

**PEMANFAATAN ADSORBEN DARI LIMBAH KORAN
BEKAS DAN BENTONIT UNTUK MENGURANGI
KADAR ZAT WARNA *CONGO RED***

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Sains dalam Ilmu Kimia



Oleh :

Annisa Rohmatul Ulya

1608036005

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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Annisa Rohmatul Ulya

NIM : 1608036005

Jurusan : Kimia

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul:

**“PEMANFAATAN ADSORBEN DARI LIMBAH KORAN BEKAS
DAN BENTONIT UNTUK MENGURANGI KADAR ZAT
WARNA CONGO RED”**

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

Semarang, 6 Oktober 2021

Pembuat Pernyataan,



Annisa Rohmatul Ulya

NIM : 1608036005

PENGESAHAN

Naskah skripsi berikut ini :

Judul : PEMANFAATAN ADSORBEN DARI LIMBAH KORAN
BEKAS DAN BENTONIT UNTUK MENGURANGI
KADAR ZAT WARNA *CONGO RED*

Penulis : **Annisa Rohmatul Ulya**

NIM : 1608036005

Jurusan : Kimia

Telah diujikan dalam sidang munaqosyah oleh dewan penguji
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo dan dapat diterima
sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana dalam ilmu
Kimia.

Semarang, 12 Oktober 2021

DEWAN PENGUJI

Ketua Sidang,



Dr. Ervin Tri Suryandari, M.Si

NIP.197407162009122001

Sekretaris Sidang,



Mulyatun, M.Si

NIP.198305042011012008

Penguji I,



Atik Rahmawati, S.Pd., M.Si

NIP.197505162006042002



Penguji II,



Kais Nur Latifah, M.Si

NIP.199203042019032019

Pembimbing I,



Dr. Ervin Tri Suryandari, M.Si

NIP.197407162009122001

Pembimbing II,



Kustomo, M.Sc

NIP.198802262019031007

NOTA DINAS

Semarang, 5 Oktober 2021

Kepada
Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo
Di Semarang

Assalamu'alaikum.wr.wb.

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

Judul : PEMANFAATAN ADSORBEN DARI LIMBAH KORAN BEKAS
DAN BENTONIT UNTUK MENGURANGI KADAR ZAT WAR-
NA CONGO RED

Nama : **Annisa Rohmatul Ulya**

NIM : 1608036005

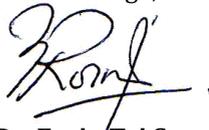
Jurusan : Kimia

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

Wassalamu'alaikum.wr.wb.

Semarang, 5 Oktober 2021

Pembimbing I,



Dr. Ervin Tri Suryandari, M.Si.

NIP : 19740716 200912 2001

NOTA DINAS

Semarang, 5 Oktober 2021

Kepada
Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo
Di Semarang

Assalamu'alaikum.wr.wb.

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

Judul : PEMANFAATAN ADSORBEN DARI LIMBAH KORAN BEKAS
DAN BENTONIT UNTUK MENGURANGI KADAR ZAT WAR-
NA CONGO RED

Nama : **Annisa Rohmatul Ulya**

NIM : 1608036005

Jurusan : Kimia

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

Wassalamu'alaikum.wr.wb.

Semarang, 5 Oktober 2021

Pembimbing II,



Kustomo, M.Sc.

NIP : 19880226 201903 1007

ABSTRAK

Limbah kertas koran bekas mengandung selulosa yang berpotensi sebagai adsorben yang murah untuk mengurangi pencemaran lingkungan. Penelitian ini dilakukan pencampuran kertas koran bekas (KKB) dan bentonit (BT) untuk mengetahui komposisi adsorben terbaik dalam penyerapan zat warna *congo red*. Limbah kertas koran bekas dipreparasi melalui proses deglinifikasi untuk memperoleh selulosa dari kertas koran. Selulosa KKB diuji secara kualitatif melalui uji benedict dan uji iodium. Dari data FTIR untuk adsorben KKB, BT, dan campuran BT-KKB menunjukkan keberadaan gugus fungsi -OH, Si-O-Al, dan Si-O-Si yang berperan dalam proses adsorpsi zat warna *congo red*. Penyerapan zat warna *congo red* dengan kapasitas adsorpsi terbaik yaitu menggunakan 100% KKB dengan kapasitas adsorpsi 9.04 mg/g. Dengan kondisi optimum pada pH 5 dengan waktu kontak 120 menit. Proses adsorpsi zat warna *congo red* oleh adsorben KKB pada penelitian ini mengikuti model isoterm Freundlich dan model kinetika adsorpsi pseudo orde dua dengan nilai $k = 0.00143 \text{ g.mg}^{-1} \text{ min}^{-1}$.

Kata Kunci: Kertas Koran, Bentonit, Delignifikasi, Adsorpsi, *Congo Red*.

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Alhamdulillah rabbil 'Alamin puji syukur kehadiran Allah SWT, atas limpahan Rahmat dan Karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul: Pemanfaatan Adsorben Dari Limbah Koran Bekas Dan Bentonit Untuk Mengurangi Kadar Zat Warna *Congo Red*. Sholawat dan salam semoga tetap terlimpahkan kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW yang senantiasa memupuk rasa semangat dan keyakinan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Skripsi ini untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan studi serta dalam rangka memperoleh gelar Sarjana studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh sebab itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini.

Terselesainya skripsi ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya bagi semua pihak yang telah memberikan bantuan moril maupun

materil baik langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini hingga selesai, terutama kepada yang saya hormati:

1. Prof. Dr. Imam Taufiq, M.Ag selaku Rektor Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
2. Bapak Dr. Ismail, M.Ag selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi.
3. Ibu Hj. Malikhatul Hidayah, ST, M.Pd selaku Ketua Jurusan Kimia Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
4. Ibu Mulyatun, S.Pd., M.Si selaku Sekretaris Jurusan Kimia Universitas Islam Negeri Walisongo
5. Ibu Wirda Udaibah, M.Si selaku dosen wali yang telah memberikan arahan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Ibu Dr. Ervin Tri Suryandari, M.Si selaku dosen pembimbing pertama skripsi yang telah memberikan kritik, saran, bimbingan maupun arahan yang sangat berguna dalam penyusunan skripsi.
7. Bapak Kustomo, M.Sc selaku dosen pembimbing kedua skripsi yang telah memberikan kritik, saran, bimbingan maupun arahan yang sangat berguna dalam penyusunan skripsi.

8. Seluruh Bapak/Ibu dosen dan staf di lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang, khususnya Jurusan Kimia yang telah banyak membantu kami untuk dapat melaksanakan penulisan dalam studi.
9. Teristimewa kepada orang tua penulis, bapak Mohammad Aryadi dan Ibu Umi Sholikatin yang selalu mendoakan, memberikan motivasi dan pengorbanannya baik dari segi moril maupun materil kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini, serta kakak Ahmad Ilham Fajrul Falah dan adik Zahira Rasya Almira yang selalu memberikan do'a dan semangat kepada penulis.
10. Ibu Anita Karunia Z, S.Si, Ahmad Mughis, S.Pd.I, dan segenap asisten laboratorium kimia yang telah memberikan kesempatan belajar dan pengalaman berharga bagi penulis sebagai asisten di Laboratorium Kimia UIN Walisongo.
11. Teman-teman seperjuangan Kimia 2016 yang telah memberikan warna dan semangat setiap harinya selama perkuliahan.
12. Seluruh Keluarga besar Pondok Pesantren Fadhlul Fadhlun Mijen Semarang terkhusus abah Yai Fadholan

- Musyaffa', Lc. MA yang senantiasa selalu mendoakan dan memberikan motivasi kepada santri-santrinya.
13. Teman-teman kos Humairo yang telah merangkul penulis seperti keluarga sendiri dan selalu memberikan semangat bagi penulis.
 14. Teman-teman KKN MIT ke IX posko 7 Kelurahan Karangawen, Kecamatan Karangawen, Kota Demak.
 15. Serta semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu yang turut memberikan dukungan, bantuan dan semangat selama penyelesaian skripsi.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini belumlah sempurna. Karena itu, penulis mengharap kritik dan saran yang bersifat membangun guna memperbaiki dan menyempurnakan skripsi ini. Penulis juga berharap, Semoga skripsi yang telah disusun dapat memberikan manfaat, sehingga dapat membantu dalam pengembangan riset dan ilmu pengetahuan.

Semarang, 5 Oktober 2021

Penulis,



Annisa Rohmatul Ulya
NIM. 1608036005

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
PENGESAHAN.....	v
NOTA DINAS.....	vii
ABSTRAK.....	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI	xvii
DAFTAR TABEL	xxi
DAFTAR GAMBAR.....	xxiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxv
BAB I : PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah	7
C. Tujuan Penelitian	7
D. Manfaat penelitian	8
BAB II : TINJAUAN PUSTAKA	
A. Pencemaran Zat Warna	9
B. Zat Warna <i>Congo Red</i>	13
C. Adsorpsi.....	14
D. Limbah Kertas Koran Bekas	23

E. Selulosa.....	26
F. Bentonit.....	30
G. Instrumentasi.....	37
a. <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR).....	37
b. UV-Vis.....	46
H. Tinjauan Pustaka.....	53
BAB III : METODE PENELITIAN	
A. Tempat dan Waktu Penelitian	57
B. Alat dan Bahan	57
C. Metode.....	58
BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Preparasi Adsorben Kertas Koran Bekas (KKB)	67
B. Uji Kualitatif Selulosa Kertas Koran Bekas	71
1. Uji Benedict.....	71
2. Uji Iodium	72
C. Preparasi Adsorben Bentonit (BT)	73
D. Preparasi Adorben BT-KKB	74
E. Karakterisasi Gugus Fungsi Adsorben Menggunakan Spektrofotometer <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR)	76
F. Adsorpsi Zat Warna <i>Congo Red</i>	81
G. Karakterisasi Gugus Fungsi Adsorben KKB Setelah Adsorpsi Menggunakan Spektrofotometer <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR).....	86

H. Penentuan Kondisi Optimum Penyerapan Zat Warna Congo Red oleh Adsorben KKB.....	89
1. Penentuan pH Optimum.....	89
2. Penentuan Konsentrasi Optimum.....	91
3. Penentuan Waktu Kontak Optimum	93
I. Penentuan Isoterm Adsorpsi.....	94
J. Penentuan Kinetika Adsorpsi.....	98
BAB V : PENUTUP	
A. Kesimpulan	101
B. Saran.....	102
DAFTAR PUSTAKA	103
LAMPIRAN-LAMPIRAN	113
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	145

DAFTAR TABEL

Tabel	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Data banyaknya sampah per bulan di kabupaten Semarang tahun 2011-2020	24
Tabel 2.2	Komposisi kimia montmorillonit	31
Tabel 2.3	Range panjang gelombang berbagai gugus fungsi	40
Tabel 3.1	Komposisi pencampuran adsorben BT-KKB	59
Tabel 4.1	Komposisi pencampuran adsorben BT-KKB	74
Tabel 4.2	Interpretasi hasil spektra FTIR selulosa KKB	77
Tabel 4.3	Interpretasi spektra FTIR bentonit	79
Tabel 4.4	Kapasitas adsorpsi adsorben KKB, BT, dan BT-KKB	82
Tabel 4.5	Interpretasi spektra FTIR adsorben KKB sebelum dan sesudah adsorpsi	87
Tabel 4.6	Parameter isoterm adsorpsi	97
Tabel 4.7	Parameter kinetika adsorpsi	100
Tabel L3.1	Data penentuan isoterm Langmuir	134
Tabel L3.2	Data penentuan isoterm Freundlich	136
Tabel L3.3	Data penentuan pseudo orde satu	137
Tabel L3.4	Data penentuan pseudo orde dua	139

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Struktur <i>Congo Red</i>	13
Gambar 2.2	Komposisi sampah di Indonesia berdasarkan jenis	25
Gambar 2.3	Struktur umum selulosa	28
Gambar 2.4	Sistem ikatan hidrogen a)selulosa I dan b)selulosa II	29
Gambar 2.5	Struktur monmorillonit	33
Gambar 2.6	Skema instrumen FTIR	38
Gambar 2.7	Daerah spektra FTIR	40
Gambar 2.8	Spektrum FTIR selulosa kertas Koran	43
Gambar 2.9	Spektrum FTIR bentonit	45
Gambar 2.10	Daerah panjang gelombang elektromagnetik	48
Gambar 2.11	Diagram alat spektrofotometer UV-Vis (<i>single beam</i>)	49
Gambar 2.12	Diagram alat spektrofotometer UV-Vis (<i>double beam</i>)	50
Gambar 2.9	Adsorpsi cahaya oleh sampel	52
Gambar 4.1.	Proses delignifikasi	68
Gambar 4.2	Mekanisme pemutusan ikatan antara selulosa dan lignin	69
Gambar 4.3	Selulosa kertas koran bekas hasil preparasi	71
Gambar 4.4	Hasil uji benedict	72
Gambar 4.5	Hasil uji iodium	73
Gambar 4.6	Bentonit hasil preparasi	74
Gambar 4.7	Adsorben BT-KKB dengan perbandingan KKB:BT a)20;0, b)5:15, (c)10:10, (d)15:5, (e)20:0.	75

Gambar 4.8	Spektra FTIR selulosa kertas koran bekas	76
Gambar 4.9	Spektra FTIR bentonit	78
Gambar 4.10	Spektra FTIR adsorben KKB,BT, dan BT-KKB	80
Gambar 4.11	Mekanisme adsorpsi zat warna oleh selulosa	85
Gambar 4.12	Spektra FTIR adsorben selulosa sebelum dan sesudah adsorpsi	86
Gambar 4.13	Pengaruh pH terhadap kapasitas adsorpsi	90
Gambar 4.14	Pengaruh konsentrasi awal <i>congo red</i> terhadap kapasitas adsorpsi	92
Gambar 4.15	Pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas adsorpsi	93
Gambar 4.16	Kurva isoterm Langmuir	95
Gambar 4.17	Kurva isoterm Freundlich	96
Gambar 4.18	Kurva model isoterm adsorpsi <i>congo red</i> oleh adsorben KKB	97
Gambar 4.19	Model kinetika adsorpsi pseudo orde satu	98
Gambar 4.20	Model kinetika adsorpsi pseudo orde dua	99

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Judul	Halaman
Lampiran 1	Skema Prosedur Kerja	113
Lampiran 2	Data Hasil Percobaan	118
Lampiran 3	Analisa Data	125
Lampiran 4	Dokumentasi Percobaan	141

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK) yang cukup pesat saat ini telah membawa perubahan kondisi di bumi, salah satu dampak perkembangan IPTEK tersebut adalah pertumbuhan industri yang luar biasa. Tidak dapat dipungkiri bahwa industri merupakan salah satu penopang perekonomian di Indonesia. Namun, adanya industri tentu akan menghasilkan apa yang disebut “limbah industri” dan pada kenyataannya perkembangan industri tidak diimbangi dengan pengelolaan limbah buang industri yang memadai. Kurangnya Sumber Daya Manusia (SDM) yang memadai dan pengetahuan yang kurang mengenai tata kelola limbah hasil industri mungkin menjadi salah satu pemicu pencemaran limbah yang marak saat ini.

Meningkatnya industri tekstil mengakibatkan tercemarnya lingkungan perairan oleh zat warna yang dihasilkan dari limbah cair buangan yang selama ini tidak diolah terlebih dahulu atau limbah tersebut langsung

dibuang ke dalam saluran air. Berdasarkan data *colour index*, zat warna azo merupakan golongan zat warna dengan jumlah terbesar dan banyak digunakan pada berbagai industri tekstil. Namun, mayoritas zat warna golongan azo bersifat reaktif dan toksik. Salah satunya adalah *congo red* (Herlina, Masri, & Sudding, 2017).

Limbah dari aktivitas industri tekstil diketahui mengandung zat-zat organik dengan kadar yang tinggi seperti *congo red* yang dihasilkan oleh sisa-sisa proses pembatikan maupun pewarnaan sutera. Terakumulasinya polutan zat warna seperti *congo red* pada lingkungan perairan dapat menyebabkan terhalangnya sinar matahari menuju air, sehingga mengganggu proses fotosintesis pada tumbuhan serta mempengaruhi tatanan ekosistem yang ada (Hajati et al., 2014).

Koagulasi, presipitasi kimia, pertukaran ion, adsorpsi, filtrasi membran, maupun teknik elektrokimia merupakan teknik yang sering digunakan untuk mengatasi pencemaran limbah. Diantara teknik-teknik tersebut, proses adsorpsi merupakan metode yang efektif dengan biaya yang tidak mahal yang telah diadopsi secara luas. Rahmalia (dalam Islamiyah & Koestiari, 2014) menjelaskan bahwa dibandingkan dengan metode lain, adsorpsi memiliki beberapa kelebihan, diantaranya

prosesnya sederhana, tidak membutuhkan biaya mahal, adsorbennya dapat diregenerasi, serta memiliki efektifitas dan efisiensi yang tinggi. Oleh karena itu, banyak peneliti yang berupaya menemukan adsorben yang efektif dan efisien. Bahan-bahan yang mudah diperoleh dan biasanya hanya menjadi limbah seperti biji belimbing, batang nanas, kulit kayu pinus, kulit jeruk, dan serbuk gergaji dapat digunakan sebagai adsorben. Akan tetapi, beberapa bahan tersebut memiliki kapasitas adsorpsi yang rendah (Zhang et al., 2013).

Kertas (koran bekas, majalah bekas, maupun limbah perkantoran) pada dasarnya merupakan bahan yang mengandung selulosa, yang memiliki gugus senyawa (polar) seperti eter dan alkohol. Pada pH yang rendah, Gugus dari senyawa tersebut dapat berikatan dengan senyawa lain (Herlenasari, et al.,2017). Berdasarkan uji yang telah dilakukan oleh *National Renewable Energy Laboratory* (NREL), China, Kertas koran bekas mengandung 50,1% selulosa, 18,1% lignin, 16,8% hemiselulosa, 5,9% *moisture*, dan 6,8% abu (Dahlan, Hassan, & Hakim, 2013). Sehingga kertas koran berpotensi sebagai adsorben.

Pulp (bubur kertas) merupakan bahan dalam pembuatan kertas dengan selulosa sebagai bahan baku.

Terdapat tiga jenis proses pembuatan pulp yaitu *chemical pulping*, *semi-chemical pulping*, dan *mechanical pulping*. Zat lignin perlu dipisahkan untuk menghasilkan selulosa dari bahan yang berserat (kayu maupun bukan kayu) melalui proses baik secara kimia (*chemical pulping*), semi kimia, maupun secara mekanis (*mechanical pulping*). Pembuatan pulp secara mekanik terdiri dari *stone grinding* dan *refiner pulping process* (*Refiner Mechanical Pulp* (RMP), *Thermomechanical pulp* (TMP), dan lain sebagainya (Bahri, 2015; Patt et al., 2012). Pulp koran adalah bahan selulosa kompleks yang terdiri dari *thermo-mechanical pulp* dengan kemampuan mengurangi kadar zat warna lebih tinggi dibandingkan *chemical pulp* (Susilo, Li, & Englezos, 2005). Bahan selulosa termasuk polimer alami yang keberadaannya tersedia melimpah dan mudah terdekomposisi di lingkungan, juga memiliki potensi sebagai *bio-adsorbent* (Mardiah & Fathoni, 2016). Zat warna berinteraksi dengan gugus fungsi selulosa yang bermuatan negatif seperti karbonil, hidroksil, karboksil, fenolik dan asam sulfonat (Sundberg et al., 2000).

Penelitian sebelumnya mengenai pembuatan adsorben dari koran bekas membuktikan bahwa koran bekas mengandung selulosa dengan gugus -OH yang berperan untuk mengadsorpsi logam berat maupun zat

warna. Dehghani et al (2016) menyebutkan bahwa kertas koran dapat digunakan untuk mengadsorpsi Cr (IV) sebesar 64% (59,88 mg/g) pada pH 3 dengan waktu kontak 60 menit dan dosis adsorben sebanyak 3 g/L. Studi penelitian lain yaitu penelitian oleh Herlenasari et al (2017), dimana kertas koran efektif digunakan untuk mengadsorpsi Cu dan Fe dalam limbah dengan rata-rata persentase penyerapan logam Cu (II) dan Fe (II) dengan variasi konsentrasi awal 20 – 200 mg/L sebesar 98,38% dan 98,90%. Serta rata-rata persentase penyerapan Cu (II) dan Fe (II) sebesar 97,50% dan 92,87% pada variasi dosis adsorben. Ewina (2014) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa karbon aktif dari Koran bekas termodifikasi nanokitosan dapat dimanfaatkan sebagai adsorben zat warna *congo red* dengan penyerapan optimum pada konsentrasi 719 ppm dengan massa adsorben 20 mg, pada pH 3, dan waktu kontak selama 5 menit.

Penelitian mengenai adsorpsi zat warna *congo red* oleh selulosa dari serabut kelapa dan ampas tebu (Widjanarko, et al., 2006), dedak padi (Herlina, Masri, & Sudding, 2017), daun sagu (Arnata et al., 2019), kulit rambutan (Priambodo, 2020) serta cangkang biji kakao (Arellano et al., 2021), menunjukkan bahwa gugus hidroksil (-OH) pada selulosa dapat digunakan untuk

menyerap zat warna *congo red*. sehingga dimungkinkan selulosa kertas koran bekas juga dapat digunakan untuk mengadsorpsi zat warna.

Bahan yang dapat dikembangkan sebagai adsorben zat warna yang murah dan efisien selain kertas koran bekas adalah bentonit. Bentonit dengan rumus molekul $\text{Si}_8(\text{Al})_4\text{O}_{20}(\text{OH})_4$ adalah sejenis batuan yang tersusun dari montmorillonit dan sedikit mineral lainnya seperti *illite*, *kaolite*, *halloysite*, *quartz*, *calcite* dan *pyrite* (Liu, Xie, & Qin 2017). Bentonit memiliki struktur lapis sehingga memiliki sisi negatif yang merata pada permukaan bentonit, sehingga juga dapat berperan baik sebagai penukar kation. Pertukaran ion (*ion exchange*) merupakan dasar proses adsorpsi menggunakan resin yang pada prosesnya membutuhkan biaya yang cukup mahal sebab mahalnya harga resin sintetis. Oleh karena itu, bentonit dapat digunakan sebagai alternatif yang lain (Rokhati & Prasetyaningrum, 2004).

Berdasarkan hal tersebut, maka peneliti mengambil ide untuk membuat adsorben dari limbah kertas koran untuk mengurangi kadar zat warna *congo red* pada limbah cair.

B. Rumusan Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini diantaranya;

- a. Bagaimana karakteristik dari adsorben kertas koran bekas (KKB), bentonit (BT), dan BT-KKB?
- b. Bagaimana kapasitas adsorpsi adsorben KKB, BT, dan BT-KKB terhadap zat warna *congo red*?
- c. Bagaimana kondisi optimum (pH, konsentrasi awal zat warna, serta waktu kontak) pada proses adsorpsi zat warna *congo red* oleh adsorben KKB?
- d. Bagaimana kinetika dan isoterm adsorpsi pada proses adsorpsi zat warna *congo red* oleh adsorben KKB?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini diantaranya :

- a. Mengetahui karakteristik dari adsorben kertas koran bekas (KKB), bentonit (BT), dan BT-KKB.
- b. Mengetahui kapasitas adsorpsi adsorben KKB, BT, dan BT-KKB terhadap zat warna *congo red*.
- c. Menentukan kondisi optimum (pH, konsentrasi awal zat warna, serta waktu kontak) pada proses adsorpsi zat warna *congo red* oleh KKB.
- d. Menentukan isoterm dan kinetika adsorpsi pada proses adsorpsi zat warna *congo red* oleh KKB.

D. Manfaat Penelitian

Penelitian ini sangat bermanfaat untuk pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dimana koran bekas dapat dikembangkan dan diaplikasikan sebagai adsorben yang murah dan efisien serta solusi untuk mengurangi kadar zat warna *congo red* di lingkungan perairan yang berasal dari limbah industri tekstil. Dengan pemanfaatan adsorben dari koran bekas, maka pencemaran lingkungan perairan oleh zat warna *congo red* dapat diatasi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Pencemaran Zat Warna

Pencemaran atau polusi didefinisikan sebagai perubahan karakteristik udara, air, maupun tanah secara fisik, kimiawi, maupun biologi yang tidak diinginkan, yang dapat membahayakan kesehatan, kelangsungan hidup, maupun aktivitas manusia atau makhluk hidup lainnya (Miller, 1979). Sedangkan menurut Darmono (2001), pencemaran atau polusi disebut sebagai berubahnya faktor abiotik akibat faktor alamiah maupun disebabkan ulah manusia yang telah melampaui batas ambang toleransi dari ekosistem biotik. Dewasa ini, pertumbuhan penduduk yang cepat turut mendorong tingginya kebutuhan manusia yang harus terpenuhi. Pola hidup manusia yang cenderung lebih konsumtif merupakan faktor mendasar terjadinya pencemaran (Rochmad, 2006).

Pencemaran atau polusi timbul karena keberadaan bahan pencemar (*pollutans*) pada suatu ekosistem. Pada dasarnya, ekosistem secara alamiah memiliki kemampuan untuk menetralisasi polutan yang terdapat di suatu ekosistem sehingga keseimbangan dan

keselarasan alam dapat terjaga. Alam secara alami mempunyai jasad renik sebagai pengurai. Namun, apabila bahan pencemar atau polutan tidak mampu dinetralisasi atau diperbaiki oleh alam (*non-recycle* atau *non-renewable* atau *non-degradable*), maka polutan akan menimbulkan pencemaran atau polusi. Dengan demikian, pencemaran dapat dikatakan terjadi ketika jumlah bahan pencemar (*pollutants*) melampaui atau melebihi daya dukung lingkungan (Rochmad, 2006).

Bahan pencemar yang bersifat *slowly degradable pollutants* terutama yang bersifat *non-degradable* dapat berbahaya bagi lingkungan. Karenanya, perlu dicegah keberadaannya untuk masuk ke lingkungan air, tanah, maupun udara. seperti halnya polutan zat warna (Rochmad, 2006).

Zat warna (*dye*) merupakan senyawa organik yang mengadsorpsi cahaya pada daerah sinar tampak (*visible region*). Ciri utama pada zat warna diantaranya terdapatnya sistem konjugasi kromogen-kromofor (akseptor elektron), resonansi elektron (delokalisasi elektron π dari cincin aromatik benzena, naptalena, atau antrasena dengan mengikat kromofor (seperti gugus azo (-N=N-), karbonil (=C=O), gugus -CH=) pada ikatan rangkap konjugasi (*double conjugated links*). Sistem

konjugasi tersebut berperan dalam penyerapan elektromagnetik yang menghasilkan warna. Keberadaan gugus fungsi seperti amina (-NH₂), hidroksil (-OH), karboksil (-COOH), dan lain sebagainya dikenal sebagai auksokrom yang bersifat *electron donor-ionizable*, dapat meningkatkan kelarutan zat warna dalam air serta meningkatkan kapasitas pengikatan zat warna terhadap suatu bahan (Swan, Abbas, & Zaini, 2019).

