

**KEMAMPUAN ADSORPSI KARBON AKTIF DARI LIMBAH KULIT
SINGKONG TERHADAP LOGAM TIMBAL (PB) MENGGUNAKAN
SISTEM KONTINYU**

TUGAS AKHIR



**UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A**

Disusun Oleh:

CENDEKIA AGHNI MAGHFIRANA

NIM: H75215027

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL
SURABAYA
2019**

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Cendekia Aghni Maghfirana

NIM : H75215027

Program Studi : Teknik Lingkungan

Angkatan : 2015

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan plagiat dalam penulisan tugas akhir saya yang berjudul: "KEMAMPUAN ADSORPSI KARBON AKTIF DARI LIMBAH KULIT SINGKONG TERHADAP LOGAM TIMBAL (PB) MENGGUNAKAN SISTEM KONTINYU". Apabila suatu saat nanti terbukti saya melakukan tindakan plagiat, maka saya bersedia menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Demikian pernyataan keaslian ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 8 Juli 2019

Yang menyatakan,



(Cendekia Aghni Maghfirana)

NIM. H75215027

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir oleh

Nama : Cendekia Aghni Maghfirana

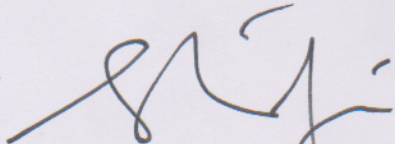
NIM : H75215027

Judul : Kemampuan Adsorpsi Karbon Aktif dari Limbah Kulit
Singkong Terhadap Logam Timbal (Pb) Menggunakan Sistem
Kontinyu

Ini telah diperiksa dan disetujui untuk diujikan.

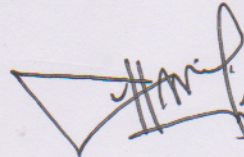
Surabaya, 8 Juli 2019

Dosen Pembimbing 1



(Shinfi Wazna Auvaria, M.T)
NIP 198603282015032001

Dosen Pembimbing 2



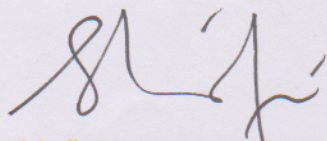
(Ida Munfarida, M.Si, M.T)
NIP 198411302015032001

PENGESAHAN TIM PENGUJI SKRIPSI

Tugas Akhir Cendekia Aghni Maghfirana ini telah dipertahankan
di depan tim penguji tugas akhir
di Surabaya, 17 Juli 2019

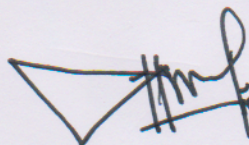
Mengesahkan,
Dewan Penguji

Penguji I



(Shinfu Wazna Auvania, M.T)
NIP 198603282015032001

Penguji II



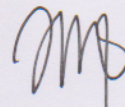
(Ida Munfarida, M.Si, M.T)
NIP 198411302015032001

Penguji III



(Dedy Suprayogi, S.KM, M.KL)
NIP 198512112014031002

Penguji IV



(Widya Nilandita, M.KL)
NIP 198410072014032002

Mengetahui,
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Ampel Surabaya



Dr. Endang Purwati, M.Ag.

NIP 196512211990022001



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA
PERPUSTAKAAN

Jl. Jend. A. Yani 117 Surabaya 60237 Telp. 031-8431972 Fax.031-8413300
E-Mail: perpus@uinsby.ac.id

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika UIN Sunan Ampel Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Cendekia Aghni Maghfirana
NIM : H75215027
Fakultas/Jurusan : Sains dan Teknologi / Teknik Lingkungan
E-mail address : cendekiaa@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah :

☒ Skripsi ☐ Tesis ☐ Desertasi ☐ Lain-lain (.....)
yang berjudul :

KEMAMPUAN ADSORPSI KARBON AKTIF DARI LIMBAH KULIT SINGKONG
TERHADAP LOGAM TIMBAL (PB) MENGGUNAKAN SISTEM KONTINYU

beserta perangkat yang diperlukan (bila ada). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (database), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Internet atau media lain secara *fulltext* untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini yang saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, 2 Agustus 2019

Penulis

(Cendekia Aghni Maghfirana)

Kata kunci: Kulit singkong, karbon aktif, timbal (Pb), kemampuan adsorpsi

Kata kunci: Kulit singkong, karbon aktif, timbal (Pb), kemampuan adsorpsi.

ADSORPTION CAPABILITY OF ACTIVATED CARBON FROM CASSAVA PEEL WASTE TO LEAD (Pb) USING CONTINUOUS SYSTEM

Keywords: Cassava peel, activated carbon, lead (Pb), adsorption capability.

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Lembar Persetujuan Pembimbing	ii
Lembar Pengesahan	iii
Halaman Pernyataan Keaslian Karya Ilmiah	iv
Pedoman Transliterasi	v
Halaman Motto.....	vi
Halaman Persembahan	vii
Kata Pengantar	viii
Abstrak	x
Daftar Isi.....	xii
Daftar Tabel	xiv
Daftar Gambar.....	xv
Daftar Lampiran	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA	5
2.1 Logam Berat di Lingkungan	5
2.2 Timbal (Pb).....	7
2.3 Adsorpsi	9
2.4 Karbon Aktif	13
2.5 Adsorpsi Sistem Kontinyu.....	15
2.6 Kurva Breakthrough dan Zona Transfer Massa Sistem Kontinyu.....	16
2.7 Integrasi Keilmuan.....	17
2.8 Penelitian Terdahulu.....	20

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kandungan Kulit Singkong.....	15
Tabel 3.1 Rancangan Percobaan.....	26
Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Kadar Air Kulit Singkong Kering.....	37
Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Kadar Arang.....	39
Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Kadar Air Karbon Aktif.....	40
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Kadar Abu.....	41
Tabel 4.5 Data Hasil Pengukuran Konsentrasi Timbal (Pb)	45
Tabel 4.6 Efisiensi Penyerapan Timbal (Pb) pada Variasi Laju Alir Kolom.....	46
Tabel 4.7 Data Hasil Pengukuran Konsentrasi Timbal (Pb)	50
Tabel 4.8 Efisiensi Penyerapan Timbal (Pb) pada Variasi Laju <i>Bed Depth</i>	51

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Perilaku Logam Berat di Lingkungan.....	6
Gambar 2.2	Mekanisme Adsorpsi Timbal (Pb) pada Karbon Aktif.....	12
Gambar 2.3	Kurva <i>Brekthrough</i>	17
Gambar 3.1	Kerangka Pikir Penelitian	24
Gambar 3.2	Diagram Alir Tahapan Penelitian	25
Gambar 3.3	Tahapan Pembuatan Karbon Aktif	29
Gambar 3.4	Tahapan Pembuatan Limbah Artifisial Pb.....	30
Gambar 3.5	Desain Percobaan Kolom	33
Gambar 4.1	Proses Pencucian Kulit Singkong.....	35
Gambar 4.2	Pencacahan Kulit Singkong.....	35
Gambar 4.3	Proses Pengeringan Kulit Singkong	36
Gambar 4.4	Proses Karbonisasi Kulit Singkong	38
Gambar 4.5	Perendaman Arang dengan Larutan NaOH	40
Gambar 4.6	Preparasi Reaktor.....	42
Gambar 4.7	Simulasi Reaktor dan Pencucian Adsorben.....	43
Gambar 4.8	Grafik Efisiensi Penyerapan Timbal (Pb).....	47
Gambar 4.9	Grafik Cumulative Sum A.....	49
Gambar 4.10	Grafik Cumulative Sum B	49
Gambar 4.11	Grafik Efisiensi Penyerapan Timbal (Pb).....	52
Gambar 4.12	Pemecahan Selulosa Menjadi Glukosa.....	54
Gambar 4.13	Mekanisme Adsorpsi Pb(II) oleh Karbon Aktif	56

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Rekap Data Penelitian
Lampiran 2	Hasil Uji Statistik
Lampiran 3	Dokumentasi Penelitian
Lampiran 4	Laporan Hasil Uji Laboratorium

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Singkong atau *cassava* merupakan salah satu produk hasil pertanian pangan terbesar di Indonesia. Volume produksi singkong Indonesia tahun terakhir mencapai 22 juta ton (Kementrian Perindustrian RI, 2018). Saat ini singkong sudah dimanfaatkan menjadi berbagai macam produk olahan khas di beberapa daerah di Indonesia seperti keripik, tape, ubi goreng, dan sebagainya. Selain itu, singkong juga digunakan sebagai bahan baku pembuatan tepung tapioka berskala industri. Pemanfaatan singkong menghasilkan limbah berupa kulit singkong. Selama ini limbah kulit singkong hanya dimanfaatkan untuk pakan ternak dan selebihnya dibuang begitu saja. Kulit singkong memiliki potensi cukup baik jika digunakan sebagai karbon aktif untuk mengadsorpsi logam berat karena mengandung selulosa yang cukup efektif mengikat ion logam (Maulinda dkk., 2015).

Karbon aktif merupakan padatan berpori yang dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon dan dipanaskan pada suhu tinggi. Karbon aktif juga merupakan adsorben yang sangat bagus dan banyak digunakan karena memiliki luas permukaan dan mikropori yang sangat besar, serta relatif mudah di regenerasi. Manfaat karbon aktif sendiri sangat banyak, misalnya sebagai bahan penjernih air, pemurnian gas, pengolahan limbah dan sebagainya. Pada dasarnya, proses pembuatan arang aktif dilakukan melalui tiga tahapan yaitu dehidrasi, karbonisasi, dan aktivasi.

Timbal (Pb) merupakan salah satu logam berat yang sangat berbahaya bagi kesehatan manusia serta tidak mampu terurai oleh proses alam. Timbal (Pb) bersifat toksik yang dapat memengaruhi sistem saraf, hematologi, dan kinerja ginjal. Pencemaran logam timbal di lingkungan disebabkan oleh limbah industri, pertambangan, buangan dari proses elektroplating, dan pembakaran bahan bakar minyak yang sebagian besar terbawa melalui air (Satriani dkk., 2016). Sumber pencemaran timbal (Pb) terbanyak adalah dari air buangan pertambangan biji timah hitam, industri kaca, dan pengecoran logam (Dewi

Beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengurangi konsentrasi logam berat dalam limbah cair diantaranya adalah adsorpsi, pertukaran ion (*ion exchange*), dan pemisahan dengan membran. Metode yang sering digunakan dalam industri adalah proses adsorpsi. Hal ini dikarenakan proses adsorpsi lebih ekonomis, mampu menghilangkan bahan-bahan organik dan tidak menimbulkan efek toksik. Adsorpsi merupakan proses penyerapan zat pada permukaan adsorben yang disebabkan oleh adanya gaya tarik menarik antara adsorben dengan ion logam yang terlarut dalam air (Astuti dan Kurniawan, 2015). Kelebihan kulit singkong sebagai adsorben mampu menyerap timbal (Pb) hingga 3,16 mg/gram, lebih besar dari kapasitas adsorpsi karbon aktif tongkol jagung yang mampu menyerap timbal (Pb) sebesar 2,91 mg/gram (Deviyanti dkk., 2014).

2

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka permasalahan yang dapat dirumuskan adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kemampuan adsorpsi karbon aktif dari limbah kulit singkong terhadap logam timbal (Pb) menggunakan sistem kontinyu?
2. Apakah ada perbedaan kemampuan adsorpsi pada variasi laju alir adsorpsi?
3. Apakah ada perbedaan kemampuan adsorpsi pada variasi *bed depth* adsorben?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui kemampuan adsorpsi karbon aktif dari limbah kulit singkong terhadap logam timbal (Pb) menggunakan sistem kontinyu.
2. Mengetahui perbedaan kemampuan adsorpsi pada variasi laju alir adsorpsi.
3. Mengetahui perbedaan kemampuan adsorpsi pada variasi *bed depth* adsorben.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari tugas akhir ini adalah:

1. Memanfaatkan limbah kulit singkong menjadi adsorben untuk mengadsorpsi logam timbal (Pb) dalam air.
2. Menerapkan dan memahami metode sistem adsorpsi secara kontinyu.
3. Mengetahui perbedaan kemampuan adsorpsi pada variasi laju alir dan *bed depth* adsorben.

4. Penelitian ini hanya menggunakan satu jenis aktivator dengan satu dosis saja yaitu NaOH 2%.
5. Penelitian ini hanya membahas mengenai kemampuan adsorpsi karbon dari kulit singkong terhadap timbal (Pb).
6. Penelitian ini dilakukan secara kontinyu.
7. Variasi yang dilakukan adalah:
 - a. Variasi *bed depth* adsorben
 - b. Variasi laju alir limbah ke dalam kolom.

4. Penelitian ini hanya menggunakan satu jenis aktivator dengan satu dosis saja yaitu NaOH 2%.
5. Penelitian ini hanya membahas mengenai kemampuan adsorpsi karbon dari kulit singkong terhadap timbal (Pb).
6. Penelitian ini dilakukan secara kontinyu.
7. Variasi yang dilakukan adalah:
 - a. Variasi *bed depth* adsorben
 - b. Variasi laju alir limbah ke dalam kolom.

