



**MODEL ADSORPSI ISOTERM ARANG AKTIF PULP KOPI PADA  
PENANGANAN LIMBAH CAIR KOPI**

**SKRIPSI**

**Oleh:**

**Nur Shodiqotul Kamil  
NIM 151710201091**

**JURUSAN TEKNIK PERTANIAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN  
UNIVERSITAS JEMBER  
2019**



**MODEL ADSORPSI ISOTERM ARANG AKTIF PULP KOPI PADA  
PENANGANAN LIMBAH CAIR KOPI**

**SKRIPSI**

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan studi pada Jurusan Teknik Pertanian (S1) dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

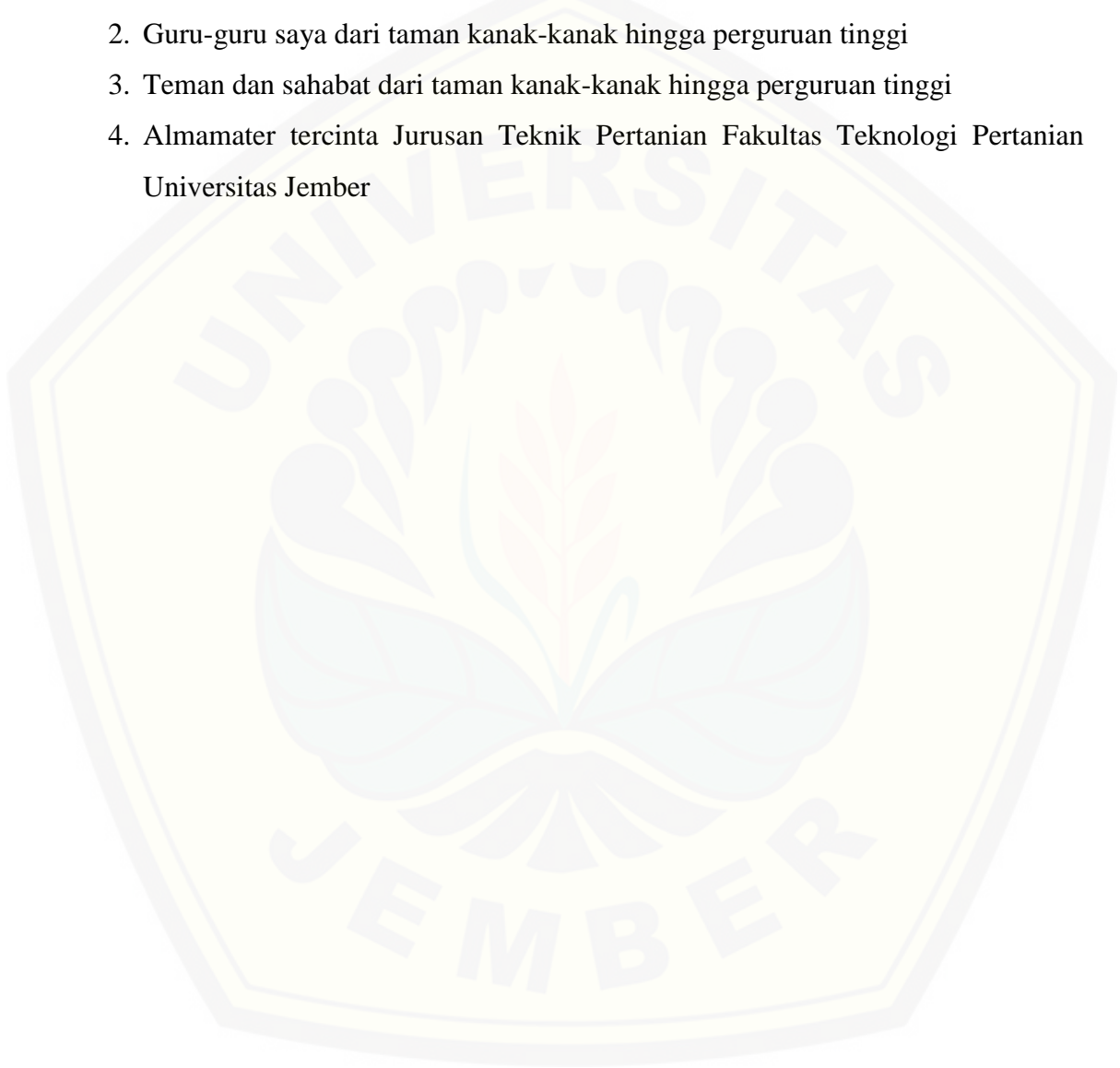
**Nur Shodiqotul Kamil  
NIM 151710201091**

**JURUSAN TEKNIK PERTANIAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN  
UNIVERSITAS JEMBER  
2019**

### **PERSEMBAHAN**

Sebagai ucapan rasa syukur dan terima kasih atas selesainya tugas akhir ini, saya persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua saya umi Nurul Hidayah dan abi Nawawi, S. Pd
2. Guru-guru saya dari taman kanak-kanak hingga perguruan tinggi
3. Teman dan sahabat dari taman kanak-kanak hingga perguruan tinggi
4. Almamater tercinta Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember



**MOTTO**

“Bahwasanya seorang manusia tiada memperoleh selain apa yang telah diusahakannya”.

( Terjemahan Surat An-Najm : 39)<sup>\*)</sup>

“Carilah ilmu dari buaian sampai liang lahat”

(HR. Muslim)<sup>\*\*)</sup>



---

<sup>\*)</sup> Departemen Agama Republik Indonesia. 2012. *Al Qur'an dan Terjemahannya (Mushaf Aisyah)*. Jakarta: PT. Insan Media Pustaka.

<sup>\*\*)</sup> Nashiruddin, M. 2005. *Mukhtashar Shahih Muslim*. Jakarta: Gema Insani.

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nur Shodiqotul Kamil

NIM : 151710201091

menyatakan bahwa skripsi yang berjudul “Model Adsorpsi Isoterm Arang Aktif Pulp Kopi pada Penanganan Limbah Cair Kopi” adalah hasil karya sendiri kecuali pendapat atau materi dari sumber lain telah dikutip sesuai dengan penulisan referensi.

Pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada unsur paksaan dari pihak manapun. Jika pernyataan ini tidak sesuai, saya bersedia mendapat sanksi akademik.

Jember, 18 Juli 2019

Yang menyatakan,

Nur Shodiqotul Kamil  
NIM 151710201091

**SKRIPSI**

**MODEL ADSORPSI ISOTERM ARANG AKTIF PULP KOPI PADA  
PENANGANAN LIMBAH CAIR KOPI**

Oleh

**Nur Shodiqotul Kamil**  
**NIM 151710201091**

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Elida Novita, S.Tp, M.T  
Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Sri Wahyuningsih, S.P., M.T

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Model Adsorpsi Isoterm Arang Aktif Pulp Kopi pada Penanganan Limbah Cair Kopi” telah diuji dan disahkan pada:

Hari : Rabu  
Tanggal : 07 Agustus 2019  
Tempat : Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember

Dosen Pembimbing Utama, Dosen Pembimbing Anggota,

Dr. Elida Novita, S.TP., M.T.  
NIP. 197311301999032001

Dr. Sri Wahyuningsih, S.P., M.T.  
NIP. 197211301999032001

Tim Penguji:

Penguji Utama,

Penguji Anggota,

Dr. Ir. Bambang Marhaenanto, M.Eng.  
NIP. 196312121990031002

Rufiani Nadzirah, S.TP., M. Sc.  
NRP. 760018059

Mengesahkan  
Dekan Fakultas Teknologi Pertanian  
Universitas Jember

Dr. Siswoyo Soekarno, S.TP., M.Eng.  
NIP. 19680923 199403 1 009

## RINGKASAN

**Model Adsorpsi Isoterm Arang Aktif Pulp Kopi pada Penanganan Limbah Cair Kopi;** Nur Shodiqotul Kamil, 151710201091; 2019; 40 halaman; Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.

Limbah cair kopi merupakan salah satu limbah yang dihasilkan dari proses pengolahan kopi. Limbah cair kopi dihasilkan dari proses pencucian buah kopi difermentasi. Limbah cair kopi mengandung flavonoid yang berasal dari kulit buah yang berpengaruh terhadap warna coklat gelap pada limbah cair kopi. Oleh karena itu, apabila limbah cair kopi dibuang langsung ke badan air dapat merusak kehidupan air.

Selain limbah cair kopi, limbah lain yang dihasilkan dari proses pengolahan kopi yaitu pulp kopi. Pulp kopi mengandung selulosa dan senyawa organik sehingga berpotensi untuk dijadikan sebagai arang aktif. Arang aktif tersebut dapat digunakan sebagai upaya penanggulangan untuk mengurangi konsentrasi warna yang terdapat pada limbah cair kopi.

Penelitian ini menggunakan limbah cair kopi sintetik dan arang aktif pulp kopi. Limbah cair kopi sintetik digunakan karena ketersediaan bahan yang terbatas. Konsentrasi COD yang terdapat pada limbah cair kopi sintetik telah disesuaikan dengan kandungan COD yang terdapat pada limbah cair kopi yang sebenarnya. Arang aktif pulp kopi yang digunakan diaktivasi dengan senyawa NaOH 1 M. Aktivasi secara kimia dapat meningkatkan daya serap arang aktif karena dapat menghilangkan kotoran yang menempel pada pori-pori arang aktif. Kualitas arang aktif pulp kopi ditentukan karakteristiknya berdasarkan SNI-06-3730-1995 dan dianalisis kemampuan arang aktif dalam menyerap zat warna berdasarkan adsorpsi isoterm. Model isoterm yang digunakan yaitu isoterm Freundlich dan Langmuir.

Arang aktif pulp kopi yang dihasilkan memiliki kadar air sebesar 3,43%; kadar abu 2,3%; dan daya serap  $I_2$  15231,6 mg/g. Karakterisasi arang aktif pulp kopi telah memenuhi SNI-06-3730-1995. Konsentrasi larutan limbah cair kopi



sintetik yang digunakan yaitu 10 variasi dari 1000 mg/L sampai 5.500 mg/L dengan interval 500 mg/L. Konsentrasi warna pada limbah cair kopi diukur absorbansinya sebelum dan sesudah dikontakkan dengan arang aktif pulp kopi dengan panjang gelombang 475 nm. Kapasitas adsorpsi arang aktif pulp kopi pada limbah cair kopi sintetik dianalisis dengan metode adsorpsi isoterm. Hasil yang diperoleh semakin besar konsentrasi larutan, maka semakin banyak adsorbat yang teradsorpsi. Hal ini disebabkan daya dorong molekul adsorbat untuk terikat pada permukaan adsorben hingga mencapai keadaan setimbang. Model adsorpsi isoterm yang digunakan yaitu isoterm Freundlich dan Langmuir. Hasil yang diperoleh yaitu proses adsorpsi pada penelitian ini mengikuti isoterm Langmuir dengan kapasitas optimum yang dapat terserap arang aktif sebesar 39,06 mg/g. Hal ini disebabkan nilai  $R^2$  pada grafik isoterm Langmuir memiliki nilai yang lebih besar daripada nilai  $R^2$  pada grafik isoterm Freundlich. Nilai  $R^2$  yang dihasilkan dievaluasi dengan menghitung *root mean square error* (RMSE). Nilai RMSE pada grafik isoterm Langmuir memiliki nilai terkecil yaitu 0,005 sehingga perhitungan isoterm Langmuir merupakan perhitungan yang lebih akurat.

