

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1. Rancangan Penelitian

Bahan baku arang aktif dalam penelitian ini adalah limbah mebel kayu waru (potongan kecil). Pengarangan dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta menggunakan *retort* dengan suhu 500 °C selama  $\pm$  3 jam dan didinginkan selama 24 jam. Proses pengaktifan arang dilakukan di Laboratorium Perpindahan Panas Pusat Antar Universitas (PAU) Universitas Gajah Mada (UGM) menggunakan *furnace* selama  $\pm$  3 jam dengan suhu 800 °C.

Limbah cair rumah sakit direaksikan dengan arang aktif dengan aliran kontinu menggunakan *prototype* alat uji adsorpsi limbah cair rumah sakit dan hasilnya diuji baku mutu air dan kandungan logam berat di Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan dan Pengendalian Penyakit (BBTKLPP) Yogyakarta. Adapun pengujian *Scanning Electron Mikroskop (SEM)* dilakukan di Laboratorium Pusat Penelitian Unit dan Plastik (PPUT) ATMI Solo.

#### 3.2. Alat dan Bahan

##### 3.2.1. Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini seperti table 3.1 berikut :

**Tabel 3.1.** Alat Penelitian

No.	Nama Alat	Jumlah	Kapasitas
1.	<i>Retort</i>	1 Unit	2 kg
2.	<i>Furnace</i>	1 Unit	
3.	Alat-alat skala lab	1 Set	
4.	Botol	9 Buah	1 Liter
5.	Wadah arang kecil	3 Buah	
6.	Wadah arang besar	2 Buah	
7.	<i>Stopwatch</i>	1 Unit	

8.	Sarung Tangan	10 Pasang
9.	Masker	1 Pak
10.	Timbangan digital	1 Buah
11.	Corong	2 Buah
12.	Alat uji limbah cair rumah sakit aliran kontinu	1 Unit

### 3.2.1.1. Retort

*Retort* yang digunakan untuk proses pengarangan ini berbentuk silinder dengan dimensi sebagai berikut: mempunyai tegangan listrik 220 Volt, 3 phasa, suhu maksimum yang dihasilkan 1600 °C, diameter tabung bagian dalam 20 cm dan tinggi 45 cm, daya yang dibutuhkan mencapai 5500 Watt. *Retort* yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.1 di bawah ini.



**Gambar 3.1.** *Retort*

### 3.2.1.2. Furnace

Alat ini berfungsi sebagai aktivasi fisika (termal) setelah arang diaktivasi secara kimia. Arang yang telah diaktivasi secara kimia kemudian dipanaskan kembali dengan suhu 750 °C selama 2 jam. Saat proses pemanasan berlangsung, dialirkan nitrogen (N<sub>2</sub>) untuk mencegah dekomposisi bahan organik menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O dan menghindari

terjadinya reaksi karbon dengan oksigen yang dapat mengakibatkan arang menjadi abu.



**Gambar 3.2.** Tungku *furnace*

#### **3.2.1.3. Gelas Ukur**

Alat ini digunakan untuk mengukur volume dari zat cair seperti asam sulfat, *aquades*, serta debit aliran dari limbah cair rumah sakit.



**Gambar 3.3.** Gelas ukur

#### **3.2.1.4. Botol**

Botol digunakan sebagai wadah sampel dari limbah cair rumah sakit setelah diadsorpsikan dengan arang aktif dan batu zeolite untuk diuji baku mutu air tersebut.

### 3.2.1.5. Wadah Arang Kecil

Wadah ini berupa botol berukuran kecil dengan kapasitas  $\pm 10$  gram untuk berat arang. Wadah ini digunakan untuk mengambil sampel dari arang yang sebelum diaktifkan, arang yang sudah diaktifkan dan arang setelah adsorpsi.

### 3.2.1.6. Wadah Arang Besar

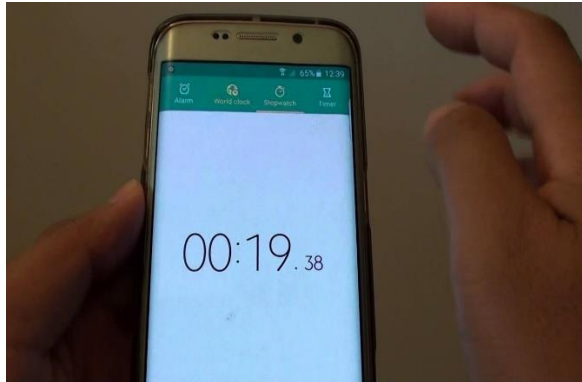
Wadah ini berbentuk tabung dengan tinggi  $\pm 50$  cm dengan diameter  $\pm 30$  cm dengan kapasitas untuk berat arang  $\pm 5$  kg. wadah ini digunakan untuk mereaksikan arang dengan campuran antara asam sulfat dan *aquades*.