4. Penelitian ini hanya menggunakan satu jenis aktivator dengan satu dosis saja yaitu NaOH 2%.
5. Penelitian ini hanya membahas mengenai kemampuan adsorpsi karbon dari kulit singkong terhadap timbal (Pb).
6. Penelitian ini dilakukan secara kontinyu.
7. Variasi yang dilakukan adalah:
 - a. Variasi *bed depth* adsorben
 - b. Variasi laju alir limbah ke dalam kolom.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Logam Berat di Lingkungan

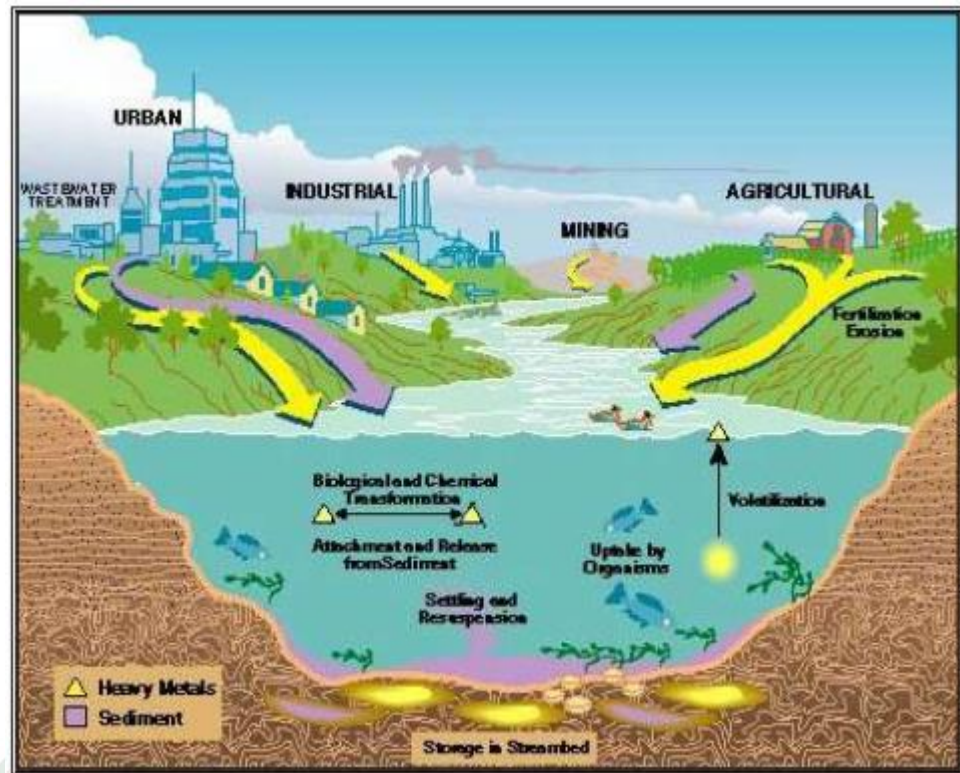
Logam berat merupakan unsur yang dapat terlarut dalam air membentuk senyawa ionik yang bermuatan positif dengan melepaskan satu atau lebih elektron. Logam berat sendiri memiliki sifat konduktivitas listrik tinggi, memiliki kelenturan dan kilau, serta mudah kehilangan elektronnya untuk membentuk kation (Adhani dan Husaini, 2017). Berdasarkan identifikasi secara umum terhadap 109 unsur kimia yang ada di permukaan bumi, 89 di antaranya merupakan jenis logam berat.

Klasifikasi logam berat dari sistem periodik unsur-unsur kimia yang telah ditemukan, dapat dilihat pada sistem dengan nomor atom 22 hingga 92 dengan periode atom urutan 4 hingga 7. Berat jenis atom lebih besar dari 5 gram/cm³, biasanya ada di sudut kanan bawah dan beberapa unsur-unsur tersebut diantaranya termasuk dalam logam transisi (Utama, 2015).

Keberadaan logam berat di perairan sangat membahayakan bagi kehidupan organisme yang ada di dalamnya, baik dalam dampak secara langsung maupun dampak secara tidak langsung bagi manusia. Sifat logam berat yang dapat membahayakan lingkungan dan manusia adalah:

1. Sulit terdegradasi dan mudah terakumulasi dalam lingkungan perairan sehingga keberadaannya sulit untuk dihilangkan dari lingkungan.
2. Terakumulasinya logam berat pada organisme perairan seperti kerang, ikan, udang, dan lainnya yang merupakan sumber makanan bagi manusia dapat membahayakan kesehatan yang mengkonsumsi hewan air tersebut.
3. Logam berat dapat terakumulasi membentuk sedimen dalam air dan konsentrasinya lebih tinggi daripada yang terlarut dalam air. Namun, apabila arus air sangat kuat dapat menyebabkan logam berat teraduk dan menjadi larut kembali ke dalam air dari sedimennya dan menjadi sumber pencemar di wilayah tersebut (Utama, 2015).

Perilaku logam berat di lingkungan dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Perilaku Logam Berat di Lingkungan

Sumber gambar (Adhani dan Husaini, 2017)

Sumber pencemaran logam berat berasal dari dua sumber yaitu dari alam dan akibat aktivitas manusia. Menurut (Sutamihardja, 2006), ciri sumber alami pencemaran logam berat adalah:

1. Berasal dari daerah pantai (*coastal supply*) yang bersumber dari sungai, abrasi oleh aktivitas gelombang.
2. Berasal dari logam yang dibebaskan dari aktivitas gunung berapi dan logam yang dimurnikan secara kimiawi.
3. Berasal dari lingkungan daratan dan dekat pantai, termasuk logam yang terbawa oleh ikan dari atmosfer berupa partikel debu.

Sumber pencemaran akibat aktivitas manusia berupa logam-logam berat yang dibebaskan oleh proses industri atau kegiatan pertambangan. Beberapa jenis logam yang termasuk kategori logam berat sebagai berikut: Aluminium (Al), Antimony (Sb), Cadmium (Cd), Chromium (Cr), Cobalt (Co), Merkuri (Hg), Cufrum (Cu), Ferrum (Fe), Manganese (Mn), Molybdenum (Mo),

Timbal (Pb)

Timbal (Pb) merupakan salah satu jenis dari logam berat yang sering disebut dengan timah hitam. Timbal memiliki titik lebur yang rendah, mudah dibentuk, memiliki sifat kimia yang aktif sehingga biasa digunakan untuk melapisi logam agar tidak timbul perkaratan. Timbal adalah logam yang lunak berwarna abu-abu kebiruan mengkilat dan memiliki bilangan oksidasi +2. Dalam kehidupan sehari-hari, timbal digunakan sebagai elektroda pada alat elektrolisis, agen pendingin pada fase cair, industri PVC, agen pewarna dalam pembuatan keramik terutama pada warna merah dan kuning, dll (Kurniawan, 2015).

Timbal (Pb) merupakan salah satu jenis dari logam berat yang sering disebut dengan timah hitam. Timbal memiliki titik lebur yang rendah, mudah dibentuk, memiliki sifat kimia yang aktif sehingga biasa digunakan untuk melapisi logam agar tidak timbul perkaratan. Timbal adalah logam yang lunak berwarna abu-abu kebiruan mengkilat dan memiliki bilangan oksidasi +2. Dalam kehidupan sehari-hari, timbal digunakan sebagai elektroda pada alat elektrolisis, agen pendingin pada fase cair, industri PVC, agen pewarna dalam pembuatan keramik terutama pada warna merah dan kuning, dll (Kurniawan, 2015).

Timbal (Pb) merupakan unsur yang bersifat logam, hal ini merupakan anomali karena unsur-unsur diatasnya (Gol IV) yaitu Karbon dan Silika memiliki sifat non-logam. Timbal di alam ditemukan dalam mineral Galena (PbS), Anglesit (PbSO₄) dan Kersit (PbCO₃), juga dalam keadaan bebas. Timbal memiliki beberapa sifat khusus, yaitu:

1. Berwarna putih kebiru-biruan dan mengkilap
2. Lunak, sehingga mudah ditempa
3. Tahan asam dan karat, serta bereaksi dengan basa kuat
4. Daya hantar listrik yang kurang baik (konduktor yang buruk)
5. Massa atom relatif 207,2
6. Memiliki valensi 2 dan 4
7. Tahan terhadap radiasi

Sifat Fisika:

- Sifat Kimia:

- Menurut Palar (1973) dalam (Adhani dan Husaini, 2017), berdasarkan sifat toksiknya Pb memberikan efek klinis seperti:

2.3 Adsorpsi

Adsorpsi disebabkan oleh kompetisi diantara dinding berpori adsorben yang reaktif dengan larutan untuk mengikat adsorbat. Jika adsorpsi bersifat *irreversible*, maka kompetisi berlangsung hingga pada pori-pori dinding adsorben lainnya hingga semua terisi. Namun jika adsorpsi bersifat *reversible*, maka adsorbat yang menempel pada pori-pori ini lepas dan digantikan oleh adsorbat lainnya. Adsorbat yang terlepas akan mencari pori-pori kosong lainnya

hingga mencapai kesetimbangan. Menurut Notodarmojo (2005) dalam (Utama, 2015), gaya-gaya yang terjadi pada saat pengikatan ion maupun molekul pencemar dalam proses adsorpsi yaitu:

1. Gaya fisika

Gaya fisika terjadi akibat adanya gaya tarik van der Waals serta ikatan hidrogen. Gaya antara adsorben dengan adsorbatnya ini berpengaruh dalam jarak yang pendek. Gaya van der Waals adalah ikatan lemah tetapi sangat penting dalam analisis adsorpsi senyawa organik dan zat yang bersifat aditif. Gaya ini akan menguat jika terjadi secara bersamaan dalam sekelompok molekul maupun sekelompok ion. Energi yang dilepaskan dalam proses adsorpsi ini berkisar antara 5 – 20 kJ/mol.

2. Gaya akibat proses kimia

Gaya akibat proses kimia terjadi karena adanya ikatan ikatan kovalen dan ikatan hidrogen. Ikatan kovalen merupakan ikatan kimia yang terjadi akibat adanya pemakaian pasangan elektron secara bersama-sama oleh atom-atom yang berikatan. Pembentukan senyawa kompleks yang merupakan proses yang penting dalam adsorpsi selain pertukaran ion. Adsorpsi secara kimiawi memiliki ikatan yang lebih kuat dan bersifat permanen dibandingkan dengan adsorpsi yang disebabkan oleh gaya fisik. Energi yang dihasilkan dari proses kimiawi ini berkisar antara 100 – 400 kJ/mol.

3. Gaya elektrostatik

Gaya elektrostatik dapat dimasukkan dalam kategori gaya fisika. Gaya tarik ini akan membentuk ikatan secara elektrostatik dan dapat menyebabkan pertukaran ion. Energi yang dihasilkan dari gaya elektrostatik dapat mencapai 200 kJ/mol. Adsorpsi logam berat di permukaan oksida besi terhidrasi merupakan suatu contoh adsorpsi oleh gaya elektrostatik. Muatan zat menentukan besarnya gaya ini.

Proses adsorpsi tidak terlepas dari faktor-faktor penting yang mempengaruhinya. Beberapa faktor yang mempengaruhi adsorpsi menurut (Somerville, 2007) adalah:

1. pH

pH larutan memiliki pengaruh yang kuat terhadap keberadaan komponen logam dalam larutan. Umumnya logam akan terendapkan pada larutan dengan nilai pH yang lebih besar dari 10 (Somerville, 2007). Pada pH yang tinggi, sejumlah kecil logam membentuk ion kompleks netral atau dalam bentuk hidroksida anionik sehingga pertukaran kation tidak akan terjadi. Agar pertukaran kation lebih efektif, *post treatment* dengan menurunkan pH ke kondisi normal atau dalam suasana asam (Utama, 2015).

2. Partikulat

Keberadaan partikulat dalam larutan akan menghambat laju adsorpsi karena partikel-partikel yang terdapat dalam larutan akan menyumbat media adsorben (*clogging*) untuk mengadsorpsi ion-ion logam. Proses filtrasi sangat diperlukan untuk mencegah terjadinya *clogging*. *Filtrasi dapat ditempatkan sebelum proses adsorpsi* (Utama, 2015).

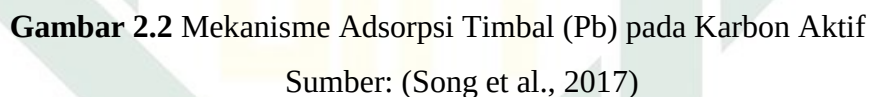
3. Temperatur

Hubungan antara adsorpsi dengan temperatur bergantung pada kondisi proses dan operasi dalam reaktor, apakah reaksi yang terjadi dalam reaktor termasuk reaksi eksotermik atau endotermik. Proses adsorpsi bersifat endotermik, penyisihan logam akan meningkat seiring dengan peningkatan temperatur. Hal ini merupakan indikator adsorpsi secara kimiawi. Sedangkan adsorpsi apabila bersifat eksotermik, yaitu penyisihan logam menurun seiring dengan peningkatan temperatur, maka hal ini merupakan adsorpsi secara fisik (Utama, 2015).