## SUMMARY

**Adsorption Isotherm Model of Coffee Pulp Activated Carbon in Coffee Wastewater Treatment;** Nur Shodiqotul Kamil, 151710201091; 2019; 40 pages; Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agricultural Technology, University of Jember.

Coffee wastewater is one of the wastes produced from the coffee processing. Coffee wastewater is produced from washing process of fermented coffee cherries. Coffee wastewater contains flavonoid compound which comes from the skin of the cherries that affect the dark brown color of the coffee wastewater. Therefore, when the coffee wastewater directly discharged into water can be detrimental to aquatic life.

In addition, another wastes produced from coffee processing is coffee pulp. The coffee pulp contains cellulose and organic compounds that potentially can be used as activated carbon. The activated carbon can be used as handling effort to reduce color concentration found in coffee wastewater.

This study uses synthetic coffee wastewater and coffee pulp activated carbon. Synthetic coffee wastewater is used because of limited availability of materials. COD concentration in synthetic coffee wastewater has been adjusted to COD concentration in actual coffee wastewater. Coffee pulp activated carbon used is activated with NaOH 1 M compound. Chemical activation can increase the adsorption capacity of activated carbon because it can remove a dirt that stick to activated carbon pores. The quality of activated carbon is determined by its characteristic based on SNI-06-3730-1995 and the ability of activated carbon to adsorb dyes based on adsorption isotherms. The isotherm model used is Freundlich and Langmuir isotherms.

Coffee pulp activated carbon product has a water content of 3,43%; 2,3 % ash content; and absorbability of Iodine is 15231,6 mg/g. The characterization of coffee pulp activated carbon has fulfilled SNI-06-3730-1995. The concentration solution of synthetic coffee wastewater used is about 10 variations from 1000

mg/L to 5.500 mg/L at intervals of 500 mg/L. The color concentration of coffee wastewater absorbance is measured before and after being contacted with coffee pulp activated carbon with wavelength of 475 nm. The adsorption capacity of coffee pulp activated carbon in synthetic coffee wastewater is analyzed by adsorption isotherm method. The results obtained is greater the concentration of solution, more adsorbates are adsorbed. This is due to the thrust of the adsorbate molecule to be bound to the surface of the adsorbent until it reaches a balanced state. The adsorption isotherm model used is Freundlich and Langmuir isotherm. The results obtained are the adsorption process of this study following the Langmuir isotherm with the optimum capacity that can be absorbed by activated carbon of 39.06 mg/g. This is because the value of  $R^2$  in the Langmuir isotherm graph has a value greater than  $R^2$  in the graph of Freundlich isotherm. The value of  $R^2$  produced is evaluated by counting the root mean square error (RMSE). The value of RMSE on Langmuir isotherm graphic that has minimum value is 0,005. Therefore, the most accurate calculation is Langmuir isotherm.

## PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas berkah, rahmat, dan hidayah-Nya yang senantiasa dilimpahkan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Model Adsorpsi isoterm Arang Aktif Pulp Kopi pada Penanganan Limbah Cair Kopi”. Skripsi ini sebagai syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana (S1) pada Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.

Penulisan ini tidak dapat terselesaikan tanpa dukungan dari berbagai pihak baik moril maupun materil. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penyusunan skripsi ini terutama kepada:

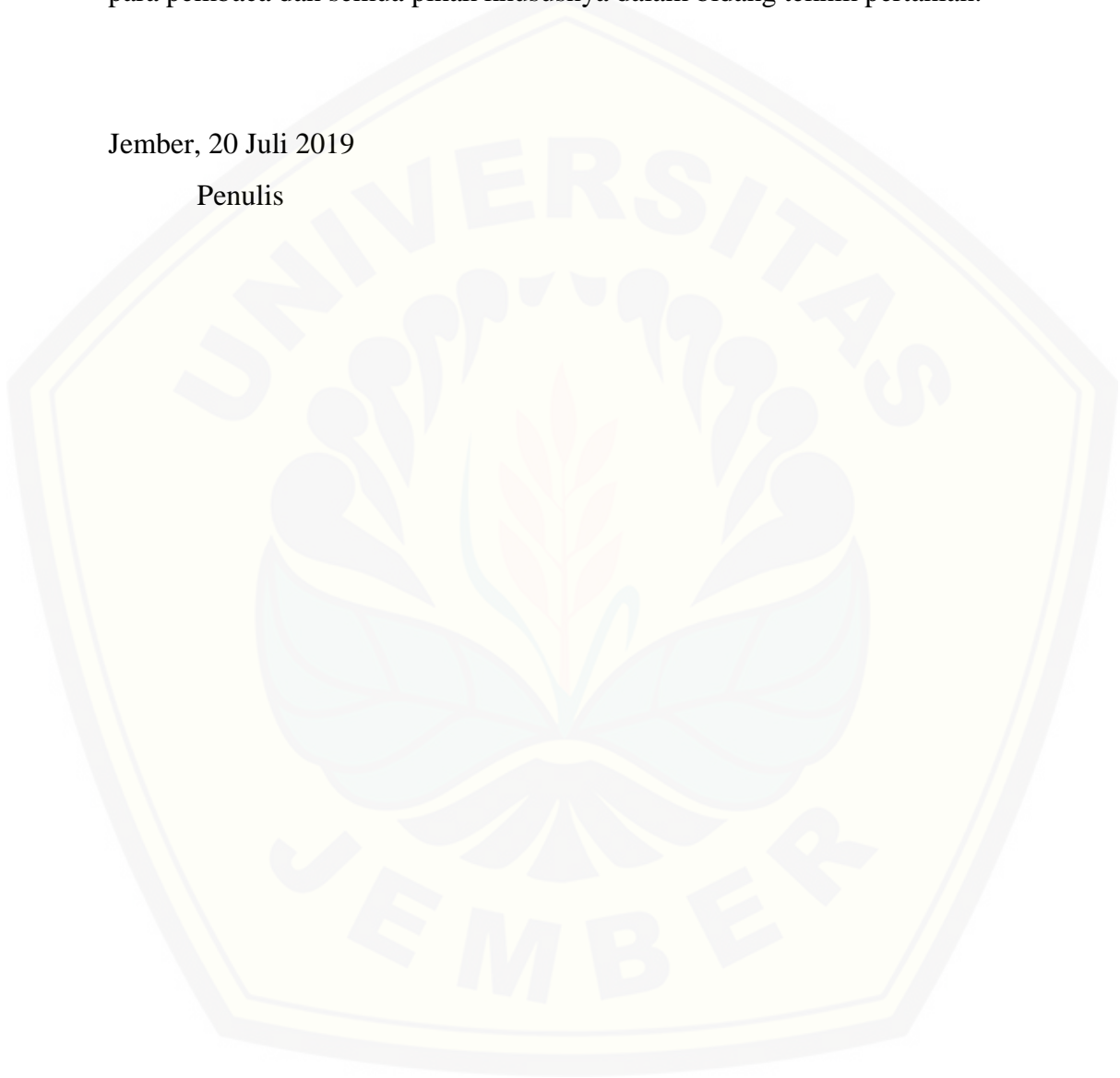
1. Dr. Elida Novita, S.TP., M.T., selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberikan arahan selama penyusunan skripsi;
2. Dr. Sri Wahyuningsih, S.P., M.T., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberikan arahan selama penyusunan skripsi;
3. Dr. Dedy Wirawan Soediby, S.TP., M.Si., selaku dosen dan Komisi Bimbingan Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember;
4. Seluruh dosen Jurusan Teknik Pertanian yang telah memberikan pengetahuan selama masa perkuliahan;
5. Seluruh staf dan karyawan Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember yang telah memberi bantuan kepada penulis;
6. Keluarga, terutama kedua orang tua umi Nurul Hidayah dan abi Nawawi, S.Pd., yang selalu mendukung dan mendo'akan penulis;
7. Teman-teman TEP-B 2015, teman-teman pondok Ath-Thoybah, dan teman-teman KKN 93 Periode II 2018 yang selalu mendukung dan memberikan motivasi kepada penulis;

8. Semua pihak yang penulis tidak dapat menyebutkan satu per satu yang telah membantu serta mendukung dalam penyelesaian naskah skripsi ini.

Penulis mengharapkan segala bentuk saran dan kritik yang membangun apabila terdapat kekurangan pada skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan semua pihak khususnya dalam bidang teknik pertanian.

