakan gugus-gugus fungsional tersebut. Selain menentukan struktur supramolekul, gugus-gugus -OH tersebut juga dapat menentukan sifat-sifat fisika dan kimia dari selulosa (Fengel, 1995 dalam Handayani A. W., 2010).

Selulosa mengandung 50-90% bagian yang berkristal yang pada umumnya terjadi karena adanya ikatan hidrogen antar molekul selulosa, sisanya merupakan bagian amorf (Fatriasari *et al.*, 2019). Struktur selulosa dapat dilihat pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1 Struktur Selulosa

5. Adsorben

Adsorben umumnya berasal dari bahan-bahan yang sangat berpori. Proses adsorpsi berlangsung

terutama di dinding-dinding pori. Luas permukaan adsorben menjadi beberapa kali lebih luas dari permukaan luarnya dikarenakan adsorben memiliki pori-pori yang sangat kecil (Saragih, 2008 dalam Alfarisi, 2017).

Volume serta luas permukaan spesifik berpengaruh pada penyerapan adsorben. Karakteristik adsorben yang baik diantaranya adalah :

1. Semakin luas permukaan adsorben maka semakin besar pula tingkat kemampuan penyerapannya.
2. Volume tidak mengalami perubahan selama proses adsorpsi dan desorpsi.
3. Adsorben dengan kemurnian yang tinggi memiliki daya adsorpsi yang lebih baik.
4. Jenis atau gugus fungsi atom yang terdapat pada permukaan adsorben (Ginting, 2008).

6. Aktivasi

Aktivasi merupakan perlakuan terhadap adsorben yang bertujuan untuk memperbesar pori-pori yang terdapat pada permukaan adsorben dengan cara mengoksidasi molekul-molekul pada permukaan ataupun dengan memecahkan ikatan hidrokarbon (Sembiring *et al.*, 2003 dalam Winoto *et al.*, 2020)

Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap proses-proses aktivasi yaitu sebagai berikut:

1. Waktu perendaman

Proses perendaman bertujuan untuk membatasi pembentukan lignin yang berpotensi membentuk senyawa tar.

2. Konsentrasi aktivator

Konsentrasi aktivator yang semakin tinggi akan meningkatkan daya adsorpsi.

3. Ukuran bahan

Semakin kecil ukuran adsorben maka akan semakin banyak pori-porinya sehingga meningkatkan daya adsorpsinya.

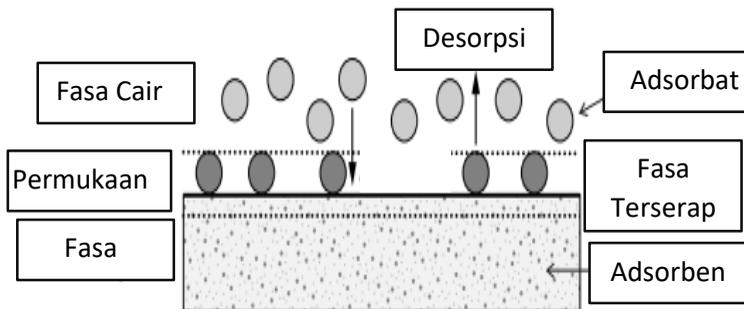
Proses aktivasi dapat dilakukan dengan dua cara yaitu secara kimia dan secara fisika. Aktivasi secara fisika dilakukan dengan cara memutuskan rantai karbon dari senyawa organik dengan bantuan uap, panas, maupun gas N_2 . Proses aktivasi secara fisika biasanya membutuhkan suhu tinggi yaitu $600-900^\circ C$ sehingga sangat tidak ekonomis untuk skala kecil. Aktivasi secara kimia dilakukan dengan cara memutuskan rantai karbon dari senyawa organik menggunakan bahan-bahan kimia. Karbon aktif yang diperoleh dari aktivasi kimia memiliki distribusi pori

yang dapat digunakan sebagai adsorben tanpa pengolahan tahap lanjut (Kinoshita, 1988 dalam Suprianofa, 2016).

7. Adsorpsi

Adsorpsi merupakan suatu proses akumulasi oleh adsorbat pada permukaan adsorben yang disebabkan oleh gaya tarik menarik antar molekul yang terdapat didalamnya (Takarani *et al.*, 2019).

Adsorpsi atau penyerapan merupakan sebuah proses terserapnya suatu zat (cair atau gas) ke permukaan padatan yang menyerap (adsorben). Substansi yang terserap pada permukaan disebut dengan adsorbat sementara material dimana adsorbat terakumulasi disebut sebagai adsorben (Abu, 2014). Mekanisme adsorpsi dapat dilihat pada **Gambar 2.2**.



Gambar 2. 2 Mekanisme Adsorpsi (Worch, 2012)

Faktor-faktor yang berpengaruh pada proses adsorpsi, diantaranya:

1. pH larutan

Pada pH rendah, asam organik lebih mudah teradsorpsi, sedangkan pada pH tinggi basa organik lebih efektif teradsorpsi. Hal ini disebabkan oleh ion positif yang terbentuk dari molekul organik pada kondisi pH rendah dapat menetralkan muatan negatif pada permukaan karbon aktif sehingga mengurangi hambatan difusi dan adsorpsi menjadi lebih efektif. Pada pH tinggi, molekul organik akan membentuk ion negatif (Cecen *et al.*, 2012)

2. Waktu Kontak

Waktu kontak memungkinkan proses adsorpsi berlangsung lebih efektif.

3. Luas Permukaan Adsorben

Permukaan adsorben yang semakin luas akan memperbesar kemungkinan adsorbat yang terserap sehingga proses adsorpsi dapat berlangsung lebih efektif.

4. Kelarutan Adsorbat

Senyawa yang mudah larut memiliki afinitas yang tinggi terhadap larutannya sehingga lebih sulit untuk terserap.

5. Ukuran Model Adsorbat

Gaya tarik menarik antara karbon dengan molekul akan semakin meningkat ketika ukuran molekul hampir sama dengan ukuran pori karbon.

6. Suhu

Kenaikan suhu memengaruhi kenaikan tingkat adsorpsi.

Gaya ataupun ikatan yang berperan dalam proses adsorpsi diantaranya yaitu Gaya *Van der Waals*, gaya elektrostatik, ikatan hidrogen, serta ikatan kovalen (Tandy, 2012).

Adsorpsi fisika disebabkan oleh adanya Gaya *Van der Waals* dan gaya hidrostatis antara molekul adsorbat tanpa adanya ikatan kimia. Sedangkan adsorpsi kimia terjadi jika ada interaksi kimia antara adsorbat dengan adsorben (Ginting, 2008).

Proses adsorpsi dapat terjadi melalui beberapa mekanisme, diantaranya yaitu:

- 1). Mekanisme pemerangkapan, jika ukuran pori adsorben melebihi ukuran molekul adsorbatnya, berpotensi terjadi mekanisme pemerangkapan.
- 2). Mekanisme pertukaran ion, dapat terjadi dengan melihat besarnya nilai nilai elektronegatifitas dari molekul penyusun adsorben.

- 3). Pembentukan ikatan hidrogen.
- 4). Pembentukan senyawa kompleks, dapat terjadi melalui pembentukan ion kompleks (Asip *et al.*, 2008).

Metode adsorpsi umumnya berdasarkan pada interaksi logam dengan gugus-gugus fungsional pada permukaan adsorben. Gugus fungsional tersebut diantaranya seperti -OH, -NH, -SH, dan -COOH. Kinetika dan Termodinamika merupakan kajian yang penting dalam mekanisme adsorpsi. Proses adsorpsi berdasarkan laju adsorpsi merupakan kajian dari kinetika adsorpsi, sedangkan proses adsorpsi berdasarkan kapasitas adsorpsi serta energi yang terlibat di dalamnya merupakan kajian dari termodinamika adsorpsi (Purwaningsih, 2009).

8. Isoterm Adsorpsi

Isoterm adsorpsi dapat dikatakan sebagai hubungan antara jumlah zat yang terserap adsorben pada kesetimbangan dalam kondisi suhu konstan. Isoterm adsorpsi digambarkan dalam bentuk kurva plot distribusi kesetimbangan.

a. Isoterm Adsorpsi Langmuir

Faktor ukuran dan struktur molekul adsorbat, sifat pelarut, serta porositas adsorben berpengaruh

terhadap laju adsorpsi. Permukaan yang homogen dan adsorpsi terjadi secara *monolayer*. Proses adsorpsi homogen berlangsung pada dua tahap, yaitu:

1. Perpindahan adsorbat dari fasa larutan ke permukaan adsorben
2. Adsorpsi yang terjadi pada permukaan adsorben (Oscik, 1982 dalam Alfarisi, 2017).

Persamaan Linear Isoterm Adsorpsi Langmuir ditunjukkan pada Persamaan 2.1 (Alfarisi, 2017).

$$\frac{C}{q} = \frac{K}{q_0} + \frac{1}{q_0} + C \quad (2.1)$$

Dimana,

C = Konsentrasi zat terlarut pada saat terjadi kesetimbangan (mg/L)

q = Jumlah zat teradsorpsi per gram adsorben (mg/g)

q₀ = Daya adsorpsi maksimum (mg/g)

K = Tetapan kesetimbangan adsorpsi (L/mg)

Hubungan antara C/m dan C dari kurva linear dapat menentukan nilai b (slop) dari kemiringan serta nilai K dari intersep kurva (Alfarisi, 2017).

b. Isoterm Adsorpsi Freundlich

Proses adsorpsi pada permukaan adsorben termasuk ke dalam proses heterogen dimana tidak semua permukaan adsorben memiliki daya serap merupakan penjelasan dari metode isoterm adsorpsi

Freundlich. Model isoterm ini menunjukkan lapisan adsorbat yang terbentuk pada permukaan adsorben merupakan *multilayer* (Husin *et al.*, 2005 dalam Alfarisi, 2017).

Persamaan Isoterm Adsorpsi Freundlich ditunjukkan pada Persamaan 2.2 (Sawyer *et al.*, 1994 dalam Alfarisi, 2017).

$$\frac{x}{m} = kC^{\frac{1}{n}} \quad (2.2)$$

Dimana,

X = Jumlah adsorbat yang terserap per gram adsorben (mg/g)

C = Konsentrasi zat setelah teradsorpsi(mg/L)

k dan n = Konstanta empiris yang bergantung pada sifat padatan, adsorben, dan suhu (Soeprijanto *et al.*, 2006 dalam Alfarisi, 2017).

Penentuan nilai k dan n dapat dilakukan dengan linearisasi yang ditunjukkan pada Persamaan 2.3 (Sadeek *et al.*, 2015).

$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (2.3)$$

10. Kinetika Adsorpsi

a. Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Pertama

Hukum laju orde pertama terhadap masing-masing reaktan q_e dan q_t ditunjukkan pada Persamaan 2.4 (Ho and McKay, 2000 dalam Sagita *et al.*, 2021)

$$\frac{dq_t}{dt} = K_1 q_e - q_t \quad (2.4)$$

Dimana,

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

q_t = Jumlah ion logam divalent yang teradsorpsi pada waktu t

K_1 = Konstanta kecepatan adsorpsi (min^{-1})

Integrasi persamaan di atas dengan kondisi batas $t=0$ sampai $t=t$ dan $q_t=q_t$ akan memunculkan Persamaan 2.5 (Ho and McKay, 2000 dalam Sagita *et al.*, 2021).

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - K_1 t \quad (2.5)$$

Konstanta K_1 akan diperoleh dengan menggunakan persamaan linear dari $\ln (q_e - q_t)$ terhadap t (Ho and McKay, 2000 dalam Sagita *et al.*, 2021).

b. Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Kedua

Secara umum, persamaan kinetika adsorpsi pseudo orde kedua ditunjukkan pada Persamaan 2.6 (Nurul *et al.*, 2008).

$$\frac{dq_t}{dt} = K_2 (q_e - q_t)^2 \quad (2.6)$$

Dimana,

K_2 = Konstanta laju model pseudo orde dua (min^{-1})

Bentuk persamaan linear setelah integrasi dengan kondisi batas $q_t=0$ pada $t=0$ dan $q_t=q_t$ pada $t=t$ ditunjukkan pada Persamaan 2.7 (Nurul *et al.*, 2008).

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (2.7)$$

Dimana,

q_t = Jumlah ion teradsorpsi pada waktu (t) (mg/g)

q_e = Jumlah ion teradsorpsi pada kesetimbangan (mg/g)

K_2 = Konstanta laju pseudo orde kedua ($\text{g mg}^{-1} \text{min}^{-1}$)

untuk proses adsorpsi yang dapat ditentukan dengan membuat plot antara $\frac{t}{q_t}$ dan t (Nurul *et al.*, 2008).

11. Selektivitas Adsorpsi

Selektivitas adsorpsi ialah kemampuan yang harus dimiliki oleh permukaan adsorben agar dapat menyerap molekul adsorbat. Jumlah logam yang terserap. Jumlah logam yang teradsorpsi dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.8 dan 2.9 (Mahindrakar, K. V., & Rathod, 2018).

$$Q_e = \frac{(C_o - C_e)}{M} V \quad (2.8)$$

$$\%R = \frac{(C_o - C_e)}{C_o} \times 100\% \quad (2.9)$$

Dimana,

Q_e = Kapasitas adsorpsi (mg/g)

C_o = Konsentrasi awal (mg/L)

C_e = Konsentrasi saat setimbang (mg/L)

M = Masa adsorben (g)

V = Volume larutan ion logam (L)

R % = Efisiensi adsorpsi (%)

12. Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)

Spektrometri Serapan Atom (SSA) merupakan metode kuantitatif yang digunakan untuk menganalisis unsur berdasarkan penyerapan cahaya dan panjang gelombang tertentu oleh atom logam dalam kondisi bebas (Skoog *et al.*, 2000 dalam Amrin, 2013).

SSA merupakan metode analisis untuk menentukan unsur-unsur di dalam suatu bahan dengan tingkat ketelitian, dan selektifitas tinggi sehingga dapat digunakan untuk menganalisis sampel dalam jumlah kecil dan zat konsentrasi rendah (Khopkar, 1990 dalam Amrin, 2013).

Proses eksitasi dan cara mendapatkan garis resonansi yang tepat berpengaruh pada keberhasilan analisis ini. Temperatur nyala harus sangat tinggi. Pada umumnya fraksi atom tereksitasi yang berada pada gas yang menyala kecil sekali, sehingga pengendalian temperatur nyala penting sekali dalam keberhasilan analisis menggunakan SSA. Kontrol tertutup dari temperatur yang digunakan untuk eksitasi juga dibutuhkan. Kenaikan temperatur berbanding lurus

dengan efisiensi atomisasi (Khopkar, 1990 dalam Manuhutu, 2009).

Bagian-bagian pada Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) dijelaskan pada **Gambar 2.3**.

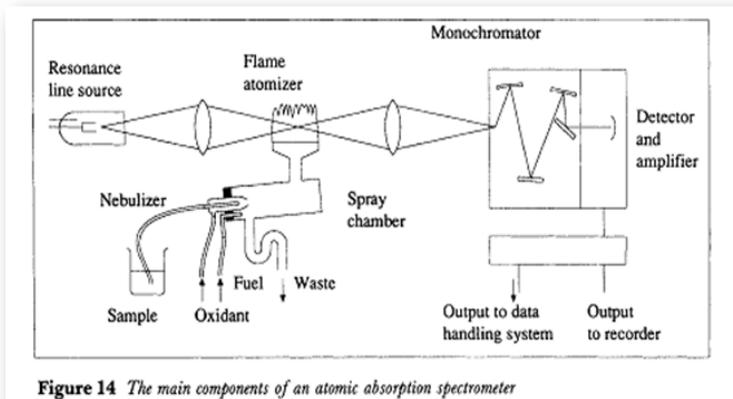


Figure 14 *The main components of an atomic absorption spectrometer*

Gambar 2. 3 Bagian-bagian SSA (Hasanah N., 2015)

Lampu katoda berongga merupakan sumber yang paling umum digunakan untuk mengukur serapan atom. Lampu katoda berongga terdiri dari tungsten anoda serta katoda silinder, yang dibungkus dalam tabung kaca dan diisi dengan neon atau argon pada tekanan 1-5 torr. Ionisasi gas terjadi ketika beda potensial diterapkan di elektroda, dan arus sekitar 5 sampai 10 mA dihasilkan sebagai ion bermigrasi ke elektroda. Jika beda potensial cukup besar, kation gas akan memperoleh cukup energi kinetik untuk

melepaskan diri dari permukaan katoda sehingga menghasilkan awan atom, proses ini disebut *sputtering* (Skoog, 1980 dalam Santoso, 2014).

Rasio antara sinyal referensi dan sampel diperkuat dan diteruskan ke pembacaan, perangkat digital, atau perekam. Alternatifnya, sinyal diperkuat dari balok referensi dan akan dilemahkan untuk menyesuaikan sinyal sampel dengan menggunakan potensiometer (Skoog, 1980 dalam Santoso, 2014).

13. FTIR (*Fourier Transform Infra Red*)

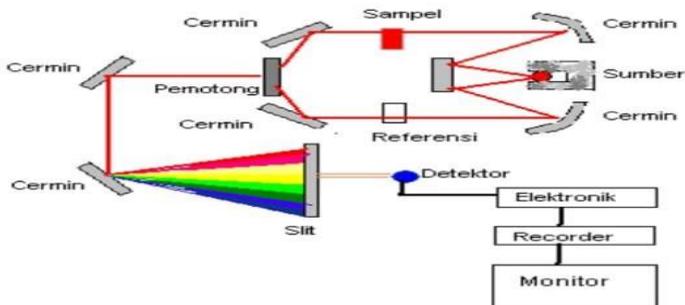
FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) merupakan spektrofotometer inframerah yang dilengkapi dengan transformasi *fourier* untuk mendeteksi dan menganalisis hasil spektrumnya. *Interferometer Michelson* merupakan inti dari spektrofotometer FTIR untuk menganalisis frekuensi dalam sinyal gabungan. Spektrum yang sangat kompleks dan terdiri dari banyak puncak menjadikan spektrofotometer inframerah dapat digunakan untuk identifikasi senyawa organik (Chusnul, 2011).

Spektrum inframerah dihasilkan dari pentransmisi cahaya yang melewati sampel, diukur intensitas cahayanya dengan detektor kemudian dibandingkan dengan intensitas tanpa sampel sebagai

fungsi panjang gelombang. Spektrum inframerah yang didapatkan kemudian diplot sebagai intensitas fungsi energi, atau panjang gelombang (Anam, 2007 dalam Silviyah *et al.*, 2014).

Spektrofotometri FTIR merupakan suatu metode untuk mengamati interaksi molekul dengan radiasi elektromagnetik yang berada pada daerah panjang gelombang 0,75-100 μm atau pada panjang gelombang 13.000-10 cm^{-1} . Radiasi yang mengandung semua frekuensi di wilayah IR akan dilewatkan melalui sampel. Masing-masing gugus fungsi menyerap sinar inframerah pada frekuensi yang berbeda-beda (Silverstein, 2012).

Spektrofotometer FT-IR digunakan untuk mengetahui dan mengidentifikasi gugus fungsional suatu senyawa, menentukan struktur molekul, mengetahui kemurnian dan mempelajari reaksi yang sedang berjalan. Hampir semua senyawa dapat menyerap radiasi inframerah. Oleh karena itu, senyawa organik maupun senyawa anorganik dapat dianalisis menggunakan spektrofotometer FT-IR (Mudzakir, 2008). Cara kerja instrumentasi FTIR dapat dilihat pada **Gambar 2.4.**



Gambar 2. 4 Cara Kerja Instrumentasi FTIR (Gunawan *et al.*, 2010)

B. Kajian Pustaka

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan studi untuk membuat adsorben dari koran bekas dengan modifikasi asam sitrat oleh Pudyaningtyas, dkk (2017), menghasilkan penyerapan maksimum pada dosis adsorben terbanyak yaitu 1 gram dengan hasil persen *removal* sebesar 55,293%. Penelitian lainnya dilakukan oleh Herlenasari, dkk (2017) mengenai pembuatan adsorben dari koran bekas teraktivasi NaOH untuk mengurangi kadar Fe dan Cu dalam air limbah, menghasilkan persen *removal* maksimum dari kertas koran bekas terhadap logam Cu(II) adalah 99,60% dengan dosis adsorben sebesar 1 gram.

Penelitian mengenai pembuatan adsorben memang cukup banyak, namun penelitian mengenai pembuatan adsorben dengan memanfaatkan koran bekas masih

tergolong sedikit. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian lainnya ialah menggunakan KOH 30% untuk mengaktivasi koran bekas agar dapat digunakan sebagai adsorben logam berat Cu(II) pada limbah cair, menambahkan proses kalsinasi pada prosedur kerja untuk memperbesar ukuran pori-pori adsorben, menambahkan variabel waktu kontak, dan pH larutan artifisial, serta mengidentifikasi karakteristik adsorben kertas koran bekas menggunakan spektroskopi FT-IR.

