

**PENGARUH WAKTU AGITASI TERHADAP KUALITAS LIMBAH  
CAIR MEDIS MENGGUNAKAN KARBON AKTIF BAMBU AMPEL  
DAN APUS DENGAN AKTIVATOR HCI**

**SKRIPSI  
TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK MANUFAKTUR**

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



**FELIXANTO CENDIKIA  
NIM. 195060200111009**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG**

**2023**



## LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH WAKTU AGITASI TERHADAP KUALITAS LIMBAH CAIR MEDIS  
MENGUNAKAN KARBON AKTIF BAMBU AMPEL DAN APUS DENGAN  
AKTIVATOR HCl

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK MANUFAKTUR

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik



Felixanto Cendikia  
NIM. 195060200111009

Skripsi telah direvisi dan disetujui oleh Dosen Pembimbing pada tanggal 19 Juni 2023

Dosen Pembimbing 1

Dr. Ir. Putu Hadi Setyarini, ST., MT.  
NIP. 197708062003122001

Dosen Pembimbing 2

Dr. Ir. Achmad As'ad Sonief, MT.  
NIP. 195911281987101001

Mengetahui,  
Ketua Program Studi Sarjana

Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng., Ph.D.  
NIP. 198411232022031002



## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 28 Mei 2023



Mahasiswa,

Felixanto Cendikia

NIM. 195060200111009



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM SARJANA**

**MERDEKA  
BELAJAR**

## **SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI**

Nomor : 680/UN10.F07.12.11/PP/2023

Sertifikat ini diberikan kepada :

**FELIXANTO CENDIKIA**

Dengan Judul Skripsi :

**PENGARUH WAKTU AGITASI TERHADAP KUALITAS LIMBAH CAIR MEDIS MENGGUNAKAN KARBON AKTIF  
BAMBU AMPEL DAN APUS DENGAN AKTIVATOR HCI**

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi  $\leq 25\%$ , dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal



Ketua Departemen Teknik Mesin

**Dr. PURNAMISTI.,MT.**

NIP. 19770707 200812 1 005

Malang, 20 Juni 2023

Ketua Program Studi Sarjana Teknik Mesin

**TEGUH DWIWIDO, ST., M.Eng. Ph.D.**  
NIP. 198411232022031002

## IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI

### JUDUL SKRIPSI:

Pengaruh Waktu Agitasi terhadap Kualitas Limbah Cair Medis Menggunakan Karbon Aktif  
Bambu Ampel Dan Apus dengan Aktivator HCl

Nama Mahasiswa : Felixanto Cendikia

NIM : 195060200111009

Program Studi : Teknik Mesin

Konsentrasi : Teknik Manufaktur

### KOMISI PEMBIMBING :

Dosen Pembimbing I : Dr. Ir. Putu Hadi Setyarini, ST., MT.

Dosen Pembimbing II : Dr. Ir. Achmad As ad Sonief, MT.

### TIM DOSEN PENGUJI :

Dosen Penguji I : Prof. Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng.

Dosen Penguji II : Teguh Dwi Widodo ST., M.Eng., Ph.D.

Dosen Penguji III : Rudianto Raharjo, ST., MT.

Tanggal Ujian : 30 Mei 2023

SK Penguji : 354/UN10.F07/SK/2023



*Terima Kasih Banyak Teruntuk Ayah, Ibu Dan Saudara-  
Saudari yang Telah Memberikan Do'a Dan Dukungan Moril  
maupun Material dalam Pengerjaan Skripsi*

**“Jangan minta kepada Tuhan apa yang menurut Anda baik, tetapi mintalah kepada-Nya apa yang menurut Dia baik bagi Anda”**

## KATA PENGANTAR

Puja dan puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Waktu Agitasi Terhadap Kualitas Limbah Cair Medis Menggunakan Karbon Aktif Bambu Ampel Dan Apus Dengan Aktivator HCl” sebagai persyaratan untuk menyelesaikan studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. Penulis sadar bahwa skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik berkat bantuan, dukungan serta bimbingan dari berbagai pihak yang terlibat. Oleh karena itu, dengan hormat penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Tuhan yang Maha Esa yang senantiasa mencurahkan rahmat dan ridho-Nya, petunjuk dan bimbingan serta nikmat yang tak terhingga banyaknya.
2. Keluarga penulis yaitu Bapak Alexander dan Ibu Mawarni serta saudara-saudari kandung yang telah banyak memberikan dukungan yang sangat berarti baik dalam materil, mental, nasihat, dan juga motivasi.
3. Bapak Dr. Purnami, ST.,MT selaku Ketua Departemen Teknik Mesin dan Bapak Winarto, ST MT., Ph.D selaku Sekretaris Departmen Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
4. Bapak Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng. Ph.D. selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
5. Ibu Dr. Putu Hadi Setyarini ST., MT selaku Dosen Pembimbing Pertama yang telah sangat banyak membantu penulis dari awal hingga akhir penelitian, baik dalam segi arahan, semangat, motivasi dan juga dukungan akan masa depan penulis.
6. Bapak Dr. Ir. Achmad As'ad Sonief, MT., selaku Ketua Kelompok Jabatan Fungsional (KKJF) Manufaktur Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang sekaligus Dosen Pembimbing Kedua yang telah memberikan banyak masukan pada penulis.
7. Seluruh Dosen Pengajar, Staff Administrasi, dan Karyawan Departemen Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah memberikan ilmu dan bantuannya selama perkuliahan.
8. Qashmal dan Jemie, selaku teman seperjuangan yang telah menemani dan saling membantu dalam proses penyelesaian skripsi.
9. Lab. Fenomena Dasar Mesin FT-UB terutama Ibu Dr. Putu Hadi Setyarini ST., MT selaku Ketua Laboratorium dan Bapak Djoko Sumantri selaku Pranata Laboratorium.



10. Mahasiswa Teknik Mesin Angkatan 2019

11. Semua pihak yang belum bisa disebutkan penulis satu persatu.

Skripsi yang telah dikerjakan masih jauh dari kesempurnaan, maka dari itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang dapat membangun dari berbagai pihak demi menyempurnakan skripsi ini. Terima kasih.

Malang, April 2023.

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	ix
<b>RINGKASAN</b> .....	xi
<b>SUMMARY</b> .....	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	5
2.2 Proses Manufaktur.....	11
2.3 Bambu.....	13
2.3.1 Bambu Apus.....	14
2.3.2 Bambu Ampel.....	15
2.4 Adsorpsi.....	16
2.4.1 Adsorpsi Fisika ( <i>physisorption</i> ).....	18
2.4.2 Adsorpsi Kimia ( <i>chemisorption</i> ).....	18
2.5 Adsorben.....	19
2.6 Karbon Aktif.....	19
2.6.1 Proses Pembuatan Karbon Aktif.....	20
2.7 Aktivator.....	22
2.8 Agitasi.....	23
2.9 Limbah Medis.....	23
2.9.1 Limbah Padat.....	24
2.9.2 Limbah Gas Medis.....	24
2.9.3 Limbah Cair Medis.....	24
2.9.4 Karakteristik Limbah Cair Medis.....	25



2.10	Pengolahan Limbah Cair Medis.....	26
2.11	Keasaman Air atau <i>Potential Hydrogen</i> (pH) .....	26
2.12	Total Padatan Terlarut atau TDS ( <i>Total Dissolved Solids</i> ).....	27
2.13	<i>Scanning Electron Microscopy</i> dan <i>Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy</i> ..	28
2.14	Hipotesis .....	30
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>		<b>31</b>
3.1	Metode Penelitian.....	31
3.2	Waktu dan Tempat Penelitian.....	31
3.3	Variabel Penelitian.....	31
3.4	Alat dan Bahan Penelitian.....	33
3.4.1	Alat yang Digunakan Pada Penelitian.....	33
3.4.2	Bahan yang Digunakan pada Penelitian.....	40
3.5	Mekanisme dan Proses Penelitian.....	42
3.5.1	Mekanisme Penelitian.....	42
3.5.2	Proses Pembuatan Aktivator.....	43
3.5.3	Proses Pembuatan Spesimen .....	44
3.5.4	Proses Adsorpsi .....	45
3.5.5	Prosedur Pengujian.....	45
3.6	Diagram Penelitian.....	47
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>49</b>
4.1	Hasil Pengujian .....	49
4.1.1	Hasil Pengujian pH ( <i>Potential of Hydrogen</i> ).....	49
4.1.2	Hasil Pengujian TDS ( <i>Total Dissolved Solids</i> ).....	50
4.1.3	Hasil Pengujian <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM) - <i>Energy Dispersive Spectroscopy</i> (EDS).....	52
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>55</b>
5.1	Kesimpulan.....	55
5.2	Saran.....	55
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		
<b>LAMPIRAN</b>		

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Persentase penyisihan pewarna biru metilen pada suhu kamar..... 10

Tabel 2.1 kandungan kimia 10 jenis bambu..... 14

Tabel 2.2 Sifat Fisik Asam Klorida (HCl)..... 23

Tabel 2.3 Baku Mutu Limbah Cair..... 25

Tabel 3.1 Variabel Bebas..... 32

Tabel 3.2 Komposisi Kimia Limbah Cair Medis..... 40

Tabel 4.1 Komposisi Karbon Aktif Bambu Ampel dan Bambu Apus..... 50



## DAFTAR GAMBAR

<i>Gambar 2.1</i> Pengaruh Kecepatan Agitasi terhadap Cr (a) % RE dan (b) Kapasitas Adsorpsi ( $\text{mgg}^{-1}$ ).....	5
<i>Gambar 2.2</i> Pengaruh Waktu Kontak terhadap Cr (a) % RE dan (b) Kapasitas Adsorpsi ( $\text{mgg}^{-1}$ ).....	6
<i>Gambar 2.3</i> Hubungan antara pH dan Kapasitas Adsorpsi.....	7
<i>Gambar 2.4</i> Pengaruh Waktu Kontak dan Kadar Karbon Aktif Granular terhadap Ketiga Antibiotik.....	7
<i>Gambar 2.5</i> Pengaruh Jenis Adsorben terhadap Reduksi Kadar Pb, Sb, TOC, $\text{SO}_4^{2-}$ serta F dan tingkat keasaman (pH).....	8
<i>Gambar 2.6</i> Pengaruh Waktu Kontak terhadap Konsentrasi pewarna MB ( $10 \text{ mg } 50 \text{ mg.L}^{-1}$ larutan; qt=jumlah zat warna yang terserap dalam waktu t; pada suhu kamar).....	9
<i>Gambar 2.7</i> Hasil Uji SEM Karbon Aktif Bambu 950x Perbersaran (Sebelum Adsorpsi).....	10
<i>Gambar 2.8</i> Hasil Uji SEM Karbon Aktif Bambu 950x Perbersaran (Setelah Adsorpsi).....	11
<i>Gambar 2.9</i> Proses Manufaktur.....	12
<i>Gambar 2.10</i> Bambu Apus.....	15
<i>Gambar 2.11</i> Bambu Ampel yang Tumbuh di Daerah Jawa Barat, Indonesia. (a) rumpun, (b) batang, dan (c) pucuk.....	16
<i>Gambar 2.12</i> Skema Proses Adsorpsi.....	18
<i>Gambar 2.13</i> Skema dari <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	29
<i>Gambar 3.1</i> Timbangan Digital.....	33
<i>Gambar 3.2</i> Magnetic Stirrer.....	34
<i>Gambar 3.3</i> pH Meter.....	35
<i>Gambar 3.4</i> TDS Meter.....	35
<i>Gambar 3.5</i> Oven.....	36
<i>Gambar 3.6</i> FE-SEM Quanta FEG 650.....	37
<i>Gambar 3.7</i> Gelas Beaker.....	37
<i>Gambar 3.8</i> Jirigen.....	38
<i>Gambar 3.9</i> Toples Kaca.....	38
<i>Gambar 3.10</i> Botol Aquades.....	39
<i>Gambar 3.11</i> Spatula.....	39
<i>Gambar 3.12</i> Aluminium Foil.....	39
<i>Gambar 3.13</i> Arang Bambu Apus.....	40



Gambar 3.14 Arang Bambu Ampel .....	41
Gambar 3.15 Larutan HCl 37% .....	41
Gambar 3.16 Air Aquades .....	42
Gambar 3.17 Silica Gel .....	42
Gambar 3.18 Mekanisme Penelitian .....	43
Gambar 3.19 Diagram Alir Penelitian .....	47
Gambar 4.1 Grafik Pengaruh Waktu Agitasi terhadap Derajat Keasaman (pH) dengan Kecepatan Agitasi 150 rpm pada suhu pengeringan 200°C dan 100°C.....	47
Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Waktu Agitasi terhadap TDS ( <i>Dissolve Total Solids</i> ) dengan Kecepatan Agitasi 150 rpm pada suhu pengeringan 200°C dan 100°C.....	49
Gambar 4.3 Hasil Pengujian SEM dengan perbesaran 10.000x pada (A) karbon aktif bambu ampel sebelum aktivasi, (B) karbon aktif bambu ampel setelah aktivasi pada suhu pengeringan 200°C, (C) karbon aktif bambu ampel setelah adsorpsi, (D) karbon aktif bambu apus sebelum aktivasi, (E) karbon aktif bambu apus setelah aktivasi dan (F) karbon aktif bambu apus setelah adsorpsi.....	50



**DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1 Data Hasil Pengujian SEM-EDS Karbon Aktif Bambu Ampel Sebelum Adsorpsi

Lampiran 2 Data Hasil Pengujian SEM-EDS Karbon Aktif Bambu Ampel Setelah Adsorpsi

Lampiran 3 Data Hasil Pengujian SEM-EDS Karbon Aktif Bambu Apus Sebelum Adsorpsi

Lampiran 4 Data Hasil Pengujian SEM-EDS Karbon Aktif Bambu Apus Setelah Adsorpsi







## RINGKASAN

**Felixanto Cendikia**, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Mei 2023, *Pengaruh Waktu Agitasi Terhadap Kualitas Limbah Cair Medis Menggunakan Karbon Aktif Bambu Ampel Dan Apus Dengan Aktivator HCl*, Dosen Pembimbing : Putu Hadi Setyarini dan Achmad As'ad Sonief.

Limbah medis merupakan semua limbah yang dihasilkan dari kegiatan medis yang terdiri dari berbagai bentuk, yaitu berbentuk padat, cair dan gas. Limbah-limbah tersebut perlu diolah terlebih dahulu sebelum dibuang agar tidak mencemari lingkungan serta kehidupan lingkungan. Oleh karena itu pada penelitian ini, diteliti tentang solusi alternatif dalam pengolahan limbah cair medis dengan metode adsorpsi menggunakan karbon aktif dari bambu ampel (*Bambusa Vulgaris*) dan bambu apus (*Gigantochloa apus (Schult.f.) Kurz*) dengan aktivator HCl. Perlakuan yang dapat memaksimalkan proses adsorpsi yaitu aktivasi dan agitasi.

Aktivasi arang bambu ampel dan bambu apus dilakukan dengan cara merendam karbon yang telah dihaluskan menjadi serbuk ke dalam larutan HCl 0,1 M selama 24 jam. Aktivasi bertujuan agar meningkatkan jumlah dan ukuran pori-pori yang terdapat pada karbon aktif. Setelah itu, pisahkan karbon aktif dari larutan HCl 0,1 M dan karbon aktif dikeringkan dalam oven pada variasi suhu 200°C dan 100°C dengan waktu 60 menit. Kemudian, campurkan limbah cair medis dan karbon aktif ke dalam gelas ukur dan lakukan agitasi dengan variasi waktu 12 jam, 24 jam, 36 jam dan 48 jam menggunakan *magnetic stirrer*. Pengujian pH (*Potential of Hydrogen*) bertujuan untuk mengetahui tingkat keasaman dari sebuah larutan yang diuji. Pengujian TDS (*Total Dissolved Solid*) berfungsi untuk mengetahui atau mengukur jumlah padatan atau partikel terlarut didalam suatu larutan. Pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dengan *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS) bertujuan untuk melihat morfologi karbon aktif dalam ukuran nanometer dan dapat mengidentifikasi elemen-elemen dari unsur yang terkandung dalam specimen yang diuji.