Zat warna berdasarkan sifatnya terbagi menjadi zat warna anionik, kationik, dan non ionik. Sedangkan berdasarkan struktur kimianya, zat warna dapat diklasifikasikan dalam beberapa golongan, diantaranya golongan zat warna azo, nitro, indigo, antraquinon, nitrat, dan lain sebagainya (Benkhaya & Elharfi, 2017). Adapun berdasarkan data *colour index*, zat warna azo yang memiliki kromofor -N=N- merupakan golongan zat warna dengan jumlah terbesar dan banyak digunakan pada berbagai industri tekstil. Namun, mayoritas zat warna golongan azo bersifat reaktif dan toksik. Salah satunya adalah *congo red* (Herlina, Masri, & Sudding, 2017).

Menurut Bansal, Pandey, & Upadhyay (2020), setiap tahunnya, terdapat lebih dari 7 juta ton zat warna sintetik zat warna yang diproduksi oleh berbagai

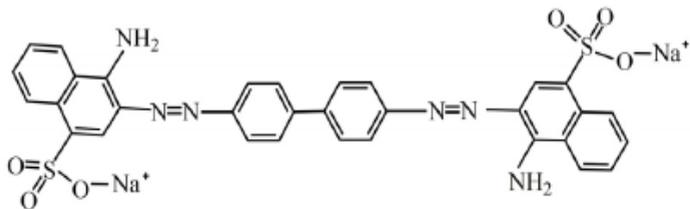
industri, dan lebih dari 10.000 jenis pewarna diproduksi untuk keperluan industri. Aktivitas industri yang menghasilkan polutan zat warna menyebabkan meningkatnya akumulasi polutan pada badan air menyebabkan berbagai masalah lingkungan. Polutan-polutan zat warna sintetik sangat sulit untuk didegradasi dan bersifat sangat stabil karena memiliki molekul aromatik dengan struktur yang kompleks (Arnata et al., 2019).

Terakumulasinya polutan zat warna seperti *congo red* pada lingkungan perairan meskipun dalam jumlah sedikit dapat menyebabkan terhalangnya penetrasi oleh sinar matahari menuju air, sehingga mengganggu proses fotosintesis dan respirasi pada tumbuhan serta mempengaruhi tatanan ekosistem yang ada (Hajati et al., 2014). Sementara itu, menurut Slama et al (2021), produk pewarna maupun berbagai produk sampingnya yang terdapat pada air limbah buangan ataupun debu yang dihasilkan di dalam industri seperti industri tekstil, dapat menimbulkan dampak kesehatan yang serius jangka panjang dan kerusakan pada berbagai organ vital (otak, jantung, hati, dan ginjal) dan pada sistem kekebalan, reproduksi, dan sistem pernafasan manusia. Paparan polutan zat warna secara langsung melalui

inhalasi dapat menyebabkan masalah pernafasan seperti asma, alergi, mual, iritasi pada mata dan kulit, serta dermatitis. Sedangkan pada paparan polutan zat warna secara langsung melalui rantai makanan, dapat menyebabkan penyakit TBC, mutasi gen, kanker, dan jantung.

B. Zat Warna *Congo Red*

Congo red (Kongo merah) dengan nama IUPAC 1-Napthalenesulfonic acid,3, 3-(4,4- biphenylenebis (azo) bis (4-aminodisodium) merupakan zat warna anionik yang memiliki rumus molekul $C_{32}H_{22}N_6Na_2O_6S_2$, berat molekul 697 g/mol, ukuran molekul 0.7 nm - 2.5 nm, nilai pKa 4.5,serta memiliki kelarutan dalam air sebesar 1.10^4 mg/dm³ (Bhoi, 2010; Swan, Abbas, & Zaini, 2019). Adapun Struktur Congo Red dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Struktur *Congo Red*

Congo Red banyak digunakan dalam industri tekstil, karet, kertas, plastik, maupun sebagai indikator pH. Namun penggunaannya dalam industri kapas, *pulp*, dan kertas telah ditinggalkan, karena kecenderungannya untuk berubah warna ketika disentuh oleh jari dan karena toksisitasnya (Samiey & Dargahi, 2010). Pada industri tekstil, *congo red* digunakan dalam proses pencelupan untuk memberikan warna merah pada kain (Herlina, Masri, & Sudding, 2017).

Congo red diketahui merupakan zat warna golongan azo anionik yang bersifat toksik, karsinogenik, dan mutagenik (Arnata et al., 2019).

C. Adsorpsi

Adsorpsi merupakan peristiwa terakumulasinya partikel pada suatu permukaan (Atkins, Paula, & Keeler, 2018). Sedangkan menurut Cundari et al (2016), adsorpsi merupakan interaksi antara molekul dalam fase cairan maupun gas dengan molekul dalam fase padatan dimana antar atom atau molekul yang menutupi permukaan tersebut terjadi gaya tarik menarik. Jumlah pori dan jenis pori yang digunakan untuk mengadsorpsi menentukan banyaknya zat yang teradsorpsi pada permukaan. Pada adsorpsi, media penyerap disebut adsorben. Sedangkan substansi atau zat yang diserap disebut adsorbat.

Adsorpsi merupakan salah satu metode untuk mengatasi pencemaran lingkungan. Dibandingkan dengan metode lain, adsorpsi memiliki beberapa kelebihan, diantaranya prosesnya sederhana, tidak membutuhkan biaya mahal, adsorbennya dapat diregenerasi, serta memiliki efektifitas dan efisiensi yang tinggi (Rahmalia dalam Islamiyah, & Koestiari, 2014).

Ditinjau dari mekanismenya, adsorpsi dibedakan menjadi adsorpsi secara fisika dan adsorpsi secara kimia. Pada adsorpsi secara fisika, mekanisme terjadi ketika besarnya gaya tarik menarik antarmolekul lebih kecil dibandingkan gaya tarik menarik intermolekul. Yang dimaksud gaya tarik menarik antarmolekul adalah gaya tarik menarik yang terjadi antara molekul fluida ataupun gas dengan permukaan suatu padatan. Sedangkan yang dimaksud gaya tarik menarik intermolekul adalah gaya tarik menarik antar fluida dalam molekul itu sendiri (Cundari et al., 2016). Dalam mekanismenya, gaya *Van der Waals* bekerja mengikat adsorbat ke permukaan adsorben. Molekul adsorbat terikat sangat lemah pada permukaan adsorben serta pada adsorpsi secara fisika, energi yang dilepaskan hanya sekitar 20 kJ/mol (Atkins, Paula, & Keeler, 2018).

Berbeda dengan adsorpsi fisika, pada adsorpsi secara kimia, interaksi terjadi melalui pembentukan ikatan kimia antara adsorbat dan adsorben. Mekanisme dimulai dengan adsorpsi secara fisika dimana molekul-molekul adsorbat menuju permukaan adsorben dengan adanya gaya *Van der Waals* maupun dengan ikatan hidrogen. Selanjutnya terjadi adsorpsi secara kimia, dimana molekul-molekul adsorbat menempel di permukaan adsorben melalui pembentukan ikatan kimia (pada umumnya ikatan kovalen) dan cenderung mencari pasangan atau tempat yang dapat memaksimalkan bilangan koordinasi dengan substrat (Atkins, Paula, & Keeler, 2018).

Secara umum, terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi terjadinya proses adsorpsi, diantaranya :

1. Konsentrasi adsorbat

Semakin besar konsentrasi larutan, maka zat warna yang teradsorp akan meningkat secara linear hingga mencapai konsentrasi tertentu.

2. Luas permukaan adsorben

Semakin luas permukaan adsorben, maka semakin banyak kemungkinan antar partikel adsorbat dan adsorben untuk saling bertumbukan, sehingga semakin banyak partikel yang teradsorp

atau semakin merata penyerapan adsorbat oleh adsorben.

3. Tumbukan antar partikel

Banyaknya tumbukan antar partikel adsorben dan adsorbat mempengaruhi proses adsorpsi. Kenaikan suhu dapat mempercepat terjadinya tumbukan antar partikel.

4. pH

Sifat gugus aktif adsorben dan adsorbat sangat dipengaruhi oleh pH lingkungan.

5. Waktu Kontak

Lamanya waktu kontak memungkinkan proses difusi ataupun menempelnya adsorbat pada permukaan adsorben dapat berlangsung dengan lebih baik. Keadaan setimbang pada proses adsorpsi tercapai dengan kisaran waktu kontak beberapa menit hingga beberapa jam (Rizkamala, 2011).

Pada umumnya, proses adsorpsi juga diikuti dengan isoterm adsorpsi. Isoterm merupakan fungsi konsentrasi zat terlarut yang teradsorpsi pada permukaan adsorben terhadap konsentrasi adsorbat dalam larutan. Ketika laju pengikatan suatu adsorben terhadap adsorbat sama besarnya dengan laju pelepasan adsorben terhadap adsorbat, maka kesetimbangan akan terjadi. Tipe isoterm

yang biasa digunakan untuk menggambarkan fenomena interaksi antara adsorben dengan adsorbat pada adsorpsi padat-cair adalah tipe Langmuir dan tipe Freundlich (Atkins, Paula, & Keeler, 2018) yang diuraikan sebagai berikut.

a. Isoterm Langmuir

Secara teoritis, Isoterm Langmuir dapat diturunkan dengan menganggap molekul-molekul yang teradsorp pada permukaan adsorben setimbang dengan molekul yang tidak teradsorp atau diantara keduanya terjadi kesetimbangan. Sehingga isoterm Langmuir dapat dinyatakan dengan persamaan 2.1 :

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{K_L \cdot q_{max}} \frac{1}{C_e} + \frac{1}{q_{max}} \quad (2.1)$$

dimana C_e merupakan konsentrasi adsorbat dalam larutan setelah adsorpsi, q_e adalah massa adsorbat yang terserap per gram adsorben, K_L adalah konstanta yang berhubungan dengan afinitas adsorpsi dan q_{max} adalah daya serap maksimum dari adsorben.

Isoterm Langmuir didasarkan pada asumsi-asumsi, diantaranya semua bagian permukaannya

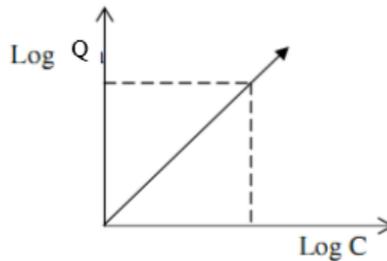
homogen, terdapat sejumlah sisi aktif pada adsorben yang dapat membentuk ikatan ion maupun kovalen, terjadinya adsorpsi hanya pada lapisan tunggal (*monolayer*), serta panas adsorpsi tidak bergantung pada penutupan permukaannya (Atkins, Paula, & Keeler, 2018).

b. Isoterm Freundlich

Secara teoritis, persamaan isoterm Freundlich diturunkan dengan menganggap proses adsorpsi terjadi pada semua sisi permukaan adsorben. Namun, isoterm freundlich tidak dapat memprediksi terdapatnya sisi-sisi aktif pada permukaan adsorben yang dapat mencegah proses adsorpsi, dan hanya terdapat beberapa sisi aktif yang dapat mengadsorpsi molekul terlarut (adsorbat). Pada isoterm freundlich, gaya *Van der Waals* bekerja dalam interaksi antara adsorben dengan adsorbat sehingga adsorbat dapat bebas bergerak atau berpindah dari sisi permukaan satu ke sisi permukaan lainnya. Molekul-molekul adsorbat membentuk beberapa lapisan (*multilayer*) pada permukaan adsorben dengan sisi aktif yang heterogen (Atkins, Paula, & Keeler, 2018). Isoterm Freundlich dapat dinyatakan melalui persamaan 2.2.

$$\log Q = \log k_F + \frac{1}{n} \log C \quad (2.2)$$

dimana Q adalah daya serap dari adsorben, C adalah konsentrasi larutan setelah adsorpsi, k_F dan n adalah suatu konstanta. Atau dinyatakan seperti kurva berikut.



Persamaan dalam bentuk log tersebut memberikan kurva garis lurus. Dimana k_F dan n merupakan *intercept* dan *slope* (Mortula, Gibbons, & Gagnon, 2007).

Proses adsorpsi juga diikuti dengan kinetika adsorpsi. Kinetika merupakan laju penyerapan adsorbat terhadap waktu tertentu. Diantara berbagai bentuk model kinetika adsorpsi, yaitu model pseudo orde satu dan model pseudo orde 2. Model pseudo orde 1 telah dikembangkan untuk jenis adsorpsi padat atau cair. Persamaan model kinetika adsorpsi

pseudo orde satu oleh Lagergren ditunjukkan pada persamaan 2.4.

$$dq/dt = k_1 (Q_e - Q_t) \quad (2.3)$$

atau dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan linearnya dengan mengintegrasikan persamaan dengan kondisi awal $Q_t = 0$ pada $t=0$, yaitu :

$$\log (Q_e - Q_t) = \log Q_e - \frac{k_1}{2.303} t \quad (2.4)$$

(Taher et al., 2019)

Model kinetika adsorpsi pseudo orde 2 didasarkan pada asumsi bahwa percobaan adsorpsi telah dilakukan dalam kondisi kesetimbangan. Persamaan model kinetika adsorpsi pseudo orde dua ditunjukkan pada persamaan 2.6 berikut.

$$\frac{dq}{dt} = k_2(Q_e - Q_t)^2 \quad (2.5)$$

atau dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan linearnya dengan mengintegrasikan persamaan dengan kondisi awal $Q_t = 0$ pada $t=0$ sebagai berikut.

$$\frac{t}{Q_t} = \frac{1}{k_2 \cdot Q_e^2} + \frac{1}{Q_e} t \quad (2.6)$$

dimana k_2 merupakan laju reaksi pseudo orde dua, Q_e dan Q_t merupakan kapasitas adsorpsi pada saat kesetimbangan dan pada waktu t (mg/g) (Taher et al., 2019).

Berdasarkan sifatnya, adsorben dikelompokkan menjadi adsorben polar seperti Zeolit, alumina, dan silika, dan adsorben non polar seperti karbon aktif dan polimer adsorben (Rahmi & Sajidah, 2017). Adsorben dapat berasal dari alam (biosorben) maupun hasil sintesis. Adsorben sintesis seperti TSK-8-hidrosiquinolin memiliki performa adsorpsi yang paling baik, namun proses sintesisnya sulit dan rumit serta memerlukan biaya yang mahal. Sedangkan adsorben alami seperti kitosan, zeolit, dan karbon aktif lebih ekonomis (Firdaus, 2012). Selain itu, adsorben alami (biosorben) lebih ramah lingkungan, mudah diaplikasikan, juga tidak menimbulkan zat pencemar yang lain sebagai hasil samping dari prosesnya (Rahmi & Sajidah, 2017).

Beberapa adsorben yang melimpah di alam, telah banyak dikembangkan untuk mengadsorp zat warna diantaranya seperti daun nanas (Handayani, 2010), kitosan, zeolit, dan karbon aktif (Firdaus, 2012), Jerami padi (El Baidho' et al., 2013), tongkol

jagung (Ningsih, Said, & Ningsih, 2016), eceng gondok (Nurhilal et al., 2020), kulit pisang (Purnama, Dewi, & Ratnayani, 2015), kulit manggis (Haura, Razi, & Meilina, 2017), abu sekam padi (Suarsa, 2016). Namun, beberapa biosorben memiliki kemampuan adsorpsi yang rendah dan tidak dapat untuk diregenerasi (Rahmi & Sajidah, 2017; Zhang et al., 2013).

D. Limbah Kertas Koran Bekas

Semakin bertambahnya angka kepadatan penduduk yang sejalan dengan meningkatnya aktivitas penduduk menyebabkan semakin bertambahnya jumlah sampah yang dihasilkan setiap harinya. Kabupaten Semarang misalnya, jumlah sampah yang diangkut dari tahun per tahun selalu mengalami peningkatan (BPS, 2020).

Tabel 2.1. Data Banyaknya Sampah per Bulan di Kabupaten Semarang Tahun 2011-2020

Bulan	Jumlah Sampah Terangkut (m ³)									
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2020	
1 Januari	10.090	10.010	9.965	10.325	12.582	10.851	11 048	15 260	22 999	
2 Pebruari	9.745	10.083	9.415	10.085	12.368	10.228	11 964	12 334	20 643	
3 Maret	9.570	10.200	9.235	10.045	12.433	9.949	13 260	15 323	21 671	
4 April	9.425	9.849	9.195	10.015	12.436	10.109	12 193	14 033	19 537	
5 Mei	9.420	9.299	8.915	9.985	12.477	10.120	12 796	14 670	18 649	
6 Juni	9.360	9.307	9.080	10.190	12.897	10.123	12 226	14 722	19 810	
7 Juli	9.540	9.206	9.045	10.305	11.549	10.216	13 486	15 209	18 831	
8 Agustus	10.260	9.037	9.435	10.445	11.045	10.246	12 310	15 910	19 544	
9 September	10.255	9.531	9.005	10.015	10.834	10.255	11 368	15 969	19 229	
10 Oktober	9.210	9.250	8.790	9.735	10.242	13.782	13 426	16 169	21 592	
11 Nopember	9.250	9.142	8.275	10.305	10.368	14.245	13 380	16 439	21 429	
12 Desember	9.250	9.269	8.404	10.490	11.036	15.360	13 428	16 535	23 161	
Jumlah	115.375	114.183	108.759	121.940	140.267	135.484	150 885	182 573	247 095	

Menurut Data Asosiasi Industri Plastik Indonesia (INAPLAS) dan Badan Pusat Statistik (BPS), setiap tahunnya, indonesia diperkirakan dapat menghasilkan sebanyak 64 juta ton sampah. Data yang diperoleh dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) tahun 2017 menunjukkan bahwa sampah jenis kertas menempati posisi ketiga dengan menyumbang sebanyak 9% dari keseluruhan jumlah sampah. Sampah organik (sisa makanan, sayuran, dan sisa buah-buahan) mendominasi komposisi sampah dengan menyumbang sebanyak 60% dari keseluruhan jumlah sampah, diikuti sampah plastik dengan 14%. Sedangkan sampah jenis karet sebanyak 5,5%. Adapun sampah lainnya berupa kaca, logam, kain, kayu, maupun jenis lainnya.



Gambar 2.2. Komposisi Sampah di Indonesia Berdasarkan Jenis (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2017)

Kertas (koran bekas, majalah bekas, maupun limbah perkantoran) pada dasarnya merupakan bahan yang mengandung selulosa, yang memiliki gugus senyawa (polar) seperti eter dan alkohol. Pada pH yang rendah, Gugus dari senyawa tersebut dapat berikatan dengan senyawa lain (Herlenasari et al.,2017). Berdasarkan uji yang telah dilakukan oleh *National Renewable Energy Laboratory* (NREL), China, Kertas koran bekas mengandung 50,1% selulosa, 18,1% lignin, 16,8% hemiselulosa, 5,9% *moisture*, dan 6,8% abu (Dahlan et al., 2013).

Menurut Chakravarty et al (2008) matriks selulosa yang terdapat pada kertas koran memiliki situs atau gugus aktif hidroksil (-OH) yang berperan penting dalam proses adsorpsi. Keberadaan gugus hidroksil menjadikan selulosa dapat membentuk ikatan hidrogen secara intramolekuler maupun intermolekuler.

E. Selulosa

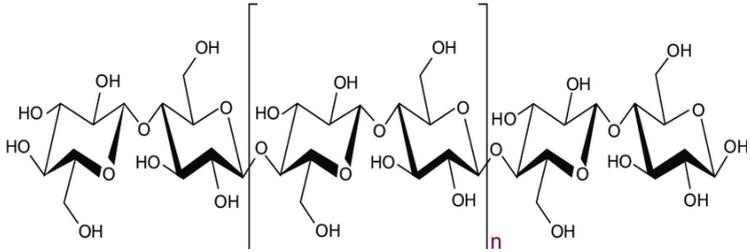
Selulosa pertama kali ditemukan pada tahun 1837 oleh kimiawan Perancis Anseime Payen, yang menunjukkan bahwa berbagai bahan tanaman menghasilkan zat yang berserat setelah pemurnian dengan perlakuan asam-ammonia dan ekstraksi menggunakan air, alkohol, dan eter. Akademi Prancis akhirnya menamai karbohidrat yang dihasilkan sebagai “selulosa” (Payen dalam Lavanya et al., 2011). Di biosfer, selulosa merupakan polimer alami yang paling berlimpah dengan produksi global (dan penguraian) $\sim 1,5 \times 10^{12}$ ton per tahun (Heinze, 2015).

Selulosa merupakan material utama penyusun tanaman. Meskipun pada dasarnya selulosa terdapat atau tersebar ke seluruh alam pada tumbuhan, hewan, alga, jamur, dan mineral. Namun, sumber utama selulosa adalah serat tanaman. tanaman menduduki tingkat pertama dalam lingkaran rantai makanan. Selulosa berkontribusi sekitar 40% terhadap fraksi karbon pada

tanaman, yang berfungsi sebagai elemen penataan dalam arsitektur kompleks dinding sel. Selulosa dapat ditemukan dalam bentuk murninya pada tanaman. Namun biasanya masih disertai dengan hemiselulosa, lignin, dan sejumlah kecil ekstraktif (Heinze, 2015).

Pada perkembangannya, Selulosa masih menjadi material yang menarik bagi para peneliti. Penggunaan selulosa sebagai bahan baku terbarukan dan biodegradable dalam berbagai aplikasi diusulkan sebagai solusi terhadap tantangan industri saat ini. Selulosa (beserta turunannya) dapat dimodifikasi baik secara kimia maupun fisika untuk memungkinkan penggunaannya dalam berbagai aplikasi (Heinze, 2015).

Selulosa merupakan polisakarida. Polimer karbohidrat ini terdiri dari puluhan, ratusan, hingga beberapa ribu unit monosakarida (Glukosa). Selulosa Terdiri dari rantai panjang unit anhydro-D-glucopyranose (AGU) dengan setiap molekul selulosa memiliki tiga gugus hidroksil per AGU, dengan pengecualian terminal berakhir (Lavanya et al., 2011).



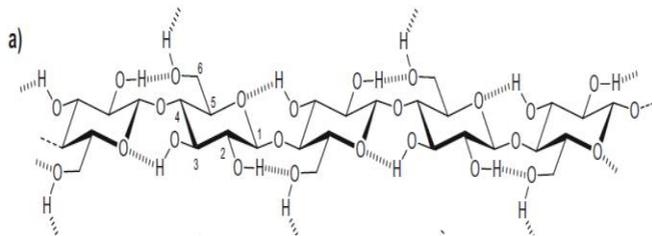
Gambar 2.3. Struktur Umum Selulosa

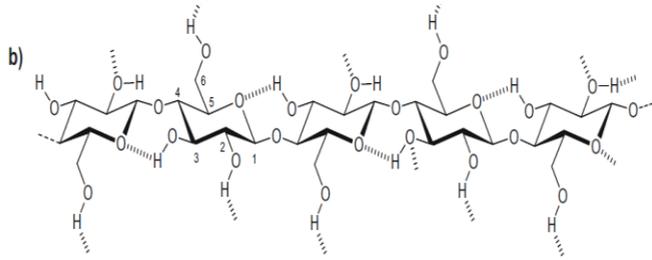
Selulosa yang tersusun atas rantai linier D-glukosa yang dihubungkan oleh β -1,4- ikatan glikosidik memiliki tingkat polimerisasi dari 10.000 pada kayu asli (*native wood*) hingga 1.000 dalam *bleached kraft pulps*. Setiap unit D-anhydroglucopyranose terdapat gugus hidroksil pada posisi C2, C3, dan C6 yang dapat menjalani tipikal reaksi yang dikenal untuk alkohol primer dan sekunder. Struktur molekul memaparkan selulosa dengan sifat-sifatnya yang khas, diantaranya hidrofilik, kiralitas, degradabilitas, dan variabilitas kimia yang luas (Bogati, 2011).

Rantai selulosa memiliki banyak gugus -OH polar. Gugus tersebut membentuk banyak ikatan hidrogen dengan gugus OH pada rantai yang berdekatan, mengikat rantai bersama. Rantai terletak secara teratur di tempat-tempat untuk terbentuk daerah kristal yang keras dan stabil sehingga ikatan rantai lebih stabil dan kuat. Selulosa memiliki kecenderungan kuat untuk

membentuk Ikatan hidrogen intra-dan antar-molekul oleh gugus hidroksil pada rantai liniernya, yang mempererat rantai lurus dan mempromosikan agregasi menjadi struktur kristal dan memberikan selulosa banyak struktur serat sebagian kristal dan morfologi (Bogati, 2011). Ikatan hidrogen intramolekul dan intermolekul yang kuat antara rantai individu menyebabkan selulosa memiliki kelarutan yang buruk terhadap air dan pelarut umum (Lavanya et al., 2015).

Selulosa yang diproduksi oleh tanaman dikenal dengan selulosa alami (*native cellulose*), yang ditemukan dalam dua bentuk kristal, yaitu selulosa I dan selulosa II. Selulosa II umumnya ditemukan pada ganggang laut. Adapun turunan selulosa umumnya bersifat kuat, dapat direproduksi, dapat didaur ulang dan biokompatibel (Lavanya et al., 2015). Ikatan Hidrogen pada Selulosa I dan Selulosa II dapat dilihat pada Gambar 2.4 berikut.





Gambar 2.4. Sistem Ikatan Hidrogen pada
a)Selulosa I dan b)Selulosa II.

Selulosa merupakan komoditas yang luar biasa karena sifat strukturalnya yang melimpah dan khas. Meskipun selulosa tidak dapat dicerna, namun selulosa dapat dimanfaatkan dalam berbagai kebutuhan maupun aplikasi industri seperti kayu untuk bangunan, pembuatan produk kertas, katun, linen, rayon untuk pakaian, bahan peledak (nitroselulosa), film (selulosa asetat), dan lain sebagainya (Lavanya, et al., 2011).

F. Bentonit

Bentonit merupakan sejenis lempung (*clay*) yang banyak ditemukan di alam yang memiliki warna dasar bergantung pada jenis fragmen dan jumlah mineralnya, mulai dari putih kecoklatan, kehijauan atau kemerahan. Kristal bentonit memiliki bentuk *plate like* dan struktur kisinya seperti *phirophilit* dengan muatan negatif pada setiap unit layernya. Kation-kation yang berada disekitar deposit dari bentonit sebagian akan mengisi muatan

negatif tersebut dan kation-kation tersebut dapat dipertukarkan dengan kation yang lain. Bentonit memiliki sifat ringan, lunak, mudah menyerap air, mudah pecah, dengan berat jenis sekitar 2,4-2,8 gr/mL serta dapat berfungsi sebagai penukar ion (Rokhati & Prasetyaningrum, 2004).