Jember, 20 Juli 2019

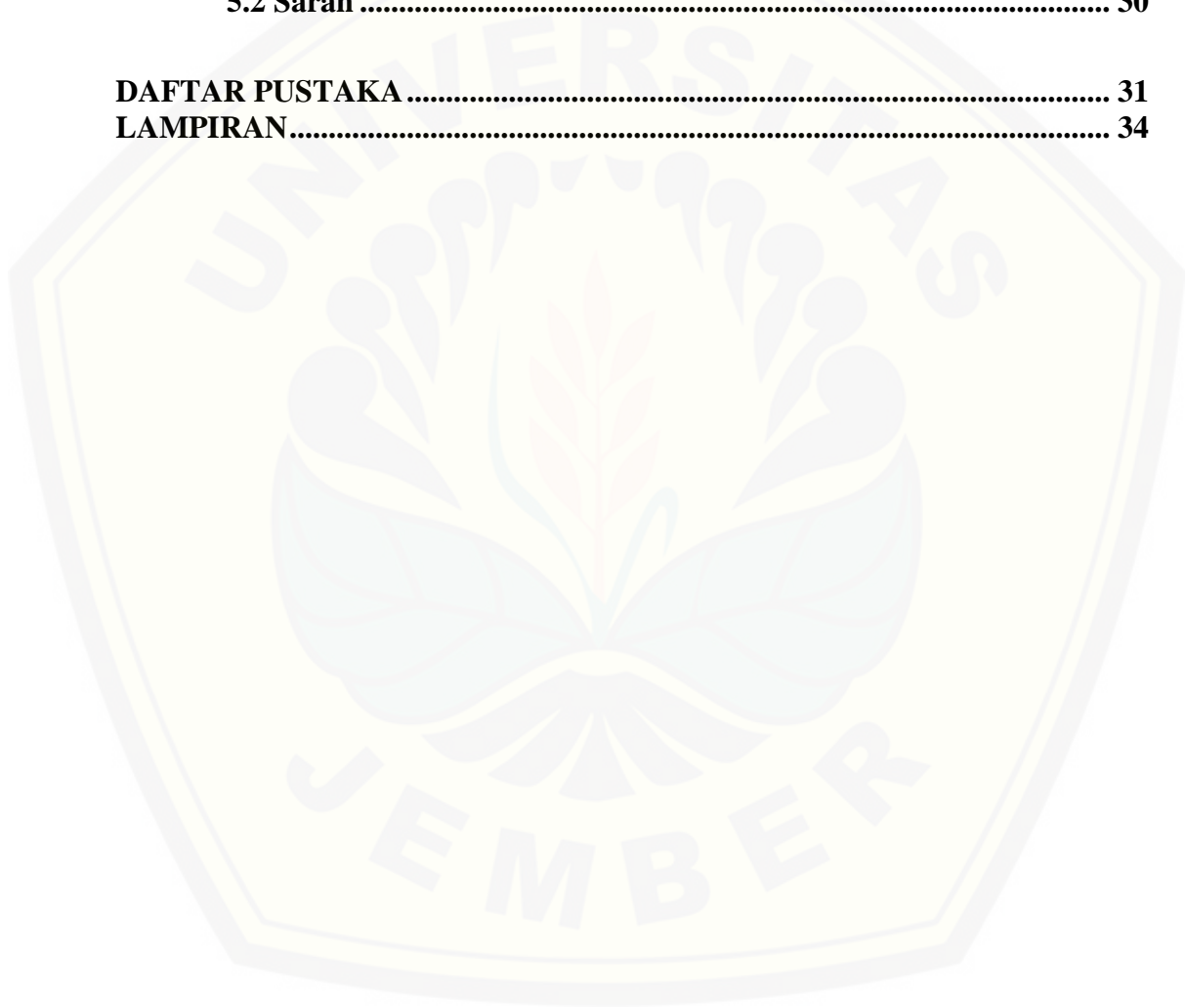
Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN MOTTO .....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN.....</b>	<b>v</b>
<b>HALAMAN PEMBIMBING .....</b>	<b>vi</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>vii</b>
<b>RINGKASAN/SUMMARY .....</b>	<b>viii</b>
<b>PRAKATA .....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xviii</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Batasan Masalah .....</b>	<b>2</b>
<b>1.4 Tujuan Penelitian.....</b>	<b>3</b>
<b>1.5 Manfaat Penelitian.....</b>	<b>3</b>
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Pengolahan Kopi .....</b>	<b>4</b>
2.2.1 Struktur Buah Kopi.....	4
2.2.2 Limbah Pengolahan Kopi .....	4
<b>2.2 Karakteristik Limbah Padat Kopi .....</b>	<b>6</b>
<b>2.3 Arang Aktif.....</b>	<b>7</b>
<b>2.4 Adsorpsi .....</b>	<b>8</b>
2.4.1 Penanganan Limbah Cair.....	8
2.4.2 Mekanisme Adsorpsi .....	8
2.4.3 Adsorpsi Isoterm.....	9
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>11</b>
<b>3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....</b>	<b>11</b>
<b>3.2 Alat dan Bahan Penelitian .....</b>	<b>11</b>
3.2.1 Alat.....	11
3.2.2 Bahan .....	11
<b>3.3 Diagram Alir Penelitian .....</b>	<b>11</b>
<b>3.4 Tahapan Penelitian .....</b>	<b>12</b>
3.4.1 Persiapan Penelitian .....	12
3.4.2 Pembuatan Arang Aktif Pulp Kopi.....	13
3.4.3 Karakterisasi Arang aktif .....	14
3.4.4 Pembuatan Sampel Limbah Cair Kopi Sintetik.....	15
3.4.5 Penentuan Serapan Panjang Gelombang Maksimum .....	16
3.4.6 Penentuan Model Adsorpsi isoterm.....	16

<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>20</b>
<b>4.1 Karakterisasi Arang Aktif</b> .....	<b>20</b>
4.1.1 Kadar Air .....	20
4.1.2 Kadar Abu.....	21
4.1.3 Daya Serap Iodium .....	21
<b>4.2 Pembuatan Sampel Limbah Cair Kopi Sintetik</b> .....	<b>22</b>
<b>4.3 Penentuan Serapan Panjang Gelombang Maksimum</b> .....	<b>22</b>
<b>4.4 Adsorpsi isoterm</b> .....	<b>223</b>
<b>BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	<b>30</b>
<b>5.1 Kesimpulan</b> .....	<b>30</b>
<b>5.2 Saran</b> .....	<b>30</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>31</b>
<b>LAMPIRAN</b> .....	<b>34</b>



**DAFTAR TABEL**

	Halaman
2.1 Standar kualitas arang aktif menurut SNI (1995) .....	8
4.1 Karakterisasi arang aktif pulp kopi .....	20
4.2 Data absorbansi variasi konsentrasi limbah cair kopi sintetik .....	23
4.3 Data kapasitas adsorpsi variasi konsentrasi limbah cair kopi sintetik .....	255
4.4 Data isoterm Langmuir .....	26
4.5 Data isoterm Freundlich.....	27
4.6 Parameter isoterm Langmuir dan Freundlich.....	29
4.7 Hasil perhitungan RMSE .....	29

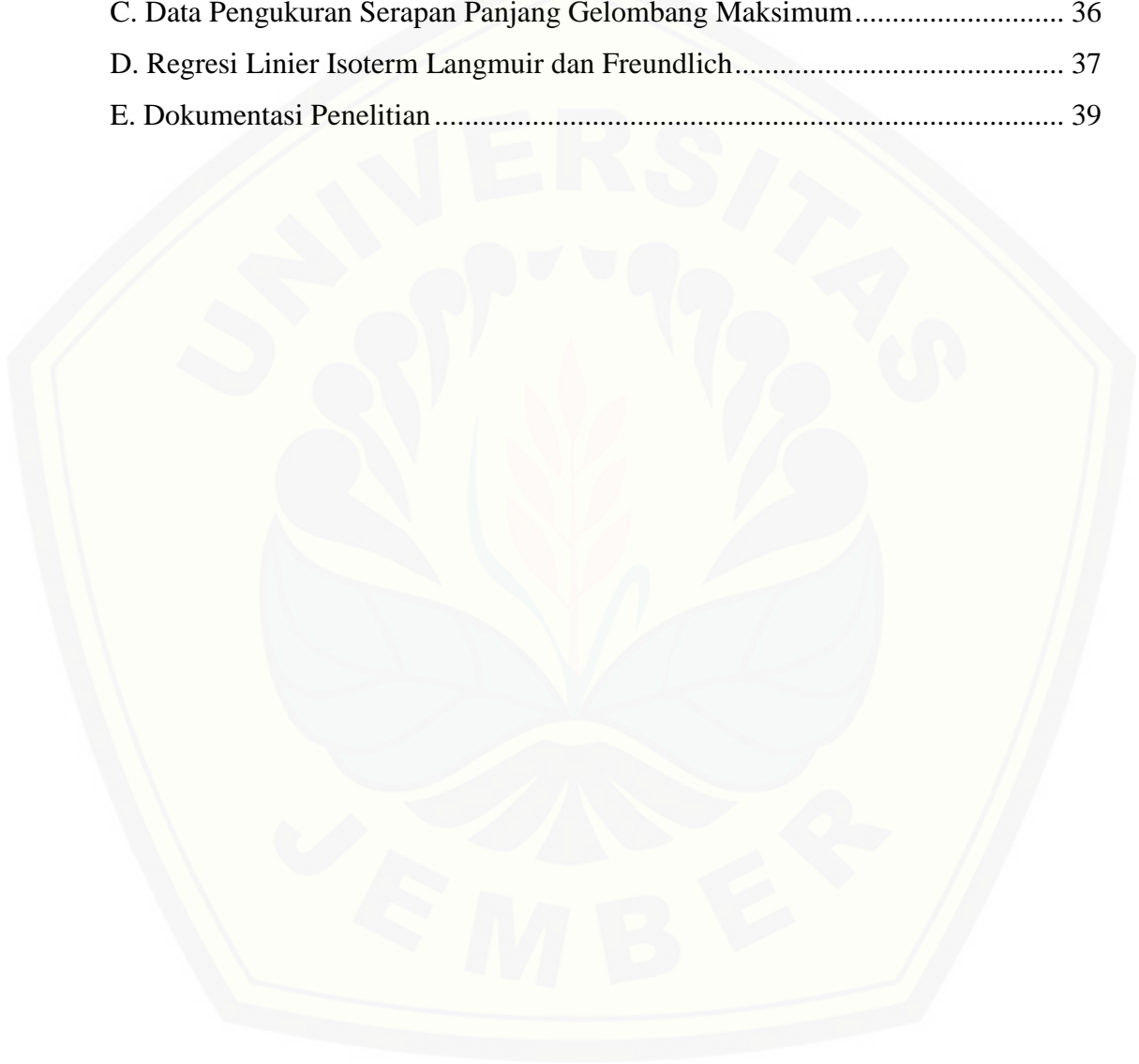


**DAFTAR GAMBAR**

	Halaman
2.1 Struktur buah kopi.....	4
2.2 Pulp kopi .....	6
3.1 Diagram alir penelitian.....	12
3.2 Grafik isoterm Langmuir.....	18
3.3 Grafik isoterm Freundlich.....	18
4.1 Nilai COD pada berbagai konsentrasi.....	22
4.2 Grafik hubungan panjang gelombang terhadap absorbansi .....	23
4.3 Grafik penyerapan zat warna coklat.....	25
4.4 Grafik isoterm Langmuir arang aktif pulp kopi .....	2626
4.5 Grafik isoterm Freundlich arang aktif pulp kopi.....	2727

**DAFTAR LAMPIRAN**

	Halaman
A. Pengukuran Limbah Cair Kopi Sintetik .....	34
B. Data Karakteristik Arang Aktif Pulp Kopi .....	35
C. Data Pengukuran Serapan Panjang Gelombang Maksimum .....	36
D. Regresi Linier Isoterm Langmuir dan Freundlich .....	37
E. Dokumentasi Penelitian .....	39



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kabupaten Jember merupakan salah satu daerah penghasil kopi robusta di Jawa Timur. Luas perkebunan kopi di Kabupaten Jember pada tahun 2015 yaitu 5.686 ha. Produksi kopi robusta pada tahun 2015 mencapai 2.845 ton atau jika di rerata yaitu 785 kg/ha (Pertanian, 2016).

Pengolahan kopi dibagi menjadi dua yaitu pengolahan secara basah dan pengolahan secara kering. Pengolahan kopi secara basah memerlukan air sebesar 20 l/kg kopi dan menghasilkan limbah padat berupa pulp kopi sebesar 200 kg dalam setiap tonnya (Widyotomo, 2013).

Pengolahan kopi menghasilkan limbah cair dan limbah padat. Limbah cair hasil pengolahan kopi berbau tidak sedap, berwarna coklat dan akan berubah warna menjadi hitam beberapa saat kemudian. Selain menurunkan nilai estetika, warna coklat yang gelap dapat mengganggu proses fotosintesis tanaman yang berada di dalam air dan dapat mengurangi nutrisinya. Oleh karena itu, limbah cair kopi harus diolah terlebih dahulu agar warnanya tidak terlalu pekat sehingga mengurangi pencemaran lingkungan (Riadi *et al.*, 2011).

Limbah padat hasil pengolahan kopi berupa pulp kopi. Umumnya, pulp kopi hanya dimanfaatkan sebagai pakan ternak dan ditumpuk di tempat pembuangan yang ada di pabrik pengolahan kopi. Kurangnya informasi tentang pemanfaatan pulp kopi, menjadikan pulp kopi belum dimanfaatkan secara optimal. Padahal pulp kopi mengandung senyawa dan dapat dijadikan produk bernilai tambah. Selain dijadikan pakan ternak, pulp kopi berpotensi untuk dijadikan arang aktif sebagai penetralisir limbah cair.