Hasil pengujian pH menunjukkan kenaikan nilai pH karbon aktif dari arang bambu ampel pada suhu pengeringan 200°C yaitu sebanyak 46,5% dan pada karbon aktif dari arang bambu apus yaitu sebanyak 35,6%. Sedangkan, kenaikan nilai pH karbon aktif dari arang bambu ampel pada suhu pengeringan 100°C yaitu sebesar 30,3% dan pada karbon aktif dari arang bambu apus yaitu sebanyak 26,6%. Penurunan nilai TDS pada karbon aktif dari arang bambu ampel yaitu sebanyak 43,9% dan pada karbon aktif dari arang bambu apus yaitu sebanyak 41,4%. Sedangkan, penurunan nilai TDS karbon aktif dari arang bambu ampel pada suhu pengeringan 100°C yaitu sebesar 37,3% dan pada karbon aktif dari arang bambu apus yaitu sebanyak 27,6%. Pada penelitian yang dilakukan, ditemukan bahwa peningkatan waktu agitasi memberikan pengaruh kualitas limbah cair medis yang semakin baik. Hal tersebut dikarenakan karbon aktif dapat menyerap elemen-elemen berbahaya yang terkandung pada limbah cair medis.

Kata kunci: Limbah Cair Medis, Bambu Ampel, Bambu Apus, HCl, Karbon Aktif, Adsorpsi



## SUMMARY

**Felixanto Cendikia**, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, May 2023, *The Effect of Agitation Time on the Quality of Medical Waste Water Using Ampel and Apus Bamboo Activated Carbon With HCl Activator*, Advisor Lecturers : Putu Hadi Setyarini and Achmad As'ad Sonief.

Medical waste is all waste generated from medical activities consisting of various forms, namely in the form of solid, liquid and gas. These wastes need to be treated before being disposed of so as not to pollute the environment and environmental life. Therefore, in this study, an alternative solution was examined in the treatment of medical liquid waste by adsorption method using activated carbon from Ampel bamboo (*Bambusa Vulgaris*) and Apus bamboo (*Gigantochloa apus* (Schult.f.) Kurz) with HCl activator. Treatments that can maximize the adsorption process are activation and agitation.

Activation of ampel bamboo and apus bamboo charcoal was carried out by immersing the carbon that had been crushed into powder in 0.1 M HCl solution for 24 hours. Activation aims to increase the number and size of the pores contained in activated carbon. After that, separate the activated carbon from the 0.1 M HCl solution and the activated carbon is dried in an oven at various temperatures of 200°C and 100°C for 60 minutes. Then, mix the medical liquid waste and activated carbon into a measuring cup and agitate for 12 hours, 24 hours, 36 hours and 48 hours using a magnetic stirrer. Testing the pH (Potential of Hydrogen) aims to determine the acidity level of a solution being tested. The TDS (Total Dissolved Solid) test functions to determine or measure the amount of dissolved solids or particles in a solution. Scanning Electron Microscopy (SEM) testing with Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) aims to see the morphology of activated carbon in nanometer size and can identify elements of the elements contained in the tested specimen.

The pH test results showed an increase in the pH value of activated carbon from ampel bamboo charcoal at a drying temperature of 200°C, which was 46.5% and that of activated carbon from apus bamboo charcoal, which was 35.6%. Meanwhile, the increase in the pH value of activated carbon from ampel bamboo charcoal at a drying temperature of 100°C was 30.3% and that of activated carbon from apus bamboo charcoal was as much as 26.6%. The decrease in the TDS value of activated carbon from ampel bamboo charcoal was 43.9% and that of activated carbon from apus bamboo charcoal was 41.4%. Meanwhile, the decrease in the TDS value of activated carbon from ampel bamboo charcoal at a drying temperature of 100°C was 37.3% and that of activated carbon from apus bamboo charcoal was as much as 27.6%. In the research conducted, it was found that an increase in agitation time affected the better quality of medical wastewater. This is because activated carbon can absorb the harmful elements contained in medical liquid waste.

**Keywords:** Medical Waste Water, Ampel Bamboo, Apus Bamboo, HCl, Activated Carbon, Adsorption



# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Lingkungan hidup yang bersih dan sehat akan memberi dampak positif pada kehidupan masyarakat. Secara tidak langsung, lingkungan yang sehat akan menyehatkan jiwa serta raga masyarakat. Oleh karena itu, dibutuhkan fasilitas kesehatan seperti rumah sakit, puskesmas, klinik ataupun fasilitas kesehatan yang lainnya, seperti laboratorium kesehatan untuk mewujudkan kehidupan masyarakat serta lingkungan yang bersih dan sehat.

Kegiatan atau aktifitas medis akan memberikan dua dampak, yaitu dampak positif dan dampak negatif. Dampak positif yang ditimbulkan oleh aktifitas medis yaitu yang bersinggungan langsung bagi masyarakat yang membutuhkan pelayanan kesehatan dan dampak negatif yang ditimbulkan yaitu limbah medis yang dapat berdampak pada pencemaran lingkungan, baik di dalam maupun di luar area kegiatan medis yang nantinya dapat mempengaruhi kembali kepada kesehatan dan lingkungan masyarakat.

Definisi limbah medis adalah semua limbah yang dihasilkan dari kegiatan medis dalam bentuk padat, cair, dan gas (Kemenkes RI, 2022). Menurut Biswas dkk. (2011), ia menjelaskan dampak yang muncul akibat kontak dengan limbah medis yang berasal dari fasilitas rumah sakit adalah infeksi yang ditularkan melalui darah, cairan tubuh, tinja, muntahan, dan lain-lain yang dapat menyebabkan masuknya agen penyebab penyakit, misalnya infeksi virus pada darah. Dengan semakin meningkatnya jumlah fasilitas pelayanan kesehatan maka akan mengakibatkan semakin tinggi potensi pencemaran lingkungan akibat kegiatan pembuangan limbah khususnya limbah cair medis yang dapat memberikan dampak penurunan tingkat kebersihan lingkungan dan kesehatan manusia. Oleh karena itu, potensi dampak negatif limbah cair medis terhadap kesehatan masyarakat sangat besar, maka diperlukan metode pengelolaan limbah yang baik.

Hasil studi pengolahan limbah rumah sakit di Indonesia menunjukkan bahwa sebagian besar melakukan pemisahan antara limbah medis dan non-medis (80,7%), tetapi dalam masalah pewadahan sekitar 20,5% yang menggunakan pewadahan khusus dengan warna dan lambang yang berbeda. Sementara itu, teknologi pemusnahan dan pembuangan akhir yang dipakai, untuk limbah infeksius 62,5% dibakar dengan insinerator, 14,8% dengan cara *landfill*, dan 22,7% dengan cara lain; untuk limbah toksik 51,1% dibakar dengan insinerator, 15,9% dengan cara *landfill* dan 33,0% dengan cara lain; untuk limbah radioaktif hanya 37,1% menyerahkan limbah radioaktif ke BATAN, sisanya dengan menggunakan silo dan

cara lainnya (Adisasmito, 2007 dalam Simamora, 2018). Hasil kajian terhadap 6 rumah sakit di Kota Medan, Bandung serta Makassar yang dilakukan oleh Ditjen Penyehatan Lingkungan bersama dengan WHO memberikan kesimpulan bahwa 65% rumah sakit telah melakukan pemilahan limbah medis dan non medis (kantong plastik berwarna kuning dan hitam), namun masih terjadi kesalahan pada tempat/pewadahan (Ditjen PP dan PL, 2011 dalam Aprilia, 2019).

Namun, ada metode alternatif yang dapat membantu dalam mengelola limbah medis. Salah satu metode pengelolaan limbah cair medis yang dapat mengatasi masalah tersebut adalah pengolahan dengan metode adsorpsi. Menurut Nurjanah dkk. (2022) metode adsorpsi dengan menggunakan karbon aktif dalam pengolahan limbah cair sangat baik karena struktur karbon aktif dipenuhi oleh rongga dengan luas permukaan yang cukup besar. Kondisi tersebut menyebabkan karbon aktif dapat menyerap partikel-partikel kecil dalam limbah cair yang tidak disingkirkan oleh pengolahan lainnya. Proses adsorpsi adalah fenomena permukaan di mana atom, ion atau molekul dari gas, cair atau padatan terlarut yang melekat pada permukaan adsorben, sehingga menciptakan lapisan adsorbat pada permukaan adsorben (Khalili dkk., 2019). Komponen zat padatan tertentu yang mampu menarik partikel fluida pada suatu proses adsorpsi disebut dengan adsorben. Adsorben mempunyai sifat spesifik dan memiliki diameter pori yang luas. Pemilihan adsorben pada proses adsorpsi harus sesuai dengan karakter dan keadaan zat yang diadsorpsi. Adsorben yaitu komponen zat padat yang mampu menarik partikel tertentu melalui fase cair (Suarya, 2008). Selain karbon, dibutuhkan bahan lain yang dapat meningkatkan efektivitas karbon tersebut yaitu aktivator. Verayana dkk. (2018) melakukan penelitian mengenai pengaruh aktivator HCl dan  $H_3PO_4$  terhadap karakteristik arang aktif tempurung kelapa. Dimana pada penelitian tersebut didapatkan hasil karbon yang diaktivasi dengan HCl memiliki morfologi pori yang lebih besar dibandingkan dengan  $H_3PO_4$ . Selain itu, terdapat sebuah metode yang dapat memaksimalkan proses adsorpsi yaitu proses agitasi. Proses agitasi adalah proses pemberian gerakan tertentu pada suatu bahan di suatu wadah, seperti pengadukan.

Terdapat banyak jenis bahan yang dapat digunakan sebagai bahan dasar pembuatan karbon aktif, misalnya kayu, kulit buah-buahan ataupun tulang-tulangan. Namun, bahan-bahan tersebut memiliki beberapa kelemahan yaitu memiliki tingkat siklus ketersediaan yang cukup lama dan juga membutuhkan proses yang lebih lama untuk membuat bahan tersebut menjadi karbon aktif. Maka dari itu dibutuhkan adsorben yang sesuai dan memiliki ketersediaan yang lebih mudah diperoleh dan mudah diproses, misalnya yaitu *Gigantochloa apus kuzz* (bambu Apus) dan *gigantochloa vulgaris Schrad* (bambu Ampel). Karena bambu

apus dan bambu ampel banyak ditemukan di daerah manapun dari daerah kota hingga pelosok di Indonesia dan juga memiliki tingkat pertumbuhan yang cepat sehingga mudah untuk didapatkan kembali. Kedua jenis bambu ini biasa digunakan untuk membuat furniture seperti kursi, meja dan lainnya selain itu kedua jenis bambu ini dapat digunakan untuk membuat tangga serta juga sering digunakan sebagai bahan bangunan. Kandungan bambu Apus terdiri dari Selulosa (52,1%), lignin (24,9%), pentosan (19,3%), abu (2,75%) dan silika (0,37%). Dan Kandungan bambu ampel terdiri dari Selulosa (45,3%), lignin (25,6%), pentosan (20,4%), abu (3,09%) dan silika (1,78%). Sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa dari kandungan kedua jenis bambu tersebut dapat digunakan sebagai adsorben karena terkandung selulosa dan lignin yang cukup tinggi. Kelebihan lain dari penggunaan kedua jenis bambu tersebut sebagai adsorben adalah jumlahnya yang cukup banyak dan mudah dijumpai serta harganya yang relatif murah (Gusmailina dan Sumadiwangsa, 1988).

Maka dari itu, selain ketersediaan bambu ampel dan apus yang mudah ditemui, memiliki harga yang relatif murah dan dapat digunakan sebagai *furniture* seperti kursi, meja dan lainnya, bambu ampel dan bambu apus juga memiliki kandungan lignin dan selulosa yang cukup tinggi. Dimana menurut Hastuti dkk. (2015) menyatakan bahwa kadar karbon dipengaruhi oleh kadar selulosa dan lignin pada bahan baku yang terkonversi menjadi arang selama proses karbonisasi. Selain karbon dari arang bambu ampel dan bambu apus, dibutuhkan senyawa HCl yang berfungsi sebagai aktuator dimana HCl dapat membuka dan memperluas permukaan pori yang sebelumnya tertutup oleh kotoran dan senyawa organik. Sehingga, pada penelitian ini akan ditelaah tentang pengaruh waktu agitasi terhadap kualitas limbah cair medis menggunakan karbon aktif dari arang bambu apus dan bambu ampel dengan aktivator HCl dengan tujuan menemukan solusi alternatif dalam mengolah limbah cair medis.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah dipaparkan, rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh waktu agitasi terhadap kualitas limbah cair medis menggunakan karbon aktif dari arang bambu apus dan bambu ampel dengan aktivator HCl?

### 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang ditentukan pada penelitian ini difungsikan agar permasalahan tidak meluas. Berikut adalah batasan-batasan pada penelitian:

1. Bambu yang digunakan dianggap homogen
2. Kandungan limbah cair medis yang digunakan dianggap homogen.
3. Suhu dan waktu pembuatan arang tidak terkontrol.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk menemukan solusi alternatif dalam mengolah limbah cair medis sebelum dibuang ke badan air, sehingga tidak mencemari kualitas air dan membahayakan kehidupan lingkungan sekitar.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

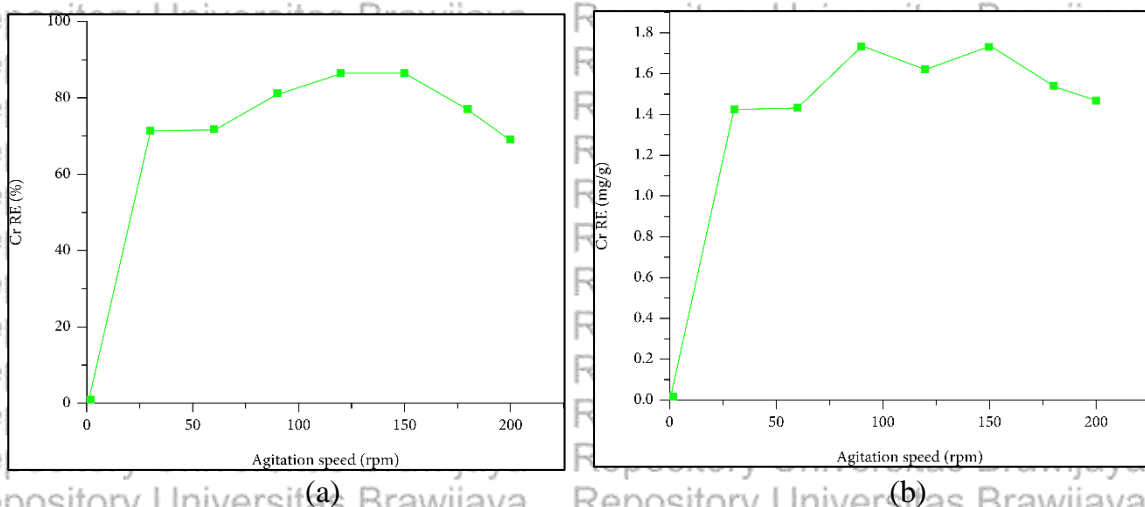
1. Menjadi salah satu referensi dalam penelitian yang mengembangkan teknologi pengolahan limbah cair medis dengan menggunakan karbon aktif sebagai adsorben.
2. Menambah ilmu serta wawasan pengetahuan mengenai pengolahan limbah medis menggunakan karbon aktif dalam rangka mengurangi pencemaran lingkungan.
3. Menambah ilmu dan wawasan pengetahuan mengenai pengolahan limbah medis dengan menggunakan karbon aktif.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