C. Hipotesis

Adsorben yang berasal dari selulosa dari kertas koran bekas mempunyai hasil uji karakterisasi FTIR yang sesuai dengan gugus-gugus fungsi pada selulosa salah satunya ialah mempunyai gugus -OH sehingga dapat menyerap ion logam Cu^{2+} dengan efisiensi adsorpsi tertinggi pada kondisi reaksi optimum yang ditentukan dari parameter pH, massa adsorben, waktu kontak serta konsentrasi larutan. Penelitian ini juga mengikuti salah satu jenis kinetika adsorpsi yang didasarkan pada laju adsorpsi serta salah satu jenis isoterm adsorpsi yang didasarkan pada kapasitas dan energi yang terlibat dalam proses adsorpsi.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Alat dan Bahan

1. Alat

Penelitian ini menggunakan alat sebagai berikut: gelas kimia, erlenmeyer, gelas ukur, batang pengaduk, l takar, sendok kimia, corong kaca, kaca arloji, cawan, ayakan 100 mesh, neraca analitik merk AND, oven, *furnace* merk *Thermo Scientific*, pH meter, indikator universal, *paper shredder*, *magnetic stirrer*, kertas saring, *stopwatch*. Peralatan instrumentasi yang digunakan yaitu *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) merk PerkinElmer PinAAcle 900T (UII), *Thermo Scientific* (UIN Walisongo), dan merk PerkinElmer tipe Analisis Spektrum 200, serta *Fourier Transform Infra Red* (FT-IR) merk PerkinElmer Spektrum Versi 10.4.00 (UNNES), dan PerkinElmer Spektrum Versi 10.5.1 (UII)..

2. Bahan

Penelitian ini menggunakan bahan sebagai berikut: kertas koran bekas, larutan KOH 30%, larutan NaHCO₃ 10%, aquades, larutan CuSO₄·5H₂O.

B. Metode dan Analisa Data

1. Tahap Preparasi

Pada tahap preparasi, beberapa lembar koran bekas dipotong hingga ukurannya seragam menggunakan *paper shredder*. Kemudian diambil

sebanyak 10 gram dan dilarutkan dalam 500 mL larutan NaHCO_3 10% M kemudian diblender selama 10 menit untuk menghilangkan kotoran-kotoran seperti debu dan tinta. Pulp yang dihasilkan dari proses tersebut kemudian disaring menggunakan kertas saring dan dicuci dengan aquades sampai pH netral. Kemudian, pulp koran bekas dikeringkan dalam oven bersuhu $105\text{-}110^\circ\text{C}$ selama kurang lebih 120 menit hingga beratnya konstan. Pulp koran yang telah dikeringkan kemudian diblender hingga membentuk serat halus. Selanjutnya, pulp yang sudah halus diayak menggunakan ayakan 100 mesh agar ukurannya seragam sehingga menghasilkan kertas koran bekas non aktivasi (KKB-NA). Kemudian diambil sebanyak 0,1 gram KKB-NA untuk dikarakterisasi menggunakan FTIR serta 0,1 gram KKB-NA untuk dilanjutkan pada tahap adsorpsi uji coba.

2. Tahap Aktivasi dan Kalsinasi

KKB-NA dilarutkan dalam larutan KOH 30% 50 mL selama 4 jam, lalu disaring dengan kertas saring dan dicuci dengan aquades sampai pH netral. Selanjutnya dioven kembali pada suhu $105\text{-}110^\circ\text{C}$ hingga beratnya konstan. Tahap ini menghasilkan kertas koran bekas teraktivasi KOH tanpa kalsinasi (KKB-TTK) yang

kemudian diblender hingga membentuk serat halus, lalu diayak menggunakan ayakan 100 mesh agar ukurannya seragam. KKB-TTK yang dihasilkan diambil sebanyak 0,1 gram untuk dilanjutkan ke tahap adsorpsi uji coba serta diambil sebanyak 0,1 gram untuk dikarakterisasi dengan FTIR sebagai bahan perbandingan dengan hasil karakterisasi FTIR adsorben tanpa aktivasi (KKB-NA) dan setelah kalsinasi (KKB-TT). KKB-TTK yang telah diayak dan membentuk serat halus kemudian dikalsinasi pada suhu 300°C selama 30 menit. Tahap ini menghasilkan kertas koran bekas teraktivasi KOH dan terkalsinasi (KKB-TT). Sebanyak 0,1 gram KKB-TT diambil untuk dilanjutkan ke tahap adsorpsi uji coba serta diambil sebanyak 0,1 gram untuk kemudian dikarakterisasi menggunakan FTIR.

3. Tahap Adsorpsi Uji Coba

Tahap ini merupakan tahap awal untuk menentukan hasil adsorpsi terbaik antara KKB-NA, KKB-TTK, serta KKB-TT untuk kemudian dilanjutkan dari salah satu diantara ketiganya sebagai bahan utama dalam proses adsorpsi pada penelitian ini.

Adsorpsi pada tahap uji coba ini dilakukan dengan variabel tetap yaitu massa adsorben 0,1 gram, pH larutan 5, konsentrasi larutan Cu(II) 31 mg/L, volume larutan 25 ml, serta waktu kontak 60 menit.

Limbah yang digunakan pada tahap uji coba ini ialah limbah artifisial berupa larutan Cu(II). Setelah proses adsorpsi dilakukan pada KKB-NA, KKB-TTK, serta KKB-TT kemudian larutan hasil adsorpsi disaring dan dianalisis menggunakan AAS.

4. Tahap Adsorpsi

Tahap ini menggunakan adsorben dengan efisiensi adsorpsi tertinggi berdasarkan hasil analisis AAS pada tahap adsorpsi uji coba. Adsorben dengan efisiensi adsorpsi tertinggi yang diperoleh dari tahap-tahap sebelumnya yaitu KKB-TT. Variabel yang diuji pada tahap ini ialah pH larutan, massa adsorben, waktu kontak, serta konsentrasi larutan. Limbah yang digunakan pada penelitian ini ialah limbah artifisial berupa larutan Cu(II).

a. Pengaruh pH

Adsorben dengan massa 0,01 gram dilarutkan ke dalam 20 mL larutan Cu(II) 15,5 mg/L dengan variasi pH 1, 3, 5, 7, 9. Kemudian dilakukan pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* selama 60 menit. Larutan hasil adsorpsi disaring dan dianalisis menggunakan AAS.

b. Pengaruh Massa Adsorben

Adsorben dengan variasi massa 0,001; 0,005; 0,01; 0,015; 0,02; 0,05 gram dilarutkan ke dalam 20 mL larutan Cu(II) 15,5 mg/L pada pH 5. Kemudian dilakukan pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* selama 60 menit. Larutan hasil adsorpsi disaring dan dianalisis menggunakan AAS.

c. Pengaruh Waktu Kontak

Adsorben dengan massa 0,02 gram dilarutkan ke dalam 20 mL larutan Cu(II) 18,022 mg/L pada pH 5. Kemudian dilakukan pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* dengan variasi waktu 30, 60, 120, 180 dan 240 menit. Larutan hasil adsorpsi disaring dan dianalisis menggunakan AAS.

d. Pengaruh Konsentrasi Larutan

Adsorben dengan massa 0,02 gram dilarutkan ke dalam 20 mL larutan Cu (II) pada pH 5 dengan variasi konsentrasi 9,36 mg/L; 18,022 mg/L; 28,72 mg/L; 38,915 mg/L; 48,579 mg/L. Kemudian dilakukan pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* selama 180 menit. Larutan hasil adsorpsi disaring dan dianalisis menggunakan AAS.

C. Karakterisasi

Pada penelitian ini, adsorben yang berasal dari KKB-NA, KKB-TTK, serta KKB-TT dianalisis dengan

menggunakan instrumentasi *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) di Laboratorium Kimia Universitas Negeri Semarang (UNNES) dan di Laboratorium Riset Kimia Universitas Islam Indonesia (UII) serta diujikan dengan menggunakan instrumentasi Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) di Laboratorium Riset Kimia Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.

Larutan hasil adsorpsi pada masing-masing variasi dari kertas koran bekas KKB-TT juga diujikan dengan menggunakan instrumentasi Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) yang diujikan di Laboratorium Kimia Universitas Negeri Semarang (UNNES), Laboratorium Riset Kimia Universitas Islam Indonesia (UII), serta di Laboratorium Riset Kimia Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang. Uji dengan menggunakan spektrofotometer Serapan Atom (SSA) dilakukan untuk mengetahui konsentrasi larutan sebelum dan setelah teradsorp. Sedangkan uji dengan menggunakan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) digunakan untuk mengetahui gugus fungsi yang berperan pada proses adsorpsi.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini mengkaji tentang hasil penelitian serta pembahasan dari limbah kertas koran bekas yang dimanfaatkan sebagai adsorben teraktivasi KOH guna menyerap ion logam Cu(II). Tahapan-tahapan yang dilakukan pada penelitian ini ialah, tahap preparasi dimana limbah kertas koran bekas dipotong dengan menggunakan alat *paper shredder* sehingga ukurannya seragam, lalu dilanjutkan dengan perendaman menggunakan NaHCO_3 kemudian di blender selama 10 menit untuk menghilangkan tinta dan berbagai kotoran yang terdapat pada kertas koran bekas. Tahap selanjutnya ialah dilakukan penyaringan dan pembilasan dengan aquades hingga pH netral lalu dikeringkan menggunakan oven pada suhu $105\text{-}110^\circ\text{C}$ kemudian di ayak. Hasil ayakan dari tahap sebelumnya dilanjutkan dengan tahap aktivasi dimana aktivasi dilakukan dengan perendaman menggunakan larutan KOH 30% 50 mL selama 4 jam, kemudian dilanjutkan dengan penyaringan dan pembilasan menggunakan aquades hingga pH netral, lalu dioven kembali pada suhu $105\text{-}110^\circ\text{C}$ hingga berat konstan dan dilanjutkan dengan proses mengayak menggunakan ayakan 100 mesh. Adsorben teraktivasi yang dihasilkan dari tahap sebelumnya kemudian dilanjutkan dengan proses

pembakaran atau kalsinasi menggunakan *furnace* pada suhu 300°C selama 30 menit. Tahap selanjutnya ialah tahap adsorpsi dengan menggunakan variasi yang telah ditentukan. Tahap terakhir pada penelitian ini adalah uji karakterisasi dengan menggunakan instrumentasi yaitu Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) untuk bisa menganalisis berapa banyak kadar logam berat Cu(II) yang terserap oleh KKB-TT, serta uji menggunakan instrumentasi *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) untuk mengetahui gugus fungsi yang berperan pada proses adsorpsi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik adsorben dari KKB-TT serta efektivitasnya dalam menyerap ion logam Cu(II).

A. Pembuatan Adsorben

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kimia Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang, pada tanggal 2 November 2020 sampai dengan tanggal 03 Desember 2021. Bahan dasar yang digunakan sebagai adsorben berupa kertas koran bekas yang diperoleh dari salah satu pengepul koran bekas di daerah Bekasi Timur.

Kertas koran bekas berpotensi menjadi adsorben karena memiliki kandungan selulosa yang cukup tinggi. Selulosa $(C_6H_{10}O_5)_n$ cukup berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai adsorben karena memiliki kandungan gugus fungsi -OH. Gugus -OH inilah yang akan berinteraksi dengan

molekul dari adsorbat sehingga kertas koran bekas bisa dimanfaatkan menjadi adsorben logam berat. Fatmawati *et al* (2015), menyatakan bahwa gugus -OH akan mengikat ion logam yang bermuatan positif dan disebut dengan mekanisme pertukaran ion. Gugus fungsi yang berperan dalam pengikatan ion logam berat yaitu gugus hidroksil dan gugus karboksil.

Modifikasi kertas koran bekas teraktivasi KOH sebagai adsorben logam berat Cu, dapat dinyatakan berhasil apabila adsorben tersebut dapat menyerap ion logam secara maksimal. Hal ini dibuktikan dengan hasil uji instrumen Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) yang menunjukkan penurunan konsentrasi logam berat dari konsentrasi sebelumnya. Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) digunakan untuk mengetahui kadar ion logam Cu yang teradsorpsi oleh KKB-NA, KKB-TTK, dan KKB-TT.

Ion Cu(II) termasuk dalam golongan asam kelas menengah. Ion Cu(II) dapat dengan mudah berinteraksi dengan molekul yang bersifat basa keras atau basa menengah pada adsorben, menurut teori *Hard and Soft Acids and Bases* (HSAB). Molekul tersebut berupa gugus aktif yang akan membentuk senyawa kompleks sebagai hasil dari ikatan yang terjadi (Housecroft *et al.*, 2005 dalam Rahmawati, 2021). Gugus aktif yang berikatan dengan ion

Cu(II) pada penelitian ini ialah gugus -OH yang merupakan basa keras yang terdapat pada selulosa dari adsorben kertas koran bekas.

Lyman dkk. (1995) dalam Atik Rahmawati (2011) menjelaskan bahwa gaya dorong adsorpsi pada permukaan merupakan kombinasi dua faktor yaitu afinitas adsorbat terhadap pelarut dan afinitas adsorbat pada adsorben yang dipengaruhi oleh sifat logam dan ligan. Situs-situs aktif pada permukaan adsorben dapat digolongkan sebagai ligan, dimana ligan tersebut diharapkan mampu mengikat ion-ion logam. Berdasarkan teori *Hard and Soft Acids and Bases* (HSAB) yang dikemukakan oleh Pearson, ligan-ligan dengan atom yang berukuran kecil dan sangat elektronegatif merupakan basa keras, sedangkan ligan-ligan dengan atom yang elektron valensinya mudah terpolarisasi akibat faktor eksternal tergolong ke dalam basa lunak. Ion logam yang berukuran kecil serta bermuatan positif besar tergolong ke dalam asam keras. Asam keras tersebut memiliki elektron valensi yang tidak mudah dipengaruhi oleh ion luar. Sedangkan ion logam yang berukuran besar serta bermuatan positif kecil tergolong ke dalam asam lunak dimana elektron valensinya mudah dipengaruhi oleh faktor eksternal. Asam keras akan berinteraksi dengan basa keras dan disebut

sebagai interaksi ionik. Sedangkan asam lunak akan berinteraksi dengan basa lunak dan disebut sebagai interaksi kovalen (Amri *et al.*, 2004 dalam Sulastrri *et al.*, 2014).

Penelitian yang telah dilakukan ini membuktikan bahwa kertas koran bekas yang dimodifikasi menjadi adsorben teraktivasi KOH dan terkalsinasi (KKB-TT) mampu menyerap logam berat Cu(II) secara baik dengan hasil efisiensi penyerapan yang cukup tinggi. Aktivasi menggunakan larutan KOH 30% bertujuan untuk memodifikasi bagian permukaan adsorben sehingga dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi. Aktivasi tersebut juga bertujuan untuk melarutkan senyawa-senyawa seperti lignin (delignifikasi) yang terdapat pada adsorben. Lignin dapat menghalangi proses transfer ion ke sisi aktif adsorben, sehingga dapat menghambat proses adsorpsi (Ismiyati *et al.*, 2021). Ion OH⁻ pada KOH akan memecah ikatan selulosa dengan lignin sehingga lignin akan mudah larut. Secara fisik, adsorben kertas koran bekas yang telah diaktivasi bertekstur lebih halus, mudah diayak, serta berwarna kehijauan dibandingkan dengan adsorben sebelum diaktivasi. Adsorben kertas koran bekas sebelum diaktivasi berwarna abu, bertekstur halus namun sulit untuk diayak. Selain aktivasi dengan menggunakan larutan

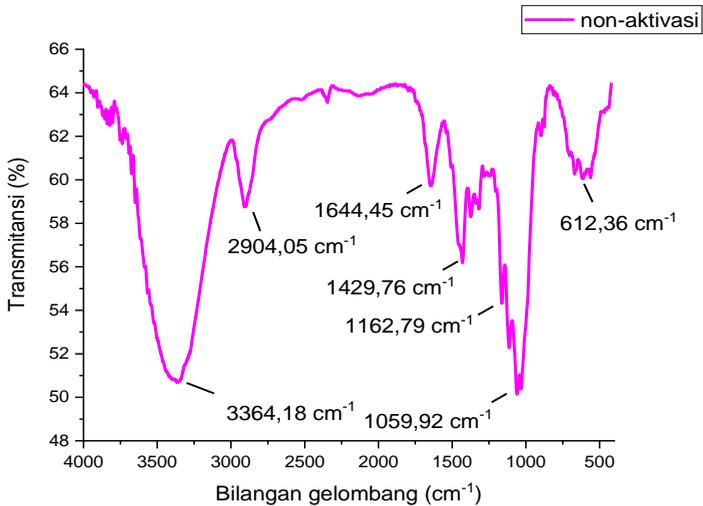
KOH 30%, adsorben kertas koran bekas juga dikalsinasi pada suhu 300°C selama 30 menit. Kalsinasi tersebut merupakan salah satu cara aktivasi fisika yang bertujuan untuk menghilangkan pengotor-pengotor organik maupun anorganik yang terdapat pada permukaan adsorben sehingga diharapkan dapat meningkatkan daya serap dari adsorben tersebut. Deskripsi hasil pengamatan fisik adsorben dari kertas koran bekas sebelum aktivasi, setelah aktivasi, dan setelah kalsinasi ditunjukkan pada **Tabel 4.1**.

Tabel 4. 1 Pengamatan Fisik

Sampel	Hasil Pengamatan		
	Sebelum Aktivasi	Setelah Aktivasi	Setelah Kalsinasi
Adsorben dari Kertas Koran Bekas	Berwarna abu, halus, sulit diayak	Berwarna abu kehijauan, lebih halus, mudah diayak	Berwarna hitam, rapuh, dan sangat halus

B. Karakterisasi Adsorben dengan FTIR

Analisis dengan menggunakan instrumen *Fourier Transform Infrared* (FTIR) bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada adsorben kertas koran bekas. Hasil karakterisasi FTIR dari adsorben kertas koran bekas non aktivasi (KKB-NA) dapat dilihat pada **Gambar 4.1**.

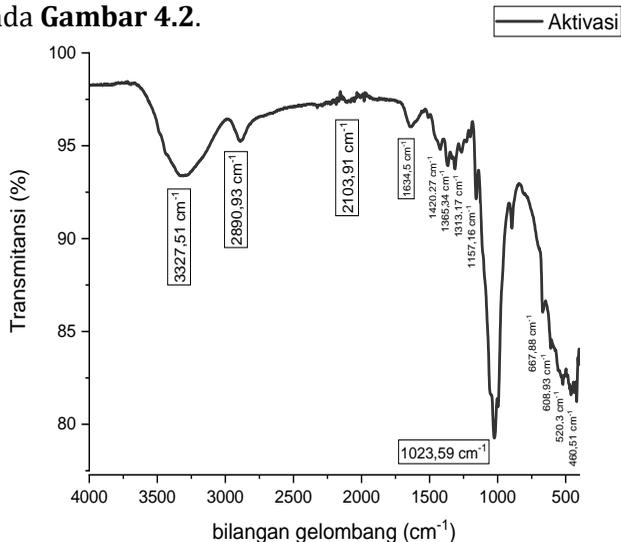


Gambar 4. 1 Spektra FTIR Adsorben Non Aktivasi

Gambar 4.1 menunjukkan adanya pita tajam dan melebar pada serapan bilangan gelombang 3364,18 cm⁻¹ yang menandakan adanya regangan gugus hidroksil (-OH). Pada serapan bilangan gelombang 2904,05 cm⁻¹ terdapat vibrasi ulur C-H alkana (C_{sp³}) yang ditandai dengan adanya pita tajam. Bilangan gelombang 1644,45 cm⁻¹ menunjukkan adanya gugus C=C lignin dengan ditandai adanya pita sedang. Pada serapan bilangan gelombang 1429,76 cm⁻¹ terdapat gugus -CH₂- yang ditandai dengan adanya vibrasi bengkok dan intensitas sedang. Pada serapan bilangan gelombang 1162,79 cm⁻¹ terdapat gugus C-O-C eter antisimetris yang menandakan adanya ikatan

glikosida yang terdapat pada struktur adsorben. Pada serapan bilangan gelombang 1059,92 cm^{-1} menunjukkan adanya ikatan antara OH dengan atom C yang ditandai dengan adanya pita serapan yang cukup tajam dengan vibrasi ulur C-O. Pada serapan bilangan gelombang 612,36 cm^{-1} menunjukkan adanya penyerapan dari β -glikosidik dengan ditandai adanya getaran C-H. Daerah resapan dari β -glikosidik yang menghubungkan antara unit glukosa pada selulosa (Putera, 2012). Gugus fungsi O-H, C-H, C-O serta adanya β -glikosidik merupakan gugus utama dari selulosa (Thaiyibah *et al.*, 2016).

