

**PEMANFAATAN KULIT BUAH COKELAT UNGU M45
(*Theobroma cacao*) SEBAGAI ADSORBEN LOGAM BERAT
Fe(III) DAN Cu(II) PADA LIMBAH CAIR LABORATORIUM**

*THE UTILITY OF VIOLET COCOA PODs HUSK M45
(Theobroma cacao) AS THE ADSORBENT FOR Fe AND Cu
OF HEAVY METAL IONS IN THE LABORATORY LIQUID
WASTE*

PABBENTENG

P032171205



**SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2019



**PEMANFAATAN KULIT BUAH COKELAT UNGU M45
(*Theobroma cacao*) SEBAGAI ADSORBEN LOGAM
BERAT Fe(III) DAN Cu(II) PADA LIMBAH CAIR
LABORATORIUM**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi

Pengelolaan Lingkungan Hidup

Disusun dan diajukan oleh

PABBENTENG

kepada

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2019



TESIS

TESIS

PEMANFAATAN KULIT BUAH COKELAT UNGU M45 (*Theobroma cacao*) SEBAGAI ADSORBEN LOGAM BERAT Fe(III) DAN Cu(II) PADA LIMBAH CAIR LABORATORIUM

Disusun dan diajukan oleh

PABBENTENG

Nomor Pokok P032171205

telah dipertahankan didepan Panitia Ujian Tesis

pada tanggal 5 Agustus 2019

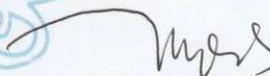
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui

Komisi Penasehat,

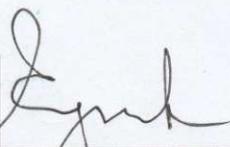


Dr. Ir. Muhammad Farid Samawi, M.Si
Ketua



Dr. Maming, M.Si
Anggota

Ketua Program Studi
Pengelolaan Lingkungan Hidup,



Eymal B. Demmalino, M.Si

Dekan Sekolah Pascasarjana
Universitas Hasanuddin.



Prof. Dr. H. Jamaluddin Jompa, M.Sc



PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Pabbenteng
Nomor mahasiswa : P032171205
Program studi : Pengelolaan Lingkungan Hidup

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, Agustus 2019
Yang menyatakan



Pabbenteng



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, hanya atas karunianya dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan hasil penelitian ini.

Meningkatnya kesadaran masyarakat akan pentingnya pendidikan, sehingga jumlah mahasiswa tiap tahun meningkat dan berdampak pada meningkatnya volume limbah cair laboratorium dalam kegiatan praktikum di laboratorium yang berpotensi mencemari lingkungan.

Penulis bermaksud untuk menawarkan sebuah desain untuk pengelolaan limbah cair laboratorium yang mengandung bahan berbahaya dan beracun (B3) khususnya logam berat besi (Fe) dan tembaga (Cu) dengan menggunakan kulit buah cokelat ungu M45 (*Theobroma cocoa*) sebagai adsorben. Banyak kendala yang dihadapi dalam penelitian ini, baik proses penelitian maupun penyusunan tesis ini, berkat bantuan dari berbagai pihak sehingga dapat terselesaikan.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Orang tua tercinta yang selalu memberi semangat dan dorongan yang penulis tak mungkin membalasnya.



2. Dr. Ir. Muh. Farid Samawi, M.Si sebagai ketua penasehat, dan Dr. Maming, M.Si sebagai anggota penasehat .Terima kasih atas bantuan dan bimbingannya dari proposal dan hasil penelitian.
3. Seluruh staf pengajar dan pegawai akademik Program Pasca Sarjana Universitas Hasanuddin Makassar.
4. Para keluarga, istri, anak dan saudara.
5. Teman-teman PLH angkatan 2017 yang banyak membantu.
6. Teman-teman di Politeknik Negeri Ujung Pandang, Ketua jurusan, Sekretaris jurusan, Kepala laboratorium, saudara Sakius Ruso,S.T., M.Si., Leny Irawati, S.Si., M.Si., dan Syamsu Alam,S.T.,M.Ling.

Semua pihak yang tidak sempat penulis sebutkan satu persatu yang telah memberikan bantuan dan partisipasinya dalam penyelesaian tesis ini.

Akhirnya penulis memanjatkan doa kepada Allah SWT semoga segala bantuan yang diberikan kepada penulis baik berupa moril maupun meteril mendapat balasan yang berlipat ganda dari Allah SWT, Aamiin..

Makassar, Agustus 2019



Penulis



DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN PENGANTAR.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS.....	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
ABSTRAK.....	xiii
ABSTRACT	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	5
C. Tujuan Penelitian	5
D. Manfaat Penelitian.....	6
E. Ruang Lingkup Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
A. Kakao.....	7
B. Adsorpsi	10
C. Isotermal Adsorpsi.....	12
D. Pencemaran Air	14
E. Logam Berat.....	15
F. Tembaga (Cu)	17
G. Besi (Fe)	19
H. Kerangka Pikir Penelitian	21
I. Hipotesis	24
BAB III METODE PENELITIAN.....	25
A. Rancangan Penelitian	25
B. Sumber Data	25
C. Lokasi dan Waktu.....	25
D. Alat dan Bahan.....	25
1. Bahan	25
2. Alat.....	26
E. Desain Kolom Adsorpsi	26
F. Teknik Pengambilan Sampel	27
Prosedur Kerja	28
Persiapan Bahan Baku Adsorben	28
Pembuatan Larutan Baku Fe(III) dan Cu(II)	28
Penentuan Waktu Optimum Adsorpsi Ion Logam Fe(III) dan Cu(II) ..	29



4. Penentuan pH Optimum Adsorpsi Ion Logam Fe(III) dan Cu(II) ..	29
5. Penentuan Kapasitas Adsorpsi Ion Logam Fe(III) dan Cu(II) oleh Kulit Buah Cokelat.....	30
6. Penentuan Laju Alir dan Tinggi Adsorben Optimum Untuk Mengadsorpsi Ion Logam Fe(III) dan Cu(II).....	30
H. Analisis Data	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	34
A. Hasil.....	34
1. Penentuan Waktu Kontak Optimum	34
2. Penentuan pH Optimum.....	35
3. Penentuan Kapasitas Adsorpsi	35
4. Penentuan Laju Alir dan Tinggi Adsorben Pada Proses Kontinyu ..	38
5. Adsorpsi Ion Logam Fe(III) dan Cu(II) Limbah Cair Laboratorium ..	39
B. Pembahasan.....	41
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	46
A. Kesimpulan	46
B. Saran	47
DAFTAR PUSTAKA.....	48
LAMPIRAN	52



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1 : Kerangka konseptual	23
Gambar 2. Rangkain kolom adsorpsi secara kontinyu	27
Gambar 3 : Diagram alir penelitian	33
Gambar 4. Biosorpsi ion logam Fe(III) dan Cu(II) kulit kakao ungu M45 (<i>Theobroma cacao</i>) sebagai fungsi waktu.....	34
Gambar 5. Biosorpsi ion logam Fe(III) dan Cu(II) kulit kakao ungu M45 (<i>Theobroma cacao</i>) sebagai fungsi pH	35
Gambar 6. Biosorpsi Fe(III) kulit kakao ungu M45 (<i>Theobroma cacao</i>) sebagai fungsi pH	36
Gambar 7. Biosorpsi ion logam Cu(II) oleh kulit coklat ungu M45 fungsi konsentrasi	36
Gambar 8. Isotermal Langmuir (a) dan Isotermal Freundlich (b) adsorpsi ion logam Fe(III) oleh kulit buah coklat ungu M45 (<i>Theobroma cacao</i>) (waktu kontak 90 menit, jumlah adsorben 0,1 g, dan pH 6)	37
Gambar 9. Isotermal Langmuir (a) dan Isotermal Freundlich (b) adsorpsi ion logam Cu(II) dari kulit buah coklat ungu M45 (<i>Theobroma cacao</i>) (waktu kontak 90 menit, jumlah adsorben 0,1 g, dan pH 6)	37
Gambar 10. Pengaruh laju alir adsorben terhadap jumlah ion teradsorpsi (mg/L) dengan tinggi adsorben 15 cm	38
Gambar 11. Pengaruh tinggi adsorben terhadap jumlah ion teradsorpsi.....	39



DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 1. Komposisi proksimat limbah tanaman kakao	9
Tabel 2: Sifat Fisika dan Kimia Tembaga.....	18
Tabel 3: Sifat Fisika dan Kimia Besi.....	21
Tabel 4. Jumlah ion teradsorpsi dari limbah cair laboratorium sistem batch pada kondisi optimum (pH 6, waktu 90 menit dan volume 20 mL)	40
Tabel 5. Jumlah ion logam teradsorpsi pada proses kontinyu dari limbah cair laboratorium pada ketinggian adsorben 15 cm, massa adsorben 163,74 gr dan volume 303,87 mL.	40



DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

Lampiran 1. Skema pembuatan adsorben kulit buah kakao ungu M45 (<i>Theobroma cocoa</i>).....	52
Lampiran 2. Skema penentuan waktu kontak optimum.....	53
Lampiran 3. Skema kerja penentuan pH optimum	54
Lampiran 4. Skema kerja penentuan kapasitas adsorpsi	55
Lampiran 5. Skema kerja penentuan tinggi adsorben optimum pada proses kontinyu.....	56
Lampiran 6. Skema kerja penentuan laju alir optimum pada proses kontinyu	57
Lampiran 7. Skema kerja adsorpsi ion logam Fe(III) dan Cu(II) dari limbah laboratorium.....	58
Lampiran 8. Jumlah ion logam Fe(III) & Cu(II) yang teradsorpsi oleh (<i>Theobroma cacao</i>) fungsi waktu kontak pada pH 6	59
Lampiran 9. Hasil pH optimum adsorpsi Fe(III) dan Cu(II) dengan kulit buah cokelat ungu M45 (<i>Theobroma cacao</i>) dengan konsentrasi 100 ppm.....	60
Lampiran 10. Hasil perhitungan kapasitas adsorpsi Fe(III) oleh adsorben kulit buah cokelat ungu M45 (<i>Theobroma cocoa</i>) untuk Isotermal Langmuir	61
Lampiran 11. Hasil perhitungan kapasitas adsorpsi Cu(II) oleh adsorben kulit buah cokelat ungu M45 (<i>Theobroma cocoa</i>) untuk Isotermal Langmuir	64
Lampiran 12. Hasil perhitungan kapasitas adsorpsi Fe(III) oleh adsorben kulit buah cokelat ungu M45 (<i>Theobroma cocoa</i>) untuk Isotermal Freundlich	67
Lampiran 13. Hasil perhitungan kapasitas adsorpsi Cu(II) oleh adsorben kulit buah cokelat ungu M45 (<i>Theobroma cocoa</i>) untuk Isotermal Freundlich	69
Lampiran 14. Hasil perhitungan kapasitas adsorpsi dan daya serap kulit cokelat ungu M45 (<i>Theobroma cacao</i>) terhadap ion logam Fe(III) dan Cu(II) dalam limbah laboratorium sistem batch.	71
Lampiran 15. Penentuan laju alir optimum untuk penyerapan ion logam Fe(III) dan Cu(II) terhadap limbah laboratorium oleh adsorben kulit cokelat ungu M45 (<i>Theobroma cacao</i>) pada sistim kontinyu (h = 15 cm)	72
Lampiran 16. Penentuan tinggi adsorben optimum terhadap limbah laboratorium.....	73
Lampiran 17. Jumlah ion logam teradsorpsi fungsi laju Alir (h= 15 cm ; massa adsorben = 163,74 g ; Volume = 303,87 mL).....	74
Lampiran 18. Hasil penimbangan adsorben pada ketinggian tertentu.....	75



Lampiran 19. Standar baku mutu air limbah, Permen LH RI No 5 Tahun 2014.....	76
Lampiran 20. Dokumentasi penelitian.....	77



ABSTRAK

PABBENTENG. *Pemanfaatan Kulit Buah Cokelat Ungu M45 (Theobroma cacao) sebagai Adsorben Logam Berat Fe(III) dan Cu(II) pada Limbah Cair Laboratorium* (dibimbing oleh Muhammad Farid Samawi dan Maming)

Penelitian ini bertujuan menurunkan kandungan ion logam Fe(III) dan Cu(II) pada limbah cair laboratorium dengan menggunakan kulit buah cokelat ungu M45 (*Theobroma cacao*) sebagai biosorben.

Penelitian dilakukan dengan dua sistem, yaitu sistem batch dan kontinyu. Sistem *batch* bertujuan menentukan waktu kontak optimum, pH optimum dan kapasitas adsorpsi, sedangkan sistem kontinyu bertujuan menentukan tinggi adsorben dan laju alir optimum limbah laboratorium. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode adsorpsi dan filtrasi. Hasil adsorpsi dianalisis dengan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

Hasil penelitian ini menunjukkan kondisi optimum adsorpsi kulit buah cokelat ungu M45 (*Theobroma cacao*) terhadap ion logam Fe(III) dan Cu(II) terjadi pada menit ke 90 dan pH 6 pada sistem batch. Laju alir optimum pada proses kontinyu adalah 6,166 mL/detik dengan ketinggian adsorben 15 cm pada kolom adsorpsi 2 inchi. Kapasitas adsorpsi adsorben terhadap ion logam Fe(III) sebesar 11,074 mg/g dan Cu(II) sebesar 28,4091 mg/g berdasarkan metode isothermal Langmuir.

Kata kunci : Kulit buah cokelat ungu M45 (*Theobroma cacao*), limbah cair laboratorium, adsorpsi, ion logam Fe(III) , ion logam Cu(II).



ABSTRACT

PABBENTENG. *The Utility Of Cocoa Pods Husk M45 (Theobroma Cacao) As The Adsorbent Heavy Metal Of Iron (Fe) And Copper (Cu) In The Laboratory Waste Water* (supervised by Muhammad Farid Samawi and Maming)

This research aimed to reduce the ions contents of Fe(III) and Cu(II) laboratory liquid waste by using cocoa pods husk M45 (*Theobroma Cacao*) as the biosorbent.

This research was conducted through two systems, namely batch and continuous systems. The batch was conducted in order to determine the optimum contact time, the optimum pH optimum and the adsorption capacity. The continuous system was intended to determine adsorbent height and the maximum flow rate of laboratory liquid waste. The methods used in this study were adsorption and filtration. The adsorption results were analyzed by AAS (*Atomic Absorption Spectrofotometry*).

The Study results revealed that the optimum conditions of violet cocoa pods husk M45 (*Theobroma Cacao*) adsorption on the metal Fe(III) dan Cu(II) had happened at the 90 minutes and at pH of 6 in the system batch. The optimum flow rate of the continuous system was at 6.166 mL/second with the adsorbent height of 15 cm in the 2 inches adsorption column. The adsorption capacity of adsorbent for Fe(III) metal ion was at 11.074 mg/g and 28.4091 mg/g for Cu(II), based on the Langmuir isothermal method.

Keywords : Cocoa Pods Husk M45 (*Theobroma Cacao*), laboratory liquid waste, adsorption, Fe(III) metal ion, Cu(II) metal ion.



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Buah kakao terdiri atas tiga komponen utama, yaitu kulit buah kakao, pulp yang menyelimuti biji kakao serta biji kakao itu sendiri. Kulit buah kakao dan pulp biji kakao belum banyak dimanfaatkan dan hanya sebagai limbah dari biji kakao itu sendiri. Pemanfaatan limbah kulit kakao selama ini hanya sebagai pakan ternak dan pupuk kompos saja. Pada umumnya limbah kulit kakao yang tidak dimanfaatkan hanya dibiarkan membusuk di sekitar area perkebunan dan menimbulkan bau yang mengganggu lingkungan sekitar. Nilai ekonomi dari kulit kakao masih sangat rendah dan pemanfaatannya masih cukup terbatas.

Kulit buah kakao merupakan limbah lignoselulosa yang mengandung komponen utama berupa lignin, selulosa dan hemiselulosa. Kulit buah kakao mengandung selulosa 36,23%, hemiselulosa 1,14% dan lignin 20 - 27,95%. Kandungan selulosa yang cukup tinggi pada kulit buah kakao ini yang berpotensi diolah lebih lanjut sebagai adsorben untuk menangani masalah pencemaran air oleh limbah zat warna maupun limbah pencemar lainnya termasuk logam berat (Purnamawati & Utami,



Kulit kakao merupakan limbah pertanian, sehingga pemanfaatan limbah pertanian ini sebagai adsorben logam berat, seperti Fe(III) dan Cu(II) sehingga bisa mengurangi pencemaran lingkungan dan meningkatkan nilai ekonomis kulit kakao.

Pencemaran lingkungan oleh logam berat dapat berasal dari pembuangan limbah yang mengandung logam ke badan air dan dapat menumpuk di sepanjang rantai makanan yang menyebabkan bahaya ekologi dan kesehatan. Limbah ini akan menyebabkan pencemaran serius terhadap lingkungan jika kandungan logam berat yang terdapat di dalamnya melebihi ambang batas serta mempunyai sifat racun yang sangat berbahaya. Logam berat diakui sebagai kontaminan berbahaya dalam jangka panjang karena toksisitasnya tinggi, dapat terakumulasi dan retensi di dalam tubuh manusia (Hayati & Sawir, 2017).

Laboratorium merupakan tempat di mana dilakukan suatu kegiatan pengujian untuk memperoleh data hasil uji yang akurat dan valid. Berbagai kegiatan dapat dilakukan di laboratorium, mulai dari persiapan sampel uji hingga pengujian sampel. Beberapa pengujian umum yang dilakukan di laboratorium antara lain pengujian fisika, kimia dan mikrobiologi. Aktifitas pengujian di laboratorium cukup padat sehingga sudah tentu volume air limbah yang dihasilkan cukup banyak.

Karakteristik air limbah laboratorium dapat dikategorikan sebagai berbahaya dan beracun (B3). Sebagian besar unsur-unsur yang berbahaya yang terdapat dalam air limbah laboratorium adalah logam



berat, seperti merkuri (Hg), krom (Cr), besi (Fe), kadmium (Cd), tembaga (Cu), kobalt (Co), mangan (Mn) (Said, 2009) dan (Ariani & Rahayu, 2015).

Laboratorium kimia perguruan tinggi, khususnya pendidikan vokasi merupakan salah satu penghasil limbah cair, padat maupun gas. Hal ini disebabkan karena dalam sistem pendidikan vokasi, aktivitas praktek lebih besar dari teori (Nasional, 2003). Kandungan bahan pencemar bervariasi dan bahkan ada yang mengandung bahan buangan berbahaya. Limbah padat di laboratorium berupa botol bahan kimia, sisa bahan praktek, endapan atau kertas saring, masih dapat diatasi. Demikian pula limbah yang berupa gas umumnya dalam jumlah kecil, sehingga relatif masih aman untuk dibuang langsung di udara. Berbeda dengan limbah cair, umumnya laboratorium perguruan tinggi berlokasi di sekitar kawasan pemukiman, sehingga akumulasi limbah cair yang meresap ke dalam air tanah dapat membahayakan lingkungan sekitar. Limbah cair Laboratorium Kimia umumnya berupa zat kimia baik logam, non logam maupun garam.

Beberapa teknologi telah dikembangkan untuk menghilangkan logam berat dalam perairan atau limbah cair seperti presipitasi, membran filtrasi, pertukaran ion, serta kopresipitasi. Namun metode tersebut masih perlu alternatif lain untuk memaksimalkan fungsinya, seperti penghilangan logam yang tidak sempurna, peralatan yang mahal serta kerugian yang disebabkan oleh produksi endapan kimia yang beracun dan pengolahan

yang tidak ramah lingkungan. Biosorpsi merupakan alternatif untuk
menghilangkan logam berat dari perairan atau limbah cair karena



menggunakan bahan biomaterial yang mudah didapatkan dan biayanya relatif murah (Malimongan *et al.*, 2015).

Penggunaan adsorben merupakan metode alternatif dalam pengolahan limbah, baik limbah logam berat maupun limbah zat warna. Metode ini efektif dan murah karena dapat dibuat dari bahan-bahan limbah pertanian atau perkebunan yang banyak mengandung selulosa, salah satunya adalah limbah kulit buah kakao. Kulit buah kakao dapat digunakan sebagai adsorben zat warna biru (Purnamawati & Utami, 2014).