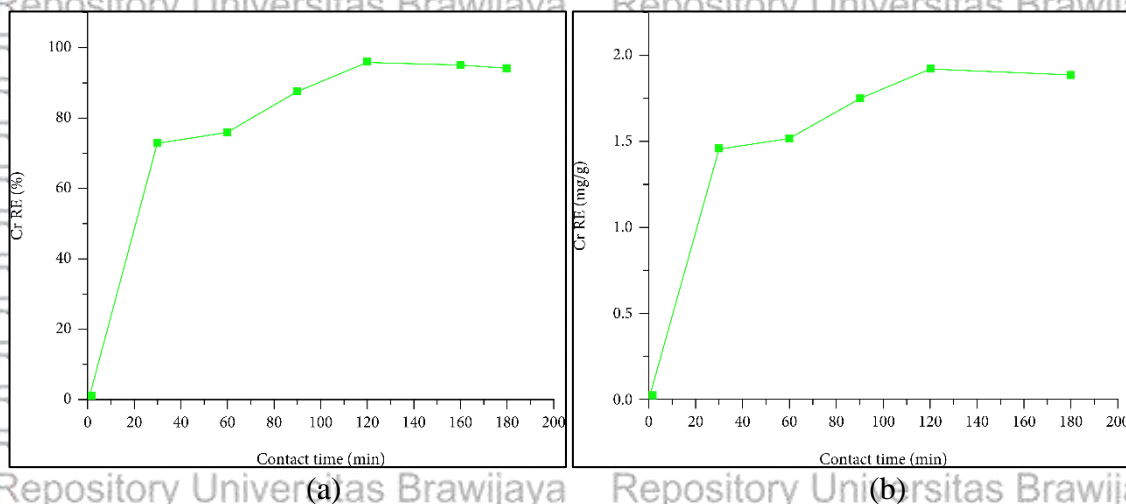
### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Aragaw dkk. (2022), dalam penelitiannya menelaah tentang adsorpsi kandungan chromium yang terdapat pada limbah electroplating dengan menggunakan ampas kopi sebagai karbon aktif. Pada penelitian ini terdapat variasi kadar adsorbent, kecepatan agitasi/adukan, waktu kontak dan pH dari karbon aktif dalam proses adsorpsi seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1 Pengaruh Kecepatan Agitasi terhadap Cr (a) % RE dan (b) Kapasitas Adsorpsi ( $\text{mgg}^{-1}$ )  
Sumber : Aragaw dkk. (2022)

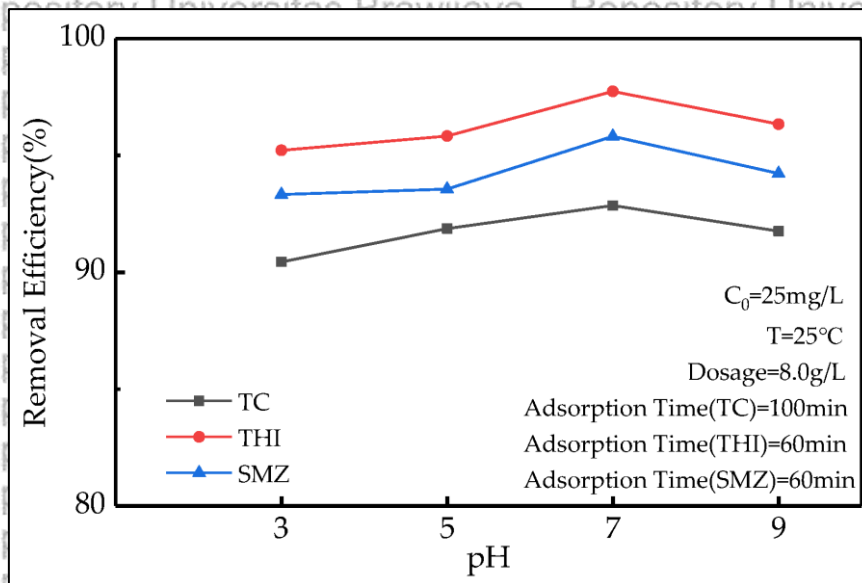
Pada penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan agitasi meningkatkan penghilangan Cr (Gambar 2.1 (a) dan (b)). Efisiensi adsorpsi meningkat dari 71,4% menjadi 86,523% ketika kecepatan agitasi ditingkatkan dari 30 menjadi 200 rpm (Gambar 2.1 (a)). Dan ketika kecepatan agitasi dinaikkan diatas 150 rpm maka efisiensi adsorpsi akan menurun.



Gambar 2.2 Pengaruh Waktu Kontak terhadap Cr (a) % RE dan (b) Kapasitas Adsorpsi ( $\text{mg g}^{-1}$ )  
Sumber : Aragaw dkk. (2022)

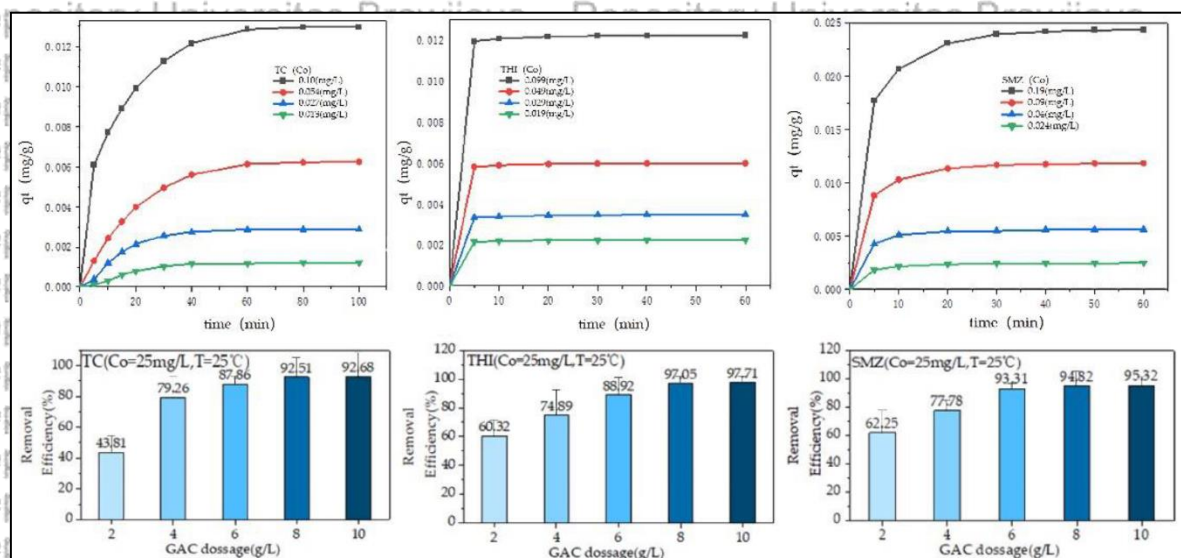
Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada waktu kontak awal, efisiensi adsorpsi Cr tinggi. Tapi kemudian, itu menunjukkan penurunan tingkat adsorpsi. Dalam penelitian ini, peningkatan waktu kontak meningkatkan efisiensi adsorpsi, tetapi seiring dengan peningkatan waktu kontak, efisiensi akan menurun berubah pada waktu kontak optimum 120 menit dengan efisiensi penyisihan 96,1% (Gambar 2.2 (a)). Ada penurunan konsentrasi Cr residual yang dapat diamati secara tertunda pada titik kesetimbangan setelah 120 menit waktu kontak. Jumlah logam Cr yang teradsorpsi pada adsorben berada dalam kesetimbangan dinamis dengan jumlah logam Cr yang terdesorpsi pada titik ini, dan kenaikannya menjadi stabil setelah itu. Gambar 2.2 (b) menunjukkan efisiensi adsorpsi massa sebesar  $1,92 \text{ mg g}^{-1}$  Cr setelah 120 menit waktu kontak.

Li dkk. (2022) menginvestigasi tentang adsorpsi *Toxic Tetracycline* (TC), *Thiamphenicol* (THI), dan *Sulfamethoxazole* (SMZ) dengan menggunakan batang jagung yang diolah menjadi karbon aktif granular. Pada penelitian ini, sejenis karbon aktif granular (GAC) yang digunakan untuk menghilangkan antibiotik dari sebuah larutan, di mana antibiotic yang digunakan yaitu *Toxic Tetracycline* (TC), *Thiamphenicol* (THI), dan *Sulfamethoxazole* (SMZ). Pada penelitian ini menguji tentang hubungan pH dan kapasitas adsorpsi serta pengaruh waktu kontak dan kadar karbon aktif granular terhadap kandungan antibiotik.



Gambar 2.3. Hubungan antara pH dan Kapasitas Adsorpsi  
Sumber : Li dkk. (2022)

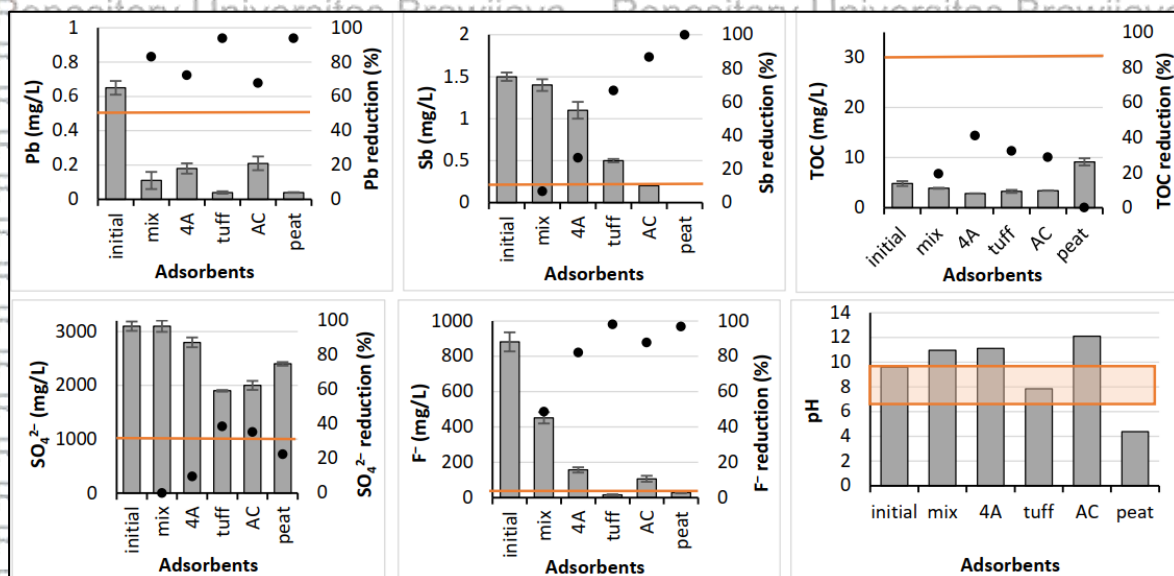
Hasil pengujian tersebut didapatkan bahwa Pada kondisi lingkungan 25°C, konsentrasi antibiotik 25 mg/L, kadar karbon aktif granular 8 g/L, waktu adsorpsi TC 100 menit, dan waktu adsorpsi THI dan SMZ 60 menit: ketika pH larutan adalah 7, pengaruh GAC terhadap TC, THI, dan SMZ efisiensi adsorpsi terbaik adalah 91,76%, 96,34%, dan 94,23%.



Gambar 2.4 Pengaruh Waktu Kontak dan Kadar Karbon Aktif Granular terhadap Ketiga Antibiotik  
Sumber : Li dkk. (2022)

Pada gambar 2.4 menunjukkan bahwa ketika kadar karbon aktif granular meningkat dari 2 menjadi 8 mg/g, semua kapasitas adsorpsi untuk ketiga antibiotik tersebut meningkat dan kemudian menurun dari 6 menjadi 10 mg/g.

Adapun sebuah penelitian tentang pengurangan ion timbal dan antimon dari limbah cair kaca kristal dengan menggunakan metode adsorpsi (Alenka dkk., 2021). Penelitian ini menggunakan lima adsorben, yaitu zeolit 4A, campuran tiga zeolit (4A, 13X, dan ZSM-5), zeolit alam (tuff), karbon aktif, dan gambut, serta potensi kemampuannya untuk menghilangkan ion berlebih dari timbal (Pb), antimon (Sb), sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), dan fluorida ( $\text{F}^-$ ) dari limbah cair yang dihasilkan dalam industri kaca kristal, yang sebelumnya diolah secara in-situ dengan flokulasi, dengan tujuan untuk mencapai nilai tertentu sesuai dengan undang-undang untuk dibuang ke aliran air atau kemungkinan daur ulang.



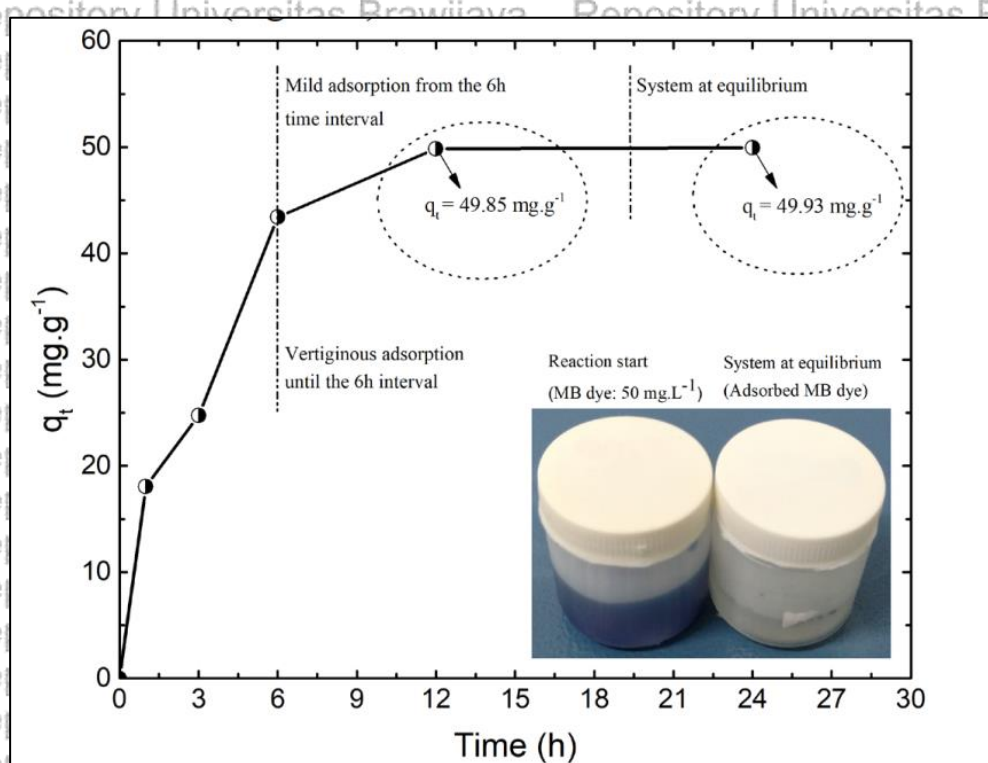
Gambar 2.5 Pengaruh Jenis Adsorben terhadap Reduksi Kadar Pb, Sb, TOC,  $\text{SO}_4^{2-}$  serta  $\text{F}^-$  dan tingkat keasaman (pH)

Sumber : Alenka dkk. (2021)

Pada penelitian ini didapatkan hasil bahwa tuff adalah adsorben yang paling cocok untuk reduksi Pb (93,8%) dan  $\text{F}^-$  (98,1%). Ini juga cukup menurunkan pH limbah cair dari 9,6 menjadi 7,8, meskipun kurang sesuai untuk pengurangan Sb (66,7%) dibandingkan dengan karbon aktif (96,7%) atau gambut (99,9%). Dengan mengatur pH limbah cair awal menjadi pH 5, kapasitas adsorpsinya semakin besar. Hasil dari percobaan kolom yang diisi tuff mengungkapkan pengurangan Pb hingga 97%, Sb hingga 80%, dan  $\text{F}^-$  hingga 96%, tergantung pada kecepatan aliran, dan dengan demikian dapat digunakan untuk pasca-pengolahan (dan daur ulang) limbah cair dari industri kaca kristal. Selain itu, sistem

menunjukkan kapasitas buffering yang jelas, tetapi pengurangan  $\text{SO}_4^{2-}$  yang dapat diabaikan.

Santana dkk. (2018) melakukan penelitian tentang penghilangan metilen biru dengan menggunakan karbon aktif dari bambu. Pada penelitian ini, karbon aktif diproduksi dari bambu melalui aktivasi fisika-kimia langsung secara simultan (dengan menggunakan asam fosfat dan uap air), pada suhu  $500^\circ\text{C}$  selama 1 jam, untuk mengetahui efektivitas adsorpsinya untuk pewarna metilen biru (MB). Karbon aktif yang dihasilkan menunjukkan nilai luas permukaan yang relatif tinggi sebesar  $1354,42 \text{ m}^2\cdot\text{g}^{-1}$ . Waktu kontak yang dibutuhkan MB untuk mencapai kesetimbangan adalah 12 jam. Kinerja adsorpsi lebih baik digambarkan oleh isoterm Langmuir, dimana kapasitas adsorpsi maksimum adalah  $374,75 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ . Pada penelitian ini adsorpsi pewarna vertiginous diamati sampai interval waktu 6 jam dan setelah periode ini adsorpsi lebih ringan. Waktu yang diperlukan untuk mencapai kesetimbangan adsorpsi adalah 12 jam ( $q_t = 49,85 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) dan jumlah pewarna yang diserap,  $q_t$ , meningkat dalam waktu kontak adsorbat/adsorben. Dalam waktu 24 jam setelah reaksi, AC telah menyerap hampir semua pewarna yang ada dalam larutan awal seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7.