Hasil karakterisasi FTIR dari adsorben kertas koran bekas setelah diaktivasi KOH 30% (KKB-TTK) dapat dilihat pada **Gambar 4.2**.



Gambar 4. 2 Spektra FTIR Adsorben Teraktivasi KOH 30%

Gambar 4.2 menunjukkan adanya serapan kuat dan melebar pada bilangan gelombang $3327,51 \text{ cm}^{-1}$ yang menandakan adanya regangan gugus -OH pada grup hidroksil selulosa. Daerah serapan pada bilangan gelombang $2890,93 \text{ cm}^{-1}$ menandakan adanya vibrasi ulur dari gugus C-H alkana (C_{sp^3}) yang ditandai dengan adanya pita tajam. Pada serapan bilangan gelombang $2103,91 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus $C\equiv C$. Pada serapan bilangan gelombang $1634,5 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus $C=O$ dengan ditandai adanya pita sedang dan lemah. Pada serapan bilangan gelombang $1420,27 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya ikatan $-CH_2-$ yang ditandai dengan adanya vibrasi bengkok dan intensitas sedang. Ikatan $-CH_2-$ juga terdapat pada daerah serapan bilangan gelombang $1365,34 \text{ cm}^{-1}$ dan $1313,17 \text{ cm}^{-1}$. Pada serapan bilangan gelombang $1157,16 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya ikatan C-O-C eter antisimetris yang menandakan adanya ikatan glikosida yang terdapat pada struktur adsorben kertas koran bekas setelah aktivasi. Pada serapan bilangan gelombang $1023,59 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya regangan ikatan C-O. Pada serapan bilangan gelombang $667,88 \text{ cm}^{-1}$ dan $608,93 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya penyerapan dari β -glikosidik dengan ditandai adanya getaran C-H. Terdapat ikatan C-H golongan dari alkana pada serapan bilangan gelombang

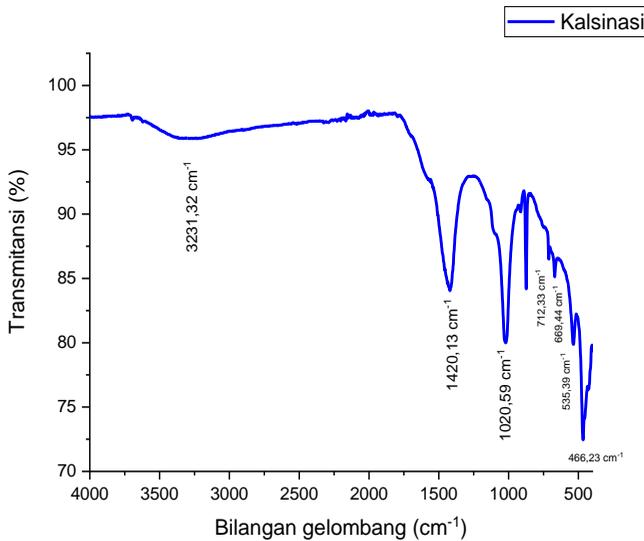
520,3 cm^{-1} ; 460,51 cm^{-1} ; 436,27 cm^{-1} ; 418,44 cm^{-1} dan 405,65 cm^{-1} . Berdasarkan hasil FTIR tersebut dapat disimpulkan bahwa adsorben dari kertas koran bekas yang telah diaktivasi memiliki gugus fungsi yang tidak jauh berbeda dengan adsorben tanpa aktivasi namun gugus fungsi C=C lignin hilang setelah aktivasi dengan larutan KOH 30%. Gugus fungsi yang terdapat pada KKB-TTK ialah gugus O-H, C=C, C-H, dan C-O yang merupakan gugus fungsi dari struktur karbon aktif pada umumnya, dan berperan sebagai gugus aktif pada penyerapan adsorbat (Alfarisi, 2017).

Karbon aktif hasil perendaman dengan asam atau basa menghasilkan lebih banyak permukaan oksigen dari struktur pori kimia yang diaktivasi (Allwar, 2012).

Reaksi yang terjadi pada proses aktivasi adsorben dengan KOH yaitu larutan KOH yang terdisosiasi menjadi K^+ dan OH^- akan bereaksi dengan lignin. Ion OH^- bereaksi dengan gugus H^+ pada lignin sehingga membentuk H_2O . Hal ini menyebabkan gugus O menjadi radikal bebas dan reaktif dengan gugus C sehingga membentuk C-O-C. Gugus C sudah memiliki empat tangan sehingga serangkaian gugus melepaskan ikatan pada gugus O. Reaksi menghasilkan dua cincin benzena yang terpisah, dimana masing-masing cincin memiliki gugus O yang reaktif.

Gugus O yang reaktif ini akan bereaksi dengan K^+ dan ikut larut dalam larutan basa sehingga lignin hilang apabila dibilas. Selain itu, reaksi ini juga menghasilkan H_2O yang akan diikat oleh selulosa karena selulosa bersifat hidrofilik sehingga menyebabkan konsentrasi ikatan O-H meningkat (Gian *et al.*, 2017).

Hasil karakterisasi FTIR dari adsorben kertas koran bekas setelah dikalsinasi (KKB-TT) pada suhu $300^\circ C$ selama 30 menit dapat dilihat pada **Gambar 4.3**.

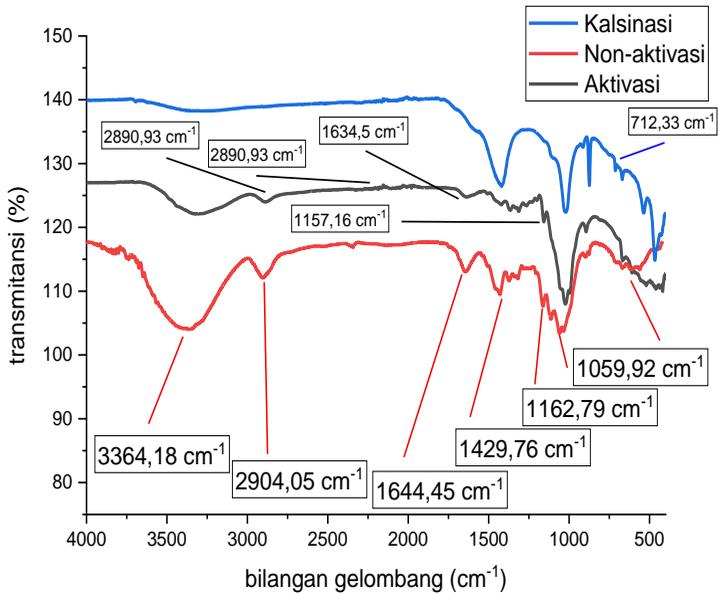


Gambar 4. 3 Spektra FTIR Adsorben Terkalsinasi

Gambar 4.3 menunjukkan adanya ikatan -OH pada serapan bilangan gelombang $3231,32\text{ cm}^{-1}$ dengan ditandai adanya serapan melebar. Pada serapan bilangan

gelombang $1420,13\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya ikatan $\text{-CH}_2\text{-}$. Pada serapan bilangan gelombang $1020,59\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya ikatan antara OH dengan atom C yang ditandai dengan adanya pita serapan yang cukup tajam dengan vibrasi ulur C-O. Terdapat serapan baru pada bilangan gelombang $712,33\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan C-H aromatik. Hal ini membuktikan bahwa karbonisasi dan aktivasi akan meningkatkan senyawa aromatik yang merupakan penyusun struktur heksagonal arang dan arang aktif (Wibowo *et al.*, 2011). Pada serapan bilangan gelombang $669,44\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya penyerapan dari β -glikosidik dengan ditandai adanya getaran C-H. Terdapat ikatan C-H golongan dari alkana pada serapan bilangan gelombang $535,39\text{ cm}^{-1}$, dan $466,23\text{ cm}^{-1}$. Kemampuan adsorben dalam mengadsorp logam ditentukan oleh struktur kimia yaitu atom C, H, dan O yang terikat secara kimia membentuk gugus fungsional (Sudibandriyo, 20013 dalam Sari, 2019). Berdasarkan **Gambar 4.3** dapat disimpulkan bahwa kalsinasi menghilangkan gugus $\text{C}\equiv\text{C}$ dan meningkatkan senyawa aromatik.

Perbandingan hasil analisis dengan menggunakan instrumen FTIR antara KKB-NA, KKB-TTK dan KKB-TT dapat dilihat pada **Gambar 4.4**.



Gambar 4. 4 Spektra FTIR Adsorben Non Aktivasi, Aktivasi, dan Kalsinasi

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa pada KKB-TTK terdapat serapan bilangan gelombang $2103,91 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya gugus $\text{C}\equiv\text{C}$, sedangkan pada KKB-NA maupun KKB-TT tidak terdapat serapan pada bilangan gelombang tersebut. Pada KKB-NA terdapat serapan bilangan gelombang yang menunjukkan adanya gugus C-H alkana, dan C-O-C eter yang juga terdapat pada serapan bilangan gelombang KKB-TTK, namun gugus-gugus tersebut tidak terdapat pada serapan bilangan gelombang KKB-TT. Pada KKB-TTK maupun KKB-TT sudah tidak

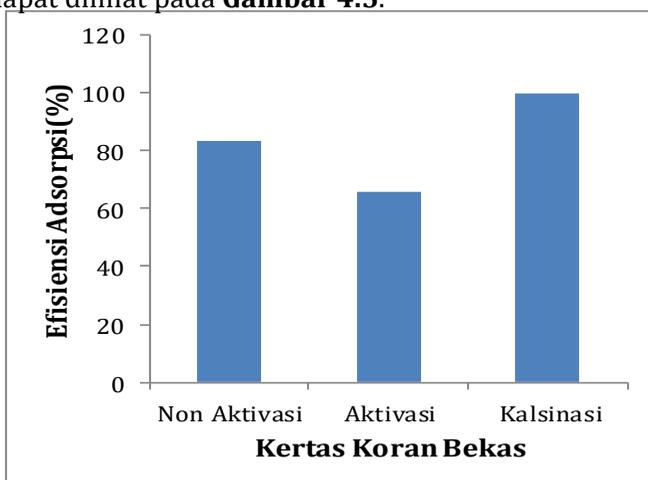
ditemukan lagi gugus C=C lignin. Pada KKB-TT terdapat gugus baru yang sebelumnya tidak ada di KKB-NA maupun KKB-TTK yaitu gugus C-H aromatik pada serapan bilangan gelombang $712,33 \text{ cm}^{-1}$.

C. Optimasi Kondisi Adsorpsi

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efektivitas penyerapan dari adsorben KKB-NA, KKB-TTK serta KKB-TT terhadap ion logam Cu(II). Hasil penyerapan terbaik diantara ketiganya terhadap variabel yang dibuat tetap, kemudian dilanjutkan dengan menentukan kondisi optimum. Kondisi optimum dapat ditentukan dengan menggunakan beberapa parameter seperti pH larutan, massa adsorben, waktu kontak, serta konsentrasi larutan. Optimasi penting dilakukan agar dapat mengetahui kondisi optimum ion logam Cu(II) banyak tersedia dalam larutan adsorbat untuk dapat berikatan dengan gugus fungsional pada adsorben sehingga penyerapan dapat dimaksimalkan.

Proses adsorpsi dilakukan dengan membandingkan efisiensi penyerapan antara adsorben KKB-NA, KKB-TTK, dan KKB-TT terhadap variabel massa adsorben 0,1 gram, pH 5, waktu kontak 1 jam, dan konsentrasi awal larutan Cu(II) sebesar 31,0414 mg/L. Hasil uji dengan menggunakan instrumentasi Spektrofotometer Serapan

Atom (SSA) seperti yang tertera pada **Lampiran 4.2 Hasil Pengujian Aplikasi** menunjukkan bahwa KKB-TT menunjukkan hasil yang terbaik dengan efisiensi penyerapan sebesar 100% (adsorbat dianggap habis terserap oleh adsorben karena konsentrasi akhir hasil uji SSA menunjukkan angka negatif). Sedangkan efisiensi adsorpsi KKB-NA ialah sebesar 83,18% dan efisiensi adsorpsi KKB-TTK ialah sebesar 65,53%. Efisiensi adsorpsi pada KKB-TTK yang lebih rendah tersebut diduga terjadi karena terdapatnya kembali pengotor-pengotor pada saat proses pengayakan sebelum ataupun setelah perendaman dengan aktivator. Pengaruh aktivasi dan kalsinasi terhadap efisiensi adsorpsi pada penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 4.5**.



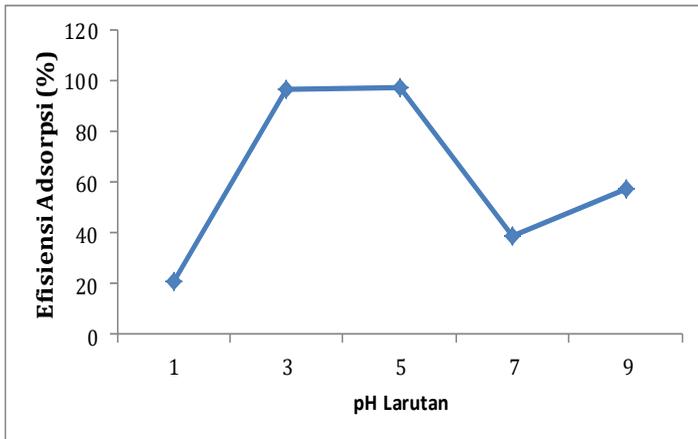
Gambar 4.5 Pengaruh Aktivasi dan Kalsinasi Terhadap Efisiensi Adsorpsi

Hasil uji karakterisasi instrumen Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) dimana efisiensi penyerapan KKB-TT merupakan adsorben dengan efisiensi penyerapan terbesar. KKB-TT kemudian dilanjutkan ke tahap selanjutnya untuk menentukan kondisi optimum.

1. Parameter pH Larutan

Optimasi dari parameter pH larutan dilakukan untuk mengetahui pH optimum penyerapan ion logam Cu(II) oleh KKB-TT. Pengujian ini juga bertujuan untuk mengetahui pengaruh pH larutan terhadap kapasitas adsorpsi serta efisiensi adsorpsi dari KKB-TT. Variasi pH yang digunakan pada penelitian ini adalah pH 1, 3, 5, 7, dan 9. Proses adsorpsi pada masing-masing variasi pH tersebut dilakukan selama 60 menit dalam larutan Cu(II) konsentrasi 15,5 mg/L dan volume larutan sebanyak 20 mL.

Penelitian ini menghasilkan data kapasitas dan efisiensi adsorpsi oleh KKB-TT seperti yang tertera pada lampiran **Tabel L.1**. Pengaruh pH terhadap efisiensi adsorpsi disajikan dalam **Gambar 4.6**.



Gambar 4. 6 Pengaruh pH Terhadap Efisiensi Adsorpsi

Penelitian pada variasi pH menunjukkan bahwa pH 5 merupakan kondisi optimum penyerapan ion logam Cu(II) oleh KKB-TT. Kapasitas adsorpsi pada pH 5 yaitu sebesar 30,202 mg/g dengan efisiensi adsorpsi penyerapan mencapai 97,42%. Penyerapan ion logam Cu(II) paling rendah yaitu pada pH 1 dan pH 7 dimana pada pH 1 efisiensi adsorpsi hanya sebesar 20,96% sedangkan pada pH 7 efisiensi adsorpsi hanya sebesar 38,81%. Pada pH yang lebih tinggi akan terjadi penurunan kelarutan ion logam sehingga memungkinkan terjadinya pengendapan. Pengendapan yang terjadi menyebabkan efisiensi adsorpsi menurun. Pada pH optimum (pH 5) ion-ion logam Cu(II) akan

bermuatan positif dan memiliki kelarutan yang cukup tinggi sehingga ion-ion logam tersebut dapat berinteraksi dengan adsorben yang memiliki muatan negatif (Adriansyah *et al.*, 2018). Pada pH optimum (pH 5) logam Cu dominan dalam bentuk Cu^{2+} . Pada pH di atas pH optimum jumlah logam Cu yang terserap menurun karena pada pH tersebut logam Cu umumnya membentuk $\text{Cu}(\text{OH})_2$. Peningkatan keasaman larutan akan meningkatkan konsentrasi ion logam bebas yang terdapat pada larutan (Rahmawati, 2011). Pada pH 1 jumlah logam Cu yang teradsorpsi lebih sedikit dikarenakan adanya jumlah H^+ yang besar sehingga menyebabkan kation logam berkompetisi dengan H^+ untuk dapat berikatan dengan situs-situs aktif adsorben (Benelli *et al.*, 2013).

pH larutan dapat menentukan besarnya muatan pada permukaan adsorben, derajat ionisasi, serta spesiasi dari adsorbat sehingga pH larutan sangat berpengaruh terhadap penyerapan ion logam berat (Riapanitra *et al.*, 2006 dalam Nurhasni *et al.*, 2014). Derajat keasaman (pH) pada larutan berpengaruh terhadap bentuk fisika dan kimia logam maupun senyawa logam yang berada dalam perairan. Hal ini

disebabkan karena pH mengontrol kelarutan serta konsentrasi spesies logam (Rahmawati, 2011).

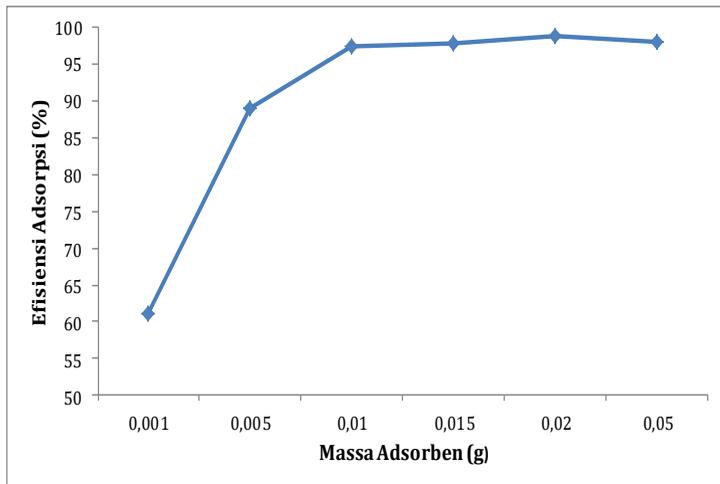
Dari **Gambar 4.6** dapat diketahui bahwa dalam suasana asam, semakin tinggi pH larutan maka akan semakin meningkat pula jumlah ion logam yang dapat terserap. Pada pH di atas 5, terjadi pengendapan ion logam Cu(II) sebagai senyawa $\text{Cu}(\text{OH})_2$, sehingga penyerapannya menjadi tidak sempurna (Arunakumara *et al.*, 2013). Nilai pH yang tinggi dapat memungkinkan terjadinya presipitasi yang tinggi pula. Selain itu, juga dapat memungkinkan terjadinya pertukaran ion dan pembentukan senyawa logam hidroksida (Shafaghat *et al.*, 2012).

2. Parameter Massa Adsorben

Optimasi dari parameter massa adsorben dilakukan untuk mengetahui massa adsorben optimum penyerapan ion logam Cu(II) oleh KKB-TT. Pengujian ini juga bertujuan untuk mengetahui pengaruh massa adsorben terhadap kapasitas adsorpsi serta efisiensi adsorpsi dari KKB-TT. Variasi massa adsorben yang digunakan pada penelitian ini adalah 0,001 gram; 0,005 gram; 0,01 gram; 0,015 gram; 0,02 gram; dan 0,05 gram. Proses adsorpsi pada masing-masing variasi massa adsorben tersebut dilakukan selama 60 menit

dalam larutan Cu(II) konsentrasi 15,5 mg/L dengan volume larutan sebanyak 20 mL dan pH larutan = 5.

Penelitian ini menghasilkan data kapasitas dan efisiensi adsorpsi oleh KKB-TT seperti yang tertera pada lampiran **Tabel L.2**. Pengaruh massa adsorben terhadap efisiensi adsorpsi disajikan dalam **Gambar 4.7**.