Arang telah dikenal sejak abad pertengahan karena berfungsi menghilangkan zat terlarut yang terkandung di dalam cairan. Pemahaman tentang prosesnya telah banyak dipelajari (Droste, 1997). Penggunaan arang aktif merupakan salah satu cara yang telah banyak dilakukan sebagai penetralisir warna dan logam berat seperti timbal (Pb), Seng (Zn), Tembaga (Cu), Besi (Fe), Nikel (Ni) yang terkandung pada limbah cair.

Penelitian ini menggunakan pulp kopi sebagai bahan dasar pembuatan arang aktif. Aktivasi secara kimia dilakukan dengan perendaman arang menggunakan senyawa kimia. Senyawa kimia yang digunakan yaitu NaOH 1 M. Kualitas arang aktif pulp kopi ditentukan sesuai dengan SNI 06-3730-1995. Selanjutnya, kemampuan arang aktif dalam mengadsorpsi adsorbat dianalisis dengan metode adsorpsi isoterm. Terdapat dua model adsorpsi isoterm yang sering digunakan yaitu isoterm Langmuir dan isoterm Freundlich. Oleh karena itu, diperlukan penelitian mengenai model adsorpsi isoterm arang aktif pulp kopi pada penanganan limbah cair kopi.

### 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana karakteristik dari arang aktif pulp kopi?
2. Bagaimana model isoterm arang aktif pulp kopi dalam menyerap zat warna pada limbah cair kopi?

### 1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada:

1. Arang aktif pulp kopi dibuat dari daging buah (pulp) kopi dan diaktivasi senyawa NaOH 1 M;
2. Limbah cair kopi yang digunakan merupakan limbah cair kopi sintetik (limbah buatan) yang kandungan organiknya dibuat mirip dengan limbah cair aslinya. Hal ini disebabkan waktu panen yang singkat sehingga keberadaan limbah cair kopi terbatas;
3. Karakteristik arang aktif meliputi: kadar air, kadar abu dan daya serap terhadap iodium;
4. Parameter yang dianalisis yaitu absorbansi warna pada limbah cair kopi sintetik;
5. Pengamatan adsorpsi dengan variasi konsentrasi pada limbah cair kopi dengan metode Isoterm Langmuir dan Freundlich.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan karakteristik arang aktif pulp kopi;
2. Menentukan model adsorpsi isoterm zat warna coklat pada arang aktif pulp kopi.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah:

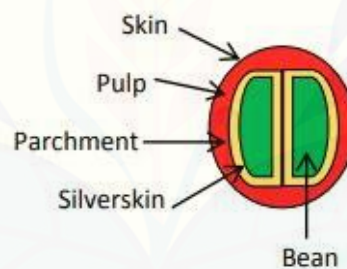
1. Manfaat bagi ilmu pengetahuan dan teknologi, menambah wawasan mengenai arang aktif dan dapat dijadikan sebagai acuan untuk penelitian di masa yang akan datang;
2. Manfaat bagi perguruan tinggi, sebagai bahan untuk mengevaluasi pembelajaran antara dosen dan mahasiswa;
3. Manfaat bagi masyarakat, sebagai informasi untuk mengurangi penumpukan limbah pulp kopi dan pengurangan kandungan zat warna pada limbah cair kopi sebelum dibuang.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pengolahan Kopi

#### 2.1.1 Struktur Buah Kopi

Gambaran buah kopi dapat dilihat pada Gambar 2.1. Buah kopi berwarna merah terang saat matang dan siap dipetik. Umumnya, setiap buah kopi memiliki dua biji kopi (*bean*) yang dilapisi lapisan yang disebut kulit ari (*silverskin*). Kulit ari ini biasanya hancur saat proses sangrai karena tidak tahan dengan suhu yang tinggi. Lapisan buah kopi selanjutnya disebut kulit tanduk (*parchment*) yang berfungsi melindungi biji kopi dari sinar matahari langsung. Lapisan ini biasanya hilang saat pengupasan dan pemisahan biji dari kulitnya. Bagian buah kopi selanjutnya yaitu daging buah (*pulp*). Fungsi dari pulp kopi yaitu melindungi biji kopi dari serangga dan penyakit yang menyerang tanaman kopi (Echeverria dan Nuti, 2016). Gambar 2.1 adalah struktur buah kopi.



Gambar 2.1 Struktur buah kopi  
(Sumber: Echeverria dan Nuti, 2016)

Keterangan: <i>skin</i>	: kulit luar
<i>pulp</i>	: daging buah
<i>parchment</i>	: kulit tanduk
<i>silverskin</i>	: kulit ari
<i>bean</i>	: biji

#### 2.1.2 Limbah Pengolahan Kopi

Terdapat dua metode pengolahan kopi yaitu pengolahan secara kering (*dry process*) dan pengolahan secara basah (*wet process*). Pengolahan secara kering meliputi pengeringan dan pengupasan. Setelah panen, buah kopi dikeringkan sampai kadar air 10-11%. Setelah itu, biji kopi dipisahkan dengan lapisan yang membungkusnya (kulit luar, pulp, kulit tanduk, dan kulit ari) menggunakan mesin

penggiling. Residu padat yang dihasilkan berupa sekam kopi (kulit luar, pulp, kulit tanduk, dan kulit ari) (Franca dan Oliveira, 2009).

Pengolahan kopi kedua yaitu pengolahan secara basah (*wet process*). Pengolahan kopi secara basah meliputi pengupasan, fermentasi, pencucian, dan pengeringan. Pada proses pengupasan, buah kopi dipisahkan dengan kulit luar dan pulp sehingga menghasilkan residu padat yang didominasi pulp kopi. Selanjutnya biji kopi difermentasi untuk menghilangkan lapisan pulp yang tersisa. Proses fermentasi dapat dilakukan selama 24-40 jam (Ohiokpehao, 1982). Biji kopi yang telah difermentasi kemudian dicuci menggunakan air sampai bersih. Selanjutnya kopi dikeringkan sampai kadar airnya mencapai 12% dan buah kopi dikupas untuk kedua kalinya untuk menghilangkan kulit tanduk. Limbah padat yang dihasilkan berupa kulit tanduk dan kulit ari, secara kolektif disebut sekam kulit tanduk (Franca dan Oliveira, 2009).

Pada pengolahan kopi secara basah (*wet process*) menghasilkan limbah cair kopi. Tahapan proses yang menghasilkan limbah cair kopi yaitu pada proses pengupasan (*pulping*) dan pencucian (*washing*). Kedua proses tersebut dilakukan setelah proses fermentasi. Limbah cair yang dihasilkan pada kedua proses tersebut mengandung konsentrasi pencemar tinggi karena kandungan bahan – bahan organik (Novita *et al.*, 2010).

Limbah cair kopi mengandung pigmen coklat gelap dengan jumlah yang besar. Pigmen tersebut mengandung melanoidin yang merupakan hasil akhir dari reaksi Maillard dan berkontribusi tinggi terhadap kadar COD (Andriot *et al.*, 2004). Melanoidin terdiri dari beberapa kelompok ligan seperti tanin, polisakarida, peptida, dan lainnya. Pigmen coklat tersebut berbahaya terhadap kehidupan air karena dapat menghalangi sinar matahari sehingga mengganggu proses fotosintesis (Riadi *et al.*, 2011).

### 2.1.3 Potensi Pemanfaatan Limbah Padat Pengolahan Kopi

Salah satu limbah padat hasil dari pengolahan kopi yaitu pulp kopi. Pulp kopi merupakan limbah yang diperoleh dari pengolahan basah (*wet process*) atau pengolahan kering (*dry process*) yang mewakili 29% berat kering buah kopi.

Setiap 2 ton kopi hijau yang diolah akan memperoleh 1 ton pulp kopi (Blinova *et al.*, 2017). Menurut Badan Litbang Pertanian (2015), setiap pengolahan 100 kg kopi akan menghasilkan 15,95 kg (55%) biji kopi dan 13,05 kg (45%) kulit gelondong kering. Kulit gelondong kering terdiri dari kulit cangkang, lendir, dan kulit buah dengan perbandingan 11,9:4,9:28,7.

Di negara-negara penghasil kopi, limbah pulp kopi merupakan masalah lingkungan yang serius. Pulp kopi telah banyak dipelajari untuk digunakan kembali sebagai media pembuatan jamur, pengomposan, produksi biogas, produksi bioetanol, diubah menjadi briket atau bahan bakar, produksi enzim seperti pektinase atau selulase, dan untuk pembuatan makanan (mengubah pulp kopi menjadi tepung bergizi yang dapat digunakan untuk memasak atau sebagai tambahan sup atau saus) (Blinova *et al.*, 2017). Kulit kopi mengandung selulosa yang cukup besar, yaitu 15 – 43% (Misran, 2009). Kandungan selulosa dan senyawa lainnya yang terdapat pada kulit kopi berpotensi sebagai bahan untuk pembuatan arang aktif (Budiarti, 2014).

## 2.2 Karakteristik Limbah Padat Kopi

Pulp kopi merupakan salah satu limbah padat hasil pengolahan kopi. Pulp kopi terdiri dari eksokarp (kulit luar) dan mesokarp (bagian berdaging). Pada dasarnya, pulp kopi mengandung karbohidrat sebesar 21-32%, protein (5-15%), lemak (2-7%), mineral (9%), dan komponen organik. Komponen organik tersebut meliputi 1,8-8,56% tanin; 6,5% bahan pektik; 12,4% gula pereduksi; 2% gula non pereduksi; 1,3% kafein; 2,6% asam klorogenat, dan 1,6% asam caffeic (Blinova *et al.*, 2017).



Gambar 2.2 Pulp kopi  
(Sumber: Blinova *et al.*, 2017)



### 2.3 Arang Aktif

Arang aktif termasuk senyawa karbon *amorph*. Arang aktif dapat dibuat dari bahan yang mengandung karbon seperti: kayu, batu bara, lignit, dan batok kelapa dengan memanaskannya dan ditambahkan atau tidak bahan kimia tanpa adanya udara untuk membebaskan karbon dari atom yang terkait. Langkah ini disebut karbonisasi (Droste, 1997).

Arang aktif dapat dihasilkan dari bahan yang mengandung karbon atau dari arang yang mendapatkan perlakuan khusus sehingga permukaannya lebih luas. Luas permukaan arang aktif berhubungan dengan struktur pori internal yang menyebabkan arang aktif mempunyai sifat sebagai adsorben. Luas permukaannya berkisar antara 300 – 3500 m<sup>2</sup>/gram. Arang aktif memiliki sifat adsorpsi yang selektif, yaitu mengadsorpsi gas dan senyawa kimia tertentu bergantung pada volume pori – pori dan luas permukaan. Daya serapnya sangat besar, berkisar antara 25 – 1000% dari beratnya (Sembiring dan Sinaga, 2003).