Gambar 2.6 Pengaruh Waktu Kontak terhadap Konsentrasi pewarna MB ( $10 \text{ mg } 50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  larutan;  $q_t$  = jumlah zat warna yang terserap dalam waktu  $t$ ; pada suhu kamar)  
Sumber : Santana dkk. (2018)

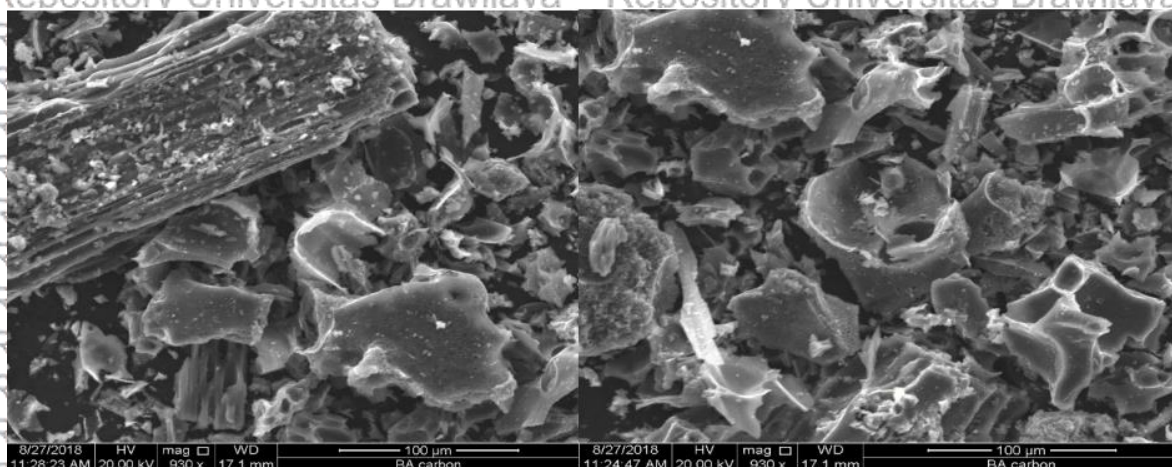
Dari penelitian tadi dapat diketahui bahwa  $H_3PO_4/H_2O$  karbon aktif dalam 3 jam, persentase penghilangan pewarna mencapai 50%, yang memungkinkan pengisian sisi aktifnya dengan cepat. Selain itu, dalam 12 jam waktu reaksi,  $H_3PO_4/H_2O$  karbon aktif telah menghilangkan hampir 100% pewarna.

Tabel 1. Persentase penyisihan pewarna biru metilen pada suhu kamar

Time (h)	Removal (%)
1	36.09
3	49.52
6	86.84
12	99.70
24	99.86

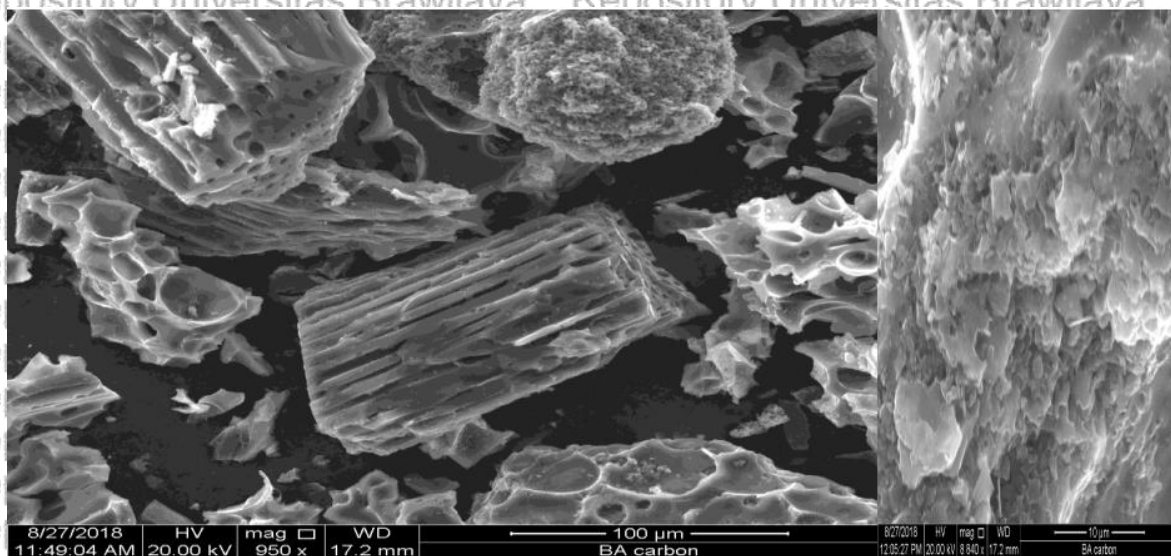
Sumber : Santana dkk. (2018)

Waji (2018) menginvestigasi tentang penghilangan kadar timbal pada larutan dengan menggunakan bambu sebagai karbon aktif. Pada penelitian tersebut, bambu dikarbonisasi dengan suhu  $500^{\circ}C$ ,  $600^{\circ}C$ , dan  $700^{\circ}C$  di dalam tungku Muffle selama 3 jam, kemudian karbon didinginkan selama 24 jam di dalam desikator. Kemudian, bambu diaktivasi dengan menggunakan senyawa KOH 0,1 M. Kemudian larutan timbal dengan 1000 mg/L dibuat dari 1000 ppm dibuat dengan melarutkan 1,5985 g timbal nitrat,  $Pb(NO_3)_2$  dalam air suling dan volume dibuat sampai tanda dalam labu ukur 1000 ml menggunakan air suling dan digunakan untuk menyiapkan larutan kerja dengan berbagai konsentrasi timbal awal dengan pengenceran serial. Penelitian ini membuktikan bahwa karbon aktif bambu dapat digunakan untuk menghilangkan kadar timbal ( $Pb^{2+}$ ) dengan ditunjukkan oleh pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) berikut :



Gambar 2.7 Hasil Uji SEM Karbon Aktif Bambu 950x Perbersaran (Sebelum Adsorpsi)

Sumber : Waji (2018)



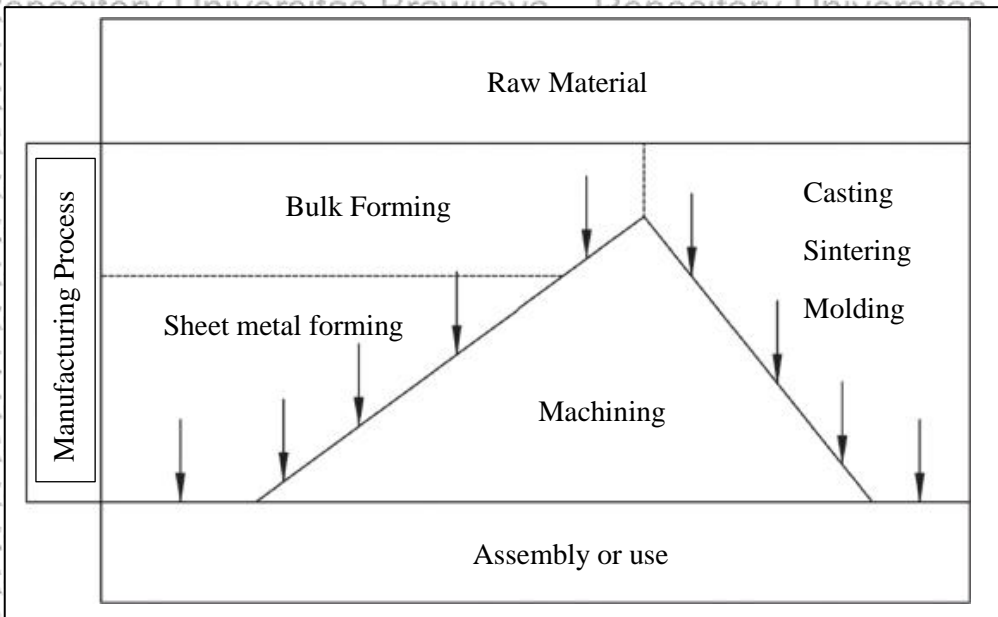
**Gambar 2.8** Hasil Uji SEM Karbon Aktif Bambu 950x Perbersaran (Setelah Adsorpsi)  
Sumber : Waji (2018)

Hasil uji SEM yang dilakukan pada penelitian tersebut menunjukkan perubahan pada beberapa bagian permukaan partikel dengan biosorben asli (karbon aktif bambu) yang menggambarkan bahwa ion  $Pb^{2+}$  telah terdeposisi sebagai agregat dalam biosorben dan masih memiliki sifat yang sangat berpori pada beberapa bagian permukaan penyerap, masih mendukung terjadinya akumulasi kontaminan pada pori.

## 2.2 Proses Manufaktur

Proses manufaktur adalah aktivitas untuk mengubah bahan tertentu menjadi produk dengan berbagai bentuk dan ukuran dan dengan atau tanpa mengubah sifat fisik dan mekanik dari bahan produk (Kaushish, 2010).

Proses manufaktur biasanya terdiri dari beberapa proses yaitu (a) desain produk, (b) pemilihan barang mentah untuk dijadikan produk, (c) memutuskan urutan proses yang akan diproduksi. Contoh proses manufaktur meliputi: pengecoran, pengelasan, pembengkokan, pembentukan, penggulangan dan perlakuan panas. Suatu proses manufaktur selalu dicapai dengan bantuan berbagai alat, peralatan dan perangkat lain atau alat bantu mekanis dan tenaga manusia.



Gambar 2.9 Proses Manufaktur  
Sumber: Abdel dkk. (2014 : 2)

Manufaktur merupakan kegiatan yang memerlukan berbagai sumber daya yang berbeda seperti bahan, alat, mesin, tenaga, dan manusia. Dengan demikian manufaktur mengimplementasikan banyak disiplin ilmu teknik dan manajemen. Manufaktur adalah sebuah sistem yang terdiri dari banyak elemen fisik dan manusia yang beragam.

Kegiatan manufaktur harus dapat mengikuti dan beradaptasi pada berbagai tuntutan dan harapan pasar, misalnya, (a) suatu produk harus memenuhi persyaratan desain spesifikasi dan standar yang tepat, (b) metode dan teknologi manufakturnya harus ramah lingkungan dan ekonomis, (c) kesadaran akan mutu harus dibangun atau diintegrasikan ke dalam produk pada setiap tahap manufaktur, dan (d) organisasi manufaktur harus terus-menerus mempertahankan tingkat kualitas dan produktivitas yang lebih tinggi, memanfaatkan sumber dayanya secara optimal seperti bahan, mesin, dan tenaga kerja. Teknologi untuk desain dan manufaktur harus dievaluasi dari waktu ke waktu mengingat bahan teknik baru, metode produksi, dan lain-lain.

### 2.3 Bambu

Bambu tumbuh secara alami di daerah tropis dan subtropis (Gratani dkk., 2008). Bambu adalah tanaman yang dapat tumbuh sangat cepat (Liu dkk., 2012), dengan pertumbuhan batang yang seragam 60 mm per hari (Bui dkk., 2017). Tanaman bambu akan dewasa dan siap digunakan dalam waktu 3-5 tahun (Mera dan Xu, 2014). Di Indonesia, bambu banyak



dibudidayakan di daerah Jawa, Bali, dan Sulawesi (Widjaja, 2001). Adapun kegunaannya yaitu sebagai obat-obatan (Kim dkk., 2014) makanan dan juga digunakan sebagai bahan baku pembuatan furnitur, bangunan (Kaminski dkk., 2016), peralatan rumah tangga, kerajinan tangan (Maulana dkk., 2017), dan alat musik (Kang dkk., 2017). Selain itu, bambu merupakan salah satu bahan baku alternatif yang paling menjanjikan untuk pembuatan panel komposit (Roh dkk., 2004). Namun bambu paling sering digunakan sebagai bahan bangunan di masyarakat pedesaan. Karena bambu mudah ditemui dan harganya yang relatif murah. Bambu tidak hanya sumber daya yang serbaguna untuk mata pencaharian masyarakat namun juga dapat mengurangi dampak dan adaptasi terhadap perubahan iklim (Wu dkk., 2015).

Bambu adalah tanaman yang termasuk suku *Poaceae* (rumput-rumputan). Bambu merupakan sumber daya yang sangat melimpah dan memiliki jenis yang beranekaragam. Di Indonesia diduga terdapat 157 jenis bambu. Jumlah ini merupakan lebih dari 10% jenis bambu dunia, 50% merupakan jenis bambu yang telah dimanfaatkan oleh penduduk dan sangat berpotensi untuk dikembangkan bagi ekonomi masyarakat, baik untuk keperluan sehari-hari, seperti pipa air, alat penangkap ikan maupun untuk membuat mebel yang dapat dijual (Mulyaningsih dkk., 2016).

Tanaman bambu umumnya berbentuk rumput. Namun, juga terdapat bambu yang tumbuh sebagai batang soliter. Tanaman bambu yang tumbuh di Indonesia merupakan tanaman bambu yang simpodial, yang berarti batangnya yang cenderung berkumpul dalam rumput karena percabangan rhyzomnya di dalam tanah yang berkumpul. Batang bambu yang lebih tua tumbuh di tengah rumput, sehingga merugikan pada proses penebangannya, arah pertumbuhan biasanya tegak, kadang-kadang memanjat dan batangnya berkayu. Jika sudah tinggi batang bambu ujungnya agak menjuntai dan daun-daunnya seakan melambai. Tanaman ini dapat mencapai umur panjang dan biasanya mati tanpa berbunga (Berlin dan Estu, 2005).

Bambu memiliki kekuatan mekanik yang terbilang cukup baik tergantung dari jenis bambunya dan juga memiliki kandungan kimia yang dapat dimanfaatkan. Terdapat kandungan kimia yang telah dianalisis menurut standar ASTM D 1102-1110-56 (ASTM, 1976) dan penetapan kadar selulosa menggunakan metode Norman & Jekins (Wise, 1944) dari 10 jenis bambu yang sering ditemui di daerah Jawa Timur yaitu kadar selulosa, lignin, pentosan, abu, silika, kelarutan dalam air dingin, air panas, alkohol benzene, dan sodium hidroksida. Sedangkan penetapan pentosan dilakukan dengan menggunakan metode gravimetri (Gusmailina & Sumadiwangsa, 1988).