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kulit buah kakao dapat digunakan sebagai adsorben logam Pb dengan kemampuan kulit buah kakao lebih baik dari kulit kopi (Misran, 2009).

Untuk mengurangi kandungan logam berat limbah laboratorium khususnya Fe(III) dan Cu(II) dibutuhkan adsorben untuk menyerap ion logam tersebut. Adsorben kulit buah cokelat ungu M45 (*Theobroma cacao*) memerlukan kondisi tertentu agar bisa menyerap ion logam Fe(III) dan Cu(II). Kondisi tersebut adalah waktu kontak dan pH agar adsorben bisa menyerap secara optimum dengan metode batch sehingga kapasitas adsorpsi optimum. Pada proses kontinyu, kondisi optimum laju alir dan ketinggian adsorben harus diketahui, agar kandungan logam yang terserap dalam limbah dapat maksimal. Dari aspek lingkungan, penelitian ini memanfaatkan limbah pertanian untuk mengolah limbah laboratorium,

sehingga pencemaran lingkungan dapat dikurangi.



B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian tersebut, dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Berapakah waktu optimum adsorpsi ion logam Fe(III) dan Cu(II) oleh kulit buah cokelat ungu M45?
2. Berapakah pH optimum adsorpsi ion logam Fe(III) dan Cu(II) oleh kulit buah cokelat ungu M45?
3. Berapakah kapasitas adsorpsi ion logam Fe(III) dan logam Cu(II) oleh kulit buah cokelat ungu M45?
4. Berapa laju alir dan tinggi adsorben yang dibutuhkan untuk mengadsorpsi ion logam Fe(III) dan Cu(II) secara optimum oleh kulit buah cokelat ungu M45 (*Theobroma cacao*) serta kapasitas adsorpsi ion logam Fe(III) dan Cu(II) pada proses kontinyu .

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Menentukan waktu optimum adsorpsi ion logam Fe(III) dan Cu(II) terhadap kulit buah cokelat ungu M45 (*Theobroma cacao*).
2. Menentukan pH optimum adsorpsi ion logam Fe(III) dan Cu(II) terhadap kulit buah cokelat ungu M45 (*Theobroma cacao*).

Menentukan kapasitas adsorpsi ion logam Fe(III) dan Cu(II) terhadap kulit buah cokelat ungu M45 (*Theobroma cacao*).



4. Menentukan laju alir dan tinggi unggun untuk mengadsorpsi logam ion Fe(III) dan Cu(II) secara optimum oleh kulit buah cokelat ungu M45 (*Theobroma cacao*) serta kapasitas adsorpsi pada proses kontinyu.

D. Manfaat Penelitian

1. Sebagai alternatif dalam pengelolaan limbah pertanian khususnya limbah kulit buah cokelat.
2. Memberikan informasi kepada masyarakat dan petani cokelat khususnya, bagaimana memanfaatkan limbah kulit cokelat sebagai adsorben sehingga mempunyai nilai ekonomi.
3. Dapat memanfaatkan kulit buah cokelat sebagai adsorben untuk mengurangi pencemaran logam berat terhadap air limbah laboratorium pendidikan sehingga mengurangi pencemaran lingkungan.

E. Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini menggunakan limbah kulit buah cokelat ungu M45 dari desa Posi Kecamatan Bua Kabupaten Luwu, dan dibatasi pada kajian adsorpsi ion logam Fe(III) dan Cu(II) pada limbah cair laboratorium dengan menggunakan kulit buah cokelat ungu M45. Selama proses adsorpsi, parameter yang diamati adalah waktu kontak, pH, kapasitas

, laju alir, tinggi adsorben dan jumlah ion logam Fe(III) dan Cu(II) adsorpsi dari limbah cair laboratorium oleh kulit buah cokelat.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Kakao

Kakao (*Theobroma cacao* L.) merupakan salah satu komoditas andalan perkebunan nasional Indonesia yang cukup potensial sebagai penyedia lapangan kerja, sumber pendapatan dan devisa negara. (Sriwati, Chamzurni, Bukhari, & Sanjani, 2013).

Tanaman kakao berasal dari hutan-hutan tropis di Amerika Tengah dan Amerika Selatan bagian utara, sehingga pada tahap awal (1919/1920) produksi kakao dunia didominasi atau dikuasai oleh Amerika Selatan dengan produsen utamanya Negara ekuador dan Brazil, namun pada periode berikutnya (1920/1921) hingga sekarang, produksi kakao dunia telah bergeser dari Amerika Selatan ke Afrika Tengah dengan andil 50-70%. Sampai periode 1976/1977 produsen utama dunia adalah Ghana, setelah itu posisinya digantikan oleh pantai Gading (*Ivory coast*). Sementara itu peringkat kedua dan ketiga adalah Ghana dan Indonesia (Nurhidaya, 2018).

Kakao (*Theobroma cacao* L), merupakan salah satu komoditi ekspor Negara Indonesia dengan nilai jual yang cukup tinggi. Pada saat panen, umumnya petani memanen biji kakao untuk diolah menjadi coklat, dan menghasilkan limbah kulit buah kakao yang cukup banyak.

aan limbah tersebut sering kali tidak dimanfaatkan secara baik yang dibiarkan begitu saja menjadi sampah pertanian. Limbah kulit



buah kakao yang dihasilkan dalam jumlah banyak akan menjadi masalah jika tidak ditangani dengan baik karena produksi limbah padat ini mencapai lebih dari 60% dari total produksi buah. Beberapa teknologi telah dikembangkan untuk mengolah kulit buah kakao menjadi pakan ternak, kompos, sebagai anti bakteri, dan produk lain untuk dimanfaatkan lebih optimal (Muliyatni *et al*, 2012).

Kakao termasuk jenis tanaman daerah panas, berbunga dan berbuah sepanjang tahun. Buahnya berwarna ungu atau kuning yang bergantung pada batang-batang yang besar. Bentuk buahnya lonjong dengan panjang antara 12 - 20 cm, mengandung biji-biji seperti kacang-kacangan antara 50 - 100 biji. Biji-biji inilah yang biasanya diolah menjadi bubuk atau kristal untuk dibuat minuman atau makanan lezat lainnya (Rahmaniah, 2016).

Di Indonesia tanaman kakao tersebar luas di seluruh wilayah Indonesia diantaranya yaitu, Jawa, Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, dan Papua. Berdasarkan letak geografis Indonesia, tanaman ini dapat tumbuh pada ketinggian kurang dari 800 M dibawah permukaan laut dengan curah hujan rata-rata 1100 – 3000 mm per tahun. Suhu ideal bagi tanaman kakao untuk tumbuh adalah minimum 18 – 21 °C dan maksimum 30 – 32 °C. Tanaman kakao dapat tumbuh dengan baik pada tanah yang memiliki kandungan organik yang tinggi dan keasaman pada pH 6 – 7.5 (Ajeng &

2016).



Komposisi kimia kulit kakao terdiri dari Hemisellulosa 21,06%, Sellulosa 20,15%, lignin 51,98%. Hasil analisis FT-IR menunjukkan adanya gugus C-H, hidroksil O-H serta C=C-H (aromatic-H) (M & Wiharto, 2017).

Tabel 1. Komposisi proksimat limbah tanaman kakao

	Kulit Buah	Kulit Biji	Lumpur Kakao
Bahan Kering (%)	17,02	68,40	8,70
Komposisi Bahan Kering (%)			
Abu	12,20	6,64	7,78
Protein Kasar	7,16	16,60	20,30
Lemak	0,80	8,82	33,00
Serat Kasar	32,50	25,10	13,40
Ca	0,58	0,34	-
P	0,18	0,39	-

Sumber: Sutardi (1991)

Peningkatan luas areal perkebunan akan meningkatkan produksi limbah kakao semakin tinggi. Limbah buah kakao yang terbesar berasal dari kulitnya. Selama ini pemanfaatan kulit buah kakao hanya sebatas untuk pakan ternak dan bahan baku pembuatan pupuk. Sebelum digunakan sebagai adsorben, untuk meningkatkan daya jerap kulit buah kakao dilakukan aktivasi menggunakan larutan asam atau basa. Aktivasi dengan larutan asam paling umum digunakan dan terbukti efektif dalam meningkatkan kapasitas adsorpsi. Aktivasi kimia sering dipilih karena

produksi yang lebih pendek, suhu produksi yang lebih rendah dan biaya yang lebih tinggi (Pandia, Devi, Siahaan, & Hutagalung, 2017).



Kulit kakao juga bisa dimanfaatkan sebagai sumber nutrisi alternatif hewan. Pada penelitian ini mereka membandingkan antara kulit kakao yang difermentasi dengan kulit kakao yang tidak difermentasi (Sa & Abike, 2016).

Pada umumnya, kulit kakao yang dihasilkan dari panen dibiarkan membusuk di sekitar area perkebunan. Kebiasaan tersebut kurang baik karena dapat mengundang hama yang dapat mengganggu kelangsungan hidup dari tanaman kakao itu sendiri, serta menghasilkan bau yang tidak sedap. Kulit buah kakao juga sering dibanamkan dalam tanah sebagai pupuk kompos untuk menambah unsur hara atau pupuk bagi tanaman. Kulit kakao merupakan limbah organik yang dapat dijadikan sebagai adsorben untuk mengadsorpsi logam berat yang memberikan dampak buruk bagi lingkungan.

B. Adsorpsi

Adsorpsi merupakan peristiwa penjerapan dipermukaan oleh suatu adsorben atau daya jerap dari zat penjerap yang terjadi pada permukaan. Peristiwa adsorpsi terjadi karena adsorben yang umumnya zat padat, terdiri dari atom-atom atau molekul-molekul yang saling tarik menarik dengan gaya *Vander Waals*. Kalau ditinjau dari molekul-molekul dalam zat padat, oleh karena banyaknya molekul-molekul atau atom-atom yang

tinggi tiap-tiap arah sama, maka gaya tarik antara molekul yang
saling tarik menarik dengan molekul-molekul yang lain disekelilingnya adalah seimbang, sebab gaya tarik



yang satu akan dinetralkan oleh yang lain yang letaknya simetris atau dengan kata lain resultan gayanya sama dengan nol. Lain halnya dengan yang ada pada permukaan, gaya-gaya tersebut tidak seimbang oleh karena pada satu arah di sekeliling molekul tersebut akan mempunyai sifat menarik molekul-molekul gas atau solute pada permukannya. Fenomena ini disebut adsorpsi (Hadiwidodo, 2008).

Adsorpsi adalah proses phyco-kimia dimana zat yang disebut adsorbat terakumulasi pada antarmuka padatan yang disebut adsorben. Adsorpsi adalah salah satu teknik yang sering diterapkan pada pengolahan air, karena metode ini cocok untuk konsentrasi logam yang rendah dan biaya murah (Yusoff *et al.*, 2014)

Adsorpsi adalah suatu proses pemisahan bahan dari campuran gas atau cair, bahan yang harus dipisahkan ditarik oleh permukaan sorben padat dan diikat oleh gaya-gaya yang bekerja pada permukaan tersebut, sedangkan absorpsi adalah proses pemisahan bahan dari suatu campuran gas dengan cara pengikatan bahan tersebut pada permukaan sorben cair diikuti dengan pelarutan (Bernasconi *et al.*, 2000).

Jadi proses adsorpsi dapat terjadi antara padatan dengan padatan, gas dengan padatan, gas dengan cairan dan cairan dengan padatan. Ada dua metode adsorpsi yaitu metode fisika dan metode kimia. Adsorpsi secara fisik terjadi karena perbedaan energi atau gaya tarik menarik

(gaya *Van der Waals*) sehingga molekul-molekul adsorbat secara fisik terikat pada molekul adsorben. Adsorpsi fisik ini bersifat dapat balik



(*reversible*) yang berarti atom-atom atau ion- ion yang terikat dapat dilepaskan kembali dengan bantuan pelarut tertentu yang sesuai dengan sifat ion yang diikat. Adsorpsi secara kimia, ikatan yang terjadi adalah ikatan kimia yang kuat dan bersifat tidak dapat balik (*irreversible*) karena pada pembentukannya diperlukan energi pengaktifan sehingga untuk melepaskannya diperlukan pula energi yang besarnya relatif sama dengan energi pembentukan (Rumidatul, 2006).

Proses adsorpsi terdiri atas 3 fasa yaitu zat menyerap kebagian luar adsorben, zat pindah ke pori-pori adsorben dan zat menyerap ke dinding bagian dalam adsorben (Mohammed, 2011)

Kecepatan adsorpsi dipengaruhi oleh perbedaan konsentrasi, suhu, luas permukaan, ukuran partikel, ukuran molekul, tekanan (pada gas), viskositas (pada cairan). Proses adsorpsi dipengaruhi oleh konsentrasi, kondisi, adsorben, dan metode regenerasi (Bernasconi et al., 2000).

C. Isotermal Adsorpsi

Model isoterm tergantung pada lapisan permukaan adsorpsi. Jika lapisan permukaan hanya lapisan tunggal (monolayer), maka adsorpsi Langmuir. Dalam hal ini, energi adsorpsi didistribusikan secara homogen diatas permukaan adsorben, karena tidak ada interaksi antara molekul adsorpsi. Sedangkan untuk adsorpsi model isoterm Freundlich berkaitan dari lapisan tunggal (monolayer) dan adsorpsi multilayer. Dalam hal ini, energi adsorpsi didistribusikan secara heterogen diatas



permukaan adsorben. Oleh karena itu ada interaksi antara molekul ekstra yang teradsorpsi (Patil *et al.*, 2018). Isotermal Langmuir digambarkan sebagai berikut:

$$C_e/q_e = 1/ K_f \cdot q_m + (1/ q_m) \cdot C_e$$

Isotermal Freundlich digambarkan sebagai berikut:

$$\text{Log } q_e = \text{log } K_f + \frac{1}{n} \text{log } C_e$$

di mana : q_e (mg.g⁻¹) = massa ion teradsorpsi per gram adsorben
 C_e (mg.L⁻¹) = konsentrasi kesetimbangan
 K_L (mg.L⁻¹) = konstanta adsorpsi Langmuir
 K_f (mg.g⁻¹) = konstanta Freundlich
 q_m dan n = kapasitas adsorpsi maksimum (mg/g)

Penentuan isotermal adsorpsi bertujuan untuk mengetahui hubungan antara banyaknya adsorbat yang teradsorpsi persatuan berat kulit kakao yang digunakan sebagai adsorben. Penentuan isoterm adsorpsi dilakukan dengan menggunakan massa, pH dan waktu kontak optimum adsorben (Sianipar *et al.*, 2016).

Isoterm adsorpsi Langmuir menunjukkan bahwa proses adsorpsi yang terjadi adalah jenis adsorpsi kimia, sedangkan isoterm adsorpsi Freundlich menunjukkan bahwa adsorpsi terjadi secara fisika (Purnamawati & Utami, 2014).



D. Pencemaran Air

Pencemaran lingkungan adalah suatu keadaan yang terjadi karena perubahan kondisi tata lingkungan (tanah, udara dan air) yang tidak menguntungkan (merusak dan merugikan kehidupan manusia, hewan dan tumbuhan) yang disebabkan oleh kehadiran benda-benda asing seperti sampah, limbah industri, logam berbahaya, dan sebagainya, sebagai akibat perbuatan manusia, sehingga mengakibatkan lingkungan tersebut tidak berfungsi seperti semula (Fahrudin, 2017).

Pencemaran air adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia, sehingga kualitas air turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air tidak dapat berfungsi sesuai dengan peruntukannya (PP No 82.Tahun 2001, 2001).

Perkembangan teknologi yang semakin pesat, baik industri maupun pendidikan yang menggunakan bahan kimia sintetik. Banyak bahan kimia ini telah menyebabkan pencemaran terhadap lingkungan air. Seperti limpasan (*run off*) dari pestisida dan herbisida yang berasal dari daerah pertanian atau perkebunan dan buangan limbah industri ke permukaan air. Penyebab serius adalah terjadinya rembesan ke dalam air tanah dari bahan-bahan pencemar yang berasal dari penampungan limbah kimia dan landfills, kolam penampungan atau kolam pengolahan limbah dan fasilitas-fasilitas lainnya (Achmad, 2004).



Pencemaran air yang diakibatkan oleh kegiatan laboratorium, umumnya mengandung logam berat, karena kegiatan di laboratorium sering menggunakan bahan kimia yang tergolong bahan berbahaya dan beracun, salah satu diantaranya yang sering digunakan adalah senyawa kimia yang mengandung besi dan tembaga dan masih banyak zat kimia yang digunakan mengandung logam-logam berat yang lain.

Laboratorium merupakan tempat di mana dilakukan suatu kegiatan pengujian untuk memperoleh data hasil uji yang akurat dan valid. Beberapa pengujian yang dilakukan di laboratorium adalah pengujian fisik, kimia dan mikrobiologi. Bahan kimia yang umum dipakai adalah bahan kimia yang bersifat asam, basa, organik, dan anorganik. Aktivitas pengujian di laboratorium cukup padat, sehingga menghasilkan limbah cair yang cukup besar dan tergolong limbah B3. Umumnya mengandung logam berat seperti Fe, Cu, Mn, Pb dan Hg (Said, 2009).

E. Logam Berat

Logam berat merupakan unsur-unsur logam yang mempunyai berat jenis lebih dari 5 gr/cm³. Contoh logam yang termasuk ke dalam golongan tersebut adalah kromium (Cr), tembaga (Cu), besi (Fe), mangan (Mn), molybdenum (Mo), nikel (Ni), timbal (Pb), zirconium (Zr) dan seng (Zn) (Firdaus, 2012).

Berdasarkan sudut pandang toksikologi, logam berat ini dapat dikelompokkan dalam dua jenis. Jenis pertama adalah logam berat esensial,



dimana keberadaannya dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh organisme hidup, namun dalam jumlah yang berlebihan dapat menimbulkan efek racun. Contoh logam berat ini adalah Zn, Cu, Fe, Co, Mn dan lain sebagainya. Sedangkan jenis kedua adalah logam berat tidak esensial atau beracun, dimana keberadaannya dalam tubuh masih belum diketahui manfaatnya dan dapat bersifat racun, seperti Hg, Cd, Pb, Cr, dan lain-lain (Ajeng & Anzhari, 2016).

Sedangkan Menurut Kementerian Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup (1990) sifat toksisitas logam berat dapat dikelompokkan ke dalam 3 kelompok, yaitu bersifat toksik tinggi diantaranya Hg, Cd, Pb, Cu, dan Zn, bersifat toksik sedang terdiri dari unsur-unsur Cr, Ni, dan Co, bersifat toksik rendah terdiri atas unsur Mn dan Fe.

Kehadiran logam berat dalam limbah, baik limbah laboratorium maupun limbah industri, menjadi perhatian yang serius karena limbah tersebut beracun, tidak dapat didegradasi, karsinogen dan terjadi pengendapan pada badan penerima baik tanah, aliran sungai dan sumber air lainnya disekitar lokasi tersebut, sehingga menyebabkan bioakumulasi pada mikroorganisme disekitarnya. Peristiwa ini akan menyebabkan dampak bagi kesehatan seperti kanker, gagal ginjal, sariawan dan lain-lain (Bernard & Jimoh, 2013).

Pengolahan limbah cair yang mengandung logam berat dengan

adsorpsi menggunakan bahan alami disebut sebagai pengolahan teknologi hijau. Keuntungan dari teknologi hijau ini adalah biaya



murah, ketersediaan bahan baku, pengoperasian yang mudah dan efisien (Etorki *et al.*, 2014).

F. Tembaga (Cu)

Tembaga biasanya diambil dari bijih dasar pada *copperpyrites* (tanah tambang dimana tembaga bereaksi secara kimiawi dengan besi dan belerang = CuFeS_2) (Amanto & Daryanto, 1999).

Tembaga adalah unsur kimia dengan simbol Cu dan merupakan logam berwarna merah, lunak, mudah dibentuk (*ductile*) dan sebagai konduktor yang baik untuk panas dan listrik. Kebanyakan tembaga dipergunakan untuk peralatan listrik, konstruksi, mesin-mesin industri, sebagai logam campuran (*alloy*), seperti perunggu, kuningan dan untuk kabel listrik.