**Gambar 3.4.** Wadah arang besar

### 3.2.1.7. Stopwatch

Alat ini digunakan untuk menentukan debit aliran limbah cair rumah sakit serta waktu variasi pengujian pada alat adsorpsi limbah cair rumah sakit.



**Gambar 3.5.** *stopwatch digital*

### **3.2.1.8. Sarung Tangan**

Sarung tangan berfungsi untuk melindungi tangan dan menurunkan kontaminasi dari zat kimia. Sarung digunakan saat proses pengarang, proses aktivasi arang, dan proses adsorpsi limbah.



**Gambar 3.6.** Sarung tangan

### **3.2.1.9. Masker**

Masker berfungsi untuk pelindung wajah khususnya saluran pernafasan dari bau serta partikel yang beterbangan saat pengaktifan arang dan saat adsorpsi limbah.



**Gambar 3.7.** Masker

#### **3.2.1.10. Timbangan Digital**

Timbangan digunakan untuk menentukan berat arang aktif dan batu zeolit pada proses adsorpsi limbah cair rumah sakit dilakukan.



**Gambar 3.8.** Timbangan digital

#### **3.2.1.11. Corong**

Corong digunakan sebagai tampungan pada saat penetralan arang yang sudah direaksikan dengan asam sulfat dan *aquades*



**Gambar 3.9.** Corong

### **3.2.1.12. Alat Uji Limbah Cair**

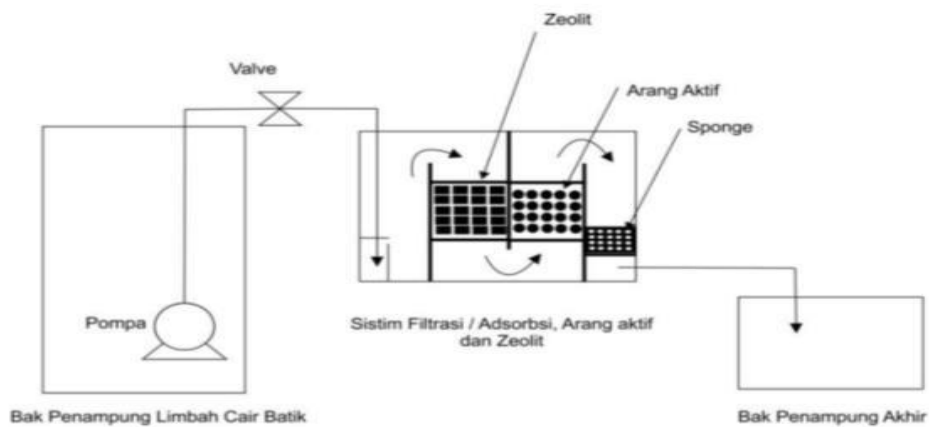
Alat uji ini digunakan sebagai media adsorpsi limbah cair rumah sakit dengan adsorben arang aktif dan batu zeolite dengan aliran secara kontinu.



(a)



(b)



(c)

**Gambar 3.10.** (a) alat uji adsorpsi, (b) seksi uji adsorpsi, (c) skema aliran

### 3.2.2. Bahan Penelitian

Bahan baku utama yang digunakan untuk pembuatan arang aktif berasal dari limbah mebel kayu waru yang berupa potongan-potongan kecil. Bahan ini diambil untuk menguji seberapa efektif limbah kayu tersebut untuk digunakan sebagai penyerap polutan limbah cair khususnya limbah cair rumah sakit. Selain menggunakan aktif, penelitian ini juga menggunakan batu zeolit sebagai adsorben dari limbah cair rumah sakit.

Bahan-bahan yang digunakan penelitian ini adalah sebagai berikut :