Menurut Liu, Xie, & Qin (2017), Bentonit merupakan istilah untuk lempung terhidrasi dalam bentuk koloid yang sebagian besar terdiri dari mineral lempung montmorillonit. Selain montmorillonit, bentonit mengandung sebagian kecil bahan mineral lainnya seperti *illite*, *kaolinite*, *halloysite*, *quartz*, *calcite* dan *pyrite*. Tabel dibawah ini menunjukkan komposisi kimia mineral montmorillonit.

Tabel 2.2. Komposisi Kimia Montmorillonit

No	Komponen	Kadar (%)
1	SiO ₂	51.14
2	Al ₂ O ₃	19.76
3	Fe ₂ O ₃	0.83
4	ZnO	0.1
5	MgO	3.22
6	CaO	1.62

No	Komponen	Kadar (%)
7	K ₂ O	0.11
8	Na ₂ O	0.04
9	H ₂ O, % yang teruapkan pada 150°C	14.81
10	H ₂ O, % yang teruapkan pada suhu yang lebih tinggi	7.99

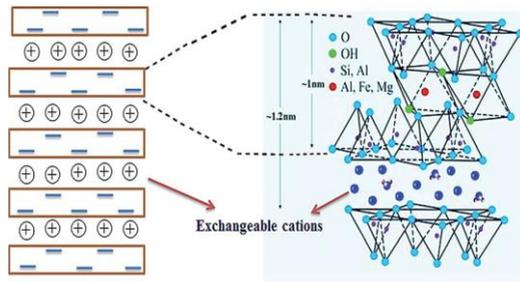
(Sumber: Henry, 1995)

Secara kimiawi, mineral montmorillonit digambarkan sebagai *hydrous aluminium silicate* yang mengandung sejumlah kecil logam alkali dan alkali tanah (Clem et al., 1961). Struktur kimia dari mineral montmorillonit secara umum dapat ditulis :

- Kation group A, terdiri dari Al⁺³, Fe⁺³, Cr⁺³, Mn⁺³ terdapat dalam struktur oktahedral.
- Kation group B, terdiri dari Al⁺³, Sr⁺⁴ terdapat dalam struktur tetrahedral.
- Kation group C (O₁₀(OH,F)) terdiri dari oksigen dan hidroksil.
- Kation group D terdiri dari jenis kation yang dapat dipertukarkan dengan kation lain dan merupakan kation yang teradsorpsi pada permukaan (Rokhati & Prasetyaningrum, 2004).

Adapun rumus molekul montmorillonit biasa ditulis sebagai (M⁺_x.nH₂O) (Al_{2-y}Mg_x)Si₄O₁₀(OH)₂, dimana M⁺ adalah Na⁺, K⁺, Mg²⁺, atau Ca²⁺ (Briendly & Brown, 1980).

Secara struktural, mineral montmorillonit tersusun atas dua blok bangunan dasar yaitu lapisan oktahedral aluminium dan lapisan tetrahedral silika. Pada unit sel montmorillonit tunggal mengandung dua lapisan tetrahedral silika dan diantaranya adalah lapisan oktahedral aluminium (Isloor, Ismail, & Hebbbar, 2014).



Gambar 2.5. Struktur Montmorillonit (Isloor, Ismail, & Hebbbar, 2014).

Montmorillonit terdiri dari *thin platelets* dengan ketebalan kurang dari 1 nm. Setiap lapisan oktahedral aluminium dihubungkan bersama oleh oksigen dan diapit diantara lapisan tetrahedral silikon. lapisan-lapisan dihubungkan bersama oleh gaya Van der Waals yang bekerja dan dibentuk sebagai tumpukan pelat (Motawie et al., 2014). Pada tiap atom Al yang terdapat pada lapisan pusat dalam struktur oktahedral berikatan dengan 2 gugus hidroksil dan 4 atom oksigen. Atom-atom silikon yang membentuk struktur tetrahedral

dengan oksigen terdapat di bawah dan di atas lapisan atom Al (Rokhati & Prasetyaningrum, 2004).

Kation-kation pada bentonit dapat ditukarkan dengan kation lainnya dimana kation-kation tersebut akan terikat pada permukaan lempung secara elektrostatis, hal ini dikarenakan adanya muatan negatif pada permukaan bentonit. Van Olphen dalam Fardhani (2012) menyebutkan bahwa montmorillonit memiliki kapasitas adsorpsi kira-kira sebesar 70 meq/100 g dengan luas permukaan sebesar 700-800 m²/g. Pertukaran kation juga dipengaruhi oleh substitusi isomorfik dimana kation bervalensi tinggi mengalami pergantian dengan kation bervalensi rendah yang berasal dari luar (apabila jari-jari kation tidak terlampau berbeda). Umumnya, substitusi isomorfik terjadi pada lapisan oktahedral dimana satu dari setiap enam kation Al³⁺ digantikan oleh kation Mg²⁺. Sedangkan pada lapisan tetrahedral, kation Al³⁺ menggantikan 15% kation Si⁴⁺ (Fardhani, 2012).

Bentonit berdasarkan komposisi bahan, sifat kimia serta fisiknya (pH, waktu pengendapan, kekuatan mengembang, kapasitas tukar basa, dan lain sebagainya), terbagi menjadi dua jenis, yaitu Na-bentonit (*sodium*

bentonite- swelling bentonite) dan Ca-bentonit (*calcium bentonite-nonswelling bentonite*) (Atikah, 2017).

Na-bentonit (*sodium bentonite-swelling bentonite*) juga disebut sebagai bentonit tipe *Wyoming*. Struktur Na-bentonit mengandung lebih banyak ion Na^+ dibandingkan ion Mg^{2+} dan Ca^{2+} . Na-bentonit merupakan jenis bentonit yang memiliki kemampuan mengembang (*swelling*). Ketika dicelupkan dalam air, Na-bentonit dapat memiliki daya *swelling* hingga delapan kali dan mampu terdispersi dalam air selama beberapa waktu. Na-bentonit berwarna krim (*cream*) atau putih pada kondisi kering, dan tampak mengkilap pada saat terkena matahari dan juga dalam kondisi basah. Selain itu, mineral Na-bentonit memiliki beberapa ciri pula, diantaranya mempunyai pH suspensi koloidalnya sebesar 8,5-9,5 (basa), perbandingan kapur dan soda yang tinggi, ion-ion Na^+ menduduki posisi pertukaran ion, serta tidak dapat untuk diaktifkan. Umumnya, Na-bentonit digunakan sebagai penyumbat kebocoran pada bendungan, bahan pencampur dalam pembuatan cat, bahan baku dalam farmasi, lumpur pemboran, serta perekat pasir cetak dalam industri pengecoran logam (Atikah, 2017).

Berbeda dengan Na-bentonit, Ca-bentonit (*calcium bentonite- nonswelling bentonite*) merupakan jenis

bentonit yang tidak memiliki kemampuan mengembang (*swelling*). Ca-bentonit (*calcium bentonite - nonswelling bentonite*) juga dapat disebut sebagai Mg-bentonit. Struktur Ca-bentonit mengandung lebih banyak kandungan kalsium (K_2O) dan magnesium (MgO) dibanding kandungan natriumnya. Ketika didispersikan ke dalam air, Ca-bentonit akan mengendap dengan cepat dikarenakan sifat Ca-bentonit yang sedikit menyerap air. Namun, Ca-bentonit memiliki sifat yang baik sebagai penghisap secara alami ataupun setelah diaktivasi. Ca-bentonit juga memiliki sifat *rapid slaking*, berwarna biru, abu-abu, merah, coklat, dan kuning pada kondisi kering. Selain itu, mineral Ca-bentonit memiliki beberapa ciri pula, diantaranya mempunyai pH suspensi koloidalnya sebesar 4-7 (asam), perbandingan natrium dan kalsium yang rendah, serta ion-ion magnesium dan kalsium lebih banyak menduduki posisi pertukaran ion. Umumnya, Ca-bentonit digunakan sebagai pemucat warna pada minyak (Atikah, 2017).

Silika, alumina, beserta kandungan bentonit lainnya seperti Fe, Mg, Ca, Na, Ti, dan K menjadikan bentonit juga dapat dijadikan sebagai adsorben. Namun, bentonit kurang stabil apabila dimanfaatkan sebagai penyerap dikarenakan sifat mudah menyerap air pada bentonit.

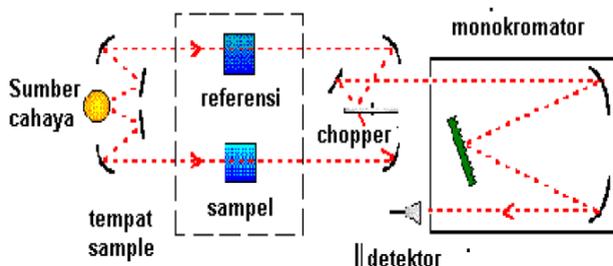
Sehingga pengaplikasian bentonit sebagai adsorben akan lebih maksimal jika dimodifikasi terlebih dahulu. Aktivasi bentonit menggunakan asam dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi lempung bentonit. Proses pengaktifasian bentonit akan membuat asam mineral larut dan bereaksi terhadap komponen-komponen seperti garam Mg, garam Ca, dan tar yang mampu menutup pori pada adsorben, sehingga dapat diperoleh bentonit dengan sisi aktif lebih besar. Selain itu, permukaan bentonit dengan keasaman yang tinggi juga meningkatkan kemampuan adsorpsi jika dibandingkan kemampuan adsorpsi bentonit sebelum diaktivasi (Nugraha, Mahatmanti, & Sulistyarningsih, 2017).

G. Instrumentasi

1. Fourier Transform Infrared (FTIR)

Fourier Transform Infrared (FTIR) merupakan instrumentasi untuk mengukur besarnya radiasi inframerah. Spektrofotometer FTIR banyak digunakan untuk mempelajari suatu material senyawa khususnya senyawa organik melalui analisa struktur ataupun gugus fungsinya. Suatu radiasi inframerah yang melewati suatu molekul, maka molekul tersebut akan menyerap sejumlah energi yang dipancarkan sehingga menyebabkan ikatan pada suatu molekul mengalami

vibrasi atau getaran. Berbeda dengan serapan ultraviolet dengan energinya yang mampu mengeksitasi sebuah elektron menuju orbital dengan tingkat energi yang lebih tinggi, radiasi inframerah tidak memiliki cukup energi untuk membuat elektron tereksitasi. Dengan demikian, serapan inframerah dengan energinya hanya mampu menyebabkan bergetarnya atom-atom yang saling berikatan dalam suatu molekul, dimana suatu tipe ikatan atau gugus fungsi tertentu akan mengadsorp radiasi inframerah pada panjang gelombang yang khas atau spesifik (Sari, 2010). Berikut merupakan skema alat FTIR.



Gambar 2.6. Skema Instrumen FTIR (Dachriyanus, 2004).

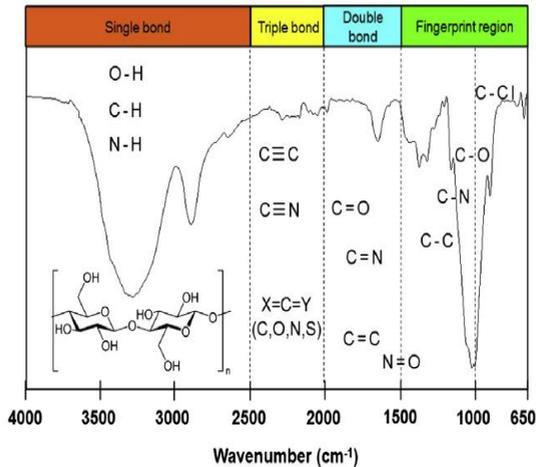
FTIR lebih banyak digunakan untuk mempelajari molekul organik, terutama dimana molekul dapat mengalami dua jenis perubahan yaitu *stretching vibration* (vibrasi ulur) menyebabkan perubahan

panjang ikatan dan *bending vibration* (vibrasi tekuk) yang menyebabkan perubahan sudut ikatan. Perubahan pada panjang ikatan biasanya terjadi pada energi atau frekuensi yang tinggi karena *stretching* membutuhkan energi yang lebih tinggi dibandingkan *bending vibration*. Berdasarkan hukum Hooke, bertambahnya massa atom-atom akan mengvibrasi atom-atom pada frekuensi yang lebih rendah atau pada energi yang lebih rendah (Khan et al., 2018).

Spektrum elektromagnetik dari inframerah terbagi dalam tiga daerah diantaranya inframerah dekat (*overtone region*) berkisar pada $0,8-2,5\mu\text{m}$ ($12500-4000\text{ cm}^{-1}$), inframerah tengah (*vibration-rotation region*) berkisar pada $2,5-50\mu\text{m}$ ($4000-200\text{ cm}^{-1}$), dan inframerah jauh (*rotation region*) berkisar $50-1000\mu\text{m}$ ($12500-4000\text{ cm}^{-1}$). Adapun daerah utama untuk tujuan analisis berkisar $2,5-25\mu\text{m}$ (Vogel, 1989). Umumnya, spektra inframerah untuk identifikasi molekul organik terbagi ke dalam empat bagian seperti terdapat pada **Gambar 2.7**, diantaranya sebagai berikut.

- a. Daerah $4000-2500\text{ cm}^{-1}$, untuk adsorpsi ikatan tunggal hidrogen dengan unsur-unsur lainnya seperti O-H, N-H, dan C-H.

- b. Daerah 2000-2500 cm^{-1} untuk adsorpsi rangkap tiga, $\text{C}\equiv\text{C}$, $\text{C}\equiv\text{N}$.
- c. Daerah 2000-2500 cm^{-1} untuk adsorpsi rangkap dua, seperti $\text{C}=\text{C}$ dan $\text{C}=\text{O}$.
- d. Daerah 1500-2000 cm^{-1} , dimana daerah dari 1000 - 1500 cm^{-1} biasanya digunakan untuk mengidentifikasi adsorpsi C-O, C-C, dan vibrasi bending lainnya. Sedangkan daerah 700-400 cm^{-1} biasanya disebut sebagai daerah *Fingerprint*.



Gambar 2.7. Daerah Spektra FTIR (Mohamed et al., 2012).

Tabel 2.3. Range panjang gelombang berbagai gugus fungsi

Range (cm⁻¹)	Functional Group
3200-3550	<i>O-H Stretching</i>
2500-3000	<i>Carboxylic O-H</i>
3300-3500	<i>N-H stretch, primary amine gives two, secondary one, while tertiary amine give no peak</i>
3500-3500	<i>O=C-N-H Stretch</i>
2260-2220	<i>Nitrile (CN)</i>
2950-2850	<i>C-H stretch</i>
3010-3100	<i>=C-H stretch</i>
1620-1680	<i>C=C Stretch</i>
1740-1690	<i>Aldehyde C=O</i>
1750-1680	<i>Ketone C=O</i>
1750-1735	<i>Ester C=O</i>
1780-1710	<i>Carboxylic acid C=O</i>
1690-1630	<i>Amide C=O</i>
2800-2700	<i>Aldehyde C-H Stretch</i>

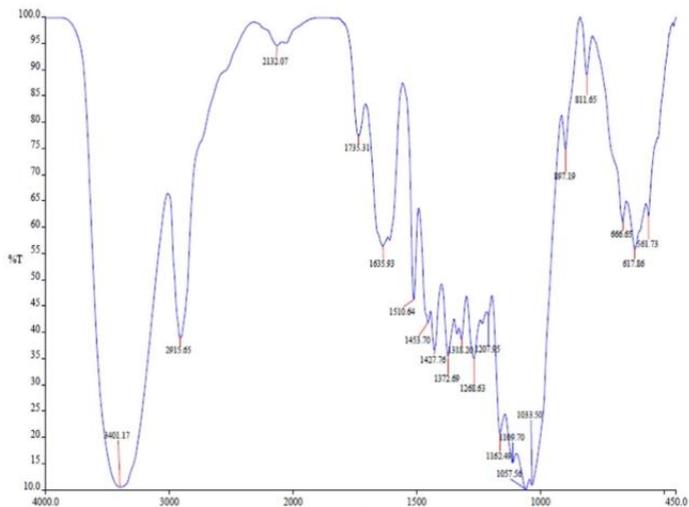
(Sumber: Khan et al., 2018)

Perubahan pada momen ikatan mempengaruhi besarnya energi yang dapat diadsorp. Semakin besar perubahan yang terdapat pada momen ikatan, maka semakin besar pula serapan energinya. Pada ikatan non polar (seperti halnya ikatan C-C) tidak terdapat perubahan pada momen ikatan, sehingga ikatan non polar cenderung memiliki serapan energi yang lemah

ataupun tidak mengadsorp radiasi inframerah. Berbeda dengan ikatan polar seperti halnya ikatan C=O yang memiliki serapan energi yang kuat (Sari, 2010).

Pada penelitian ini, pita serapan yang diharapkan dari sampel selulosa adalah vibrasi ulur O-H (sekitar 3400 cm^{-1}), vibrasi ulur C-H ($2800\text{-}3000\text{ cm}^{-1}$), vibrasi ulur C-O ($1000\text{-}1100\text{ cm}^{-1}$), dan ikatan β -glikosida (879 cm^{-1}) (Silverstein, Bassler, & Morrill, 1981).

Penelitian Deghani et al (2016) menunjukkan bahwa selulosa dari kertas koran dapat diidentifikasi dengan gugus fungsi yang muncul, diantaranya gugus C-O-C yang berkaitan dengan serapan pada panjang gelombang 1162 cm^{-1} dan 1111 cm^{-1} , vibrasi C-H dengan serapan pada panjang gelombang 1318 cm^{-1} , vibrasi -OH dengan serapan pada panjang gelombang 1351 cm^{-1} . Serta perubahan interaksi ikatan hidrogen intra-molekul yang memunculkan serapan dekat panjang gelombang $3401,17\text{ cm}^{-1}$ dimana puncaknya terbagi menjadi dua puncak yang kurang intens. Sebagaimana terlihat pada **Gambar 2.7**.



Gambar 2.7. Spektrum FTIR Selulosa Kertas Koran (Dehghani et al., 2016)

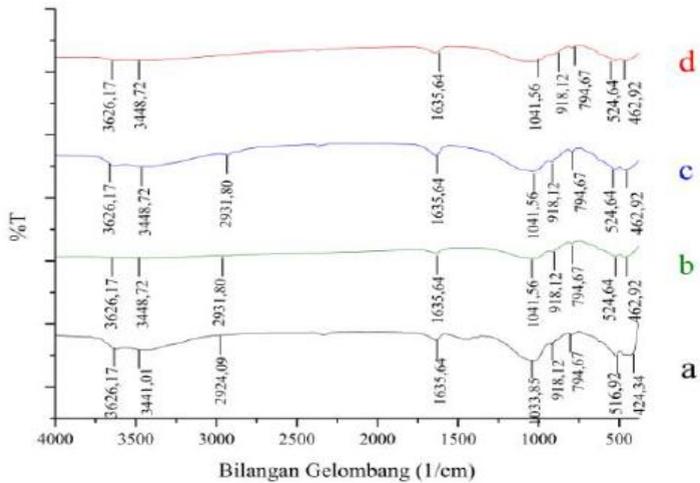
Berdasarkan penelitian oleh Kusumawardani et al (2018), selulosa menunjukkan adanya beberapa pita serapan diantaranya gugus aromatik ($3749,62\text{ cm}^{-1}$), -OH ($3448,72\text{ cm}^{-1}$), Vibrasi regangan C-H dari $-\text{CH}_2$ ($2924,09\text{ cm}^{-1}$), C=C ($1635,64\text{ cm}^{-1}$), C-H tekuk ($1427,32\text{ cm}^{-1}$), C-H tekuk ($1373,32\text{ cm}^{-1}$), $-\text{CH}_2$ ($1327,03\text{ cm}^{-1}$), Vibrasi regangan C-O ($1056,99\text{ cm}^{-1}$), dan CH_2 ($848,68\text{ cm}^{-1}$).

Sedangkan menurut Mohamed et al (2017), selulosa dapat diidentifikasi melalui pita serapan yang muncul pada beberapa panjang gelombang diantaranya 3336 cm^{-1} (vibrasi ulur dari O-H), 2895 cm^{-1} (C-H *stretching*),

1650 cm^{-1} (O-H *bending*), 1419 cm^{-1} (C-H₂ *symmetric bending*), 1369 cm^{-1} (C-H *bending*), 1313 cm^{-1} (C-H₂ *wagging*), 1154 cm^{-1} (C-O *antisymmetric stretching*), 1105 cm^{-1} (C-O dan C-C *stretching*), 1015 cm^{-1} (C-O dan C-C *stretching*), dan 891 cm^{-1} (C-O-C *stretching*).

Sedangkan pita adsorpsi yang diharapkan dari sampel bentonit adalah pita-pita serapan yang khas akan muncul pada bilangan gelombang 3620,1 cm^{-1} ; 1636,4 cm^{-1} ; 1035,7 cm^{-1} ; 794,6 cm^{-1} ; 530 cm^{-1} dan 468,7 cm^{-1} menunjukkan bahwa salah satu mineral penyusun bentonit adalah montmorillonit (Tan, 1982).

Gambar 2.8 merupakan contoh pita absorpsi dari bentonit alam (a), bentonit teraktivasi HNO₃ (b), bentonit teraktivasi HCl 0,5 M (c), dan bentonit teraktivasi H₂SO₄ 0,6 M yang diambil dari penelitian Mahmudha & Nugraha (2016). Pita-pita serapan yang khas muncul pada bilangan gelombang 3620,1 cm^{-1} ; 1636,4 cm^{-1} ; 1035,7 cm^{-1} ; 794,6 cm^{-1} ; 530 cm^{-1} dan 468,7 cm^{-1} menunjukkan bahwa salah satu mineral penyusun bentonit adalah montmorillonit (Tan, 1982).



Gambar 2.9. Spektrum FTIR (a)bentonit alam, (b)bentonit teraktivasi HNO₃, (c)bentonit teraktivasi HCl 0,5 M,dan (d)bentonit teraktivasi H₂SO₄ 0,6M.

Berdasarkan **Gambar 2.9**, pada bentonit alam terdapat bilangan gelombang 3626,17 cm⁻¹ menunjukkan adanya vibrasi ulur dari gugus OH (gugus hidroksil yang terikat pada Al dilapisan octahedral Al-Al-OH atau Mg-OH-Al). Bilangan gelombang 3441,01 cm⁻¹ menunjukkan adanya vibrasi ulur gugus OH yang terhidrasi molekul air yang teradsorpsi. Hal ini diperkuat dengan adanya pita serapan pada bilangan 1635,64 cm⁻¹ yang menunjukkan vibrasi tekuk dari H-O-H dari air yang teradsorpsi didalam bentonit. Adanya pita serapan yang melebar pada bilangan 1033,85 cm⁻¹

menunjukkan karakteristik dari Si-O-Si atau SiO₂ (kuarsa), selain itu adanya vibrasi Si-O-Al juga teramati pada bilangan gelombang 794,67 cm⁻¹.

Menurut Purwaningsih, Supartono, & Harjono (2012), pita serapan pada bilangan gelombang 1041,56 cm⁻¹ sampai 794,67 cm⁻¹ menunjukkan adanya vibrasi ulur asimetris dari SiO. Adanya gugus Si-O diidentifikasi dengan munculnya pita serapan yang tajam dan intensitas tinggi pada bilangan gelombang 1033,85 cm⁻¹. Tingginya intensitas pada puncak serapan 1033,85 cm⁻¹ menunjukkan tingginya kandungan montmorillonit pada bentonit. Vibrasi tekuk gugus hidroksil dari Al-OH-Al muncul pada pita serapan 918,12 cm⁻¹, sedangkan vibrasi tekuk dari Si-O-Al dan Si-O-Si ditunjukkan pada bilangan gelombang 519,92 cm⁻¹ dan 424,34 cm⁻¹.

2. UV-Vis

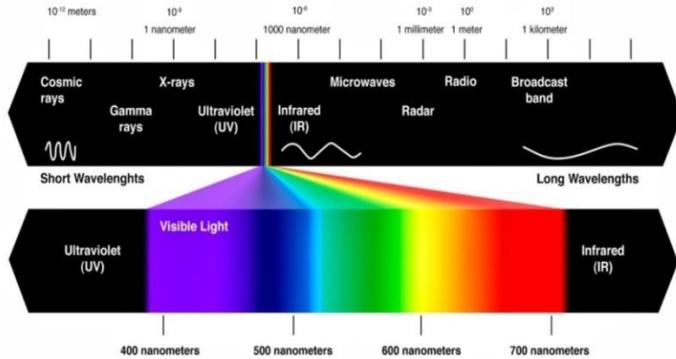
Spektrofotometer UV-Vis merupakan pengukuran berdasarkan adsorpsi sinar ultraviolet dan cahaya tampak oleh sampel pada panjang gelombang tertentu. Sinar cahaya tampak ultraviolet memiliki sejumlah energi untuk mengeksitasi elektron valensi menuju tingkat energi yang lebih tinggi. Spektrum UV-Vis digunakan sebagai analisis kuantitatif untuk molekul anorganik maupun kompleks pada larutan. Konsentrasi analit pada larutan dapat ditentukan melalui

pengukuran nilai absorbansi pada panjang gelombang tertentu menggunakan hukum Lambert-Beer (Dachriyanus, 2004).

Interaksi antara senyawa organik dengan sinar tampak dan sinar ultraviolet, dapat digunakan untuk menentukan struktur molekul senyawa organik. Elektron ikatan dan non ikatan merupakan bagian molekul yang bereaksi cepat terhadap sinar tersebut. Elektron-elektron yang mengenai sinar tampak dan Sinar ultralembayung akan menyebabkan tereksitasinya elektron pada keadaan dasar menuju tingkat energi yang lebih tinggi. tereksitasinya elektron tersebut kemudian terekam dalam spektrum yang dinyatakan sebagai panjang gelombang dan nilai absorbansi. Jenis elektron-elektron yang terdapat dalam spektrum sama dengan elektron pada molekul yang dianalisis. Semakin mudah elektron-elektron untuk bereksitasi, maka semakin besar pula panjang gelombang yang diadsorp. semakin banyak elektron yang bereksitasi, maka semakin tinggi nilai absorbansi (Suhartati, 2017).

Sinar ultraviolet terdapat pada panjang gelombang 200-400 nm sedangkan sinar tampak terdapat pada panjang gelombang 400-800 nm. Gambar

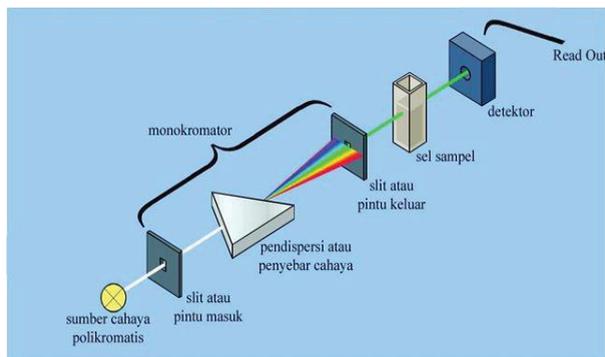
2.10 dibawah ini merupakan gambar daerah dari beberapa spektrum elektromagnetik (Suhartati, 2017).