Menurut Arsad dan Hamdi (2010), proses pembuatan arang aktif dapat dibagi menjadi tiga tahap antara lain:

1. Dehidrasi: proses pengurangan kadar air. Bahan baku dipanaskan sampai temperatur 170°C.
2. Karbonisasi: pemecahan bahan organik menjadi karbon. Temperatur diatas 170°C akan menghasilkan CO, CO<sub>2</sub> dan asam asetat. Pada temperatur 275°C dekomposisi menghasilkan tar, metanol dan hasil sampingan lainnya. Pembentukan karbon terjadi pada temperatur 400 – 600°C.
3. Aktivasi: dekomposisi tar dan perluasan pori-pori. Dilakukan dengan uap atau CO<sub>2</sub> sebagai aktivator.

Metode aktivasi yang umum digunakan dalam pembuatan arang aktif dibagi menjadi dua yaitu aktivasi secara kimia dan aktivasi secara fisika. Aktivasi kimia merupakan pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan pemakaian bahan-bahan kimia. Aktivasi fisika merupakan proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan bantuan panas, uap dan CO<sub>2</sub> (Arsad dan Hamdi, 2010).

Kualitas arang aktif dipengaruhi beberapa faktor seperti jenis bahan baku, teknologi pengolahan, cara pengerjaan dan ketepatan penggunaannya. Standar kualitas arang aktif menurut SNI 06-3730-1995 dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Standar kualitas arang aktif menurut SNI (1995)

Uraian	Persyaratan	
	Butiran	Serbuk
Bagian hilang pada pemanasan 950° C, %	Maks. 15	Maks. 25
Kadar air, %	Maks. 4,5	Maks. 15
Kadar abu, %	Maks. 2,5	Maks. 10
Bagian tidak mengarang	0	0
Daya serap terhadap I <sub>2</sub> , mg/g	Min. 750	Min. 750
Karbon aktif murni, %	Min. 80	Min. 65
Daya serap terhadap benzena, %	Min. 25	-
Daya serap terhadap biru metilen, mg/g	Min. 60	Min. 120
Berat jenis curah, g/ml	0,45 – 0,55	0,3 – 0,35
Lolos mesh 325, %	-	Min. 90
Jarak mesh, %	90	-
Kekerasan	80	-

Sumber: SNI (1995).

## 2.4 Adsorpsi

### 2.4.1 Penanganan Limbah Cair

Penanganan limbah cair dapat dibagi menjadi tiga yaitu metode fisik, kimia, dan intensif energi. Metode fisik merupakan penanganan limbah cair dengan cara memisahkan fase padat-cair yang didominasi filtrasi. Teknologi tersebut digunakan untuk pengolahan air minum dan limbah cair. Metode kimia diterapkan dengan menggunakan bahan kimia untuk memisahkan limbah cair dengan zat-zat yang berbahaya. Penanganan limbah cair secara fisik meliputi *heat treatment*, reverse osmosis, destilasi, mikrofilter, filter slow sand, dan filter arang aktif (Cheremisinoff, 2001).

### 2.4.2 Mekanisme Adsorpsi

Menurut Asip *et al.* (2008), adsorpsi merupakan proses perpindahan massa pada permukaan pori-pori yang terdapat pada adsorben. Perpindahan massa yang terjadi dapat melalui dua fasa yaitu: gas-padat dan cair-padat. Adsorpsi terjadi

karena adanya gaya tarik-menarik permukaan. Adsorpsi terjadi melalui beberapa proses yaitu:

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

#### 2.4.3 Adsorpsi Isoterm

Adsorpsi isoterm menjelaskan hubungan antara jumlah atau konsentrasi adsorbat (zat yang teradsorpsi) yang terakumulasi pada adsorben (karbon aktif) dan konsentrasi kesetimbangan dari adsorbat terlarut. Metode yang biasa digunakan untuk mengumpulkan data isoterm adalah teknik titik botol (reaktor). Teknik tersebut dilakukan dengan mengukur konsentrasi adsorbat secara akurat yang ditempatkan di sekitar 10 atau lebih botol. Masing – masing botol diisi adsorben dengan jumlah yang berbeda. Kemudian botol tersebut diaduk atau dikocok agar terjadi pencampuran yang baik antara karbon dan larutan sampai konsentrasi fase cair yang konstan dari adsorbat tercapai. Data yang didapatkan dianalisis sesuai dengan persamaan berikut:

$$V(C_0 - C) = M(Q_e - Q_i) \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

$Q_e$  = konsentrasi kesetimbangan, yang terserap karbon aktif (mg/g)

$C_0$  = konsentrasi awal (mg/L)

$C$  = konsentrasi kesetimbangan (mg/L)

$M$  = massa karbon aktif di dalam reaktor (g)

$V$  = volume sampel (L)

$Q_i$  = konsentrasi awal karbon aktif

Pengujian ini biasanya dengan karbon murni ( $q_i = 0$ ). Dengan kondisi tersebut, maka Persamaan 2.1 menjadi:

$$Q_e = \frac{(C_0 - C)V}{M} \dots\dots\dots(2.2)$$

Data kesetimbangan yang telah didapatkan, kemudian diformulasikan ke dalam model adsorpsi isoterm. Terdapat tiga model adsorpsi isoterm yang biasa

digunakan yaitu: Isoterm Langmuir, Isoterm Freundlich, dan Isoterm BET. Ketiga model isoterm tersebut menghasilkan hubungan fungsional yang berbeda secara signifikan. Pilihan hubungan terbaik bergantung pada mana yang paling tepat menggambarkan data. Isoterm Freundlich paling sering terbukti menjadi hubungan terbaik dan yang umum digunakan. Berikut ini merupakan persamaan empiris dari isoterm Freundlich.

$$Q_e = K_f C^{1/n} \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan:

$K_f$  dan  $n$  adalah konstan

Sedangkan persamaan Isoterm Langmuir adalah sebagai berikut:

$$Q_e = \frac{Q_0 KC}{KC+1} \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan:

$Q_e$  = konsentrasi kesetimbangan, yang terserap karbon aktif (mg/g)

$Q_0$  = Jumlah maksimum zat terlarut yang dapat teradsorpsi (mg/g)

$K$  = konstanta Langmuir

$C$  = konsentrasi kesetimbangan (mg/L) (Droste, 1997)

Tujuan menggunakan isoterm Freundlich dan Langmuir adalah untuk mendapatkan persamaan kesetimbangan yang dapat digunakan untuk mengetahui berapa besar massa adsorbat yang dapat diadsorpsi oleh adsorben. Isoterm Freundlich dikembangkan dengan asumsi bahwa terjadi lapisan multilayer antara adsorben dengan adsorbatnya yang disebabkan adanya ikatan yang tidak terlalu kuat akibat dari adanya gaya Van der Waals. Isoterm Langmuir dikembangkan dengan mengasumsikan bahwa:

1. Gas yang teradsorpsi termasuk ideal dalam fasa uap,
2. Gas yang teradsorpsi dibatasi sampai lapisan monolayer,
3. Permukaan adsorbat homogen, artinya afinitas setiap ikatan molekul adalah sama,
4. Tidak ada interaksi lateral antar molekul adsorbat,
5. Molekul gas yang teradsorpsi terlokalisasi, artinya molekul tersebut tidak bergerak pada permukaan.

### **BAB 3. METODE PENELITIAN**

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

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Desember-April 2019. Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Pengendalian dan Konservasi Lingkungan (TPKL), Laboratorium Enjinering Hasil Pertanian (EHP) Jurusan Teknik Pertanian dan Laboratorium Mikrobiologi Pangan Hasil Pertanian (MPHP) Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember.

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

##### **3.2.1 Alat**

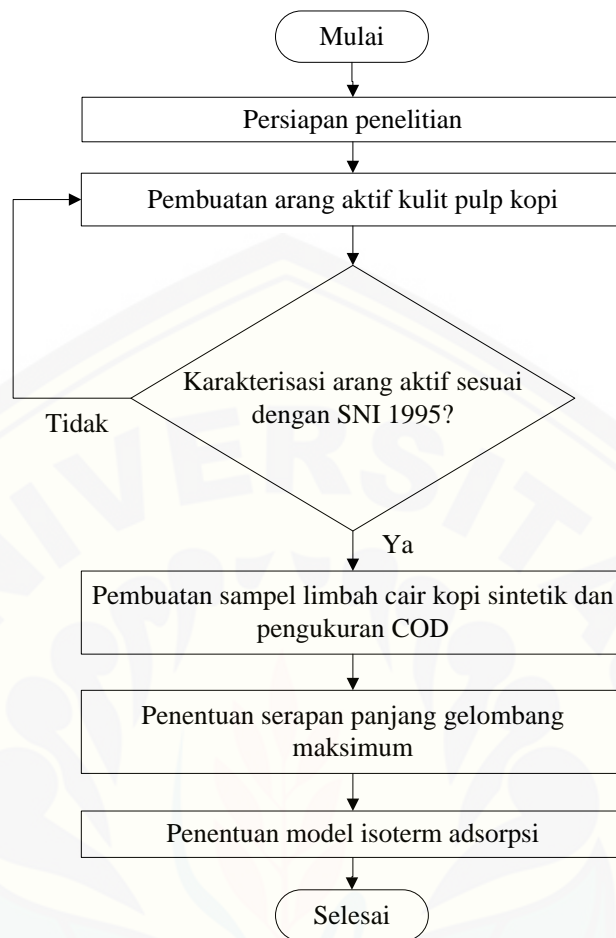
Alat yang digunakan pada penelitian antara lain: oven Memmert, neraca analitik Matrix, desikator, mesin penggiling kopi, ayakan 100 mesh, spektrofotometer UV-Vis, alat adsorpsi, cawan porselin 250 ml, gelas kimia 50 ml, 100 ml, dan 500 ml, pH meter, kuvet, pipet tetes, tisu, kertas saring Whatman no. 41, *stopwatch*, COD meter Hanna, dan tanur Daeyang.

##### **3.2.2 Bahan**

Bahan yang diperlukan pada penelitian ini antara lain: pulp kopi robusta hasil pengolahan kering kopi sebagai adsorben yang diperoleh dari industri kopi di Desa Sidomulyo Kecamatan Silo Kabupaten Jember; larutan kopi yang diperoleh dengan membuat larutan kopi menggunakan bubuk kopi sehingga memiliki kandungan yang setara dengan limbah cair kopi (bubuk kopi diperoleh dari industri kopi di Desa Sidomulyo); dan larutan kimia (akuades; NaOH 1 M; I<sub>2</sub> 0,1 n; Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,1 n; dan Amilum 1%).

#### **3.3 Diagram Alir Penelitian**

Berikut ini merupakan diagram alir dari tahapan penelitian yang disajikan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

### 3.4 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahap antara lain: persiapan penelitian, pembuatan arang aktif kulit buah (*pulp*) kopi, pengujian karakteristik arang aktif, dan penentuan model adsorpsi isoterm. Tahapan tersebut digambarkan dalam diagram alir seperti Gambar 3.1.

#### 3.4.1 Persiapan Penelitian

Sebelum melakukan penelitian, hal yang perlu dilakukan yaitu menyiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan. Alat yang digunakan harus dipastikan berfungsi dengan baik. Bahan yang diperlukan seperti pulp kopi, larutan kopi dan larutan kimia (akuades; NaOH 1 M; I<sub>2</sub> 0,1 n; Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,1 n; dan Amilum 1% ) harus tersedia.