Gambar 4. 7 Pengaruh Massa Adsorben Terhadap Efisiensi Adsorpsi

Penelitian pada variasi massa adsorben menunjukkan bahwa massa 0,02 gram merupakan kondisi optimum penyerapan ion logam Cu(II) oleh KKB-TT dengan efisiensi adsorpsi tertinggi yaitu mencapai 98,90% dan kapasitas adsorpsi yaitu sebesar

15,33 mg/g. Penyerapan ion logam Cu(II) paling rendah yaitu pada massa adsorben 0,001 gram dimana efisiensi adsorpsi hanya sebesar 61,14%. Massa yang lebih besar pada karbon aktif akan meningkatkan jumlah partikel dan luas permukaan karbon aktif sehingga menambah sisi aktif pada permukaan adsorben dan menyebabkan efisiensi penyerapan meningkat (Apriliani, 2010). Oleh karena itu, efisiensi penyerapan pada massa adsorben 0,001 gram lebih kecil dibandingkan variasi massa lainnya. Proses adsorpsi dinyatakan berhenti karena nilai efisiensi adsorpsi telah mendekati kesetimbangan akibat dari jumlah molekul yang berikatan dengan adsorben semakin sedikit sehingga memengaruhi proses adsorpsi. Jumlah adsorben memengaruhi proses adsorpsi dimana semakin bertambahnya berat menyebabkan adsorben telah mencapai titik jenuh jika permukaannya telah terisi oleh adsorbat (Anjani, 2014). Semakin besar massa adsorben yang digunakan maka akan semakin besar pula efisiensi adsorpsinya, namun kapasitas adsorpsinya akan semakin menurun. Hal ini dikarenakan konsentrasi logam Cu(II) yang digunakan sama yaitu 15,5 mg/L sedangkan massa adsorben yang digunakan semakin besar. Pada massa adsorben 0,05

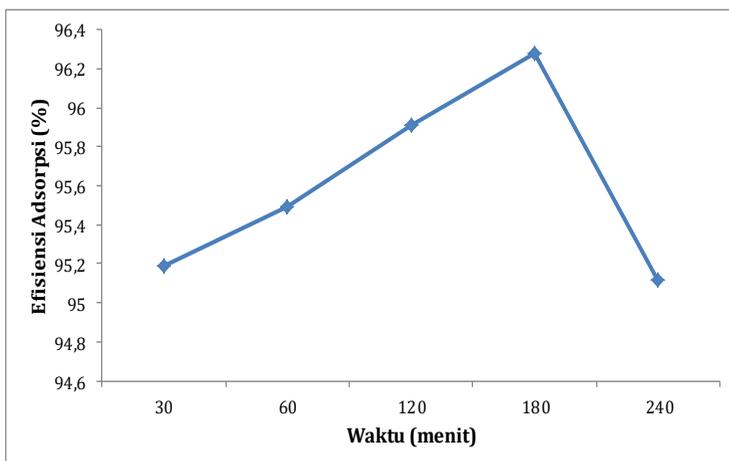
gram terjadi penurunan efisiensi penyerapan, hal ini terjadi diduga karena adanya sisi aktif adsorben yang belum semuanya berikatan dengan adsorbat sehingga interaksi antara adsorbat dengan permukaan adsorben menjadi kurang maksimal. Massa adsorben dan rasio penyisihan berkaitan dengan jumlah situs adsorpsi yang meningkat, namun peningkatan tersebut tidak berpengaruh setelah mencapai kesetimbangan (Langeroodi *et al.*, 2018).

3. Parameter Waktu Kontak

Optimasi dari parameter waktu kontak dilakukan untuk mengetahui waktu optimum penyerapan ion logam Cu(II) oleh KKB-TT. Pengujian ini juga bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas adsorpsi serta efisiensi adsorpsi dari KKB-TT. Variasi waktu kontak yang digunakan pada penelitian ini adalah 30, 60, 120, 180, dan 240 menit. Proses adsorpsi pada masing-masing variasi waktu kontak tersebut dilakukan dalam larutan Cu(II) 18,022 mg/L sebanyak 20 mL dengan pH larutan = 5 dan massa adsorben 0,02 gram.

Penelitian ini menghasilkan data kapasitas dan efisiensi adsorpsi oleh KKB-TT seperti yang tertera pada lampiran **Tabel L.3**. Pengaruh waktu kontak

terhadap efisiensi adsorpsi disajikan dalam **Gambar 4.8**.



Gambar 4. 8 Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Efisiensi Adsorpsi

Penelitian pada variasi waktu kontak menunjukkan bahwa waktu kontak 180 menit atau 3 jam merupakan kondisi optimum penyerapan ion logam Cu(II) oleh KKB-TT. Kapasitas adsorpsi pada waktu kontak 180 menit yaitu sebesar 17,3526 mg/g dengan efisiensi adsorpsi mencapai 96,28%. Penyerapan ion logam Cu(II) paling rendah yaitu pada waktu kontak 240 menit dimana efisiensi adsorpsi hanya sebesar 95,12%. Efisiensi adsorpsi yang rendah pada variasi waktu kontak 240 menit tersebut disebabkan oleh terjadinya desorpsi. Peristiwa

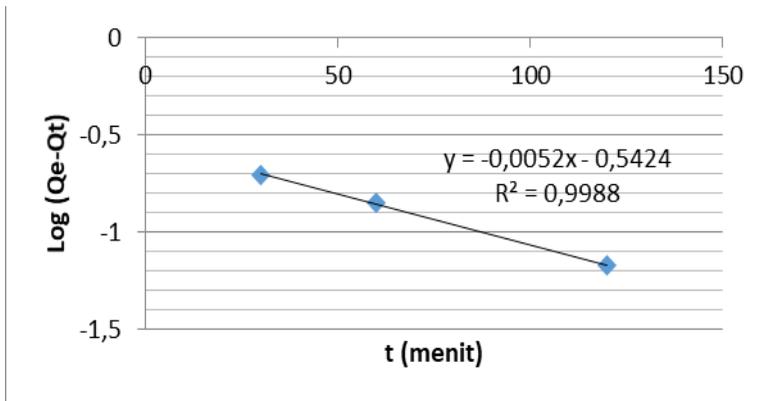
desorpsi terjadi disebabkan oleh waktu kontak yang melebihi waktu optimum (Winda *et al.*, 2014) sehingga adsorbat terlepas dari permukaan adsorben. Dari **Gambar 4.8** dapat diketahui bahwa efisiensi adsorpsi terhadap waktu kontak yang melebihi waktu optimum mengalami penurunan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa setelah waktu kontak optimum 3 jam, interaksi yang terjadi antara molekul adsorbat dengan KKB-TT mengalami peristiwa desorpsi karena telah mencapai titik jenuh pada kesetimbangannya (Olufemi *et al.*, 2018). Peristiwa desorpsi ialah kondisi dimana adsorbat terlepas dari permukaan adsorben (Fatriasari *et al.*, 2019). Pada waktu kontak 30 menit, 60 menit, dan 120 menit diperoleh efisiensi adsorpsi yang lebih kecil dibandingkan dengan efisiensi adsorpsi pada waktu optimum hal ini disebabkan oleh interaksi yang terjadi antara jumlah molekul adsorbat dengan permukaan adsorben lebih sedikit dibandingkan interaksi pada waktu kontak 3 jam. Efisiensi adsorpsi tersebut berturut-turut ialah sebesar 95,19%, 95,49%, dan 95,91%.

Kinetika adsorpsi ion logam Cu(II) dengan KKB-TT dapat dilihat pada **Tabel 4.2**.

Tabel 4. 2 Kinetika Adsorpsi Cu(II) dengan Adsorben KKB-TT

Ce (mg/L)	Qt (mg/g)	t (menit)	Log Qe-Qt
0,8664	17,1556	30	-0,705533773
0,8116	17,2104	60	-0,847100403
0,7365	17,2855	120	-1,17327748
0,6694	17,3526	180	
0,8791	17,1429	240	-0,674840157

Berdasarkan data pada **Tabel 4.2** dihasilkan kurva persamaan linier antara t vs Log (Qe-Qt) dengan intersep = Qe dan slopenya adalah K₁, sebagaimana yang ditunjukkan pada **Gambar 4.9**.



Gambar 4. 9 Kinetika Pseudo Orde 1

Berdasarkan **Gambar 4.9** diperoleh persamaan sebagai berikut:

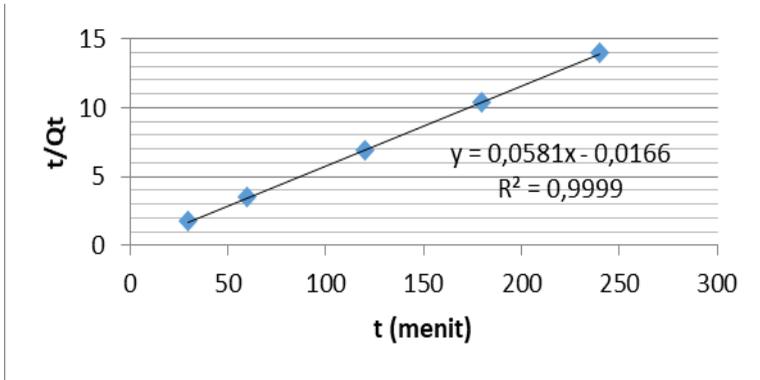
$$y = -0,0052x - 0,5424 \text{ dengan } R^2 = 0,9988.$$

Nilai K_1 sebesar $-0,0119756$ dan Q_e sebesar $0,286813771$ diperoleh dari hasil perhitungan sebagaimana yang tertera dalam lampiran perhitungan kinetika adsorpsi pseudo orde 1. Data untuk menghitung kapasitas adsorpsi pseudo orde 2 ditunjukkan pada **Tabel 4.3**.

Tabel 4.3 Kapasitas Adsorpsi Pseudo Orde 2

Ce (mg/L)	Qt (mg/g)	t (menit)	t/Qt
0,8664	17,1556	30	1,748700133
0,8116	17,2104	60	3,486264119
0,7365	17,2855	120	6,942234821
0,6694	17,3526	180	10,3730853
0,8791	17,1429	240	13,999965

Berdasarkan data pada **Tabel 4.3** dihasilkan kurva persamaan linier antara t vs t/Qt dengan intersep = $1/K_2Q_e^2$ dan slopenya adalah $1/Q_e$, sebagaimana yang ditunjukkan pada **Gambar 4.10**.



Gambar 4. 10 Kinetika Pseudo Orde 2

Berdasarkan **Gambar 4.10** diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$y = 0,0581x - 0,0166 \text{ dengan } R^2 = 0,9999$$

Nilai K_2 sebesar $-0,20335$ dan Q_e sebesar $17,21170396$ diperoleh dari hasil perhitungan sebagaimana yang tertera dalam lampiran perhitungan kinetika adsorpsi pseudo orde 2. Data kinetika adsorpsi pseudo orde 1 dan pseudo orde 2 dapat dilihat pada **Tabel 4.4**.

Tabel 4. 4 Kinetika Adsorpsi Cu(II) dengan Adsorben KKB-TT

Pseudo Orde 1			Pseudo Orde 2		
Q_e (mg/g)	K_1 (min^{-1})	R^2	Q_e (mg/g)	K_2 (min^{-1})	R^2
0,28681 3771	-0,0119756	0,998 8	17,2117 0396	- 0,20335	0,999 9

Berdasarkan data pada **Tabel 4.4** diperoleh kesimpulan bahwa pada penelitian ini, pseudo orde

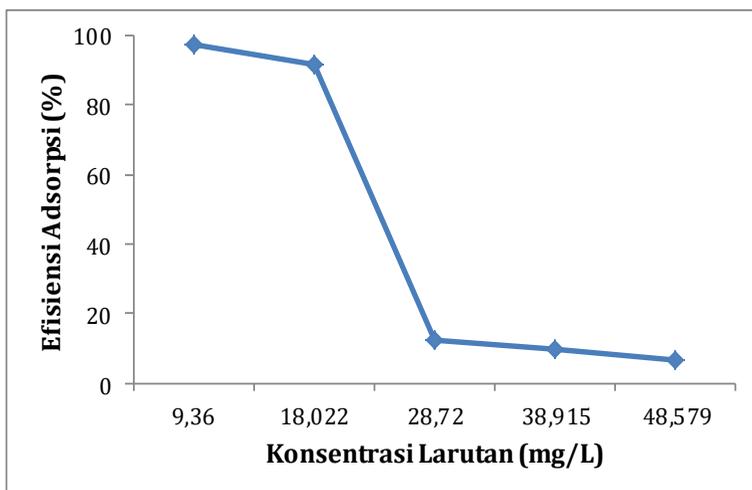
kedua memberikan kesesuaian yang lebih baik dibandingkan dengan pseudo orde pertama dengan nilai R^2 ialah sebesar 0,9999. Nilai R^2 mendekati 1 lebih disukai. Pseudo orde kedua mengasumsikan bahwa laju adsorpsi dari zat terlarut berbanding lurus dengan situs yang tersedia pada adsorben dan kuadrat konsentrasi ion logam ($Q_e - Q_t$), sehingga jumlah zat terlarut berpengaruh terhadap laju reaksi (Kajjumba *et al.*, 2019).

4. Parameter Konsentrasi Larutan

Optimasi dari parameter konsentrasi larutan dilakukan untuk mengetahui konsentrasi optimum penyerapan ion logam Cu(II) oleh KKB-TT. Pengujian ini juga bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi awal larutan terhadap kapasitas adsorpsi serta efisiensi adsorpsi dari KKB-TT. Variasi konsentrasi larutan yang digunakan pada penelitian ini adalah 9,36 mg/L, 18,022 mg/L, 28,72 mg/L, 38,915 mg/L, dan 48,579 mg/L. Proses adsorpsi pada masing-masing variasi konsentrasi larutan tersebut dilakukan dalam larutan Cu(II) sebanyak 20 mL selama 180 menit dengan pH larutan = 5 dan massa adsorben 0,02 gram.

Penelitian ini menghasilkan data kapasitas dan efisiensi adsorpsi oleh KKB-TT seperti yang tertera pada lampiran **Tabel L.4**. Pengaruh konsentrasi

larutan terhadap efisiensi adsorpsi disajikan dalam **Gambar 4.11**.



Gambar 4. 11 Pengaruh Konsentrasi Larutan terhadap Efisiensi Adsorpsi

Penelitian pada variasi konsentrasi larutan menunjukkan bahwa konsentrasi awal larutan Cu(II) 9,36 mg/L merupakan kondisi optimum penyerapan ion logam Cu(II) oleh KKB-TT. Kapasitas adsorpsi pada konsentrasi awal 9,36 mg/L yaitu sebesar 9,13 mg/g dengan efisiensi adsorpsi mencapai 97,54%. Penyerapan ion logam Cu(II) paling rendah yaitu pada konsentrasi awal larutan 48,579 mg/L dimana efisiensi adsorpsi hanya sebesar 6,54%. Efisiensi adsorpsi yang rendah pada variasi konsentrasi awal larutan 48,579

mg/L tersebut disebabkan oleh jumlah ion logam dalam larutan yang tidak sebanding dengan jumlah situs aktif yang terdapat pada permukaan adsorben sehingga tidak lagi terdapat ruang-ruang kosong pada permukaan adsorben. Hasil pada variasi konsentrasi menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi ion Cu(II) pada waktu yang tetap, maka efisiensi adsorpsinya akan semakin kecil. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya (Pudyaningtyas *et al.*, 2017), dimana semakin tinggi konsentrasi awal larutan adsorbat dengan massa adsorben yang konstan maka proses penyerapan menjadi tidak maksimal, sehingga efisiensi adsorpsinya akan semakin menurun.

Mekanisme isoterm adsorpsi ditentukan dari data adsorpsi yang diperoleh pada penelitian ini. Adsorpsi ion atau molekul pada permukaan padatan seringkali terbatas pada satu lapisan molekul (*monolayer*), oleh karena itu adsorpsi tersebut mengikuti persamaan adsorpsi isoterm Freundlich atau Langmuir (Handayani *et al.*, 2009).

Model isoterm adsorpsi menjelaskan mengenai distribusi molekul antara adsorbat dengan permukaan adsorben pada saat mencapai waktu kesetimbangannya (Ansari *et al.*, 2016).

Isoterm adsorpsi ion logam Cu(II) dengan KKB-TT dapat dilihat pada **Tabel 4.5**.

Tabel 4. 5 Isoterm Adsorpsi Logam Cu(II) dengan Adsorben KKB-TT

Isoterm Langmuir			Isoterm Freundlich		
Q _{max} (mg/g)	K _L (L/mg)	R ²	n	K _f (min ⁻¹)	R ²
2,749518 834	1,199142 764	0,98 76	- 3,888024 883	9,44272 79	0,6 9

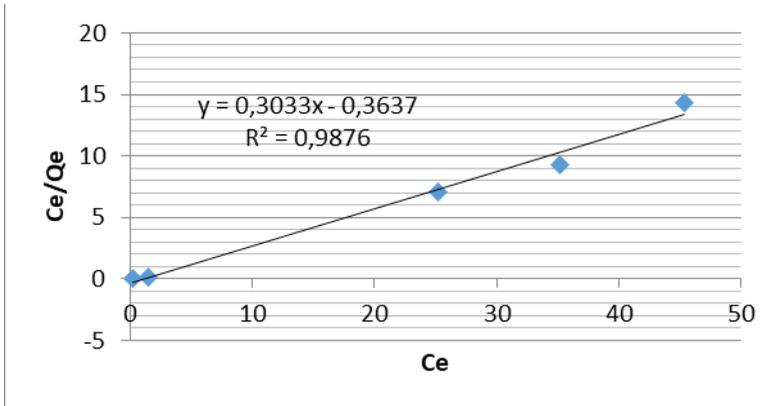
a. Isoterm Adsorpsi Langmuir

Data untuk menghitung Isoterm Adsorpsi Langmuir ditunjukkan pada **Tabel 4.6**.

Tabel 4. 6 Data Penghitungan Isoterm Adsorpsi Langmuir

Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Qe (mg/g)	Ce/Qe
9,36	0,23	9,13	0,025191675
18,022	1,52	16,502	0,092110047
28,72	25,16	3,56	7,06741573
38,915	35,14	3,775	9,308609272
48,579	45,40	3,179	14,28122051

Berdasarkan data pada **Tabel 4.6**, diperoleh kurva persamaan linier antara Ce vs Ce/Qe dengan intersep = $1/K_L \cdot Q_{max}$ dan slopenya adalah $1/b$. Kurva antara $1/Ce$ vs $1/Qe$ dapat dilihat pada **Gambar 4.12**.



Gambar 4. 12 Isoterm Adsorpsi Langmuir

Berdasarkan **Gambar 4.12** diperoleh persamaan isoterm adsorpsi Langmuir, yaitu:

$$y = 0,3033x - 0,3637 \text{ dengan } R^2 = 0,9876$$

Nilai K_L sebesar 1,199142764 dan Q_{\max} sebesar 2,74951834 diperoleh dari hasil perhitungan sebagaimana yang tertera dalam lampiran perhitungan isoterm adsorpsi Langmuir.

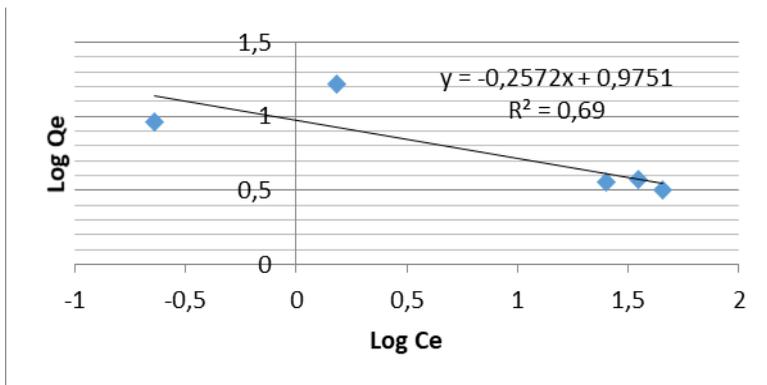
b. Isoterm Adsorpsi Freundlich

Data untuk menghitung Isoterm Adsorpsi Langmuir ditunjukkan pada **Tabel 4.7**.

Tabel 4. 7 Data Penghitungan Isoterm Adsorpsi Freundlich

Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Qe (mg/g)	Log Ce	Log Qe
9,36	0,23	9,13	- 0,638272164	0,960470777
18,022	1,52	16,502	0,181843587	1,217536583
28,72	25,16	3,56	1,400710637	0,551449998
38,915	35,14	3,775	1,545801757	0,576916956
48,579	45,40	3,179	1,657055853	0,502290527

Berdasarkan data pada **Tabel 4.7**, diperoleh kurva persamaan linier antara Log Ce vs Log Qe dengan intersep = $1/n$ dan slopenya adalah $\log K_f$. Kurva antara log Ce vs log Qe dapat dilihat pada **Gambar 4.13**.



Gambar 4. 13 Isoterm Adsorpsi Freundlich

Berdasarkan **Gambar 4.13** diperoleh persamaan isoterm adsorpsi Freundlich, yaitu:

$$y = -0,2572x + 0,9751 \text{ dengan } R^2 = 0,69$$

Nilai K_f sebesar 9,44278279 dan n sebesar -3,888024883 diperoleh dari hasil perhitungan sebagaimana yang tertera dalam lampiran perhitungan isoterm adsorpsi Freundlich.

Data perhitungan yang diperoleh pada penelitian ini menunjukkan kesesuaian yang lebih baik pada Isoterm Adsorpsi Langmuir dengan berdasarkan pada nilai R^2 yang diperoleh yaitu sebesar 0,9876 sedangkan R^2 yang diperoleh pada Isoterm Adsorpsi Freundlich hanya sebesar 0,69.