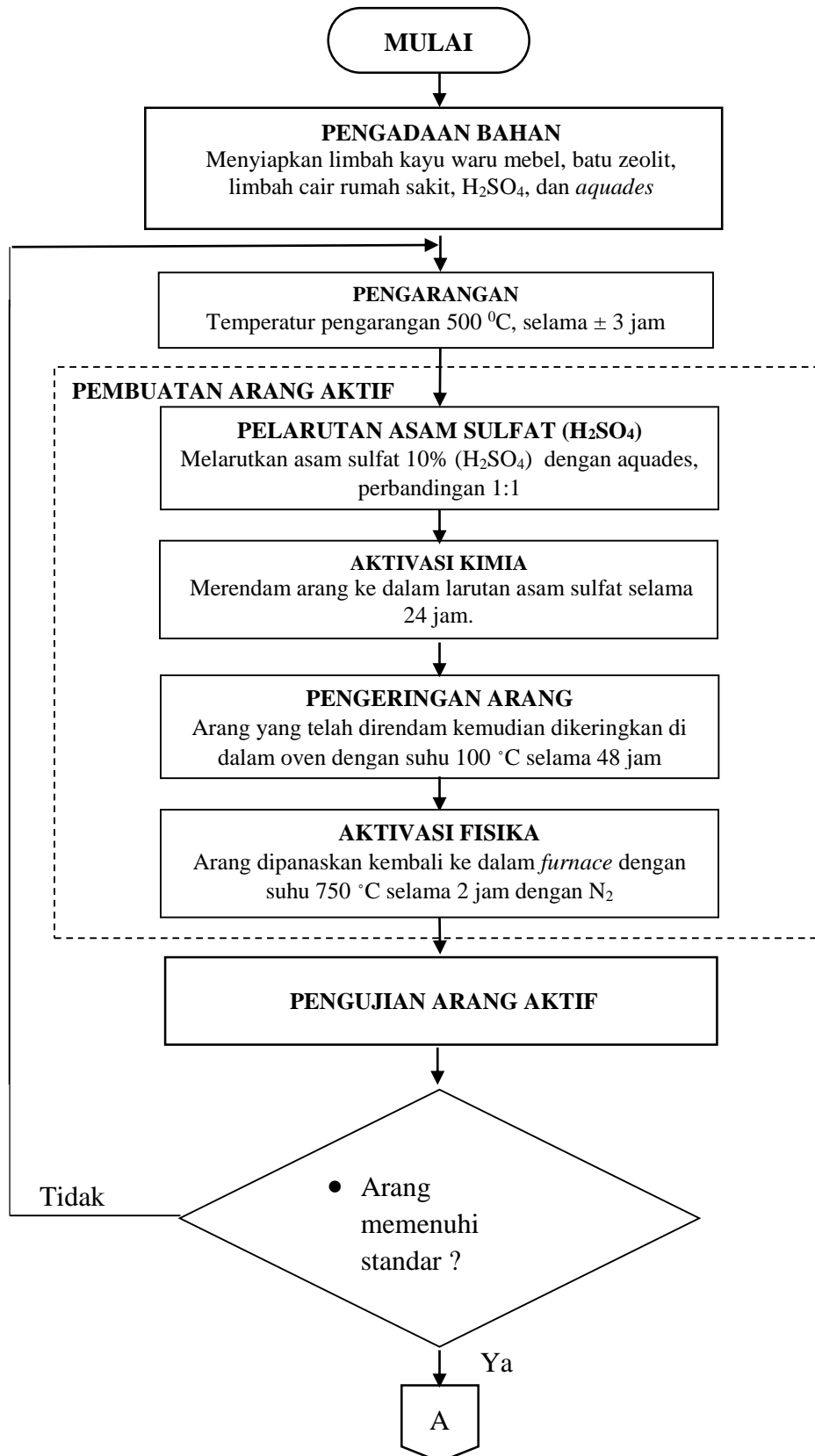
**Tabel 3.2.** Bahan Penelitian

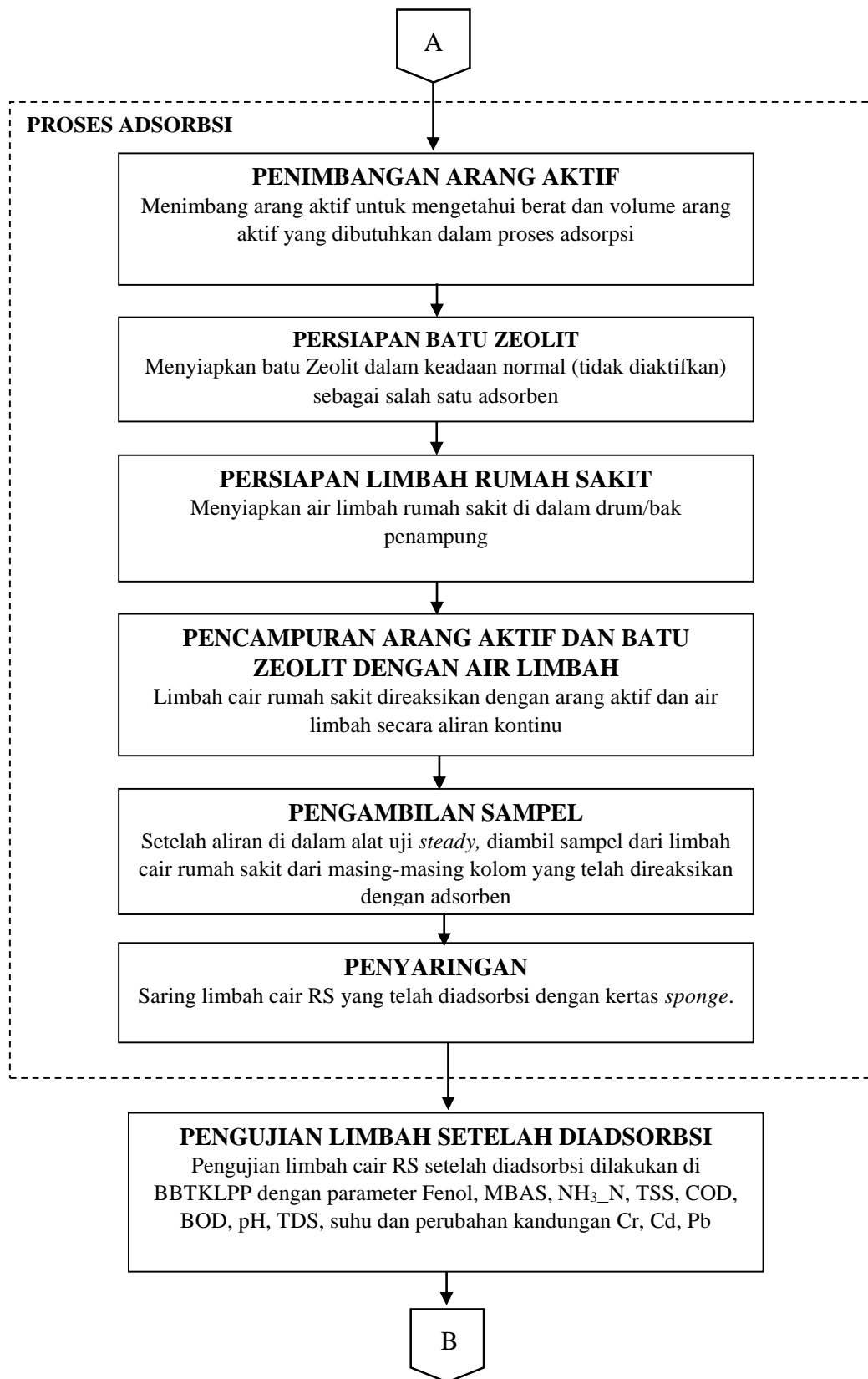
No.	Nama Bahan	Jumlah	Keterangan
1.	Limbah mebel kayu waru	5 kg	Bahan baku arang
2.	Batu zeolit	2 kg	Adsorben
3.	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (asam sulfat)	8 liter	Bahan pengaktif arang
4.	Aquades (H <sub>2</sub> O)	233 liter	Bahan campuran pengaktif arang dan sebagai penetralisir
5.	Limbah cair rumah sakit	100 liter	Objek penelitian