### 3.4.2 Pembuatan Arang Aktif Pulp Kopi

Tahapan membuat arang aktif pulp kopi antara lain: dehidrasi, karbonasi, pengecilan ukuran, aktivasi, dan penetralan pH arang aktif.

#### 1. Dehidrasi (Pengerangan)

Proses dehidrasi dapat dilakukan dengan memasukkan pulp kopi ke dalam oven selama 24 jam dengan suhu 105°C atau dapat pula dilakukan dengan cara lain yaitu dijemur langsung di bawah sinar matahari. Proses dehidrasi bertujuan untuk mengurangi kadar air yang terkandung di dalam pulp kopi (Mu'jizah, 2010).

#### 2. Karbonasi

Pulp kopi yang sudah berkurang kadar airnya, dikarbonasi di dalam tungku pembakaran selama 5 jam dengan suhu 400°C. Proses karbonasi ini bertujuan untuk menghilangkan senyawa yang mudah menguap. Dalam proses karbonisasi, selulosa dipecah atau diuraikan menjadi karbon (Pambayun *et al.*, 2013).

#### 3. Pengecilan Ukuran

Pulp kopi yang sudah menjadi arang kemudian digerus dan diayak menggunakan ayakan 100 mesh. Ukuran tersebut digunakan karena daya serap adsorben lebih besar. Semakin kecil ukuran arang, semakin besar luas permukaannya sehingga daya serap adsorben semakin besar (Yeni *et al.*, 2016).

#### 4. Aktivasi

Arang pulp kopi yang telah diayak kemudian diaktivasi dengan larutan NaOH 1 M dengan perbandingan 1:3, yaitu 100 gr arang direndam dalam 300 ml larutan NaOH 1 M selama 24 jam.

#### 5. Penetralan pH Arang Aktif

Penetralan pH arang aktif pulp kopi dilakukan dengan cara mencuci arang aktif yang pH awalnya 11 sampai pH netral (7) dengan akuades. Alat yang digunakan untuk mengukur pH arang aktif yaitu pH meter. Tujuan dilakukan pencucian yaitu untuk menghilangkan sisa – sisa aktivator NaOH sehingga tidak menutupi permukaan pori - pori arang aktif (Kurniawan dan Wicaksono, 2008).

### 3.4.3 Karakterisasi Arang aktif

Karakterisasi arang aktif dapat diketahui dengan dilakukan pengujian terhadap arang aktif tersebut. Karakterisasi arang aktif antara lain: pengujian kadar abu, pengujian kadar air, dan daya serap terhadap Iodium ( $I_2$ ). Karakterisasi arang aktif ini berdasarkan SNI 06-3730-1995 tentang arang aktif teknis.

#### 1. Pengujian Kadar Air (SNI, 1995)

Pengujian kadar air memiliki prinsip air menguap pada suhu di atas  $100^{\circ}\text{C}$ . Berat sampel yang hilang setelah pemanasan dapat dikatakan sebagai air yang terdapat di dalam sampel. Prosedur pengujian kadar air dapat dilakukan dengan menimbang arang aktif pulp kopi sebanyak 1 gr kemudian dimasukkan ke dalam cawan porselin yang telah diketahui massanya. Selanjutnya, cawan yang berisi arang aktif dipanaskan di dalam oven dengan suhu  $105^{\circ}\text{C}$  selama  $\pm 1$  jam. Kemudian arang aktif pulp kopi didinginkan dalam desikator selama 15 menit dan ditimbang sampai massanya tetap. Pengukuran dilakukan dengan tiga kali pengulangan. Kadar air dapat dihitung dengan Persamaan 3.1.

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{(a-b)}{a} \times 100\% \dots\dots\dots (3.1)$$

Keterangan:

a = massa sampel sebelum pemanasan (gr)

b = massa sampel setelah pemanasan (gr)

#### 2. Pengujian Kadar Abu (SNI, 1995)

Pengujian kadar abu memiliki prinsip yaitu sampel diabukan pada suhu tinggi dan sisa yang terdapat pada proses pengabuan tersebut dihitung sebagai abu di dalam sampel. Prosedur pengujiannya yaitu arang aktif pulp kopi sebanyak 1 gr dimasukkan ke dalam cawan porselin yang telah diketahui massanya. Kemudian cawan tersebut dipanaskan di dalam tanur selama 4 jam dengan suhu  $650^{\circ}\text{C}$ . Arang aktif yang telah dipanaskan, kemudian didinginkan di dalam desikator selama 15 menit dan ditimbang massanya sampai tetap. Pengukuran dilakukan tiga kali pengulangan.. Kadar abu dapat dihitung dengan Persamaan 3.2.

$$\text{Kadar abu (\%)} = \frac{b}{a} \times 100\% \dots\dots\dots (3.2)$$

Keterangan:



a = massa sampel sebelum pemanasan (gr)

b = massa sampel setelah pemanasan (gr)

### 3. Pengujian Daya Serap Iodium ( $I_2$ ) (SNI, 1995)

Pengujian terhadap daya serap Iodium dilakukan untuk mengetahui daya serap arang aktif terhadap suatu molekul. Pengujian dilakukan dengan menimbang arang aktif sebanyak 5 gr dan dicampurkan dengan 100 ml larutan Iodium 0,1 N. Campuran tersebut dikocok selama 15 menit. Selanjutnya campuran tersebut dipindahkan ke dalam tabung sentrifugal sampai arang aktif mengendap. Kemudian mengambil 10 ml cairan tersebut dan dititrasi dengan larutan  $Na_2S_2O_3$  0,1 N. Jika warna kuning pada larutan mulai pucat, tambahkan larutan amilum 1% sebagai indikator. Titrasi kembali dilanjutkan sampai warna biru tua berubah menjadi bening. Rumus perhitungan daya serap iodium dapat dilihat pada Persamaan 3.3.

$$\text{Daya adsorb } I_2 \text{ (mg/g)} = \frac{\left( \left( V_2 - \frac{N_1 \times V_1}{N_2} \right) \times 12,68 \times 2,5 \right)}{W} \dots\dots\dots (3.3)$$

Keterangan:

$N_1$  = normalitas larutan  $Na_2S_2O_3$  (0,1 N)

$N_2$  = normalitas larutan  $I_2$  (0,1 N)

$V_1$  = volume titran [larutan  $Na_2S_2O_3$  yang dibutuhkan untuk titrasi (mL)]

$V_2$  = volume titran (10 mL )

2,5 = faktor pengenceran

12,69 = massa  $I_2$  yang sesuai dengan 1 mL larutan  $Na_2S_2O_3$  0,1 N

W = massa arang aktif (0,25 gr)

#### 3.4.4 Pembuatan Sampel Limbah Cair Kopi Sintetik

Limbah cair kopi sintetik dibuat dengan mencampurkan bubuk kopi dengan air. Limbah cair kopi sintetik ini dibuat dengan 10 variasi konsentrasi larutannya yaitu 1-10 g/L dengan interval 1 g/L. Selanjutnya, masing – masing sampel limbah cair sintetik tersebut diukur kadar COD nya menggunakan COD meter hanna. Pengukuran COD ini digunakan sebagai pendekatan dengan nilai COD pada limbah cair kopi yang asli.

### 3.4.5 Penentuan Serapan Panjang Gelombang Maksimum

Acuan panjang gelombang warna kecoklatan berkisar 450 – 550 nm (Riana, 2008). Alat yang digunakan untuk menentukan absorbansi limbah cair kopi sintetik yaitu spektrofotometer UV-VIS. Terdapat 7 variasi panjang gelombang yang digunakan yaitu dari 460 sampai 550 nm dengan interval 15 nm. Pengukuran dilakukan dengan tiga kali pengulangan pada masing – masing panjang gelombang. Pengukuran dilakukan pada sampel limbah cair kopi sintetik. Panjang gelombang yang memiliki nilai absorbansi tertinggi merupakan panjang gelombang maksimum yang dicari.

### 3.4.6 Penentuan Model Adsorpsi Isoterm

Penentuan model adsorpsi isoterm arang aktif pulp kopi terhadap limbah cair kopi sintetik terdiri dari beberapa tahap yaitu pengukuran absorbansi warna coklat awal, adsorpsi arang aktif, dan pembuatan grafik.

#### 1. Pengukuran Absorbansi Warna Coklat Awal

Limbah cair kopi sintetik yang digunakan pada pengukuran absorbansi warna coklat awal yaitu dengan 10 variasi konsentrasi larutan 1.000 – 5.500 mg/L dengan interval 500 mg/L. Pengukuran ini dilakukan pada panjang gelombang maksimum yang telah dicari pada proses sebelumnya. Pengukuran dilakukan menggunakan alat spektrofotometer UV – Vis.

#### 2. Adsorpsi Arang Aktif

Arang aktif kulit kopi sebanyak 10 gram dimasukkan ke dalam gelas reaktor adsorpsi. Kemudian ditambahkan limbah cair kopi sintetik dengan 10 variasi konsentrasi sebanyak 100 ml. Campuran kemudian diaduk dan didiamkan selama 90 menit. Selanjutnya campuran tersebut disaring dengan kertas saring. Filtrat yang dihasilkan kemudian diukur absorbansi akhirnya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum yang sama. Pengukuran dilakukan dengan 3 kali pengulangan.

#### 3. Pembuatan Grafik

Setelah proses adsorpsi dilakukan, maka langkah selanjutnya yaitu menghitung dan memplotkan pada grafik. Analisis perhitungan dilakukan dengan

menggunakan metode adsorpsi isoterm. Adsorpsi isoterm menunjukkan hubungan antara konsentrasi adsorbat yang terakumulasi pada adsorben dan konsentrasi kesetimbangan dari adsorbat terlarut. Data yang didapatkan dianalisis sesuai dengan Persamaan 3.4.

$$Q_e = \frac{(C_0 - C)}{M} V \dots\dots\dots(3.4)$$

Keterangan:

$Q_e$  = konsentrasi kesetimbangan, yang terserap arang aktif (mg/g)

$C_0$  = konsentrasi awal (mg/L)

$C$  = konsentrasi kesetimbangan (mg/L)

$M$  = massa arang aktif di dalam reactor (g)

$V$  = volume sampel (L)

Data kesetimbangan yang didapatkan kemudian diformulasikan ke dalam model adsorpsi isoterm Langmuir dan Freundlich. Persamaan isoterm Langmuir adalah sebagai berikut:

$$Q_e = \frac{Q_0 KC}{KC+1} \dots\dots\dots(3.5)$$

Keterangan:

$Q_e$  = konsentrasi kesetimbangan, yang terserap arang aktif (mg/g)

$Q_0$  = Jumlah maksimum zat terlarut yang dapat teradsorpsi (mg/g)

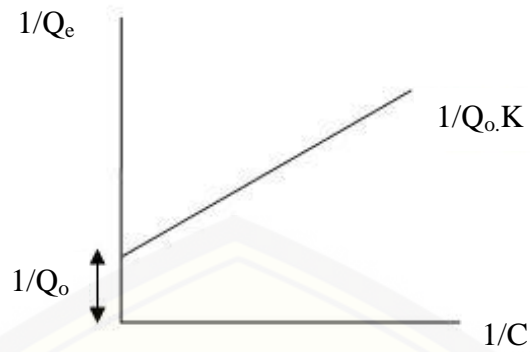
$K$  = konstanta Langmuir

$C$  = konsentrasi kesetimbangan (mg/L)