Tembaga masuk ke dalam lingkungan melalui pembakaran hutan, debu gunung berapi, pertambangan dan kemudian masuk ke air tanah, sungai dan kolam pada musim hujan. Keracunan tembaga disebabkan oleh adanya tembaga yang berlebihan dalam tubuh manusia. Dalam kondisi normal, tembaga dibutuhkan tubuh manusia dalam jumlah yang sangat rendah sebagai komponen vitamin B12. LD50 larutan garam tembaga diperkirakan sekitar 150-500 mg/kg (Sembel, 2015).

Tembaga adalah logam berat yang terdapat di lingkungan yang terakumulasi dalam rantai makanan secara biologi apabila misai dengan makanan, air dan udara. Toksisitas tembaga dapat



menyebabkan dampak akut pada manusia, seperti anemia, gagal hati dan ginjal, kaget, koma dan bahkan kematian (Kamble *et al.*, 2018).

Tabel 2: Sifat Fisika dan Kimia Tembaga

Sifat	Keterangan
Warna	Jingga kemerahan
Nama, lambang, nomor atom	Tembaga, Cu, 29
Massa atom	63,546 g/mol
Konfigurasi elektron	[Ar] 3d ¹⁰ 4s ¹
Fase	Padat
Massa jenis (sekitar suhu kamar)	8,94 g/cm ³
Titik lebur	1357,77 K
Titik didih	2835 K
Bilangan oksidasi	1, 2, 3, 4
Elektronegativitas	1,90
Jari-jari atom	128 pm

Sumber: (Junita, 2013)

Sesuai dengan sifatnya sebagai logam berat beracun, Cu dapat mengakibatkan keracunan akut dan kronis. Terjadinya keracunan akut dan kronis ini ditentukan oleh besar dosis yang masuk dan kemampuan organisme untuk menetralkan dosis tersebut (Ajeng & Anzhari, 2016).

Keracunan kronik tembaga dapat mengakibatkan penyakit hati dikenal dengan nama Wilson Disease karena adanya akumulasi tembaga dalam hati, otak, ginjal dan kornea. Penyakit lain yang ditimbulkan akibat

adalah gangguan system persyarafan (*neutrophaty*) dan ...
san. Air minum dengan kadar tembaga lebih dari 3 mg/L akan



mengakibatkan gejala pencernaan, seperti mual, muntah-muntah dan diare (Sembel, 2015).

Keracunan akut karena jumlah garam yang mengandung tembaga dapat mengakibatkan hemestemesis, melena, koma dan penyakit kuning. Oleh karena itu, pengurangan kandungan tembaga dalam limbah cair sebelum dibuang ke lingkungan baik ke badan air maupun di tanah sesuai standar yang ada. Ada beberapa metode yang dilakukan untuk pengolahan limbah cair diantaranya presipitasi kimia, sistem pengolahan ferit, presipitasi sulfat, tetapi proses ini mahal biaya operasionalnya. Untuk pengurangan kandungan logam berat dari limbah secara ekonomis yaitu metode non konvensional yaitu dengan menggunakan adsorben kulit almond, kulit jeruk dan lain-lain (Maheswari *et al.*, 2017)

G. Besi (Fe)

Besi adalah logam yang berasal dari bijih besi (tambang) yang banyak digunakan untuk kehidupan manusia sehari-hari dari yang bermanfaat sampai dengan yang merusakkan, besi juga mempunyai nilai ekonomis yang tinggi (Ajeng & Anzhari, 2016).

Besi adalah salah satu zat pengotor utama yang banyak ditemukan pada sumber air. Meskipun zat besi adalah mineral penting yang membantu peredaran oksigen dalam darah, keberadaan zat besi dalam

a konsentrasi tertentu dapat mengakibatkan air tidak dapat
an karena rasanya yang metalik, perubahan warna, bau dan dapat



mengakibatkan pada pakaian. Zat besi terlalu banyak dalam air minum dapat menyebabkan muntah, pendarahan dan gangguan sirkulasi (Beenakumari, 2009).

Polusi lingkungan oleh logam berat telah menjadi masalah dan perhatian publik. Kehadiran logam berat seperti tembaga, cadmium, nikel, seng dan besi ke lingkungan dapat merusak flora dan fauna. Untuk mengurangi zat besi dalam air tanah dilakukan dengan cara oksidasi dengan klorin, pertukaran ion, presipitasi kimia, bioremediasi, karbon aktif dan beberapa bahan penyaringan. Metode ini umumnya membutuhkan biaya yang besar dan berbagai kekurangan yaitu, memerlukan banyak pereaksi, waktu lama. Alternatif yang dilakukan yaitu biosorpsi menggunakan biomaterial untuk detoksifikasi bahan berbahaya dan beracun. Keuntungan menggunakan biosorben yaitu biaya murah, efisiensi tinggi, meminimalisasi lumpur kimia atau racun, regenerasi biosorben dan lain-lain (Hassouna *et al.*, 2018)

Penderita ini beresiko terserang kanker hati, jantung dan berbagai penyakit lainnya. Konsumsi besi dalam dosis besar akan merusak alat pencernaan secara langsung, lalu besi akan mengikuti peredaran darah. Kerusakan hati yang terlalu lama akan menyebabkan kematian (Junita, 2013)



Tabel 3 : Sifat Fisika dan Kimia Besi

Sifat	Keterangan
Nama, lambang, nomor	Besi, Fe, 26
Massa atom	55,845 g/mol
Konfigurasi elektron	[Ar] 3d ⁶ 4s ²
Fase	Padat
Massa jenis (sekitar suhu kamar)	6,86 g/cm ³
Titik lebur	1811 K
Titik didih	3134 K
Bilangan oksidasi	2, 3, 4, 6
Elektronegativitas	1,83
Jari-jari atom	140 pm

Sumber: Junita, 2013

H. Kerangka Pikir Penelitian

Seiring pertambahan penduduk dan perkembangan teknologi serta kesadaran akan pentingnya pendidikan bagi generasi bangsa, peningkatan manusia melanjutkan pendidikan ke tingkat perguruan tinggi atau sederajat, mengakibatkan banyaknya limbah yang terbuang ke lingkungan. Limbah tersebut tergolong limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) dapat menyebabkan pencemaran lingkungan dan berdampak pada kesehatan manusia. Limbah tersebut dihasilkan oleh aktivitas mahasiswa di laboratorium yang menggunakan bahan kimia yang umumnya tergolong limbah B3 seperti besi dan tembaga. Pada penelitian

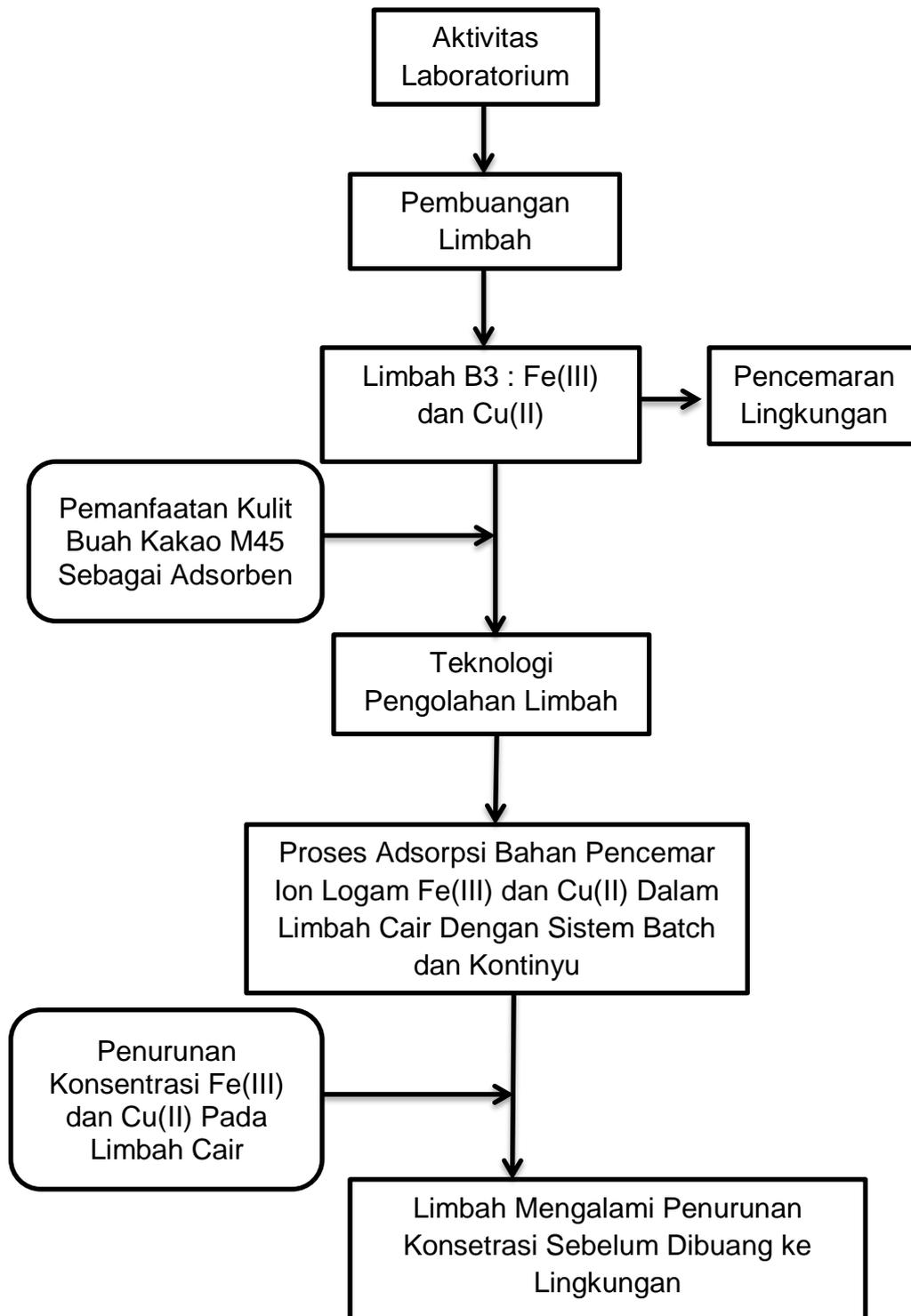
penelitian ini akan menerapkan sebuah teknologi pengolahan pada limbah cair laboratorium yaitu proses adsorpsi bahan pencemar ion logam Fe(III) dan



ion Cu(II) dari limbah cair laboratorium dengan menggunakan kulit buah kakao M45. Penelitian ini diawali dengan penentuan kondisi optimum adsorpsi yaitu pH, waktu kontak dan kapasitas adsorpsi pada larutan logam yang ditentukan dengan menggunakan isoterma adsorpsi Langmuir dan Freundlich pada sistem batch dan kontinyu.

Tujuan akhir dari proses adsorpsi bahan pencemar ion logam Cu(II) dan Fe(III) dari limbah cair dengan menggunakan kulit buah kakao M45 (*Theobroma cacao*) yaitu menurunkan konsentrasi hasil pengolahan limbah sehingga limbah laboratorium yang dibuang ke lingkungan mengalami penurunan konsentrasi sehingga beban lingkungan akan logam berat bisa dikurangi. Untuk memahami alur pemikiran penelitian ini, maka perlu dibuatkan kerangka pikir penelitian dalam menggambarkan hubungan beberapa konsep yang akan diteliti, yang arahnya untuk menjawab rumusan masalah dan disusun secara deskriptif dengan hubungan variable dan indikatornya dalam bentuk bagan.





Gambar 1 : Kerangka konseptual



I. Hipotesis

Pengeringan dan penghancuran kulit kakao M45 (*Theobroma cacao*) digunakan sebagai alternatif adsorben ion logam Fe(III) dan Cu(II) pada limbah cair laboratorium. Proses adsorpsi ditentukan oleh kondisi optimum waktu dan pH. Kapasitas adsorpsi berdasarkan model isotermal Langmuir dan Freundlich. Proses kontinyu dilakukan untuk menentukan laju lair dan tinggi optimum adsorben serta menentukan kapasitas adsorpsi.



BAB III

METODE PENELITIAN

A. Rancangan Penelitian

Jenis penelitian yang dilakukan menggunakan metode eksperimen random dengan maksud melihat kemampuan adsorpsi logam Fe(III) dan Cu(II) pada limbah cair dengan menggunakan kulit buah kakao (*Theobroma cacao*) ungu M45. Penelitian ini menggunakan metode batch dan metode kontinyu.

B. Sumber Data

Data yang diperoleh berdasarkan data primer dan data sekunder.

C. Lokasi dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret sampai Mei 2019. Lokasi penelitian bertempat di Laboratorium Pengolahan Limbah dan Laboratorium Kimia Analitik Politeknik Negeri Ujung Pandang.

D. Alat dan Bahan

1. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah kulit buah kakao (*Theobroma cacao*) ungu M45. Limbah kulit buah kakao diperoleh



dari Desa Posi Kecamatan Bua Kabupaten Palopo. Limbah laboratorium yang diperoleh dari laboratorium kimia Politeknik Negeri Ujung Pandang. HNO_3 (Merck), $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (Merck) , $\text{NH}_4(\text{SO}_4) \cdot \text{Fe} \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (Merck), aquades, kertas saring Whatman No 42, dan kertas label.

2. Alat

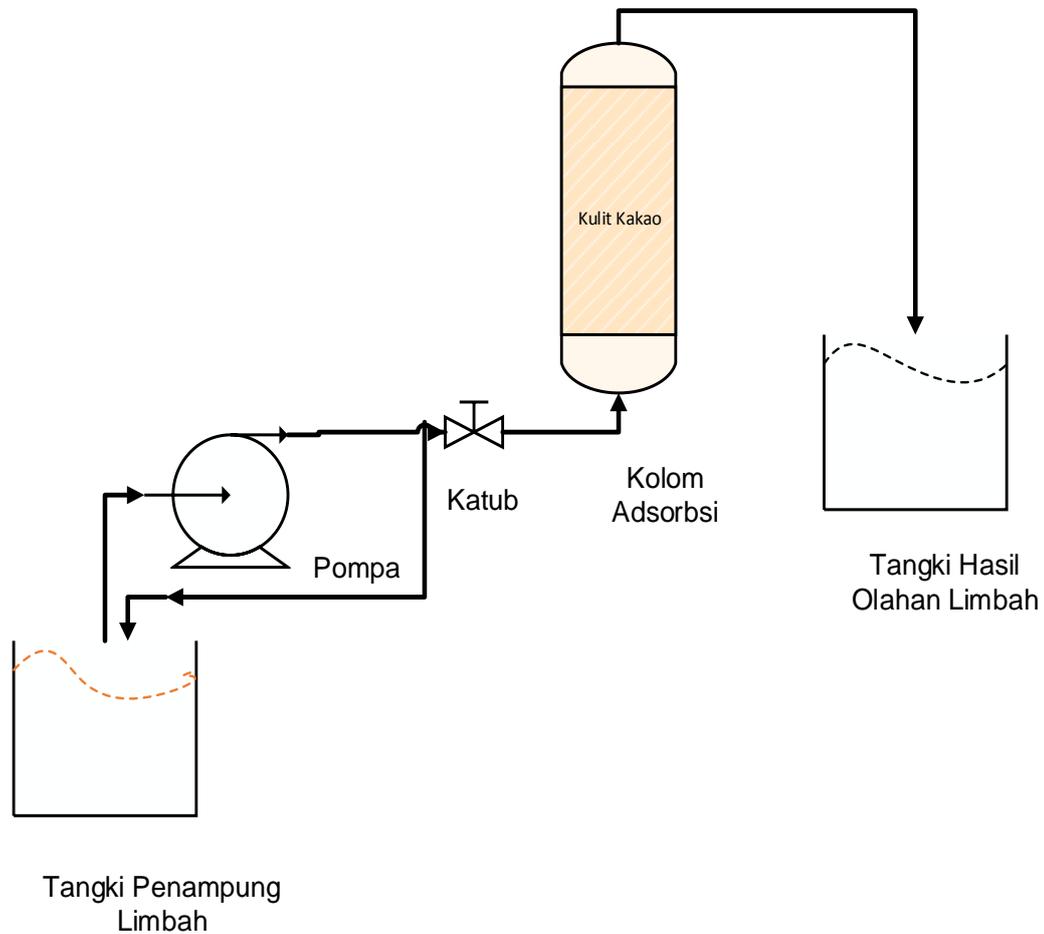
Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah alat-alat gelas yang umum digunakan di laboratorium, Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) Perkin Elmer 900F, neraca analitik, crusher, pH meter, oven Memmert, magnetik stirrer, hot plate, desikator, seperangkat alat adsorpsi secara kontinyu terdiri dari pompa, pipa, kran, selang, penampung limbah.

E. Desain Kolom Adsorpsi

Skema desain adsorpsi dapat dilihat pada Gambar 3. Kolom terbuat dari pipa PVC dengan diameter 2 inchi dan tinggi 60 cm. Diameter ditentukan kolom ditentukan sebesar 2 inchi dengan pertimbangan diameter rata-rata adsorben sekitar 0,05 cm – 0,5 cm dan diameter minimum kolom adalah 10 kali diameter adsorben untuk menghindari efek dinding (Katherine & Arie, 2016).

Desain proses pengolahan limbah air umumnya terdiri dari proses koagulasi, flokulasi dan filtrasi. Koagulasi dan flokulasi bertujuan untuk mengurangi TSS (Hartuno *et al.*, 2014). Desain pada alat ini hanya fokus pada filtrasi dengan menggunakan kulit buah kakao sebagai adsorben.





Gambar 2. Rangkaian kolom adsorpsi secara kontinyu

F. Teknik Pengambilan Sampel

Sampel limbah cair diambil langsung dari saluran pembuangan limbah laboratorium. Limbah tersebut ditampung dan diuji untuk mengetahui konsentrasi ion logam Fe(III) dan Cu(II) dengan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)..



G. Prosedur Kerja

1. Persiapan Bahan Baku Adsorben

Perlakuan awal terhadap kulit buah kakao (*Theobroma cacao*), meliputi pencucian, pemotongan ukuran, pengeringan, penghalusan dan pengayakan. Pencucian dilakukan untuk menghilangkan kotoran pada kulit kakao seperti tanah dan daun yang menempel dikulit buah.

Pemotongan untuk memperluas luas permukaan sehingga proses pengeringan cepat, dilakukan dengan sinar matahari, dilanjutkan didalam oven pada suhu 105 °C selama kurang lebih 24 jam lalu disimpan dalam desikator. Kulit buah kakao (*Theobroma cacao*) yang sudah kering selanjutnya dihaluskan dan diayak dengan saringan 100 mesh. Serbuk kulit kakao inilah yang digunakan sebagai adsorben untuk menyerap ion Fe(III) dan ion Cu(II).

2. Pembuatan Larutan Baku Fe(III) dan Cu(II)

Pembuatan larutan baku Fe(III) 1000 ppm. Senyawa $\text{NH}_4(\text{SO}_4)\cdot\text{Fe}\cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ditimbang sebanyak 8,6105 gram, ditambahkan aquabides, diimpitkan dengan aquabides hingga volume 1 L. Selanjutnya, larutan baku Fe(III) 1000 ppm dipipet 100 mL dan diencerkan sampai volume 1 L untuk membuat larutan baku 100 ppm.

Pembuatan larutan baku Cu(II) 1000 ppm. Senyawa $\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$

g sebanyak 3,9044 gram, ditambahkan aquabides, dan an dengan aquabides hingga volume 1 L. Selanjutnya, larutan



baku Cu(II) 1000 ppm dipipet 100 mL dan diencerkan sampai volume 1 L untuk membuat larutan baku 100 ppm.

3. Penentuan Waktu Optimum Adsorpsi Ion Logam Fe(III) dan Cu(II)

Serbuk kulit kakao (*Theobroma cacao*) yang bersih dan kering kering dimasukkan masing-masing sebanyak 0,1 gram ke dalam 5 buah erlenmyer ukuran 100 mL dan ditambahkan 20 mL larutan ion Fe(III) dengan konsentrasi 100 ppm dan dikocok dengan menggunakan *magnetic stirrer* selama 30, 60, 90, 120 dan 150 menit. Kemudian campuran disaring dan filtratnya ditampung untuk diukur absorbansinya dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA), berdasarkan SNI 06-6989.4-2004 untuk ion logam Fe dan SNI 06-6989.6-2004 untuk ion logam Cu. Setiap percobaan dilakukan secara duplo. Prosedur ini juga berlaku pada ion Cu(II).