Gambar 2.10. Daerah panjang gelombang elektromagnetik

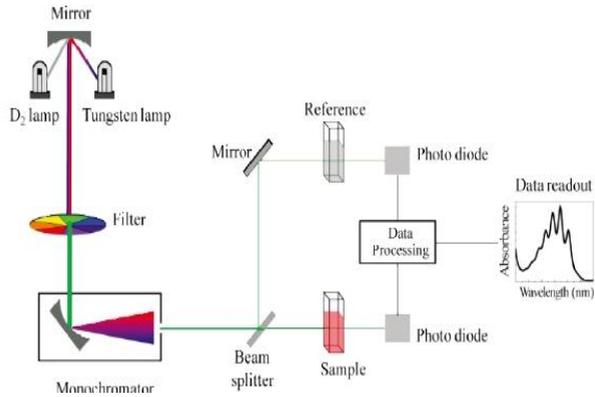
Spektrofotometer UV-Vis memiliki 2 tipe, yaitu tipe *single-beam* dan tipe *double-beam*. Tipe *Single-beam* biasanya digunakan untuk analisa kuantitatif dengan pengukuran absorbansi terhadap panjang gelombang tunggal. Keuntungan menggunakan tipe *Single-beam* yaitu harganya murah dan sederhana. Tipe *single-beam instrument* biasa digunakan untuk pengukuran pada sinar sinar tampak dan ultraviolet. Panjang gelombang paling rendah berkisar 190 hingga 210 nm dan paling tinggi berkisar 800 hingga 1000 nm sedangkan pada tipe *Double-beam* digunakan untuk pengukuran pada panjang gelombang 190 hingga 750

nm ((Skoog, Donald, & Holler, 2000) Diagram alat spektrofotometer UV-Vis tipe *single-beam* ditunjukkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Diagram alat spektrofotometer UV-Vis (*single beam*)

Pada tipe *Double-beam*, terdapat pemecah sinar yang berupa potongan cermin dengan bentuk sehingga membentuk dua sinar.. larutan blanko akan dilewati oleh sinar pertama sedangkan larutan sampel secara serentak akan dilewati oleh sinar kedua (Skoog, Donald, & Holler, 2000). Sebagaimana terlihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Diagram spektrofotometer UV-Vis tipe *double-beam*

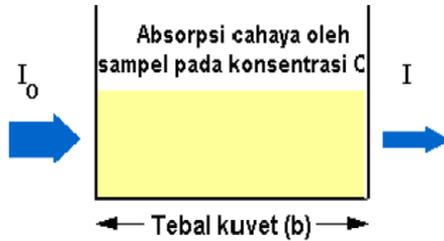
Spektrofotometri UV-Visible memiliki bagian-bagian instrumentasi sebagai berikut:

- a. Sumber Radiasi, berfungsi sebagai sumber sinar polikromatis dengan berbagai macam rentang panjang gelombang. Sumber radiasi pada sinar UV adalah lampu deuterium, sedangkan sumber radiasi pada sinar Visibel digunakan lampu wolfram.
- b. Penyeleksian Panjang Gelombang, berfungsi mengubah cahaya yang berasal dari sumber sinar polikromatis menjadi cahaya monokromatis.
- c. Sel sampel, berfungsi sebagai tempat meletakkan sampel UV, VIS dan UV-VIS menggunakan kuvet sebagai tempat sampel.

- d. Detektor, berfungsi menangkap cahaya yang diteruskan dari sampel dan mengubahnya menjadi arus listrik. Detektor dapat berupa atau detektor panas, detektor foto, maupun detektor dioda foto.
- e. Read out, merupakan suatu sistem baca yang menangkap besarnya isyarat listrik yang berasal dari detektor. (Suhartati, 2017).

Spektrofotometri UV-Visible dapat digunakan pada sampel gas, larutan, maupun sampel uap. Adapun pada sampel larutan, pelarut yang digunakan harus dapat menjadikan sampel terlarut sempurna, struktur molekul pelarut tidak memiliki ikatan rangkap terkonjugasi dan tidak berwarna, tidak terdapat interaksi terhadap senyawa yang akan dianalisis, serta memiliki kemurnian tinggi (Suhartati, 2017).

Pengukuran konsentrasi dari absorban suatu senyawa didasarkan pada hukum Lambert-Beer sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.13. Hukum Lambert-Beer (*Beer's law*) adalah hubungan linearitas antara konsentrasi larutan analit dan nilai absorbansi.



Gambar 2.13 Absorpsi cahaya oleh sampel

Pada umumnya hukum Lambert-Beer dapat ditulis :

$$A = \epsilon \cdot b \cdot C \quad (2.5)$$

Dengan A adalah absorban (serapan), ϵ adalah koefisien ekstingsi molar ($M^{-1} \text{ cm}^{-1}$), b adalah tebal kuvet (cm), serta C adalah konsentrasi (M).

Atau dalam sejumlah buku ditulis :

$$A = E \cdot b \cdot C \quad (2.6)$$

Dengan E adalah koefisien ekstingsi spesifik ($\text{ml g}^{-1} \text{ cm}^{-1}$), b adalah tebal kuvet (cm), dan C adalah konsentrasi (gram/100 ml). Adapun hubungan antara E dan ϵ dinyatakan pada persamaan 2.7.

$$E = \frac{10 \cdot \epsilon}{\text{massa molar}} \quad (2.7)$$

Nilai transmitan (T) yang terukur didefinisikan melalui persamaan 2.8.

$$T = I / I_0 \quad (2.8)$$

Dimana I adalah intensitas setelah cahaya melewati larutan sampel, dan I_0 adalah Intensitas cahaya awal (Dachriyanus, 2004).

H. Tinjauan Pustaka

(Dehghani et al., 2016) tentang penggunaan *treated waste newspaper* (TWNP) untuk penghilangan Cr(VI) menggunakan percobaan batch, dengan tujuan untuk mengetahui kondisi optimum, isotherm, kinetika dan persentase penghilangan Cr(VI) oleh adsorben *treated waste newspaper* (TWNP). Berdasarkan data percobaan, proses adsorpsi oleh *treated waste newspaper* (TWNP) mengikuti isotherm langmuir ($R^2 = 0,98$ dengan kapasitas adsorpsi maksimum 59,88 mg/g) dan mengikuti model kinetika pseudo-orde dua. Persentase penghilangan Cr(VI) yang diperoleh sebesar 59,88 mg/g (64% pada pH 3). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *treated waste newspaper* (TWNP) dapat digunakan sebagai adsorben berbiaya rendah untuk menghilangkan Cr(VI) dari larutan.

(Herlenasari et al., 2017) tentang pembuatan adsorben dari koran bekas untuk mengurangi kadar Fe dan Cu pada air limbah dengan tujuan mengetahui pembuatan adsorben dari koran bekas dan penyerapannya terhadap logam Fe dan Cu berdasarkan pengaruh konsentrasi mula-mula dan dosis adsorben. Kandungan selulosa pada kertas koran menjadikan kertas koran bekas mampu menyerap dan mengurangi kandungan logam berat pada limbah. Koran bekas terlebih dulu dilarutkan ke dalam larutan NaOH, lalu dikeringkan. Hasil Penelitian menunjukkan kertas koran efektif digunakan untuk mengadsorp Cu dan Fe dalam limbah dengan rata-rata persentase penyerapan logam Cu (II) dan Fe (II) dengan variasi konsentrasi awal 20 – 200 mg/L sebesar 98,38% dan 98,90%. Serta rata-rata persentase penyerapan Cu (II) dan Fe (II) sebesar 97,50% dan 92,87% pada variasi dosis adsorben.

(Herlina, Masri, & Sudding, 2017) tentang adsorpsi zat warna *congo red* menggunakan dedak padi. Hasil penelitian menunjukkan kondisi optimum adsorpsi dicapai pada pH 6 dengan persentase adsorpsi sebesar 94.13% dan pada waktu kontak menit dengan persentase adsorpsi 91.99%, serta mengikuti isoterm Freundlich.

(Arellano et al., 2021) tentang pemanfaatan bubuk dari cangkang biji kakao sebagai bioadsorben larutan zat warna *congo red*. Hasil penelitian menunjukkan selulosa dari cangkang biji kakao dapat digunakan sebagai bioadsorben zat warna *congo red* dengan persentase penyerapan optimum pada konsentrasi 40 mg/L dengan massa 0.1168 gram, pada kondisi pH 3 dan waktu kontak selama 36 jam. Keterikatan zat warna pada permukaan bioadsorben cangkang biji kakao dibuktikan dengan adanya gugus -OH dari molekul fenolik dan alkohol, serta terdapat gugus aldehid dan amina primer pada spektra FTIR.

(Faisal, 2015) tentang efisiensi penyerapan logam Pb^{2+} menggunakan adsorben campuran enceng gondok dan bentonit dengan tujuan untuk mengetahui kemampuan penyerapan adsorben campuran enceng gondok dan bentonit terhadap logam Pb^{2+} . Enceng gondok dan bentonit dengan perbandingan komposisi enceng gondok : bentonit sebesar 1:1 (massa total 4 gram) diaktivasi dengan larutan H_2SO_4 1,2 M. pada penelitian tersebut, waktu kontak divariasikan 30, 60, 120 menit, kecepatan pengadukan divariasikan 50, 100, dan 150 rpm, serta konsentrasi logam Pb^{2+} divariasikan 30, 35, dan 40 mg/L. Hasil penelitian menunjukkan

penyerapan optimum logam Pb^{2+} (sebesar 0.987 mg/g) dicapai pada konsentrasi Pb^{2+} 40 mg/L, dengan waktu kontak 120 menit dan kecepatan pengadukan sebesar 150 rpm.

Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa material selulosa dapat digunakan untuk mengadsorpsi zat warna *congo red*. Penelitian ini dilakukan adsorpsi zat warna *congo red* menggunakan selulosa dari kertas koran dan dilakukan pencampuran dengan adsorben bentonit untuk mengetahui komposisi adsorben dengan penyerapan terbaik terhadap zat warna *congo red*.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Kimia UIN Walisongo Semarang, dimulai pada bulan Februari s.d September 2021.

B. Alat dan Bahan

1. Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain : *hotplate*, *magnetic stirrer* merk DIAB MS7-H550, pipet tetes, labu ukur, batang pengaduk, oven, neraca, gelas kimia, corong kaca, gunting, kertas pH indikator, ayakan 60-80 mesh, *aluminium foil*. Adapun instrumen yang digunakan adalah FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) Bruker Alpha II, dan spektrofotometer UV-Vis merk Thermo Scientific Orion AquaMate 8000 yang dimiliki oleh Laboratorium Kimia Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.

2. Bahan

Bahan-bahan yang diperlukan untuk penelitian adalah kertas koran bekas (Koran Tribun Jateng, dengan bulan terbit yang sama), kertas saring, bentonit (yang diperoleh dari toko kimia Indrasari

Semarang), serbuk zat warna *Congo red*, aquades, NaOH 10% w/v p.a, NaOH 0.1 M p.a, HCl 0.1 M p.a, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0.1 M p.a, dan I_2 0.01 M p.a.

C. Metode

1. Preparasi Sampel

a. Preparasi Kertas Koran Bekas (KKB)

Kertas koran bekas pertama-tama dipotong kecil-kecil dengan ukuran seragam, kemudian dilarutkan dalam larutan NaOH 10% (w/v) 2 Liter dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama dua jam untuk menghilangkan berbagai kotoran seperti debu dan tinta. *Pulp* kertas koran bekas yang terbentuk selanjutnya disaring menggunakan kertas saring dan dicuci dengan aquades hingga pH 6.5 – 7. Selanjutnya, *pulp* koran bekas dikeringkan dalam oven pada suhu 60-70°C hingga beratnya konstan, lalu dipotong kecil-kecil dengan ukuran seragam (Herlenasari et al., 2017).

b. Preparasi Bentonit (BT)

Bentonit dipreparasi dengan sebanyak 100 gram bentonit diayak menggunakan ayakan ukuran 60-80 mesh sehingga diperoleh bentonit dengan ukuran seragam.

c. Preparasi pencampuran BT-KKB

Adsorben KKB : B dibuat dengan variasi komposisi sebagai berikut.

Tabel 3.1 Komposisi Pencampuran adsorben KKB :B

Sampel	KKB (g)	B (g)	Prosentase (%)
1	0	20	0 : 100
2	5	15	25 : 75
3	10	10	50 : 50
4	15	5	75 : 25
5	20	0	100 : 0

Masing-masing variasi adsorben dilarutkan dalam larutan NaOH 10% (w/v) 2 Liter dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama dua jam untuk menghilangkan berbagai kotoran seperti debu dan tinta. *Pulp* kertas koran bekas yang terbentuk selanjutnya disaring menggunakan kertas saring dan dicuci dengan aquades hingga pH 6,5 - 7. Selanjutnya, *pulp* koran bekas dikeringkan dalam oven pada suhu 60-70°C hingga beratnya konstan, lalu dipotong kecil-kecil dengan ukuran seragam. (Herlenasari et al, 2017)

2. Uji Kualitatif Selulosa KKB

Selulosa kertas koran bekas hasil preparasi diuji secara kualitatif melalui uji benedict dan uji iodium.

a. Uji Benedict

Sebanyak 0,05 gram selulosa kertas koran bekas dilarutkan kedalam aquades secukupnya, kemudian ditambahkan 3 tetes $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ sebagai pereaksi benedict. Larutan campuran selanjutnya dikocok dan diamati perubahan warnanya. Warna hijau, kuning, atau merah pada larutan campuran menunjukkan hasil uji positif (Sulfida, 2020).

b. Uji Iodium

Sebanyak 0,05 gram selulosa kertas koran bekas dilarutkan kedalam aquades secukupnya, kemudian ditambahkan 3 tetes I_2 sebagai pereaksi iodium. Larutan campuran selanjutnya dikocok dan diamati perubahan warnanya. Warna coklat pada larutan campuran menunjukkan hasil uji positif (Sulfida, 2020).

3. Preparasi Larutan Congo Red

Preparasi larutan congo red dimulai dengan pembuatan larutan induk *congo red* 1000 ppm. Larutan induk *congo red* 1000 ppm dibuat dengan melarutkan serbuk *congo red* sesuai massa yang dibutuhkan ke dalam aquades. Massa serbuk *congo red* yang dibutuhkan dihitung dengan rumus berikut.

$$\text{ppm} = \frac{\text{Massa zat terlarut (mg)}}{\text{Volume Larutan (L)}} \quad (3.1)$$

dimana ppm adalah konsentrasi yang akan dibuat (mg/L).

Sebanyak 1 gram serbuk *congo red* dilarutkan kedalam aquades 1000 mL hingga tanda batas. Larutan kemudian dikocok hingga homogen (Larutan induk congo red 1000 ppm).

Tahap selanjutnya, dibuat larutan congo red dengan konsentrasi 5, 10, 20, 30, 40, 50, 75, dan 100 ppm dari larutan induk congo red 1000 ppm dengan volume larutan induk congo red secara berturut-turut 0.2 mL, 5 mL, 2 mL, 3 mL, 4 mL, 5 mL, 7.5 mL, dan 50 mL ke dalam aquades (sesuai volume yang dibutuhkan) hingga tanda batas kemudian dikocok hingga homogen.

4. Adsorpsi Zat Warna Congo Red

Proses adsorpsi zat warna *congo red* dilakukan secara *batch* menggunakan limbah artifisial hasil preparasi. Adsorben KKB dan BT dengan persentase komposisi 100%KKB, 75%KKB:25%BT, 25%KKB:75%BT, 50%KKB:50%BT, dan 100%BT yang telah disiapkan masing-masing dimasukkan ke dalam 20 mL limbah *congo red* 10 ppm pada gelas beker 50 mL, lalu diaduk menggunakan *magnetik stirrer* selama 60 menit. Langkah tersebut diulangi dengan variasi komposisi adsorben yang berbeda. Setelah diaduk, larutan disaring untuk kemudian diambil filtratnya, lalu dianalisa menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Komposisi adsorben dengan kapasitas adsorpsi terbaik terhadap zat warna *congo red* digunakan untuk tahap selanjutnya.

5. Penentuan Kondisi Optimum Penyerapan Zat Warna Congo Red oleh Adsorben

a. Penentuan pH Optimum

Penentuan pH optimum dilakukan dengan bervariasi pH larutan *congo red* 10 ppm yang telah disiapkan pada gelas beker 50 mL dengan variasi pH 2,4,5,6,7,9, dan 11. Pengaturan pH dilakukan dengan penambahan HCl 0,1 M untuk

membuat larutan dengan pH asam, sedangkan untuk membuat larutan dengan pH basa digunakan NaOH 0,1 M. Kemudian dimasukkan 0,02 gram adsorben KKB, lalu campuran diaduk selama 60 menit menggunakan *magnetik stirrer*. Campuran selanjutnya disaring menggunakan kertas saring lalu diambil filtratnya untuk kemudian dianalisa menggunakan Spektrofotometer UV-Vis.

b. Penentuan Konsentrasi Optimum

Penentuan konsentrasi awal *congo red* optimum dilakukan dengan bervariasi kan konsentrasi awal limbah artifisial *congo red*. Mula-mula, disiapkan masing-masing 20 mL limbah artifisial *congo red* dengan variasi konsentrasi awal 10, 20, 30, 40, 50, 75, dan 100 ppm dengan pH optimum yang diperoleh dari percobaan sebelumnya pada gelas beker 50 mL. Kemudian adsorben KKB dengan massa 0,02 gram dimasukkan dalam masing-masing 20 mL limbah artifisial *congo red* yang telah disiapkan. Setelah itu, campuran diaduk menggunakan *magnetik stirrer* dengan waktu kontak selama 60 menit. Campuran yang telah diaduk, kemudian disaring menggunakan kertas saring lalu diambil filtratnya untuk

selanjutnya dianalisa menggunakan Spektrofotometer UV-Vis.

c. **Penentuan Waktu Kontak Optimum**

Penentuan waktu kontak optimum dilakukan dengan menvariasikan waktu kontak interaksi antara sampel limbah artifisial *congo red* dengan adsorben KKB. Adsorben KKB dengan massa 0,02 gram dimasukkan dalam 20 mL limbah *congo red* 100 ppm pada gelas beker 50 mL dengan pH optimum yang diperoleh dari percobaan sebelumnya. Kemudian campuran diaduk menggunakan *magnetik stirrer* dengan variasi waktu kontak 10, 30, 60, 90, 120, dan 150 menit. Campuran yang telah diaduk selanjutnya disaring menggunakan kertas saring, lalu diambil filtratnya untuk kemudian dianalisa menggunakan Spektrofotometer UV-Vis.

6. **Karakterisasi**

Adsorben KKB, BT, dan BT-KKB dikarakterisasi menggunakan FTIR untuk mengetahui gugus fungsinya. Spektrum inframerah direkam menggunakan spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR) merk Burker Alpha II, dengan pemisahan spektrum 2

cm⁻¹, pada suhu 20 °C dengan metoda pelet KBr.
Spektrum direkam pada daerah 4000–400 cm⁻¹.

BAB IV

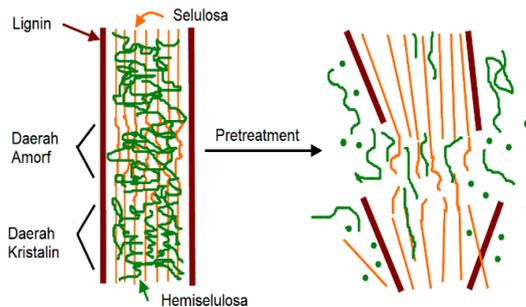
HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi pemaparan dan pembahasan hasil penelitian, meliputi preparasi, karakterisasi adsorben kertas koran bekas (KKB), bentonit (BT), dan adsorben campuran BT-KKB, uji kualitatif selulosa dari adsorben KKB, uji adsorpsi serta optimasi penyerapan adsorben KKB terhadap zat warna *congo red*. Karakterisasi adsorben KKB, BT, dan BT-KKB dilakukan menggunakan spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR) untuk mengidentifikasi gugus-gugus aktif yang terdapat pada adsorben. Optimasi penyerapan zat warna *congo red* oleh adsorben KKB meliputi optimasi pH, konsentrasi, serta waktu kontak.

A. Preparasi Adsorben Kertas Koran Bekas (KKB)

Sampel yang digunakan sebagai bahan baku adsorben adalah kertas koran bekas. Kertas koran bekas tersebut merupakan jenis koran Suara Merdeka dengan bulan terbit yang sama, yaitu terbitan Juni 2020. Kertas koran bekas dipreparasi menurut prosedur (Herlenasari et al., 2017). Preparasi ini dilakukan untuk memperoleh selulosa dari kertas koran bekas. Kertas koran bekas

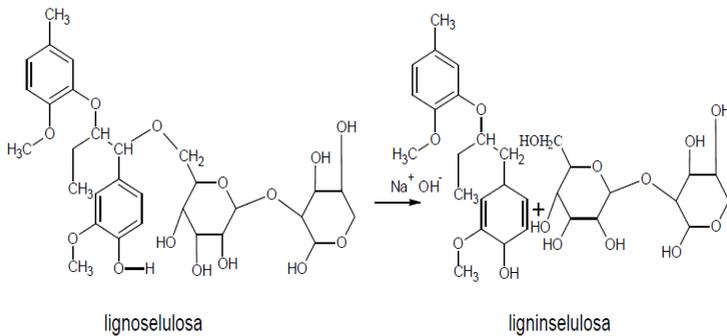
dipotong kecil-kecil dengan ukuran seragam untuk memperbesar luas permukaan dari kertas koran dan agar memudahkan untuk diaduk menggunakan *magnetic stirrer*. Kemudian sebanyak 100 gram kertas koran bekas dilarutkan dalam larutan NaOH 10% (w/v) 2 Liter untuk menghilangkan berbagai kotoran seperti debu dan tinta, juga untuk memisahkan selulosa dari lignin dan hemiselulosa (Kusumawardani et al., 2018). Pelarutan kertas koran bekas dengan larutan NaOH 10% selama 1 jam untuk menghindari degradasi selulosa (Herlenasari et al., 2017). Proses tersebut dinamakan delignifikasi yang bertujuan untuk menghilangkan lignin pada material berlignoselulosa (Kusumawardani et al., 2018).



Gambar 4.1 proses delignifikasi (Nurwahdah et al., 2018)

Kandungan lignin pada material dapat mengganggu proses adsorpsi zat warna oleh selulosa.

Oleh karena itu, lignin harus dihilangkan. Pelarutan menggunakan larutan NaOH dapat memutuskan ikatan hidrogen antara selulosa dengan lignin dan hemiselulosa, serta gugus eter dan ester yang terdapat antara lignin dan hemiselulosa (Kusumawardani et al., 2018). sebagaimana yang terlihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Mekanisme pemutusan ikatan antara selulosa dan lignin (Yusuf et al., 2014)

Mekanisme proses delignifikasi yang berlangsung dimulai dengan dengan penyerangan atom H pada gugus fenolik oleh ion hidroksida (OH^-) yang berasal dari larutan NaOH. Nilai keelektronegatifan yang besar pada atom O menjadikan mudah terlepasnya atom H menjadi ionnya dengan muatan parsial positif, sehingga pada umumnya atom H tersebut memiliki sifat asam. Resonansi gugus alkil pada posisi para juga

mempengaruhi keasaman atom H pada gugus fenolik. Sedangkan ion Natrium (Na^+) akan berikatan dengan lignin membentuk natrium fenolat yang dapat larut bersama NaOH (Nurhamidah, 2020).

Berbeda dengan selulosa, hemiselulosa memiliki struktur amorf, derajat polimerisasi lebih rendah, tidak berserat panjang, serta mudah larut dalam alkali seperti NaOH. Penggunaan NaOH dapat sekaligus mengekstraksi hemiselulosa (Pasue, Saleh, & Bahri, 2019).

Kertas koran bekas yang telah dilarutkan kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama dua jam untuk mempercepat pemisahan selulosa dari pengotornya. Setelah itu, *Pulp* kertas koran bekas yang terbentuk disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan *pulp* dengan larutannya. Selanjutnya *pulp* dicuci dengan aquades hingga pH 6.5 - 7 untuk menetralkan *pulp* kertas. Pada penelitian ini, pulp kertas memiliki pH 7. Adapun rendemen yang dihasilkan sebesar 20% dari massa awal kertas koran bekas sebanyak 100 gram. *Pulp* kertas koran bekas hasil preparasi selanjutnya diuji secara kualitatif kandungan selulosanya melalui uji benedict dan uji iodium, dan dikarakterisasi menggunakan FTIR.



Gambar 4.3 Selulosa kertas koran bekas hasil preparasi

B. Uji Kualitatif Selulosa Kertas Koran Bekas

1. Uji Benedict

Pengujian selulosa adsorben KKB secara kualitatif melalui uji benedict dilakukan untuk mengetahui adanya gula pereduksi pada selulosa adsorben KKB. Prinsip uji benedict adalah reduksi ion Cu^{2+} pada larutan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ menjadi Cu^+ yang kemudian akan mengendap menjadi Cu_2O (Kusbandari, 2015). Uji benedict dilakukan dengan menambahkan sebanyak 3 tetes $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ sebagai pereaksi benedict ke dalam selulosa adsorben KKB hasil preparasi yang telah ditambahkan aquades secukupnya.

Uji benedict bernilai positif apabila warna endapan yang teramati berupa warna kuning, hijau, ataupun merah bata (Sulfida, 2020). Semakin banyak kandungan gula pereduksi pada sampel, maka sampel

akan semakin berwarna merah bata. Pada penelitian ini, perubahan yang teramati adalah perubahan warna dari abu-abu menjadi warna hijau yang menandakan sedikitnya kandungan gula pereduksi pada selulosa adsorben KKB.



Gambar 4.4 Hasil uji benedict

2. Uji Iodium

Selulosa merupakan polisakarida yang terdiri dari puluhan, ratusan, hingga ribuan unit monosakarida (Glukosa) (Lavanya et al., 2011). Uji iodium terhadap selulosa adsorben KKB bertujuan untuk mengidentifikasi polisakarida. Prinsip uji iodium adalah terbentuknya rantai poliiodida yang merupakan hasil ikatan antara iodin sebagai pereaksi iodium dengan sampel yang merupakan polisakarida. Polisakarida yang berikatan dengan iodin membentuk warna coklat untuk selulosa (Desyanti, 2013).