Tabel 2.1 kandungan kimia 10 jenis bambu

No.	Jenis Bambu ( <i>Bamboo species</i> )	Selulosa %	Lignin %	Pentosan %	Abu %	Silika %	Kelarutan ( <i>Solubility in</i> ), %			
							Air dingin	Air Panas	Alkohol benzene (1:2)	NaOH 1%
1.	Bambu Madake	48,3	22,2	21,2	1,24	0,54	5,3	9,4	4,3	24,5
2.	Bambu Petung	52,9	24,8	18,8	2,63	0,20	4,5	6,1	0,9	22,2
3.	Bambu Apus	52,1	24,9	19,3	2,75	0,37	5,2	6,4	1,4	25,1
4.	Bambu Batu	52,2	26,6	19,2	3,77	1,09	4,6	5,3	2,5	23,1
5.	Bambu Peting	49,2	23,9	17,8	1,87	0,52	9,9	10,7	6,9	28,0
6.	Bambu Ampel	45,3	25,6	20,4	3,09	1,78	8,3	9,4	5,2	29,8
7.	Bambu Bambos	50,8	23,5	20,5	1,99	0,10	4,6	6,3	2,0	24,8
8.	Bambu Kyathung	53,8	20,8	17,7	1,83	0,32	4,9	6,9	1,9	22,4
9.	Bambu tinwa	48,7	19,8	17,5	2,51	0,51	9,8	11,8	6,7	29,3
10.	<i>Melocan na bambu soides</i>	42,4	24,7	21,5	2,19	0,33	7,3	9,7	4,0	28,4

Sumber: Gusmailina & Sumadiwangsa (1988 : 291)

Dari 10 kandungan kimia yang telah diteliti, selulosa dan lignin merupakan 2 kandungan kimia yang paling mempengaruhi pembentukan karbon. Menurut Pope (1999), bahan organik yang mengandung lignin, hemiselulosa, dan selulosa dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif karena sangat efektif mengadsorpsi limbah cair. Selain itu lignin dan selulosa sebagian besar tersusun dari unsur karbon yang pada umumnya dapat dijadikan karbon

### 2.3.1 Bambu Apus

Bambu apus (*Gigantochloa apus* (Schult.f.) Kurz) termasuk spesies bambu dengan rumpun simpodial, rapat, dan tegak. Masyarakat pedesaan, khususnya di pulau Jawa dan Bali, telah menanam bambu apus (Widjaja, 2001). Tujuan utama penanaman bambu apus adalah pengambilan batangnya yang dapat dimanfaatkan untuk kehidupan sehari-hari diantaranya sebagai bahan konstruksi bangunan (rumah dan jembatan), peralatan rumah

tingga, kerajinan mebel, atap rumah, dan alat musik tradisional (angklung) (Dransfield dan Widjaja, 1995).

Bambu apus memiliki ciri-ciri yaitu bambu simpodial berumbai terbuka. Batang tegak, tinggi 8-30 m, diameter 4-13 cm, dinding setebal 1,5 cm, hijau keabu-abuan sampai hijau terang atau kekuningan, gundul, mengkilat, tertutup lilin putih saat masih muda; panjang ruas 20-60 cm; kelenjar getah bening agak bengkak di bagian luar. Cabang-cabangnya hanya timbul dari bagian atas saja (Dransfield dan Widjaja 1995).

Komposisi kimia dari bambu apus yaitu holoselulosa 52,1-54,7%, pentosan 19,1-19,3%, lignin 24,8-25,8%, abu 2,7-2,9%, silika 1,8-5,2%; kelarutan dalam air dingin adalah 5,2%, dalam air panas 5,4-6,4%, dalam alkohol-benzena 1,4-3,2% dan dalam 1% NaOH 21,2-25,1%. Kandungan pati berfluktuasi antara 0,24-0,71%, tergantung musim. Nodus seringkali mengandung endapan asam silikat berwarna putih kebiruan (Dransfield dan Widjaja 1995).



Gambar 2.10 Bambu Apus  
Sumber : Wulandari dkk. (2022)

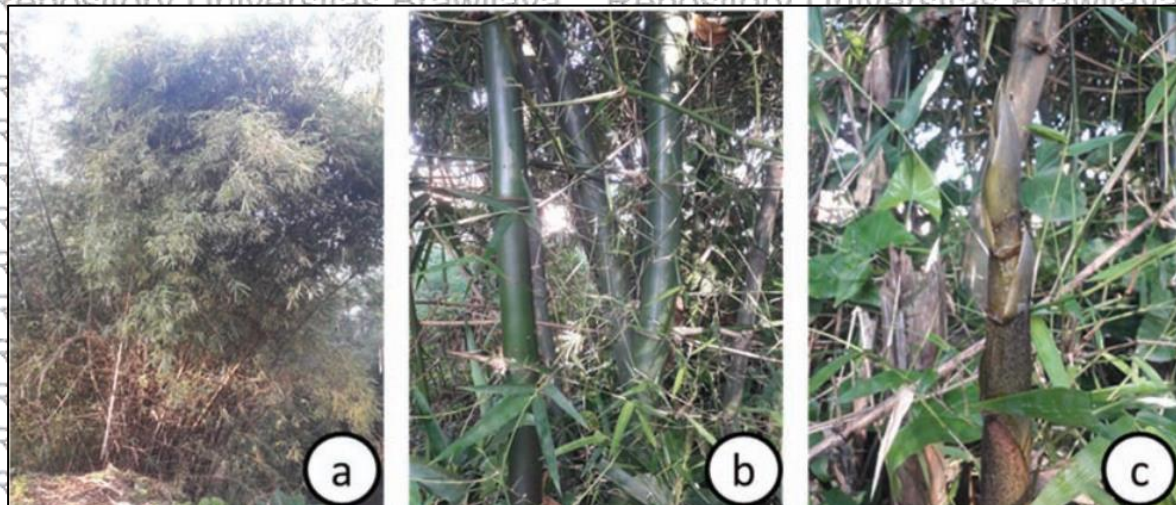
### 2.3.2 Bambu Ampel

Bambu ampel (*Bambusa Vulgaris*) merupakan jenis bambu yang mudah ditemui dan tumbuh dengan subur di Indonesia, khususnya di daerah Jawa. Bambu ampel dapat tumbuh di daerah yang sangat kering dan lembap serta dapat tumbuh di daerah yang tergenang air selama 2 sampai 3 bulan. (Widjaja, 2001). Bambu ampel memiliki banyak kegunaan, batangnya dapat digunakan sebagai tiang kemudi pada perahu, pagar dan penyangga. Bambu ampel jarang digunakan sebagai bahan untuk bangunan jangka Panjang karena sangat rentang terhadap serangan serangga namun jika tidak ada bambu lain yang tersedia untuk keperluan bangunan, batang bambu ampel dapat digunakan sebagai bahan konstruksi

sementara. Di daerah Irian Jaya (Indonesia) batangnya dimanfaatkan untuk membuat sisir tradisional dan pakaian seperti koteka. Rebusan rebung bambu ampel dapat digunakan sebagai obat hepatitis. Dan daunnya dapat digunakan sebagai pakan ternak (Dransfield dan Widjaja 1995).

Bambu ampel memiliki ciri-ciri yaitu batang yang tegak, berwarna hijau atau kuning bergaris hijau mengilap dengan percabangan horizontal di permukaan tanah. Rebung dengan ujung kekuningan sampai hijau. Memiliki batang yang dapat tumbuh hingga tingginya mencapai 30 m, diameter 5-10 cm, ruas panjangnya 20-40 cm. Pelepeh buluh berwarna hijau, mudah luruh, Bambu ampel di Indonesia terdiri dari tiga varietas, yaitu yang berbuluh hijau, berbuluh kuning dengan garis hijau dan berbuluh mengembung (widjaja, 2001).

Untuk bambu ampel yang mempunyai batang berwarna hijau dan kuning mempunyai komposisi kimia rata-rata berturut-turut yaitu holoselulosa 66,5% dan 63,6%, pentosan 21,1% dan 21,5%, lignin 26,9% dan 25,9%, abu 2,4% dan 3,0%, silika 1,5% dan 1,3 %; kelarutan dalam air panas 5,1% dan 3,9%, dalam alkohol-benzena 4,1% dan 3,7%, dalam NaOH 1% 27,9% dan 24,7% (Dransfield dan Widjaja 1995).



*Gambar 2.11* Bambu Ampel yang Tumbuh di Daerah Jawa Barat, Indonesia. (a) rumpun, (b) batang, dan (c) pucuk  
Sumber : Darwis dkk. (2018)

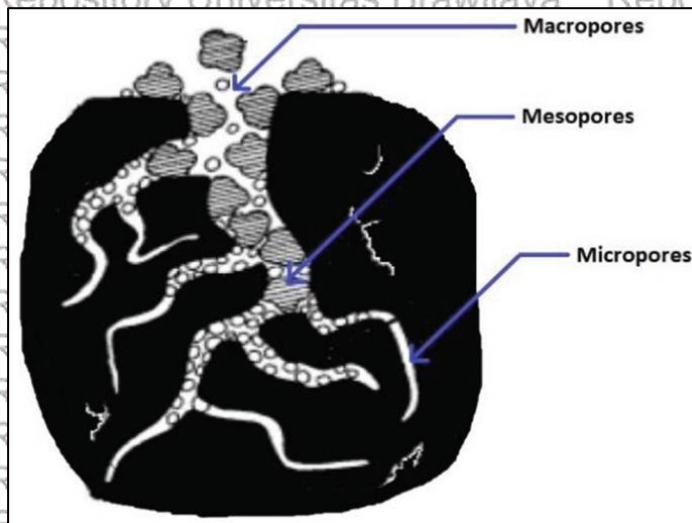
#### 2.4 Adsorpsi

Proses adsorpsi adalah fenomena permukaan di mana atom, ion atau molekul dari gas, cair atau padatan terlarut yang melekat pada permukaan adsorben, sehingga menciptakan lapisan adsorbat pada permukaan adsorben (Khalili dkk., 2019). Proses adsorpsi juga dapat didefinisikan sebagai penghilangan zat dari cairan atau gas oleh padatan yang memberikan

konsentrasi yang lebih tinggi dari molekul adsorbat yang dihilangkan pada permukaan adsorben ke dalam sebagian besar larutan seperti yang diilustrasikan pada gambar 2.12 (Mortada dkk., 2015). Proses adsorpsi diamati dalam berbagai sistem termasuk sistem kimia, fisik, alam dan biologi. Selain itu, proses adsorpsi banyak digunakan dalam aplikasi industri seperti katalis heterogen, arang aktif, pendingin adsorpsi, pemurnian air dan resin sintetis (Farghali dkk., 2013).

Mekansime terjadinya adsorpsi yaitu pada permukaan adsorben, atom permukaan luar tidak seluruhnya dikelilingi oleh atom adsorben lainnya sehingga dapat menarik molekul adsorbat. Proses terjadinya adsorpsi disebabkan oleh atom adsorben yang terletak di permukaan tidak berada dalam kondisi yang sama dengan yang terletak di sebagian besar larutan, di mana partikel pada permukaan tidak dikelilingi oleh partikel lain dari segala sisi. Hal ini mengakibatkan molekul permukaan memiliki energi lebih tinggi daripada yang ada di permukaan lainnya, oleh karena itu pada permukaan yang tidak dikelilingi oleh molekul lain memiliki kekuatan tarik sisa. Gaya tarik per satuan luas permukaan ini disebut energi permukaan untuk menyerap adsorbat pada permukaan adsorben. Efisiensi proses adsorpsi meningkat dengan bertambahnya luas permukaan adsorben per satuan massa pada tekanan dan suhu tertentu (Dąbrowski, 2001).

Proses adsorpsi dapat dibedakan menjadi 2 kategori berdasarkan gaya tarik-menarik antara adsorbat dan adsorben. Ketika partikel adsorbat menempel pada permukaan partikel adsorben akibat gaya tarik-menarik Van der Waal, maka proses adsorpsi tersebut dapat dikatakan sebagai adsorpsi fisika (*physisorption*). Dan Ketika partikel adsorbat menempel pada adsorben dengan gaya tarik-menarik yang kuat hingga terjadi ikatan kovalen atau ikatan ionic kimia, maka proses adsorpsi tersebut dikatakan sebagai adsorpsi kimia (*chemisorption*) (Dąbrowski, 2001).



Gambar 2.12 Skema Proses Adsorpsi  
Sumber: Pillai (2020)

#### 2.4.1 Adsorpsi Fisika (*physisorption*)

Adsorpsi fisika biasanya terjadi pada suhu rendah. Gaya yang menahan partikel adsorbat adalah gaya tarik universal Vander Waal yang tidak menunjukkan preferensi untuk adsorbat tertentu. Sifat adsorpsi jenis ini yaitu suhu adsorpsinya yang rendah sehingga tidak memerlukan energi aktivasi dan membentuk lapisan multimolekul dengan sifat reversibel. Adsorpsi fisika tergantung pada luas permukaan adsorben sehingga bahan dengan laju adsorpsi akan meningkat sebanding dengan meningkatnya luas permukaan adsorben. Karena gaya tarik yang lemah dari proses adsorpsi fisika, entalpi adsorpsi cukup rendah (20–40 kJ/mol) (Dąbrowski, 2001).

#### 2.4.2 Adsorpsi Kimia (*chemisorption*)

Proses adsorpsi kimia terjadi jika terbentuk ikatan kimia antara adsorben dan adsorbat seperti adsorpsi oksigen dan hidrogen dengan logam dengan membentuk oksida logam hidrida. Jenis adsorpsi kimia akan membentuk lapisan monomolekuler dengan spesifisitas tinggi dan terjadi pada temperatur tinggi sehingga membutuhkan energi aktivasi dan suhu adsorpsi yang tinggi. Proses adsorpsi kimia melibatkan pembentukan senyawa baru sehingga memiliki sifat ireversibel dan nilai entalpi yang tinggi (80–240 kJ/mol). Proses adsorpsi kimia sama seperti adsorpsi fisika yaitu bergantung pada luas permukaan adsorben dan temperatur adsorpsi, dimana laju adsorpsi akan meningkat sebanding dengan meningkatnya temperatur adsorpsi dan luas permukaan adsorben (Dąbrowski, 2001).

## 2.5 Adsorben

Adsorben merupakan material padat yang pada umumnya berpori, yang digunakan untuk menyerap molekul adsorbat dalam suatu proses adsorpsi. Adsorben yang baik harus memenuhi tiga syarat, yaitu mempunyai pori, rongga dan situs aktif. Menurut IUPAC, pori digolongkan menjadi tiga yaitu:

1. Mikropori (diameter kurang dari 2 nm)
2. Mesopori (diameter 2-50 nm)
3. Makropori (diameter lebih dari 50 nm)

Dari ketiga jenis pori tersebut, pori yang paling aktif berperan pada proses adsorpsi yaitu mikropori dan kadang-kadang mesopori, sementara makropori berfungsi sebagai jalan utama menuju bagian dalam padatan yang terdapat mesopori dan mikropori. Dimana apabila semakin banyak jumlah mikroporinya maka luas permukaan spesifik semakin tinggi sehingga pada adsorpsi fisika (*physisorption*) kemampuan adsorben dalam menyerap molekul adsorbat juga semakin tinggi. Sedangkan, pada adsorpsi kimia (*chemisorption*), keberadaan situs aktif pada permukaan adsorben lebih penting dibandingkan dengan tingginya luas permukaan spesifik. Dalam hal ini, pH sangat berpengaruh karena dapat mengubah muatan situs aktif di permukaan adsorben dan adsorbat di fase ruah (Astuti, 2018).

## 2.6 Karbon Aktif

Karbon aktif adalah senyawa karbon yang telah ditingkatkan daya adsorpsinya dengan melakukan proses karbonasi dan aktivasi. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan hidrogen, air dan gas-gas pada permukaan karbon aktif dan mengakibatkan perubahan fisiknya. Gugus aktif terbentuk karena adanya proses interaksi antara radikal bebas atom-atom oksigen dengan nitrogen pada permukaan karbon aktif. Kegunaan karbon aktif dalam filter adalah menyerap bau, mengurangi intensitas warna air, menyerap bau, menyerap logam dan bakteri (Noer dkk., 2014). Dimana karbon aktif pada penelitian ini berperan sebagai koagulan.

Karbon aktif dapat didefinisikan sebagai bahan karbon dengan struktur amorf dan luas permukaan internal yang besar dengan tingkat porositas yang tinggi. Karbon aktif memiliki bentuk karbon mikrokristalin<sup>0</sup> dan non-grafit. Bentuk non-grafit berarti terdiri dari sejumlah kecil hidrogen atau sejumlah besar oksigen dalam strukturnya. Karbon aktif memiliki kinerja tinggi dalam konduktivitas listrik, stabilitas termal yang baik, serta reaktivitas permukaan yang menjadi alasan utama karbon aktif digunakan dalam beberapa tahun terakhir. Karbon

aktif mengandung mikropori, mesopori, dan makropori dalam strukturnya. Struktur ini memiliki peran penting dalam menentukan kinerja karbon aktif sebagai adsorben (Yahya dkk., 2018)

Karbon aktif dikategorikan dalam karbon nongrafit karena memiliki kerapatan rendah dan struktur berpori. Karbon aktif dapat diproduksi dari bahan yang mengandung karbon salah satunya dari limbah pertanian seperti cangkang kelapa sawit, kulit buah, tempurung, bambu, akar, batang, kulit kayu, bunga, daun, kulit buah. Beberapa kriteria pemilihan bahan baku untuk membuat karbon aktif yaitu kandungan karbon tinggi, kandungan zat anorganik rendah agar hasil abu rendah, berlimpah sehingga biayanya rendah, tingkat degradasi rendah pada penyimpanan, dan kemungkinan menghasilkan karbon aktif dengan hasil persen tinggi (Yahya dkk., 2018).