4. Penentuan pH Optimum Adsorpsi Ion Logam Fe(III) dan Cu(II)

Serbuk kulit buah kakao (*Theobroma cacao*) sebanyak 0,1 gram ditambahkan ke dalam 20 ml ion Fe dengan konsentrasi 100 ppm dan pH 2 kedalam erlenmyer 100 mL. Campuran diaduk sesuai waktu optimum dan disaring. Perlakuan ini berlaku juga untuk ion Tembaga (Cu).

Absorbansi filtrat diukur dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA), berdasarkan SNI 06-6989.4-2004 untuk ion logam Fe dan SNI 06-6989.6-2004 untuk ion logam Cu. Percobaan ini diulang dengan pH 2, 3,



4, 5, 6, 7, 8 dan 9. Setiap percobaan dilakukan secara duplo. pH optimum adalah pH dimana konsentrasi teradsorpsi (C_{adsorpsi}) terbesar.

5. Penentuan Kapasitas Adsorpsi Ion Logam Fe(III) dan Cu(II) oleh Kulit Buah Cokelat

Serbuk kulit buah kakao (*Theobroma cacao*) yang bersih dan kering dimasukkan masing-masing sebanyak 0,1 gram ke dalam 7 buah erlenmeyer 100 mL, selanjutnya dimasukkan secara berturut-turut 100 mL larutan ion Fe(III) dengan konsentrasi 25, 50, 75, 100, 125, 150 dan 200 ppm. Campuran tersebut dikondisikan dengan pH dan waktu kontak optimum yang diperoleh. Percobaan ini dilakukan secara duplo. Selanjutnya campuran disaring dan filtratnya dianalisis dengan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA), berdasarkan SNI 06-6989.4-2004 untuk ion logam Fe dan SNI 06-6989.6-2004 untuk ion logam Cu. Prosedur ini juga dilakukan untuk ion Cu(II) dan dianalisis dengan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA), berdasarkan SNI 06-6989.6-2004.

6. Penentuan Laju Alir dan Tinggi Adsorben Optimum Untuk Mengadsorpsi Ion Logam Fe(III) dan Cu(II)

Kulit buah kakao dimasukkan ke dalam kolom adsorpsi yang terbuat dari pipa PVC dengan tinggi adsorben yang tetap, kemudian

limbah laboratorium dengan laju alir yang divariasikan. Setelah
n laju alir yang optimum, maka dilanjutkan dengan tinggi adsorben



yang divariasikan. Percobaan ini dilakukan secara duplo. Hasil dari proses ini diuji dengan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom berdasarkan SNI 06-6989.4-2004 untuk ion logam Fe dan SNI 06-6989.6-2004 untuk ion logam Cu. Pengujian ini dilakukan untuk menentukan jumlah ion logam Fe (III) dan Cu (II) yang teradsorpsi, sehingga limbah laboratorium yang dibuang ke lingkungan sudah mengalami penurunan konsentrasi, sehingga mengurangi pencemaran lingkungan dengan acuan bisa mendekati baku mutu limbah.

H. Analisis Data

Sampel dianalisis menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) Perkin Elmer 900F untuk mengetahui jumlah ion logam Fe(III) dan ion logam Cu(II) yang diadsorpsi dari limbah cair dengan menggunakan adsorben kulit buah cokelat (*Theobroma cacao*).

Analisis ini dilakukan terhadap tiap perlakuan yaitu waktu kontak, pH, tinggi adsorben dan laju alir. Waktu kontak optimum yaitu waktu kontak yang paling tinggi serapan logamnya. Waktu kontak optimum ini yang digunakan untuk penentuan pH optimum, yaitu pH divariasikan dan pada pH berapa yang memiliki tingkat penyerapan logam yang paling maksimal, ini dilakukan pada sistim batch. Pada sistim kontinyu, pH optimum pada system batch diterapkan pada sistim kontinyu untuk

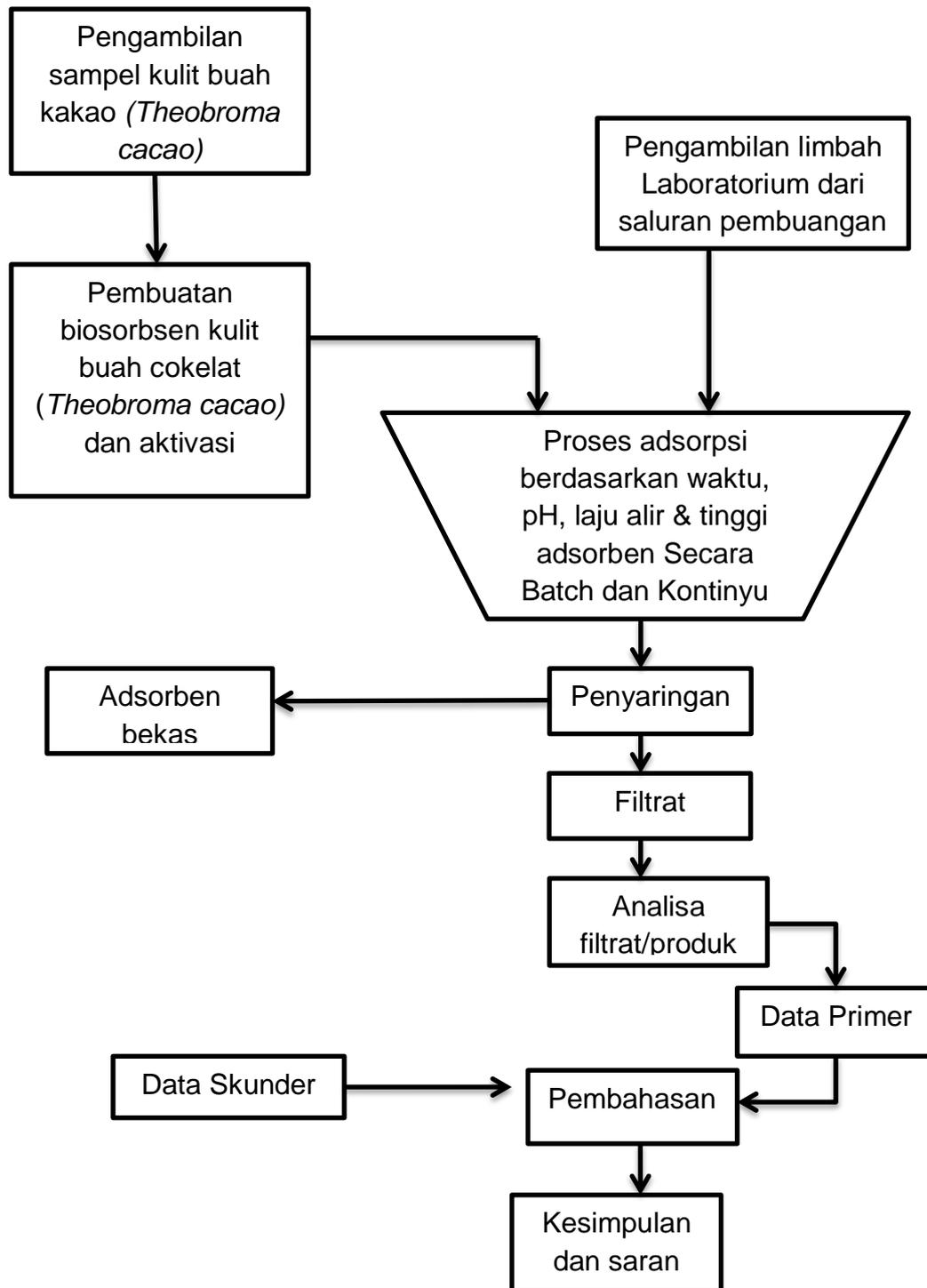
akan tinggi unggun optimum. Tinggi unggun optimum diperoleh cara tinggi unggun yang bervariasi, dimana laju alir yang tetap.



Tinggi unggun optimum yaitu tinggi unggun yang paling maksimal nilai penyerapan logamnya.

Laju alir optimum yaitu laju alir yang memiliki nilai penyerapan logam yang maksimal pada tinggi unggun yang optimum. Kondisi optimum yang diperoleh pada sistim kontinyu ini akan diterapkan pada pengolahan limbah laboratorium secara kontinyu, untuk menurunkan konsentrasi logam berat limbah laboratorium sebelum dialirkan ke lingkungan sehingga tidak mengganggu aktifitas lingkungan sekitar.





Gambar 3 : Diagram alir penelitian

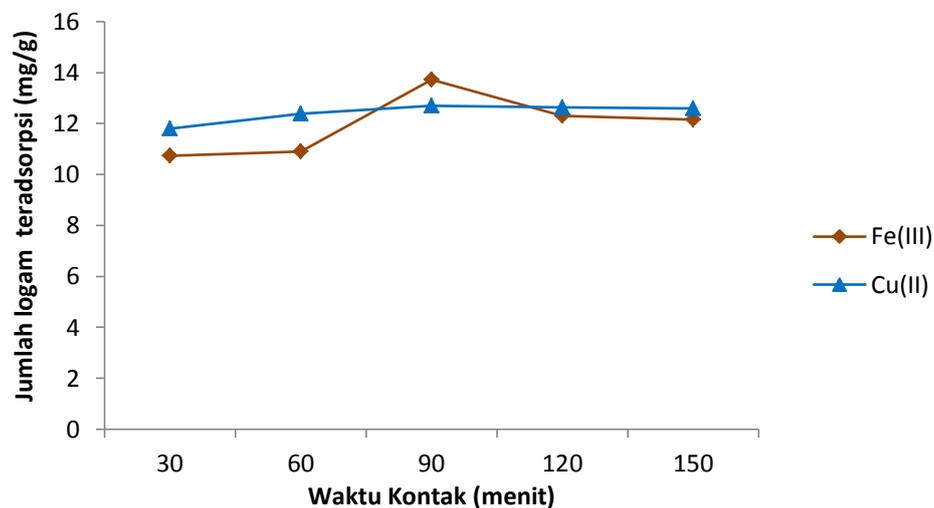
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

1. Penentuan Waktu Kontak Optimum

Dari hasil penelitian ini, jumlah ion logam Fe(III) dan Cu(II) yang teradsorpsi terus meningkat seiring bertambahnya waktu dan mencapai waktu kontak optimum pada menit ke 90. Setelah menit ke 90 yaitu pada menit ke 120 dan 150, jumlah ion logam Fe(III) dan Cu(II) yang teradsorpsi terus mengalami penurunan, seperti diperlihatkan pada Gambar 4 dan Lampiran 8.



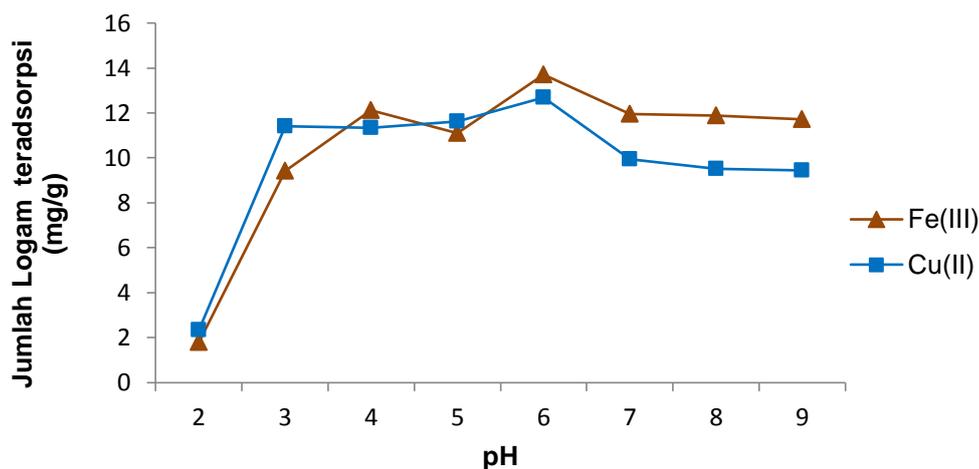
Gambar 4. Biosorpsi ion logam Fe(III) dan Cu(II) kulit kakao ungu M45 (*Theobroma cacao*) sebagai fungsi waktu



Jumlah ion logam Fe(III) dan Cu(II) yang teradsorpsi pada menit ke 90 sebesar 13,72 mg/g untuk ion logam Fe(III) dan 12,70 mg/g untuk ion logam Cu(II).

2. Penentuan pH Optimum

Pada Gambar 5 dan Lampiran 9 menunjukkan efektifitas adsorpsi meningkat sesuai dengan peningkatan pH. pH optimum penyerapan kulit buah coklat ungu M45 (*Theobroma cacao*) terletak pada pH 6 yaitu sebesar 13,72 mg/g untuk ion logam Fe(III) dan 12,70 mg/g untuk ion logam Cu(II), selanjutnya cenderung menurun pada pH 7, 8 dan 9.



Gambar 5. Biosorpsi ion logam Fe(III) dan Cu(II) kulit kakao ungu M45 (*Theobroma cacao*) sebagai fungsi pH

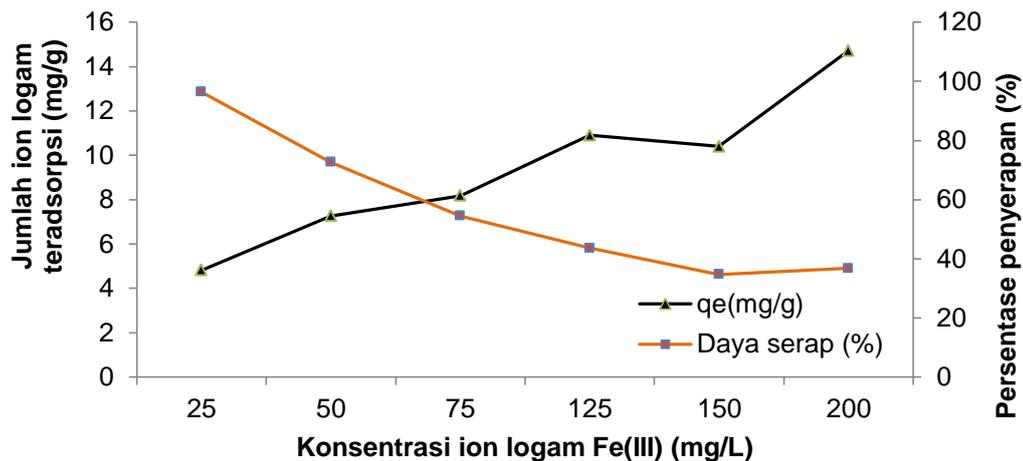
3. Penentuan Kapasitas Adsorpsi

Jumlah ion logam Fe(III) dan Cu(II) yang teradsorpsi oleh kulit buah coklat ungu M45 (*Theobroma cacao*) pada berbagai konsentrasi

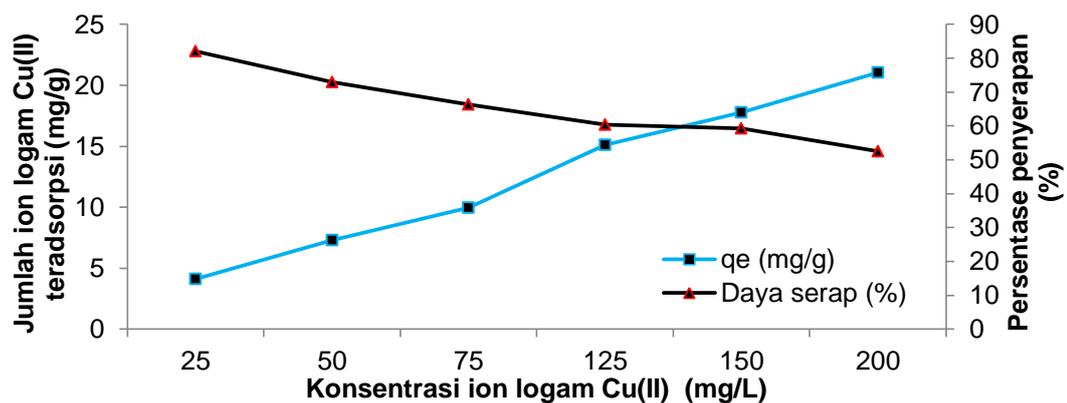
si. Semakin rendah konsentrasi ion logam Fe(III) dan Cu(II) yang teradsorpsi oleh adsorben dengan waktu yang tetap (0,1 gr adsorben



dalam 20 mL sampel, waktu 90 menit), maka semakin kecil jumlah ion yang teradsorpsi tetapi persentase penyerapannya semakin tinggi, ditunjukkan pada Gambar 6 dan Gambar 7. Data pengamatan ditunjukkan pada Lampiran 10 dan Lampiran 11.



Gambar 6. Biosorpsi Fe(III) kulit kakao ungu M45 (*Theobroma cacao*) sebagai fungsi pH

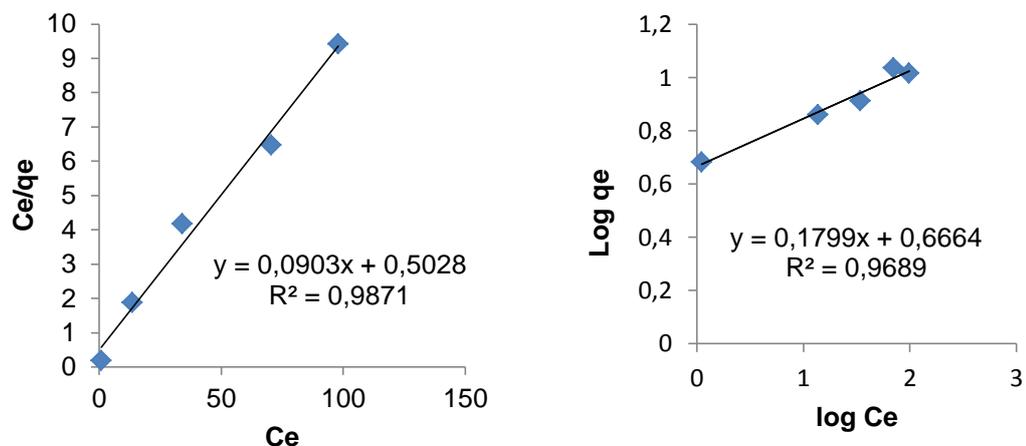


Gambar 7. Biosorpsi ion logam Cu(II) oleh kulit coklat ungu M45 fungsi konsentrasi

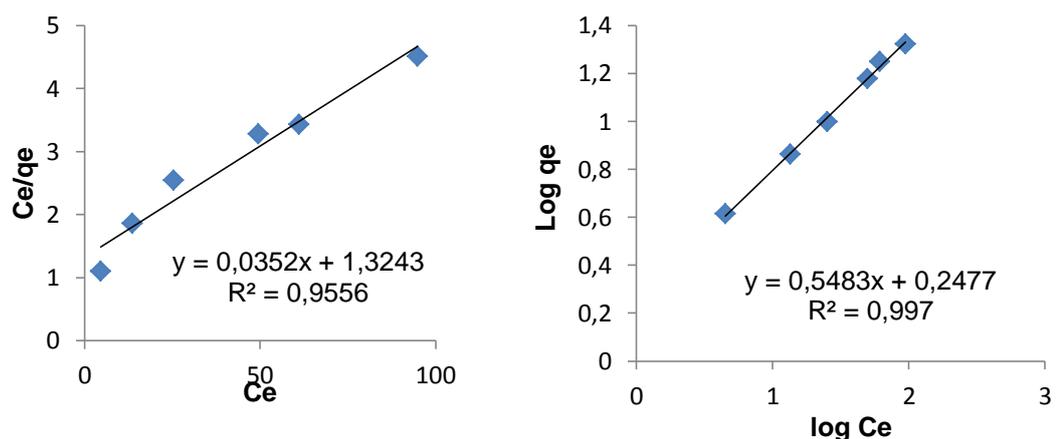
hasil penelitian menunjukkan kapasitas adsorpsi biomassa kulit coklat ungu M45 (*Theobroma cacao*) terhadap ion logam Fe(III)



sebesar 11,074 mg/g dan untuk ion logam Cu(II) sebesar 28,4091 mg/g. Penentuan kapasitas adsorpsi untuk ion logam Fe(III) dan Cu(II) berdasarkan model isotermal Langmuir dan Freundlich seperti ditunjukkan pada Gambar 6 untuk ion logam Fe(III) dan Gambar 8 untuk ion logam Cu(II). Data hasil penelitian ditunjukkan pada Lampiran 10, 11, 12 dan 13.