4. Pre-treatment adsorben

Modifikasi komposisi kimia dapat mempengaruhi kemampuan adsorben dalam mengadsorpsi logam berat. Sebagai contoh pada karbon aktif, apabila luas permukaannya diperbesar atau dengan penukaran gugus fungsi pada kationnya, maka kapasitas adsorpsi dapat meningkat hingga 30% walaupun perlakuan ini memperlambat laju reaksi (Utama, 2015).

Media sorben bekerja secara spesifik terhadap larutan tertentu. Keberadaan ion lain dalam larutan dapat mengganggu penyisihan. Hal ini disebabkan oleh afinitas sorben berkurang terhadap larutan. Pada larutan encer, kompetisi antar ion tidak berpengaruh signifikan dalam proses adsorpsi (Utama, 2015).



Secara umum adsorpsi dibedakan menjadi dua jenis yaitu adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia.

Di dalam adsorpsi kimia, molekul adsorbat dan adsorben membentuk suatu sistem homogen. Adsorpsi kimia memiliki energi adsorpsi yang lebih tinggi (>20 kJ/mol), Adsorpsi kimia ini melibatkan ikatan kovalen sebagai hasil penggunaan bersama pasangan elektron oleh padatan adsorben dan adsorbat. Apabila adsorbat berupa kation logam maka dapat dinyatakan sebagai asam Lewis dan gugus-gugus fungsional pada adsorben sebagai basa Lewis (Kurniawan, 2015).

2. Adsorpsi fisika

Adsorben dan adsorbat dapat dianggap sebagai dua sistem individu.

Adsorpsi fisika terjadi karena adanya gaya tarik van der Waals yang memiliki energi adsorpsi kecil (<20 kJ/mol) (Kurniawan, 2015).

Proses adsorpsi terjadi pada permukaan pori-pori adsorben, sehingga untuk bisa teradsorpsi, logam dalam cairan mengalami proses-proses sebagai berikut:

1. Perpindahan massa logam dari cairan ke permukaan adsorben
2. Difusi dari permukaan adsorben ke dalam adsorben melalui pori
3. Perpindahan massa logam dari cairan dalam pori ke dinding pori adsorben
4. Adsorpsi logam pada dinding pori adsorben

2.4 Karbon Aktif

Karbon aktif adalah bahan padat berpori tinggi dimana permukaan dapat menyebabkan terakumulasinya adsorbat. Adsorben karbon diproduksi dari bahan organik seperti kayu, kokas petroleum, gambut, batu bara, cangkang kelapa sawit, antrasit, inti plum, cangkang kelapa, sekam padi, lignin, serbuk gergaji, benih sekam, tulang, dan lain-lain. Karbon aktif ini merupakan salah satu jenis adsorben yang paling terkenal dan paling banyak digunakan dalam proses pengolahan air limbah. Proses pembuatan karbon aktif sendiri terdiri dari tahap dehidrasi, karbonisasi bahan baku dan aktivasi. Proses karbonisasi adalah untuk mengubah bahan organik menjadi karbon primer dimana merupakan campuran abu, tar, karbon *amorphous*, dan kristal karbon. Selama karbonisasi, produk yang terdekomposisi/tar yang terdeposisi pada pori-pori, kemudian dihilangkan pada proses aktivasi. Aktivasi terdiri dari dua proses, yaitu pemanasan yang menyebabkan dekomposisi produk (tar) yang *amorphous* dan perbesaran ukuran pori (Kurniawan, 2015).

Proses pembuatan Karbon aktif

Secara umum proses pembuatan karbon aktif dilakukan dengan tiga tahapan, yaitu:

1. Proses dehidrasi

Proses dehidrasi ini dilakukan dengan cara memanaskan bahan baku karbon aktif pada suhu 105 – 170 °C selama 18-24 jam. Tujuannya adalah untuk menghilangkan semua kandungan air pada bahan baku (Arif, 2014).

2. Proses karbonisasi

Proses karbonasi merupakan proses pembuatan arang atau sering disebut dengan proses pirolisis. Proses pirolisis merupakan proses pembakaran secara tidak sempurna terhadap suatu bahan yang mengandung senyawa karbon kompleks dan tidak sampai teroksidasi menjadi karbon dioksida. Pada saat pirolisis, energi panas mendorong terjadinya oksidasi sehingga senyawa karbon yang kompleks sebagian besar terurai menjadi karbon atau arang (Rosalina dkk., 2016). Proses ini menyebabkan terjadinya penguraian struktur senyawa organik membentuk methanol, uap asam asetat, tar dan hidrokarbon. Material padat yang tertinggal setelah proses karbonisasi adalah karbon dalam bentuk arang dengan pori-pori yang sempit (Dewi dkk, 2009).

3. Proses aktivasi

Proses aktivasi merupakan suatu proses dimana permukaan karbon aktif diubah menjadi jauh lebih luas karena hidrokarbon yang terkandung dalam karbon diuraikan. Untuk memperoleh karbon yang berpori dan luas permukaan yang besar dapat diperoleh dengan cara mengaktivasi bahan. Ada dua cara dalam melakukan proses aktivasi yaitu:

a. Aktivasi fisika

Proses aktivasi ini dilakukan dengan pengaktifasian pada suhu tinggi. Aktivasi dengan uap air biasanya dilakukan pada suhu 750 - 900 °C dan aktivasi dengan CO₂ (karbon dioksida) dilakukan pada suhu 850 – 1100 °C. Namun aktivasi dengan CO₂ (karbon dioksida) jarang sekali dilakukan karena reaksi yang terjadi adalah reaksi

menerus hingga jenuh. Pada sistem kontinyu, kapasitas *breakthrough* berhubungan dengan fungsi jenuh bahan setelah dipakai dalam proses adsorpsi dalam kolom. Menurut Eckenfelder (2000) dalam (Utama, 2015), beberapa model desain kolom adsorpsi yang dapat diaplikasikan yaitu:

1. Downflow column

Kolom ini berupa *fixed bed* dengan susunan seri. Ketika kurva *breakthrough* telah tercapai pada kolom terakhir, kolom pertama berada dalam kesetimbangan dengan konsentrasi influen (C_0) untuk mencapai kapasitas penyerapan maksimum adsorbennya.

2. Upflow column

Kolom ini digunakan apabila air limbah mengandung padatan tersuspensi atau mengandung materi biologi yang dapat menguraikan adsorbennya.

3. Multiple units column

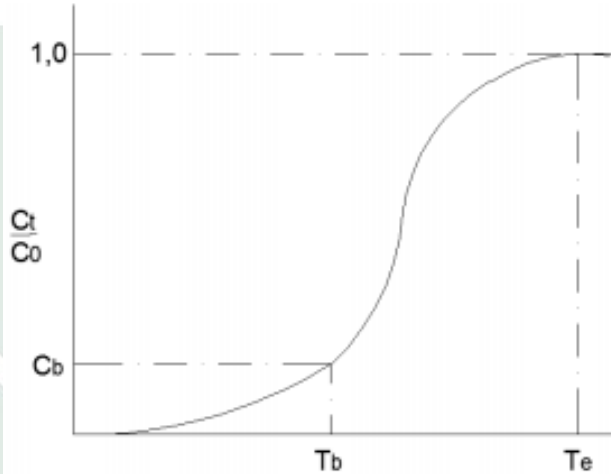
Kolom ini dijalankan dengan mode parallel untuk mengalirkan air limbah ke dalam kolom. Kemudian effluen dari kolom-kolom parallel berada pada satu sistem outlet yang sama. Tujuannya adalah untuk membagi beban pengolahan per kolomnya untuk mendapatkan hasil penyerapan maksimum oleh karbon aktif.

2.6 Kurva *Breakthrough* dan Zona Transfer Massa Sistem Kontinyu

Kurva *breakthrough* merupakan gambaran rasio antara konsentrasi effluen (Ce) dengan konsentrasi influen (Co) berbanding dengan waktu atau volume air limbah. Apabila kurva *breakthrough* mengalami kenaikan yang curam, maka performa adsorpsi lebih efisien. Ketika adsorben sudah jenuh oleh polutan dalam kurun waktu tertentu, effluen kolom akan mengalami kenaikan secara tajam membentuk kurva *breakthrough* hingga mencapai *exhaust*. Ketika *breakthrough* telah tercapai, maka konsentrasi polutan dalam air limbah yang melewati kolom akan naik secara tajam hingga konsentrasi jenuh, sehingga konsentrasi effluen limbah akan sama dengan influennya.

Pada sebagian besar aplikasi adsorpsi skala pabrik, adsorpsi air limbah dilakukan secara kontinyu melalui kolom adsorpsi. Polutan teradsorpsi pada

Utama, 2015). Kurva *breakthrough* ditunjukkan pada Gambar 2.3 berikut.



Gambar 2.3 Kurva *Brekthrough*

Sumber (Utama, 2015)

Gambar 2.3 Kurva *Brekthrough*
Sumber (Utama, 2015)

2.7 Integrasi Keilmuan

Pencemaran logam berat sangat berbahaya baik untuk manusia maupun lingkungan. Hal ini dapat memberikan dampak negatif bagi kehidupan manusia maupun kehidupan organisme lain, baik yang di air maupun di darat pada tingkat individu sampai ekosistem. Keberadaan logam berat di perairan tidak terlepas dari aktivitas manusia. Sumber utama pencemaran logam berat berasal dari buangan limbah industri, pertambangan, limbah rumah tangga dan aliran dari pertanian (Supriadi, 2016).

Sebagaimana firman Allah SWT dalam QS Ar-Ruum ayat 41 yang berbunyi:

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

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

وَإِذْ قَالَ رَبُّكَ لِلْمَلَكَةِ إِنِّي جَاعِلٌ فِي الْأَرْضِ خَلِيفَةً ۖ قَالُوا أَتَجْعَلُ فِيهَا مَن يُفْسِدُ فِيهَا وَيَسْفِكُ الدِّمَآءَ وَنَحْنُ نُسَبِّحُ بِحَمْدِكَ وَنُقَدِّسُ لَكَ ۗ قَالَ إِنِّي أَعْلَمُ مَا لَا تَعْلَمُونَ

Ingatlah ketika Tuhanmu berfirman kepada para Malaikat: “Sesungguhnya Aku hendak menjadikan seorang khalifah di muka bumi”. Mereka berkata: “Mengapa Engkau hendak menjadikan (khalifah) di bumi itu orang yang akan membuat kerusakan padanya dan menumpahkan darah, padahal kami senantiasa bertasbih dengan memuji Engkau dan mensucikan Engkau?”. Tuhan berfirman: “Sesungguhnya Aku mengetahui apa yang tidak kamu ketahui”.

- 21

8. Sudaryanto dkk., (2006) penelitiannya berjudul *“High Surface Area Activated Carbon Prepared from Cassava Peel by Chemical Activation”* yang memperluas permukaan karbon aktif yang dibuat dari kulit singkong dengan memvariasikan waktu aktivasi. Hasilnya menunjukkan bahwa waktu aktivasi tidak mempengaruhi struktur pori pada karbon aktif.
9. Schwantes dkk., (2016) penelitiannya berjudul *“Chemical Modification of Cassava Peel as Adsorbent Material for Metal Ion from Wastewater”* melakukan modifikasi terhadap bahan kimia yang digunakan untuk aktivasi karbon aktif dari kulit singkong menggunakan H_2O_2 , H_2SO_4 dan $NaOH$ untuk menyerap kontaminan $Cd(II)$, $Pb(II)$ dan $Cr(II)$ dalam air. Secara *batch* dianalisa menggunakan model *isotherm* Langmuir menunjukkan bahwa $NaOH$ merupakan senyawa yang paling bagus untuk aktivasi.
10. Lv dkk., (2008) penelitiannya berjudul *“Modelling of the Adsorption Breakthrough Behaviors of Pb^{2+} in a Fixed Bed ETS-10 Adsorbent”* berhasil membuat simulasi penentuan waktu *breakthrough* menggunakan *two-phase homogeneous diffusion model* (TPHDM). Parameter penting model ini yaitu koefisien transfer massa (K_f), efektivitas difusi makropori (D_e), dan koefisien disperse aksial (D_L) dan telah ekstrak menggunakan Algoritma genetic.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Fisika dan Kimia Lingkungan UIN Sunan Ampel Surabaya yang terletak di Jl. Ahmad Yani No. 117, Jemur Wonosari, Wonocolo, Kota Surabaya, Jawa Timur 60237.

3.2 Waktu Penelitian

Waktu pelaksanaan dan analisis hasil penelitian Tugas Akhir ini dimulai pada bulan Maret 2019 dan telah selesai pada bulan Juni 2019 di Laboratorium Fisika dan Kimia Lingkungan UIN Sunan Ampel Surabaya.