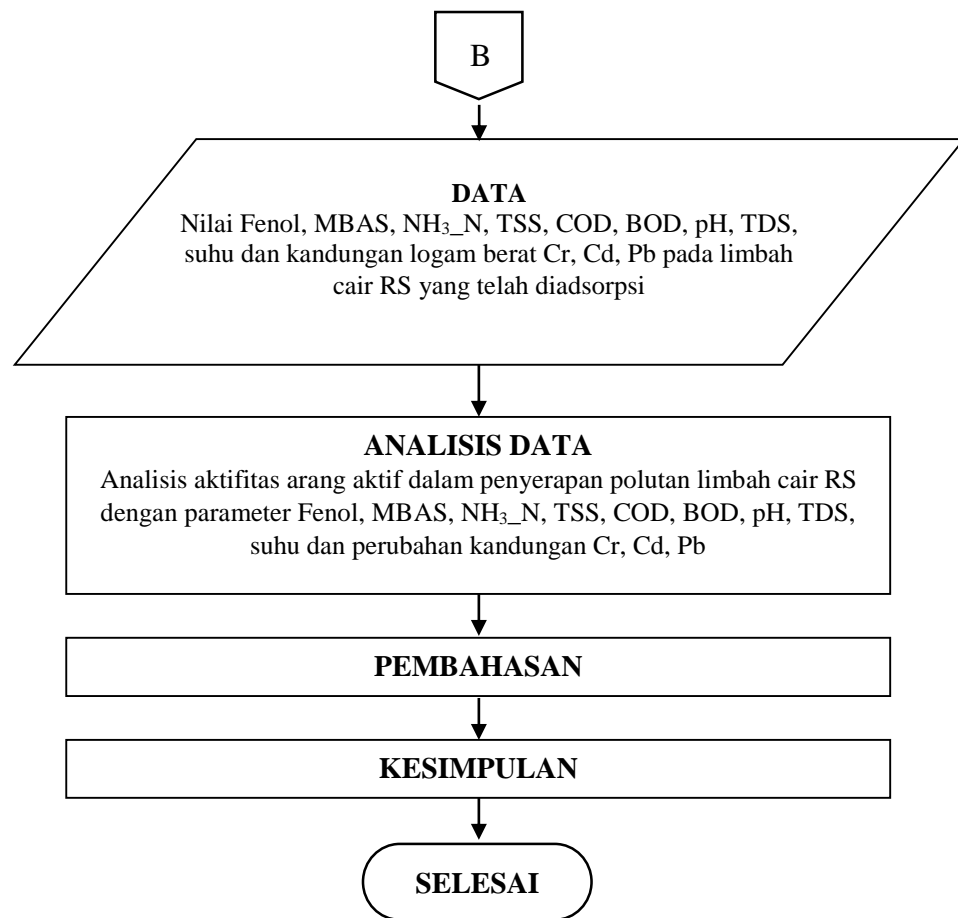


### 3.3. Diagram Alir Penelitian

Alur penelitian ditunjukkan pada gambar 3.11







**Gambar 3.11.** Diagram alir penelitian

### 3.4. Persiapan Alat dan Bahan

Tahap persiapan alat dan bahan dimulai dengan pengumpulan limbah potongan kayu waru, limbah ini didapat dari pengerajin mebel di daerah Purworejo Jawa Tengah. Potongan kayu tersebut kemudian dibersihkan dari kotoran-kotoran yang menempel pada kayu selanjutnya dijemur langsung di bawah terik matahari. Selain itu, batu zeolit juga harus dipersiapkan sebagai adsorben penyerap polutan limbah cair rumah sakit. Setelah baku siap, peralatan yang akan digunakan harus dikalibrasi serta dicek komponennya agar siap dipakai seperti *retort*, sarung tangan dan *tool set*.

### 3.5. Pembuatan Arang

Proses pembuatan arang menggunakan tungku pengarangan (*retort*) dengan kapasitas 2 kg sekali pembakaran atau sampai volume bahan baku memenuhi tungku *retort*. Sebelum pengarangan dilakukan, bahan baku kayu dijemur terlebih dahulu untuk mengurangi kadar air. Hal ini dilakukan untuk mempersingkat waktu pembakaran. Semakin rendah kadar air maka akan semakin cepat proses pembakaran. Proses penjemuran potongan kayu waru dapat dilihat pada gambar.

Setelah kayu dijemur sampai kering, kemudian dimasukkan ke tungku *retort* sampai kayu memenuhi ruang pembakaran. Temperatur yang digunakan pada pengarangan ini adalah 500 °C. Proses ini bertujuan untuk menguapkan air dan tar yang terkandung pada potongan kayu waru ke lingkungan untuk mendapatkan arang dan abu. Proses pengarangan dilakukan selama  $\pm 3$  jam atau sampai asap tidak keluar dari *retort*. Setelah itu, pendinginan arang dilakukan di dalam *retort* selama 24 jam sehingga suhunya sama dengan suhu ruangan. Selain untuk mendinginkan *retort*, hal tersebut juga bertujuan untuk memadamkan bara yang ada pada hasil pembakaran.

Arang yang telah didinginkan selama 24 jam kemudian dikeluarkan dan didiamkan agar suhu arang tersebut sama dengan suhu lingkungan. Proses pengarangan tersebut mendapatkan hasil bahan seberat  $\pm \frac{1}{2}$  dari berat awal sebelum pengarangan. Hal ini disebabkan oleh banyaknya kadar air maupun tar yang menguap pada saat pengarangan berlangsung. Gambar proses pengarangan dan arang yang sudah jadi dapat dilihat pada gambar.

Secara garis besar, proses pembuatan arang dapat dijelaskan dengan tahapan berikut :

1. Pengumpulan limbah kayu waru yang didapatkan dari pengerajin mebel yang berupa potongan kayu.

2. Selanjutnya potongan kayu tersebut dijemur di bawah terik matahari sampai kayu kering agar kadar air berkurang.
3. Siapkan *retort* dan pastikan dapat berfungsi dengan baik.
4. Bahan dimasukkan kedalam tungku pembakaran sampai bahan memenuhi tungku untuk melakukan proses pengarangan.
5. Temperatur yang digunakan yaitu 500 °C dengan estimasi waktu selama  $\pm 3$  jam atau sampai *retort* tidak menghasilkan asap lagi.
6. Setelah proses pengarangan selesai, *retort* didinginkan selama 24 jam. Selain untuk mendinginkan *retort* hal ini bertujuan untuk memadamkan bara yang dihasilkan pada hasil pengarangan.
7. Arang yang telah didinginkan kemudian dikeluarkan dari tungku dan diangin-anginkan agar suhu arang sama dengan suhu ruangan.