Gambar 8. Isotermal Langmuir (a) dan Isotermal Freundlich (b) adsorpsi ion logam Fe(III) oleh kulit buah coklat ungu M45 (*Theobroma cacao*) (waktu kontak 90 menit, jumlah adsorben 0,1 g, dan pH 6)

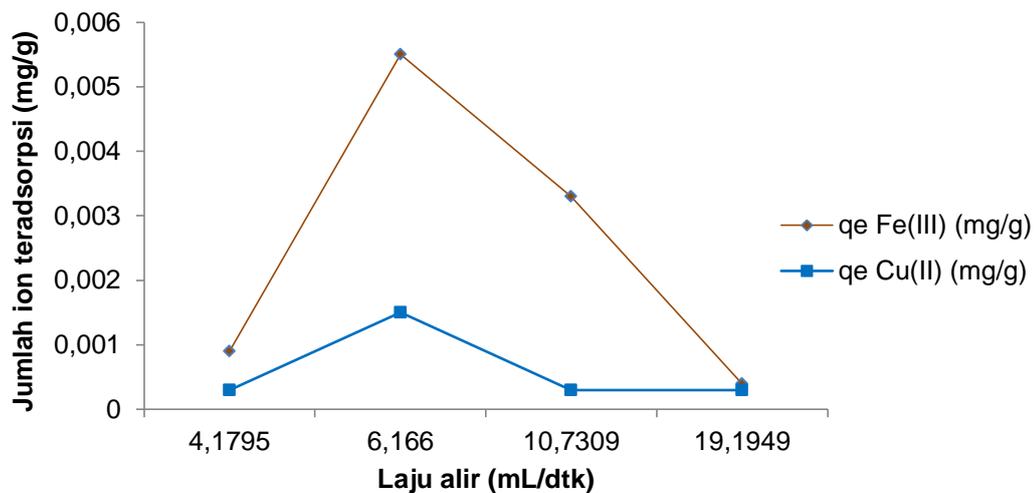


9. Isotermal Langmuir (a) dan Isotermal Freundlich (b) adsorpsi ion logam Cu(II) dari kulit buah coklat ungu M45 (*Theobroma cacao*) (waktu kontak 90 menit, jumlah adsorben 0,1 g, dan pH 6)



4. Penentuan Laju Alir dan Tinggi Adsorben Pada Proses Kontinyu

Pada Gambar 10 menunjukkan bahwa jumlah ion logam Fe(III) dan Cu(II) yang teradsorpsi pada proses kontinyu terjadi pada laju alir limbah 6,166 mL/detik. Jumlah ion logam Fe(III) yang terserap oleh kulit buah cokelat ungu M45 (*Theobroma cacao*) sebesar 0,0055 mg/g dan ion logam Cu(II) sebesar 0,0015 mg/g. Penyerapan ion logam menurun setelah tercapai laju alir optimum yaitu pada laju 10,7308 mL/detik dan 19,1949 mL/detik. Penyerapan ion logam menurun setelah tercapai laju alir optimum yaitu pada laju 10,7308 mL/detik dan 19,1949 mL/detik, data penelitian ditunjukkan pada Lampiran 17.



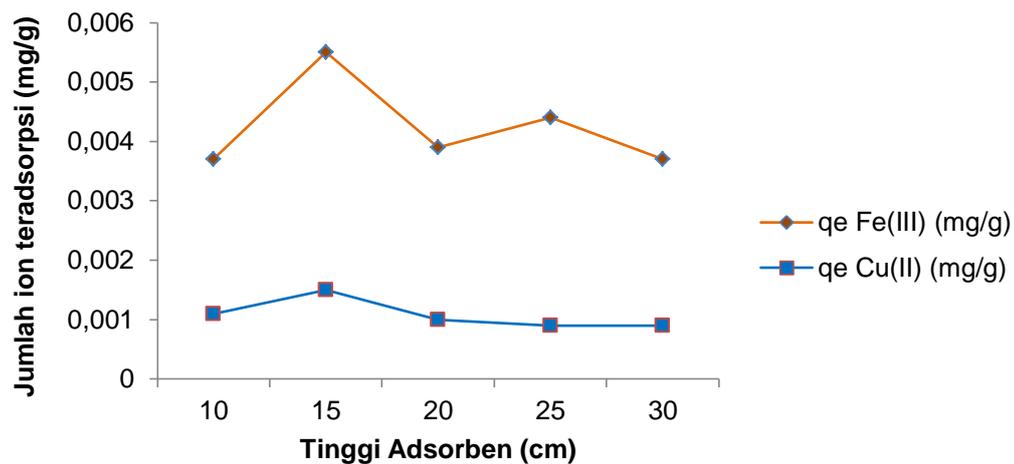
Gambar 10. Pengaruh laju alir adsorben terhadap jumlah ion teradsorpsi (mg/L) dengan tinggi adsorben 15 cm

Hasil penelitian menunjukkan tinggi adsorben optimum pada proses adsorpsi ion logam Fe(III) dan Cu(II) oleh kulit buah cokelat ungu M45

(*Theobroma cacao*) terjadi pada ketinggian 15 cm. Jumlah ion logam yang teradsorpsi sebesar 0,0055 mg/g untuk ion logam Fe(III) dan ion logam



Cu(II) sebesar 0,0015 mg/g, seperti ditunjukkan pada Gambar 11. Penyerapan ion logam menurun setelah tercapai tinggi adsorben optimum yaitu ketinggian 20 cm, 25 cm dan 30 cm, data penelitian ditunjukkan pada Lampiran 16.



Gambar 11. Pengaruh tinggi adsorben terhadap jumlah ion teradsorpsi

5. Adsorpsi Ion Logam Fe(III) dan Cu(II) Limbah Cair Laboratorium

Dari hasil penelitian, limbah laboratorium mengandung ion logam Fe(III) umumnya diatas 20 mg/L, sedangkan Cu(II) dibawah 2 mg/L seperti terlihat pada Tabel 4 (Data pengamatan terlihat pada Lampiran 14 dan 17).

Adsorpsi limbah laboratorium khususnya ion logam Fe(III) dan Cu(II) menggunakan adsorben kulit coklat ungu M45 (*Theobroma cacao*) dilakukan dengan sistem batch dan kontinyu pada kondisi optimum yang diperoleh. Pada sistem batch waktu kontak 90 menit, pH 6, berat adsorben

dan jumlah limbah 0,02 L. Hasil analisis menggunakan AAS menunjukkan jumlah ion teradsorpsi Fe(III) sebesar 0,8280 mg/g dan 0,6906



mg/g dan Cu(II) sebesar 0,0512 mg/g dan 0,0255 mg/g seperti terlihat pada Tabel 4. Pada proses kontinyu, jumlah ion teradsorpsi 0,0055 mg/g untuk ion logam Fe(III) dan 0,0015 mg/g untuk ion logam Cu(II) seperti terlihat pada Tabel 5.

Tabel 4. Jumlah ion teradsorpsi dari limbah cair laboratorium sistem batch pada kondisi optimum (pH 6, waktu 90 menit dan volume 20 mL)

Jenis ion logam	m (g)	C _o (mg/L)	C _e (mg/L)	q _e (mg/g)	Daya Serap (%)
Fe(III)	0,107	43,06	38,63	0,8280	10,29
	0,106	43,06	39,40	0,6906	8,50
Cu(II)	0,107	1,783	1,511	0,0512	15,26
	0,106	1,783	1,650	0,025	7,46

Tabel 5. Jumlah ion logam teradsorpsi pada proses kontinyu dari limbah cair laboratorium pada ketinggian adsorben 15 cm, massa adsorben 163,74 gr dan volume 303,87 mL.

Jenis logam	Q (mL/dtk)	C _o (mg/L)	C _e (mg/L)	C _s (mg/L)	q _e (mg/g)	Daya serap (%)	Standar (mg/L)
Fe	4,1795	23,75	23,26	0,49	0,0009	2,06	10
	6,166	30,07	27,12	2,95	0,0055	9,81	
	10,7309	22,94	21,18	1,76	0,0033	7,67	
	19,1949	23,71	23,48	0,23	0,0004	0,97	
Cu	4,1795	0,748	0,562	0,186	0,0003	24,87	3
	6,166	2,054	1,258	0,796	0,0015	38,75	
	10,7309	0,547	0,411	0,136	0,0003	24,86	
	19,1949	0,711	0,562	0,149	0,0003	20,96	

gan :

C_o = Konsentrasi limbah sebelum adsorpsi

C_e = Konsentrasi limbah setelah adsorpsi



C_s = Selisih konsentrasi sebelum dan sesudah adsorpsi
 q_e = Jumlah ion logam teradsorpsi

B. Pembahasan

Waktu kontak merupakan hal yang sangat menentukan dalam proses adsorpsi. Semakin lama waktu kontak antara adsorben dengan adsorbat maka semakin banyak zat terlarut (adsorbat) yang teradsorpsi. Jumlah zat yang teradsorpsi maksimum pada waktu tertentu, dimana adsorben tidak mampu lagi mengadsorpsi adsorbat karena permukaan telah jenuh dan bahkan terjadi desorpsi.

Pada penelitian ini, dengan penambahan 0,1 gr kulit buah cokelat ungu M45 (*Theobroma cacao*) dengan ukuran partikel adsorben 100 mesh, konsentrasi awal ion logam Fe(III) dan Cu(II) 100 ppm sebanyak 20 mL. Berdasarkan waktu optimum menggambarkan bahwa, semakin bertambahnya waktu kontak, maka jumlah ion yang teradsorpsi semakin meningkat sampai mencapai waktu optimum yaitu menit 90. Hal ini berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh (Wibowo *et al.*, 2017), diperoleh waktu kontak optimum untuk menyerap ion logam Fe dan Cu pada menit ke 60 dengan memanfaatkan adsorben nanosilika. Penelitian menggunakan biosorben kulit kacang tanah untuk menyerap ion logam Cu terjadi kondisi optimum pada menit ke 100 (Nursanti *et al.*, 2015). Faktor -

ang mempengaruhi adsorpsi yaitu jenis adsorben, jenis zat yang



diserap, luas permukaan adsorben, konsentrasi zat yang diadsorpsi dan suhu (Handayani & Sulistiyono, 2009).

Nilai pH merupakan salah satu variabel yang berpengaruh pada proses biosorpsi ditinjau dari aspek kelarutan ion logam dan total muatan pada permukaan biosorben, sehingga proton dapat diadsorpsi atau dilepaskan. Oleh karena itu, penentuan pH optimum pada adsorpsi ion logam Fe(III) dan Cu(II) menggunakan kulit buah cokelat ungu M45 (*Theobroma cacao*) dilakukan pada berbagai pH larutan Fe dan Cu yaitu pH 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 dan 9. Pada kondisi tersebut dapat pula terjadi kompetisi ion antara proton dengan ion logam pada permukaan sisi aktif adsorben.

Pengaruh pH terhadap adsorpsi sangat besar, karena akan mempengaruhi muatan pada situs aktif dan muatan ion logam dalam larutan (Ariyani *et al.*, 2018). Pada pH optimum tersebut (pH 6), kemungkinan terjadi interaksi yang kuat antara spesi tertentu dari ion logam terhadap sisi aktif permukaan adsorben. Pada pH optimum untuk ion logam Fe dan Cu, ion-ion ini dalam kondisi asam kemungkinan bentuk spesi aktifnya yaitu Fe^{3+} dan Cu^{2+} , sementara pada pH yang lebih basa, kemungkinan spesi aktifnya $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$ dan $\text{Cu}(\text{OH})^+$. Setelah pH optimum, jumlah spesi tersebut berkurang seiring dengan pembentukan spesi lain dengan peningkatan pH. Pada kondisi tersebut jumlah ion logam terserap

ng.



Adsorpsi optimum dapat juga disebabkan karena jumlah ion H^+ berkurang sehingga gugus fungsi pada permukaan kulit buah cokelat ungu M45 (*Theobroma cacao*) cenderung terionisasi dengan melepas ion H^+ dan permukaan kulit buah cokelat ungu M45 (*Theobroma cacao*) bermuatan negatif, sehingga terjadi interaksi elektrostatik antara permukaan kulit buah cokelat ungu M45 (*Theobroma cacao*) dengan $Fe(III)$ atau $Cu(II)$. Namun pada pH 7, penyerapan menurun karena pada pH tinggi baik ion besi maupun tembaga mengalami reduksi (Nirmala *et al.*, 2015).

Penelitian menggunakan biosorben kulit kacang tanah untuk menyerap ion logam Cu terjadi kondisi pH optimum yaitu pH 5 (Nursanti *et al.*, 2015). pH optimum yang dibutuhkan oleh kulit buah cokelat untuk mengadsorpsi ion $Cr(VI)$ yang terkandung dalam limbah elektroplating terjadi pada pH 6 (Hayati & Sawir, 2017).

Berdasarkan persamaan isoterm Langmuir dan Freundlich untuk ion logam $Fe(III)$ memiliki persamaan Isoterm Langmuir $y = 0,0903x + 0,5028$ dan $R^2 = 0,9871$, sedangkan Isoterm Freundlich $y = 0,1799x + 0,6664$ dan $R^2 = 0,9689$. Berdasarkan nilai R^2 , maka ion logam $Fe(III)$ mengikuti Isoterm Langmuir, sehingga interaksi yang terjadi adalah interaksi kimia. Langmuir menggambarkan bahwa pada permukaan adsorben terdapat sejumlah tertentu sisi aktif yang sebanding dengan luas

an (Murtihapsari *et al.*, 2012). Ion logam $Cu(II)$ memiliki an isoterm Langmuir $y = 0,0352x + 1,3243$ dan $R^2 = 0,9556$



sedangkan isoterm Freundlich $y = 0,5483x + 0,2477$ dan $R^2 = 0,997$. Nilai R^2 (koefisien determinasi) tidak berbeda jauh, maka ion logam Cu(II) mengikuti isoterm Freundlich dan Langmuir tetapi cenderung Freundlich. Adsorpsi ion logam Cu(II) oleh adsorben kulit buah cokelat ungu M45 (*Theobroma cacao*) cenderung mengikuti isoterm Freundlich karena nilai R^2 lebih besar daripada isoterm Langmuir, sehingga dapat diartikan bahwa interaksi yang terjadi adalah interaksi fisika dan kimia tetapi lebih cenderung interaksi fisika, dimana ion logam Cu(II) menempel pada permukaan selulosa kulit buah cokelat ungu M45 (*Theobroma cacao*). Berdasarkan nilai $R^2 \geq 0,9$ (mendekati nilai 1), maka persamaan adsorpsi Langmuir dan Freundlich dapat diterapkan pada proses adsorpsi (Masruhin *et al.*, 2018).

Laju alir optimum terjadi pada laju 6,166 mL/detik dengan peningkatan adsorben 15 cm. Hal ini terjadi karena karena peluang kontak antara ion logam Fe(III) dan Cu(II) dengan gugus aktif adsorben optimum, sehingga jumlah ion logam terserap optimum (M & Wiharto, 2017). Pada laju alir yang lebih tinggi peluang kontak antara ion Fe(III) dan Cu(II) dengan gugus aktif adsorben lebih kecil atau waktu kontak lebih singkat sehingga peluang ion terserap berkurang dengan peningkatan laju alir.

Adsorpsi ion logam Fe(III) dan Cu(II) pada limbah cair laboratorium oleh kulit buah cokelat ungu M45 (*Theobroma cacao*), dengan kecepatan

laju alir optimum untuk ion logam Fe(III) 0,0055 mg/g dan Cu(II) 0,0015 mg/g. Proses adsorpsi pada sistem batch, ion logam Fe(III)



yang teradsorpsi sebesar 0,8280 mg/g dan Cu(II) sebesar 0,052 mg/gr. Sesuai Peraturan Pemerintah No 82 Tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas dan pengendalian pencemaran air, standar Fe maksimum 10 mg/L dan Cu maksimal 3 mg/L. Analisa awal limbah laboratorium menunjukkan konsentrasi Fe umumnya melebihi baku mutu, dan setelah melewati kolom adsorpsi mengalami penurunan tetapi belum memenuhi baku mutu. Hal ini berbeda dengan Cu, umumnya limbah laboratorium dibawah baku mutu dan setelah melewati kolom adsorpsi mengalami penurunan. Biosorpsi merupakan alternatif pengolahan limbah cair karena biaya murah dan bahan baku mudah diperoleh (Malimongan *et al.*, 2015)

Berdasarkan nilai ekonomis, limbah kulit coklat M45 (*Theobroma cacao*) dapat diterapkan di masyarakat karena penyerapan optimumnya berlangsung pada pH 6 sehingga tidak memerlukan penambahan zat kimia dalam pengoperasiannya dan juga ramah lingkungan.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa kulit buah cokelat ungu M45 (*Theobroma cacao*) dapat digunakan sebagai adsorben Fe(III) dan Cu(II) dengan hasil sebagai berikut:

1. Waktu kontak optimum yang diperlukan adsorben kulit buah cokelat ungu M45 (*Theobroma cacao*) untuk mengadsorpsi ion logam Fe(III) dan Cu(II) terjadi pada menit ke 90 dengan massa adsorben 0,1 gr dalam 20 mL pada sistem batch.
2. pH optimum yang diperlukan untuk mengadsorpsi logam Fe(III) dan Cu(II) menggunakan kulit buah cokelat ungu M45 (*Theobroma cacao*) adalah pH 6 dengan waktu kontak 90 menit pada sistem batch.
3. Kapasitas adsorpsi kulit buah cokelat ungu M45 (*Theobroma cacao*) terhadap limbah laboratorium khusus ion logam Fe(III) dan Cu(II) cenderung mengikuti isoterm Langmuir, dengan daya serap adsorpsi maksimum Fe(III) sebesar 11,074 mg/g, Cu(II) maksimum 28,4091 mg/g, sedangkan secara eksperimen kapasitas adsorpsi Fe(III) maksimum pada 14,720 mg/g dan Cu(II) pada 21,028 mg/g pada konsentrasi sampel 200 ppm.



4. Laju alir optimum pada proses adsorpsi secara kontinyu dengan adsorben kulit buah cokelat ungu M45 (*Theobroma cacao*) terhadap limbah cair laboratorium khusus Fe(III) dan Cu(II) adalah 6,166 mL/detik dengan ketinggian adsorben 15 cm, diameter kolom adsorpsi 2 inchi, massa adsorben 163,74 gr dan volume limbah 303,87 mL. Kapasitas adsorpsi pada laju dan tinggi adsorben optimum sebesar 0,0055 mg/g untuk ion logam Fe(III) dan 0,0015 mg/g untuk ion logam Cu(II).

B. Saran

Penelitian selanjutnya pada proses kontinyu didesain dengan membuat wadah adsorben dalam kolom adsorpsi yang terpisah dengan kolom adsorpsi, sehingga pada waktu pengoperasian penyerapan tidak ada adsorben yang terikut mengalir dengan limbah cair laboratorium yang menyebabkan saluran pengeluaran hasil olahan limbah tersumbat.



DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, R. (2004). *Kimia lingkungan*. Andi Offset. Yogyakarta.
- Ajeng, N., & Anzhari, R. (2016). *Pembuatan Adsorben Dari Kulit Buah Kakao Sebagai Adsorben Logam Berat*. Skripsi. Makassar. Teknik Kimia- Politeknik Negeri ujung Padang.
- Amanto, H., & Daryanto. (1999). *Ilmu Bahan* (Cetakan I). PT. Bumi angkasa. Jakarta.
- Ariani, M. D., & Rahayu, D. (2015). Penyisihan Logam Berat Dari Limbah Cair Laboratorium Kimia. *Farmaka*, 14, 89–97.
- Ariyani, D., Cahaya, N., & Mujiyanti, D. R. (2018). Pengaruh pH dan Waktu Kontak Terhadap Adsorpsi Logam Zn (II) pada Komposit Arang Eceng Gondok Termodifikasi Kitosan-Epiklorohidrin. *Jurnal Kimia VALENSI*, 4(November), 85–92.
- Beenakumari, K. S. (2009). Removal of iron from water using modified coconut shell charcoal as adsorbent. *Current World Environment*, 4(2), 321–326.
- Bernard, E., & Jimoh, A. (2013). Adsorption Of Pb , Fe , Cu , and Zn From Industrial Electroplating Wastewater By Orange Pell. *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, 4(2), 95–103.
- Bernasconi, G., Gester, H., Hauser, H., Stauble, H., & Schneiter, E. (2000). *Teknologi Kimia*. PT. Prandya Paramita. Jakarta.
- Etoriki, A. M., El-raï, M., Mahabbis, M. T., & Moussa, N. M. (2014). Removal of Some Heavy Metals from Wastewater by Using of Fava Beans. *American Journal of Analytical Chemistry*, 5(March), 225–234.
- Fahrudin. (2017). *Pengelolaan Limbah Pertambangan Secara Biologis* (Cetakan I). Celebes Media Perkasa. Makassar.
- Firdaus, M. L. (2012). Studi perbandingan berbagai adsorben sintetis dan alami untuk mengikat logam berat. *Semnas Pendidikan Sains*, 3.
- Hadiwidodo, M. (2008). Penggunaan Abu Sekam Padi Sebagai Adsorben Dalam Pengolahan Air Limbah Yang Mengandung Logam Cu. *TEKNIK*, 29, 55–63.
- Handayani, M., & Sulistiyono, E. (2009). Uji Persamaan Langmuir Dan Freundlich Pada Penyerapan Limbah Chrom (VI) Oleh Zeolit. *PTNBR-BATAN*, 1(6), 130–136.
- Hartuno, T., Udiantoro, & Agustina, L. (2014). Desain Water Teratment Menggunakan Karbon Aktif Dari Cangkang Kelapa Sawit Pada Proses Pengolahan Air Bersih Di Sungai Martapura. *Ziraa'ah*, 39(3), 136–144.
- na, M. E., Marzouk, M. A., & Maghrabi, A. H. E. (2018). Biosorption of Iron by Amended *Aspergillus Versicolor* from Polluted Water Sources. *Biometrics & Biostatistics International Journal*, 7(6),



- 502–513. <https://doi.org/10.15406/bbij.2018.07.00253>
- Hayati, U. P., & Sawir, H. (2017). Pemanfaatan Limbah Kulit Buah Kakao Sebagai Adsorben Untuk Penyerapan Ion Logam Kromium (VI) Pada Limbah Elektroplating Di Bukittinggi. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 17(Juni), 34–41.
- Indonesia, S. N. (2004a). *Air dan air limbah – Bagian 4 : Cara uji besi (Fe) dengan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) -nyala*.
- Indonesia, S. N. (2004b). *Air dan air limbah – Bagian 6: Cara uji tembaga (Cu) dengan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-nyala*.
- Junita, L. N. (2013). *Profil Penyebaran Logam Berat Di Sekitar TPA Pakusari Jember*. Skripsi. Jember. Kimia MIPA Universitas Jember.
- Kamble, P. N., Bodade, R. G., Sagar, A. K., Pondhe, G. M., Gaikwad, V. B., & Mane, A. V. (2018). Removal of Copper (II) Using Bio-adsorbents from Prepared Aqueous Solution. *Nature Environment and Pollution Technology An International Quarterly Scientific Journal Original*, 17, 215–222.
- Katherine, & Arie, A. A. (2016). *Desain Kolom Adsorpsi Cair Fixed-Bed Untuk Penghilangan Limbah Zat Warna*. Universitas Katolik Parahyangan.
- M, M. W., & Wiharto, M. (2017). Karakterisasi Kulit Buah Kakao Untuk Karbon Aktif Dan Bahan Kimia Yang Ramah Lingkungan, 2(1), 66–71.
- Maheswari, P., Pattabhi, S., & Malathi, S. (2017). Adsorption Of Cu (II) Ion From Aqueous Solution Using Acid Treated Sago Waste As An Adsorbent. *European Journal of Pharmaceutical and Medical Research*, 4(11), 296–301.
- Malimongan, M., Nafie, N. La, & Taba, P. (2015). Pemanfaatan Kulit Buah Coklat (*Theobroma cacao*) Sebagai Biosorben Ion Logam Ni (II). *Jurnal Indonesia Chimica Acta*, 8(1), 31-41, 8(1), 31–41.
- Masruhin, Rasyid, R., & Yani, S. (2018). Penjerapan Logam Berat Timbal (Pb) Dengan Menggunakan Lignin Hasil Isolasi Jerami Padi. *Journal Of Chemical Process Engineering*, 3(5), 11–20.
- Mohammed, F. M. (2011). *Modelling and Design of Water Treatment Processes Using Adsorption and Electrochemical Regeneration*. Tesis, Engineering and Physical Sciences. University of Manchester.
- Muliyatni, A. S., Budiani, A., & Taniwiryono, A. (2012). Aktivitas antibakteri ekstrak kulit buah kakao (*Theobroma cacao* L.) terhadap *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, dan *Staphylococcus aureus*. *Menara Perkebunan* 2012, 80(2), 77–84.
- Muliyatni, Mangallo, B., & Handyani, D. (2012). Model Isoterm Freundlich Dan Langmuir Oleh Adsorben Arang Aktif Bambu Andong (*G. Verticillata* (Wild) Munro) Dan Bambu Ater (*G. Atter* (Hassk) Kurz Ex Munro), 2(Januari), 17–23.
- Muliyatni, D. P. (2003). *Sistem Pendidikan Nasional*. Jakarta.



- Nirmala, Tiwow, V. M. A., & Suherman. (2015). Adasorpsi Ion Tembaga (Cu) Dan Ion Besi (Fe) Dengan Menggunakan Arang Hayati (Biocharcoal) Kulit Pisang Raja (*Musa sapientum*), 4(November), 189–196.
- Nurhidaya. (2018). *Pemanfaatan Isolat Bakteri Dari Cairan Pulp Kakao Sebagai Bioaktivator Dalam Pengomposan Limbah Kulit Buah Kakao*. Tesis. Makassar. Program Pasca Sarjana PLH- UNHAS.
- Nursanti, W., Syahrul, M., & Maming. (2015). Pemanfaatan Kulit Kacang Tanah (*Arachys hypogea* L.) Sebagai Biosorben Logam Berat Tembaga Dan Kromium Dalam Air Limbah. *J.Sains & Teknologi*, 15(3), 272–277.
- Pandia, S., Devi, A., Siahaan, Y., & Hutagalung, A. T. (2017). Pemanfaatan Adsorben Dari Kulit Buah Kakao (*Theobroma cacao* L.) Untuk Menurunkan Chemical Oxygen Demand Pada Palm Oil Mill Effluent. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 6(3), 34–40.
- Patil, C. S., Gunjal, D. B., Naik, V. M., Harale, N. S., Jagadale, S. D., Kadam, A. N., ... Gore, A. H. (2018). Waste tea residue as a low cost adsorbent for removal of Hydralazine hydrochloride pharmaceutical pollutant from aqueous media: An environmental remediation. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.140>
- PP No 82.Tahun 2001. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air Dan Pengendalian Pencemaran Air (2001).
- Purnamawati, H., & Utami, B. (2014). Pemanfaatan Limbah Kulit Buah Kakao (*Theobroma cocoa* L .) Sebagai Adsorben Zat Warna Rhodamin B. *Prosiding Seminar Nasional Fisika Dan Pendidikan Fisika (SNFPF)*, 5, 12–18.
- Rahmaniah, S. (2016). Penyebaran Taaman Kakao. (Online), ([Hhttp://sakinahrahmaniah.blogspot.com](http://sakinahrahmaniah.blogspot.com)). Diakses 17 Desember 2018.
- Rumidatul, A. (2006). *Efektivitas Arang Aktif Sebagai Adsorben Pada Pengolahan Air Limbah*. Tesis. Bogor. IPB (Bogor Agricultural University).
- Sa, S., & Abike, A. (2016). Tapping in to The Good Use of Cocoa (*Theobroma cacao*) POD Husks : Towards Finding Alternative Sources of Nutrients For Animals in Nigeria . *J Food Technol Pres*, 1(1).
- Said, M. (2009). Pengolahan Air Limbah Laboratorium dengan Menggunakan Koagulan Alum Sulfat dan Poli Aluminium Klorida (PAC). *Jurnal Penelitian Sains*, 2009(C), 38–43.
- Said, D. T. (2015). *Toksikologi Lingkungan*. Andi Offset. Yogyakarta.
- Said, D. T., Zaharah, T. A., & Syahbanu, I. (2016). Adsorpsi Fe (II) Dengan Arang Kulit Buah Kakao (*Theobroma cacao* L .) Teraktivasi Asam Klorida. *JKK, Tahun 2016, Vol 5(2)*, 50-59 . ISSN 2303-1077, 5(2).

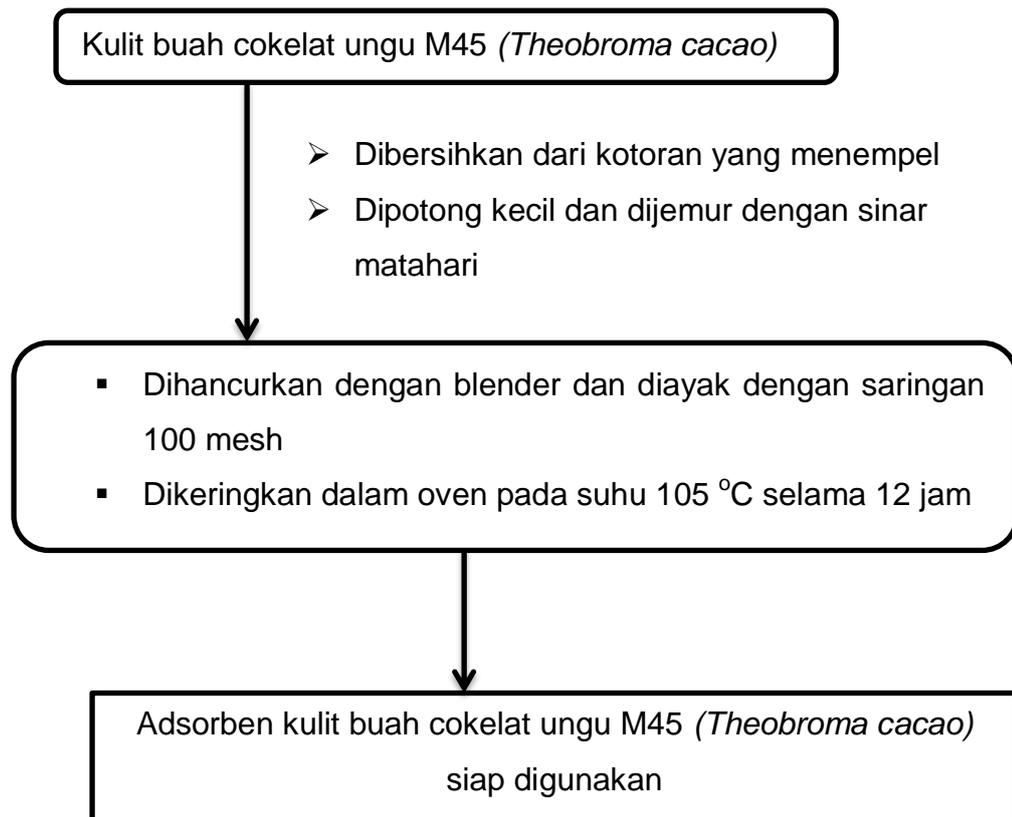


- Sriwati, R., Chamzurni, T., Bukhari, & Sanjani, A. (2013). *Trichoderma virens* Isolated From Cocoa Plantation In Aceh As Biodecomposer Cocoa POD Husk. *Jurnal Natural*, 13(1), 6–14.
- Wibowo, E. A. P., Hardyanti, I. S., Nurani, I., HP, D. S. H., & Rizkita, A. D. (2017). Studi Penurunan Kadar Logam Besi (Fe) Dan Logam Tembaga (Cu) Pada Air Embung Menggunakan Adsorben Nanosilika Study Of Decreasing Metals Iron (Fe) And Copper (Cu) On Embung Water Use Of Nanosilica Adsorben. *Jurnal Ilmiah Sains*, 17(Oktober), 131–134.
- Yusoff, S. N. M., Kamari, A., Putra, W. P., Ishak, C. F., Mohamed, A., Hashim, N., & Isa, I. (2014). Removal of Cu (II), Pb (II) and Zn (II) Ions from Aqueous Solutions Using Selected Agricultural Wastes : Adsorption and Characterisation Studies. *Journal of Environmental Protection*, 5(March), 289–300.

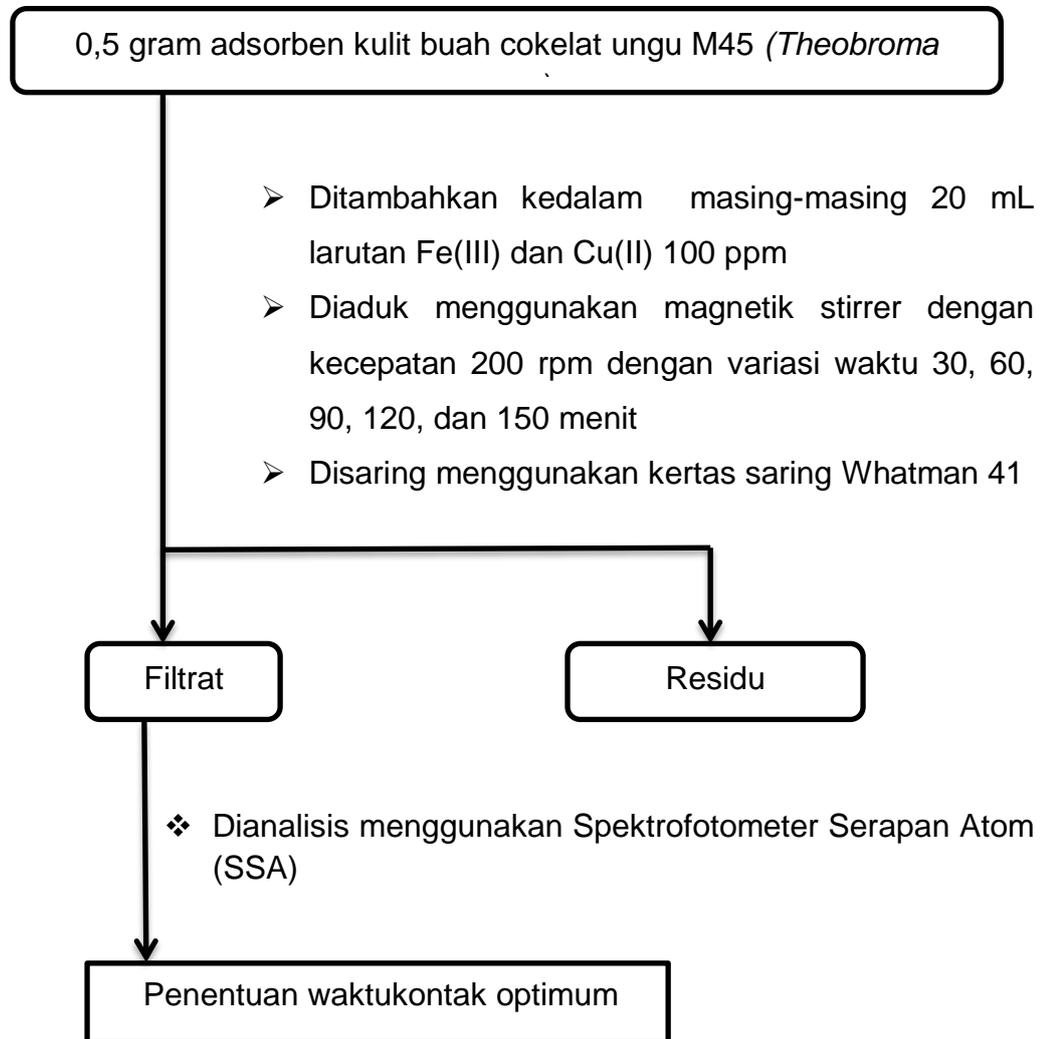


LAMPIRAN

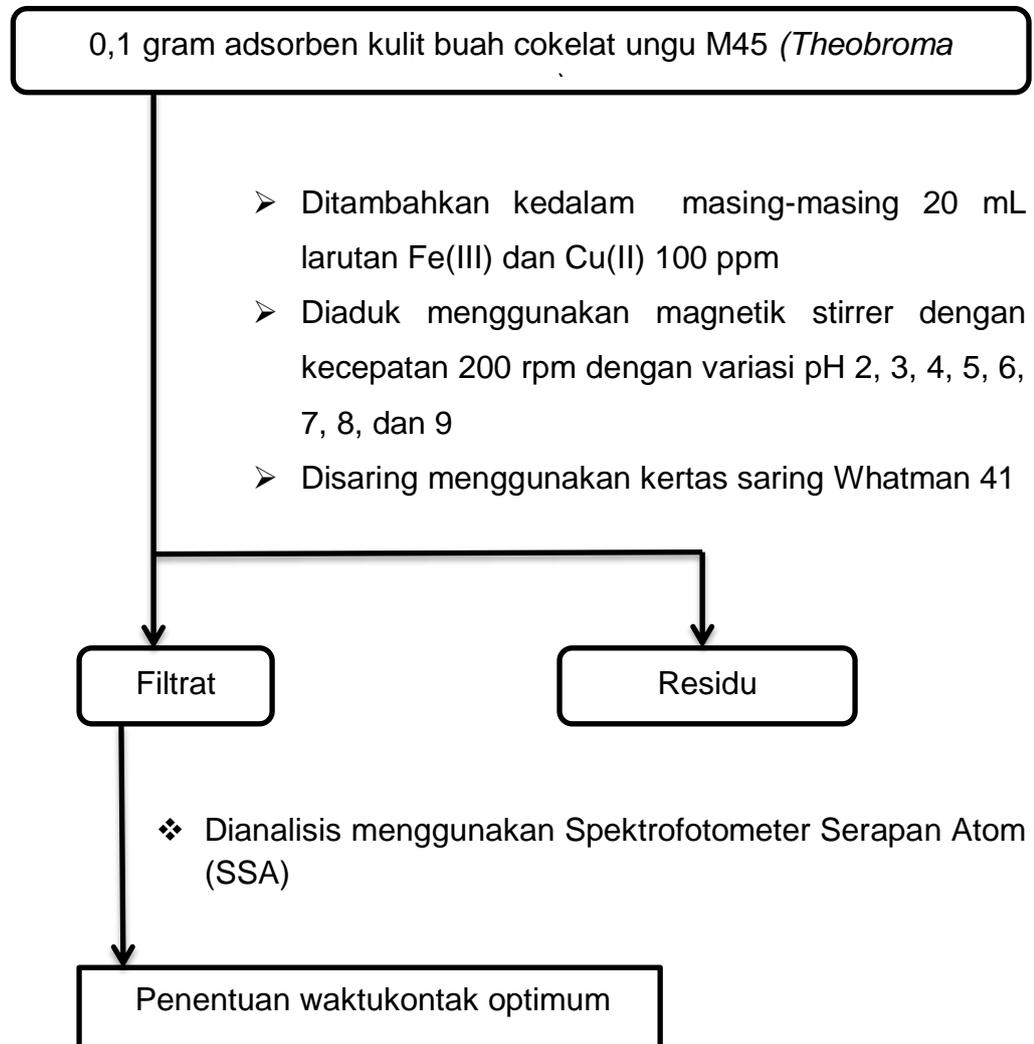
Lampiran 1. Skema pembuatan adsorben kulit buah kakao ungu M45 (*Theobroma cocoa*)