3.3 Tahapan Penelitian

3.3.1 Kerangka Pikir Penelitian

Kerangka pikir penelitian merupakan sebuah alur yang sistematis yang bertujuan untuk memperoleh hasil penelitian yang optimal sesuai dengan tujuan dan ruang lingkup penelitian. Penelitian ini dilaksanakan untuk mengetahui kemampuan adsorpsi logam timbal (Pb) oleh karbon aktif dari kulit singkong dalam suatu sistem kontinu sehingga diketahui besar penyisihan terhadap logam timbal dalam air limbah artifisial yang kemudian dianalisa dan dikaji berdasarkan studi literatur. Selanjutnya dari analisa dan pembahasan tersebut dapat ditarik kesimpulan serta saran untuk penelitian selanjutnya.

3.3.3 Rancangan Percobaan

Penelitian ini dilakukan melalui pengujian secara eksperimental di laboratorium. Sampel air limbah dengan konsentrasi yang sama diadsorpsi menggunakan sistem kolom dengan laju alir sebesar 5 mL/menit dan 15 mL/menit serta *bed depth* adsorben 10 cm dan 15 cm. Kemudian sampel air limbah hasil adsorpsi diambil setiap satu jam selama 6 jam untuk mengetahui penurunan konsentrasi Pb dalam air limbah.

Tabel 3.1 Rancangan Percobaan

	X_1	X_2
A	X_1A	X_2A

	Y_1	Y_2
B	Y_1B	Y_2B

Keterangan:

A : Perlakuan *bed depth* adsorben 15 cm

X₁ : Perlakuan laju alir adsorpsi 15 mL/menit

X₂ : Perlakuan laju alir adsorpsi 5 mL/menit

B : Perlakuan laju alir adsorpsi 5 mL/menit

Y₁ : Perlakuan *bed depth* adsorben 15 cm

Y₂ : Perlakuan *bed depth* adsorben 10 cm

X₁A : Perlakuan *bed depth* 15 cm, laju alir 15 mL/menit

X₂A : Perlakuan *bed depth* 15 cm, laju alir 5 mL/menit

Y₁A : Perlakuan laju alir 5 mL/menit, *bed depth* 15 cm

Y₂A : Perlakuan laju alir 5 mL/menit, *bed depth* 10 cm

- H_{0a} : Tidak ada perbedaan kemampuan adsorpsi Pb pada laju alir 5 mL/menit dan 15 mL/menit
- H_{1a} : Ada perbedaan kemampuan adsorpsi Pb pada laju alir 5 mL/menit dan 15 mL/menit
- H_{0b} : Tidak ada perbedaan kemampuan adsorpsi Pb pada *bed depth* 10 cm dan 15 cm
- H_{1b} : Ada perbedaan kemampuan adsorpsi Pb pada *bed depth* 10 cm dan 15 cm

3.4.1 Peralatan

3.4.2 Bahan

3.5 Langkah Kerja Penelitian

3.5.1 Pembuatan Karbon Aktif dari Kulit Singkong

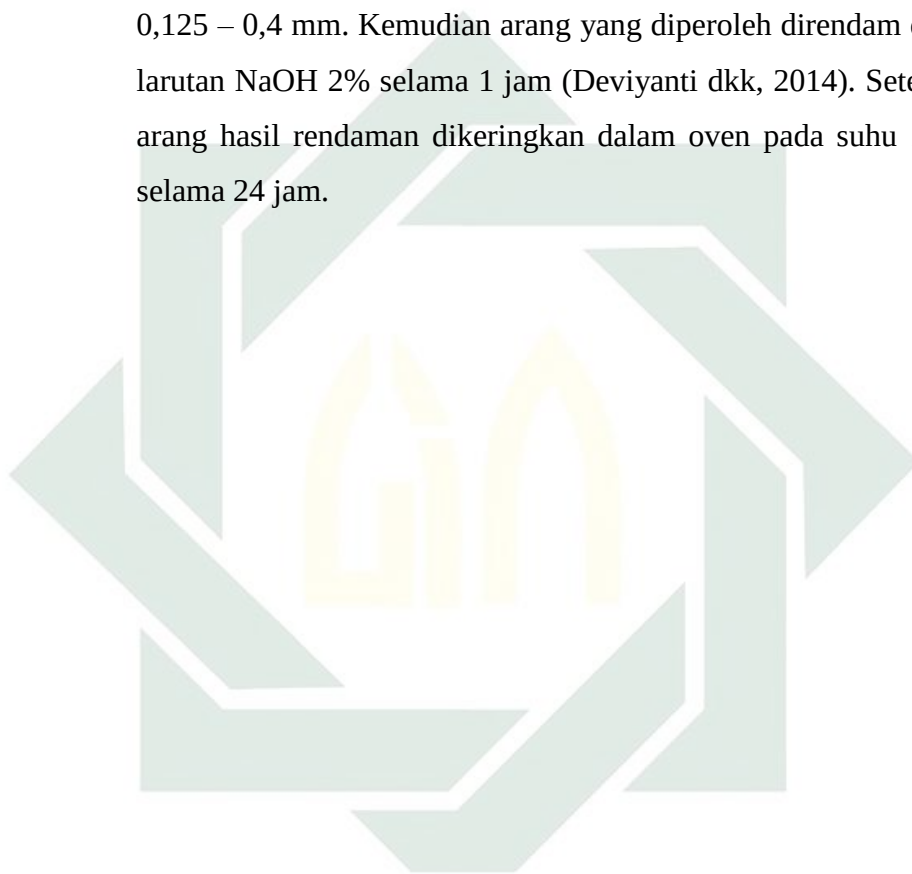
Sebelum digunakan, sampel kulit singkong dibersihkan terlebih dahulu menggunakan air. Kemudian kulit singkong dipotong kecil-kecil lalu dikeringkan dibawah sinar matahari selama 2 hari. Setelah itu kulit singkong dikeringkan menggunakan oven pada suhu 120 °C selama 2 jam.

b. Karbonisasi

Setelah dikeringkan, kulit singkong ditaruh diatas cawan porselin untuk dikarbonisasi pada suhu 350 °C dalam *furnace* selama 1 jam.

c. Aktivasi

Setelah arang terbentuk dan didinginkan, arang dihaluskan dengan cara digerus. Lalu dilakukan pengayakan dengan ukuran 0,125 – 0,4 mm. Kemudian arang yang diperoleh direndam dengan larutan NaOH 2% selama 1 jam (Deviyanti dkk, 2014). Setelah itu arang hasil rendaman dikeringkan dalam oven pada suhu 105 °C selama 24 jam.



3.5.2 Pembuatan Limbah Artifisial Timbal (Pb)

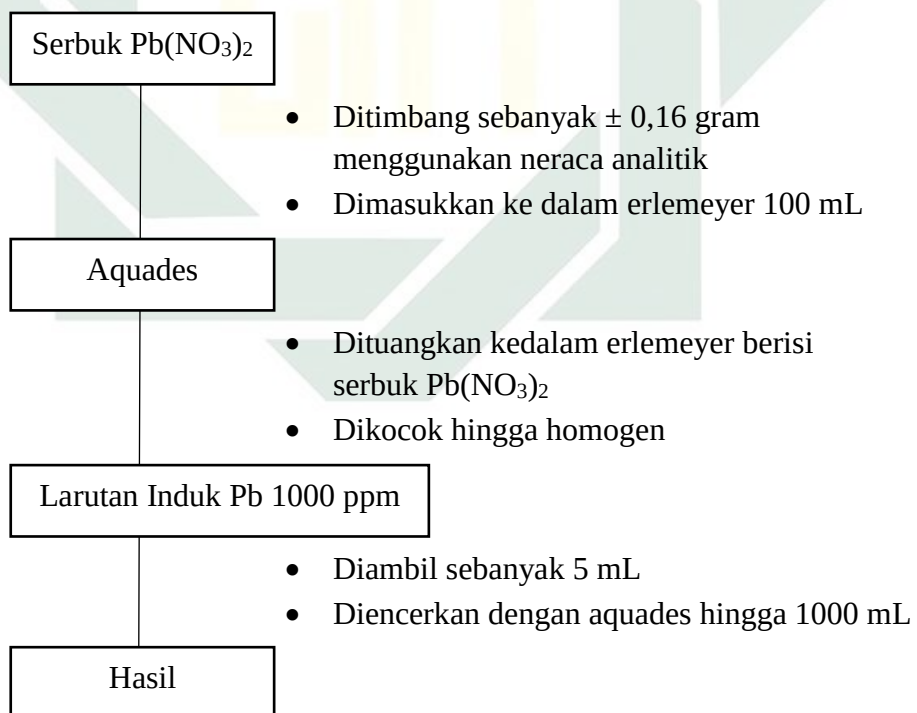
Limbah artifisial timbal (Pb) adalah limbah buatan yang dibuat dengan cara melarutkan senyawa timbal (II) nitrat ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) dengan aquades. Contoh limbah yang dibuat pada penelitian ini sebesar 5 ppm. Langkah awal terlebih dahulu membuat larutan induk Pb 1000 ppm sebanyak 250 mL sebagai stok, kemudian diencerkan menjadi 5 ppm.

a. Pembuatan Larutan Induk Pb 1000 ppm

Timbang $\pm 0,16$ gram serbuk $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ menggunakan neraca analitik kemudian masukkan ke dalam erlemeyer 100 ml. Setelah itu tuangkan aquades hingga batas pengenceran.

b. Pembuatan Sampel Limbah Pb 5 ppm

Ambil 5 mL larutan induk Pb 1000 ppm menggunakan pipet kemudian masukkan ke dalam erlemeyer 1000 mL. Setelah itu tuangkan aquades hingga batas pengenceran. Ulangi langkah tersebut sebanyak sampel yang dibutuhkan.



Gambar 3.4 Tahapan Pembuatan Limbah Artifisial Pb

3.5.3 Pengujian Variasi Laju Alir Kolom

Laju alir adsorpsi diatur secara manual menggunakan pompa peristaltik dan kran air. Pada pengujian sampel terhadap laju alir adsorpsi, sampel larutan Pb(II) dialirkan ke dalam kolom secara upflow dengan variasi laju alir sebesar 5 mL/menit dan 15 mL/menit pada kolom adsorpsi dengan *bed depth* setinggi 15 cm. Kemudian sampel diambil setiap 1 jam sekali selama 6 jam sebanyak 200 mL.

3.5.4 Pengujian Variasi *Bed Depth* Adsorben

Laju alir adsorpsi diatur secara manual menggunakan pompa peristaltik dan kran air. Pada pengujian sampel terhadap *bed depth* adsorben, sampel larutan Pb(II) dialirkan ke dalam kolom secara upflow dengan variasi *bed depth* adsorben setinggi 10 cm dan 15 cm pada kolom adsorpsi dengan laju alir sebesar 5 mL/menit. Kemudian sampel diambil setiap 1 jam sekali selama 6 jam sebanyak 200 mL.

3.5.5 Karakterisasi Karbon Aktif Kulit Singkong

Karbon aktif dari kulit singkong diuji kadar air, kadar abu, kadar arang (rendemen) secara gravimetri. Hasil yang diperoleh dari pengujian ini adalah untuk mengetahui karakteristik karbon aktif dari limbah kulit singkong yang telah dibuat.

1. Uji Kadar Arang

Kadar arang atau **rendemen** ditentukan saat proses karbonisasi pembuatan arang pada suhu 350⁰C selama 60 menit. Kadar arang dihitung dari berat sampel setelah di *furnace* (b) dibagi berat sampel sebelum di *furnace* (a).

$$\text{Kadar arang (\%)} = \frac{b}{a} \cdot 100\%$$

Dimana: a : berat sampel sebelum di *furnace* (g)

b : berat sampel setelah di *furnace* (g)

2. Uji Kadar Air

Kadar air ditentukan dengan cara pengeringan menggunakan oven. Sebanyak 5 gram karbon aktif diletakkan dalam cawan porselin yang telah diketahui beratnya, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C hingga bobotnya konstan. Setelah itu karbon aktif didinginkan selama 15 menit di dalam desikator lalu ditimbang.