Uji benedict dilakukan dengan menambahkan sebanyak 3 tetes I_2 sebagai pereaksi iodium ke dalam selulosa adsorben KKB hasil preparasi yang telah ditambahkan aquades secukupnya. Uji iodium bernilai positif apabila warna endapan yang teramati berupa warna coklat (Sulfida, 2020). Pada penelitian ini, perubahan yang teramati adalah perubahan warna dari abu-abu menjadi warna coklat yang menandakan terdapatnya selulosa pada adsorben KKB. Hasil uji iodium dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Hasil uji iodium

C. Preparasi Adsorben Bentonit (BT)

Sampel bentonit yang digunakan diperoleh dari toko kimia Indrasari Semarang. Sebanyak 100 gram Bentonit dipreparasi dengan diayak menggunakan ayakan dengan ukuran 60-80 mesh. Bentonit hasil preparasi kemudian dikarakterisasi menggunakan FTIR.



Gambar 4.6 Bentonit hasil preparasi

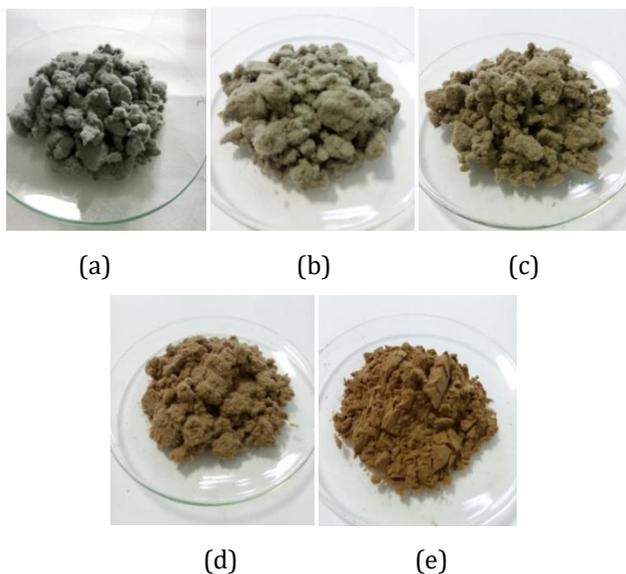
D. Preparasi Adsorben BT-KKB

Sampel yang dipreparasi pada tahap preparasi adsorben campuran BT-KKB adalah kertas koran bekas sebelum didelignifikasi dan bentonit hasil preparasi. Pencampuran adsorben kertas koran dan bentonit dilakukan pada saat proses delignifikasi selulosa berdasarkan prosedur (Herlenasari et al., 2017). Adsorben BT-KKB dibuat dengan variasi komposisi sebagaimana Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Komposisi pencampuran adsorben BT-KKB

Kode Sampel	KKB (g)	BT (g)	Prosentase (%)
A	20	0	100 : 0
B	15	5	75 : 25
C	10	10	50 : 50
D	5	15	25 : 75
E	0	20	0 : 100

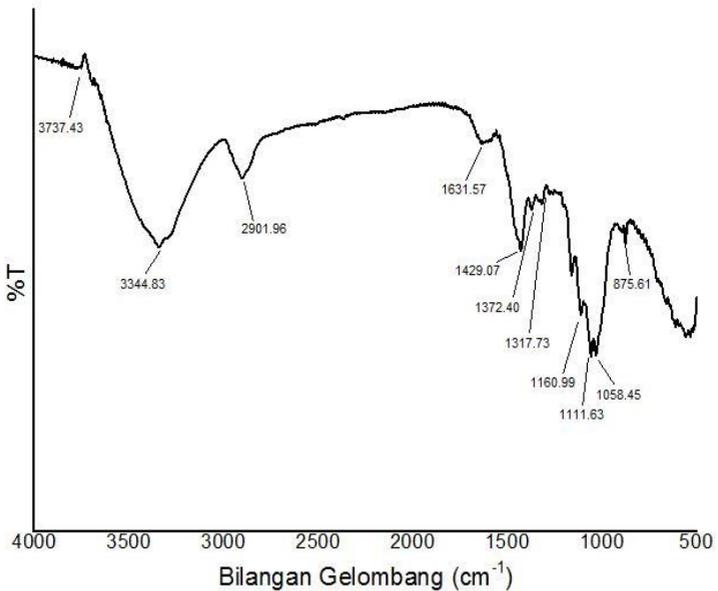
Masing-masing variasi adsorben selanjutnya dilarutkan dalam larutan NaOH 10% (w/v) dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama dua jam untuk menghilangkan berbagai kotoran. Larutan campuran yang terbentuk selanjutnya disaring menggunakan kertas saring dan dicuci dengan aquades hingga pH 6.5–7. Selanjutnya, dikeringkan dalam oven pada suhu 60–70°C hingga beratnya konstan, lalu direduksi ukurannya sehingga diperoleh adsorben campuran BT-KKB dengan ukuran seragam. Adsorben campuran hasil preparasi dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Adsorben BT-KKB dengan perbandingan KKB:BT (a)20:0, (b)5:15, (c)10:10, (d)15:5, (e)20:0.

E. Karakterisasi Gugus Fungsi Adsorben Menggunakan Spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

Karakterisasi menggunakan FTIR digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi dan jenis ikatan pada Adsorben KKB, BT, dan BT-KKB. Spektra FTIR selulosa keras koran bekas (KKB) dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Spektra FTIR selulosa kertas koran bekas

Gambar 4.8 menunjukkan bahwa selulosa kertas koran bekas memiliki beberapa gugus fungsi diantaranya gugus aromatik, -OH (vibrasi ulur), C-H (vibrasi regangan dari -CH₂), C=C, O-H *bending*, C-H tekuk, -CH₂, C-O

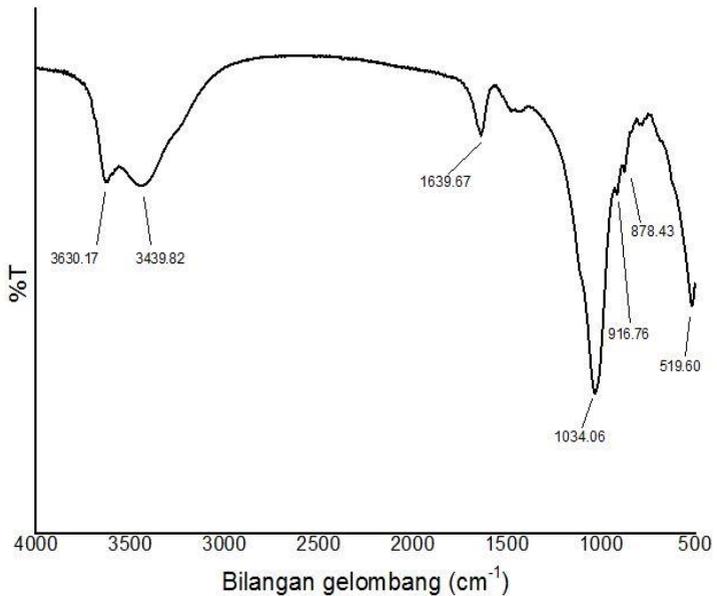
antisymmetric stretching, C-O, C-C *stretching*, vibrasi regangan C-O, serta C-O-C *stretching* yang dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Interpretasi hasil spektra FTIR selulosa KKB

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	
	Referensi	Selulosa KKB
Gugus Aromatik	3749.62 (Kusumawardani et al., 2018)	3737.43
Vibrasi ulur dari -OH	3336 (Mohamed et al., 2017)	3344.83
Vibrasi regangan C-H dari -CH ₂	2924.09 (Kusumawardani et al., 2018)	2901.96
C=C	1635.64 (Kusumawardani et al., 2018)	1631.57
O-H <i>bending</i>	1650 (Mohamed et al., 2017)	
C-H Tekuk	1427.03 (Kusumawardani et al., 2018)	1429.07
C-H Tekuk	1373.32 (Kusumawardani et al., 2018).	1372.40
C-H ₂ <i>wagging</i>	1313 (Mohamed et al., 2017)	1317.73
-CH ₂	1327.03 (Kusumawardani et al., 2018).	
C-O <i>antisymmetric stretching</i>	1154 (Mohamed et al., 2017)	1160.99

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	
	Referensi	Selulosa KKB
C-O dan C-C stretching	1105 (Mohamed et al., 2017)	1111.63
	1056.99 (Kusumawardani et al., 2018)	1058.45
Vibrasi regangan C-O	891 (Mohamed et al., 2017)	875.61
C-O-C stretching		

Adapun hasil spektra FTIR adsorben bentonit (BT) dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Spektra FTIR bentonit

Berdasarkan Gambar 4.9, diketahui bahwa selulosa kertas koran bekas memiliki beberapa gugus fungsi diantaranya gugus -OH yang terikat pada lapisan

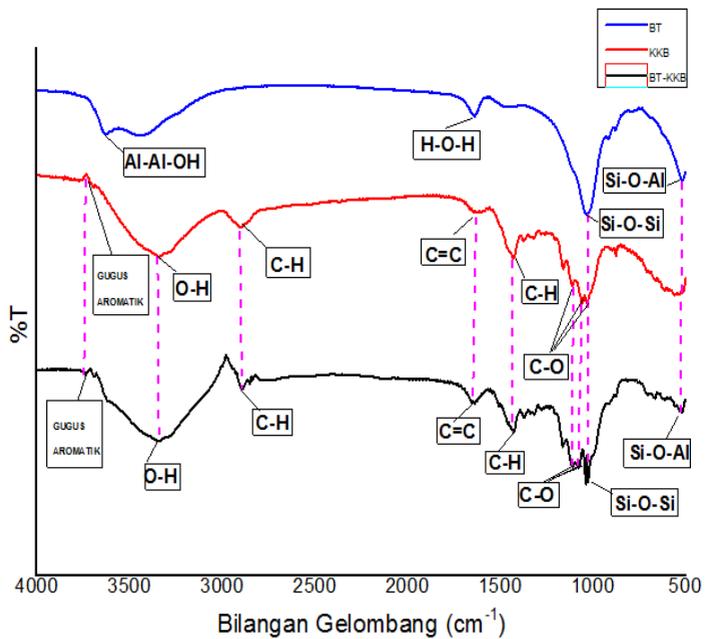
oktahedral Al-Al-OH (vibrasi ulur), gugus -OH yang terhidrasi molekul air (vibrasi ulur), H-O-H (vibrasi tekuk), vibrasi Si-O-Si atau SiO₂ (kuarsa), gugus -OH dari Al-OH-Al (vibrasi tekuk), serta Si-O-Al (vibrasi tekuk) yang dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Interpretasi spektra FTIR adsorben bentonit

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	
	Referensi	Bentonit
Vibrasi ulur dari gugus -OH (yang terikat pada Al dilapisan oktahedral Al-Al-OH atau Mg-OH-Al)	3626.17 (Mahmudha & Nugraha, 2016)	3630.86
Vibrasi ulur gugus OH yang terhidrasi molekul air	3441.01 (Mahmudha & Nugraha, 2016)	3439.82
Vibrasi tekuk dari H-O-H	1635.64 (Mahmudha & Nugraha, 2016)	1639.67
Karakteristik Si-O-Si atau SiO ₂ (kuarsa)	1033.85 (Mahmudha & Nugraha, 2016)	1034.06
Vibrasi tekuk gugus hidroksil dari Al-OH-Al	918.12 (Purwaningsih & Supartono, 2012)	916.76
Vibrasi Si-O-Al	794.67 (Mahmudha & Nugraha, 2016)	878.43

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	
	Referensi	Bentonit
Vibrasi tekuk dari Si-O-Al	519.92 (Purwaningsih & Supartono, 2012)	519.60

Sedangkan spektra FTIR perbandingan antara adsorben KKB, BT dan BT-KKB ditunjukkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Spektra FTIR adsorben KKB, BT, dan BT-KKB.

Gambar 4.10 memperlihatkan bahwa gugus-gugus fungsi pada hasil spektra FTIR BT-KKB merupakan representasi dari beberapa gugus fungsi yang muncul

pada hasil spektra FTIR adsorben KKB maupun adsorben BT. Gugus tersebut diantaranya gugus aromatik (3738.27 cm^{-1}), gugus -OH (vibrasi ulur) (3620.92 cm^{-1} dan 3341.04 cm^{-1}), C-H *stretching* (2890.42 cm^{-1}), C=C (1638.16 cm^{-1}), C-H (vibrasi tekuk)(1428.87 cm^{-1}), C-O *antisymmetric stretching* (1162.73 cm^{-1}), C-O dan C-C *stretching* (1111.67 cm^{-1}), serta C-O (vibrasi regangan) (1078.28 cm^{-1}) yang mempresentasikan gugus selulosa adsorben KKB. Demikian pula, gugus yang muncul pada bilangan gelombang 1038.40 cm^{-1} dan 518.96 cm^{-1} merupakan karakteristik Si-O-Si atau SiO_2 (kuarsa) dan Si-O-Al merupakan representasi gugus adsorben bentonit. Hal tersebut menunjukkan bahwa pencampuran adsorben kertas koran bekas (KKB) dan bentonit (BT) telah berhasil.

F. Adsorpsi Zat Warna *Congo Red*

Pada tahap ini dilakukan pengujian adsorpsi terhadap zat warna *congo red* menggunakan adsorben KKB, BT dan adsorben campuran BT-KKB dengan berbagai variasi yang telah dipreparasi untuk mengetahui jenis adsorben yang memiliki kapasitas adsorpsi terbaik yang akan digunakan pada tahap selanjutnya.

Adsorpsi zat warna *congo red* oleh adsorben KKB, BT, dan BT-KKB dilakukan dengan menambahkan masing-masing adsorben dengan massa 0,02 gram ke dalam larutan zat warna congo red 10 ppm dengan volume 20 mL. Larutan kemudian diaduk menggunakan *magnetik stirer* selama 60 menit, Lalu disaring menggunakan kertas saring. Filtrat yang dihasilkan selanjutnya diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 500 nm (pengukuran panjang gelombang maksimum disajikan pada lampiran 2). Konsentrasi akhir larutan dihitung menggunakan persamaan regresi linear yang dihasilkan dari kurva standar *congo red* (kurva standar *congo red* disajikan pada lampiran 2). Perbandingan kapasitas adsorpsi masing-masing adsorben terhadap zat warna *congo red* dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Kapasitas adsorpsi adsorben KKB,BT, dan BT-KKB

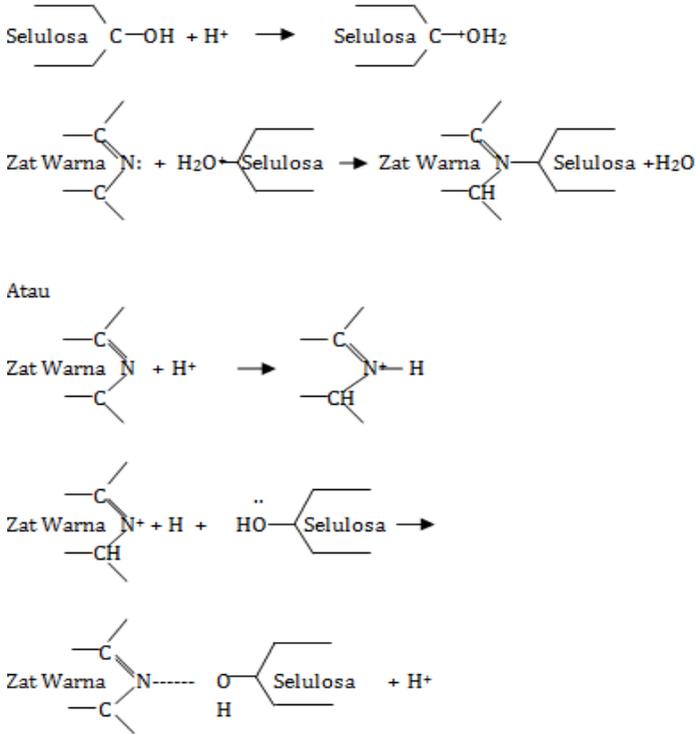
Adsorben	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Q (mg/g)
100% KKB	10,24	1,20	9,04
75% KKB : 25% BT	10,24	2,10	8,14
25% KKB : 75% BT	10,24	2,17	8,07
50% KKB : 50% BT	10,24	2,20	8,04
100% BT	10,24	9,62	0,62

Tabel 4.4 menunjukkan bahwa adsorben 100% KKB memiliki kapasitas adsorpsi sebesar 9.04 mg/g, adsorben 100% BT memiliki kapasitas adsorpsi sebesar 0.62 mg/g. Sedangkan pada adsorben campuran BT-KKB dengan perbandingan 75%KKB:25%BT, 25%KKB:75%BT, serta 50%KKB: 50%BT secara berturut-turut memiliki kapasitas adsorpsi sebesar 8.14 mg/g, 8.07 mg/g, serta 8.04 mg/g. Penyerapan zat warna *congo red* dengan Kapasitas adsorpsi terbaik diperoleh menggunakan adsorben 100% KKB dengan kapasitas adsorpsi 9.04 mg/g.

Berdasarkan data pada Tabel 4.4, adsorben KKB memiliki daya adsorpsi yang lebih baik dibandingkan adsorben bentonit. Hal ini dikarenakan adsorbat zat warna *congo red* merupakan jenis zat warna anionik, dimana dalam bentuk larutannya, zat warna congo red akan terdisosiasi membentuk anion berupa gugus $-NH_2$. Sementara itu, gugus $-OH$ yang berasal dari selulosa adsorben KKB dapat mengalami protonasi membentuk H_2O^+ yang cenderung bersifat elektropositif pada permukaan adsorben. Gugus tersebut kemudian berinteraksi dengan anion gugus fungsi $-NH_2$ yang terdapat pada zat warna *congo red*, menyebabkan anion gugus $-NH_2$ lebih tertarik menuju permukaan adsorben

KKB (Herlina, Masri, & Sudding, 2017; Wajarwati et al., 2018).

Bentonit yang bersifat kationik, memiliki permukaan yang bermuatan negatif pada setiap unit layernya menjadikan bentonit sulit berinteraksi dengan anion zat warna congo red dikarenakan keduanya sama-sama bersifat elektronegatif. Disisi lain, zat warna *congo red* yang cenderung bersifat anionik, tidak memiliki kation untuk dapat dipertukarkan dengan adsorben bentonit yang kaya akan kation. Beberapa hal tersebut menyebabkan kapasitas adsorpsi bentonit terhadap zat warna congo red sangat kecil. Demikian pula, adsorben pencampuran BT-KKB mempunyai kapasitas adsorpsi yang lebih rendah dibandingkan adsorben KKB tanpa pencampuran. Hal ini dimungkinkan karena tertutupnya gugus C-O-C akibat spesi bentonit seperti halnya terdapat puncak Si-O-Si yang muncul pada bilangan gelombang 1038.40 cm^{-1} dan puncak Si-O-Al yang muncul pada bilangan 518.96 cm^{-1} pada spektra FTIR adsorben campuran BT-KKB. Adapun mekanisme adsorpsi zat warna oleh selulosa ditunjukkan pada Gambar 4.11.



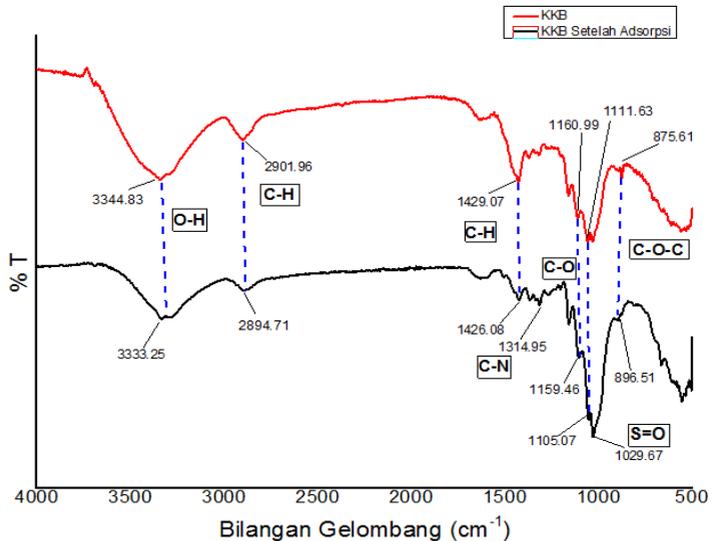
Gambar 4.11 Mekanisme adsorpsi zat warna oleh selulosa (Windasari, 2009)

Mekanisme penyerapan zat warna congo red oleh adsorben KKB dimulai dengan protonasi gugus -OH pada selulosa adsorben KKB membentuk H₂O⁺ yang cenderung bersifat elektropositif. Gugus tersebut kemudian berinteraksi dengan anion zat warna congo red berupa gugus -NH₂ dimana atom N memiliki pasangan elektron bebas, menyebabkan zat warna congo red tertarik menuju permukaan adsorben selulosa KKB

dengan ikatan C-N, dibuktikan dengan munculnya gugus C-N (*stretching*) pada bilangan gelombang 1314.95 cm^{-1} .

G. Karakterisasi Gugus Fungsi Adsorben KKB Setelah Adsorpsi Menggunakan Spektrofotometer *Fourier Transform Infrared (FTIR)*

Adsorben KKB setelah adsorpsi diidentifikasi gugus fungsinya menggunakan FTIR untuk mengetahui interaksi antara adsorben KKB terhadap adsorbat zat warna *congo red*. Hasil spektra FTIR adsorben KKB sebelum dan setelah adsorpsi disajikan pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Spektra FTIR adsorben selulosa sebelum dan sesudah adsorpsi

Berdasarkan Gambar 4.12, beberapa gugus fungsi yang muncul mengalami pergeseran bilangan gelombang pada spektra FTIR adsorben setelah adsorpsi, diantaranya vibrasi gugus ulur -OH yang pada awalnya muncul pada bilangan gelombang 3344.83 cm^{-1} bergeser menjadi 3333.25 cm^{-1} . Vibrasi regangan C-H dari -CH₂ yang pada awalnya muncul pada bilangan gelombang 2924.09 cm^{-1} bergeser menjadi 2894.71 cm^{-1} . Gugus C-H (vibrasi tekuk) mengalami pergeseran bilangan gelombang dari 1429.07 cm^{-1} menjadi 1426.08 cm^{-1} , Gugus C-O *antisymmetric stretching* mengalami pergeseran bilangan gelombang dari 1111.63 cm^{-1} menjadi 1105.07 cm^{-1} , Serta Gugus C-O-C *stretching* mengalami pergeseran bilangan gelombang dari 875.61 cm^{-1} menjadi 896.51 cm^{-1} . sebagaimana yang terdapat pada Tabel 4.5

Tabel 4.5 Interpretasi spektra FTIR adsorben KKB sebelum dan sesudah adsorpsi

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm^{-1})		
	Referensi	Selulosa KKB	Selulosa KKB setelah Adsorpsi
Vibrasi ulur dari -OH	3336 (Mohamed et al., 2017)	3344.83	3333.25

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)		
	Referensi	Selulosa KKB	Selulosa KKB Setelah Adsorpsi
Vibrasi regangan C-H dari -CH ₂	2924.09 (Kusumawardani et al., 2018)	2901.96	2894.71
C-H Tekuk	1427.03 (Kusumawardani et al., 2018)	1429.07	1426.08
C-O <i>antisymmetric stretching</i>	1154 (Mohamed et al., 2017)	1160.99	1159.46
C-O dan C-C <i>stretching</i>	1105 (Mohamed et al., 2017)	1111.63	1105.07
C-O-C <i>stretching</i>	891 (Mohamed et al., 2017)	875.61	896.51

Perubahan intensitas beberapa gugus fungsi pada spektra FTIR adsorben KKB setelah adsorpsi juga terlihat terutama pada gugus -OH (vibrasi regangan) dimana pada gugus -OH terjadi penurunan intensitas pada pita serapan yang melebar yang muncul pada bilangan gelombang 3333.25 cm⁻¹.

Adanya pergeseran bilangan gelombang maupun perubahan intensitas terjadi dimungkinkan karena adanya interaksi antara adsorben KKB dengan adsorbat zat warna *congo red*. Ikatan yang lebih kuat antara gugus

-OH dari selulosa adsorben KKB dengan anion gugus fungsi -NH_2 yang terdapat pada zat warna *congo red* menyebabkan meningkatnya tingkat energi. Terjadinya perubahan pada tingkat energi kemudian menyebabkan bergesernya bilangan gelombang (Nur Lamba, Zackiyah, & Siswaningsih, 2010; Wajarwati et al., 2018). Sementara itu, gugus fungsi khas *congo red* ditunjukkan oleh gugus C-N (*stretching*) dan S=O (*stretching*) yang muncul pada bilangan gelombang 1029.67 cm^{-1} dan 1314.95 cm^{-1} mengindikasikan terikatnya *congo red* pada permukaan selulosa adsorben KKB (Arnata et al., 2019).

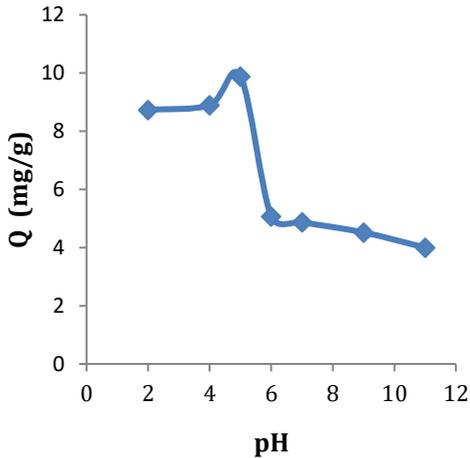
H. Penentuan Kondisi Optimum Penyerapan Zat Warna Congo Red oleh Adsorben KKB

Pada penelitian ini, dilakukan variasi pH, konsentrasi, serta variasi waktu kontak pada adsorpsi zat warna *congo red* untuk mengetahui kondisi optimum pada proses adsorpsi zat warna *congo red* oleh adsorben KKB, sebagaimana yang akan dijelaskan berikut ini.

1. Penentuan pH Optimum

Penentuan pH Optimum dilakukan untuk mengetahui pengaruh pH terhadap proses adsorpsi zat warna *congo red*. Optimasi pH dilakukan dengan bervariasi pH larutan *congo red* 10 ppm dengan

variasi pH 2, 4, 5, 6, 7, 9, dan 11. Pengaturan pH dilakukan dengan penambahan HCl 0.1 M untuk membuat larutan dengan pH asam, sedangkan untuk membuat larutan dengan pH basa digunakan NaOH 0.1 M. Hasil optimasi pH disajikan pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Pengaruh pH terhadap kapasitas adsorpsi

Gambar 4.13 menunjukkan pengaruh pH adsorbat terhadap kapasitas adsorpsi. Pada pH 3 hingga pH 5, Kapasitas adsorpsi semakin meningkat seiring kenaikan pH. pH optimum dicapai pada pH 5 dengan kapasitas adsorpsi sebesar 9.88 mg/g. kemudian pada pH 6 hingga pH 11, kapasitas adsorpsi semakin menurun.