Untuk membuat grafik isoterm Langmuir, maka Persamaan 3.5 harus dilinearkan terlebih dahulu, sehingga menjadi:

$$1/Q_e = 1/Q_0 + (1/Q_0.K) (1/C) \dots\dots\dots(3.6)$$

Dari Persamaan 3.6, apabila diplotkan pada grafik maka akan membentuk garis lurus. Perpotongan dengan sumbu y menyatakan nilai  $1/Q_0$  dan kemiringan dari garis menyatakan nilai  $1/Q_0.K$ . Grafik dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Grafik isoterm Langmuir

Persamaan Freundlich adalah sebagai berikut:

$$Q_e = K_f C^{1/n} \dots\dots\dots (3.7)$$

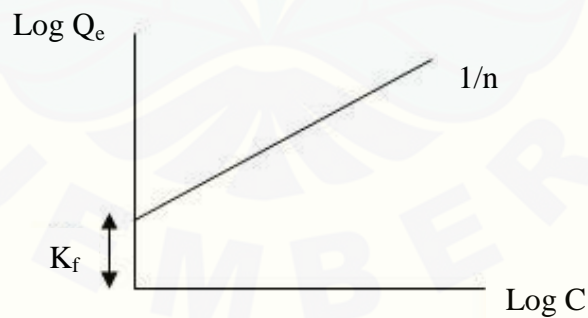
Keterangan:

$K_f$  dan  $n$  adalah konstan

Untuk membuat grafik Isoterm Freundlich maka Persamaan 3.7 harus dilinearkan terlebih dahulu, sehingga menjadi:

$$\text{Log } Q_e = \text{Log } K_f + 1/n \text{ Log } C \dots\dots\dots (3.8)$$

Dari Persamaan 3.8, apabila diplotkan pada grafik maka akan membentuk garis lurus. Perpotongan dengan sumbu  $y$  menyatakan nilai  $\text{Log } K_f$  dan kemiringan dari garis menyatakan nilai  $1/n$ . Grafik dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Grafik isoterm Freundlich

Dari kedua grafik tersebut, kemudian dicari nilai koefisien regresi linier ( $R^2$ ) untuk mengetahui model isoterm yang paling sesuai dengan proses adsorpsi arang aktif kulit kopi pada limbah cair kopi. Nilai koefisien regresi linier ( $R^2$ ) yang terbesar merupakan acuan yang digunakan untuk mengetahui model isoterm tersebut. Selanjutnya, apabila sudah diketahui model isoterm yang sesuai maka dapat diketahui kapasitas adsorpsi maksimum yang dapat diserap oleh arang aktif pulp kopi.

Selanjutnya, model regresi dari isoterm Langmuir dan Freundlich dapat dievaluasi dengan menghitung nilai *root mean squared error* (RMSE). RMSE dihitung dengan mengkuadratkan selisih antara nilai perkiraan dengan nilai hasil observasi. Persamaan RMSE dapat dilihat pada Persamaan 3.9.

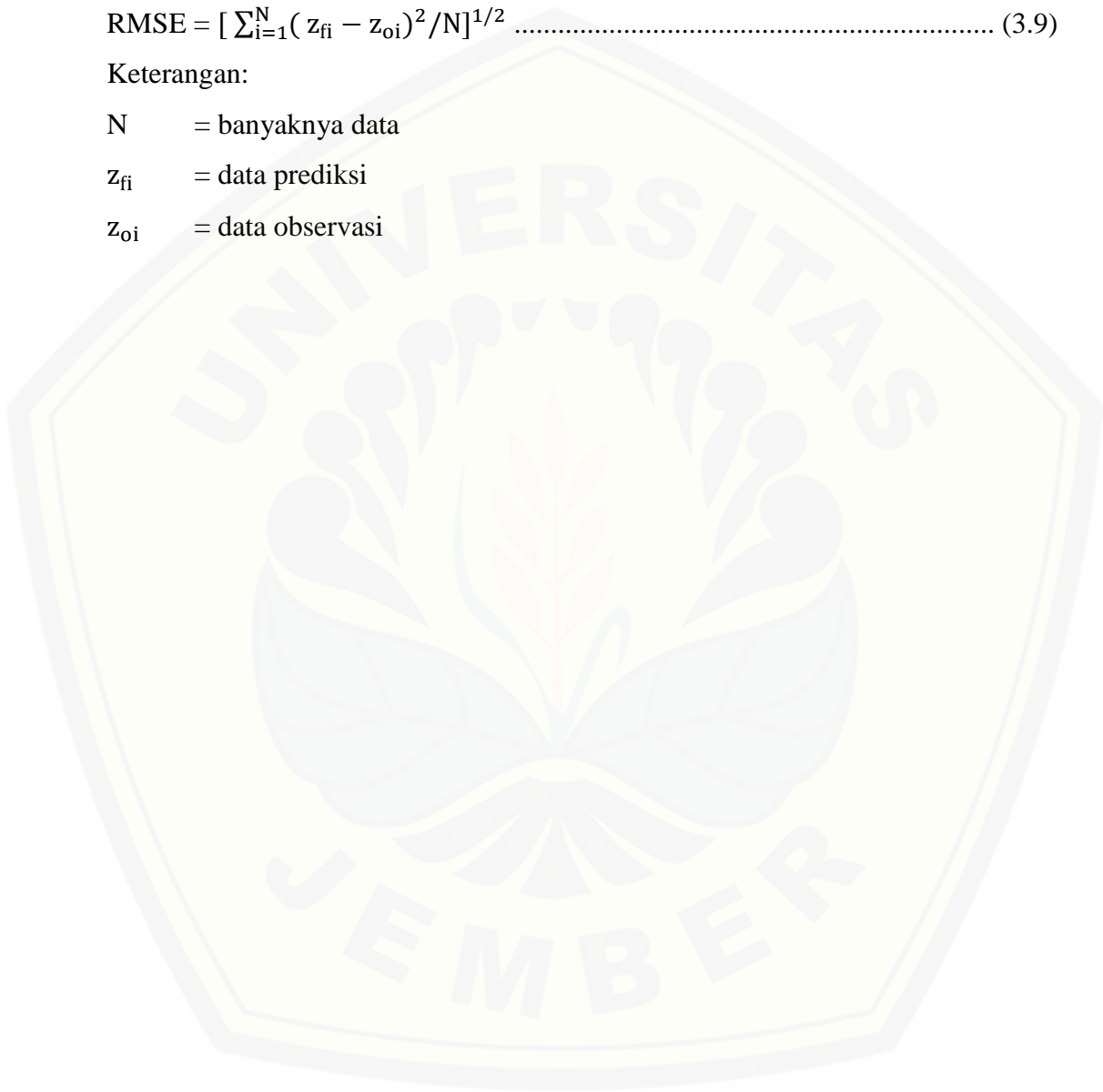
$$\text{RMSE} = [\sum_{i=1}^N (z_{fi} - z_{oi})^2 / N]^{1/2} \dots\dots\dots (3.9)$$

Keterangan:

N = banyaknya data

$z_{fi}$  = data prediksi

$z_{oi}$  = data observasi



## BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari hasil penelitian yang telah didapatkan yaitu:

1. Arang aktif pulp kopi dengan aktivator NaOH 1 M telah memenuhi SNI 06-3730-1995 dengan nilai yang didapatkan yaitu kadar air sebesar 3,43%; kadar abu sebesar 2,3%; dan daya serap iodium sebesar 15231,6 mg/L.
2. Adsorpsi arang aktif pulp kopi terhadap limbah cair kopi mengikuti baik kedua pola adsorpsi isoterm karena nilai  $R^2$  yang didapatkan tidak jauh berbeda yaitu 0,9637 untuk isoterm Langmuir dan 0,9438 untuk isoterm Freundlich. Namun, karena nilai  $R^2$  isoterm Langmuir lebih besar, maka isoterm Langmuir cenderung lebih sesuai dan nilai kapasitas optimum adsorpsi yang didapatkan yaitu sebesar 39,06 mg/g dengan persamaan  $Q_e = \frac{39,0625 \times 0,0018 \cdot C}{0,00186C + 1}$ .

### 5.2 Saran

Berdasarkan pada penelitian ini, hal-hal yang perlu dilakukan untuk penelitian selanjutnya yaitu:

1. Perlu adanya penambahan variasi konsentrasi limbah cair kopi untuk mengetahui sampai seberapa besar konsentrasi limbah cair kopi yang dapat terserap oleh arang aktif pulp kopi.
2. Perlu penerapan proses adsorpsi secara langsung arang aktif pulp kopi terhadap limbah cair kopi asli.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Andriot, I., J.-L. Le Quéré, dan E. Guichard. 2004. Interactions Between Coffee Melanoidins and Flavour Compounds: Impact of Freeze-drying (Method and Time) and Roasting Degree of Coffee on Melanoidins Retention Capacity. *Food Chemistry*. 85(2):289–294.
- Arsad, E., dan Hamdi, S. 2010. Teknologi Pengolahan dan Pemanfaatan Karbon Aktif Untuk Industri. *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan*. 2(2)43-51
- Asip, F., R. Mardhiah, dan Husna. 2008. Uji Efektivitas Cangkang Telur dalam Mengadsorpsi Ion Fe Dengan Proses Batch. *Jurnal Teknik Kimia*. 2(15): 22-26.
- Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. 2015. Potensi Biomassa Limbah Kakao dan Kopi Sebagai Sumber Energi Alternatif Biohidrogen. <http://www.litbang.pertanian.go.id/info-teknologi/2174/>. [diakses 21 Juli 2019].
- Blinova, *et al.* 2017. Review: Utilization of Waste From Coffee Production. *Research Papers*. 25(40): 91-101.
- Budiarti, R. 2014. Uji Efektivitas Arang Aktif dari Kulit Biji Kopi Sebagai Adsorben Ion Timbal (pb) dan Iion Kadmium (cd). *Skripsi*. Jember: Universitas Negeri Jember.
- Cheremisinoff, N. P. 2001. *Handbook of Water and Wastewater Treatment Technologies*. United States of America: Butterworth-Heinemann
- Droste, R. L. 1997. *Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment*. New York: Wiley etc.
- Echeverria, M.C., dan M. Nuti. 2017. Valorisation of the Residues of Coffee Agro-industry: Perspectives and Limitations. *The Open Waste Management Journal*. (10):13-22.
- Franca, A. S., dan Oliveira, L. S. 2009. Coffee Processing Solid Wastes: Current Use And Future Perspectives. *Agricultural Wastes*. (8): 156-189.
- Herlandien, Y. L. 2013. Pemanfaatan Arang Aktif Sebagai Absorban Logam Berat dalam Air Lindi TPA Pakusari Jember. *Skripsi*. Jember: Universitas Jember.
- Irwandi, R., S. R. Yenti, dan Chairul. 2015. Penentuan Massa dan Waktu Kontak Optimum Adsorpsi Karbon Aktif dari Ampas Tebu sebagai Adsorben