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{a-b}{a} \cdot 100\%$$

Dimana: a : berat sampel sebelum pengeringan (g)

b : berat sampel setelah pengeringan (g)

3. Uji Kadar Abu

Kadar abu ditentukan dengan cara proses pengabuan menggunakan *furnace*. Sebanyak 1 gram karbon aktif diletakkan dalam cawan porselin yang telah diketahui beratnya, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 650°C hingga sampel seluruhnya menjadi abu. Setelah itu karbon aktif didinginkan selama 15 menit di dalam desikator lalu ditimbang.

$$\text{Kadar abu (\%)} = \frac{b}{a} \cdot 100\%$$

Dimana: a : berat sampel sebelum di *furnace* (g)

b : berat sampel setelah di *furnace* (g)

3.5.6 Preparasi Reaktor

Preparasi reaktor dilakukan dengan menyiapkan alat-alat berupa pompa peristaltik, kolom adsorpsi, selang air, kran air, statif, dan gelas beaker. Sedangkan bahan yang dibutuhkan adalah karbon aktif, aquades dan glasswols. Peralatan diinstal seperti pada gambar 3.5 pada statif menggunakan kran 3 cabang, kemudian aquades dialirkan untuk mengatur debit masing-masing kolom. Pengaturan debit dilakukan secara manual menggunakan gelas ukur dan stopwatch. Kemudian karbon aktif ditimbang seberat 10 gram dan 14 gram. Lalu karbon aktif dimasukkan kedalam masing-masing kolom adsorpsi dengan menggunakan penyangga glasswols. Setelah reaktor terinstal, aquades

3.6 Metode Analisis Data

Analisis data adsorpsi sistem kontinyu dilakukan dengan metode statistik secara deskriptif dan inferensial. Penelitian ini menghasilkan data konsentrasi timbal (Pb) pada limbah artifisial sebelum dan setelah proses adsorpsi. Sampel air outlet diambil setiap selang waktu 1 jam penyerapan. Pengambilan sampel dilakukan sebanyak 6 kali mulai dari pertama kali sampel keluar hingga jam ke-6. Data hasil pengamatan kemudian dihitung persentase penyerapannya menggunakan rumus berikut.

$$\% \text{Penyerapan} = \frac{C_t}{C_o}$$

Keterangan:

C_0 = Konsentrasi inlet (mg/L)

C_t = Konsentrasi outlet (mg/L)

Data analisis efisiensi penyerapan timbal (Pb) pada karbon aktif kulit singkong dilakukan dengan uji perbedaan dua parameter rata-rata menggunakan Uji-t sampel independent pada taraf uji 5%. Apabila data tidak berdistribusi normal dilakukan perbandingan data dengan metode statistik non-parametrik menggunakan Uji Mann-Whitney (Kadir, 2015).

BAB IV

4.1 Preparasi Kulit Singkong

Kulit singkong dikumpulkan dari limbah pasar setempat. Kulit singkong yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif merupakan kulit bagian dalam yang berwarna putih. Karakteristik fisik dari kulit singkong ini berwarna putih pucat dan mengeluarkan bau khas singkong. Kulit singkong yang sudah dikupas terlebih dahulu dibersihkan dari kotoran dan tanah yang menempel serta dipisahkan dari kulit arinya yaitu dengan cara dicuci. Sejumlah kulit singkong yang sudah bersih dan diambil kulit bagian dalamnya kemudian dicacah menggunakan pisau di atas telenan dengan ukuran kira-kira 10 x 10 mm. Berikut ini **Gambar 4.1** proses pembersihan kulit singkong dan **Gambar 4.2** proses pencacahan kulit singkong.



Gambar 4.1 Proses Pencucian Kulit Singkong



Gambar 4.2 Pencacahan Kulit Singkong

Kulit singkong yang sudah dibersihkan dan dicacah kecil-kecil kemudian masuk pada proses dehidrasi yaitu untuk menghilangkan kadar air pada kulit singkong. Proses dehidrasi dilakukan dengan cara menjemur kulit singkong dibawah sinar matahari selama 2 hari sampai kulit menjadi kering (Deviyanti et al., 2014). Berikut **Gambar 4.3** proses pengeringan kulit singkong.



Gambar 4.3 Proses Pengeringan Kulit Singkong

Kulit singkong yang telah kering menyusut secara volume dan berat. Hal ini dikarenakan panas dari matahari menyebabkan terlepasnya kandungan air pada kulit singkong sehingga terjadi penyusutan dan penurunan berat kering. Rendahnya kadar air akan memperpanjang daya penyimpanan bahan karena reaksi enzimatik dapat terhentikan sehingga mencegah timbulnya mikroorganisme (Hartini, 2014). Penyusutan yang terjadi dari kulit singkong yang telah dijemur sekitar 50% dari berat basahanya. Setelah kering, kulit singkong ditimbang beberapa gram sebagai sampel bahan.

Pembuatan karbon aktif dilakukan sebanyak 2 kali. Pada pembuatan pertama, kulit singkong kering ditimbang sebanyak 66,1048 gram menggunakan neraca analitik. Berat cawan sebesar 98,9726 gram. Kemudian kulit singkong dioven pada suhu 120⁰C selama 3 jam untuk menghilangkan sisa kadar airnya. Suhu oven dan lama pengovenan menyesuaikan penelitian sebelumnya dari Deviyanti et al. (2014). Setelah itu kulit singkong dikeluarkan dari oven dan didinginkan selama 15 menit lalu ditimbang. Berat kulit singkong dalam cawan setelah oven sebesar 157,5544 gram. Kadar air yang terlepas dari proses pengovenan ini sebesar 11,38%. Pada pembuatan kedua, kulit singkong kering ditimbang sebanyak 50,0322 gram menggunakan neraca analitik. Berat cawan sebesar 99,0536 gram. Kemudian kulit singkong dioven selama 3 jam pada suhu 120⁰C untuk menghilangkan sisa kadar airnya. berat kulit singkong dalam cawan setelah pengovenan sebesar 147,5016 gram. Kadar air yang terlepas dari proses pengovenan sebesar 3,2%. Dari hasil tersebut

terdapat perbedaan kadar air pada kulit singkong kering pada pembuatan kedua. Hal ini dapat dipengaruhi oleh proses penjemuran kulit singkong yang kurang maksimal sehingga kadar air yang tersisa pada kulit singkong pertama lebih besar. Hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Hasil Pengukuran Kadar Air Kulit Singkong Kering

Pengukuran	Berat cawan kosong (g)	Berat sampel (g)	Berat setelah oven (g)	Kadar air(%)
1	98,9726	66,1048	157,5544	11,38
2	99,0536	50,0322	147,5016	3,2

Sumber: Data Primer, 2019

4.2 Karbonisasi Kulit Singkong

Kulit singkong yang telah dikeringkan dalam oven selanjutnya dikarbonisasi menggunakan furnace agar minim dengan kontak udara. Karbonisasi merupakan proses pembakaran tidak sempurna pada bahan organik dimana zat-zat volatil akan terlepas dan dihasilkan karbon murni (Hartini, 2014). Karbonisasi bertujuan untuk menguraikan senyawa hidrokarbon seperti selulosa dan hemiselulosa agar menjadi karbon murni. Penelitian Ilaboya (2013) mengenai performa karbon aktif dari kulit singkong untuk mereduksi air limbah menggunakan suhu karbonisasi sebesar 350⁰C selama 30 - 60 menit. Deviyanti et al. (2014) dalam penelitiannya mengenai kapasitas adsorpsi karbon aktif dari kulit singkong juga menggunakan suhu karbonisasi sebesar 350⁰C selama 40 menit. Pada suhu tersebut kulit singkong telah terdekomposisi menghasilkan karbon murni sehingga penelitian ini menggunakan suhu karbonisasi sebesar 350⁰C selama 60 menit.

Proses karbonisasi akan mendekomposisi bahan organik yang ada pada kulit singkong secara bertahap. Pada suhu sekitar 105°C - 170°C terjadi proses dehidrasi yaitu penguapan untuk menghilangkan kandungan air yang tersisa pada kulit singkong. Pada suhu sekitar 170°C - 275°C terjadi penguapan unsur-unsur bukan karbon yang dikeluarkan dalam bentuk gas seperti CO_2 , CO , H_2 dan lain sebagainya. Kulit singkong menjadi arang secara perlahan-lahan dan pada suhu diatas 275°C terjadi proses dekomposisi selulosa sehingga

menghasilkan karbon murni (Hartini, 2014). Berikut **Gambar 4.4** proses karbonisasi kulit singkong.



Gambar 4.4 Proses Karbonisasi Kulit Singkong

Setelah proses karbonisasi selesai, arang kulit singkong dikeluarkan dan didiamkan selama 15 menit untuk mendinginkan dan menstabilkan beratnya.. Arang kulit singkong yang sudah dingin ditimbang menggunakan neraca analitik. Pada pembuatan arang pertama, berat arang dan cawan yang dihasilkan sebesar 127,7404 gram dari berat sebelum karbonisasi sebesar 157,5544 gram. Berat cawan sebesar 98,9726 gram. Rendemen atau kadar arang dihitung menggunakan rumus berikut:

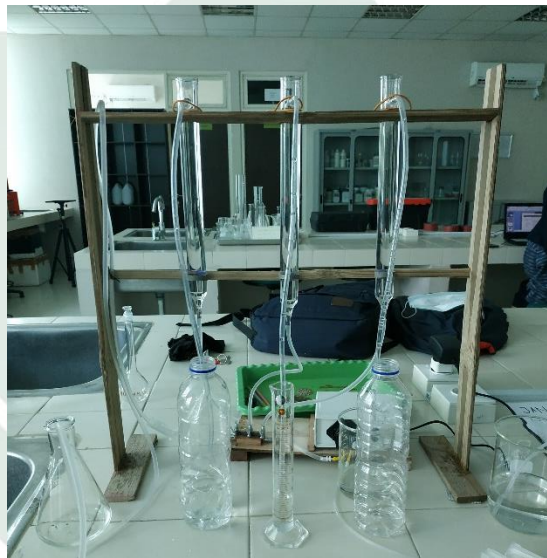
$$\begin{aligned}\text{Kadar arang (\%)} &= \frac{b}{a} \cdot 100\% \\ &= \frac{(127,7404 \text{ g} - 98,9726 \text{ g})}{(157,5544 \text{ g} - 98,9726 \text{ g})} \cdot 100\% \\ &= 49,1\%\end{aligned}$$

Pada pembuatan arang kedua, berat arang dan cawan yang dihasilkan sebesar 124,4744 gram dari berat sebelum karbonisasi sebesar 147,5016 gram. Berat cawan sebesar 99,0536 gram. Rendemen atau kadar arang dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\begin{aligned}\text{Kadar arang (\%)} &= \frac{b}{a} \cdot 100\% \\ &= \frac{(124,4744 \text{ g} - 99,0536 \text{ g})}{(147,5016 \text{ g} - 99,0536 \text{ g})} \cdot 100\% \\ &= 52,47\%\end{aligned}$$

4.5 Preparasi Reaktor

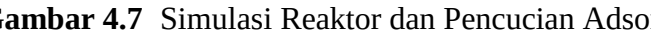
Pada tahap preparasi reaktor yang diperhatikan adalah mengatur laju alir masing – masing kolom, menyiapkan adsorben karbon aktif, dan simulasi reaktor. Untuk membagi laju alir pompa kedalam kolom disetting menggunakan kran air dengan 3 cabang dan 1 pengatur laju alir sisa dari pompa, lalu dialiri dengan aquades. Pompa peristaltik di setting dengan skala paling kecil. Fungsi dari pengatur laju alir adalah mengurangi kelebihan laju alir yang dilewatkan ke dalam kolom adsorpsi.



Gambar 4.6 Preparasi Reaktor

Variasi laju alir yang digunakan pada penelitian ini adalah 5 mL/menit dan 15 mL/menit. Dengan beda laju alir yang signifikan diharapkan mampu memberikan hasil dengan perbedaan yang signifikan pula. Utama, (2015) dalam penelitiannya menyatakan bahwa laju alir mempengaruhi proses adsorpsi yaitu nilai uptake polutan akan berkurang seiring dengan peningkatan laju alir limbah dalam kolom. Laju alir kolom disetting menggunakan gelas ukur dan stopwatch. Laju alir diukur dari outlet kolom yang ditumpahkan kedalam gelas ukur dalam waktu satu menit. Volume air yang keluar dibaca menggunakan garis ukuran yang terdapat pada gelas ukur. Pengukuran dilakukan berkali-kali untuk mendapatkan settingan yang akurat.

es yang pertama keluar dari kolom berwarna kuning, kemudian air berwarna putih merupakan kotoran yang terdapat pada permukaan karbon aktif. Untuk menggunakan karbon aktif sebagai adsorben harus terlebih dahulu dibersihkan karena akibat pembakaran yang menempel pada karbon aktif. Setelah proses pencucian selesai, proses pencucian dihentikan dan sisa aquades dalam kolom dikeluarkan. Kemudian dilanjutkan kembali menggunakan sampel air limbah. Berikut Gambar 4.7 mengenai simulasi penggunaan karbon aktif.



4.6 Pembuatan Limbah Timbal Artifisial

Air limbah yang digunakan dalam penelitian ini merupakan air limbah artifisial. Air limbah dibuat dengan melarutkan serbuk $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ menggunakan aquades. Pembuatan air limbah timbal artifisial ini didasarkan pada perhitungan molaritas dan konsentrasi yang diinginkan. Konsentrasi timbal yang digunakan pada penelitian ini sebesar 5 mg/L. Terlebih dahulu yang harus dibuat adalah larutan induk timbal 1000 mg/L. Berikut perhitungan pembuatan larutan induk timbal 1000 mg/L dari serbuk $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$.