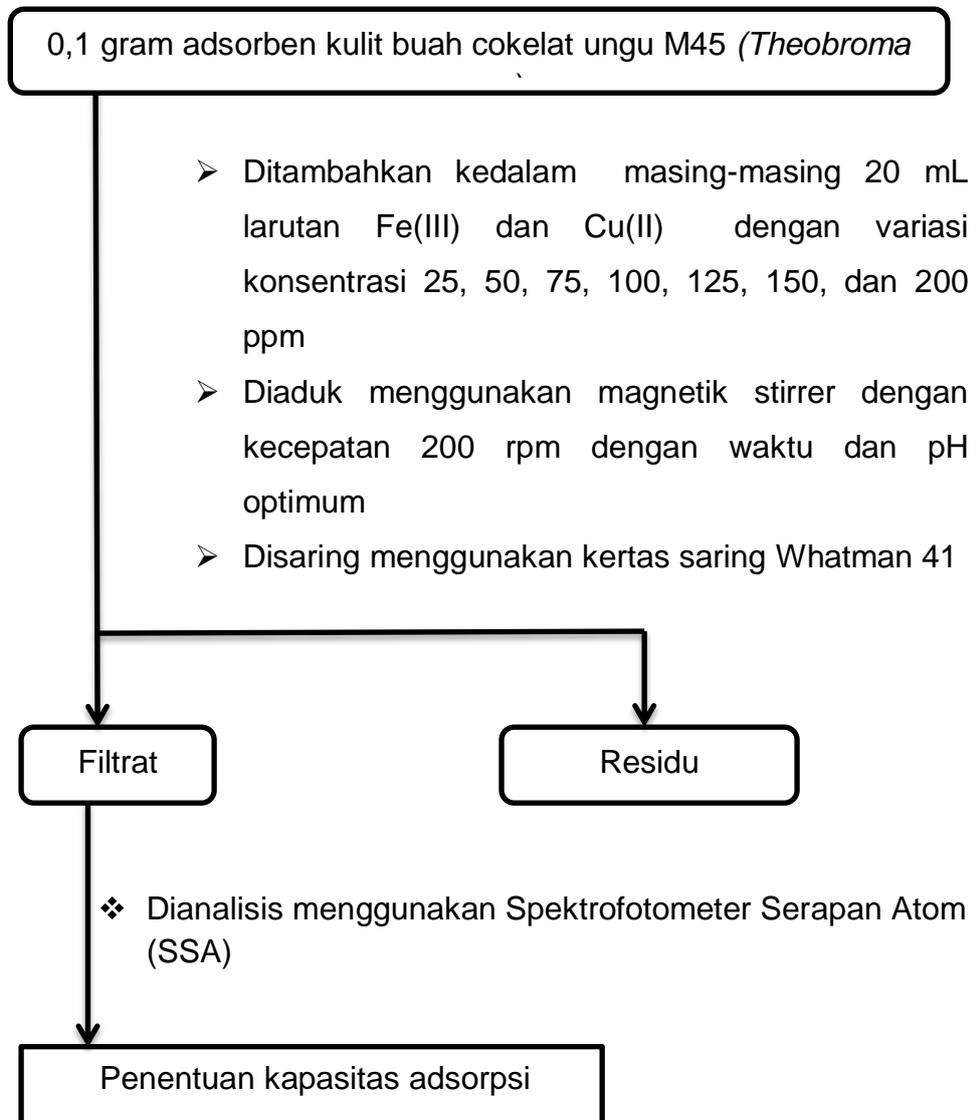
Lampiran 2. Skema penentuan waktu kontak optimum



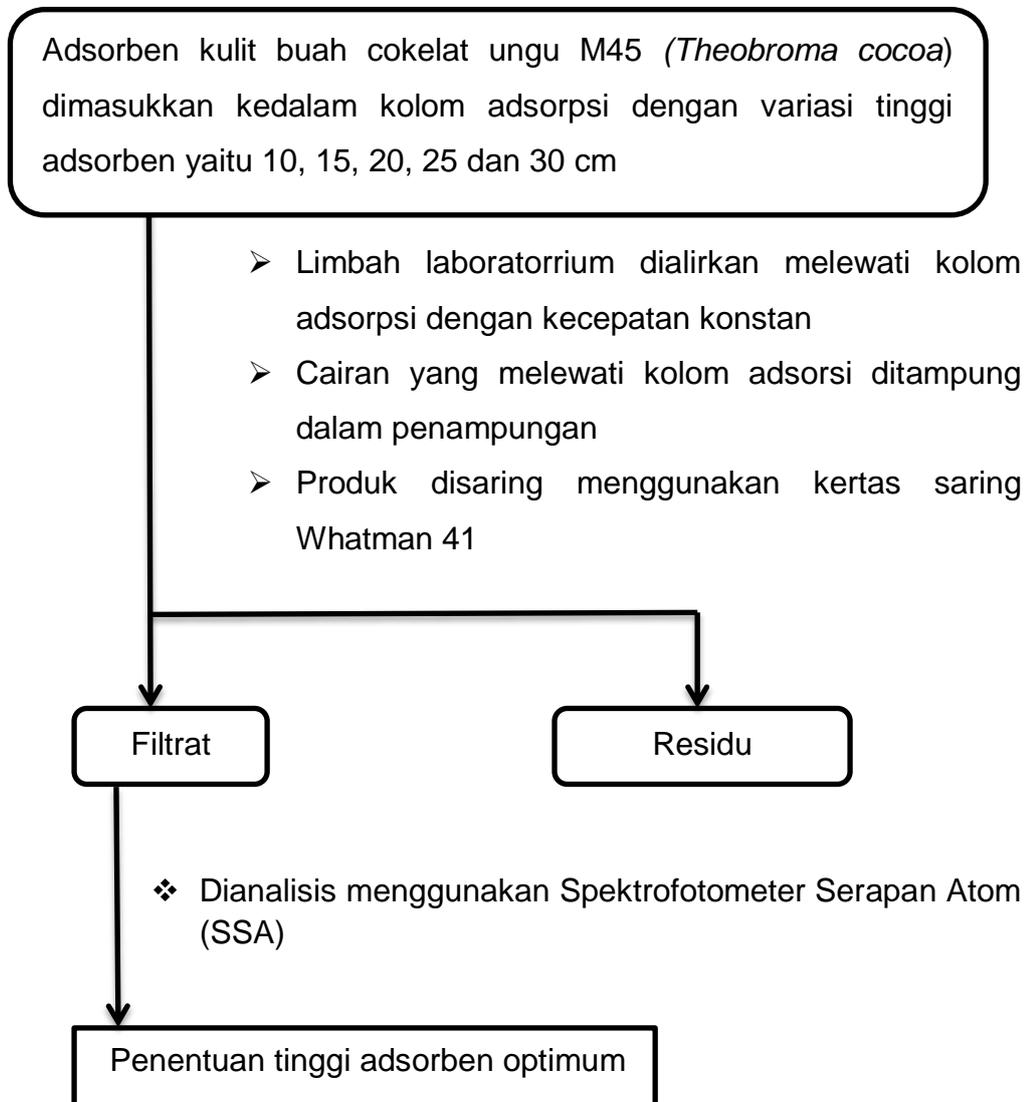
Lampiran 3. Skema kerja penentuan pH optimum



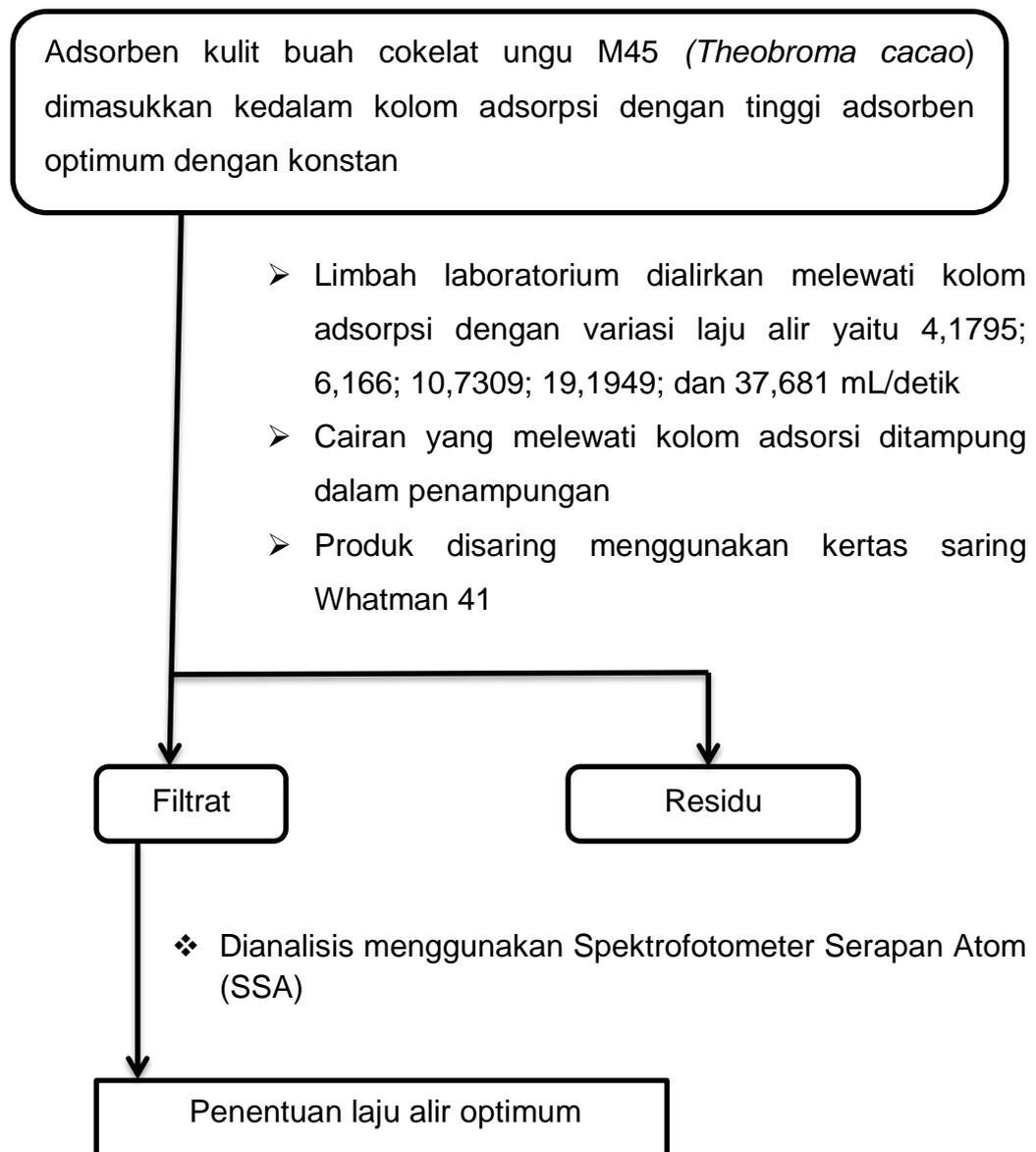
Lampiran 4. Skema kerja penentuan kapasitas adsorpsi



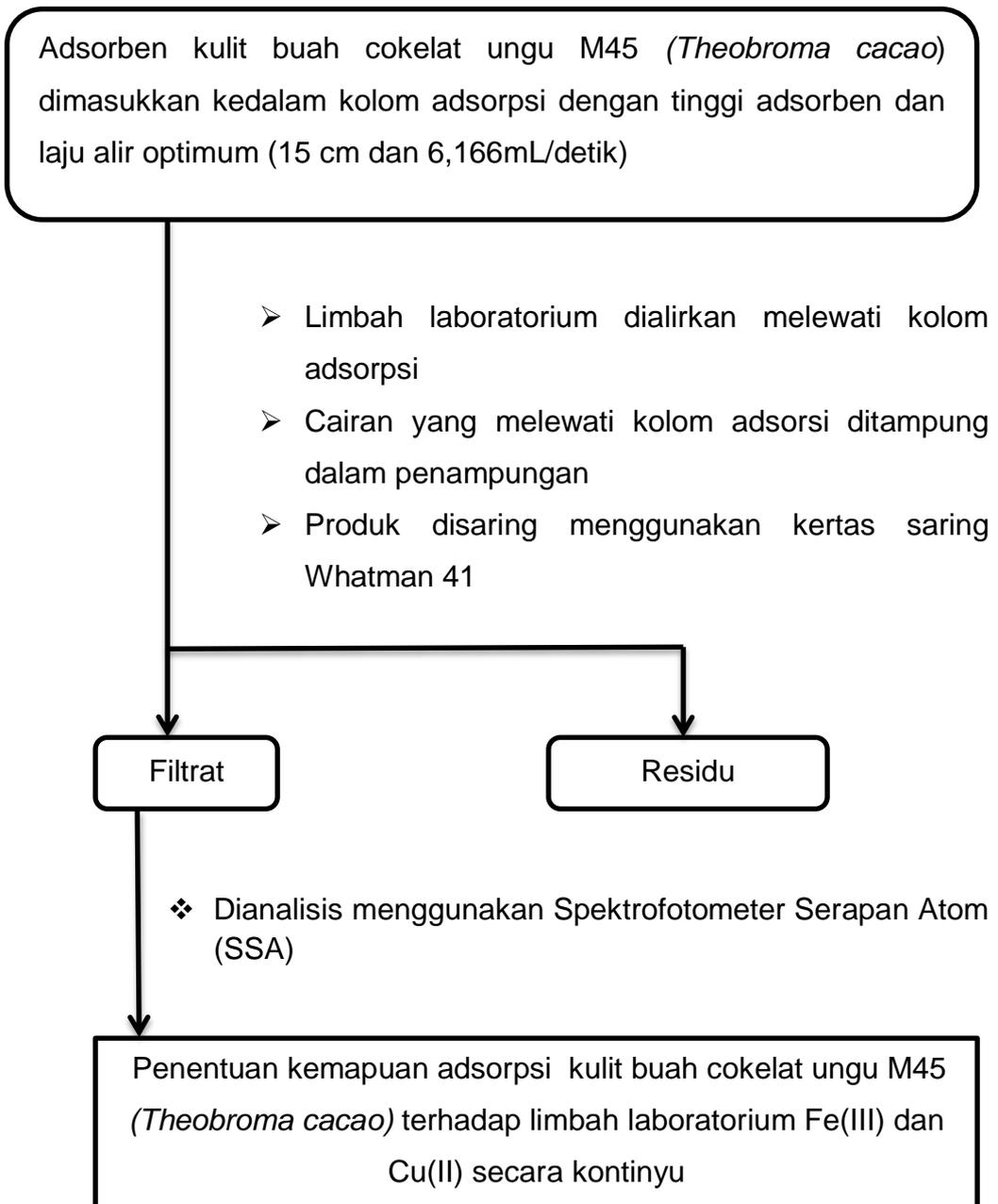
Lampiran 5. Skema kerja penentuan tinggi adsorben optimum pada proses kontinyu



Lampiran 6. Skema kerja penentuan laju alir optimum pada proses kontinyu



Lampiran 7. Skema kerja adsorpsi ion logam Fe(III) dan Cu(II) dari limbah laboratorium



Lampiran 8. Jumlah ion logam Fe(III) & Cu(II) yang teradsorpsi oleh (*Theobroma cacao*) fungsi waktu kontak pada pH 6

Jenis Logam	Waktu (Menit)	C _o (mg/L)	C _e (mg/L)	V (L)	m (g)	q _e (mg/g)	Daya Serap(%)	Ket
Fe(III)	30	100	46,3200	0,02	0,10	10,7360	53,7	Optimum
	60	100	45,5300	0,02	0,10	10,8940	54,5	
	90	100	31,4200	0,02	0,10	13,7160	68,6	
	120	100	38,4900	0,02	0,10	12,3020	61,5	
	150	100	39,2400	0,02	0,10	12,1520	60,8	
Cu(II)	30	100	41,050	0,02	0,10	11,7900	59,0	Optimum
	60	100	38,030	0,02	0,10	12,3940	62,0	
	90	100	36,520	0,02	0,10	12,6960	63,5	
	120	100	36,790	0,02	0,10	12,6420	63,2	
	150	100	37,050	0,02	0,10	12,5900	63,0	

$$q_e = [(C_o - C_e)/m] \cdot V$$

Dimana :

q_e = Jumlah ion logam yang teradsorpsi (mg/g)

C_o = Konsentrasi awal larutan (mg/L)

C_e = Konsentrasi akhir larutan (mg/L), analisis dengan SSA

V = Volume larutan (L)



Lampiran 9. Hasil pH optimum adsorpsi Fe(III) dan Cu(II) dengan kulit buah cokelat ungu M45 (*Theobroma cacao*) dengan konsentrasi 100 ppm

Jenis Logam	pH	C _o (mg/L)	C _e (mg/L)	V (L)	m (g)	q _e (mg/g)	Daya Serap (%)	Ket
Fe(III)	2	100	91,010	0,02	0,10	1,7980	9,0	Optimum
	3	100	52,910	0,02	0,10	9,4180	47,1	
	4	100	39,350	0,02	0,10	12,1300	60,7	
	5	100	44,480	0,02	0,10	11,1040	55,5	
	6	100	31,420	0,02	0,10	13,7160	68,6	
	7	100	40,287	0,02	0,10	11,9426	59,7	
	8	100	40,540	0,02	0,10	11,8920	59,5	
	9	100	41,420	0,02	0,10	11,7160	58,6	
	Cu(II)	2	100	88,320	0,02	0,10	2,3360	
3		100	42,970	0,02	0,10	11,4060	57,0	
4		100	43,360	0,02	0,10	11,3280	56,6	
5		100	41,900	0,02	0,10	11,6200	58,1	
6		100	36,520	0,02	0,10	12,6960	63,5	
7		100	50,280	0,02	0,10	9,9440	49,7	
8		100	52,380	0,02	0,10	9,5240	47,6	
9		100	52,790	0,02	0,10	9,4420	47,2	

$$q_e = [(C_o - C_e)/m] \cdot V$$

Dimana :

q_e = Jumlah ion logam yang teradsorpsi (mg/g)

C_o = Konsentrasi awal larutan (mg/L)

C_e = Konsentrasi akhir larutan (mg/L), analisis dengan SSA

V = Volume larutan

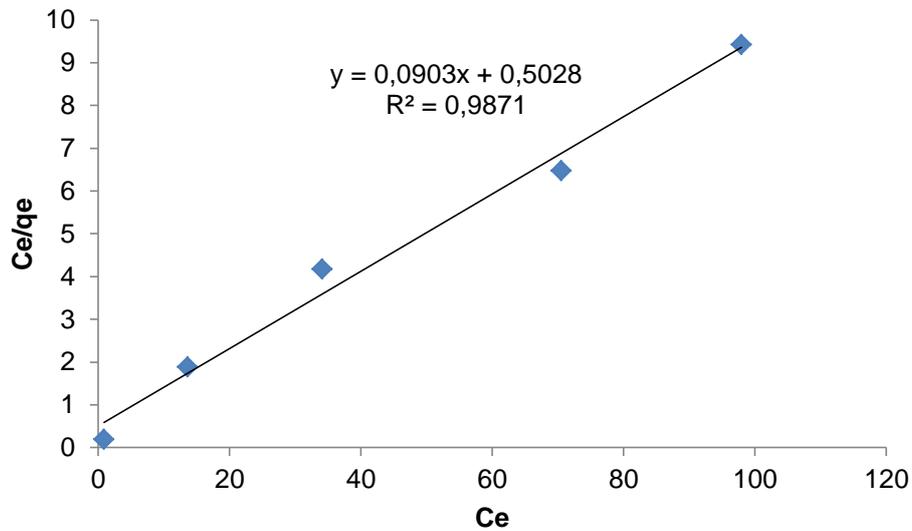


Lampiran 10. Hasil perhitungan kapasitas adsorpsi Fe(III) oleh adsorben kulit buah cokelat ungu M45 (*Theobroma cocoa*) untuk Isotermal Langmuir

Fe(III)								
No.	Konsentrasi Fe (mg/L)	C _o (mg/L)	C _e (mg/L)	q _e (mg/g)	C _e /q _e	Log C _e x	Log q _e y	Daya Serap (%)
1	25	25	0,900	4,820	0,187	-0,046	0,683	96,4
2	50	50	13,660	7,268	1,880	1,135	0,861	72,7
3	75	75	34,110	8,178	4,171	1,533	0,913	54,5
4	125	125	70,500	10,900	6,468	1,848	1,037	43,6
5	150	150	98,000	10,400	9,423	1,991	1,017	34,7
6	200	200	126,400	14,720	8,587	2,102	1,168	36,8