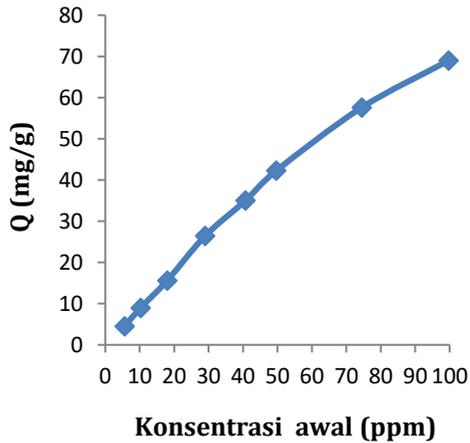
Pada pH asam, terjadi protonasi gugus hidroksil (-OH) yang berasal dari selulosa kertas koran bekas membentuk H_2O^+ yang cenderung bersifat elektropositif pada permukaan adsorben. Gugus tersebut kemudian berinteraksi dengan anion gugus fungsi $-NH_2$ yang terdapat pada zat warna *congo red*, sehingga anion gugus $-NH_2$ tertarik menuju permukaan adsorben (Nurlamba, Zackiyah, & Siswaningsih, 2010; Wajarwati et al., 2018).

Sedangkan pada pH semakin besar (basa), zat warna dengan adsorben akan saling bertolakan. Hal ini dikarenakan, adsorben selulosa kertas koran memiliki gugus hidroksil (-OH) sehingga permukaan adsorben bermuatan negatif, demikian pula dengan zat warna *congo red* yang termasuk zat warna anionik. Dengan demikian, keduanya akan bersifat elektronegatif, menyebabkan kapasitas adsorpsi semakin menurun (Wajarwati et al., 2018).

2. Penentuan Konsentrasi Optimum *Congo Red*

Pada tahap ini, penentuan konsentrasi optimum *congo red* dilakukan dengan bervariasi konsentrasi awal zat warna *congo red* dengan variasi 5, 10, 20, 30, 40, 50, 75, dan 100 ppm. Masing-masing variasi konsentrasi dikondisikan pada pH optimum 5.

Hasil penentuan konsentrasi optimum *congo red* disajikan pada Gambar 4.14.

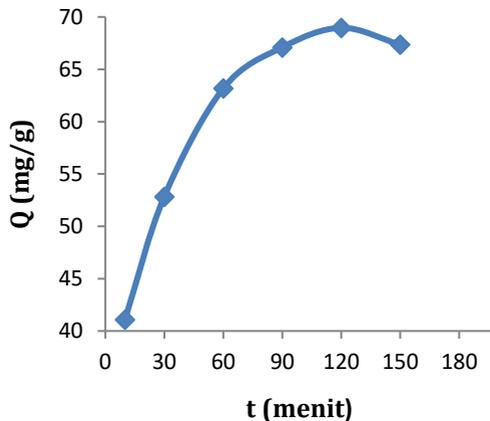


Gambar 4.14 Pengaruh konsentrasi awal *Congo Red* terhadap kapasitas adsorpsi

Berdasarkan Gambar 4.14, semakin tinggi konsentrasi awal *congo red*, semakin tinggi pula kapasitas adsorpsinya. Sebagaimana menurut (Rizkamala, 2011) Semakin besar konsentrasi larutan, maka zat warna yang teradsorp akan meningkat secara linear hingga mencapai konsentrasi tertentu. Pada penelitian ini, konsentrasi optimum *congo red* belum tercapai. Data hasil optimasi konsentrasi ini digunakan untuk menentukan isoterm adsorpsi.

3. Penentuan Waktu Kontak Optimum

Waktu kontak antara adsorben KKB dengan adsorbat zat warna *congo red* divariasikan dengan variasi selama 10, 30, 60, 90, 120, dan 150 menit untuk mengetahui waktu kontak optimum penyerapan adsorbat zat warna *congo red* oleh adsorben KKB. Penentuan waktu kontak optimum dilakukan apada kondisi pH optimum 5 dengan konsentrasi larutan *congo red* sebesar 100 ppm. Hasil optimasi waktu kontak disajikan pada Gambar 4.15.



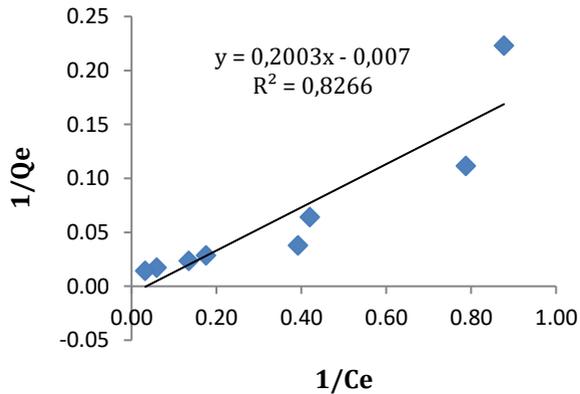
Gambar 4.15 Pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas adsorpsi

Pada Gambar 4.15 menunjukkan adanya pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas adsorpsi. Pada waktu kontak 10 menit hingga 120 menit, kapasitas adsorpsi meningkat seiring bertambah lamanya waktu kontak. Hal tersebut dikarenakan semakin lama waktu kontak akan memungkinkan semakin banyak pula tumbukan yang dapat terjadi antara adsorben KKB dengan adsorbat zat warna congo red sehingga kapasitas adsorpsi akan semakin meningkat. Sementara itu, pada waktu kontak 150 menit, kapasitas adsorpsi mengalami penurunan. Hal tersebut dikarenakan adsorben KKB yang telah jenuh, menyebabkan adsorben KKB tidak lagi mampu menyerap zat warna *congo red* dan juga menyebabkan terlepasnya sebagian molekul zat warna sehingga kapasitas adsorpsi menurun (Wajarwati et al., 2018). Pada penelitian ini, waktu kontak optimum dicapai adalah selama 120 menit dengan kapasitas adsorpsi sebesar 68.96 mg/g.

I. Penentuan Isoterm Adsorpsi

Penentuan isoterm adsorpsi dilakukan untuk mengetahui interaksi adsorben selulosa KKB terhadap zat warna *congo red*. Penentuan isoterm adsorpsi dilakukan dengan membuat kurva model isoterm

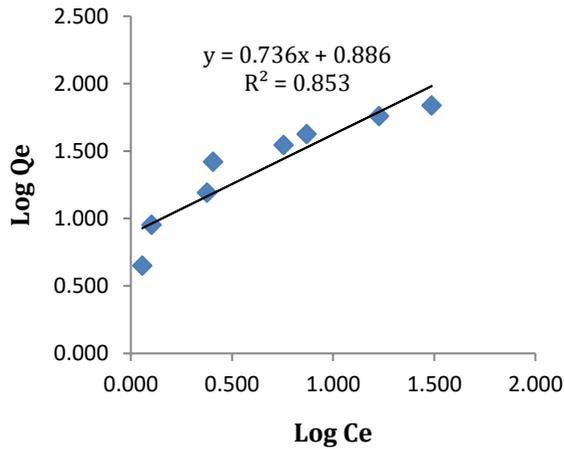
Langmuir dan kurva model Freundlich menggunakan data hasil optimasi konsentrasi. Kurva isoterm langmuir dibuat dengan membuat kurva hubungan antara nilai $1/C_e$ sebagai sumbu x dan nilai $1/Q_e$ sebagai sumbu y sesuai persamaan 2.1. Sedangkan kurva isoterm freundlich dibuat dengan membuat kurva hubungan antara nilai $\log C_e$ sebagai sumbu x dan nilai $\log Q_e$ sebagai sumbu y sesuai persamaan 2.2. Hasil kurva isoterm Langmuir ditunjukkan pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16 Kurva isoterm Langmuir

Berdasarkan Gambar 4.15, diketahui model kurva isoterm langmuir memiliki persamaan regresi linear sebesar $y = 0.200x - 0.007$ dengan nilai R^2 sebesar 0.826. sementara itu, pada kurva model isoterm Freundlich memiliki persamaan regresi linear sebesar $y = 0.736x +$

0.886 dengan nilai R^2 sebesar 0.853 seperti ditunjukkan pada Gambar 4.17.



Gambar 4.17 Kurva isoterm Freundlich

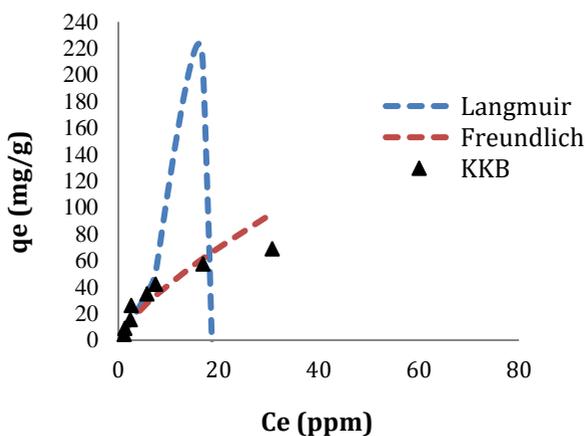
Penentuan isoterm adsorpsi ditentukan dengan nilai R^2 yang paling mendekati 1. Berdasarkan data penelitian yang diperoleh, model isoterm Freundlich memiliki nilai R^2 yang mendekati 1 dengan $R^2 = 0.853$. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa model kinetika adsorpsi yang berlaku pada penelitian ini adalah model isoterm Freundlich. Hal tersebut mengindikasikan proses adsorpsi zat warna congo red oleh adsorben selulosa kertas koran bekas dimungkinkan terjadi pada setiap sisi permukaan adsorben, pada tiap lapisan permukaan adsorben memiliki kemampuan adsorpsi

yang berbeda-beda, serta gaya *Van der Waals* bekerja dalam interaksi antara adsorben dengan adsorbat (Atkins et al., 2018; Dada, Olalekan, & Dada, 2012). Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian (Herlina, Masri, & Sudding, 2017). Data parameter masing-masing model isoterm disajikan pada Tabel 4.6.

Tabel. 4.6 Parameter isoterm adsorpsi

Model Isoterm Langmuir			Model Isoterm Freundlich		
Q_m (mg/g)	K_L (L/mg)	R^2	K_F (mg/g)(L/mg) ^{1/n}	1/n	R^2
-142.86	-0.035	0.826	7.691	0.736	0.853

Adapun kecenderungan model isoterm adsorpsi zat warna *congo red* oleh adsorben KKB ditunjukkan pada Gambar 4.18.

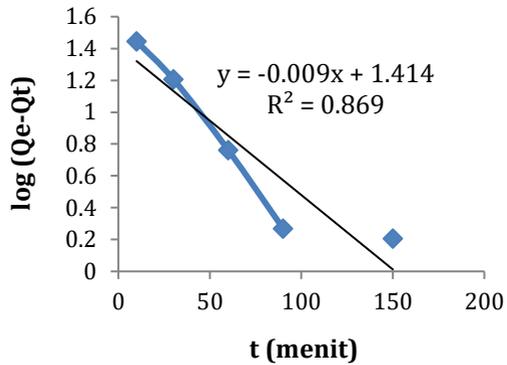


Gambar 4.18. kurva model isoterm adsorpsi *congo red* oleh adsorben KKB

Berdasarkan kurva model isoterm pada Gambar 4.18, data hasil penelitian memiliki kecenderungan terhadap model isoterm Freundlich dengan nilai kapasitas adsorpsi yang meningkat seiring meningkatnya konsentrasi akhir zat warna congo red hingga pada konsentrasi yang tinggi.

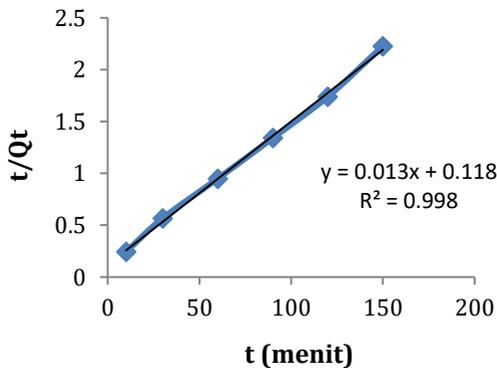
J. Penentuan Kinetika Adsorpsi

Penentuan kinetika adsorpsi dilakukan untuk mengetahui penggambaran laju penyerapan zat warna *congo red* oleh adsorben KKB terhadap perubahan waktu kontak. Penentuan kinetika adsorpsi dilakukan dengan membuat kurva kinetika adsorpsi pseudo orde 1 dan kurva kinetika adsorpsi pseudo orde 2 menggunakan data hasil optimasi waktu kontak. Kurva model kinetika adsorpsi pseudo orde 1 dibuat dengan membuat kurva hubungan antara waktu kontak sebagai sumbu x dan nilai $\log (Q_e - Q_t)$ sebagai sumbu y sesuai persamaan 2.4. Sedangkan kurva model kinetika adsorpsi pseudo orde 2 dibuat dengan membuat kurva hubungan antara waktu kontak sebagai sumbu x dan nilai t/Q_t sebagai sumbu y sesuai persamaan 2.6. Hasil kurva model kinetika adsorpsi pseudo orde 1 ditunjukkan pada Gambar 4.19.



Gambar 4.19 Model kinetika adsorpsi pseudo orde 1

Berdasarkan Gambar 4.19, Kurva model kinetika adsorpsi pseudo orde 1 memiliki persamaan regresi linear sebesar $y = -0.009x + 1.414$ dengan nilai R^2 sebesar 0.869. Sementara itu, pada kurva model kinetika adsorpsi pseudo orde 2 diketahui persamaan regresi linear sebesar $y = 0.013x + 0.118$ dengan nilai R^2 sebesar 0.853 sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.20.



Gambar 4.20 Model kinetika adsorpsi pseudo orde 2

Penentuan isoterm adsorpsi ditentukan dengan nilai Q_e teoritis yang mendekati Q_e eksperimen dan nilai R^2 yang paling mendekati 1. Berdasarkan data penelitian yang diperoleh, model kinetika pseudo orde 2 memiliki nilai R^2 yang mendekati 1 dengan $R^2 = 0.998$, serta memiliki nilai Q_e teoritis yang paling mendekati nilai Q_e eksperimen dengan nilai $Q_e = 76.923$ mg/g. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa model kinetika adsorpsi yang berlaku pada penelitian ini adalah model kinetika pseudo orde 2. Hal tersebut mengindikasikan bahwa laju adsorpsi zat warna *congo red* oleh adsorben KKB setara dengan kuadrat konsentrasi zat warna yang disimbolkan $(Q_e - Q_t)^2$ pada persamaan model kinetika adsorpsi pseudo orde 2 (Kurniawati et al., 2013). Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian (Arnata et al., 2019). Data parameter masing-masing model kinetika adsorpsi disajikan pada Tabel 4.7.

Tabel. 4.7 Parameter kinetika adsorpsi

Q_e eksperimen (mg/g)	Model Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde 1			Model Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde 2		
	Q_e (mg/g)	K_1 (menit ⁻¹)	R^2	Q_e (mg/g)	K_2 (g.mg ⁻¹ min ⁻¹)	R^2
68.96	25.942	-0.02073	0.869	76.923	0.00143	0.998

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Adsorben KKB memiliki karakteristik gugus hidroksil (-OH) yang muncul pada bilangan gelombang 3344.83 cm^{-1} , warna endapan hijau pada uji benedict, serta memiliki warna endapan spesifik coklat pada uji iodium. Adsorben BT memiliki karakteristik ikatan Si-O-Si dan Si-O-Al yang muncul pada bilangan gelombang 1034.06 cm^{-1} dan $519,60 \text{ cm}^{-1}$. Sedangkan pada adsorben BT-KKB memiliki karakteristik gugus -OH pada bilangan gelombang 3333.25 cm^{-1} yang merepresentasikan keberadaan adsorben KKB dan ikatan Si-O-Si dan Si-O-Al yang muncul pada bilangan gelombang 1038.40 cm^{-1} dan $518,96 \text{ cm}^{-1}$ yang merepresentasikan adsorben BT.
2. Pada penyerapan zat warna Congo red, Adsorben 100% KKB memiliki kapasitas adsorpsi sebesar 9.04 mg/g , adsorben 100% BT memiliki kapasitas adsorpsi sebesar 0.62 mg/g . sedangkan pada adsorben campuran BT-KKB dengan perbandingan

75%KKB:25%BT, 25%KKB:75%BT, serta 50%KKB: 50%BT secara berturut-turut memiliki kapasitas adsorpsi sebesar 8.14 mg/g, 8.07 mg/g, serta 8.04 mg/g. Penyerapan zat warna *congo red* dengan kapasitas adsorpsi terbaik diperoleh menggunakan adsorben 100% KKB dengan kapasitas adsorpsi 9.04 mg/g.

3. Kondisi optimum penyerapan zat warna congo red oleh adsorben KKB diperoleh pada pH 5 dengan waktu kontak selama 120 menit.
4. Proses adsorpsi zat warna congo red oleh adsorben KKB mengikuti model isoterm Freundlich dan model kinetika adsorpsi pseudo orde dua dengan nilai $k = 0.00143 \text{ g.mg}^{-1} \text{ min}^{-1}$.

B. Saran

Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengetahui komposisi, morfologi, luas permukaan, serta ukuran partikel adsorben KKB. Sehingga perlu dilakukan karakterisasi menggunakan SEM-EDX, TEM, dan XRD.

DAFTAR PUSTAKA

- Arellano, G.R; Fernandez, J.B; Alamilla, R.G; Galvez, L.M.L; Rivera, A.H.L; Alamilla, P. . (2021). Evaluation of Cocoa Beans Shell Powder as a Bioadsorbent of Congo Red Dye Aqueous Solutions. *Materials*, 14(2763), 4–14.
- Arnata, I Wayan; Suprihatin; Fahma, Farah; Richana, Nur; Sunarti, T. C. (2019). ADSORPTION OF ANIONIC CONGO RED DYE BY USING CELLULOSE FROM SAGO CELLULOSE FROM SAGO FROND. *Poll Res*, 38(3), 557–567.
- Atikah. (2018). Efektifitas Bentonit Sebagai Adsorben Pada Proses Peningkatan Kadar Bioetanol. *Jurnal Distilasi*, 2(2), 23. <https://doi.org/10.32502/jd.v2i2.1200>
- Atkins, P., Paula, J. de, & Keeler, J. (2018). *Atkins' Physical Chemistry* (11th ed.). Oxford: OXFORD University Press.
- Bahri, S. (2015). Pembuatan Pulp dari Batang Pisang. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 2, 36–50.
- Bansal, S., Pandey, P. K., & Upadhayay, S. (2020). Methylene Blue Dye Removal from Wastewater Using Ailanthus Excelsa Roxb as Adsorbent. *Water Conservation Science and Engineering*, 6(1), 1–9. <https://doi.org/10.1007/s41101-020-00097-3>
- Benkhaya, S., & Elharfi, Sara; Ahmed, E. H. (2017). A review on classifications, recent synthesis and applications of textile dyes. *Applied Journal of Environmental Engineering Science*, 3(3), 311–320.
- Bhoi, S. K. (2010). Adsorption Charecterstics of Congo Red Dye Onto Pac and Gac Based on S / N Ratio : a Taguchi Approach. *Chemical Engineering*, (10600013).
- Bogati, D. R. (2011). *Biokimia berbasis selulosa dan aplikasinya*. Universitas Sains Terapan Saimaa.
- BPS. (n.d.). Banyaknya Sampah yang Terangkut per Bulan di Kabupaten Semarang Tahun 2011-2020. Retrieved June 17, 2020, from <https://semarangkab.bps.go.id>
- Briendly, G.W., dan Brown, G. (1980). *Crystal Structure of Clay*

- Minerals and Their Application*. Mineralogical Society.
- Chakravarty, S., Pimple, S., Chaturvedi, H. T., Singh, S., & Gupta, K. K. (2008). Removal of copper from aqueous solution using newspaper pulp as an adsorbent. *Journal of Hazardous Materials*, 159(2-3), 396-403. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.02.030>
- Clem, Arthur G dan Doehler, R. W. (1961). Industrial Application of Bentonite. In *Tenth National Conference on Clays and Clay Minerals* (pp. 272-283). Skokie: American Colloid Company.
- Cundari, L., Yanti, P., & Syaputri, K. A. (2016). Pengolahan Limbah Cair Kain Jumputan Menggunakan Karbon Aktif dari Sampah Plastik. *Jurnal Teknik Kimia*, 22(3), 26-33.
- Dachriyanus. (2004). *Analisis Struktur Senyawa Organik Secara Spektroskopi*. Padang: LPTIK Universitas Andalas.
- Dada, A.O; Olalekan, A.P; Olatunya, Ayomadewa; Dada, O. (2012). Langmuir, Freundlich, Temkin and Dubinin-Radushkevich Isotherms Studies of Equilibrium Sorption of Zn 2+ Unto Phosphoric Acid Modified Rice Husk. *IOSR Journal of Applied Chemistry*, 3(1), 38-45. <https://doi.org/10.9790/5736-0313845>
- Dahlan, I., Hassan, S. R., & Hakim, M. L. (2013). Removal of iron (Fe²⁺) from aqueous solutions using siliceous waste sorbent. *Sustainable Environment Research*, 23(1), 41-48.
- Darmono. (2001). *Lingkungan Hidup dan Pencemaran*. Jakarta: Universitas Indonesia (UI Press).
- Dehghani, M. H., Sanaei, D., Ali, I., & Bhatnagar, A. (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. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2015.12.057>
- Desyanti, N. L. M. (2013). Metode Analisis Kualitatif Dan Kuantitatif Karbohidrat.
- Devabaktuni Lavanya, P.K.Kulkarni, Mudit Dixit, Prudhvi

- Kanth Raavi, L. N. V. K. (2015). Sources of cellulose and their applications- A review INTERNATIONAL JOURNAL OF DRUG FORMULATION AND RESEARCH SOURCES OF CELLULOSE AND THEIR APPLICATIONS -. *International Journal of Drug Formulation and Research*, 2(January 2011), 19–38.
- El Baidho', Z., Lazuardy, T., Hartati, I., & Rohmania, S. (2013). ADSORPSI LOGAM BERAT Pb DALAM LARUTAN MENGGUNAKAN SENYAWA XANTHATE JERAMI PADI.
- Faisal, M. (2015). EFISIENSI PENYERAPAN LOGAM Pb²⁺ DENGAN MENGGUNAKAN CAMPURAN BENTONIT DAN ENCENG GONDOK. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 4(1), 20–24. <https://doi.org/10.32734/jtk.v4i1.1455>
- Fardhani, A. F. (2012). Preparasi dan Karakterisasi CaO/Al³⁺-Bentonit Sebagai Katalis Pada Sintesis Biodiesel Dari Minyak Jarak Pagar (*Jatropha Curcas L.*), 1–77.
- Firdaus, M. L. (2012). Studi Perbandingan Berbagai Adsorben Sintetis Dan Alami Untuk Mengikat Logam Berat. *Snps*.
- Hajati, S., Ghaedi, M., Karimi, F., Barazesh, B., Sahraei, R., & Daneshfar, A. (2014). Competitive adsorption of Direct Yellow 12 and Reactive Orange 12 on ZnS: MN nanoparticles loaded on activated carbon as novel adsorbent. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20(2), 564–571. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2013.05.015>
- Handayani, A. W. (2010). Penggunaan Selulosa Daun Nanas Sebagai Adsorben Logam Berat Cd (Ii). *Sains Kimia*, (Ii).
- Haura, U., Razi, F., & Meilina, H. (2017). Karakterisasi adsorben dari kulit manggis dan kinerjanya pada adsorpsi logam Pb(II) dan Cr(VI). *Biopropal Industri*, 8(1), 47–54.
- Hebbar, R. S., Isloor, A. M., & Ismail, A. F. (2014). Preparation and evaluation of heavy metal rejection properties of polyetherimide/porous activated bentonite clay nanocomposite membrane. *RSC Advances*, 4(88), 47240–

47248. <https://doi.org/10.1039/c4ra09018g>
- Heinze, T. (2015). Cellulose: Structure and Properties. <https://doi.org/10.1007/12>
- 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*, 02(01).
- Herlina, R., Masri, M., & Sudding. (2017). Studi Adsorpsi Dedak Padi terhadap Zat Warna Congo Red di Kabupaten Wajo Adsorption Study of Rice Bran against Congo Red Dyes in Wajo. *Jurnal Chemica*, 18(1), 16–25.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2017). Komposisi Sampah di Indonesia Didominasi Sampah Organik. *Databoks*, 2017. Retrieved from databoks.katadata.co.id/datapublish/2019/11/01/komposisi-sampah-di-indonesia-didominasi-sampah-organik
- Khan, S. A., Khan, S. B., Khan, L. U., Farooq, A., Akhtar, K., & Asiri, A. M. (2018). Fourier transform infrared spectroscopy: Fundamentals and application in functional groups and nanomaterials characterization. *Handbook of Materials Characterization*, 317–344. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92955-2_9
- Klemm, D., Heublein, B., Fink, H. P., & Bohn, A. (2005). Cellulose: Fascinating biopolymer and sustainable raw material. *Angewandte Chemie - International Edition*, 44(22), 3358–3393. <https://doi.org/10.1002/anie.200460587>
- Kurniawati, P., Wiyantoko, B., Kurniawan, A., & Purbaningtyas, T. esti. (2013). Kinetic study of Cr (VI) Adsorption on Hydrotalcite Mg / Al with Molar Ratio 2 : 1. *EKSAKTA*, 13, 11–21.
- Kusbandari, A. (2015). ANALISIS KUALITATIF KANDUNGAN SAKARIDA DALAM TEPUNG DAN PATI UMBI GANYONG (*Canna edulis* Ker .). *Pharmaciana*, 5(1), 35–42.
- Kusumawardani, R., Zaharah, T. A., & Destiarti, L. (2018). Adsorpsi kadmium(II) menggunakan adsorben selulosa