### **3.6. Pengaktifan Arang Kayu**

Pengaktifan arang kayu waru dilakukan di Laboratorium Perpindahan Panas Pusat Antar Universitas (PAU) Universitas Gajah Mada (UGM). Proses aktifasi arang merupakan suatu hal yang penting selain bahan baku dari arang tersebut. Berikut ini tahapan-tahapan proses pengaktifan arang kayu waru :

#### **1. Pemotongan Arang**

Sebelum arang diaktifkan, arang dipotong menjadi lebih kecil dengan ukuran  $\pm 8 \times 8$  mm. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan ukuran arang yang lebih seragam dan untuk memaksimalkan dalam proses penyerapan polutan dari limbah. Sejatinya dalam masa kini penyerapan polutan menggunakan arang yang lebih dulu disaring menggunakan ukuran mesh untuk mendapatkan ukuran arang yang lebih kecil. Karena semakin ukuran arang aktif semakin optimal untuk penyerapan polutan.



**Gambar 3.12.** Proses pemotongan arang

## 2. Persiapan Proses Pengaktifan

Setelah arang dipotong, proses selanjutnya yaitu menyiapkan alat-alat serta bahan untuk proses pengaktifan arang aktif. Alat-alat yang harus disiapkan meliputi wadah arang besar, gelas ukur, corong, pengaduk berupa kayu ataupun besi, kertas lakmus, alat tes pH, arang kayu waru,  $H_2SO_4$  dan *aquades*.

## 3. Pelarutan $H_2SO_4$ (Asam Sulfat) dengan *Aquades*

Pada proses pengaktifan arang ini, pereaksi yang digunakan adalah asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) yang lebih dulu direaksikan dengan *aquades*. Untuk proses pengaktifan arang kayu waru dengan berat  $\pm 1750$  gram membutuhkan larutan sebanyak 16 liter larutan. Larutan tersebut terdiri dari 50 % asam sulfat dan 50 % *aquades* yang dilarutkan.



**Gambar 3.13.** Pelarutan bahan aktivator

#### 4. Perendaman Arang dengan Larutan

Setelah pencampuran larutan antara asam sulfat dengan *aquades*, arang disiapkan di wadah arang besar sebagai tempat reaksi antara arang dengan zat pereaksi. Larutan tersebut kemudian dituangkan ke wadah yang berisi arang tersebut. Waktu perendaman pada proses ini yaitu 24 jam agar proses aktivasi mendapatkan hasil yang optimal.



**Gambar 3.14.** Perendaman arang dengan aktivator

#### 5. Penetralan Zat Asam

Proses perendaman selama 24 jam dengan menggunakan asam sulfat dengan *aquades* meninggalkan sisa-sisa zat asam yang dapat merusak logam ataupun alat yang akan digunakan proses selanjutnya. Maka daripada itu, sebelum proses pengovenan dan *furnace* arang yang telah direndam tersebut dinetralkan terlebih menggunakan *aquades* sampai kadar asam mendekati netral atau sama dengan kadar asam *aquades*. Alat yang digunakan adalah corong sebagai penampung dan peniris arang yang di atasnya diberi kertas lakmus sebagai penyaring. Kemudian arang dinetralkan dengan cara disiram dengan *aquades*. Adapun alat tes pH sebagai alat pengukur kadar keasaman. Pada penelitian ini menghabiskan  $\pm 225$  liter *aquades* untuk menetralkan arang dari zat asam sisa-sisa perendaman.



**Gambar 3.16.** Penetralan dari sisa zat asam

#### 6. Pengovenan Arang dan *Furnace*

Pengovenan arang dan proses *furnace* dilakukan di Laboratorium Perpindahan Panas Pusat Antar Universitas (PAU) Universitas Gajah Mada (UGM). Pengovenan arang bertujuan untuk mengeringkan arang sebelum proses *furnace* serta mendapatkan arang dengan berat yang konstan. Temperatur yang digunakan adalah  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  dengan estimasi waktu 24 jam. Hal ini untuk mendapatkan berat arang yang konstan.

Proses *furnace* dilakukan secara bertahap karena kapasitas alat tersebut terbatas. Temperatur yang digunakan pada proses ini adalah  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$  dengan waktu pemanasan selama  $\pm 3$  jam. Proses pemanasan ini bertujuan untuk mengembangkan pori-pori dan luas permukaan dari arang tersebut sehingga arang tersebut dapat menyerap polutan pada limbah cair.