Karbon aktif telah dikenal sebagai salah satu adsorben yang paling populer dan banyak digunakan dalam pengolahan air dan limbah cair di seluruh dunia. Sifat adsorptif spesifik arang adalah pertama kali ditemukan oleh Scheele pada tahun 1773 untuk perawatan gas diikuti dengan penghilangan warna pada air pada tahun 1786. Karbon aktif memiliki struktur berpori yang melimpah dan kapasitas adsorpsi yang kuat, banyak digunakan di berbagai industri, termasuk dalam pemisahan, penghilangan zat warna dan polutan dari limbah cair, dan pada proses penjernihan air (Bhatnagar dkk., 2013).

### **2.6.1 Proses Pembuatan Karbon Aktif**

Proses pembuatan karbon aktif terdiri dari 3 tahap yaitu tahap dehidrasi dengan tujuan untuk menghilangkan kadar air, tahap karbonisasi dengan tujuan untuk membebaskan unsur-unsur selain karbon seperti hidrogen dan oksigen dalam bentuk gas, dan tahap aktivasi.

Aktivasi adalah suatu perubahan fisika dimana luas permukaan karbon menjadi lebih besar karena hidrokarbon yang menyumbat pori-pori terbebaskan (Danarto dan Samun-T, 2008).

#### **1. Dehidrasi**

Dehidrasi adalah proses pengurangan/penghilangan air yang terkandung dalam bahan dasar pembuat karbon aktif, hal ini bertujuan untuk menyempurnakan proses karbonisasi yang biasanya diproses dengan cara menjemur bahan baku tersebut dibawah sinar matahari langsung atau mengeringkannya dalam oven sampai diperoleh berat yang diinginkan. (Dewi dkk., 2009).

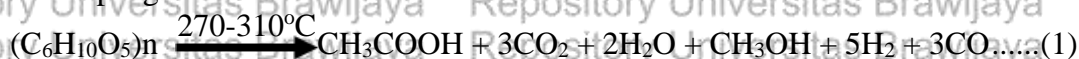
#### **2. karbonisasi**

Proses karbonisasi adalah proses pembakaran bahan organik yang ada didalam bahan dasar pembuat karbon. Proses ini akan memicu terjadinya dekomposisi material



organik dalam bahan baku dan akan mengeluarkan zat-zat pengotor dalam bahan baku. Unsur-unsur non karbon sebagian besar akan hilang pada tahapan tersebut. Pengeluaran unsur yang mudah menguap ini menyebabkan terbentuknya pori-pori atau mulai terbukanya pori. Seiring dengan proses ini maka akan terjadi perubahan struktur pori (Shofa, 2012). Penguraian bahan-bahan organik yang terkandung di dalam material mentah karbon ini terjadi pada proses karbonisasi. Proses ini mempunyai beberapa tahapan proses. Pada awalnya, terjadi proses penguapan air pada suhu 100-120°C, kemudian terjadi proses penguraian selulosa menjadi larutan piroglinat gas kayu dan sedikit tar pada suhu 270-310°C, setelah itu terjadi proses penguraian lignin sehingga dihasilkan lebih banyak tar sedangkan larutan piroglinat dan gas CO<sub>2</sub> menurun. Kemudian gas CH<sub>4</sub>, CO dan H<sub>2</sub> meningkat pada suhu 310-500°C, tahap pemurnian arang atau peningkatan kadar karbon terjadi pada suhu 500-1000°C (Maryono dkk., 2013). Menurut Maryono dkk. (2013) reaksi yang terjadi pada proses karbonisasi yaitu :

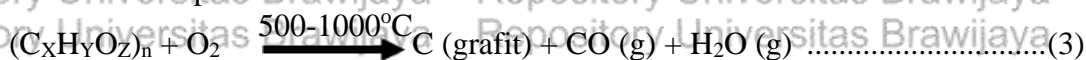
a. Reaksi penguraian selulosa



b. Reaksi penguraian lignin



c. Reaksi umum pembentukan karbon



### 3. Aktivasi

#### • Aktivasi Kimia

Aktivasi kimia dapat diartikan sebagai proses pemutusan rantai karbon pada senyawa organik dengan bantuan bahan-bahan kimia. Pada proses aktivasi kimia ini sangat dimungkinkan diperoleh luas permukaan yang sangat tinggi, hal ini adalah salah satu keunggulan aktivasi kimia (Anggraeni dan Yuliana, 2015).

Bahan dasar yang mengandung lignoselulosa umumnya menggunakan aktivasi kimia. Pada proses aktivasi kimia, karbon hasil pembakaran dicampur dengan larutan kimia yang berperan sebagai activating agent. Senyawa aktivator tersebut biasanya berasal dari logam alkali dan alkali tanah serta zat asam seperti KOH, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, ZnCl<sub>2</sub>, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, dan NaOH (Shofa, 2012).

Setelah proses pencampuran, biasanya dilanjutkan dengan proses pengeringan dan pemanasan. Pada proses ini unsur-unsur mineral aktivator masuk di antara sela-sela dari

struktur kristal heksagon karbon dan membuka permukaan yang mula-mula tertutup. Pada saat proses pemanasan dilakukan, senyawa kontaminan yang berada dalam pori-pori menjadi lebih muda terlepas. Proses pelepasan ini akan semakin mengaktifkan karbon dengan meningkatkan daya serap karbon aktif dan memperlebar luas permukaan (Dewi dkk., 2009).

Adapun beberapa hasil penelitian pembuatan arang aktif menggunakan proses aktivasi kimia adalah seperti pada penelitian Siti dkk (2016) menggunakan larutan  $H_2SO_4$  sebagai *activating agent*. Pemilihan asam sulfat dikarenakan asam sulfat memiliki sifat kimia yang lebih stabil dan lebih mudah didapatkan daripada *activating agent* yang lain. (Jamilatun dkk., 2016).

- Aktivasi Fisika

Aktivasi fisika dapat didefinisikan sebagai proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan bantuan uap, panas dan  $CO_2$ . Proses aktivasi dengan cara fisika dapat dilaksanakan dengan menggunakan gas nitrogen, gas oksigen, gas karbon dioksida, dan air. Gas-gas tersebut berguna untuk memperbesar struktur rongga yang terdapat pada arang sehingga dapat meningkatkan luas permukaan arang/karbon. Sedangkan panas akan berfungsi untuk menghilangkan zat-zat pengotor yang mudah menguap dan membuang hidrokarbon-pengotor pada arang (Anggraeni dan Yuliana, 2015)

Pada aktivasi dengan cara aktivasi fisika, diawali dengan memanaskan karbon pada suhu sekitar  $800 - 1000^\circ C$  kemudian karbon tersebut dialiri oleh gas pengoksidasi seperti oksigen,  $CO_2$ , atau uap air. Gas-gas tersebut akan bereaksi dengan karbon dan melepaskan karbon monoksida dan hidrogen. Pada waktu tersebut, senyawa-senyawa produk samping akan terlepas sehingga akan memperlebar pori dan meningkatkan daya adsorpsi.

Pada metode aktivasi fisika, massa karbon juga mengalami pengurangan karena adanya perubahan struktur karbon. Salah satu kekurangan proses fisika ini adalah pada saat terjadi kelebihan oksidasi eksternal sewaktu gas pengoksidasi berdifusi pada karbon sehingga terjadi pengurangan ukuran adsorben (Shofa, 2012). Shofa (2012) juga menyatakan bahwa proses tersebut sulit dikontrol sehingga perlu diwaspadai.

## 2.7 Aktivator

Aktivator adalah suatu zat atau senyawa kimia yang digunakan sebagai pengaktif dan zat ini akan mengaktifkan atom-atom karbon sehingga dapat meningkatkan daya serapnya menjadi lebih baik. Zat aktivator bersifat mengikat air yang menyebabkan air yang terikat kuat pada pori-pori karbon yang tidak hilang pada saat karbonisasi dapat menjadi terlepas dari permukaan karbon. Zat aktivator tersebut akan memasuki celah pori-pori dan membuka

permukaan karbon yang tertutup, dengan demikian pada saat dilakukan proses pemanasan senyawa pengotor yang berada dalam pori menjadi lebih mudah terserap sehingga luas permukaan karbon aktif semakin besar dan meningkatkan daya serapnya (Idrus, 2013).

Salah satu aktivator yang dapat digunakan yaitu Hidrogen klorida (HCl) adalah larutan akuatik yang merupakan asam kuat, dan terbuat dari atom hidrogen dan klorin. HCl bersifat korosif, yang berarti akan merusak dan mengikis jaringan biologis bila tersentuh. Penggunaan aktivator HCl ini didasarkan atas hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Nailasa dkk. (2013), dimana ia melakukan penelitian mengenai pemanfaatan arang aktif biji kapuk sebagai adsorben limbah cair tahu. Penelitian ini telah membuktikan bahwa aktivator asam klorida merupakan salah satu aktivator yang baik karena bersifat efektif dalam menghasilkan karbon aktif dengan daya serap yang tinggi setelah diaktivasi sebesar 0.48%, kadar abu 5.0%, dan luas permukaan 23.711 m<sup>2</sup>/gr.

Tabel 2.2 Sifat Fisik Asam Klorida (HCl)

Parameter	Nilai
Berat Molekul, gr/mol	36,46
Densitas, gr/ml	1,19
Titik didih (1 atm), °C	50,5
Titik Lebur (1 atm), °C	25
Tekanan uap pada 20°C, Kpa	16

Sumber : Perry's *Chemical Engineer's Handbook* (2007)

## 2.8 Agitasi

Agitasi adalah pemberian gerakan tertentu sehingga menimbulkan gerakan pada bahan, biasanya agitasi terjadi pada suatu tempat seperti bejana ataupun wadah tertentu. Gerakan yang dihasilkan oleh agitasi mempunyai pola sirkulasi. Akibat yang ditimbulkan dari proses agitasi/pengadukan adalah terjadinya pencampuran (*mixing*) dari satu atau lebih komponen yang teraduk (Buku Petunjuk Praktikum Satuan Operasi, 2004). Tujuan dari proses agitasi yaitu untuk memaksimalkan tingkat adsorpsi pada proses pengolahan limbah cair medis dengan menggunakan karbon aktif yang berbahan dasar dari bambu ampel dan bambu apus.

## 2.9 Limbah Medis

Kegiatan medis akan banyak sekali menghasilkan limbah medis, dimana sebagian besar limbah medis dapat membahayakan siapa saja yang kontak dengannya. Oleh karena itu, perlu adanya pengelolaan tertentu dalam pembuangannya (Depkes RI, 2002).

Menurut Amrullah (2019), Limbah medis dapat didefinisikan sebagai seluruh bahan limbah yang dihasilkan di sarana pelayanan kesehatan yaitu: rumah sakit, klinik, praktek gigi, serta rumah sakit hewan dan juga sarana penelitian medis laboratorium. Berdasarkan bentuknya, limbah yang dihasilkan dari kegiatan medis dapat terbagi menjadi beberapa bentuk, yaitu berbentuk padat, gas ataupun cair (Kemenkes RI, 2022),

### 2.9.1 Limbah Padat

Limbah padat adalah semua limbah yang berbentuk padat sebagai akibat kegiatan yang berhubungan dengan kesehatan yang terdiri dari limbah padat medis dan non-medis (Depkes RI, 2002).

#### a. Limbah Padat Medis

Limbah medis padat adalah limbah padat yang terdiri dari limbah infeksius, limbah patologi, limbah benda tajam, limbah farmasi, limbah sitoksis, limbah kimiawi, limbah radioaktif, limbah kontainer bertekanan, dan limbah dengan kandungan logam berat tinggi (Kemenkes RI, 2022).

#### b. Limbah Padat Non Medis

Limbah non medis berasal dari kegiatan dapur seperti sisa makanan dan minuman, bungkus kemasan, dan limbah perkantoran yang biasanya dalam bentuk kertas, kardus dan plastik serta limbah dari kegiatan pemeliharaan taman dan halaman yang berupa potongan batang pohon, ranting dan dedaunan (Adhani, 2018).

### 2.9.2 Limbah Gas Medis

Limbah gas adalah semua limbah yang berbentuk gas yang berasal dari kegiatan pembakaran seperti insinerator, dapur, perlengkapan generator, anestesi, dan pembuatan obat sitotoksik (Kemenkes RI, 2022). Yang dimana, Insinerator merupakan tungku pembakaran untuk mengolah limbah padat dengan mengkonversi materi padat (sampah) menjadi materi gas, dan abu, (*bottom ash* dan *fly ash*). Insinerasi merupakan proses pengolahan limbah padat dengan cara pembakaran pada temperatur lebih dari 800°C untuk mereduksi sampah mudah terbakar (*combustible*) yang sudah tidak dapat didaur ulang lagi dengan tujuan membunuh bakteri, virus, dan kimia toksik (Latief, 2010).

### 2.9.3 Limbah Cair Medis

Menurut kementerian Kesehatan (2022), limbah cair medis merupakan semua buangan hasil kegiatan medis seperti air termasuk tinja yang kemungkinan mengandung

mikroorganisme, bahan kimia beracun, dan radiaktif yang berbahaya bagi kesehatan. Limbah cair medis juga dapat diartikan sebagai seluruh buangan cair yang berasal dari hasil proses seluruh kegiatan medis, yang meliputi : limbah cair domestik, yakni buangan dari fasilitas kesehatan yang kemungkinan mengandung mikroorganisme, bahan kimia beracun dan radioaktif (Said, 1999).

Limbah cair medis yang pada umumnya dapat membahayakan kesehatan masyarakat, yaitu limbah berupa virus dan kuman yang berasal dan Laboratorium Virologi dan Mikrobiologi dan sulit untuk dideteksi. Limbah cair dan limbah padat yang berasal dari rumah sakit dapat berfungsi sebagai media penyebaran gangguan atau penyakit bagi para petugas, penderita maupun masyarakat (Arifin, 2009). Gangguan tersebut bisa berupa pencemaran udara, pencemaran air, tanah, pencemaran makanan dan minuman.

Limbah cair medis berasal dari pencucian peralatan laboratorium dan bahan buangan hasil pemeriksaan darah dan lain-lain. Limbah cair medis ini umumnya banyak mengandung berbagai senyawa kimia sebagai bahan pereaksi sewaktu pemeriksaan contoh darah dan bahan lain. Limbah cair laboratorium mengandung bahan antiseptik dan antibiotik sehingga bersifat toksik terhadap mikroorganisme, juga mengandung logam berat. Apabila limbah cair tersebut dialirkan ke dalam poses pengolahan secara biologis, logam berat tersebut dapat mengganggu proses kerja dari pengolahan secara biologis, oleh karena itu untuk limbah cair yang berasal dari laboratorium diolah tersendiri secara fisika dan kimia, selanjutnya hasil olahannya dialirkan bersama limbah lainnya (Djohan dan Halim, 2014).

#### **2.9.4 Kualitas Limbah Cair Medis**

Kualitas limbah cair medis menunjukkan spesifikasi limbah yang diukur dari kandungan pencemarnya. Limbah cair yang dihasilkan dari kegiatan fasilitas Kesehatan berbeda satu dengan yang lainnya, masing-masing memiliki karakteristik tersendiri pula. Kualitas limbah cair medis dapat diketahui berdasarkan karakteristik limbah cair tersebut. Karakteristik limbah cair dapat diketahui menurut sifat dan karakteristik fisika, kimia, dan biologi. Studi karkteristik limbah perlu dilakukan agar dapat dipahami sifat-sifat tersebut dan sejauh mana tingkat pencemaran dapat ditimbulkan limbah terhadap lingkungan (Ginting dkk., 2007). Adapun ketentuan mengenai kualitas limbah cair yang diatur dalam peraturan menteri lingkungan hidup nomor 5 tahun 2014 tentang baku mutu air limbah :

Tabel 2.3 Baku Mutu Limbah Cair

Parameter	Konsentrasi Paling Tinggi	
	Nilai	Satuan
Zat Padat Terlarut	2000	mg/L
pH	6-9	-

Sumber : Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah

## 2.10 Pengolahan Limbah Cair Medis

Proses pengolahan limbah cair medis merupakan proses menghilangkan zat-zat berbahaya yang terdapat pada limbah cair medis dengan tujuan mengurangi. Pengolahan limbah cair medis bertujuan agar pada saat pembuangan limbah akhir, limbah cair tersebut sudah aman dan tidak mengandung zat berbahaya bagi lingkungan dan kehidupan sekitarnya. Limbah cair medis mengandung mikroorganisme patogen, bahan beracun, dan radio aktif serta darah yang berbahaya bagi kesehatan.