BAB V

SIMPULAN

A. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Karakteristik FTIR adsorben kertas koran bekas tanpa aktivasi menunjukkan adanya gugus fungsi -OH, C-H alkana (C_{sp^3}), C=C lignin, $-CH_2-$, C-O-C eter, C-O, serta adanya penyerapan dari β -glikosidik yang merupakan gugus utama dari selulosa. Hasil karakteristik FTIR adsorben kertas koran bekas teraktivasi KOH menunjukkan adanya gugus fungsi yang sama seperti tanpa aktivasi. Sedangkan hasil karakteristik FTIR adsorben kertas koran bekas setelah kalsinasi menunjukkan hilangnya gugus C=C lignin serta gugus $C\equiv C$ serta menyisakan gugus fungsi -OH, $-CH_2-$, C-O, C-H, serta β -glikosidik.
2. Kondisi Reaksi Optimum pada penelitian ini terjadi pada adsorpsi dengan pH larutan 5, massa adsorben 0,02 gram, waktu kontak 60 menit, serta konsentrasi larutan 15,5 mg/L dengan hasil kapasitas adsorpsi sebesar 15,33 mg/g dan efisiensi adsorpsi 98,90%.
3. Efisiensi adsorpsi tertinggi terjadi pada selulosa yang berasal dari kertas koran bekas terkalsinasi (KKB-TT) sebesar 100% (adsorbat dianggap habis terserap oleh

adsorben karena konsentrasi akhir hasil uji AAS menunjukkan angka negatif). Efisiensi adsorpsi pada selulosa yang berasal dari kertas koran bekas non-aktivasi (KKB-NA) ialah sebesar 83,18% sedangkan pada selulosa yang berasal dari kertas koran bekas teraktivasi tanpa kalsinasi (KKB-TTK) efisiensi adsorpsinya hanya mencapai 65,53%.

4. Penelitian ini memberikan kesesuaian yang lebih baik pada model kinetika pseudo orde kedua dibandingkan dengan pseudo orde pertama dengan nilai R^2 ialah sebesar 0,9999 dan nilai K_2 sebesar -0,20335 serta Q_e sebesar 17,21170396. Sedangkan jenis isoterm adsorpsi pada penelitian ini yaitu isoterm Langmuir dengan nilai R^2 ialah sebesar 0,9876 dan nilai K_L sebesar 1,199142764 serta Q_{max} sebesar 2,749518834.

B. Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai kadar air, kadar abu, dan kadar karbon dari adsorben berbahan dasar kertas koran bekas atau bahan lainnya yang mengandung selulosa dengan aktivasi menggunakan larutan KOH dan perlakuan kalsinasi.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang penelitian adsorben kertas koran bekas dengan aktivator berbeda untuk membandingkan kapasitas

adsorpsi dan efisiensi adsorpsi dari adsorben kertas koran bekas.

DAFTAR PUSTAKA

- Abu, N. 2014. Rancang Bangun Mesin Pendingin Tenaga Panas dengan Metode Penyerapan (*Adsorption Refrigeration Chiller*). Universitas Darma Persada.
- Aditriawan, R. M. 2013. Akumulasi Logam Berat Tembaga (Cu) pada Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) yang Dipelihara pada Media Berisi Sedimen dari Waduk Cirata. 49.
<http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/63680>.
- Adriansyah, R., Elyn Novta Restiasih, N. M. 2018. Biosorpsi Ion Logam Berat Cu(II) dan Cr(VI) menggunakan Biosorben Kulit Kopi Terxanthasi. *Jurnal Pendidikan dan Ilmu Kimia*, 2(2), 114–121.
- Alfarisi, F. 2017. Sintesis dan Karakteristik Karbon Aktif dari Tandan Pisang dengan menggunakan Aktivator KOH untuk Adsorpsi Fenol. Universitas Islam Indonesia.
- Allwar. 2012. *Characteristics of Pore Structures and Surface Chemistry of Activated Carbons by Physisorption, FTIR and Boehm Methods. IQSR Journal of Applied Chemistry (IQSRJAC)*, 2, 9–15.
- Amrin, D. A. 2013. Analisis Besi (Fe) dan Aluminium (Al) dalam Tanah Lempung secara Spektrofotometri Serapan Atom. Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung, 17–22.
- Anjani, R. P. 2014. Penentuan Massa dan Waktu Kontak Optimum Adsorpsi Karbon Granular sebagai Adsorben Logam Berat Pb(II) dengan Pesaing Ion Na⁺. *Journal of Chemistry*, 3(3), 159–163.
- Ansari, S. A., Khan, F., & Ahmad, A. 2016. *Cauliflower Leave, an Agricultural Waste Biomass Adsorbent, and Its Application for the Removal of MB Dye from Aqueous Solution: Equilibrium, Kinetics, and Thermodynamic Studies. International Journal of Analytical Chemistry*.
<https://doi.org/10.1155/2016/8252354>.
- Apriliani, A. 2010. Pemanfaatan Arang Ampas Tebu sebagai

- Adsorben Ion Logam Cd, Cr, Cu dan Pb dalam Air Limbah. 54–56. doi: <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2011.09.032>.
- Artati, E., Effendi, A. & Haryanto, T. 2009. Pengaruh Konsentrasi Larutan Pemasak Pada Proses Delignifikasi Eceng Gondok dengan Proses Organosolv. *Ekuilibrium*, 8(1), 25–28.
- Arunakumara, K., Walpola, B. C., & Yoon, M. H. 2013. *Banana Peel: A Green Solution for Metal Removal from Contaminated Waters*. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 32(2), 108–116. doi: <https://doi.org/10.5338/kjea.2013.32.2.108>.
- Asip, Faisal, dkk. 2008. Uji Efektifitas Cangkang Telur dalam Mengadsorpsi Ion Fe dengan Proses Batch. *Jurnal Universitas Sriwijaya Palembang*.
- Azmiyani, U. 2018. Adsorpsi Logam Fe dan Cu menggunakan Bioadsorben Batang Jagung Termodifikasi Asam Sitrat pada Limbah Laboratorium Kimia UIN Maulana Malik Ibrahim. UIN Maulana Malik Ibrahim. doi: <https://doi.org/10.1109/robot.1994.350900>.
- Benelli, C., Elisa, B., Mauro, F., Vieri, F., Luca G., Eleonora, M., Mauro, M., Paola, P., and Patrizia, R. 2013. *Di-Maltol-Polyamine Ligands to Form Heterotrimeric Metal Complexes: Solid State, Aqueous Solution and Magnetic Characterization*. *Journal For Inorganic, Organometalic, and bioinorganic chemistry*, 42, 5848–5859.
- Cecen, F., Aktan, O. 2012. *Activated Carbon For Water and Wastewater Treatment*. Germany: Wiley-VCH Verlag & Co. KgaA.
- Chusnul. 2011. *Spektroskopi IR*, www.scribd.com.
- Dehghani, M. H. et al. 2016. Removal of chromium(VI) from aqueous solution using treated waste newspaper as a low-cost adsorbent: Kinetic modeling and isotherm studies. *Journal of Molecular Liquids*, 215, 671–679. doi: 10.1016/j.molliq.2015.12.057.

- Fahrudin. 2020. Isolasi dan Karakteristik Bakteri Pendegradasi Selulosa dari Limbah Pusat Industri Mebel Antang Makassar. Serambi *Engineering*, 5(2), 951–956.
- Fatmawati, S. N., Hastuti, R., & Haris, A. 2015. Pengaruh H₂SO₄ pada PVA yang Dimodifikasi pada Campuran Biomassa Tongkol Jagung-Bulu Ayam sebagai Adsorben. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 18(2), 50–56.
- Fatriasari, W., Nanang Masruchin, E. H. 2019. Selulosa : Karakteristik dan Pemanfaatannya. *Edited by Fadly Suhendra dan Nikita*. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI).
- Gautam, R. K., Mudhoo, A., Lofrano, G., & Chattopadhyaya, M. and C. 2014. *Biomass-Derived Biosorbents for Metal Ions Sequestration: Adsorbent Modification and Activation Methods and Adsorbent Regeneration*. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2(1), 239–259. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2013.12.019>.
- Gian, A., Moh. Farid, & H. A. 2017. Isolasi Selulosa dari Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Nano Filler Komposit Absorpsi Suara: Analisis FTIR. *Jurnal Teknik ITS*, 6, 228–231.
- Ginting, F. D. 2008. Pengujian Alat Pendingin Sistem Adsorpsi Dua Adsorber dengan menggunakan Metanol 1000 mL sebagai Refrigeran. Skripsi, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Gunawan, B. 2010. Karakterisasi Spektrofotometri IR dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) Sensor Gas dari Bahan Polimer *Poly Ethylen Glycol* (PEG). *Jurnal Sains*. doi: 1979-6870.
- Handayani, A. W. 2010. Penggunaan Selulosa Daun Nanas sebagai Adsorben Logam Berat Cd(II). Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Handayani, M., Eko, S. 2009. Uji Persamaan Langmuir dan Freundlich pada Penyerapan Limbah Chrom (VI) oleh Zeolit. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi*

Nuklir.

- Herlenasari., Agustina., Puspita sari, Mita., M. 2017. Pembuatan Adsorben dari Koran Bekas untuk Mengurangi Kadar Fe dan Cu dalam Air Limbah. *Journal Of Chemical Process Engineering*.
- Imelda, D., Khanza, A. and Wulandari, D. 2019. Pengaruh Ukuran Partikel dan Suhu Terhadap Penyerapan Logam Tembaga (Cu) dengan Arang Aktif dari Kulit Pisang Kepok (*Musa Paradisiaca Formatypica*). *Jurnal Teknologi*, 6(2), 107–118. doi: 10.31479/jtek.v6i2.10.
- Irvan, D., et al. 2012. Pengolahan Lanjut Limbah Cair Limbah Cair Kelapa Sawit secara Aerobik menggunakan *Effektive Mikroorganism* Guna Menurunkan Nilai TSS. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 1 (2), 27–30.
- Ismiyati, M. R. D. N. S. S. N. 2021. Pembuatan Bioadsorben dari Sabut Kelapa dan Tempurung Kelapa untuk Menurunkan Kadar Besi (Fe). *Jurnal Teknik Lingkungan*, 7(1), pp. 33–45. doi: 2461-0437.
- Kajjumba, W. G., Emik, S., Ongen, A., Kurtulus Ozcan, H., & Aydin, S. 2019. *Modelling of Adsorption Kinetic Processes-Errors, Theory and Application. Advanced Sorption Process Application, November*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.80495>.
- Karbassi, R. A. et al. 2011. Development of Water Quality Index (WQI) for Gorganrood River. *International Journal of Environmental Research*, 5(4), 1041–1046. doi: 10.22059/ijer.2011.461.
- Keputusan Menteri Negara Kependudukan Dan Lingkungan Hidup Nomor: Kep-02/Menklh/I/1988. Tentang Pedoman Penetapan Baku Mutu Lingkungan. Kesehatan Lingkungan.
- La Ode Siwi, Sahindomi Bana, Asramid Yasin, Ridwan Adi Surya, Rosmawati, La Ode Muhammad Erif, W. O. N. 2019. Analisis Konsentrasi Logam Berat Merkuri (Hg) dan Kromium (Cr) Mendukung Pengelolaan Teluk Kendari Menuju Kota Ekologis. 3(1), 67.

- Lieswito, N. A. 2019. Penyerapan Logam Berat Tembaga (Cu^{2+}) oleh Biosorben Mikroalga. <https://doi.org/10.31227/osf.io/ad54n>.
- Mahindrakar, K. V., & Rathod, V. K. 2018. Utilization of Banana Peels for Removal of Strontium(II) from Water. *Environmental Technology and Innovation*, 11(2), 371–383. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2018.06.015>.
- Manuhutu, O. 2009. Penetapan Kadar Lidokain HCl dalam Sediaan Injeksi secara Spektrofotometri Serapan Atom Tidak Langsung. Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
- Mudzakir, A. dkk. 2008. Penuntun Praktikum Kimia Anorganik. Bandung: Jurusan Pendidikan Kimia FPMIPA UPI.
- Mulyatun. 2015. *Green Concrete Made From Iron Slag Waste*. *Journal of Natural Sciences and Mathematics Research*, 1(2), 58–64. <https://journal.walisongo.ac.id/index.php/JNSMR/article/view/1603/pdf>.
- Nurhasni, Hendrawati Hendrawati, N. S. 2014. Sekam Padi untuk Menyerap Ion Logam Tembaga dan Timbal dalam Air Limbah. *Jurnal Valensi*, 4(1), 36–44.
- Nurul F. S. *et al.* 2008. Adsorpsi Cu(II) pada Zeolit A yang Disintesis dari Abu Dasar Batubara PT Ipmomi Paiton. *Jurnal Zeolit Indonesia*, 7(1). doi: : 1411-6723.
- Olufemi, B., & Eniodunmo, O. 2018. *Adsorption of nickel (II) ions from aqueous solution using banana peel and coconut shell*. *International Journal of Technology*, 9(3), 434–445. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v9i3.1936>.
- Pitsari, S., Tsoufakis, E. and Loizidou, M. 2013. *Enhanced lead adsorption by unbleached newspaper pulp modified with citric acid*. *Chemical Engineering Journal*, 223, 18–30. doi: 10.1016/j.cej.2013.02.105.
- Pohan, D. A. S. 2016. Analisis Kualitas Air Sungai Guna Menentukan Peruntukan Ditinjau Dari Aspek

- Lingkungan. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 14(2), 63–71.
- Pudyaningtyas, Pratiwi, Hamdania Gamu, Rinaldy, M. 2017. Pembuatan Adsorben dari Koran Bekas dengan Modifikasi Asam Sitrat. *Jurnal Integrasi Proses*, 6(3). doi: 10.36055/jip.v6i3.1456.
- Purwaningsih, D. 2009. Adsorpsi Multi Logam Ag(I), Pb(II), Cr(III), Cu(II), dan Ni(II) pada Hibrida Etilendiamino-Silika dari Abu Sekam Padi. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA FMIPA UNY*. Yogyakarta, 264–271
- Putera, R. D. H. (2012) *Ekstraksi serat selulosa dari tanaman eceng gondok (Eichornia crassipes) dengan variasi pelarut*. Universitas Indonesia.
- Rahmadini, T. 2016. Modifikasi Kulit Salak sebagai Adsorben Ion Tembaga(II). Skripsi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta.
- Rahmawati, Atik. 2011. Pengaruh Derajat Keasaman Terhadap Adsorpsi Logam Kadmium (II) dan Timbal(II) pada Asam Humat. *Jurnal Penelitian Sains dan Teknologi*, 12(1), 1–14.
- Rahmawati, P. 2021. Pemanfaatan Kulit Pisang Kepok-Polivinil Alkohol (PVA) Tersulfonasi sebagai Adsorben Ion Tembaga(II). Skripsi Universitas Islam Negeri Walisongo.
- Sadeek, S. A., Negm, N. A., Hefni, H. H. H., & Abdel Wahab, M. M. 2015. *Metal Adsorption by Agricultural Biosorbents: Adsorption Isotherm, Kinetic and Biosorbents Chemical Structures*. *International Journal of Biological Macromoleculs*, 81, 400–409. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.08.031>.
- Sagita, C. P., Limpat Nulandaya, & Y. S. K. 2021. *Efficient and Low-Cost Removal of Methylene Blue using Activated Natural Kaolinite Material*. *Journal of Multidisciplinary Applied Natural Science*, 1(2), 69–77.
- Sahabuddin, H., Harisuseno, D. & Yuliani, E. 2014. Analisa Status Mutu Air dan Daya Tampung Beban Pencemaran

- Sungai Wanggu Kota Kendari. *Jurnal Teknik Pengairan*, 5(1), 19–28.
- Santoso, L. P. 2014. Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) di Air dan Sedimen di Perairan Pelabuhan Kejawanan, Cirebon. Institut Pertanian Bogor.
- Sari, F. P. 2019. Pembuatan dan Karakterisasi Kitosan-Karbon Aktif dari Ampas Kopi sebagai Adsorben untuk Menurunkan Kadar Logam Kadmium dan Nikel. Universitas Sumatera Utara.
- Shafaghat, A., Salimi, F., Valei, M., Salehzadeh, J., & Shafaghat, M. 2012. *Removal of Heavy Metals (Pb²⁺, Cu²⁺, and Cr³⁺) from Aqueous Solutions Using Five Plants Material. African Journal of Biotechnology*, 11(4), 3–7. doi: <https://doi.org/10.5897/ajb11.2060>.
- Silverstein. 2012. *Identification of Organic Compound*. 3 rd. New York: John Wiley & Sons Ltd.
- Silviah, S., Chomsin S. Widodo, M. 2014. Penggunaan Metode FT-IR (Fourier Transform Infra Red) untuk Mengidentifikasi Gugus Fungsi pada Proses Pembaluran Penderita Mioma. <https://media.neliti.com/media/publications/159773-ID-none.pdf>.
- Sukarta, F. 2014. Pemanfaatan Arang Aktif Tempurung Kelapa Sawit dan Tongkol Jagung sebagai Adsorben Logam Berat pada Limbah Batik. IPB Bogor. doi: <https://doi.org/10.16526/j.cnki.11-4762/tp.2014.11.051>.
- Sulastri, S., Nuryono, Indriana Kartini, E. S. K. 2014. Kinetika dan Keseimbangan Adsorpsi Ion Kromium(III) dalam Larutan pada Senyawa Silika dan Modifikasi Silika Hasil Sintesis dari Abu Sekam Padi. *Jurnal Penelitian Saintek*, 19(2), 33–44.
- Suprianofa, C. 2016. Pembuatan Karbon Aktif dari Kulit Durian sebagai Adsorben Zat Warna dari Limbah Cair Tenun Songket dengan Aktivator KOH. Politeknik Negeri

- Sriwijaya. <http://eprints.polsri.ac.id/4107/>.
- Susanti, R., Dewi Mustikaningtyas, F. A. S. 2014. Analisis Kadar Logam Berat pada Sungai di Jawa Tengah. *Jurnal Sains dan Teknologi UNNES*, 12(1), 35–40.
- Suwaidah, I. S., Nana Sutisna Achyadi NS, C. W. 2014. Kajian Cemaran Logam Berat Timbal dari Kemasan Kertas Bekas ke dalam Makanan Gorengan: Penel Gizi Makan. 37(2), 145–154.
- Takarani, P. S., Novita, R. F. 2019. Pengaruh Massa dan Waktu Adsorben Selulosa dari Kulit Jagung Terhadap Konsentrasi Penyerapan. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi, Inovasi dan Aplikasi di Lingkungan Tropis*, 117–121.
- Tandy, E. 2012. Kemampuan Adsorben Limbah Lateks Karet Alam Terhadap Minyak Pelumas Dalam Air. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 1(2).
- Thaiyibah, N. *et al.* 2016. Pembuatan dan Karakterisasi Membran Selulosa Asetat-PVC dari Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) untuk Adsorpsi Logam Tembaga(II). *Kimia Universitas Mulawarman*, 4(1), 29–35.
- Wibowo, S., Wasrin Syafi, & G. P. 2011. Karakterisasi Permukaan Arang Aktif Tempurung Biji Nyamplung. *Makara, Teknologi*, 15(1), 17–24.
- Winda D. T., Hastuti, R., & Haris, A. 2014. Pengaruh Penambahan PVA-Sulfonasi pada Tongkol Jagung. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 17(1), 31–36.
- Winoto, E., Hatina, S. and Sobirin. 2020. Pemanfaatan Karbon Aktif dari Serbuk Kayu Merbau dan Tongkol Jagung sebagai Adsorben untuk Pengolahan Limbah Cair AAS. *Jurnal teknik kimia Universitas PGRI Palembang*, 5(1), 32–46.
- Worch, E. 2012. *Adsorption Technology in Water Treatment*. Berlin: de Gruyter.
- Yuliati. 2010. Akumulasi Logam Pb di Perairan Sungai Sail dengan Menggunakan Bioakumulator Eceng Gondok

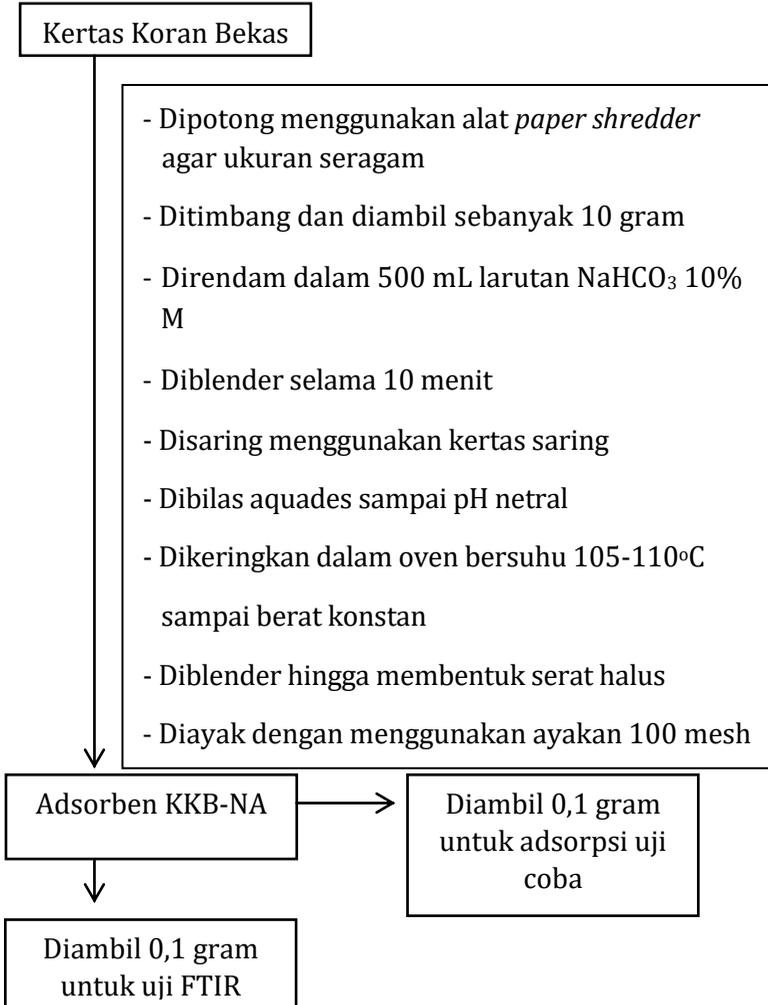
(*Eichhornia crassipes*). Jurnal Perikanan dan Kelautan, 15(1), 39–49.