- ampas tebu teraktivasi asam nitrat. *Kimia Khatulistiwa*, 7(3), 75–83.
- Liu, H., Xie, B., & Qin, Y. L. (2017). Effect of Bentonite on the Pelleting Properties of Iron Concentrate. *Journal of Chemistry*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/7639326>
- Mahmudha, S., & Nugraha, I. (2016). Pengaruh Penggunaan Bentonit Teraktivasi Asam Sebagai Katalis Terhadap Peningkatan Kandungan Senyawa Isopulegol Pada Minyak Sereh Wangi Kabupaten Gayo Lues – Aceh. *Chimica et Natura Acta*, 4(3), 123. <https://doi.org/10.24198/cna.v4.n3.10921>
- Mardiah, & Fathoni, R. (2016). Adsorpsi Logam Cu (II) dan Fe (II) Menggunakan Kertas Koran Bekas. *Jurnal Integrasi Proses*, 6(2), 89–94.
- Miller, G. T. (1979). *Living in The Environment* (2nd ed.). California: Wadsworth Publishing Company.
- Mohamed, M. A., Jaafar, J., Ismail, A. F., Othman, M. H. D., & Rahman, M. A. (2017). *Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy. Membrane Characterization*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63776-5.00001-2>
- Mortula, M., Gibbons, M., & Gagnon, G. A. (2007). Phosphorus adsorption by naturally-occurring materials and industrial by-products, 164, 157–164. <https://doi.org/10.1139/S06-042>
- Motawie, A. M., Madany, M. M., El-Dakrory, A. Z., Osman, H. M., Ismail, E. A., Badr, M. M., ... Abulyazied, D. E. (2014). Physico-chemical characteristics of nano-organo bentonite prepared using different organo-modifiers. *Egyptian Journal of Petroleum*, 23(3), 331–338. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2014.08.009>
- Ningsih, D. A., Said, I., & Ningsih, P. (2016). Adsorpsi Logam Timbal (Pb) dari Larutannya dengan Menggunakan Adsorben dari Tongkol Jagung. *Jurnal Akademika Kimia*, 5(2), 55. <https://doi.org/10.22487/j24775185.2016.v5.i2.8002>

- Nugraha, M. S., Mahatmanti, F. W., & Sulistyaningsih, T. (2017). Pemanfaatan Bentonit Teraktivasi HCl sebagai Adsorben Ion Logam Cd(II). *Indonesian Journal of Chemical Science*, 6(3), 196–201.
- Nur Lamba, Nessha Siti; Zackiyah; Siswaningsih, W. (2010). KAJIAN KINETIKA INTERAKSI KITOSAN-BENTONIT DAN ADSORPSI DIAZINON TERHADAP KITOSAN-BENTONIT. *Jurnal Sains Dan Teknologi Kimia*, 1(2), 159–169.
- Nurhamidah, I. S. (2020). ISOLASI DAN KARAKTERISASI α - SELULOSA DARI ISOLASI DAN KARAKTERISASI α - SELULOSA DARI TUMBUHAN ALANG-ALANG (*Imperata cylindrical*) SEBAGAI BAHAN MIKROFILTER ISOLATION AND CHARACTERIZATION OF α -CELLULOSE OF THE PLANTS OF THE REEDS (*Imperata cylindrical*. Universitas Islam Indonesia.
- Nurhilal, O., Suryaningsih, S., Faizal, F., & Sharin Lesmana, R. (2020). Pemanfaatan Eceng Gondok sebagai Adsorben Pb Asetat. *Jurnal Ilmu Dan Inovasi Fisika*, 4(1), 46–52. <https://doi.org/10.24198/jiif.v4i1.26150>
- Nurul Islamiyah, Siti., Koestiari, T. (2014). Penggunaan Karbon Aktif Granular Sebagai Adsorben Logam Cu (II) di Air Laut Kenjeran, 3(3), 164–169.
- Nurwahdah; Naini, Al Arofatus; Nadia, Asma; Lestari, R. Y. S. (2018). Pretreatment Lignoselulosa dari Jerami Padi dengan Deep Eutectic Solvent untuk Meningkatkan Produksi Bioetanol Generasi Dua. *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan*, 10(1), 43–54.
- Pasue, ismail ; Saleh, Ellen J; Bahri, S. (2019). Analisis lignin, selulosa dan hemi selulosa jerami jagung hasil di fermentasi trichoderma viride dengan masa inkubasi yang berbeda. *Jambura Journal of Animal Science*, 1(2), 62–67.
- Patt, Rudolf, Kordsachia, Othar., Suttinger, R. (2012). Pulp. *ULLMANN'S ENCYCLOPEDIA OF INDUSTRIAL CHEMISTRY*, 30, 477–540. <https://doi.org/10.1002/14356007.a18>

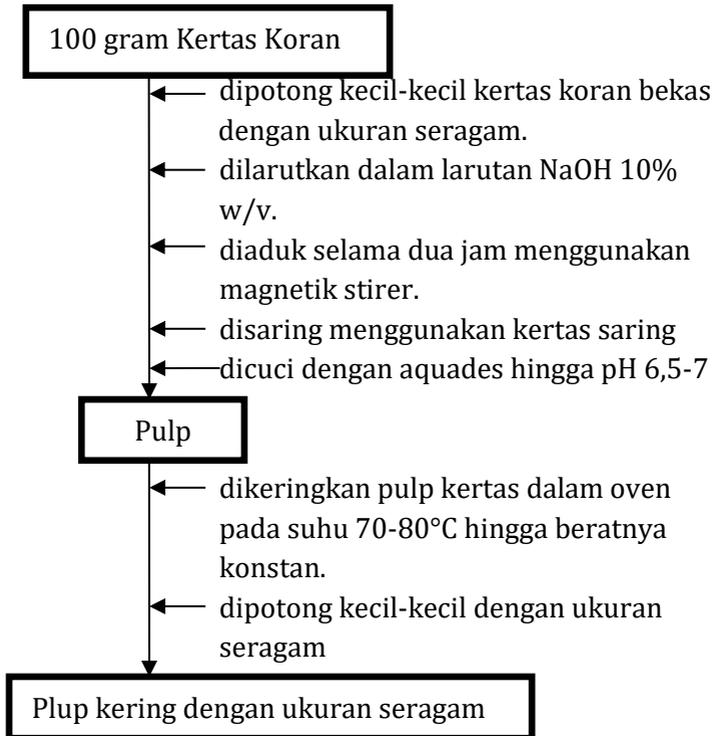
- Priambodo, A. (2020). *ADSORPSI ZAT WARNA PROCION MERAH, KONGO MERAH DAN MALACHITE HIJAU MENGGUNAKAN BIOADSORBENT KULIT RANMBUTAN (Nephallium Lappaeceum L)*. Universitas Sriwijaya.
- Purnama, P., Sri Panca Dewi, I., & Ratnayani, K. (2015). Kapasitas Adsorpsi Beberapa Jenis Kulit Pisang Teraktivasi Naoh Sebagai Adsorben Logam Timbal (Pb). *Jurnal Kimia*, 9(2), 196–202.
- Purwaningsih, Eka., Supartono., dan H. (2012). Reaksi Transesterifikasi Minyak Kelapa Dengan Metanol Menggunakan Katalis Bentonit. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 1(2).
- Rahmi, Rizna., S. (2017). Pemanfaatan Adsorben Alami (Biosorben) untuk Mengurangi Kadar Timbal (Pb) dalam Limbah Cair. In *Prosiding Seminar Nasional Biotik 2017* (pp. 271–279). Aceh: UIN Ar-Raniry.
- Rizkamala. (2011). *Adsorpsi Ion Logam Cr (total) dalam Limbah Cair Industri Pelapisan Logam Menggunakan Bulu Ayam*. Universitas Negeri Semarang.
- Rochmad, S. (2006). *Pencemaran Lingkungan*. Jakarta: Universitas Terbuka.
- Rokhati, N., Prasetyaningrum, A. (2004). Adsorpsi Logam Berat Limbah Cair Industri Kerajinan Kuningan Juana Menggunakan Campuran Bentonit dan Abu Sekam Padi. *Reaktor*, 8(1), 29–32.
- Samiey, B., & Dargahi, M. R. (2010). Kinetics and thermodynamics of adsorption of congo red on cellulose, 8(4). <https://doi.org/10.2478/s11532-010-0055-6>
- Sari, N. K. (2010a). *Analisa Instrumentasi*. Klaten: Yayasan Humaniora.
- Sari, N. K. (2010b). *Analisa Instrumentasi. yayasan Humaniora. Klaten*.
- Silverstein, Robert.M., Bassler,G Clayton, Morrill, T. C. (1981). *Spectroscopic identification of organic compounds*. New York: Wiley.
- Skoog. D. A., Donald M. West, F. James Holler, S. R. C. (2000).

- Fundamentals of Analytical Chemistry* (9th ed.). Brooks Cole.
- Slama, H. Ben, Bouket, A. C., Pourhassan, Z., Alenezi, F. N., & Silini, A. (2021). applied sciences Diversity of Synthetic Dyes from Textile Industries , Discharge Impacts and Treatment Methods. *Applied Science*, 1–21.
- Suarsa, I. W. (2016). ADSORPSI LOGAM BERAT Pb (II), Cr (VI), Zn (II), Cd (II), Cu (II) dan Ni (II) DENGAN ABU SEKAM PADI, (Ii), 1–60.
- Suhartati, T. (2017). *Dasar-Dasar Spektrofotometri UV-Vis dan Spektrometri Massa untuk Penentuan Struktur Senyawa Organik*. Bandar Lampung: Anugrah Utama Raharja.
- Sulfida, D. (2020). *Analisis Ekstrak Selulosa dari Rumput Laut Merah (Hypnea spinella)*. Retrieved from <https://repository.ar-raniry.ac.id/id/eprint/12488/>
- Sundberg, A., Pranovich, A., & Holmbom, B. (2000). Distribution of anionic groups in TMP suspensions. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 20(1), 71–92. <https://doi.org/10.1080/02773810009349625>
- Susilo, R., Chandraghatgi, R., Li, X.-S., & Englezos, P. (2005). Iron, Manganese and Copper Equilibria with Wood Fibres in Single Salt Aqueous Suspensions. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 83, 537–547. <https://doi.org/10.1002/cjce.5450830317>
- Swan, Ng Boon; Abbas, Muhammad; Zaini, A. (2019). ADSORPTION OF MALACHITE GREEN AND CONGO RED DYES FROM WATER : RECENT PROGRESS AND FUTURE OUTLOOK. *ECOL CHEM ENG S*, 26(1), 119–132. <https://doi.org/10.1515/eces-2019-0009>
- Taher, T., Rohendi, D., Mohadi, R., & Lesbani, A. (2019). Congo red dye removal from aqueous solution by acid-activated bentonite from sarolangun: kinetic, equilibrium, and thermodynamic studies. *Arab Journal of Basic and Applied Sciences*, 26(1), 125–136. <https://doi.org/10.1080/25765299.2019.1576274>
- Tan, K. . (1982). *Dasar-dasar Kimia Tanah* (1st ed.).

- Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Vogel, Arthur I., Jeffery, G. H., Basset, J., Mendham, J., Denney, R. C. (1989). *Vogel's textbook of quantitative chemical analysis*. (Fifth Edit). Longman Scientific & Technical.
- Wajarwati, A., Wahyuningsih, K., Ulfan, I., & Suprpto. (2018). Pengaruh pH dan Waktu Kontak Pada Adsorpsi Remazol Brilliant Blue R Menggunakan Adsorben Ampas Singkong. *Jurnal Sains Dan Seni*, 7(2), 2337–3520.
- Widjanarko, Pamela Iryanti; Widianoro, Soetaredjo, L. F. E. I. S. (2006). Kinetika Adsorpsi Zat Warna Congo Red dan Rhodamine B dengan Menggunakan Serabut Kelapa dan Ampas Tebu. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*, 5(3), 461–468.
- Windasari, R. (2009). *Adsorpsi Zat Warna Tekstil Direct BLUE 86 oleh Kulit Kacang Tanah*. Universitas Negeri Semarang.
- Yusuf, B., Alimuddin, Saleh, C., & Rahayu, D. R. (2014). Pembuatan selulosa dari kulit singkong termodifikasi 2-merkaptobenzotiazol untuk pengendalian pencemaran logam kadmium (II). *Jurnal Sains Dasar*, 3(2), 169–173.
- Zhang, X., Tan, J., Wei, X., & Wang, L. (2013). Removal of Remazol turquoise Blue G-133 from aqueous solution using modified waste newspaper fiber. *Carbohydrate Polymers*, 92, 1497–1502.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.10.066>

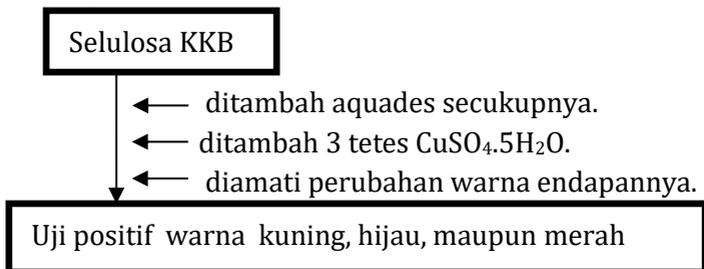
LAMPIRAN 1 : Skema Prosedur Kerja

1. Preparasi Adsorben Kertas Koran Bekas (KKB)

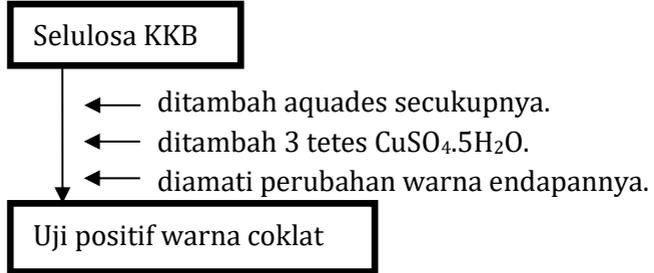


2. Uji Kualitatif Selulosa KKB

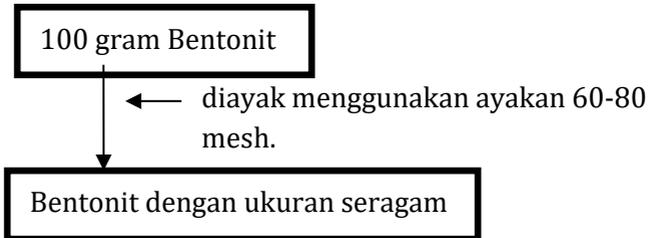
a. Uji Benedict



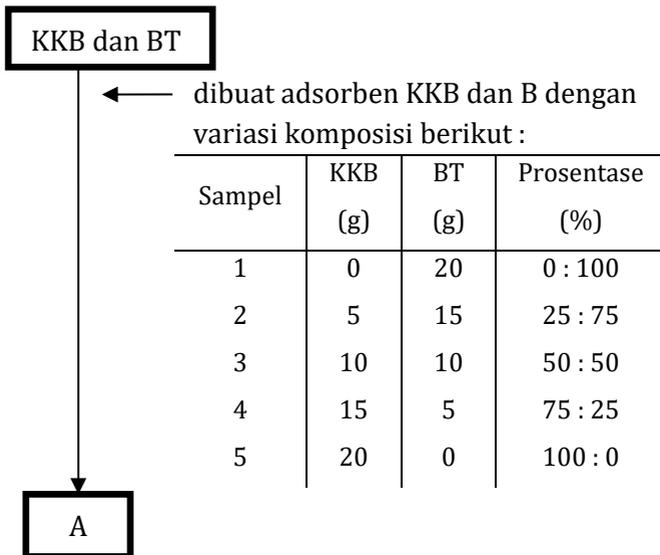
b. Uji Iodium

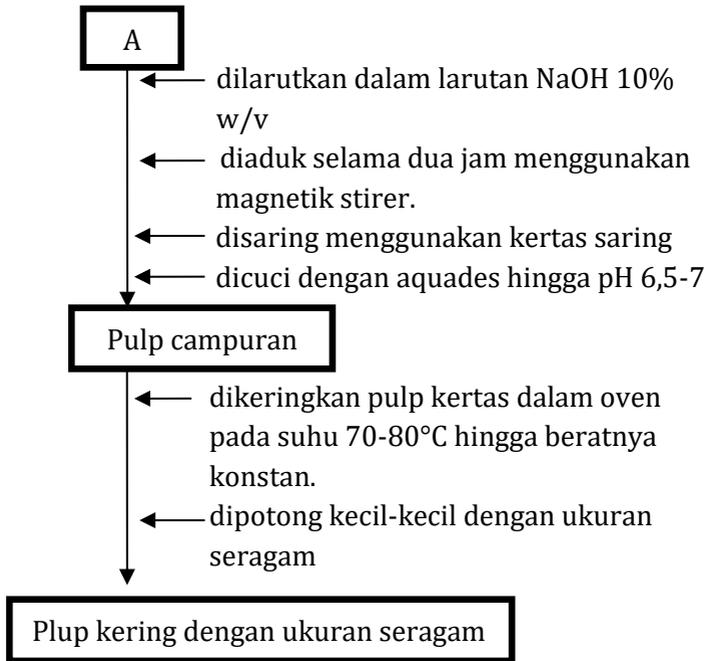


3. Preparasi Adsorben Bentonit (BT)



4. Preparasi Adsorben BT-KKB



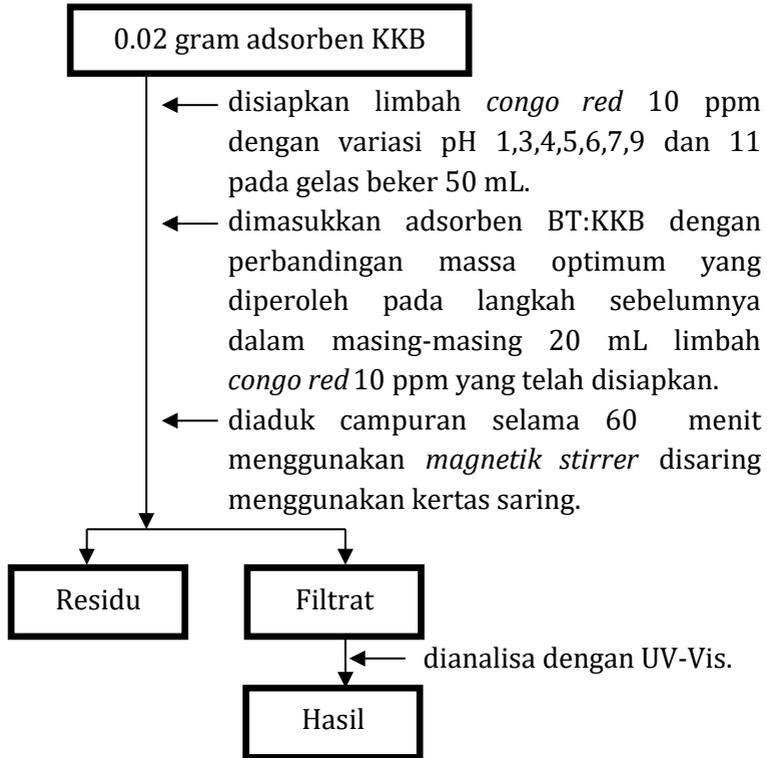


5. Uji Adsorpsi Zat Warna Congo red

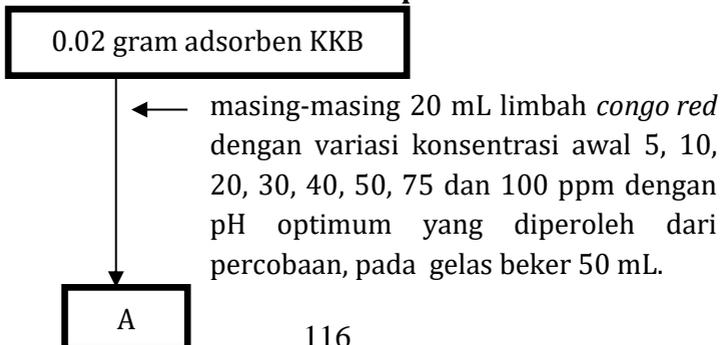


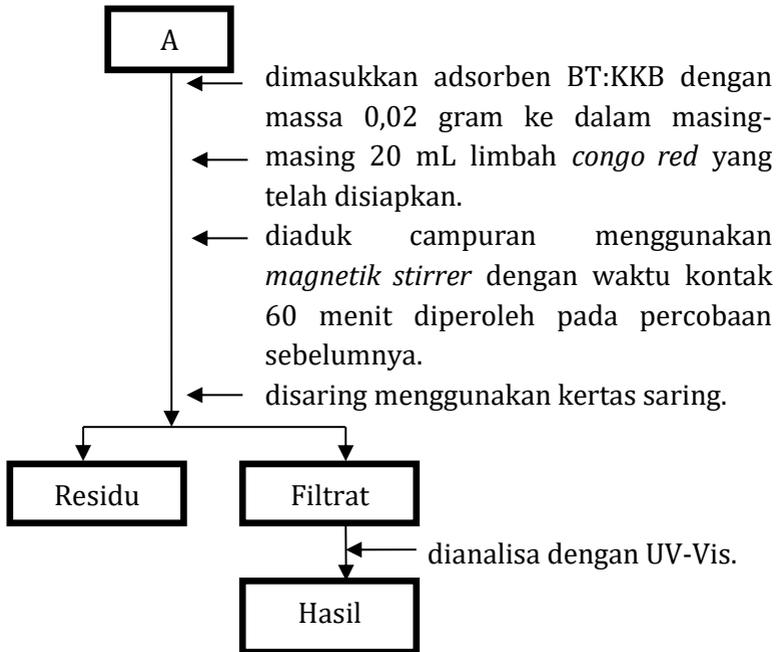
6. Penentuan Kondisi Optimum Penyerapan *Congo Red*

a. Penentuan pH Optimum

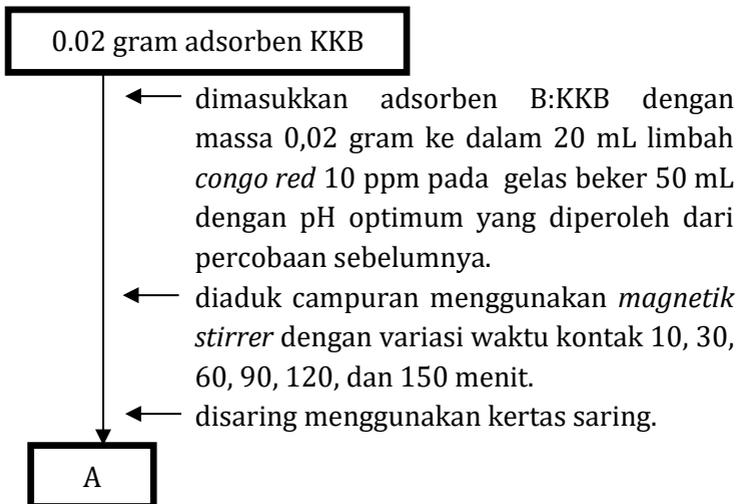


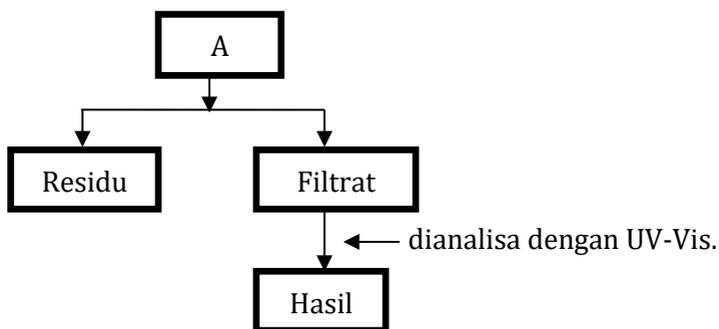
b. Penentuan Konsentrasi Optimum





c. Penentuan Waktu Kontak Optimum





LAMPIRAN 2 : Data Hasil Percobaan

A. Data Pengujian Kualitatif Selulosa KKB

Uji kualitatif	Pengamatan warna endapan	
	Sebelum	Setelah
Uji benedict	Abu-abu	hijau
Uji iodium	Abu-abu	cokelat

B. Data Penentuan Kapasitas Adsorpsi Terhadap *Congo Red*

1. Data Pengukuran Panjang Gelombang Maksimum *Congo Red*

Tabel L2.1 Data pengukuran panjang gelombang *congo red*

λ (nm)	Abs	λ (nm)	Abs	λ (nm)	Abs
300	0,157	306	0,169	312	0,18
301	0,161	307	0,171	313	0,182
302	0,162	308	0,173	314	0,184
303	0,163	309	0,175	315	0,186
304	0,165	310	0,176	316	0,187
305	0,168	311	0,179	317	0,189

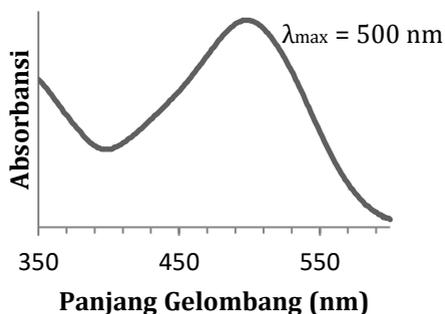
λ (nm)	Abs	λ (nm)	Abs	λ (nm)	Abs
318	0,191	348	0,215	378	0,141
319	0,193	349	0,213	379	0,139
320	0,194	350	0,212	380	0,137
321	0,196	351	0,21	381	0,134
322	0,198	352	0,208	382	0,131
323	0,2	353	0,206	383	0,129
324	0,202	354	0,203	384	0,127
325	0,203	355	0,201	385	0,125
326	0,205	356	0,199	386	0,123
327	0,206	357	0,196	387	0,121
328	0,209	358	0,193	388	0,12
329	0,21	359	0,191	389	0,118
330	0,211	360	0,188	390	0,117
331	0,213	361	0,185	391	0,116
332	0,214	362	0,182	392	0,114
333	0,216	363	0,18	393	0,114
334	0,217	364	0,177	394	0,113
335	0,217	365	0,174	395	0,112
336	0,219	366	0,172	396	0,112
337	0,22	367	0,169	397	0,112
338	0,22	368	0,165	398	0,112
339	0,221	369	0,163	399	0,112
340	0,221	370	0,161	400	0,112
341	0,221	371	0,159	401	0,112
342	0,221	372	0,156	402	0,112
343	0,22	373	0,153	403	0,113
344	0,219	374	0,15	404	0,115
345	0,218	375	0,148	405	0,115
346	0,218	376	0,146	406	0,116
347	0,216	377	0,143	407	0,117

λ (nm)	Abs	λ (nm)	Abs	λ (nm)	Abs
408	0,118	437	0,168	466	0,235
409	0,119	438	0,17	467	0,238
410	0,121	439	0,172	468	0,241
411	0,122	440	0,174	469	0,244
412	0,123	441	0,176	470	0,246
413	0,125	442	0,178	471	0,249
414	0,127	443	0,181	472	0,251
415	0,128	444	0,183	473	0,255
416	0,129	445	0,184	474	0,257
417	0,131	446	0,187	475	0,259
418	0,133	447	0,189	476	0,262
419	0,134	448	0,191	477	0,265
420	0,136	449	0,193	478	0,268
421	0,138	450	0,195	479	0,27
422	0,14	451	0,197	480	0,272
423	0,141	452	0,2	481	0,275
424	0,143	453	0,202	482	0,277
425	0,145	454	0,205	483	0,279
426	0,147	455	0,207	484	0,281
427	0,149	456	0,209	485	0,283
428	0,151	457	0,212	486	0,285
429	0,153	458	0,214	487	0,287
430	0,155	459	0,217	488	0,288
431	0,156	460	0,22	489	0,29
432	0,159	461	0,222	490	0,292
433	0,161	462	0,225	491	0,293
434	0,162	463	0,228	492	0,294
435	0,164	464	0,23	493	0,295
436	0,166	465	0,233	494	0,295