Oleh karena itu, harus dilakukannya pengolahan. Terdapat beberapa cara dalam mengelola limbah medis, salah satu metode yang dapat digunakan yaitu dengan menggunakan metode adsorpsi. Metode ini memanfaatkan bahan-bahan yang terdapat di alam yang kemudian diproses menjadi adsorben.

Metode adsorpsi memiliki beberapa keunggulan diantaranya adalah pengolahannya yang relatif sederhana, efisiensinya yang relatif tinggi, dan efektif, serta tidak memberikan dampak dan limbah yang buruk terhadap lingkungan (Hossain dkk., 2012). Pada proses adsorpsi menggunakan adsorben dari bahan alami. Hal ini terbukti dengan adanya beberapa penelitian terdahulu, seperti menggunakan kulit pisang (Vilardi dkk., 2017), jerami (Firdaus dkk., 2018), kacang kola (Chekwube dan Onukwuli, 2020), kitosan dan kulit udang (Pratiwi and Prinajati, 2018). Beberapa adsorben alami yang telah dieksperimen dan diteliti sebelumnya mempunyai kemampuan mengadsorpsi logam berat. Salah satunya penelitian menggunakan kulit pisang dan jeruk sebagai adsorben untuk menghilangkan  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{CO}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ , dan  $\text{Pb}^{2+}$  dari air (Annadural dkk., 2003)

## 2.11 Keasaman Air atau *Potential Hydrogen* (pH)

pH adalah jumlah konsentrasi ion Hidrogen ( $\text{H}^+$ ) pada larutan yang menyatakan tingkat keasaman dan kebasaan yang dimiliki. pH merupakan besaran fisis dan diukur pada skala 0 sampai 14 (Astria, 2014). Bila  $\text{pH} < 7$  larutan bersifat asam,  $\text{pH} > 7$  larutan bersifat basa dan

pH = 7 larutan bersifat netral (Ihsanto, 2014). Pengukuran pH biasanya dilakukan dengan menggunakan pH meter.

pH adalah parameter terukur dan perangkat elektronik yang digunakan untuk mengukur pH cair (atau dalam kasus khusus senyawa semi padat) disebut pH meter. Komponen yang paling penting dari pH meter adalah probe (elektroda kaca atau untuk aplikasi khusus menggunakan *Ion Selective Field-Effect* (ISFET)), yang terhubung ke sebuah alat yang mengukur dan menampilkan pembacaan pH. Semua pH meter dikalibrasi terhadap larutan buffer dengan aktivitas ion hydrogen yang diketahui. Penggunaan satu set larutan penyangga (standar operasional pH) telah diusulkan oleh IUPAC (*The Encyclopedia of Food and Health*, 2016).

Prinsip kerja utama pH meter adalah dengan menggunakan 2 Elektroda kombinasi yaitu elektroda bola kaca/elektroda pH dan elektroda referensi. Elektroda pH menghasilkan potensial listrik yang sebanding dengan konsentrasi ion hidrogen dalam larutan sampel, sedangkan elektroda referensi menghasilkan potensial listrik yang konstan. Elektroda bersama-sama membentuk rangkaian listrik lengkap. Sehingga, ketika difusi ion hidrogen melintasi membran bola kaca hingga mencapai kesetimbangan, maka tidak ada arus listrik yang mengalir, dan perbedaan potensial listrik inilah yang menentukan pH suatu larutan (U.S. Geological Survey, 2021).

## 2.12 Total Padatan Terlarut atau TDS (*Total Dissolved Solids*)

Total Padatan Terlarut atau Total Dissolved Solids (TDS) adalah terlarutnya zat padat, baik berupa ion, berupa senyawa, koloid di dalam air (Nicola, 2015). TDS biasanya disebabkan oleh bahan anorganik yang berupa ion-ion yang biasa ditemukan di perairan (Effendi, 2003). Menurut Slamet (1994), bila total zat padat terlarut bertambah maka kesadahan pada perairan akan naik pula.

Pengukuran TDS dilakukan dengan menggunakan TDS meter. TDS meter menggunakan prinsip kerja dua elektroda yang terpisah untuk mengukur nilai konduktivitas listrik dari cairan sampel (McCleskey, 2011). Sifat elektrolit atau kandungan partikel ion dari suatu cairan akan mempengaruhi hasil pengukuran konduktivitas listrik pada sensor TDS. Sedangkan untuk sensor tingkat kekeruhan air memanfaatkan perubahan intensitas cahaya yang ditransmisikan melewati sampel dari sumber cahaya. Sensor ini bekerja menggunakan prinsip kerja *light dependent resistor* (LDR) yang sangat sensitif terhadap cahaya.

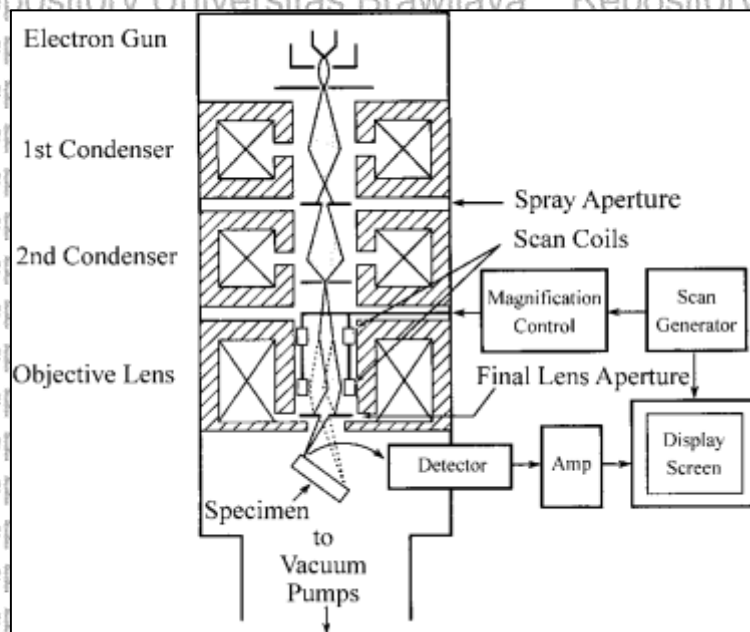
### 2.13 Scanning Electron Microscopy dan Energy Dispersive X – Ray Spectroscopy

Scanning Electron Microscopy (SEM) adalah jenis mikroskop elektron yang paling banyak digunakan. SEM dapat menguji struktur mikroskopis dengan memindai permukaan spesimen. Gambar SEM dibentuk oleh berkas elektron terfokus yang memindai area permukaan specimen. SEM dapat menampilkan gambar tiga dimensi karena memiliki depth of field yang besar. Selain itu, SEM juga memungkinkan kita untuk memperoleh informasi kimiawi dari suatu spesimen. (Leng, 2008).

Tembakan electron melewati beberapa lensa elektromagnetik, termasuk lensa kondensor dan satu lensa objektif, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.16. Lensa elektromagnetik dalam SEM adalah untuk pembentukan probe elektron, bukan untuk pembentukan gambar secara langsung. Kedua lensa kondensor mengurangi diameter persilangan berkas elektron; kemudian, lensa objektif memfokuskan berkas elektron sebagai probe dengan diameter pada skala nanometer. Lensa objektif harus dianggap sebagai lensa kondensor ketiga dalam SEM karena fungsinya lebih seperti kondensor daripada lensa objektif. Alasannya adalah bahwa lensa objektif dalam SEM mendemagnifikasi penampang berkas elektron. Sistem lensa SEM mendemagnifikasi berkas elektron sekitar  $10.000\times$  untuk sumber termionik dan  $10-100\times$  untuk sumber emisi lapangan (Leng, 2008).

Pemindaian dioperasikan oleh sistem defleksi sinar yang tergabung dalam lensa objektif dalam SEM. Sistem defleksi menggerakkan probe di atas permukaan spesimen sepanjang garis dan kemudian memindahkan probe ke posisi di baris berikutnya untuk pemindaian, sehingga raster persegi panjang dihasilkan pada permukaan spesimen. Elektron sinyal yang dipancarkan dari spesimen dikumpulkan oleh detektor, diperkuat, dan digunakan untuk merekonstruksi gambar, menurut korelasi satu-ke-satu antara titik pemindaian pada spesimen dan titik gambar pada layar tabung sinar katoda (CRT) atau layar kristal cair. Sistem defleksi probe elektron dikendalikan oleh dua pasang kumparan elektromagnetik (kumparan pindai). Sepasang gulungan pertama membelokkan sinar dari sumbu optik mikroskop. Pasangan gulungan kedua menekuk balok kembali ke sumbu pada titik pivot pemindaian (Leng, 2008).





Gambar 2.16 Skema dari *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Sumber: Leng (2008 : 122)

Perbesaran SEM ditentukan oleh rasio ukuran linier layar tampilan dengan ukuran linier area spesimen yang dipindai. Ukuran area persegi panjang yang dipindai (raster) dapat bervariasi dalam rentang yang sangat luas. Dengan demikian, SEM mampu memberikan perbesaran gambar dari sekitar 20x hingga lebih besar dari 100.000x. Untuk pencitraan perbesaran rendah, Resolusi SEM dikendalikan oleh ukuran probe elektron yang memindai spesimen. Mengingat bahwa batas pembesaran efektif ditentukan oleh resolusi mikroskop, untuk ukuran probe 10 nm, sistem SEM dapat menghasilkan pembesaran efektif 20.000x (Leng, 2008).

*Energy Dispersive Spectroscopy* adalah fitur tambahan dalam pengujian SEM yaitu yang berfungsi untuk mengidentifikasi kandungan dari unsur-unsur kimia. Analisis pada EDS merupakan fitur yang terintegrasi dengan SEM. Apabila EDS dan SEM digabungkan menjadi satu, maka dapat dilakukan identifikasi unsur-unsur yang dimiliki oleh fasa pada struktur mikro. Prinsip kerja dari EDS sendiri adalah menangkap dan mengolah sinyal fluoresensi sinar-x yang keluar apabila berkas elektron mengenai suatu daerah tertentu pada spesimen. Sinar-x dapat dideteksi dengan detektor zat padat yang menghasilkan nilai intensitas sebanding dengan panjang gelombang sinar-X (Sujarwata, 2015).

EDS sering digunakan oleh para peneliti dikarenakan EDS sendiri dihasilkan dari karakteristik sinar-X dimana dilakukannya penembakan sinar X pada suatu titik pada

spesimen yang diuji dan dengan adanya fitur diatas EDS dirasa mampu untuk mengidentifikasi atom-atom apa saja yang terdapat pada permukaan suatu material. Melalui penggunaan EDS, dapat dibuat pemetaan elemen dengan adanya perbedaan warna pada setiap elemen di permukaan bahan. EDS dapat digunakan untuk analisis secara kualitatif dari persentase masing-masing elemen. EDS dilengkapi dengan detektor dispersi sehingga dapat digunakan untuk mengetahui komposisi elemen pada sampel yang di analisis (Sujarwata, 2015)

## 2.14 Hipotesis

Berdasarkan tinjauan pustaka, dapat disimpulkan bahwa peningkatan waktu agitasi akan meningkatkan efisiensi adsorpsi, namun seiring dengan peningkatan waktu agitasi, efisiensi adsorpsi akan menurun pada waktu agitasi optimum tertentu. Dan peningkatan pH akan meningkatkan kapasitas adsorpsi hingga waktu optimum lalu akan terjadi penurunan kapasitas adsorpsi. Serta, terjadi perubahan ukuran pori pada permukaan partikel karbon aktif setelah terjadinya adsorpsi. Perubahan pori pada permukaan partikel karbon aktif setelah adsorpsi terjadi karena ion-ion pada limbah cair medis telah terdeposisi sebagai agregat dan melekat pada pori biosorbent. Sehingga berdasarkan kesimpulan tersebut, hipotesis pada penelitian ini yaitu semakin lama waktu agitasi pada proses pengolahan maka kualitas limbah cair medis akan semakin meningkat.

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental. Metode eksperimental dilakukan dengan membuat karbon aktif dari arang bambu Apus dan bambu Ampel yang diaktivasi dengan senyawa HCl 0,1M. Kemudian dilakukan pengolahan limbah cair dengan cara mencampur dan mengaduk karbon aktif dengan limbah cair medis. Metode yang dipilih ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi waktu adsorpsi terhadap kualitas limbah cair medis pada proses pengolahan.

### 3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Dalam penelitian ini dilakukan beberapa tahap pada Maret – April 2023 yang meliputi:

- Laboratorium Fenomena Dasar Mesin, Universitas Brawijaya, untuk melakukan aktivasi arang bambu apus dan bambu ampel, melakukan pengolahan, serta pengujian pH dan TDS.
- Laboratorium Sentral Ilmu Hayati, Universitas Brawijaya, untuk pengambilan gambar menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dengan *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS).

### 3.3 Variabel Penelitian

Variabel – variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Variabel bebas  
Variabel bebas merupakan variabel yang tidak terpengaruhi oleh variabel lain. Pada penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah:

Tabel 3.1 Variabel Bebas

No	Jenis Arang Bambu	Waktu Agitasi (jam)
1	Arang Bambu Apus	12
		24
		36
		48
2	Arang Bambu Ampel	12
		24
		36
		48

### 2. Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang nilainya dipengaruhi oleh variabel bebas. Variabel terikat pada penelitian ini yaitu unsur dan ukuran pori karbon aktif setelah dilakukan pengolahan dan sebelum dilakukan pengolahan pada limbah cair medis.

### 3. Variabel terkontrol

Variabel yang ditentukan oleh peneliti dan dibuat agar kondisinya konstan atau tetap dalam penelitian ini adalah :

- a. Karbon aktif yang digunakan merupakan hasil karbonisasi dari bambu apus dan bambu ampel yang berasal dari Buring, Kedungkandang, Malang Kota, Jawa Timur, Malang.
- b. Aktivator yang digunakan adalah HCl 0,1M
- c. Massa Karbon aktif yang digunakan pada proses adsorpsi yaitu 0,12 gram
- d. Massa limbah cair medis yang digunakan pada proses adsorpsi sebanyak 40 mL
- e. Kecepatan revolusi mesin pengaduk yaitu 150 rpm.
- f. Suhu pengolahan limbah cair yaitu sebesar 27°C
- g. Waktu pengeringan di oven pada proses aktivasi yaitu selama 60 menit
- h. Suhu pengeringan di oven pada proses aktivasi yaitu 100°C dan 200°C
- i. Limbah yang digunakan yaitu limbah cair medis hasil praktikum Fakultas Kedokteran yang berasal dari laboratorium biokimia-biomolekuler.

### 3.4 Alat dan Bahan Penelitian

#### 3.4.1 Alat yang Digunakan Pada Penelitian

##### 1. Timbangan *Digital*

Timbangan *digital* merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui massa dari karbon aktif saat proses pengolahan agar sesuai dengan variable yang telah ditentukan.



Gambar 3.1 Timbangan *Digital*

Spesifikasi :

Model : CT-33

Kapasitas Maksimum : 50 g

*Accuracy* :  $10^{-3}$  g

*Repeatability* :  $2 \times 10^{-3}$  g

Dimensi : 144 x 84,5 x 51 mm

##### 2. *Magnetic Stirrer*

Alat ini digunakan untuk mengaduk dan memanaskan larutan satu dengan larutan lain yang bertujuan untuk membuat suatu larutan homogen dengan bantuan pengaduk batang magnet (*stir bar*).