Diket:

- Ar Pb = 207,2
- Mr Pb(NO₃)₂ = 331,22
- Volume = 100 mL
- Kemurnian = 99%

$$\begin{aligned} M &= n / V \\ &= \frac{\text{gr}}{\text{Ar Pb} \cdot V} \\ &= \frac{\text{gr}}{207,2 \text{ L}} \end{aligned}$$

$$\frac{\text{gr}}{L} = 0,0048 \text{ M}$$

Larutan induk timbal yang akan dibuat molaritasnya 0,0048 M.

$$M = \frac{\text{gr}}{\text{Mr Pb(NO}_3)_2} \times \frac{1000}{\text{mL}}$$

$$0,0048 \text{ M} = \frac{\text{gr}}{331,22} \times \frac{1000}{100}$$

$$\begin{aligned} \text{gr} &= \frac{0,0048 \text{ M} \times 331,22}{10} \\ &= 0,1589 \text{ gram} / 0.99 \\ &= 0,1605 \text{ gram Pb(NO}_3)_2 \end{aligned}$$

Jadi jumlah serbuk $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ yang dibutuhkan sebesar 0,1605 gram untuk dilarutkan dengan 100 mL aquades. Setelah itu untuk membuat sampel air limbah timbal 5 mg/L, larutan induk diencerkan lagi menggunakan aquades.

$$\begin{aligned} C_1 \cdot V_1 &= C_2 \cdot V_2 \\ 1000 \text{ ppm} \cdot V_1 &= 5 \text{ ppm} \cdot 1000 \text{ mL} \\ V_1 &= 5 \text{ mL} \end{aligned}$$

Jadi untuk membuat 1 liter limbah timbal 5 mg/L dibutuhkan larutan induk sebanyak 5 mL. Jumlah limbah yang dibutuhkan dalam penelitian sebanyak 10 liter. Kemudian sampel air limbah timbal artifisial diujikan sebagai sampel ABC untuk memastikan kadar timbal dalam air limbah secara pembacaan.

Hasil dari pembacaan sampel ABC sebesar 0,283 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi perbedaan antara perhitungan secara teori dengan pembacaan sebenarnya. Permasalahan ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor salah satunya adalah terjadinya kesalahan pada saat pengenceran atau *human error* sehingga memungkinkan hasilnya tidak sesuai dengan perhitungan.

4.7 Perbedaan Laju Alir Adsorpsi

Data hasil penelitian berupa konsentrasi timbal (Pb) pada limbah artifisial sebelum dan setelah melewati proses adsorpsi dalam kolom. Pada percobaan menggunakan variasi laju alir adsorpsi melewati kolom yang dioperasikan yaitu 15 mL/menit dan 5 mL/menit. Perbedaan laju alir ini diuji dengan parameter tetap berupa *bed depth* yang sama setinggi 15 cm dengan konsentrasi awal limbah yang sama sebesar 0,283 mg/L. Kemudian pengujian sampel air limbah hasil percobaan dilaksanakan di Balai Riset dan Standarisasi Industri.

Tabel 4.5. Data Hasil Pengukuran Konsentrasi Timbal (Pb)

Sampel	Satuan	Hasil Pengukuran Pb	
		Reaktor A	Reaktor B
Co	mg/L	0,283	0,283
C1	mg/L	0,0012	0,002
C2	mg/L	0,0013	0,0012
C3	mg/L	0,0012	0,0012
C4	mg/L	0,0012	0,0012
C5	mg/L	0,0012	0,002
C6	mg/L	0,004	0,004

Sumber: Data Primer, 2019

Reaktor A = *Bed depth* 15 cm, laju alir 15 mL/menit
 Reaktor B = *Bed depth* 15 cm, laju alir 5 mL/menit
 Co = Konsentrasi Awal Limbah (influen)
 C1 = Konsetrasi hasil penyerapan pada jam pertama
 C2 = Konsetrasi hasil penyerapan pada jam kedua
 C3 = Konsetrasi hasil penyerapan pada jam ketiga
 C4 = Konsetrasi hasil penyerapan pada jam keempat
 C5 = Konsetrasi hasil penyerapan pada jam kelima
 C6 = Konsetrasi hasil penyerapan pada jam keenam

Tabel 4.6. Efisiensi Penyerapan Timbal (Pb) pada Variasi Laju Alir Kolom

Jam ke-	Satuan	Penyerapan Pb	
		Reaktor A	Reaktor B
1	%	99,58	99,29
2	%	99,54	99,58
3	%	99,58	99,58
4	%	99,58	99,58
5	%	99,58	99,29
6	%	98,59	98,59
Rata-rata	%	99,41	99,32

Berdasarkan **Tabel 4.6** menunjukkan bahwa efisiensi penyerapan timbal (Pb) oleh reaktor A memiliki rata-rata penyerapan sebesar 99,41% dengan standar deviasi sebesar 0,40. Sedangkan efisiensi penyerapan timbal (Pb) oleh reaktor B memiliki rata-rata penyerapan sebesar 99,32% dengan standar deviasi sebesar 0,38. Pada tingkat kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$), estimasi

Gambar 4.8 Grafik Efisiensi Penyerapan Timbal (Pb)

Gambar 4.8 Grafik Efisiensi Penyerapan Timbal (Pb)

Berdasarkan analisis statistika dengan menggunakan uji Mann-Whitney, hasil pengujian tersebut menunjukkan nilai *Ranks* pada reaktor A = 42,50, lebih besar dibanding dengan nilai *Ranks* pada reaktor B = 35,50 dan menghasilkan $p\text{-value} = 0,53/2 = 0,265 > 0,05$ (**terlampir**), maka H_0 tidak bisa ditolak. Dengan demikian, menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan efisiensi penyerapan timbal (Pb) secara signifikan pada reaktor A dan reaktor B. Selain itu juga dapat dilihat dari nilai U yang mana U_{hitung} yang didapatkan sebesar

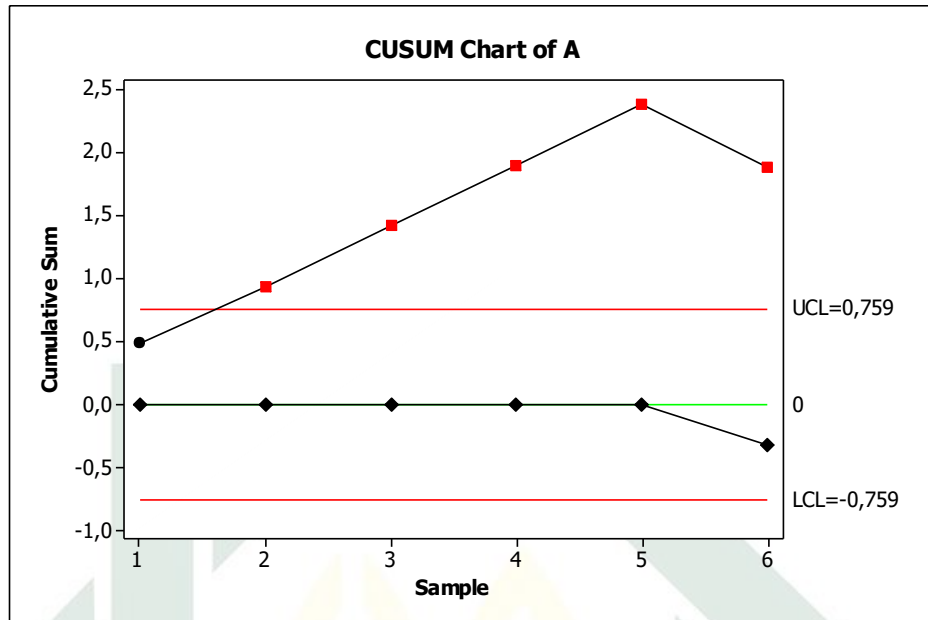
14,5 sedangkan U_{tabel} sebesar 7. Dari nilai U ini dapat diketahui bahwa $U_{\text{hitung}} > U_{\text{tabel}}$ yang menunjukkan kesimpulan sama bahwa tidak terdapat perbedaan efisiensi penyerapan timbal (Pb) secara signifikan atau nyata pada reaktor A dan reaktor B. Hal ini mungkin disebabkan oleh kecilnya konsentrasi Pb dalam limbah yang digunakan dan waktu penyerapan yang kurang panjang.

Reaktor A dan B memiliki tinggi unggun (*bed depth*) yang sama yang diberi perlakuan laju alir berbeda. Reaktor A memiliki laju alir 15 mL/menit, lebih besar dari reaktor B yang memiliki laju alir 5 mL/menit. Pada hasil penelitian ini menunjukkan efisiensi penyerapan timbal (Pb) pada reaktor A sebesar 99,41%, sedangkan efisiensi penyerapan timbal (Pb) pada reaktor B sebesar 99,32%.

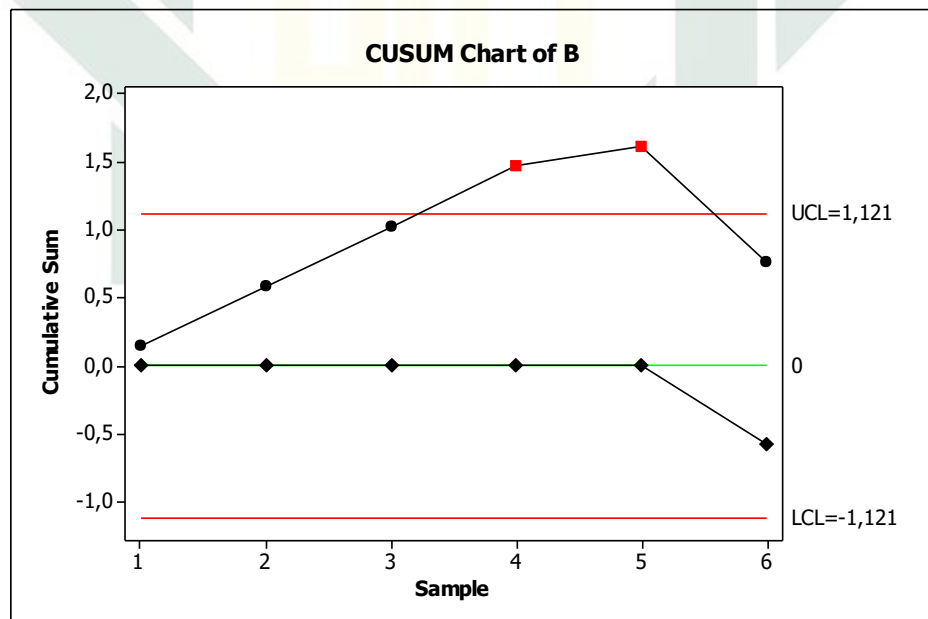
Laju alir merupakan salah satu faktor yang memengaruhi proses adsorpsi dalam kolom. Utama (2015) menyatakan dalam penelitiannya bahwa peningkatan laju alir adsorpsi menyebabkan terjadinya disperse aksial (*channeling*), yaitu munculnya gelembung-gelembung udara yang terjebak diantara adsorben sehingga beberapa bagian permukaan adsorben tidak berkontak dengan ion Pb. Selain itu, peningkatan *flow rate* atau laju alir adsorpsi juga dapat mengurangi waktu layan bed hingga mencapai titik *breakthrough* (Taty-costodes et al., 2005). Sehingga pengurangan waktu layan pada bed dapat memperpendek masa pakai adsorben dan lebih cepat jenuh, dikarenakan peningkatan laju alir ini mengurangi resistensi transfer massa melewati kolom adsorpsi (Lv et al., 2008).

Penelitian ini dilakukan selama 6 jam dan pada pengambilan sampel jam terakhir hasil penyerapan timbal (Pb) masih diatas 90% sehingga belum mencapai titik *breakthrough*, yaitu waktu yang dibutuhkan efluen untuk mengandung ion timbal (Pb) sebanyak lebih dari 50% dari konsentrasi influennya (Sylvia et al., 2017). Hal ini menunjukkan bahwa bed adsorben masih menyediakan ruang yang sangat banyak untuk penyerapan ion Pb dalam kolom adsorpsi. Tersedianya bed yang masih banyak inilah yang menyebabkan hasil penyerapan Pb dalam kolom tidak berbeda secara signifikan. Rata-rata penyerapan timbal (Pb) pada reaktor A selama 6 jam percobaan sebesar

99,41%. Sedangkan pada reaktor B, rata-rata penyerapan timbal (Pb) sebesar 99,32%.



Gambar 4.9 Grafik Cumulative Sum A



Gambar 4.10 Grafik Cumulative Sum B

Reaktor A memiliki laju alir adsorpsi lebih tinggi dibanding dengan reaktor B, sehingga memungkinkan pada reaktor A terjadi *channeling* atau dispersi aksial yaitu terdapat gelembung-gelembung udara yang terjebak diantara

Berbeda dengan **Gambar 4.10** yang menunjukkan grafik cumulative sum untuk reaktor B yang mana pengaruh penyerapan yang terjadi lebih lambat. Hal ini disebabkan karena pada reaktor B laju alir adsorpsi berjalan lebih lambat memperpanjang masa pakai dari adsorben di dalam kolom adsorpsi.