Fe(III)							
C _o (mg/L)	C _e (mg/L) (x)	q _e (mg/g)	C _e /q _e (y)	Slope	Intercept	Kapasitas adsorpsi(a) (mg/g)	Konstanta Langmuir (b)
25	0,900	4,820	0,187				
50	13,660	7,268	1,880				
75	34,110	8,178	4,171				
125	70,500	10,900	6,468	0,0903	0,5024	11,074	0,1796
150	98,000	10,400	9,423				
200	126,400	14,720	8,587				





Persamaan:

$$C_e/q_e = 1/(q_m \cdot b) + (1/q_m) \cdot C_e$$

Keterangan : C_e = Konsentrasi kesetimbangan larutan (mg/L)

q_e = Jumlah zat yang diadsorpsi per gram adsorben (mg/g)

q_m = Kapasitas adsorpsi (mg/g)

b = Konstanta Langmuir

Contoh perhitungan:

Persamaan yang diperoleh dari grafik yaitu :

$$y = 0,0903x + 0,5028$$

Dimana slope = 0,0903 dan intercept = 0,5028



asitas adsorpsi Fe(III) (q_m):

lope = $1 / q_m$

$$q_m = 1 / \text{Slope}$$

$$q_m = 1 / 0,0903$$

$$q_m = 11,074 \text{ mg/g}$$

b. Konstanta Langmuir (b):

$$1/ b \cdot q_m = \text{Intercept}$$

$$b = \text{Slope} / \text{intercept}$$

$$b = 0,0903 / 0,5028$$

$$b = 0,1796$$



Lampiran 11. Hasil perhitungan kapasitas adsorpsi Cu(II) oleh adsorben kulit buah cokelat ungu M45 (*Theobroma cocoa*) untuk Isotermal Langmuir

No Urut	pH	Waktu (Jam)	Konsentrasi Awal (mg/L)	Konsentrasi Akhir (mg/L)	Jumlah Logam Terserap (mg/L)	Persentase Penyerapan (%)
1	6	90	25	4,490	20,5100	82,04
2	6	90	50	13,530	36,4700	72,94
3	6	90	75	25,270	49,7300	66,31
4	6	90	125	49,500	75,5000	60,40
5	6	90	150	61,060	88,9400	59,29
6	6	90	200	94,860	105,1400	52,57

Cu(II)							
Konsentrasi Cu(II) (mg/L)	C _o (mg/L)	C _e (mg/L) x	q _e (mg/g)	C _e /q _e y	Log C _e	Log q _e	Daya Serap (%)
25	25	4,4900	4,1020	1,0946	0,6522	0,6130	82,04
50	50	13,5300	7,2940	1,855	1,1313	0,8630	72,94
75	75	25,2700	9,9460	2,541	1,4026	0,9976	66,31
125	125	49,5000	15,1000	3,278	1,6946	1,1790	60,40
150	150	61,0600	17,7880	3,433	1,7858	1,2501	59,29
200	200	94,8600	21,0280	4,511	1,9771	1,3228	52,57

$$q_e = [(C_o - C_e) / m] \cdot V$$



q_e = Jumlah ion logam yang teradsorpsi (mg/g)

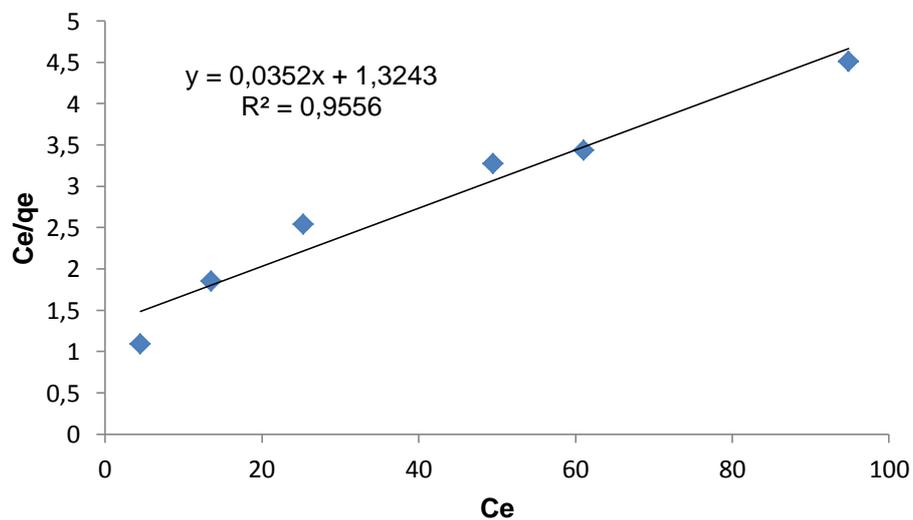
C_o = Konsentrasi awal larutan (mg/L)

C_e = Konsentrasi akhir larutan (mg/L), analisis dengan SSA

V = Volume larutan = 20 mL = 0,02 L

m = Berat adsorben = 0,1 gram

Cu(II)							
C_o (mg/L)	C_e (mg/L) (x)	q_e (mg/g)	C_e/q_e (y)	Slope	Intercept	Kapasitas adsorpsi(a) (mg/g)	Konstanta Langmuir (b)
25	4,4900	4.1020	1,0946				
50	13,5300	7.2940	1,855				
75	25,2700	9.9460	2,541				
125	49,5000	15.1000	3,278	0,0352	1,3243	28,4091	0.0266
150	61,0600	17.7880	3,433				
200	94,8600	21.0280	4,511				



Contoh perhitungan:

Persamaan yang diperoleh dari grafik yaitu :

$$y = 0.0352x + 1.3243$$

Dimana slope = 0,0352 dan intercept = 1,3243

a. Kapasitas adsorpsi Fe(III) (q_m):

$$\text{Slope} = 1 / q_m$$

$$q_m = 1 / \text{Slope}$$

$$q_m = 1 / 0,0352$$

$$q_m = 28,4091 \text{ mg/g}$$

b. Konstanta Langmuir (b):

$$1/ b \cdot q_m = \text{Intercept}$$

$$b = \text{Slope} / \text{intercept}$$

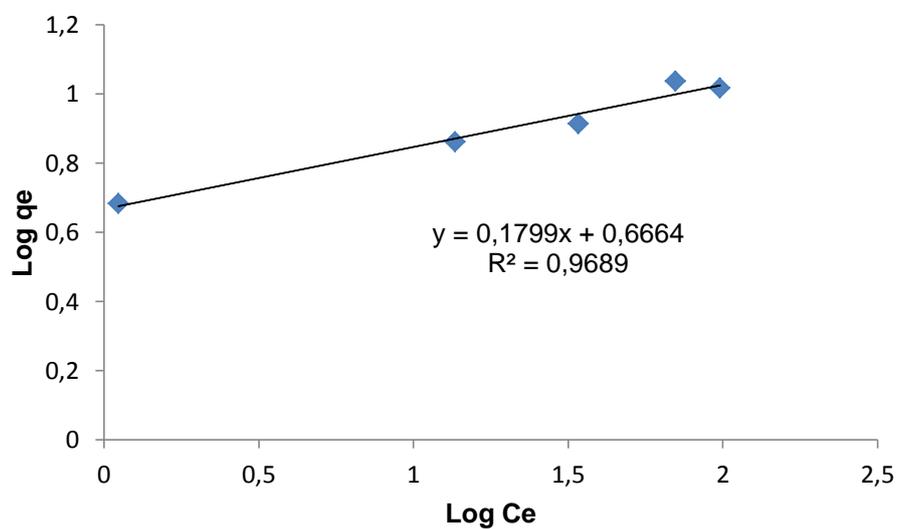
$$b = 0,0352 / 1,3243$$

$$b = 0,0266$$



Lampiran 12. Hasil perhitungan kapasitas adsorpsi Fe(III) oleh adsorben kulit buah cokelat ungu M45 (*Theobroma cocoa*) untuk Isotermal Freundlich

Fe(III)								
C _o (mg/L)	C _e (mg/L)	q _e (mg/g)	Log C _e (y)	Log q _e (x)	Slope	Intercept	Kapasitas adsorpsi(k) (mg/g)	Intensitas adsorpsi (n)
25	0,900	4,820	-	0,683				
			0,046					
50	1,660	7,268	1,135	0,861				
75	34,110	8,178	1,533	0,913	0,1734	0,6797	4,7829	5,767
125	70,500	10,900	1,848	1,037				
150	98,000	10,400	1,991	1,017				
200	126,400	14,720	2,102	1,168				



Persamaan:

$$\text{Log } (x/m) = \text{log } k + 1/n \cdot \text{log } C_e$$

gan :



- C_e = Konsentrasi kesetimbangan larutan (mg/L)
 x/m = Jumlah zat yang diadsorpsi per gram adsorben (mg/g) atau q_e
 k = Kapasitas adsorpsi (mg/g)
 n = Intensitas penyerapan (konstanta Freundlich)

Contoh perhitungan:

Persamaan yang diperoleh dari grafik yaitu :

$$y = 0,1799x + 0,6664$$

Dimana slope = 0,1799 dan intercept = 0.6664

a. Kapasitas adsorpsi Fe(III) :

$$\begin{aligned}
 k &= 10^{\text{intercep}} \\
 k &= 10^{0,6664} \\
 k &= 10^{0,6664} \\
 k &= 4,6387 \text{ mg/g}
 \end{aligned}$$

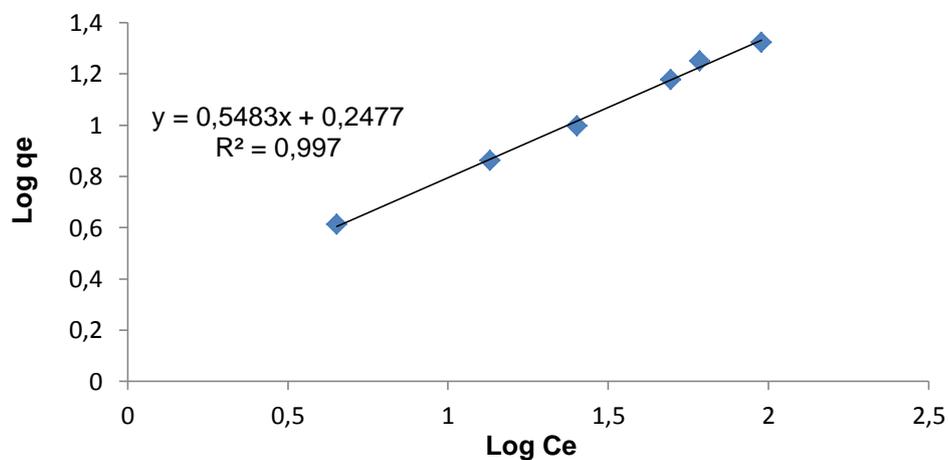
b. Intensitas adsorpsi (n):

$$\begin{aligned}
 n &= 1/\text{slope} \\
 n &= 1/ 0,1799 \\
 n &= 5,5586
 \end{aligned}$$



Lampiran 13. Hasil perhitungan kapasitas adsorpsi Cu(II) oleh adsorben kulit buah cokelat ungu M45 (*Theobroma cocoa*) untuk Isotermal Freundlich

Cu(II)								
C_o (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	$\text{Log } C_e$ (y)	$\text{Log } q_e$ (x)	Slope	Intercept	Kapasitas adsorpsi(k) (mg/g)	Intensitas adsorpsi (n)
25	0,900	4,820	0,6522	0,683				
50	13,660	7,268	1,1313	0,861				
75	34,110	8,178	1,4026	0,913	0,5483	0.2477	1,7689	1,8238
125	70,500	10,900	1,6946	1,037				
150	98,000	10,400	1,7858	1,017				
200	126,400	14,720	1,9771	1,168				



Contoh perhitungan:

Persamaan yang diperoleh dari grafik yaitu :

$$y = 0.5483x + 0.2477$$

slope = 0.5483 dan intercept = 0.2477



a. Kapasitas adsorpsi Cu(II) :

$$k = 10^{\text{intercep}}$$

$$k = 10^{0.2477}$$

$$k = 10^{0,2477}$$

$$k = 1,7689 \text{ mg/g}$$

b. Intensitas adsorpsi (n):

$$n = 1/\text{slope}$$

$$n = 1/ 0,5483$$

$$n = 1,8238$$



Lampiran 14. Hasil perhitungan kapasitas adsorpsi dan daya serap kulit coklat ungu M45 (*Theobroma cacao*) terhadap ion logam Fe(III) dan Cu(II) dalam limbah laboratorium sistem batch

Fe(III)					
m (g)	V (mL)	C _o (mg/L)	C _e (mg/L)	q _e (mg/g)	Daya Serap (%)
0,107	20	43,06	38,63	0,8280	10,288
0,106	20	43,06	39,40	0,6906	8,500
Cu(II)					
m (g)	V (mL)	C _o (mg/L)	C _e (mg/L)	q _e (mg/g)	Daya Serap (%)
0,107	20	1,783	1,511	0,0512	15,255
0,106	20	1,783	1,650	0,0255	7,459

$$q_e = (C_o - C_e) / m$$

$$\text{Daya Serap} = [(C_o - C_e) / C_o] \times 100 \%$$

Dimana :

- q_e = Jumlah ion logam yang teradsorpsi (mg/g)
- C_o = Konsentrasi awal larutan (mg/L)
- C_e = Konsentrasi akhir larutan (mg/L)
- V = Volume larutan (L)



Lampiran 15. Penentuan laju alir optimum untuk penyerapan ion logam Fe(III) dan Cu(II) terhadap limbah laboratorium oleh adsorben kulit coklat ungu M45 (*Theobroma cacao*) pada sistim kontinyu ($h = 15$ cm)

Q (mg/L)	C _o Fe(III) (mg/L)	C _e Fe(III) (mg/L)	C _s Fe(III) (mg/L)	q _e Fe(III) (mg/g)	C _o Cu(II) (mg/L)	C _e Cu(II) (mg/L)	C _s Cu(II) (mg/L)	q _e Cu(II) (mg/g)
4,1795	23,75	23,26	0,49	0,0009	0,748	0,562	0,186	0,0003
6,166	30,07	27,12	2,95	0,0055	2,054	1,258	0,796	0,0015
10,7309	22,94	21,18	1,76	0,0033	0,547	0,411	0,136	0,0003
19,1949	23,71	23,48	0,23	0,0004	0,711	0,562	0,149	0,0003

Keterangan :

- Q = Laju alir
- C_e = Konsentrasi akhir
- C_o = Konsentrasi awal
- C_s = Jumlah ion yang teradsorpsi (C_o-C_e)



Lampiran 16. Penentuan tinggi adsorben optimum terhadap limbah laboratorium

h (Cm)	C _o Fe(III) (mg/L)	C _e Fe(III) (mg/L)	C _s Fe(III) (mg/L)	q _e Fe(III) (mg/g)	C _o Cu(II) (mg/L)	C _e Cu(II) (mg/L)	C _s Cu(II) (mg/L)	q _e Cu(II) (mg/g)
10	30,07	28,09	1,98	0,0037	2,054	1,482	0,572	0,0011
15	30,07	27,12	2,95	0,0055	2,054	1,258	0,796	0,0015
20	30,07	27,96	2,11	0,0039	2,054	1,488	0,566	0,0010
25	30,07	27,68	2,39	0,0044	2,054	1,571	0,483	0,0009
30	30,07	28,1	1,97	0,0037	2,054	1,545	0,509	0,0009

$$q_e = [(C_o - C_e) / m] \cdot V$$

$$V = (3,14 \cdot r^2) \cdot h$$

Keterangan :

- h = Tinggi adsorben
- C_o = Konsentrasi awal
- C_e = Konsentrasi akhir
- C_s = Jumlah ion yang teradsorpsi
- r = Jari -jari kolom adsorpsi



Lampiran 17. Jumlah ion logam teradsorpsi fungsi laju Alir ($h = 15 \text{ cm}$;
 massa adsorben = 163,74 g ; Volume = 303,87 mL)

Q (mg/L)	C _o Fe(III) (mg/L)	C _e Fe(III) (mg/L)	C _s Fe(III) (mg/L)	q _e Fe(III) (mg/g)	C _o Cu(II) (mg/L)	C _e Cu(II) (mg/L)	C _s Cu(II) (mg/L)	q _e Cu(II) (mg/g)
4,1795	23,75	23,26	0,49	0,0009	0,748	0,562	0,186	0,0003
6,166	30,07	27,12	2,95	0,0055	2,054	1,258	0,796	0,0015
10,7309	22,94	21,18	1,76	0,0033	0,547	0,411	0,136	0,0003
19,1949	23,71	23,48	0,23	0,0004	0,711	0,562	0,149	0,0003

$$q_e = [(C_o - C_e) / m] \cdot V$$

Dimana :

- q_e = Jumlah ion logam yang teradsorpsi (mg/g)
- C_o = Konsentrasi awal larutan (mg/L)
- C_e = Konsentrasi akhir larutan (mg/L)
- V = Volume larutan (L)

Contoh perhitungan Fe(III) pada laju 6,166 mL/dtk:

$$q_e = \frac{(30,07 - 27,12) \text{ mg/L}}{163,74 \text{ g}} \cdot 0,30387 \text{ L}$$

$$q_e = 0,0055 \text{ mg/g}$$



Lampiran 18. Hasil penimbangan adsorben pada ketinggian tertentu

No	Tinggi adsorben dalam kolom adsorpsi diameter kolom 2 inch (cm)	Berat adsorben kulit coklat ungu M45 (<i>Theobroma cocoa</i>) (g)
1	10	109,05
2	15	163,74
3	20	220.30
4	25	271,68
5	30	326,98



Lampiran 19. Standar baku mutu air limbah, Permen LH RI No 5 Tahun 2014

LAMPIRAN XLVII
 PERATURAN MENTERI LINGKUNGAN HIDUP REPUBLIK INDONESIA NO 5
 TAHUN 2014 TENTANG BAKU MUTU AIR LIMBAH
 BAKU MUTU AIR LIMBAH BAGI USAHA DAN / ATAU KEGIATAN YANG
 BELUM MEMILIKI BAKU MUTU AIR LIMBAH YANG DITETAPKAN

Parameter	Satuan	GOLONGAN	
		I	II
Temperatur	°C	38	40
Zat padat terlarut (TDS)	mg/L	2.000	4.000
Zat pada tersuspensi (TSS)	mg/L	200	400
pH	-	6,0 - 9,0	6,0 - 9,0
Besi terlarut (Fe)	mg/L	5	10
Mangan terlarut (Mn)	mg/L	2	5
Barium (Ba)	mg/L	2	3
Tembaga (Cu)	mg/L	2	3
Seng (Zn)	mg/L	5	10
Krom hexavalent (Cr ⁶⁺)	mg/L	0,1	0,5
Krom total (Cr)	mg/L	0,5	1
Cadmium (Cd)	mg/L	0,5	0,1
Air raksa (Hg)	mg/L	0,002	0,005
Timbal (Pb)	mg/L	0,1	1
Stannum (Sn)	mg/L	2	3
Arsen (As)	mg/L	0,1	0,5
Selenium (Se)	mg/L	0,05	0,5
Nikel (Ni)	mg/L	0,2	0,5
Kobal (Co)	mg/L	0,4	0,6
Sianida (CN)	mg/L	0,5	0,05
Sulfida (H ₂ S)	mg/L	0,5	1
Florida (F)	mg/L	2	3
Klor bebas (Cl ₂)	mg/L	1	2
Amonia-nitrogen (NH ₃ -N)	mg/L	5	10
Nitrat (NO ₃ -N)	mg/L	20	30
Nitrit (NO ₂ -N)	mg/L	1	3
Total nitrogen	mg/L	30	60
BOD ₅	mg/L	50	150
COD	mg/L	100	300
Senyawa aktif biru metilen	mg/L	5	10
Fenol	mg/L	0,5	1
dan lemak	mg/L	10	20
akteri koliform	MPN/100 ml	10.000	



Lampiran 20. Dokumentasi penelitian

1. Pengeringan kulit buah cokelat ungu M45 (*Theobroma cacao*)



2. Pengecilan ukuran kulit buah cokelat dan sieving



3. Pengeringan adsorben pada oven



4. Pembuatan sampel buatan ion logam Fe(III) dan Cu(II)



5. Proses adsorpsi penentuan waktu optimum



6. Proses adsorpsi penentuan waktu optimum



7. Proses adsorpsi penentuan laju alir dan tinggi adsorben optimum dengan sistim kontinyu



8. Analisa AAS