Zhang, X. *et al.* 2013. *Removal of Remazol Turquoise Blue G-133 from Aqueous Solution Using Modified Waste Newspaper Fiber. Carbohydrate Polymers.* Elsevier Ltd., 92(2), pp. 1497–1502. doi: 10.1016/j.carbpol.2012.10.066.

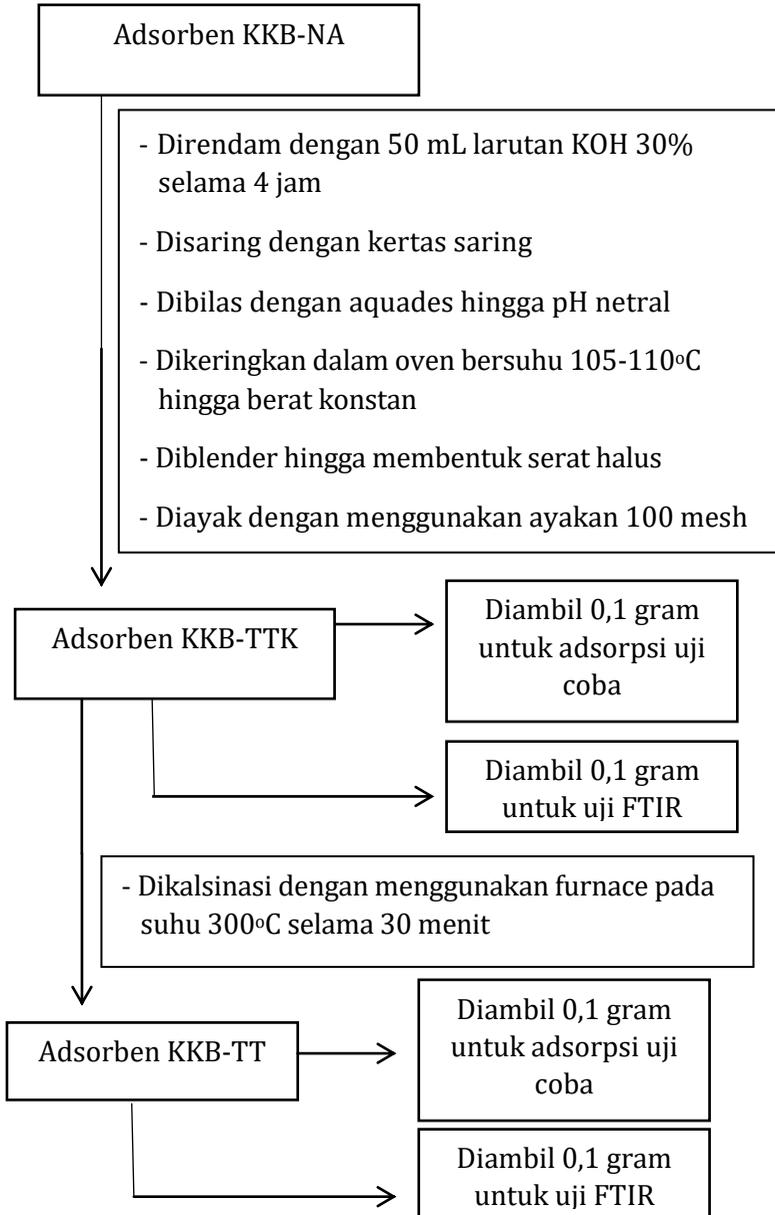
LAMPIRAN

Lampiran 1. Diagram Alir Penelitian

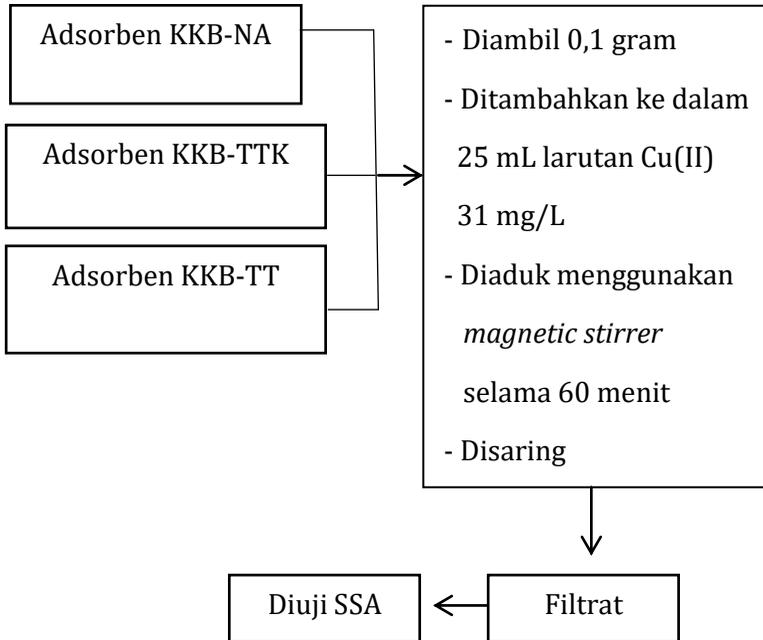
a. Tahap Preparasi



b. Tahap Aktivasi dan Kalsinasi

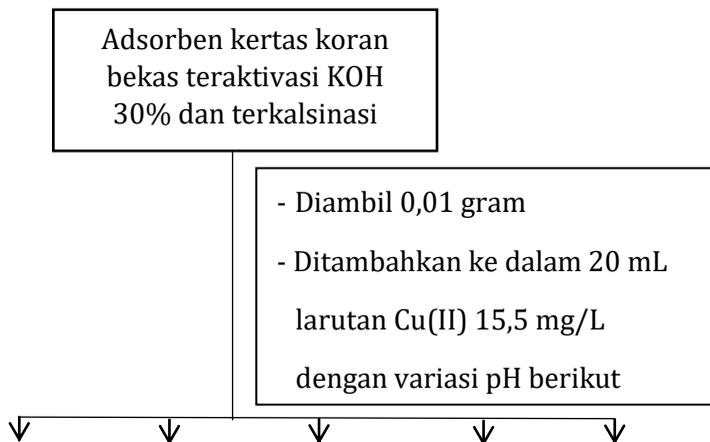


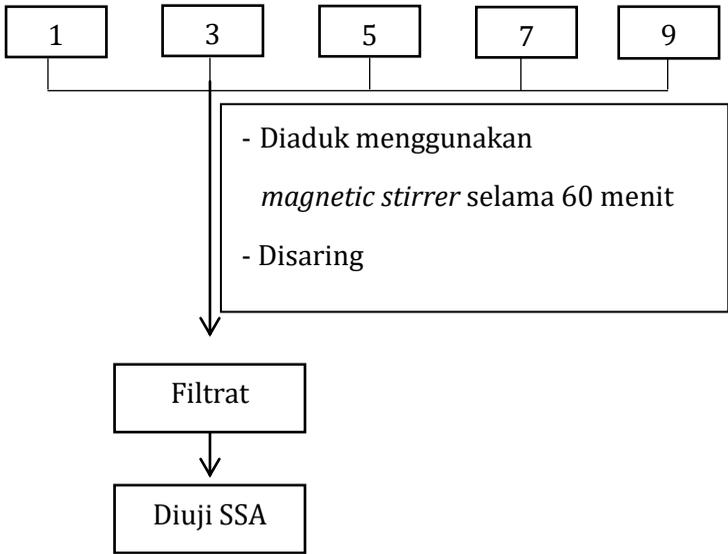
c. Tahap Adsorpsi Uji Coba



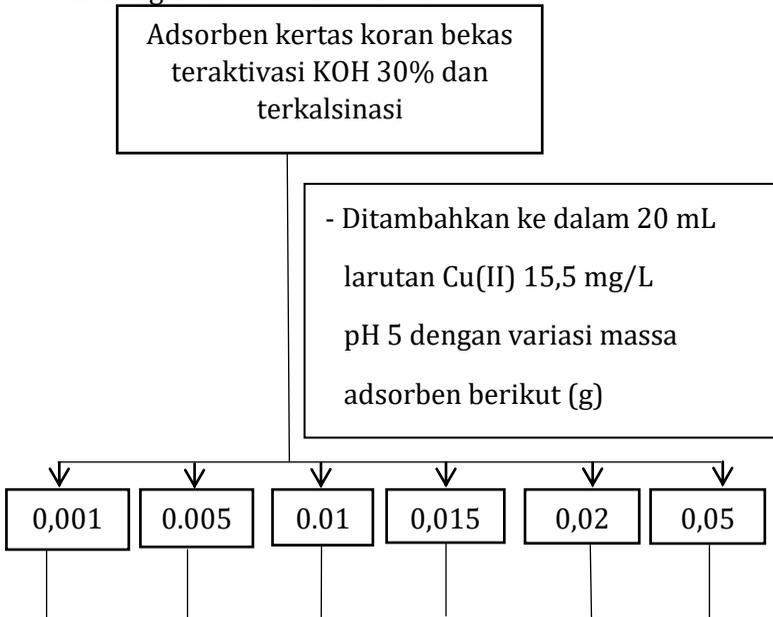
d. Tahap Adsorpsi

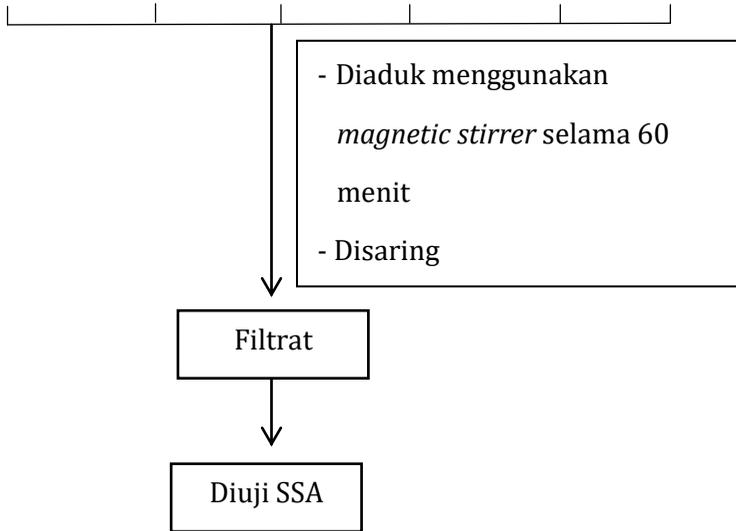
1. Pengaruh pH



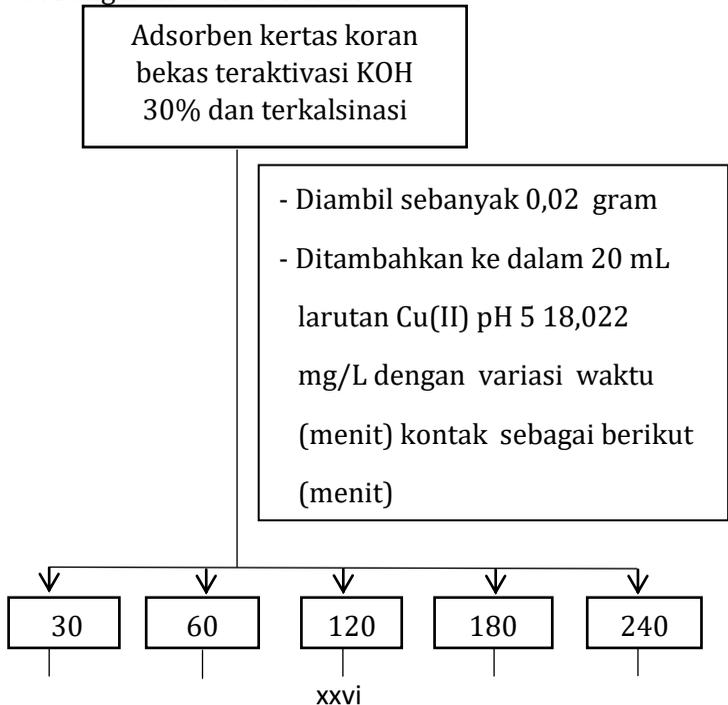


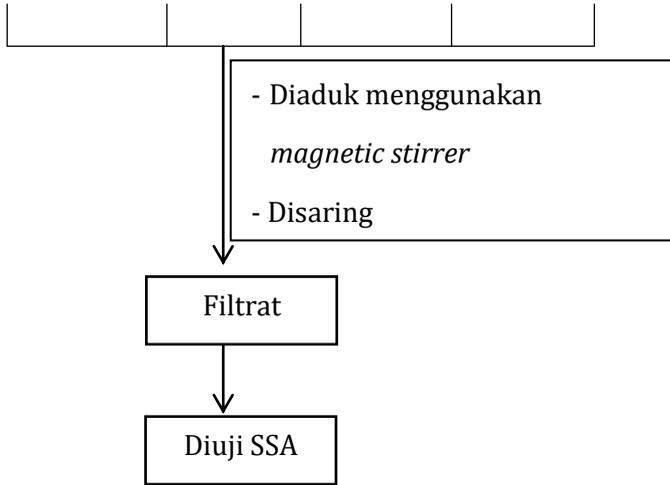
2. Pengaruh Massa Adsorben



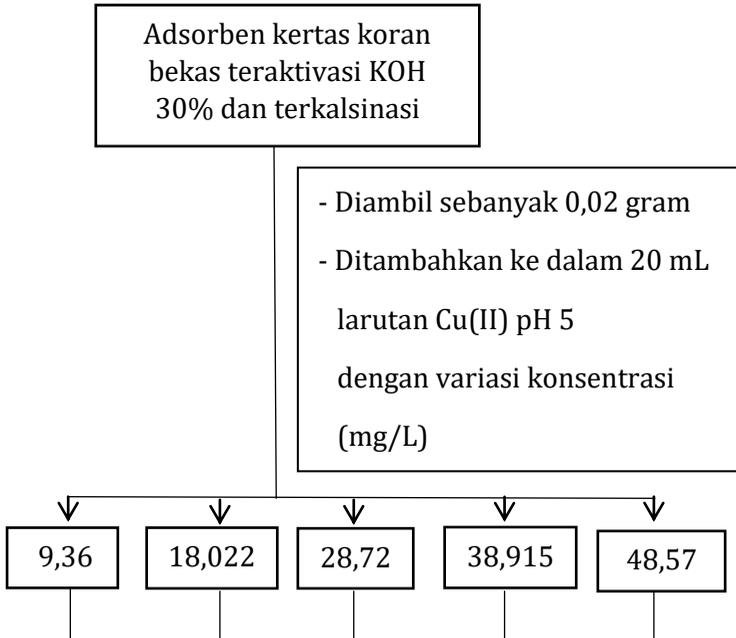


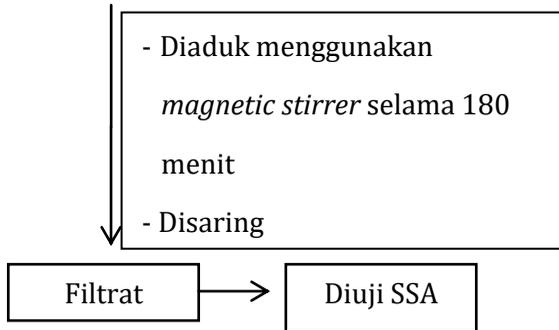
3. Pengaruh Waktu Kontak





4. Pengaruh Konsentrasi Larutan





Lampiran 2. Data Hasil Penelitian

a. Data Optimasi pH Larutan

Tabel L. 1 Data Optimasi Variasi pH Larutan

pH	Massa Adsorben (g)	Volume Larutan (mL)	C ₀ (mg/L)	C _e (mg/L)	Q _e (mg/g)	%R (%)
1	0,01	20	15,5	12,25	6,5	20,96
3	0,01	20	15,5	0,480	30,04	96,90
5	0,01	20	15,5	0,399	30,202	97,42
7	0,01	20	15,5	9,483	12,034	38,81
9	0,01	20	15,5	6,569	17,862	57,61

Tabel L. 2 Data Optimasi Variasi Massa Adsorben

pH	Massa Adsorben (g)	Volume Larutan (mL)	C ₀ (mg/L)	C _e (mg/L)	Q _e (mg/g)	%R (%)
5	0,001	20	15,5	6,023	189,54	61,14
5	0,005	20	15,5	1,700	55,2	89,03
5	0,01	20	15,5	0,399	30,202	97,42
5	0,015	20	15,5	0,323	20,236	97,91
5	0,02	20	15,5	0,170	15,33	98,90
5	0,05	20	15,5	0,300	6,08	98,06

Tabel L. 3 Data Optimasi Variasi Waktu Kontak

Ket: pH = 5, massa adsorben = 0,02 gram

Waktu Kontak (menit)	Volume Larutan (mL)	C ₀ (mg/L)	C _e (mg/L)	Q _e (mg/g)	%R (%)
30	20	18,022	0,8664	17,1556	95,19
60	20	18,022	0,8116	17,2104	95,49
120	20	18,022	0,7365	17,2855	95,91
180	20	18,022	0,6694	17,3526	96,28
240	20	18,022	0,8791	17,1429	95,12

Tabel L. 4 Data Optimasi Variasi Konsentrasi

Ket: pH = 5, massa adsorben = 0,02 gram, waktu kontak = 180 menit

Volume Larutan (mL)	C ₀ (mg/L)	C _e (mg/L)	Q _e (mg/g)	%R (%)
20	9,36	0,23	9,13	97,54
20	18,022	1,52	16,502	91,56
20	28,720	25,16	3,56	12,39
20	38,915	35,14	3,775	9,70
20	48,579	45,40	3,179	6,54

Lampiran 3: Perhitungan Analisa Data

a. Pembuatan Larutan

1). Larutan Induk Cu(II) 1000 ppm

Membuat larutan Cu^{2+} dari padatan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

Diket : Ar Cu = 63,5 gr/mol

- Larutan induk 1000 ppm = 1000 mg/L = 1 gr/L

- Mol $\text{Cu}^{2+} = \frac{\text{gr}}{\text{Mr}} = \frac{0,1 \text{ gr}}{63,5 \text{ gr/mol}} = 0,001575 \text{ mol}$

- Massa $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ yang digunakan

$$\begin{aligned} \text{Massa} &= \text{mol Cu}^{2+} \times \text{Mr CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} \\ &= 0,01575 \text{ mol} \times 249,5 \text{ gr/mol} \\ &= 3,929625 \text{ gr} \end{aligned}$$

2). Pengenceran larutan Cu^{2+} dengan rumus:

$$V_1 \cdot M_1 = V_2 \cdot M_2$$

Dimana,

M_1 = Konsentrasi larutan induk (1000 mg/L)

V_1 = Volume larutan yang akan diambil (mL)

M_2 = Konsentrasi yang diinginkan (mg/L)