**Gambar 3.17.** Pengovenan arang dan *furnace*



## 7. Proses Pendinginan

Proses pendinginan dilakukan setelah proses *furnace* selesai. Pendinginan memakan waktu 24 jam agar suhu alat dan arang sama dengan suhu lingkungan sekitar. Setelah 24 jam arang diangkat dan ditempatkan ke dalam wadah yang tertutup agar tidak bereaksi dengan udara sekitar. Berat arang aktif hasil dari proses oven dan *furnace* adalah 1/3 dari berat sebelum dilakukan proses ini. Akan tetapi, volume dari arang tersebut tidak berkurang secara signifikan. Hal ini dikarenakan banyaknya kadar air yang terbuang atau menguap saat proses oven dan *furnace* dilakukan.

### 3.7. Pengujian Adsorpsi Limbah Cair Rumah Sakit dengan Aliran Kontinu

Sebelum pengujian dilakukan, ada tahapan-tahapan yang harus dilakukan yaitu sebagai berikut :

#### 1. Menyiapkan Limbah Cair Rumah Sakit

Limbah cair rumah sakit didapatkan dari RS PKU Muhammadiyah Gamping Jl. Wates Km. 5,5 Ambarketwang, kec. Gamping, Sleman. Untuk sekali pengujian dibutuhkan sekitar 100 liter limbah cair rumah sakit. Sebelum pengujian dilakukan, limbah cair ditampung pada bak drum dan diendapkan selama 24 jam. Hal ini bertujuan untuk mengendapkan kotoran atau limbah yang berbentuk padat yang bisa menyumbat aliran pada proses pengujian.

#### 2. Menyiapkan Adsorben

Adsorben yang akan digunakan seperti arang aktif kayu waru dan batu zeolit ditimbang terlebih dahulu sesuai kapasitas dari alat uji yang digunakan. Pada pengujian digunakan arang aktif kayu waru sebanyak 200 gram dan zeolit sebanyak 2 kg. Selain adsorben diatas, ada satu penyaring lagi yaitu filter *sponge* / busa yang biasa digunakan pada akurium. Penggunaan filter ini bertujuan untuk menyaring jika ada kotoran padat ataupun arang yang ikut terbawa aliran.

### 3.7.1 Proses Pengujian

Langkah-langkah pada proses pengujian adsorpsi limbah cair rumah sakit pada alat uji aliran secara kontinu yaitu sebagai berikut :

1. Mempersiapkan alat penetralisir limbah cair rumah sakit beserta alat kelistrikan untuk pompa.
2. Memasukkan dan mengendapkan sampel limbah cair rumah sakit kedalam bak drum sebanyak  $\pm$  100 liter.
3. Menimbang batu zeolite seberat 2 kg dan dimasukkan pada saringan pertama.
4. Menimbang arang aktif limbah kayu waru seberat 200 gram dan dimasukkan pada saringan kedua.
5. Meletakkan filtrasi *sponge* pada tempat saringan ketiga.
6. Menyiapkan *stopwatch*, gelas ukur 1000 mL, serta kamera.
7. Mulai nyalakan pompa untuk mengalirkan limbah.
8. Membuka dan mengatur katup (*valve*) untuk mendabatkan debit yang diinginkan sebelum dialirkan ke alat uji adsorpsi.
9. Alirkan limbah ke alat uji adsorpsi dengan debit yang telah ditentukan.
10. Mencatat waktu keluaran limbah (*outlet*) yang telah melewati alat uji adsorpsi untuk mendapatkan limbah keluaran (*outlet*) sesuai waktu variasi waktu yang telah ditentukan
11. Memasukkan air limbah keluaran (*outlet*) pada menit ke 0 ke dalam botol.
12. Mengulangi pengambilan sampel pada variasi waktu menit ke 5 dan menit ke 10.
13. Mengulangi langkah 4-12 untuk mendapatkan variasi debit aliran yang berbeda.