Data hasil penelitian berupa konsentrasi timbal (Pb) pada limbah artifisial sebelum dan setelah melewati proses adsorpsi dalam kolom. Pada percobaan menggunakan variasi *bed depth* adsorben dalam kolom yang dioperasikan yaitu setinggi 15 cm dan 10 cm. Perbedaan *bed depth* adsorben ini diuji dengan parameter tetap berupa laju alir yang sama sebesar 5 mL/menit dengan konsentrasi awal limbah yang sama sebesar 0,283 mg/L. Kemudian pengujian sampel air limbah hasil percobaan dilaksanakan di Balai Riset dan Standarisasi Industri.

Sampel	Satuan	Hasil Pengukuran Pb	
		Reaktor B	Reaktor C
Co	mg/L	0,283	0,283
C1	mg/L	0,002	0,005
C2	mg/L	0,0012	0,003
C3	mg/L	0,0012	0,0012
C4	mg/L	0,0012	0,0012
C5	mg/L	0,002	0,0012
C6	mg/L	0,004	0,007

Reaktor B = *Bed depth* 15 cm, laju alir 5 mL/menit

Reaktor C = *Bed depth* 10 cm, laju alir 5 mL/menit

Co = Konsentrasi Awal Limbah (influen)

C1 = Konsetrasi hasil penyerapan pada jam pertama

C2 = Konsetrasi hasil penyerapan pada jam kedua

C3 = Konsetrasi hasil penyerapan pada jam ketiga

C4 = Konsetrasi hasil penyerapan pada jam keempat

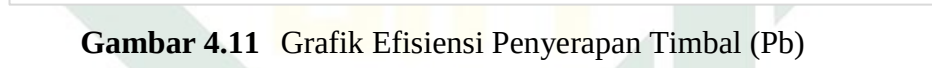
C5 = Konsetrasi hasil penyerapan pada jam kelima

C6 = Konsetrasi hasil penyerapan pada jam keenam

Tabel 4.8. Efisiensi Penyerapan Timbal (Pb) pada Variasi *Bed Depth*

Jam ke-	Satuan	Penyerapan Pb	
		Reaktor B	Reaktor C
1	%	99,29	98,23
2	%	99,58	98,94
3	%	99,58	99,58
4	%	99,58	99,58
5	%	99,29	99,58
6	%	98,59	97,53
Rata-rata	%	99,32	98,90

Berdasarkan **Tabel 4.8** menunjukkan bahwa efisiensi penyerapan timbal (Pb) oleh reaktor B memiliki rata-rata penyerapan sebesar 99,32% dengan standar deviasi sebesar 0,38. Sedangkan efisiensi penyerapan timbal (Pb) oleh



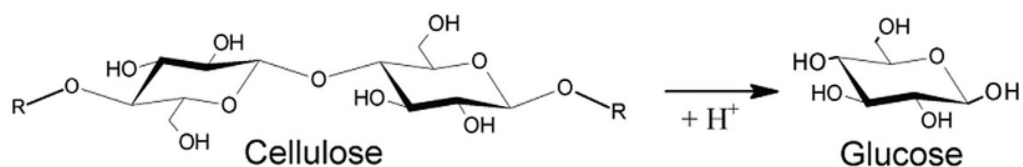
Hal ini dibuktikan oleh analisis statistika sepihak dengan menggunakan uji

35,50 dan menghasilkan $p\text{-value} = 0,549/2 = 0,2745 > 0,05$ (**terlampir**), maka H_0 tidak bisa ditolak. Dengan demikian, menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan efisiensi penyerapan timbal (Pb) secara signifikan pada reaktor B dan reaktor C. Selain itu juga dapat dilihat dari nilai U yang mana U_{hitung} yang didapatkan sebesar 14,5 sedangkan U_{tabel} sebesar 7. Dari nilai U ini dapat diketahui bahwa $U_{hitung} > U_{tabel}$ yang menunjukkan kesimpulan sama bahwa tidak terdapat perbedaan efisiensi penyerapan timbal (Pb) secara signifikan atau nyata pada reaktor B dan reaktor C. Hal ini mungkin disebabkan oleh kecilnya konsentrasi Pb dalam limbah yang digunakan dan waktu penyerapan yang kurang panjang.

4.9 Mekanisme Adsorpsi Timbal pada Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan padatan berpori yang memiliki luas permukaan yang sangat besar yaitu 300 sampai 2000 m²/gram. Luas permukaan yang sangat besar ini disebabkan oleh tingginya pori-pori pada adsorben yang menyebabkan karbon aktif memiliki kemampuan untuk menyerap ion logam (Dewi et al., 2009). Karbon aktif terbuat dari bahan-bahan organik yang mengandung karbon dan dipanaskan pada suhu tinggi. Kulit singkong merupakan salah satu bahan organik yang dapat digunakan sebagai bahan dasar pembuatan karbon aktif dan memiliki kandungan karbon sebesar 59,31% (Deviyanti et al., 2014).

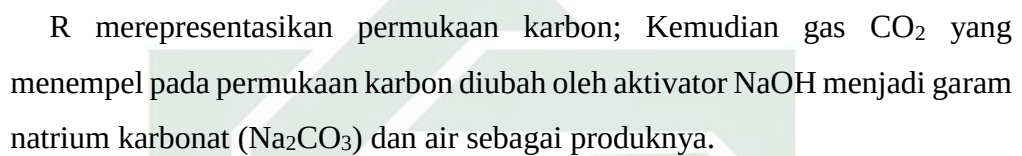
Kulit singkong memiliki potensi cukup baik jika digunakan sebagai adsorben logam berat karena mengandung selulosa non reduksi yang cukup efektif mengikat ion logam (Maulinda dkk., 2015). Molekul selulosa merupakan rantai-rantai D-glukosa. Glukosa merupakan salah satu bentuk karbohidrat paling sederhana (monosakarida) selain fruktosa dan galaktosa. Prinsipnya, sifat pereduksi ditentukan oleh ada tidaknya gugus hidroksil (OH) bebas yang reduktif dan semua bentuk monosakarida mampu mereduksi larutan tembaga (II) hidroksida. Agar dapat digunakan untuk mereduksi timbal (Pb), polisakarida (karbohidrat) pada kulit singkong harus terlebih dahulu dipecah menjadi bentuk monosakarida melalui hidrolisis (Pondja et al., 2017). Pemecahan selulosa kompleks menjadi molekul monosakarida dilakukan dengan karbonisasi. Pada proses karbonisasi, serat karbon kompleks pada kulit singkong terurai menjadi senyawa karbon sederhana.



Gambar 4.12 Pemecahan Selulosa Menjadi Glukosa

Pada proses karbonasi akan menghasilkan tiga komponen pokok yaitu karbon, tar, dan gas (CO_2 , CO , CH_4 , H_2 , dll). Tahap karbonasi ini akan

Reaksi penghilangan CO₂

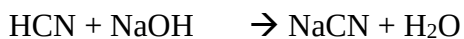


R merepresentasikan permukaan karbon; Kemudian gas CO yang menempel pada permukaan karbon diubah oleh aktivator NaOH menjadi garam natrium format (HCOONa) dan air sebagai produknya.

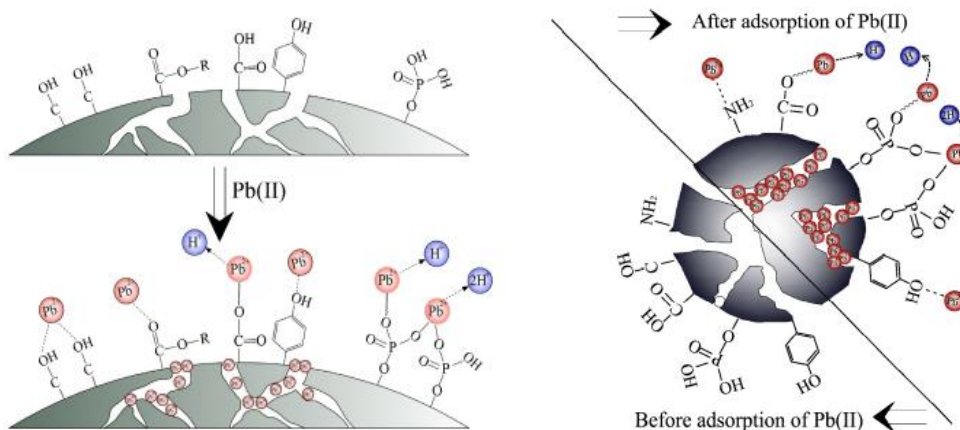
$$\text{RCO} + \text{NaOH} \rightarrow \text{R} + \text{HCOONa} + \text{H}_2\text{O}$$

R merepresentasikan permukaan karbon; Setelah proses karbonisasi selesai, gas metan (CH_4) akan diubah menjadi gas CO oleh oksigen. Kemudian gas CO yang menempel pada permukaan karbon diubah oleh aktivator NaOH menjadi garam natrium format (HCOONa) dan air sebagai produknya.

Reaksi penghilangan HCN



Sifat adsorpsi dari karbon aktif dipengaruhi oleh gugus-gugus fungsinya, dimana unsur oksigen yang paling dominan untuk membentuk gugus fungsional seperti karbonil dan hidroksil. Biasanya karbon aktif terdiri dari unsur karbon bebas dan masing-masing memiliki ikatan kovalen, dengan demikian permukaan karbon aktif memiliki sifat non polar. Selain komposisi dan polaritasnya, struktur pori juga merupakan faktor penting karena berhubungan dengan luas permukaan, karena semakin kecil pori-pori karbon aktif maka luas permukaannya semakin besar. Daya adsorpsi dapat ditentukan dengan luas permukaan partikel dan kemampuan adsorpsinya akan semakin baik jika di aktivasi dengan menggunakan bahan kimia ataupun melalui pemanasan dengan suhu tinggi (Arif, 2014).

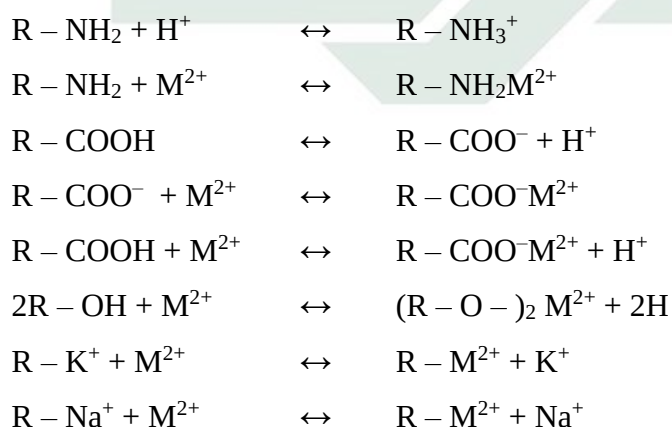


Gambar 4.13 Mekanisme Adsorpsi Pb(II) oleh Karbon Aktif

Sumber: (Huang et al., 2014b) dan (Huang et al., 2014a)

Interaksi yang terjadi antara adsorben dan ion logam berat sangat kompleks. Secara garis besar, mekanisme penyerapan timbal (Pb) oleh karbon aktif yang mengontrol laju adsorpsi terbagi menjadi dua, yaitu adsorpsi secara fisik dan adsorpsi secara kimiawi (*chemisorption*). Mekanisme adsorpsi timbal (Pb) oleh karbon aktif terjadi melalui tiga tahapan. Tahap yang pertama diawali dengan adanya proses pertukaran ion. Pada proses pertukaran ion tersebut, $-\text{COOH}$ berubah menjadi $-\text{COO}^-$ sehingga terjadi pertukaran antara H dari hidroksil aktivator pada permukaan karbon aktif dengan ion timbal (Pb) (Song et al., 2017). Pertukaran ini menyebabkan ion-ion timbal (Pb) melekat di permukaan bagian luar karbon aktif secara cepat dan sesaat. Tahap kedua menjelaskan terjadinya adsorpsi secara bertahap yaitu adanya difusi ion timbal (Pb) ke dalam pori-pori karbon aktif, yaitu adanya gugus fungsi $-\text{OH}$ atau $\text{C}-\text{O}$ yang memberikan situs aktif pada permukaan adsorben. Difusi ion ini membatasi laju adsorpsi, karena setelah bahan yang diadsorpsi membentuk lapisan tebal, laju difusi akan menurun. Tahap ketiga adalah sebagai akibat dari penurunan volume pori atau terjadinya peningkatan tolakan secara elektrostatik pada permukaan karbon aktif (Huang et al., 2014a).

Menurut hasil penelitian Song et al. (2017), mekanisme adsorpsi timbal (Pb) yang terjadi umumnya adalah pertukaran ion kimia kombinasi dengan adsorpsi secara fisika. Berikut detail mekanisme adsorpsi timbal (Pb) yang terjadi.