V_2 = Volume setelah pengenceran (mL)

a). Larutan Cu(II) 10 ppm

$$V_1 \cdot M_1 = V_2 \cdot M_2$$

$$V_1 \cdot 1000 \text{ ppm} = 100 \text{ mL} \cdot 10 \text{ ppm}$$

$$V_1 = 1 \text{ mL}$$

b). Larutan Cu(II) 20 ppm

$$V_1 \cdot M_1 = V_2 \cdot M_2$$

$$V_1 \cdot 1000 \text{ ppm} = 250 \text{ mL} \cdot 20 \text{ ppm}$$

$$V_1 = 5 \text{ mL}$$

c). Larutan Cu(II) 30 ppm

$$V_1 \cdot M_1 = V_2 \cdot M_2$$

$$V_1 \cdot 1000 \text{ ppm} = 100 \text{ mL} \cdot 30 \text{ ppm}$$

$$V_1 = 3 \text{ mL}$$

d). Larutan Cu(II) 40 ppm

$$V_1 \cdot M_1 = V_2 \cdot M_2$$

$$V_1 \cdot 1000 \text{ ppm} = 100 \text{ mL} \cdot 40 \text{ ppm}$$

$$V_1 = 4 \text{ mL}$$

e). Larutan Cu(II) 50 ppm

$$V_1 \cdot M_1 = V_2 \cdot M_2$$

$$V_1 \cdot 1000 \text{ ppm} = 100 \text{ mL} \cdot 50 \text{ ppm}$$

$$V_1 = 5 \text{ mL}$$

3). Larutan KOH 30%

$$\text{Larutan KOH } 30\% = \text{gr/mL}$$

$$= 30 \text{ gr}/100 \text{ mL}$$

b. Penghitungan Jumlah Cu(II) yang teradsorpsi (%R),
dengan Rumus:

$$\%R = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100\%$$

Dimana,

%R = Efisiensi adsorpsi (%)

C_0 = Konsentrasi adsorbat mula-mula (mg/L)

C_e = Konsentrasi adsorbat pada saat setimbang
(mg/L)

1). KKB-NA

$$\begin{aligned} &= \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\% \\ &= \frac{31,0414 - 5,2191}{31,0414} \times 100\% \\ &= 83,18\% \end{aligned}$$

2). KKB-TTK

$$\begin{aligned} &= \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\% \\ &= \frac{31,0414 - 10,6972}{31,0414} \times 100\% \\ &= 65,53\% \end{aligned}$$

3). KKB-TT

$$\begin{aligned} &= \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\% \\ &= \frac{31,0414 - 0}{31,0414} \times 100\% \\ &= 100\% \end{aligned}$$

4). OPTIMASI

a). Variasi pH

1). pH 1

$$\begin{aligned} \%R &= \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\% \\ &= \frac{15,5 - 12,25}{15,5} \times 100\% \\ &= 20,96\% \end{aligned}$$

2). pH 3

$$\begin{aligned} \%R &= \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\% \\ &= \frac{15,5 - 0,480}{15,5} \times 100\% \\ &= 96,90\% \end{aligned}$$

3). pH 5

$$\begin{aligned} \%R &= \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\% \\ &= \frac{15,5 - 0,399}{15,5} \times 100\% \\ &= 97,42\% \end{aligned}$$

4). pH 7

$$\begin{aligned} \%R &= \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\% \\ &= \frac{15,5 - 9,483}{15,5} \times 100\% \\ &= 38,81\% \end{aligned}$$

5). pH 9

$$\begin{aligned} \%R &= \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\% \\ &= \frac{15,5 - 6,569}{15,5} \times 100\% \\ &= 57,61\% \end{aligned}$$

b). Variasi Massa Adsorben

1). Massa adsorben 0,001 gr

$$\begin{aligned} \%R &= \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\% \\ &= \frac{15,5 - 6,023}{15,5} \times 100\% \end{aligned}$$

$$= 61,14\%$$

2). Massa adsorben 0,005 gr

$$\%R = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\%$$

$$= \frac{15,5 - 1,700}{15,5} \times 100\%$$

$$= 89,03\%$$

3). Massa adsorben 0,01 gr

$$\%R = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\%$$

$$= \frac{15,5 - 0,399}{15,5} \times 100\%$$

$$= 97,42\%$$

4). Massa adsorben 0,015 gr

$$\%R = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\%$$

$$= \frac{15,5 - 0,323}{15,5} \times 100\%$$

$$= 97,91\%$$

5). Massa adsorben 0,02 gr

$$\%R = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\%$$

$$= \frac{15,5 - 0,170}{15,5} \times 100\%$$

$$= 98,90\%$$

6). Massa adsorben 0,05 gr

$$\%R = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\%$$

$$= \frac{15,5 - 0,300}{15,5} \times 100\%$$

$$= 98,06\%$$

c). Variasi Waktu Kontak

1). Waktu Kontak 30 menit

$$\%R = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\%$$

$$= \frac{18,022 - 0,8664}{18,022} \times 100\%$$

$$= 95,19\%$$

2). Waktu Kontak 60 menit

$$\%R = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\%$$

$$= \frac{18,022 - 0,8116}{18,022} \times 100\%$$

$$= 95,49\%$$

3). Waktu Kontak 120 menit

$$\%R = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\%$$

$$= \frac{18,022 - 0,7365}{18,022} \times 100\%$$

$$= 95,91\%$$

4). Waktu Kontak 180 menit

$$\%R = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\%$$

$$= \frac{18,022 - 0,6694}{18,022} \times 100\%$$

$$= 96,28\%$$

5). Waktu Kontak 240 menit

$$\begin{aligned}\%R &= \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\% \\ &= \frac{18,022 - 0,8791}{18,022} \times 100\% \\ &= 95,12\%\end{aligned}$$

d). Variasi Konsentrasi Larutan

1). Konsentrasi 9,36 mg/L

$$\begin{aligned}\%R &= \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\% \\ &= \frac{9,36 - 0,23}{9,36} \times 100\% \\ &= 97,54\%\end{aligned}$$

2). Konsentrasi 18,022 mg/L

$$\begin{aligned}\%R &= \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\% \\ &= \frac{18,022 - 1,52,}{18,022} \times 100\% \\ &= 91,56\%\end{aligned}$$

3). Konsentrasi 28,72 mg/L

$$\begin{aligned}\%R &= \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\% \\ &= \frac{28,72 - 25,16}{28,72} \times 100\% \\ &= 12,39\%\end{aligned}$$

4). Konsentrasi 38,915 mg/L

$$\%R = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\%$$

$$= \frac{38,915 - 35,14}{38,915} \times 100\%$$

$$= 9,70\%$$

5). Konsentrasi 48,579 mg/L

$$\%R = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100\%$$

$$= \frac{48,579 - 45,40}{48,579} \times 100\%$$

$$= 6,54\%$$

c. Penghitungan Kapasitas Adsorpsi (Q_e), dengan Rumus:

$$Q_e = \frac{C_0 - C_e}{m} \times V$$

Dimana,

Q_e = Kapasitas adsorpsi (mg/g)

m = Massa adsorben yang digunakan (gr)

V = Volume adsorbat yang digunakan (L)

C_0 = Konsentrasi adsorbat mula-mula (mg/L)

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

1). KKB-NA

$$= \frac{C_0 - C_e}{m} \times V$$

$$= \frac{31,0414 - 5,2191}{0,1} \times 0,025$$

$$= 6,455575$$

2). KKB-TTK

$$\begin{aligned}
&= \frac{C_o - C_e}{m} \times V \\
&= \frac{31,0414 - 10,6972}{0,1} \times 0,025 \\
&= 5,08605
\end{aligned}$$

3). KKB-TT

$$\begin{aligned}
&= \frac{C_o - C_e}{m} \times V \\
&= \frac{31,0414 - 0}{0,1} \times 0,025 \\
&= 7,76035
\end{aligned}$$

4). OPTIMASI

a). Variasi pH

1). pH 1

$$\begin{aligned}
Q_e &= \frac{C_o - C_e}{m} \times V \\
&= \frac{15,5 - 12,25 \text{ mg/L}}{0,02 \text{ g}} \times 0,02 \text{ L} \\
&= 6,5 \text{ mg/g}
\end{aligned}$$

2). pH 3

$$\begin{aligned}
Q_e &= \frac{C_o - C_e}{m} \times V \\
&= \frac{15,5 - 0,480 \text{ mg/L}}{0,02 \text{ g}} \times 0,02 \text{ L} \\
&= 30,04 \text{ mg/g}
\end{aligned}$$

3). pH 5

$$\begin{aligned}
Q_e &= \frac{C_o - C_e}{m} \times V \\
&= \frac{15,5 - 0,399 \text{ mg/L}}{0,02 \text{ g}} \times 0,02 \text{ L}
\end{aligned}$$

$$= 30,202 \text{ mg/g}$$

4). pH 7

$$\begin{aligned} Q_e &= \frac{C_0 - C_e}{m} \times V \\ &= \frac{15,5 - 9,483 \text{ mg/L}}{0,02 \text{ g}} \times 0,02 \text{ L} \\ &= 12,034 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

5). pH 9

$$\begin{aligned} Q_e &= \frac{C_0 - C_e}{m} \times V \\ &= \frac{15,5 - 6,569 \text{ mg/L}}{0,02 \text{ g}} \times 0,02 \text{ L} \\ &= 17,862 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

b). Variasi Massa Adsorben

1). Massa adsorben 0,001 g

$$\begin{aligned} Q_e &= \frac{C_0 - C_e}{m} \times V \\ &= \frac{15,5 - 6,023 \text{ mg/L}}{0,001 \text{ g}} \times 0,02 \text{ L} \\ &= 189,54 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

2). Massa adsorben 0,005 g

$$\begin{aligned} Q_e &= \frac{C_0 - C_e}{m} \times V \\ &= \frac{15,5 - 1,700 \text{ mg/L}}{0,005 \text{ g}} \times 0,02 \text{ L} \\ &= 55,2 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

3). Massa adsorben 0,01 g

$$\begin{aligned}
 Q_e &= \frac{C_0 - C_e}{m} \times V \\
 &= \frac{15,5 - 0,399 \text{ mg/L}}{0,01 \text{ g}} \times 0,02 \text{ L} \\
 &= 30,202 \text{ mg/g}
 \end{aligned}$$

4). Massa adsorben 0,02 g

$$\begin{aligned}
 Q_e &= \frac{C_0 - C_e}{m} \times V \\
 &= \frac{15,5 - 0,170 \text{ mg/L}}{0,02 \text{ g}} \times 0,02 \text{ L} \\
 &= 15,33 \text{ mg/g}
 \end{aligned}$$

5). Massa adsorben 0,05 g

$$\begin{aligned}
 Q_e &= \frac{C_0 - C_e}{m} \times V \\
 &= \frac{15,5 - 0,300 \text{ mg/L}}{0,05 \text{ g}} \times 0,02 \text{ L} \\
 &= 6,08 \text{ mg/g}
 \end{aligned}$$

c). Variasi Waktu Kontak

1). Waktu kontak 30 menit

$$\begin{aligned}
 Q_e &= \frac{C_0 - C_e}{m} \times V \\
 &= \frac{18,022 - 0,8664 \text{ mg/L}}{0,02 \text{ g}} \times 0,02 \text{ L} \\
 &= 17,1556 \text{ mg/g}
 \end{aligned}$$

2). Waktu kontak 60 menit

$$\begin{aligned}
 Q_e &= \frac{C_0 - C_e}{m} \times V \\
 &= \frac{18,022 - 0,8116 \text{ mg/L}}{0,02 \text{ g}} \times 0,02 \text{ L}
 \end{aligned}$$

$$= 17,2104 \text{ mg/g}$$

3). Waktu kontak 120 menit

$$\begin{aligned} Q_e &= \frac{C_o - C_e}{m} \times V \\ &= \frac{18,022 - 0,7365 \text{ mg/L}}{0,02 \text{ g}} \times 0,02 \text{ L} \\ &= 17,2855 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

4). Waktu kontak 180 menit

$$\begin{aligned} Q_e &= \frac{C_o - C_e}{m} \times V \\ &= \frac{18,022 - 0,6694 \text{ mg/L}}{0,02 \text{ g}} \times 0,02 \text{ L} \\ &= 17,3526 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

5). Waktu kontak 240 menit

$$\begin{aligned} Q_e &= \frac{C_o - C_e}{m} \times V \\ &= \frac{18,022 - 0,8791 \text{ mg/L}}{0,02 \text{ g}} \times 0,02 \text{ L} \\ &= 17,1429 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

d). Variasi Konsentrasi Larutan

1). Konsentrasi 9,36 mg/L

$$\begin{aligned} Q_e &= \frac{C_o - C_e}{m} \times V \\ &= \frac{9,36 - 0,23 \text{ mg/L}}{0,02 \text{ g}} \times 0,02 \text{ L} \\ &= 9,13 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

2). Konsentrasi larutan 18,022 mg/L

$$\begin{aligned}
 Q_e &= \frac{C_o - C_e}{m} \times V \\
 &= \frac{18,022 - 1,52 \text{ mg/L}}{0,02 \text{ g}} \times 0,02 \text{ L} \\
 &= 16,502 \text{ mg/g}
 \end{aligned}$$

3). Konsentrasi larutan 28,72 mg/L

$$\begin{aligned}
 Q_e &= \frac{C_o - C_e}{m} \times V \\
 &= \frac{28,72 - 25,16 \text{ mg/L}}{0,02 \text{ g}} \times 0,02 \text{ L} \\
 &= 3,56 \text{ mg/g}
 \end{aligned}$$

4). Konsentrasi larutan 38,915 mg/L

$$\begin{aligned}
 Q_e &= \frac{C_o - C_e}{m} \times V \\
 &= \frac{38,915 - 35,14 \text{ mg/L}}{0,02 \text{ g}} \times 0,02 \text{ L} \\
 &= 3,775 \text{ mg/g}
 \end{aligned}$$

5). Konsentrasi larutan 48,579 mg/L

$$\begin{aligned}
 Q_e &= \frac{C_o - C_e}{m} \times V \\
 &= \frac{48,579 - 45,40 \text{ mg/L}}{0,02 \text{ g}} \times 0,02 \text{ L} \\
 &= 3,179 \text{ mg/g}
 \end{aligned}$$

d. Penghitungan Kinetika Adsorpsi

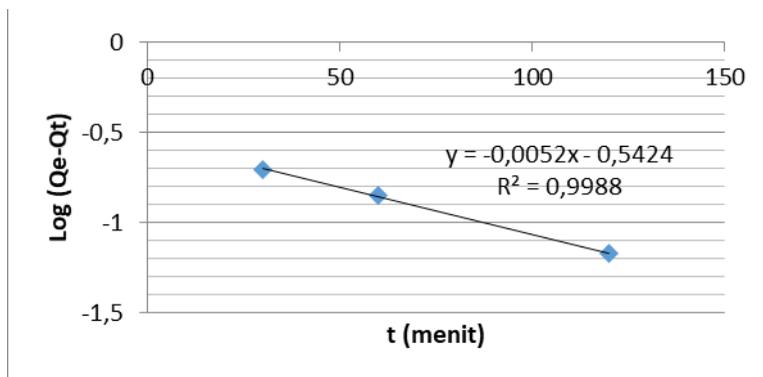
1). Pseudo Orde 1

Data untuk menghitung kinetika pseudo orde 1 ditunjukkan pada **Tabel L.5**.

Tabel L. 5 Data Perhitungan Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde 1

Ce (mg/L)	Qt (mg/g)	t (menit)	Log Qe-Qt
0,8664	17,1556	30	-0,705533773
0,8116	17,2104	60	-0,847100403
0,7365	17,2855	120	-1,17327748
0,6694	17,3526	180	
0,8791	17,1429	240	-0,674840157

Berdasarkan data pada **Tabel L.5** dihasilkan kurva persamaan linier antara t vs Log (Qe-Qt) dengan intersep = Qe dan slopenya adalah K₁, sebagaimana yang ditunjukkan pada **Gambar L.1**.



Gambar L.1 Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde 1

Berdasarkan **Gambar L.1** diperoleh persamaan kapasitas adsorpsi pseudo orde 1 yaitu:

$$y = -0,0052x - 0,5424 \text{ dengan } R^2 = 0,9988.$$

Nilai K_1 sebesar -0,0119756 dan Q_e sebesar 0,286813771 diperoleh dari hasil perhitungan sebagai berikut:

$$y = ax + b$$

$$y = -0,0052x - 0,5424$$

$$\frac{K_1}{2,303} = a$$

$$K_1 = -0,0052 (2,303)$$

$$= -0,0119756$$

$$\text{Log } Q_e = b$$

$$Q_e = 10^b$$

$$= 10^{-0,5424}$$

$$= 0,28681377$$

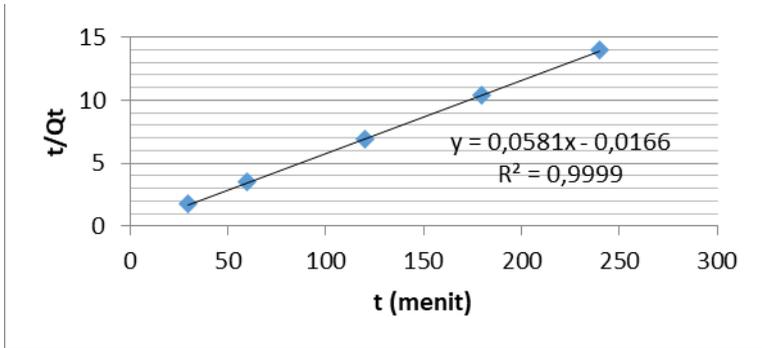
2). Pseudo Orde 2

Data untuk menghitung kinetika pseudo orde 2 ditunjukkan pada **Tabel L.6**.

Tabel L. 6 Data Perhitungan Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde 2

Ce (mg/L)	Qt (mg/g)	t (menit)	t/Qt
0,8664	17,1556	30	1,748700133
0,8116	17,2104	60	3,486264119
0,7365	17,2855	120	6,942234821
0,6694	17,3526	180	10,3730853
0,8791	17,1429	240	13,999965

Berdasarkan data pada **Tabel L.6** dihasilkan kurva persamaan linier antara t vs t/Q_t dengan intersep = $1/K_2Q_e^2$ dan slopenya adalah $1/Q_e$, sebagaimana yang ditunjukkan pada **Gambar L.2**.



Gambar L.2 Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde 2

Berdasarkan **Gambar L.2** diperoleh persamaan kapasitas adsorpsi pseudo orde 2 yaitu:

$$y = 0,0581x - 0,0166 \text{ dengan } R^2 = 0,9999$$

Nilai K_2 sebesar $-0,20335$ dan Q_e sebesar $17,21170396$ diperoleh dari hasil perhitungan sebagai berikut:

$$y = ax + b$$

$$y = 0,0581x - 0,0166$$

$$\frac{1}{Q_e} = a$$

$$\frac{1}{a} = Q_e$$

$$\frac{1}{0,0581} = Qe$$

$$Qe = 17,21170396$$

$$\frac{1}{K_2 Qe^2} = b$$

$$\frac{1}{K_2 (17,21170396)^2} = -0,0166$$

$$\frac{1}{-0,0166 (17,21170396)^2} = K_2$$

$$-0,20335 = K_2$$

e. Penghitungan Isoterm Adsorpsi

1). Isoterm Adsorpsi Langmuir

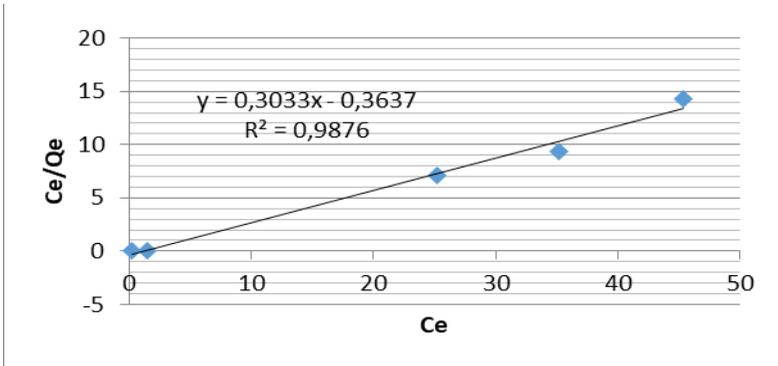
Data untuk menghitung isoterm adsorpsi

Langmuir ditunjukkan pada **Tabel L.7**.

Tabel L. 7 Data Perhitungan Isoterm Adsorpsi Langmuir

Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Qe (mg/g)	Ce/Qe
9,36	0,23	9,13	0,025191675
18,022	1,52	16,502	0,092110047
28,72	25,16	3,56	7,06741573
38,915	35,14	3,775	9,308609272
48,579	45,40	3,179	14,28122051

Berdasarkan data pada **Tabel L.7**, diperoleh kurva persamaan linier antara C_e vs C_e/Q_e dengan intersep = $1/K_L \cdot Q_{\max}$ dan slopenya adalah $1/b$, sebagaimana yang ditunjukkan pada **Gambar L.3**.