### 3.7.2 Proses Adsorpsi

Proses adsorpsi adalah proses penyerapan polutan menggunakan arang aktif. Sebelum proses penyerapan limbah dilakukan, harus dipersiapkan terlebih dahulu limbah cair rumah sakit. Limbah cair ini didapatkan dari RS

PKU Muhammadiyah Gamping Jl. Wates Km 5,5 Ambarketawang, Gamping, Sleman. Pada alat uji adsorpsi limbah cair rumah sakit dengan aliran secara kontinu terjadi reaksi penyerapan kandungan logam dan warna dengan arang aktif dan batu zeolit. Proses ini dilakukan untuk mengetahui baku mutu dari limbah cair rumah sakit yang telah diadsorpsikan dengan arang aktif dan batu zeolit. Proses yang terjadi adalah sebagai berikut :

- a. Pada awalnya limbah cair rumah sakit dimasukkan ke dalam drum penampung, drum ini juga sebagai tempat pengendapan. Pengendapan bertujuan agar limbah padat turun ke dasar drum sehingga saat proses adsorpsi berlangsung tidak terbawa aliran limbah yang dapat menyumbat aliran tersebut. Pengendapan ini berlangsung selama 24 jam agar hasilnya optimal. Drum ini juga difasilitasi level kedalaman pompa agar pompa tidak menyedot limbah yang ada di dasar drum.
- b. Setelah limbah diendapkan selama kurang lebih satu hari di dalam drum maka selanjutnya menyalakan pompa untuk dialirkan ke alat uji. Sebelum masuk ke alat uji, debit aliran limbah terlebih dahulu ditentukan menggunakan gelas ukur serta *stopwatch* dengan cara membuka katup (*valve*) buangan yang dipasang sebelum katup (*valve*) menuju alat uji. Debit aliran yang digunakan yaitu 0,5 l/m, 1 l/m dan 1,5 l/m.
- c. Setelah debit aliran limbah didapatkan, selanjutnya aliran dimasukkan ke alat uji adsorpsi. Dalam sistem filtrasi/ kolom adsorpsi terdapat 4 bagian kolom yaitu 1). Kolom penampung limbah cair, 2). Kolom adsorpsi batu zeolit, 3). Kolom adsorpsi arang aktif, 4). Kolom filtrasi menggunakan *sponge*. Skema ini dapat dijelaskan lebih detil yaitu sebagai berikut :
  - 1) Mula-mula limbah cair rumah sakit memasuki kolom penampung limbah dengan aliran dari bawah kolom menuju ke atas. Pada ujung pipa aliran terdapat sekat agar terjadi turbulen pada aliran limbah. Tujuan dari kolom ini adalah sebagai penampung limbah cair agar tidak secara langsung menuju kolom adsorpsi. Pada kolom ini dilengkapi dengan kran untuk mengambil sampel dari limbah cair rumah sakit.

- 2) Pada kolom penampung air limbah secara perlahan aliran akan memenuhi kolom tersebut dan mengalir ke kolom adsorpsi zeolit dari air tumpahan yang memenuhi kolom penampung limbah. Aliran secara perlahan akan melewati batu zeolit yang telah dipersiapkan sebelumnya. Proses diharapkan batu zeolit dapat menyerap kandungan logam, bau tak sedap serta warna dari limbah cair rumah sakit dengan aliran dari atas menuju bawah. Pada kolom ini terdapat sekat pembatas dengan kolom adsorpsi arang aktif dan diberi celah pada dasar kolom agar aliran menuju ke kolom adsorpsi arang aktif sembari aliran yang melewati zeolit mengalir secara kontinu. Kolom adsorpsi batu zeolite juga dilengkapi kran untuk mengambil sampel dari limbah cair yang telah diadsorpsi oleh batu zeolit.
  - 3) Aliran yang telah melewati kolom adsorpsi zeolit mengalir secara perlahan begitu juga aliran yang masuk melalui sekat di dasar kolom untuk memasuki kolom adsorpsi arang aktif. Pada kolom ini aliran bergerak dari bawah ke atas melewati arang aktif secara perlahan sampai memenuhi kolom tersebut. Tujuan kolom dibuat seperti untuk menghindari tersumbatnya aliran jika dialirkan dari atas ke bawah sehingga dengan kolom ini arang aktif akan mengapung dan memberi celah untuk aliran melewati arang tersebut secara optimal.
  - 4) Setelah aliran melewati kolom adsorpsi arang aktif, aliran secara perlahan akan tumpah dan memasuki kolom filtrasi *sponge*. Hal ini bertujuan untuk menyaring limbah dari sisa-sisa limbah padat ataupun arang aktif yang terbawa oleh aliran.
- d. Selanjutnya aliran akan menuju ke bak penampung terakhir melewati pipa yang dipasang pada ujung dasar kolom alat uji adsorpsi. Dengan demikian, limbah cair yang telah di adsorpsi dapat diambil sampelnya sesuai waktu variasi yaitu menit ke 0, 5 dan 10.
  - e. Menganalisa baku mutu serta kandungan logam yang terdapat pada limbah cair rumah sakit sebelum diadsorpsikan maupun setelah adsorpsi dengan batu zeolit dan arang aktif.