- Logam Berat Pb. *Jom Fteknik*. 2(2).
- Kurniawan, A. dan E. Wicaksono. 2008. Uji Coba Penjernihan dan Penghilangan Bau Limbah Tapioka dengan Menggunakan Arang Aktif dari Tempurung Kelapa. *Artikel Ilmiah*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Mattel, C., L. 1991. Adsorption. 2nd Edition. New York: McGraw-Hill Company Inc.
- Misran, E. 2009. Pemanfaatan Kulit Coklat dan Kulit Kopi Sebagai Adsorben Ion Pb dalam Larutan. *Sigma*. 12(1):23–29.
- Mu'jizah, S. 2010. Pembuatan dan Karakterisasi Karbon Aktif dari Biji Kelor (*Moringa Oleifera*. Lamk) dengan NaCl Sebagai Bahan Pengaktif. *Skripsi*. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim
- Novita, E., R. Syarief., E. Noor., dan S. Mulato. 2010. Peningkatan Mutu Biji Kopi Rakyat Dengan Pengolahan Semi Basah Berbasis Produksi Bersih. *Agrotek*. 4(1):76-90.
- Ohiokpehai, O. 1982. Chlorogenic Acid Content Of Green Coffee Beans. *Thesis*. Guildford: University of Surrey.
- Pambayun, G. S., R. Y. E. Yulianto, M. Rachimoellah, dan E. M. M. Putri. 2013. Pembuatan Karbon Aktif dari Arang Tempurung Kelapa dengan Aktivator  $ZnCl_2$  dan  $Na_2CO_3$  Sebagai Adsorben Untuk Mengurangi Kadar Fenol Dalam Air Limbah. *Jurnal Teknik ITS*. 2(1):F116–F120.
- Pertanian, K. 2016. *Statistik Perkebunan Indonesia - Kopi*. Direktorat Jenderal Pertanian.
- Riadi, L., H. Lie, dan A. Sukharaharja. 2011. Decolorization Kinetics from Coffee Effluent With Photo-Fenton Reaction. *Jurnal Purifikasi*. 12(3):1–8.
- Riana, E. 2008. Penyisihan Warna Limbah Cair Kopi Menggunakan Proses Fenton. <http://repository.unpas.ac.id/31830/>. [diakses pada 3 Maret 2019].
- Sembiring, M. T. dan T. S. Sinaga. 2003. Arang aktif (pengenalan dan proses pembuatannya). *Artikel Ilmiah*. Sumatra Utara: Universitas Sumatra Utara.
- SNI. 1995. SNI 06-3730-1995: *Arang Aktif Teknis*. Jakarta: Dewan Standarisasi Nasional.
- Widayati, C. S. W. 2009. Komparasi Beberapa Metode Estimasi Kesalahan Pengukuran. *Jurnal Penelitian dan Evaluasi Pendidikan*. 13(2): 182-197.



Widyotomo, S. 2013. Potensi dan Teknologi Diversifikasi Limbah Kopi Menjadi Produk Bermutu dan Bernilai Tambah. *Review Penelitian Kopi Dan Kakao*. 1(1):63–80.

Yeni, S., D. Heltina, dan E. Yeni. 2016. Pemanfaatan Arang Tulang Sebagai Adsorben Alternatif untuk Proses Penyerapan Rhodamine B. *Seminar Nasional Teknik Kimia Oleo & Petrokimia Indonesia*.



**Lampiran A. Pengukuran Limbah Cair Kopi Sintetik**

Tabel A.1 Pengukuran COD Pada Limbah Cair Kopi Sintetik

No	Konsentrasi Larutan (g/L)	Ulangan			Rata-rata	*Pengenceran
		1	2	3		
1	1	9	15	21	15	1500
2	2	66	42	28	45	4533
3	3	83	82	83	83	8267
4	4	136	136	135	136	13567
5	5	146	167	172	162	16167
6	6	250	172	167	196	19633
7	7	200	238	257	232	23167
8	8	234	249	312	265	26500
9	9	280	379	301	320	32000
10	10	420	290	303	338	33767

**Lampiran B. Data Karakteristik Arang Aktif Pulp Kopi**

Tabel B.1 Kadar Air Arang Aktif Pulp Kopi

No.	Sampel	Massa awal (a)	Massa akhir (b)	Kadar Air (%)
1	Arang aktif 100 mesh	1,00	0,9657	3,434

Tabel B.2 Kadar Abu Arang Aktif Pulp Kopi

No.	Sampel	Massa awal (a)	Massa akhir (b)	Kadar Abu (%)
1	Arang aktif 100 mesh	1,00	0,023	2,3

Tabel B.3 Daya Serap Iodin Arang Aktif Pulp Kopi

No.	Sampel	Massa arang (gr)	Volume $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (mL)	Volume larutan iodin (mL)	Iodin Terserap (mg/g)
1	Arang Aktif 100 mesh	0,5	12	5	15231,6

**Lampiran C. Data Pengukuran Serapan Panjang Gelombang Maksimum**

Tabel C.1 Pengukuran Serapan Panjang Gelombang Maksimum

No	Panjang Gelombang (nm)	Ulangan			Rata-Rata
		1	2	3	
1	460	0,320	0,290	0,261	0,290
2	475	0,328	0,26	0,296	0,295
3	490	0,232	0,198	0,221	0,217
4	505	0,203	0,185	0,152	0,180
5	520	0,222	0,141	0,119	0,161
6	535	0,198	0,114	0,092	0,135
7	550	0,177	0,112	0,067	0,119

Tabel C.2 Pengukuran Absorbansi Awal Limbah Cair Kopi Sintetik Pada Panjang Gelombang 475 nm

Sampel (g/L)	Ulangan			Rata-rata
	1	2	3	
1	0,324	0,332	0,319	0,325
1,5	0,442	0,435	0,423	0,433
2	0,573	0,563	0,554	0,563
2,5	0,638	0,646	0,637	0,640
3	0,738	0,743	0,776	0,752
3,5	0,821	0,835	0,852	0,836
4	0,936	0,947	0,951	0,945
4,5	1,078	1,066	1,088	1,077
5	1,200	1,235	1,249	1,228
5,5	1,379	1,393	1,412	1,395

Tabel C.3 Pengukuran Absorbansi Akhir Limbah Cair Kopi Sintetik Pada Panjang Gelombang 475 nm

Sampel (g/L)	Ulangan			Rata-rata
	1	2	3	
1	0,082	0,089	0,157	0,110
1,5	0,113	0,111	0,176	0,133
2	0,136	0,180	0,149	0,155
2,5	0,165	0,183	0,252	0,200
3	0,249	0,235	0,319	0,268
3,5	0,269	0,325	0,341	0,312
4	0,336	0,410	0,301	0,349
4,5	0,348	0,329	0,353	0,343
5	0,347	0,439	0,328	0,371
5,5	0,320	0,507	0,429	0,419

**Lampiran D. Regresi Linier Isoterm Langmuir dan Freundlich**

Tabel D.1 Data Kapasitas Adsorpsi

Co (mg/L)	C (mg/L)	M (g)	V (L)	(Co-C)	Qe (mg/g)
1000	145,78	10,00	0,100	854,222	8,542
1500	265,22	10,00	0,100	1234,778	12,348
2000	373,00	10,00	0,100	1627,000	16,270
2500	597,44	10,00	0,100	1902,556	19,026
3000	935,78	10,00	0,100	2064,222	20,642
3500	1156,89	10,00	0,100	2343,111	23,431
4000	1344,11	10,00	0,100	2655,889	26,559
4500	1314,67	10,00	0,100	3185,333	31,853
5000	1454,11	10,00	0,100	3545,889	35,459
5500	1692,44	10,00	0,100	3807,556	38,076

Tabel D.2 Data Isoterm Langmuir

Co (mg/L)	C (mg/L)	Qe (mg/g)	1/Qe	1/C
1000	145,78	8,542	0,117	0,007
1500	265,22	12,348	0,081	0,004
2000	373,00	16,270	0,061	0,003
2500	597,44	19,026	0,053	0,002
3000	935,78	20,642	0,048	0,001
3500	1156,89	23,431	0,043	0,001
4000	1344,11	26,559	0,038	0,001
4500	1314,67	31,853	0,031	0,001
5000	1454,11	35,459	0,028	0,001
5500	1692,44	38,076	0,026	0,001

Tabel D.3 Data Isoterm Freundlich

Co (mg/L)	C (mg/L)	Qe (mg/g)	Log C	Log Qe
1000	145,78	8,542	2,164	0,932
1500	265,22	12,348	2,424	1,092
2000	373,00	16,270	2,572	1,211
2500	597,44	19,026	2,776	1,279
3000	935,78	20,642	2,971	1,315
3500	1156,89	23,431	3,063	1,370
4000	1344,11	26,559	3,128	1,424
4500	1314,67	31,853	3,119	1,503
5000	1454,11	35,459	3,163	1,550
5500	1692,44	38,076	3,229	1,581

Tabel D.4 RMSE Isoterm Freundlich

Log C	Log Qe ( $z_{fi}$ )	Log Qe ( $z_{oi}$ )	Selisih ( $z_{fi} - z_{oi}$ )	Selisih kuadrat ( $z_{fi} - z_{oi}$ ) <sup>2</sup>	RMSE
2,164	0,932	0,940388565	-0,009	0,00007775	0,046458
2,424	1,092	1,084071558	0,008	0,00005651	
2,572	1,211	1,165940642	0,045	0,00206542	
2,776	1,279	1,279037273	0,000	0,00000009	
2,971	1,315	1,386764284	-0,072	0,00518513	
3,063	1,370	1,437687624	-0,068	0,00460970	
3,128	1,424	1,473698963	-0,049	0,00244917	
3,119	1,503	1,468381292	0,035	0,00120920	
3,163	1,550	1,492583949	0,057	0,00326511	
3,229	1,581	1,529022772	0,052	0,00266498	

Tabel D.5 RMSE Isoterm Langmuir

1/C	1/Qe ( $z_{fi}$ )	1/Qe ( $z_{oi}$ )	Selisih $z_{fi} - z_{oi}$	Selisih kuadrat ( $z_{fi} - z_{oi}$ ) <sup>2</sup>	RMSE
0,0069	0,1171	0,119908	-0,0028	0,00000808	0,005083
0,0038	0,0810	0,077436	0,0036	0,00001261	
0,0027	0,0615	0,062458	-0,0010	0,00000099	
0,0017	0,0526	0,048611	0,0039	0,00001560	
0,0011	0,0484	0,040292	0,0082	0,00006647	
0,0009	0,0427	0,037484	0,0052	0,00002698	
0,0007	0,0377	0,035828	0,0018	0,00000333	
0,0008	0,0314	0,036057	-0,0047	0,00002175	
0,0007	0,0282	0,035055	-0,0069	0,00004696	
0,0006	0,0263	0,033723	-0,0075	0,00005565	

**Lampiran E. Dokumentasi Penelitian**



Penjemuran limbah pulp kopi



Penimbangan pulp kopi



Karbonisasi pulp kopi



Aktivasi arang pulp kopi



Penimbangan arang aktif pulp kopi



Pengukuran COD pada limbah cair kopi sintetik





Reaktor adsorpsi



Pengukuran absorbansi limbah cair kopi



Limbah cair kopi sintetik