Dimana R merepresentasikan adsorben; $-NH_2$, $-COOH$, $-OH$ menunjukkan kelompok permukaan adsorben; M^{2+} merupakan ion logam

Seiring dengan meningkatnya tingkat kerusakan dan pencemaran lingkungan, merupakan kewajiban manusia sebagai khalifah di muka bumi untuk melakukan upaya pengelolaan lingkungan. Karena pencemaran di perairan juga tidak terlepas dari aktivitas manusia. Sebagaimana firman Allah SWT dalam Q.S Ar-Ruum ayat 41 yang berbunyi:

Artinya:

Hasil penelitian ini memberikan petunjuk bahwasannya Allah SWT menciptakan segala sesuatu yang ada di muka bumi ini memiliki manfaat masing-masing. Sebagai makhluk Allah SWT hendaknya kita bersyukur atas segala manfaat yang telah dianugerahkan oleh Allah SWT kepada kita dengan terus menjaga lingkungan dan terus berupaya untuk memperbaiki segala sesuatu yang ada agar menjadi lebih baik. Hal demikian merupakan bagian dari amal shaleh yang bisa kita lakukan. Siapapun orang yang melakukan amal shaleh akan dibalas dengan pahala yang berlipat ganda oleh Allah SWT. Sebagaimana firman Allah SWT dalam Q.S An-Nahl ayat 97 yang berbunyi:

مَنْ عَمِلَ صَالِحًا مِنْ ذَكَرٍ أَوْ أَنْتَىٰ وَهُوَ مُؤْمِنٌ فَلَنُحْيِيَنَّاهُ حَيَاةً طَيِّبَةً وَلَنَجْزِيَنَّهُمْ أَجْرَهُمْ بِأَحْسَنِ مَا كَانُوا يَعْمَلُونَ

Barangsiapa yang mengerjakan amal saleh, baik laki-laki maupun perempuan dalam keadaan beriman, maka sesungguhnya akan Kami berikan kepadanya kehidupan yang baik dan sesungguhnya akan Kami beri balasan kepada mereka dengan pahala yang lebih baik dari apa yang telah mereka kerjakan.

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Karbon aktif dari limbah kulit singkong memiliki kemampuan adsorpsi terhadap logam timbal (Pb) dalam air limbah sebesar 97,53 – 99,58 %.
 - Rata-rata efisiensi penyerapan logam timbal (Pb) pada reaktor A (*bed depth* 15 cm dan laju alir 15 mL/menit) yaitu sebesar 99,41% dengan standar deviasi sebesar 0,40.
 - Rata-rata efisiensi penyerapan logam timbal (Pb) pada reaktor B (*bed depth* 15 cm dan laju alir 5 mL/menit) yaitu sebesar 99,32% dengan standar deviasi sebesar 0,38.
 - Rata-rata efisiensi penyerapan logam timbal (Pb) pada reaktor C (*bed depth* 10 cm dan laju alir 5 mL/menit) yaitu sebesar 98,90% dengan standar deviasi sebesar 0,86.
2. Kemampuan adsorpsi timbal (Pb) oleh karbon aktif pada variasi laju alir adsorpsi tidak berbeda secara signifikan.
3. Kemampuan adsorpsi timbal (Pb) oleh karbon aktif pada variasi *bed depth* adsorben tidak berbeda secara signifikan.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, saran yang direkomendasikan untuk penelitian selanjutnya yaitu:

1. Aktivasi karbon aktif dilakukan dengan bahan kimia lain seperti asam klorida (HCl), asam nitrat (HNO₃), asam phosphate (H₃PO₄), kalsium phosphat (Ca(PO₄)₂), kalsium hidroksida (Ca(OH)₂), kalsium klorida (CaCl₂), kalium hidroksida (KOH), natrium sulfat (Na₂SO₄), zink klorida (ZnCl₂) atau natrium karbonat (Na₂CO₃) untuk mendapatkan aktivator yang lebih baik.
2. Percobaan dilakukan dengan polutan limbah yang berbeda seperti krom, cadmium, nikel dan logam berat lainnya untuk mengetahui potensi serapan logam berat lainnya.
3. Jika tetap menggunakan polutan timbal, sebaiknya dilakukan variasi terhadap konsentrasi limbah.
4. Percobaan dilakukan dengan waktu penelitian yang lebih lama agar mencapai kurva *breakthrough* dan mampu mengetahui kapasitas adsorpsi karbon aktif dengan sistem kontinyu.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhani, Rosihan, dan Husaini. 2017. *Logam Berat Sekitar Manusia*. Lambung Mangkurat University Press, Banjarmasin.
- Arif, A. Rahman. 2014. Adsorpsi Karbon Aktif dari Tempurung Kluwak (Pangium Edule) Terhadap Penurunan Fenol. *Skripsi*. UIN Alauddin Makassar.
- Astuti, Widi, dan Bayu Kurniawan. 2015. Adsorpsi Pb^{2+} dalam Limbah Cair Artifisial Menggunakan Sstem Adsorpsi Kolom dengan Bahan Isian Abu Layang Batubara Serbuk dan Granular. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*. 4(1): 27–33.
- Basak, G, V. Lakshmi, P. Chandran, and N. Das. 2014. Removal of Zn(II) from Electroplating Effluent Using Yeast Biofilm Formed on Gravels: Batch and Column Studies. *Environmental Heath Science and Engineering*. 12(8): 1–11.
- Deviyanti, Sumiati Side, dan Netti Herawati. 2014. Kapasitas Adsorpsi Arang Aktif Kulit Singkong terhadap Ion Logam (Pb^{2+}). *Jurnal Chemical*. 15(2) 58–65.
- Dewi, M. Sylviana, Eko B. Susatyo, dan Endang Susilaningsih. 2015. Pemanfaatan Arang Aktif Kulit Pisang Raja Untuk Menurunkan Kadar Ion Pb(II). *Indonesian Journal of Chemical Science*. 4(3): 228–233.
- Dewi, T. Kurnia, Arif Nurrahman, dan Edwin Permana. 2009. Pembuatan Karbon Aktif dari Kulit Ubi Kayu (*Mannihot esculenta*). *Jurnal Teknik Kimia*. 16(1) 24–30.
- Hartini, Lilik. 2014. Karakterisasi Karbon Aktif Teraktivasi NaCl dari Ampas Tahu. *Skripsi*. UIN Maulana Malik Ibrahim.
- Huang, Yang, Shunxing Li, Jianhua Chen, Xueliang Zhang, and Yiping Chen. 2014a. Adsorption of Pb(II) on mesoporous activated carbons fabricated from water hyacinth using H_3PO_4 activation: Adsorption capacity, kinetic and isotherm studies. *Applied Surface Science*.
- Huang, Yang, Shunxing Li, and Jianhua Chen. 2014b. Fabrication and characterization of mesoporous activated carbon from *Lemna minor* using one-step H_3PO_4 activation for Pb(II) removal. *Applied Surface Science*.
- Ikawati, dan Melati. 2008. Pembuatan Karbon Aktif dari Limbah Kulit Singkong UKM Tapioka Kabupaten Pati. *Teknik Kimia*. 1–8.
- Ilabaya, Rudolph. 2013. Performance of Activated Carbon from Cassava Peels for the Treatment of Effluent Wastewater. *Iranica Journal of Energy and Environment*. 4(4): 361–375.

- Kadir, 2015. *Statistika Terapan: Konsep, Contoh dan Analisis Data dengan Program SPSS/Lisrel dalam Penelitian, Edisi Kedua*. Rajawali Pers, Jakarta.
- Kementrian Perindustrian RI. 2018. *Ekspor Naik, Produksi Singkong Bertambah*. Diakses pada 5 Maret 2019. <<http://kemenperin.go.id>>
- Kurniawan, Bayu. 2015. Adsorpsi Pb(II) dalam Limbah Cair Artifisial Menggunakan Sistem Adsorpsi Kolom dengan Bahan Isian Abu Layang Batubara. *Skripsi*. Universitas Negeri Semarang.
- Lazulva, Sari, dan Wiwit Widia. 2013. Uji Kualitas Karbon Aktif dari Kulit Ubi Kayu (*Manihot Escuenta Crantz*). *Jurnal Photon*. 3(2): 33–37.
- Lv, Lu, Yan Zhang, Kean Wang, Ajay K. Ray, and X.S Zhao. 2008. Modeling of the Adsorption Breakthrough Behaviors of Pb 2 + in a Fixed Bed of ETS-10 Adsorbent. *Journal of Colloid and Interface Science*. 325, 57–63.
- Maulinda, Leni, Nasrul ZA, dan Dara N. Sari. 2015. Pemanfaatan Kulit Singkong sebagai Bahan Baku Karbon Aktif. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*. 4(2): 11–19.
- Oghenejoboh, K. Moses, Smith O. Otuagoma, and Evuensiri O. Ohimor. 2016. Application of Cassava Peels Activated Carbon in the Treatment of Oil Refinery Wastewater - A Comparative Analysis. *Journal of Ecological Engineering*. 17(2): 52–58.
- Pap, S., J. Radonic, S. Trifunovic, D. Adamovic, I. Mihajlovic, Mirjana V. Miloradov, and Maja T. Sekulic. 2016. Evaluation of the Adsorption Potential of Eco-Friendly Activated Carbon Prepared from Cherry Kernels for the Removal of Pb²⁺, Cd²⁺ and Ni²⁺ from Aqueous Wastes. *Journal of Environmental Management*. 1–10.
- Pondja, Estevao A.J., Kenneth M. Persson, and Nelson P. Matsinhe. 2017. The Potential Use of Cassava Peel for Treatment of Mine Water in Mozambique. *Journal of Environmental Protection*. 8: 277–289.
- Rosalina, Tun Tedja, Etty Riani, dan Sri Sugiarti. 2016. Pengaruh Aktivasi Fisika dan Kimia Arang Aktif Buah Bintaro Terhadap Daya Serap Logam Berat Krom. *Biopropal Industri*. 7(1): 35–45.
- Satriani, Dewi, Purnama Ningsih, dan Ratman. 2016. Serbuk dari Limbah Cangkang Telur Ayam RAS Sebagai Adsorben Terhadap Logam Timbal (Pb). *Jurnal Akademika Kimia*. 5(3): 103–108.
- Schwantes, D., Alfonso C.G., Gustavo F.C., Marcelo A.C., Douglas C.D., Cesar R.T., Allison J.M., and Eduardo A.V. 2016. Chemical Modifications of Cassava Peel as Adsorbent Material for Metals Ions from Wastewater. *Journal of Chemistry*.
- Somerville, R., 2007. *Low-Cost Adsorption Materials for Removal of Metals From*

Contaminated Water. Kth School of Architecture and the Built Environment, Stockholm.

- Song, M., Y. Wei, S. Cai, L. Yu, Z. Zhong, and B. Jin. 2017. Study on Adsorption Properties and Mechanism of Pb²⁺ with Different Carbon Based Adsorbents. *Science of the Total Environment*
- Sudaryanto, Y., S.B. Hartono, W. Irawaty, H. Hindarso, and S. Ismadji, 2006. High Surface Area Activated Carbon Prepared from Cassava Peel by Chemical Activation. *Bioresource Technology*. 97: 734–739.
- Supriadi, 2016. Analisis Kadar Logam Berat Timbal (Pb), Kadmium (Cd) dan Merkuri (Hg) pada Air Laut di Wisata Pantai Akkarena dan Tanjung Bayang Makassar. *Skripsi*. UIN Alauddin Makassar.
- Sutamihardja, 2006. *Toksikologi Lingkungan*. Buku Ajar Program Studi Ilmu Lingkungan. Universitas Indonesia, Jakarta.
- Sylvia, Novi, Meriatna, Lukman Hakim, Fitriani, dan Anisma Fahmi. 2017. Kinerja Kolom Adsorpsi Pada Penyerapan Timbal (Pb²⁺) dalam Limbah Artifisial Menggunakan Cangkang Kernel Sawit. *Jurnal Integrasi Proses* 6(4): 185–190.
- Taty-costodes, V.C., H. Fauduet, C. Porte, and Y. Ho. 2005. Removal of Lead (II) Ions from Synthetic and Real Effluents Using Immobilized Pinus Sylvestris Sawdust: Adsorption on a Fixed-bed Column. *Journal of Hazardous Materials*. 123: 135–144.
- Utama, T. Taruna. 2015. Biosorpsi Krom Heksavalen Menggunakan Mikroalga Amobil dalam Sistem Kontinyu. *Tesis*. Institut Teknologi Bandung.
- Utomo, Suratmin. 2014. Pengaruh Waktu Aktivasi dan Ukuran Partikel Terhadap Daya Serap Karbon Aktif dari Kulit Singkong dengan Aktivator NaOH.
- Yusuf, M. Ashari. 2013. Adsorpsi Ion Cr (IV) oleh Arang Aktif Sekam Padi. *Journal of Chemistry*. 2: 84–88.
- Zakir, M., M. Raya, A. Karim, dan Santi. 2012. Pemanfaatan Energi Gelombang Ultrasonik dalam Adsorpsi Ion Logam Berat Cu(II) pada Biosorben Karbon Aktif dari Sekam Padi. *Indonesia Chimica Acta*. 5: 1–9.