Gambar L.3 Isoterm Adsorpsi Langmuir

Berdasarkan **Gambar L.3** diperoleh persamaan isoterm adsorpsi Langmuir, yaitu:

$$y = 0,3033x - 0,3637 \text{ dengan } R^2 = 0,9876$$

Nilai K_L sebesar 1,199142764 dan Q_{\max} sebesar **2,749518834** diperoleh dari hasil perhitungan sebagai berikut:

$$y = ax + b$$

$$y = 0,3033x - 0,3637$$

$$\frac{1}{Q_{\max}} = b$$

$$\frac{1}{b} = Q_{\max}$$

$$\frac{1}{0,3637} = Q_{max}$$

$$Q_{max} = 2,749518834$$

$$\frac{1}{Q_{max} \cdot Kl} = a$$

$$\frac{1}{2,749518834 \cdot Kl} = 0,3033$$

$$\frac{1}{2,749518834 \cdot (0,3033)} = Kl$$

$$Kl = 1,199142764$$

2). Isoterm Adsorpsi Freundlich

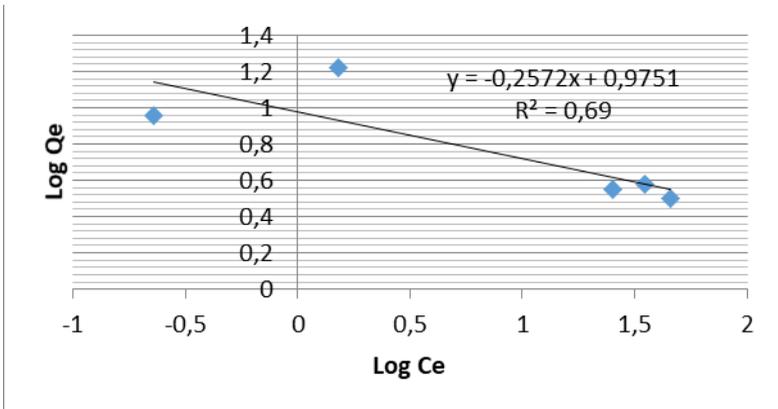
Data untuk menghitung isoterm adsorpsi

Freundlich ditunjukkan pada **Tabel L.8**.

Tabel L. 8 Data Perhitungan Isoterm Adsorpsi Freundlich

Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Qe (mg/g)	Log Ce	Log Qe
9,36	0,23	9,13	-0,638272164	0,960470777
18,022	1,52	16,502	0,181843587	1,217536583
28,72	25,16	3,56	1,400710637	0,551449998
38,915	35,14	3,775	1,545801757	0,576916956
48,579	45,40	3,179	1,657055853	0,502290527

Berdasarkan data pada **Tabel L.8**, diperoleh kurva persamaan linier antara Log Ce vs Log Qe dengan intersep = $1/n$ dan slopenya adalah $\log K_f$, sebagaimana yang ditunjukkan pada **Gambar L.4**.



Gambar L.4 Isoterm Adsorpsi Freundlich

Berdasarkan **Gambar L.4** diperoleh persamaan isoterm adsorpsi Freundlich, yaitu:

$$y = -0,2572x + 0,9751 \text{ dengan } R^2 = 0,69$$

Nilai K_f sebesar 9,44278279 dan n sebesar 3,888024883 diperoleh dari hasil perhitungan sebagai berikut:

$$y = ax + b$$

$$y = -0,2572x + 0,9751$$

$$R^2 = 0,69$$

$$\log Q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e$$

$$\log K_f = b$$

$$\begin{aligned}K_f &= 10^b \\ &= 10^{0,9751} \\ &= 9,44278279 \\ \frac{1}{n} &= a \\ \frac{1}{-0,2572} &= n \\ n &= -3,888024883\end{aligned}$$

Lampiran 4. Hasil Karakterisasi dan Pengujian Aplikasi

1. Hasil Karakterisasi FTIR

a. KKB-NA

PerkinElmer Spectrum Version 10.4.00
Wednesday, March 17, 2021 11:53 AM

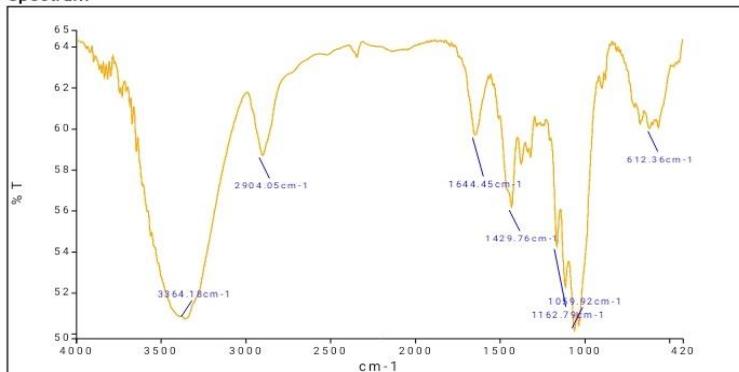
Report Details

Report Location C:\pe_data\reports\Samples View 5_Leni_1_1_1_1.rtf
Report Creator labkim
Report Date Wednesday, March 17, 2021 11:53 AM

Sample Details

Sample Name Leni_1_1_1
Sample Description Skripsi
Analyst labkim
Creation Date 3/17/2021 11:51:45 AM
X-Axis Units cm⁻¹
Y-Axis Units %T

Spectrum



Name	Description
— Leni_1_1_1	Skripsi

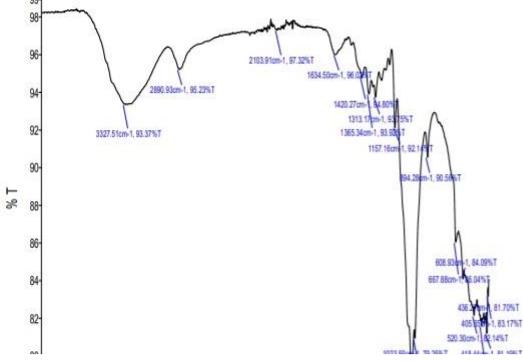
Peak Area/Height Results

Peak	X (cm ⁻¹)	Y (%T)	Area (%T)	Start	End	Base1
1	3364.18	50.69	-6677.01	4000	2993.18	4000
2	2904.05	58.75	1532.78	2993.18	1882.39	2993.18
3	1644.45	59.74	-536	1882.39	1552.27	1882.39
4	1429.76	56.19	-898.41	1552.27	1294.39	1552.27
5	1162.79	54.31	-271.78	1294.39	1142.36	1294.39
6	1059.92	50.14	246.87	1142.36	836.53	1142.36
7	612.36	60.05	-949.63	836.53	420	836.53

b. KKB-TTK

PerkinElmer Spectry
Tuesday, September 21, 2021

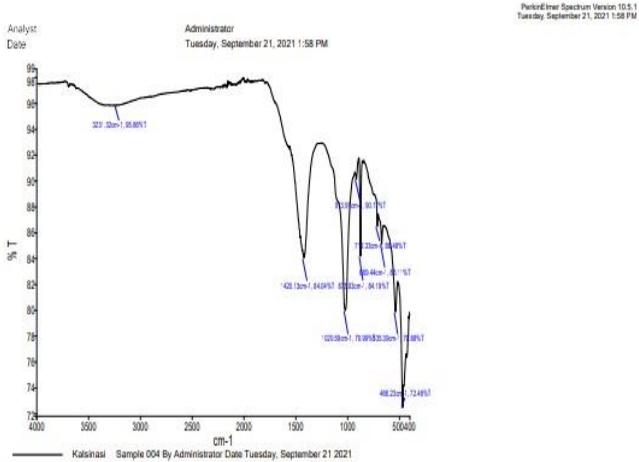
Analyst
Date Administrator
Tuesday, September 21, 2021 2:00 PM



PerkinElmer Spectrum Version 10.5.1
Tuesday, September 21, 2021 2:00 PM

List of Peak Availability		
Peak Number	X (cm-1)	Y (%T)
1	3327.51	93.37
2	2890.93	95.23
3	2103.91	97.32
4	1634.5	96.02
5	1420.27	94.8
6	1365.34	93.92
7	1313.17	93.75
8	1157.16	92.14
9	1022.59	79.25
10	996.13	80.94
11	894.28	90.56
12	667.88	86.04
13	608.93	84.09
14	520.3	82.14
15	460.51	81.58
16	436.27	81.7
17	418.44	81.19
18	405.65	83.17

c. KKB-TT



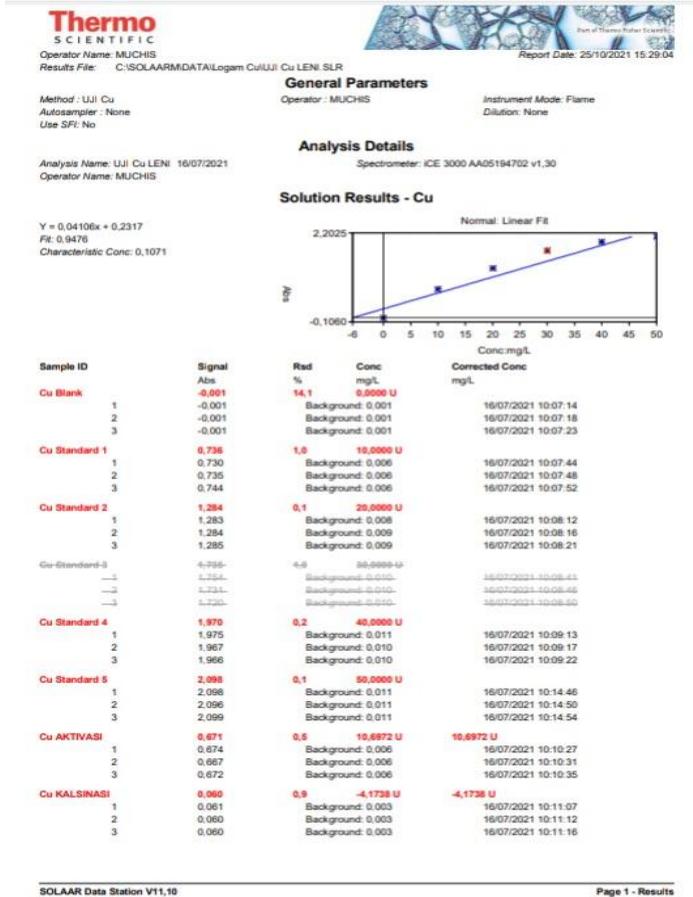
Source Spectra Results	
Spectrum Name	Number Of Peaks

Period: Inner Spectrum Version: 10.5.1
Tuesday, September 21, 2021 1:58 PM

List of Peak Area/Height		
Peak Number	X (cm-1)	Y (%T)
1	3231.32	95.86
2	1420.13	84.04
3	1020.59	79.99
4	913.91	90.17
5	873.93	84.19
6	712.33	86.48
7	669.44	85.11
8	535.39	79.88
9	466.23	72.46

2. Hasil Pengujian Aplikasi

a. Perbandingan KKB-NA, KKB-TTK, dan KKB-TT



SOLAAR AA Report

Operator Name: MUCHIS
Results File: C:\SOLAAR\MDATA\Logam Cu\UJI Cu LENS.SLR

Report Date: 25/10/2021 15:29:04

Solution Results - Cu

Sample ID	Signal Abs	Rad %	Conc mg/L	Corrected Conc mg/L
Cu NON AKTIVASI	0.448	0.8	5.2191 U	5.2191 U
1	0.445		Background: 0.005	16/07/2021 10:11:56
2	0.448		Background: 0.005	16/07/2021 10:12:01
3	0.444		Background: 0.005	16/07/2021 10:12:05

b. Variasi pH Larutan

AAS 202108060900/R10082021/T6/Cu

SampleID	Analyte	Mean
blanko	Cu 324.75	
Standard 1	Cu 324.75	[1] mg/L
Standard 2	Cu 324.75	[2] mg/L
Standard 3	Cu 324.75	[3] mg/L
Standard 4	Cu 324.75	[4] mg/L
Standard 5	Cu 324.75	[5] mg/L
2	Cu 324.75	12.25 mg/L
3		
A	Cu 324.75	0.399 mg/L
5	Cu 324.75	9.483 mg/L
6	Cu 324.75	6.569 mg/L

LAB. MIPA UNNES
Elements Down, portrait Standar

c. Variasi Massa Adsorben

AAS 202108241359/R26082021/IT5/Cu

SampleID	Analyte	Mean
blanko	Cu 324.75	
Standard 1	Cu 324.75	[1] mg/L
Standard 2	Cu 324.75	[2] mg/L
Standard 3	Cu 324.75	[3] mg/L
Standard 4	Cu 324.75	[4] mg/L
Standard 5	Cu 324.75	[5] mg/L
A	Cu 324.75	6.023 mg/L
B	Cu 324.75	1.700 mg/L
A	Cu 324.75	0.399 mg/L
B	Cu 324.75	0.323 mg/L
C	Cu 324.75	0.170 mg/L

LAB. MIPA UNNES
Elements Down, portrait Standar

d. Variasi Waktu Kontak



Operator Name: MUCHIS

Report Date: 12/11/2021 14:10:39

Results File: C:\SOLAARMDATA\Logam Culuji Cu Ienni 121121.SLR

General Parameters

Method : logam cu leni
Autosampler : None
Use SFI: No

Operator : muchis

Instrument Mode: Flame
Dilution: None

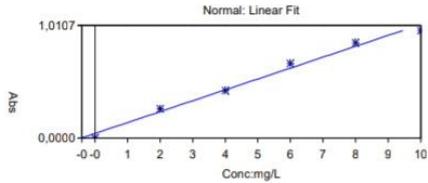
Analysis Details

Analysis Name: uji Cu leni 121121 12/11/2021
Operator Name: MUCHIS

Spectrometer: ICE 3000 AA05194702 v1.30

Solution Results - Cu

Y = 0,09765x + 0,0405
Fit: 0,9879
Characteristic Conc: 0,0451



Cu 30 menit	0,125	5,0	0,8664	0,8664
1	0,128	Background: 0,001		12/11/2021 14:06:47
2	0,129	Background: 0,001		12/11/2021 14:06:51
3	0,118	Background: 0,001		12/11/2021 14:06:56
Cu 1 jam	0,120	0,1	0,8116	0,8116
1	0,120	Background: 0,001		12/11/2021 14:08:26
2	0,120	Background: 0,001		12/11/2021 14:08:31
3	0,120	Background: 0,001		12/11/2021 14:08:35
Cu 2 jam	0,112	0,2	0,7365	0,7365
1	0,112	Background: -0,000		12/11/2021 13:59:32
2	0,112	Background: -0,000		12/11/2021 13:59:36
3	0,113	Background: -0,000		12/11/2021 13:59:41
Cu 3 jam	0,106	0,4	0,6694	0,6694
1	0,105	Background: 0,000		12/11/2021 14:00:56
2	0,106	Background: 0,000		12/11/2021 14:01:01
3	0,106	Background: -0,001		12/11/2021 14:01:05
Cu 4 jam	0,126	1,0	0,8791	0,8791
1	0,127	Background: -0,000		12/11/2021 14:02:58
2	0,127	Background: -0,000		12/11/2021 14:03:02
3	0,125	Background: 0,000		12/11/2021 14:03:06

e. Variasi Konsentrasi Larutan



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
JURUSAN KIMIA - LABORATORIUM RISET KIMIA
Kampus UII Terpadu Jl. Kaliurang Km 14,5 Yogyakarta 55584 ext. 4002

Nomor : 013/LRK-UII/XI/2021
Number
Halaman : 2 dari 2
Page

Hasil Pengujian ***Test Result***

No.	Kode Sampel	Uji Logam	Konsentrasi
1	Awal 9,36 mg/L	Tembaga (Cu)	0,23 mg/L
2	Awal 18,022 mg/L	Tembaga (Cu)	1,52 mg/L
3	Awal 28,720 mg/L	Tembaga (Cu)	25,16 mg/L
4	Awal 38,915 mg/L	Tembaga (Cu)	35,14 mg/L
5	Awal 48,579 mg/L	Tembaga (Cu)	45,40 mg/L

Yogyakarta, 29 November 2021

Kepala Laboratorium Riset Kimia



Wiyogo Prio Wicaksono, S.Si., M.Si.

Lampiran 5 : Dokumentasi Penelitian

a. Tahap Preparasi



Kertas Koran
Bekas

dipotong menggunakan *paper shredder*,
diambil sebanyak 10 gram



500 ml larutan NaHCO_3 10%M

diaduk menggunakan
blender selama 10
menit



pulp yang dihasilkan
kemudian disaring



dibilas aquades
hingga pH netral



dikeringkan dalam oven suhu 110°C
hingga massa konstan



diblender hingga membentuk serat halus, diayak
menggunakan ayakan 100 mesh, diambil 0,1 gram untuk uji
FTIR



direndam dalam 50
mL larutan KOH
30% selama 4 jam
(aktivasi)





Disaring dan dibilas dengan aquades hingga pH netral, dioven suhu 110°C hingga massa konstan, diblender hingga membentuk serat halus, diayak menggunakan ayakan 100 mesh, diambil 0,1 gram untuk diuji FTIR



perbedaan sebelum dan setelah aktivasi

dikalsinasi pada suhu 300°C selama 30 menit, diambil 0,1 gram untuk diuji FTIR

c. Tahap Adsorpsi



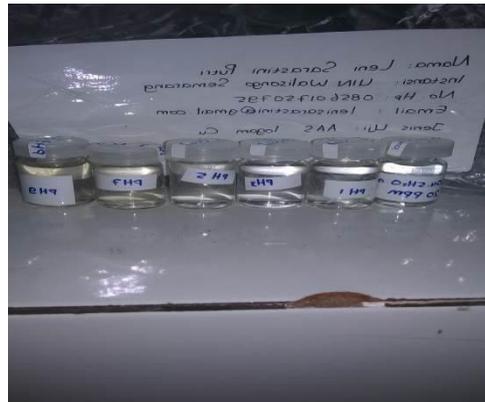
Larutan induk
 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 100
ppm 1 L



Adsorpsi variasi pH (1, 3, 5, 7, 9)
menggunakan adsorben sebanyak 0,01
gram, diaduk menggunakan *magnetic
stirrer* selama 1 jam



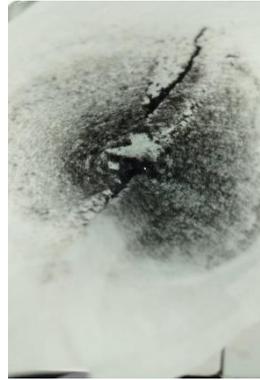
Disaring



Masing-masing diambil 5 mL untuk uji
SSA



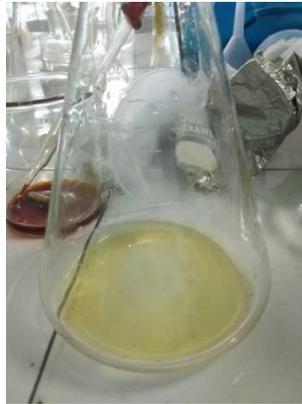
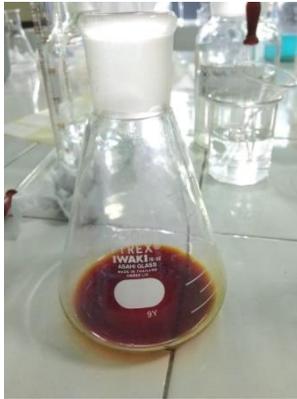
Adsorpsi variasi massa adsorben (0,001;0,005;0,01;0,015;0,02;0,05 gram), dimasukkan ke dalam 20 mL larutan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 15,5 mg/L, diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 1 jam, diuji SSA



Adsorpsi variasi waktu kontak (30, 60, 120, 180, 240 menit) menggunakan adsorben sebanyak 0,02 gram, dimasukkan ke dalam 20 mL larutan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 18,022 mg/L diaduk menggunakan *magnetic stirrer* kemudian disaring dan diuji SSA



Adsorpsi variasi konsentrasi (9,36, 18,022, 28,720, 38,915, 48,579 mg/L) menggunakan adsorben sebanyak 0,02 gram, dimasukkan ke dalam 20 mL larutan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 180 menit kemudian disaring dan diuji SSA



Uji Bilangan Iod

Lampiran 6 : Daftar Riwayat Hidup

RIWAYAT HIDUP

A. Identitas Diri

1. Nama Lengkap : Leni Sarastini Putri
2. Tempat & Tgl. Lahir : Kuningan, 26 Juni 1999
3. Alamat : Perumahan Villa Mutiara Jaya
blok N. 97/No. 11, Rt. 01/Rw.
014, Wanajaya, Cibitung, Bekasi,
Jawa Barat
4. No. Hp : 085601750795
5. Email : lenisarastini@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan

1. Pendidikan Formal
 - a. TK Fajar Asri
 - b. SDN Wanasari 02
 - c. SMPIT Nurul Fajri
 - d. SMAN 1 Cidahu
 - e. UIN Walisongo Semarang
2. Pendidikan Non Formal
 - a. TPA Antawali

Semarang, 12 Desember 2021

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Leni Sarastini Putri'.

Leni Sarastini Putri

NIM. 1708036012