λ (nm)	Abs	λ (nm)	Abs	λ (nm)	Abs
495	0,297	524	0,246	553	0,124
496	0,297	525	0,243	554	0,12
497	0,297	526	0,239	555	0,116
498	0,297	527	0,235	556	0,112
499	0,297	528	0,231	557	0,108
500	0,297	529	0,228	558	0,104
501	0,296	530	0,224	559	0,1
502	0,296	531	0,221	560	0,096
503	0,295	532	0,216	561	0,092
504	0,294	533	0,211	562	0,089
505	0,293	534	0,208	563	0,085
506	0,292	535	0,203	564	0,082
507	0,29	536	0,199	565	0,078
508	0,289	537	0,195	566	0,075
509	0,287	538	0,191	567	0,072
510	0,285	539	0,186	568	0,068
511	0,283	540	0,181	569	0,066
512	0,28	541	0,176	570	0,063
513	0,279	542	0,173	571	0,06
514	0,276	543	0,168	572	0,056
515	0,274	544	0,163	573	0,055
516	0,271	545	0,159	574	0,052
517	0,268	546	0,154	575	0,049
518	0,265	547	0,15	576	0,047
519	0,262	548	0,146	577	0,045
520	0,26	549	0,142	578	0,042
521	0,256	550	0,137	579	0,04
522	0,253	551	0,133	580	0,038
523	0,25	552	0,129	581	0,036

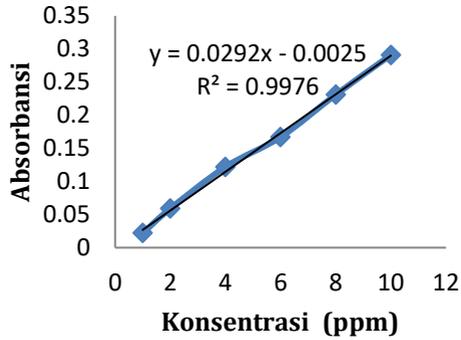
λ (nm)	Abs	λ (nm)	Abs	λ (nm)	Abs
582	0,033	588	0,024	594	0,017
583	0,031	589	0,022	595	0,014
584	0,031	590	0,022	596	0,015
585	0,029	591	0,02	597	0,013
586	0,027	592	0,018	600	0,011
587	0,025	593	0,018		

Berdasarkan data pengukuran panjang gelombang congo red pada Tabel L2.1, maka diketahui panjang gelombang maksimum pada 500 nm sebagaimana dilihat pada Gambar L2.1



2. Kurva Kalibrasi Larutan Standar *Congo Red*

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
1	0.022
2	0.059
4	0.122
6	0.167
8	0.231
10	0.291



3. Data Absorbansi Adsorben KKB, BT, Dan BT-KKB

Adsorben	Absorbansi
100% KKB	0,033
75% KKB : 25% BT	0,059
25% KKB : 75% BT	0,061
50% KKB : 50% BT	0,062
100% BT	0,277

4. Data Kapasitas Adsorpsi Adsorben KKB, BT, Dan BT-KKB

Adsorben	Konsentrasi Awal (Co) (mg/L)	Konsentrasi Akhir (Ce) (mg/L)	Kapasitas Adsorpsi (Q) (mg/g)
100% KKB	10,24	1,20	9,04
75% KKB : 25% BT	10,24	2,10	8,14
25% KKB : 75% BT	10,24	2,17	8,07
50% KKB : 50% BT	10,24	2,20	8,04
100% BT	10,24	9,62	0,62

C. Data penentuan kondisi optimum

1. Data Penentuan pH Optimum

pH	Co (mg/L)	Ce(mg/L)	Q(mg/g)
2	10.24	1,51	8,73
4	10.24	1,34	8,90
5	10.24	0,86	9,88
6	10.24	5,17	5,07
7	10.24	5,37	4,87
9	10.24	5,72	4,52
11	10.24	6,24	4,00

2. Data Penentuan Konsentrasi Optimum

Konsentrasi (mg/L)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Q (mg/g)
5	5,62	1,14	4,48
10	10,24	1,27	8,97
20	17,93	2,38	15,55
30	28,96	2,55	26,41
40	40,68	5,69	34,99
50	49,65	7,41	42,24
75	74,48	16,89	57,59
100	99,65	30,69	68,96

3. Data Penentuan Waktu Kontak Optimum

Waktu kontak (menit)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Q (mg/g)
10	99,65	58,55	41,1
30	99,65	46,82	52,83
60	99,65	36,48	63,17
90	99,65	32,55	67,1
120	99,65	30,69	68,96
150	99,65	32,3	67,35

LAMPIRAN 3 : Analisa Data

A. Perhitungan Pembuatan Larutan Limbah Congo Red

1. Pembuatan Larutan Induk 1000 ppm Sebanyak 1000 mL

$$\text{ppm} = \frac{\text{Massa zat terlarut (mg)}}{\text{Volume larutan (L)}}$$

$$\text{Massa zat terlarut} = 1000 \text{ ppm} \times 1 \text{ L}$$

$$\text{Massa zat terlarut} = 1000 \text{ mg} = 1 \text{ gram}$$

2. Pengenceran Larutan Induk 1000 ppm menjadi 5 ppm

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

$$V_1 \times 1000 \text{ ppm} = 100 \text{ mL} \times 5 \text{ ppm}$$

$$V_1 = 0.5 \text{ mL}$$

3. Pengenceran Larutan Induk 1000 ppm menjadi 10 ppm

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

$$V_1 \times 1000 \text{ ppm} = 100 \text{ mL} \times 5 \text{ ppm}$$

$$V_1 = 0.5 \text{ mL}$$

4. Pengenceran Larutan Induk 1000 ppm menjadi 20 ppm

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

$$V_1 \times 1000 \text{ ppm} = 100 \text{ mL} \times 5 \text{ ppm}$$

$$V_1 = 0.5 \text{ mL}$$

5. Pengenceran Larutan Induk 1000 ppm menjadi 30 ppm

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

$$V_1 \times 1000 \text{ ppm} = 100 \text{ mL} \times 5 \text{ ppm}$$

$$V_1 = 0.5 \text{ mL}$$

6. Pengenceran Larutan Induk 1000 ppm menjadi 40 ppm

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

$$V_1 \times 1000 \text{ ppm} = 100 \text{ mL} \times 5 \text{ ppm}$$

$$V_1 = 0.5 \text{ mL}$$

7. Pengenceran Larutan Induk 1000 ppm menjadi 50 ppm

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

$$V_1 \times 1000 \text{ ppm} = 100 \text{ mL} \times 5 \text{ ppm}$$

$$V_1 = 0.5 \text{ mL}$$

8. Pengenceran Larutan Induk 1000 ppm menjadi 75 ppm

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

$$V_1 \times 1000 \text{ ppm} = 100 \text{ mL} \times 5 \text{ ppm}$$

$$V_1 = 0.5 \text{ mL}$$

9. Pengenceran Larutan Induk 1000 ppm menjadi 100 ppm

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

$$V_1 \times 1000 \text{ ppm} = 100 \text{ mL} \times 5 \text{ ppm}$$

$$V_1 = 0.5 \text{ mL}$$

Keterangan :

V_1 = volume awal (mL)

V_2 = volume akhir (mL)

M_1 = Konsentrasi larutan induk (ppm)

M_2 = konsentrasi akhir (ppm)

B. Perhitungan Penentuan Kapasitas Adsorben KKB,BT, dan BT-KKB terhadap Zat Warna Congo Red

1. Perhitungan Konsentrasi Awal Congo Red (Co)

$$y = 0.029x - 0.002$$

$$0.295 = 0.029x - 0.002$$

$$0.029x = 0.295 + 0.002$$

$$x = 0.297/0.029$$

$$= 10.24 \text{ mg/L}$$

2. Perhitungan Kapasitas Adsorpsi Adsorben

a. Adsorben 100% KKB

$$q_e = \frac{C_o - C_e}{m} \times V$$

$$q_e = \frac{(10.24 - 1.20) \text{ mg/L}}{0.02 \text{ gram}} \times 0.02 \text{ Liter}$$

$$q_e = 9.04 \text{ mg/L}$$

b. Adsorben 75% KKB : 25% BT

$$q_e = \frac{C_o - C_e}{m} \times V$$

$$q_e = \frac{(10.24-2.10)\text{mg/L}}{0.02 \text{ gram}} \times 0.02 \text{ Liter}$$

$$q_e = 8.14 \text{ mg/L}$$

c. Adsorben 25% KKB : 75% BT

$$q_e = \frac{C_o - C_e}{m} \times V$$

$$q_e = \frac{(10.24-2.17)\text{mg/L}}{0.02 \text{ gram}} \times 0.02 \text{ Liter}$$

$$q_e = 8.07 \text{ mg/L}$$

d. Adsorben 50% KKB : 50% BT

$$q_e = \frac{C_o - C_e}{m} \times V$$

$$q_e = \frac{(10.24-2.20)\text{mg/L}}{0.02 \text{ gram}} \times 0.02 \text{ Liter}$$

$$q_e = 8.04 \text{ mg/L}$$

e. Adsorben 100% BT

$$q_e = \frac{C_o - C_e}{m} \times V$$

$$q_e = \frac{(10.24-9.62)\text{mg/L}}{0.02 \text{ gram}} \times 0.02 \text{ Liter}$$

$$q_e = 0.62 \text{ mg/L}$$

Keterangan :

q_e = Konsentrasi awal *congo red* (mg/L)

C_o = Konsentrasi akhir *congo red* (mg/L)

C_e = *Congo red* yang teradsorpsi oleh adsorben (mg/g)

m = Dosis adsorben (gram)

V = Total volume larutan (Liter)

C. Perhitungan Penentuan Kondisi Optimum

1. Perhitungan Optimasi pH

a. pH 2

$$q_e = \frac{C_o - C_e}{m} \times V$$

$$q_e = \frac{(10.24 - 1.51) \text{ mg/L}}{0.02 \text{ gram}} \times 0.02 \text{ Liter}$$

$$q_e = 8.73 \text{ mg/L}$$

b. pH 4

$$q_e = \frac{C_o - C_e}{m} \times V$$

$$q_e = \frac{(10.24 - 1.34) \text{ mg/L}}{0.02 \text{ gram}} \times 0.02 \text{ Liter}$$

$$q_e = 8.90 \text{ mg/L}$$

c. pH 5

$$q_e = \frac{C_o - C_e}{m} \times V$$

$$q_e = \frac{(10.24 - 0.86) \text{ mg/L}}{0.02 \text{ gram}} \times 0.02 \text{ Liter}$$

$$q_e = 9.88 \text{ mg/L}$$

d. pH 6

$$q_e = \frac{C_o - C_e}{m} \times V$$

$$q_e = \frac{(10.24-5.17)\text{mg/L}}{0.02 \text{ gram}} \times 0.02 \text{ Liter}$$

$$q_e = 5.07 \text{ mg/L}$$

e. pH 7

$$q_e = \frac{C_o - C_e}{m} \times V$$

$$q_e = \frac{(10.24-5.37)\text{mg/L}}{0.02 \text{ gram}} \times 0.02 \text{ Liter}$$

$$q_e = 4.87 \text{ mg/L}$$

f. pH 9

$$q_e = \frac{C_o - C_e}{m} \times V$$

$$q_e = \frac{(10.24-5.72)\text{mg/L}}{0.02 \text{ gram}} \times 0.02 \text{ Liter}$$

$$q_e = 4.52 \text{ mg/L}$$

g. pH 11

$$q_e = \frac{C_o - C_e}{m} \times V$$

$$q_e = \frac{(10.24-6.24)\text{mg/L}}{0.02 \text{ gram}} \times 0.02 \text{ Liter}$$

$$q_e = 4.00 \text{ mg/L}$$

2. Perhitungan Optimasi Konsentrasi

a. Konsentrasi 5 mg/L

$$q_e = \frac{C_o - C_e}{m} \times V$$

$$q_e = \frac{(5.62-1.14)\text{mg/L}}{0.02 \text{ gram}} \times 0.02 \text{ Liter}$$

$$q_e = 4.48 \text{ mg/L}$$

b. Konsentrasi 10 mg/L

$$q_e = \frac{C_o - C_e}{m} \times V$$

$$q_e = \frac{(10.24-1.27)\text{mg/L}}{0.02 \text{ gram}} \times 0.02 \text{ Liter}$$

$$q_e = 8.97 \text{ mg/L}$$

c. Konsentrasi 20 mg/L

$$q_e = \frac{C_o - C_e}{m} \times V$$

$$q_e = \frac{(17.93-2.38)\text{mg/L}}{0.02 \text{ gram}} \times 0.02 \text{ Liter}$$

$$q_e = 15.55 \text{ mg/L}$$

d. Konsentrasi 30 mg/L

$$q_e = \frac{C_o - C_e}{m} \times V$$

$$q_e = \frac{(28.96-2.55)\text{mg/L}}{0.02 \text{ gram}} \times 0.02 \text{ Liter}$$

$$q_e = 26.41 \text{ mg/L}$$

e. Konsentrasi 40 mg/L

$$q_e = \frac{C_o - C_e}{m} \times V$$

$$q_e = \frac{(40.68 - 5.69) \text{ mg/L}}{0.02 \text{ gram}} \times 0.02 \text{ Liter}$$

$$q_e = 34.99 \text{ mg/L}$$

f. Konsentrasi 50 mg/L

$$q_e = \frac{C_o - C_e}{m} \times V$$

$$q_e = \frac{(49.65 - 7.41) \text{ mg/L}}{0.02 \text{ gram}} \times 0.02 \text{ Liter}$$

$$q_e = 42.24 \text{ mg/L}$$

g. Konsentrasi 75 mg/L

$$q_e = \frac{C_o - C_e}{m} \times V$$

$$q_e = \frac{(74.48 - 16.89) \text{ mg/L}}{0.02 \text{ gram}} \times 0.02 \text{ Liter}$$

$$q_e = 57.59 \text{ mg/L}$$

h. Konsentrasi 100 mg/L

$$q_e = \frac{C_o - C_e}{m} \times V$$

$$q_e = \frac{(99.65 - 30.69) \text{ mg/L}}{0.02 \text{ gram}} \times 0.02 \text{ Liter}$$

$$q_e = 68.96 \text{ mg/L}$$

3. Perhitungan Optimasi Waktu Kontak

a. Waktu 10 menit

$$q_e = \frac{C_o - C_e}{m} \times V$$

$$q_e = \frac{(99.65 - 58.55) \text{ mg/L}}{0.02 \text{ gram}} \times 0.02 \text{ Liter}$$

$$q_e = 41.1 \text{ mg/L}$$

b. Waktu 30 menit

$$q_e = \frac{C_o - C_e}{m} \times V$$

$$q_e = \frac{(99.65 - 46.82) \text{ mg/L}}{0.02 \text{ gram}} \times 0.02 \text{ Liter}$$

$$q_e = 52.83 \text{ mg/L}$$

c. Waktu 60 menit

$$q_e = \frac{C_o - C_e}{m} \times V$$

$$q_e = \frac{(99.65 - 36.48) \text{ mg/L}}{0.02 \text{ gram}} \times 0.02 \text{ Liter}$$

$$q_e = 63.17 \text{ mg/L}$$

d. Waktu 90 menit

$$q_e = \frac{C_o - C_e}{m} \times V$$

$$q_e = \frac{(99.65 - 32.55) \text{ mg/L}}{0.02 \text{ gram}} \times 0.02 \text{ Liter}$$

$$q_e = 67.1 \text{ mg/L}$$

e. Waktu 120 menit

$$q_e = \frac{C_o - C_e}{m} \times V$$

$$q_e = \frac{(99.65 - 30.69) \text{ mg/L}}{0.02 \text{ gram}} \times 0.02 \text{ Liter}$$

$$q_e = 68.96 \text{ mg/L}$$

f. Waktu 150 menit

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

$$q_e = \frac{(99.65 - 32.3) \text{ mg/L}}{0.02 \text{ gram}} \times 0.02 \text{ Liter}$$

$$q_e = 67.35 \text{ mg/L}$$

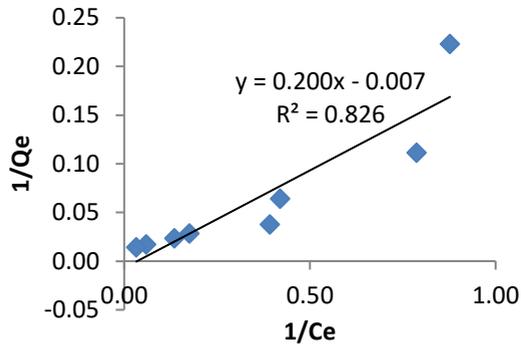
D. Perhitungan Isoterm Adsorpsi

1. Isoterm Langmuir

Tabel L3.1 Data penentuan isoterm langmuir

Konsentrasi (mg/L)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Qe (mg/g)	1/Ce	1/Qe
5	5.62	1.14	4.48	0.88	0.22
10	10.24	1.27	8.97	0.79	0.11
20	17.93	2.38	15.55	0.42	0.06
30	28.96	2.55	26.41	0.39	0.04
40	40.68	5.69	34.99	0.18	0.03
50	49.65	7.41	42.24	0.13	0.02
75	74.48	16.89	57.59	0.06	0.02
100	99.65	30.69	68.96	0.03	0.01

Berdasarkan data isoterm Langmuir pada Tabel L3.1, dapat dibuat kurva hubungan antara $1/C_e$ sebagai sumbu x dan $1/Q_e$ sebagai sumbu y seperti pada Gambar L3.1.



Gambar L3.1 Kurva isotherm langmuir

Berdasarkan kurva isotherm Langmuir pada Gambar L3.1, diketahui persamaan regresi linear $y = 0.200x - 0.007$ dengan nilai $R^2 = 0.826$. Adapun nilai k_L dan q_m diperoleh melalui perhitungan berikut ini.

$$y = ax + b$$

$$y = 0.200x - 0.007$$

$$R^2 = 0.826$$

$$\frac{1}{q_m} = b$$

$$\frac{1}{q_m} = -0.007$$

$$\frac{1}{-0.007} = q_m$$

$$q_m = -142.86$$

$$\frac{1}{k_L \cdot q_m} = a$$

$$\frac{1}{k_L \cdot -142.86} = 0.200$$

$$\frac{1}{0.200} = k_L \cdot -142.86$$

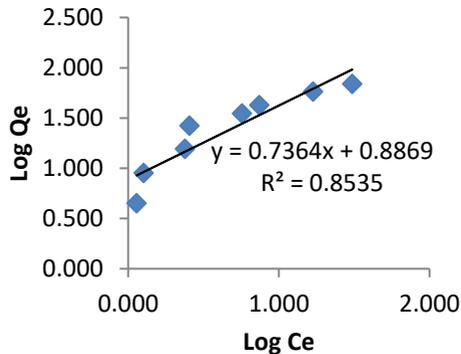
$$k_L = \frac{5}{-142.86} = -0.035$$

2. Isoterm Freundlich

Tabel L3.2 Data penentuan isoterm adsorpsi Freundlich

Konsentrasi (mg/L)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Qe (mg/g)	Log Ce	Log Qe
5	5.62	1.14	4.48	0.057	0.651
10	10.24	1.27	8.97	0.104	0.953
20	17.93	2.38	15.55	0.377	1.192
30	28.96	2.55	26.41	0.407	1.422
40	40.68	5.69	34.99	0.755	1.544
50	49.65	7.41	42.24	0.870	1.626
75	74.48	16.89	57.59	1.228	1.760
100	99.65	30.69	68.96	1.487	1.839

Berdasarkan data penentuan isoterm adsorpsi pada Tabel L3.2, dapat dibuat kurva hubungan antara $1/C_e$ sebagai sumbu x dan $1/Q_e$ sebagai sumbu y seperti pada Gambar L3.2.



Gambar L3.1 Kurva isoterm freundlich

Berdasarkan kurva isoterm Langmuir pada Gambar L3.1, diketahui persamaan regresi linear $y = 0.736x + 0.886$ dengan nilai $R^2 = 0.853$. Adapun nilai k_L dan q_m diperoleh melalui perhitungan berikut ini.

$$y = ax + b$$

$$y = 0.736x - 0.886$$

$$R^2 = 0.853$$

$$\log k_F = b$$

$$\log k_F = 0.886$$

$$k_F = 10^{0.886} = 7.691$$

$$1/n = a$$

$$1/n = 0.736$$

$$n = 1/0.736 = 1.358$$

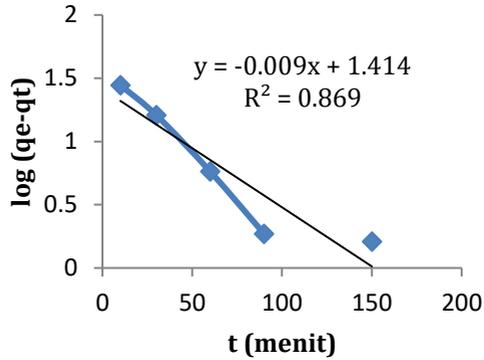
E. Perhitungan kinetika adsorpsi

1. Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Satu

Tabel L3.1 Data penentuan Pseudo Orde Satu

t (menit)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Qt (mg/g)	qe-qt	ln (qe-qt)
10	99.65	58.55	41.1	27.86	3.327
30	99.65	46.82	52.83	16.13	2.781
60	99.65	36.48	63.17	5.79	1.756
90	99.65	32.55	67.1	1.86	0.621
120	99.65	30.69	68.96	0	0.000
150	99.65	32.3	67.35	1.61	0.476

Berdasarkan data kinetika adsorpsi pseudo orde satu pada Tabel L3.3, dapat dibuat kurva hubungan antara $1/C_e$ sebagai sumbu x dan $1/Q_e$ sebagai sumbu y seperti pada Gambar L3.3.



Gambar L3.3 Kurva kinetika adsorpsi pseudo orde satu

Berdasarkan kurva isoterm Langmuir pada Gambar L3.1, diketahui persamaan regresi linear $y = -0.009x + 1.414$ dengan nilai $R^2 = 0.869$. Adapun nilai k_1 dan q_m diperoleh melalui perhitungan berikut ini.

$$\begin{aligned}
 y &= ax + b \\
 y &= -0.009x + 1.414 \\
 R^2 &= 0.869
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{k_1}{2.303} &= a \\
 \frac{k_1}{2.303} &= -0.009 \\
 k_1 &= -0.02073
 \end{aligned}$$

$$\log Q_e = b$$

$$\log Q_e = 1.414$$

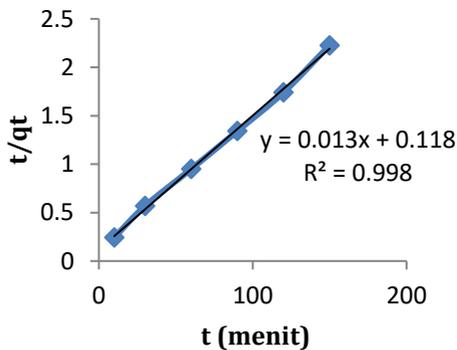
$$Q_e = 10^{1.414} = 25.942$$

2. Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Dua

Tabel L3.1 Data penentuan Pseudo Orde dua

t (menit)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	qt (mg/g)	t/qt
10	99,65	58,55	41,1	0,2433
30	99,65	46,82	52,83	0,5679
60	99,65	36,48	63,17	0,9498
90	99,65	32,55	67,1	1,3413
120	99,65	30,69	68,96	1,7401
150	99,65	32,30	67,35	2,2272

Berdasarkan data penentuan kinetika adsorpsi pseudo orde dua pada Tabel L3.4, dapat dibuat kurva hubungan antara $1/C_e$ sebagai sumbu x dan $1/Q_e$ sebagai sumbu y seperti pada Gambar L3.4.



Gambar L3.1 Kurva kinetika adsorpsi pseudo orde dua

Berdasarkan kurva isoterm Langmuir pada Gambar L3.1, diketahui persamaan regresi linear $y = 0.013x + 0.118$ dengan nilai $R^2 = 0.998$. Adapun nilai k_1 dan q_m diperoleh melalui perhitungan berikut ini.

$$y = ax + b$$

$$y = 0.013x + 0.118$$

$$R^2 = 0.998$$

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

$$\frac{1}{Q_e} = 0.013$$

$$\frac{1}{0.013} = Q_e$$

$$Q_e = 76.923$$

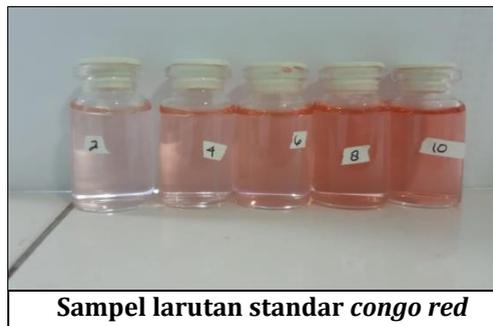
$$\frac{1}{k_2 Q_e^2} = b$$

$$\frac{1}{k_2 76.923^2} = 0.118$$

$$\frac{1}{0.118 \times 76.923^2} = k_2$$

$$k_2 = \frac{1}{698.22} = 0.00143$$

LAMPIRAN 4 : Dokumentasi Percobaan





Sampel perbandingan pencampuran adsorben BT-KKB



Sampel variasi pH



Sampel variasi konsentrasi awal



Sampel variasi waktu kontak

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. Identitas Diri

1. Nama Lengkap : Annisa Rohmatul Ulya
2. Tempat dan Tgl Lahir : Grobogan, 29 Juni 1999
3. Alamat Rumah : Dusun Kebondalem Desa Selo RT
008 RW 004 Kec.Tawangharjo,
Grobogan.
4. Telepon/HP : 085747456468
5. Email : ulyaannisa99@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan

1. Pendidikan Formal :
 - a. RA SUNNIYYAH SELO Tahun 2002 – 2003
 - b. TK DHARMA WANITA Tahun 2003 – 2004
 - c. SDN 2 SELO Tahun 2004 – 2010
 - d. MTs PUTERI SUNNIYYAH SELO Tahun 2010 – 2013
 - e. MA SUNNIYYAH SELO Tahun 2013 – 2016
2. Pendidikan Non-Formal :
 - a. TPQ AL-HUSNA Kebondalem Selo Tahun 2004 – 2006
 - b. MADIN ULA SUNNIYYAH SELO Tahun 2006 – 2012
 - c. MADIN WUSTHO SUNNIYYAH SELO Tahun 2012 – 2013
 - d. MA'HAD AL-JAMI'AH WALISONGO SEMARANG Tahun
2016 – 2018

- e. PONDOK PESANTREN FADHLUL FADHLAN SEMARANG
Tahun 2018- 2021

Semarang, 5 Oktober 2021



Annisa Rohmatul Ulya

NIM: 1608036005