Gambar 3.2 Magnetic Stirrer

**Spesifikasi :**

<i>Max Volume</i>	: 2000 ml
<i>Speed RPM</i>	: 100 – 2000 rpm
<i>Max Temperature</i>	: 380°C
<i>Exterior</i>	: Cast aluminium, Surface spraying
<i>Plate size</i>	: 120 x 120 mm
<i>Stirrer motor power</i>	: 10 W
<i>Heating power</i>	: 180 W
<i>Electricity voltage</i>	: 220 V / 50 Hz
<i>Plate load</i>	: max. 3kg
<i>Overall dimensions</i>	: 200 x 120 x 90 mm
<i>Net weight</i>	: 1.9 kg
<i>Gross weight</i>	: 2.2 kg

### 3. pH Meter

pH meter merupakan alat yang berfungsi untuk mengukur tingkat asam-basa suatu larutan atau mengukur derajat keasaman (pH) suatu larutan.

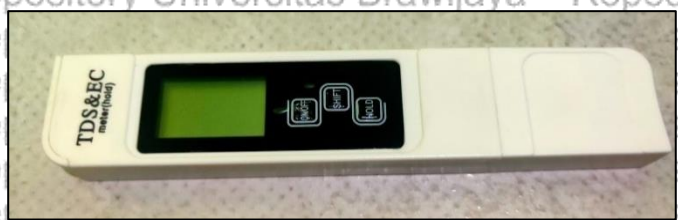


Gambar 3.3 pH Meter

Spesifikasi :	
Merek	: pH Meter Digital Automatic Calibration
Rentang pengukuran	: 0,00 – 14,00 pH
Resolusi	: 0,01 pH
Akurasi	: $\pm 0,01$ pH
Sumber daya	: 2 x 1,5 V (LR44 Button Cell)
Suhu operasi	: 0 <sup>o</sup> C – 60 <sup>o</sup> C
Dimensi	: 155 x 31 x 18 (mm)
Berat	: 50 g

#### 4. TDS & EC Meter

TDS & EC meter merupakan alat yang berfungsi untuk mengukur total padatan yang terlarut dan juga untuk mengukur konduktivitas listrik.



Gambar 3.4 TDS Meter

Spesifikasi :	
Merk	: TDS & EC Meter AI Portable
Rentang pengukuran	: 0-9999 ppm
Akurasi	: $\pm 2\%$
Suhu operasi	: 0,1 <sup>o</sup> C – 80,0 <sup>o</sup> C
Dimensi	: 154 x 30 x 14 (mm)
Berat	: 55 g

### 5. Oven

Oven digunakan sebagai tempat pemanasan karbon aktif yang telah diaktivasi dengan larutan HCl.



Gambar 3.5 Oven

Spesifikasi :

Merk	: SHARP
Model	: EO-28LP(K)
Tegangan	: 220-240 V - 50/60 Hz
Kapasitas	: 28 L
Negara Pembuat	: China

### 6. Mesin Pengujian *Scanning Electron Microscopy (SEM) - Energy Dispersive Spectroscopy (EDS)*

Alat ini digunakan untuk mengamati karakterisasi mikroskopik dan elemen-elemen yang terkandung dari sampel spesimen. Alat ditunjukkan pada gambar 3.6.





Gambar 3.6 FE-SEM Quanta FEG 650

Spesifikasi:

Instrumen SEM : FEI Quanta FEG 650

Tipe SEM : FE-SEM

EDS Detector : X-act Oxford Instrument

EDS Software : AZtecOne

Lisensi : Universitas Brawijaya

Manajemen : Laboratorium Sentral Ilmu Hayati (LSIH)

#### 7. Gelas Ukur

Alat ini digunakan sebagai tempat untuk menampung limbah cair medis dan karbon aktif pada proses pengolahan.



Gambar 3.7 Gelas Ukur

#### 8. Jirigen

Jirigen digunakan sebagai tempat untuk menampung dan menyimpan limbah cair medis yang diambil dari Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya Malang.



Gambar 3.8 Jirigen

### 9. Toples Kaca

Toples kaca digunakan sebagai tempat untuk menyimpan karbon aktif berupa arang dari bambu apus dan bambu ampel serta limbah cair medis yang telah dimurnikan.



Gambar 3.9 Toples Kaca

### 10. Botol Aquades

Botol aquades digunakan sebagai tempat untuk menyimpan larutan HCl yang digunakan sebagai aktivator.



Gambar 3.10 Botol Aquades

### 11. Spatula

Spatula digunakan untuk mengambil karbon aktif dan mengaduk larutan.



Gambar 3.11 Spatula

### 12. Aluminium Foil

Aluminium foil digunakan sebagai wadah untuk melakukan pemanasan dalam oven dan digunakan sebagai penutup gelas Ukur agar tidak terjadi penguapan.



Gambar 3.12 Aluminium Foil

### 3.4.2 Bahan yang Digunakan pada Penelitian

#### 1. Limbah Medis

Pada penelitian ini menggunakan limbah medis yang merupakan limbah cair yang berasal dari laboratorium biokimia-biomolekuler Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya Malang. Pada umumnya limbah cair medis pada laboratorium biokimia-biomolekuler banyak mengandung darah, urin, kotoran dan senyawa kimiawi yang digunakan selama proses praktikum.

Tabel 3.2 Kandungan Limbah Cair Medis

No.	Senyawa Kimia	Rumus Kimia
1	Ethanol	$C_5H_2OH$
2	Peroksida	$H_2O_2$
3	Hematoksin	$C_{16}H_{14}O_6$
4	Trinatrium Sitrat	$Na_3C_6H_5O_7$
5	Asam Asetat	$CH_3COOH$
6	Potassium Sulfat	$K_2SO_4$
7	Natrium Benzoat	$C_7H_5NaO_2$
8	Asam Monosilikat	$H_4SiO_4$
9	Magnesium Hidroksida	$MgOH$

Sumber: Laboratorium Biokimia-Biomolekuler Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya

#### 2. Arang Bambu

Arang bambu adalah bahan utama yang digunakan dalam pembuatan karbon aktif karena mudah dan sering ditemui serta mengandung lignin dan selulosa yang cukup tinggi. Bambu apus dan bambu ampel yang digunakan berasal dari dataran tinggi.

##### a. Arang Bambu Apus

Arang bambu apus didapat dari hasil proses dehidrasi dan karbonisasi bambu apus.



Gambar 3.13 (A) Bambu Apus dan (B) Arang Bambu Apus

#### b. Arang Bambu Ampel

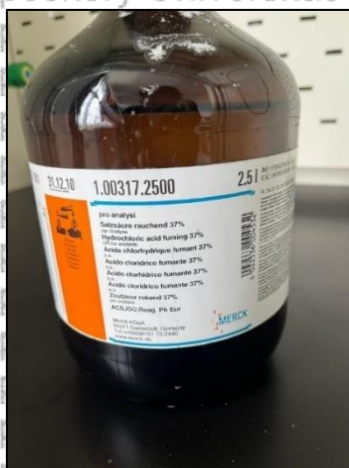
Arang bambu ampel didapat dari hasil proses dehidrasi dan karbonisasi bambu ampel.



Gambar 3.14 (A) Bambu Apus dan (B) Arang Bambu Ampel

#### 3. Larutan HCl

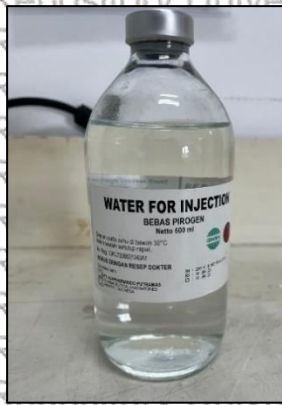
Larutan HCl atau asam klorida merupakan asam kuat yang memiliki pH asam (1) yang digunakan sebagai senyawa activator dari arang bambu apus dan ampel. Larutan HCl yang digunakan pada penelitian ini yaitu larutan HCl 0,1 M.



Gambar 3.15 Larutan HCl 37%

#### 4. Aquades

Aquades merupakan air dari hasil penyulingan/proses distilasi atau biasa disebut dengan air murni. Aquades lebih sering digunakan untuk mengencerkan suatu zat dengan konsentrasi tinggi karena banyak reaksi biokimia dapat berlangsung hanya dalam larutan aquades.



Gambar 3.16 Air Aquades

### 5. Silica Gel

*Silica gel* berfungsi untuk menyerap kelembapan pada tempat spesimen dengan baik sehingga dapat mencegah spesimen rusak dan berjamur.

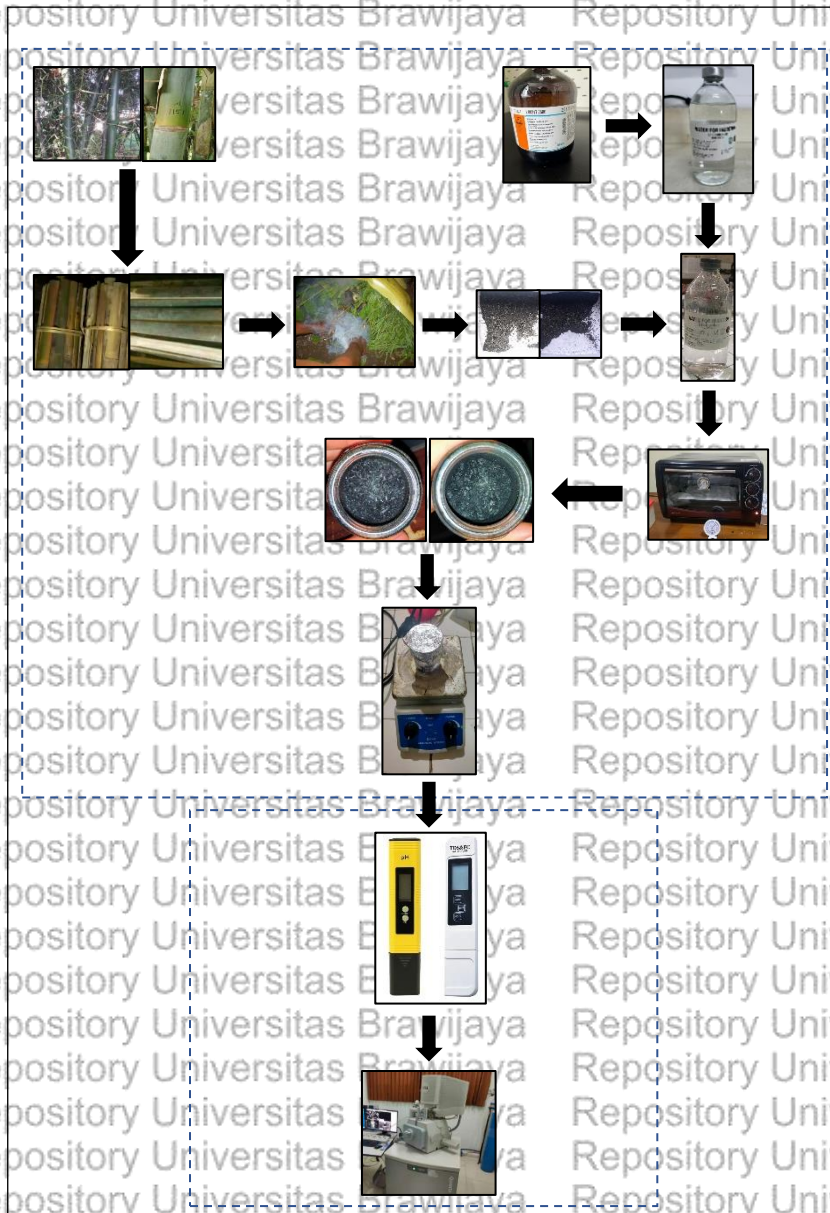


Gambar 3.17 Silica Gel

## 3.5 Mekanisme dan Proses Penelitian

### 3.5.1 Mekanisme Penelitian

Penelitian ini memiliki mekanisme pelaksanaan seperti pada gambar 3.16 yang meliputi proses pembuatan activator, spesimen dan pengujian. Proses pembuatan spesimen diawali dengan persiapan alat dan bahan, setelah itu dilakukan proses karbonisasi dengan menggunakan oven, kemudian dilakukan proses aktivasi dengan menggunakan HCl 0,1 M. Setelah spesimen berhasil dibuat, dilakukan pengujian sesuai prosedur yaitu dengan melakukan pengujian pH, TDS dan SEM-EDS.



Gambar 3.18 Mekanisme Penelitian

### 3.5.2 Proses Pembuatan Aktivator

#### 1. Melakukan perhitungan

Langkah pertama yaitu melakukan perhitungan dengan tujuan untuk mengetahui jumlah volume HCl 37% yang dibutuhkan, seperti berikut:

- Molaritas awal ( $M_1$ ) HCl pekat 37%

$$M_1 = (10 \times \text{konsentrasi HCl} \times \text{berat jenis}) / \text{BM} \dots \dots \dots (4)$$

$$M_1 = (10 \times 37\% \times 1,19) / 36,5$$

$$M_1 = 12,06 \text{ M}$$

- Volume HCl 37% ( $V_1$ ) yang dibutuhkan untuk mendapatkan 0,1 M dalam 1000 mL aquades, yaitu:

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2 \dots \dots \dots (5)$$

$$12,06 \text{ M} \times V_1 = 0,1 \text{ M} \times 1000$$

$$V_1 = 8,29 \text{ mL}$$

## 2. Persiapan Alat dan Bahan

Sebelum melakukan proses pembuatan aktivator, tahap yang harus dilakukan ialah mempersiapkan alat dan bahan. Persiapan bahan dimulai dengan menyediakan larutan HCl 37% pekat dengan menggunakan pipet ukur sebanyak 8,29 mL dan aquades sebanyak 991,71 mL. Persiapan alat dimulai dengan menyediakan alat-alat yang dibutuhkan untuk proses pembuatan aktivator.

## 3. Proses Pembuatan Aktivator

Proses pembuatan aktivator dimulai dengan memasukkan aquades ke dalam labu ukur sebanyak 1000 mL, kemudian ambil larutan HCl pekat dengan pipet ukur sebanyak 8,29 mL. Setelah itu, aduk larutan dengan menggunakan *magnetic stirrer* hingga tercampur merata. Langkah selanjutnya adalah tuangkan larutan tersebut ke dalam botol bahan dan berikan label nama serta tanggal pembuatan.

### 3.5.3 Proses Pembuatan Spesimen

#### 1. Persiapan Alat dan Bahan

Persiapan alat dimulai dengan menyediakan alat-alat yang diperlukan dalam pembuatan spesimen. Persiapan bahan dimulai dengan memotong bambu apus dan bambu ampel menjadi ukuran kecil dan dicuci hingga bersih dari kotoran dengan air bersih. Kemudian, bambu apus dan bambu ampel dijemur dan dikeringkan dibawah sinar matahari. Pengeringan ini bertujuan untuk menghilangkan kandungan air pada bambu apus dan bambu ampel serta memastikan bahwa bahan dalam keadaan kering dan memiliki massa yang konstan.

#### 2. Proses Pembuatan Arang

Proses pembuatan arang bambu apus dan bambu ampel dilaksanakan secara tradisional di produsen arang rumahan. Proses pembuatan diawali dengan menggali lubang dengan ukuran 0,9 x 0,7 x 0,8 m, pada dasar lubang dimasukkan sedikit bahan baku yang mudah terbakar kemudian tumpuk bambu dan lakukan pembakaran. Setelah proses pembakaran selesai maka seluruh permukaan lubang ditutup dengan daun dan batang kemudian dibiarkan hingga tidak timbul asap.



### 3. Proses Aktivasi

Setelah proses karbonisasi, arang bambu apus dan bambu ampel ditimbang dengan menggunakan timbangan digital agar sesuai dengan massa yang ditentukan yaitu 0,12 gram.

Setelah ditimbang, arang bambu apus dan bambu ampel direndam dengan larutan HCl 0,1 M sebanyak 40 mL selama 48 jam pada suhu ruangan. Proses aktivasi ini dilakukan dalam gelas Ukur yang ditutup rapat dengan aluminium foil atau di dalam sebuah toples kaca tertutup. Setelah 48 jam, arang bambu apus dan bambu ampel disaring lalu dikeringkan dengan menggunakan oven dengan variasi suhu 100°C dan 200°C selama 60 menit. Setelah proses aktivasi selesai, simpan karbon aktif tersebut di dalam toples kaca lalu beri silika gel dan tutup rapat toples kaca.

#### 3.5.4 Proses Adsorpsi

Proses adsorpsi diawali dengan mempersiapkan limbah cair medis sebanyak 40 mL dan karbon aktif bambu apus dan ampel yang telah diaktivasi. Massa karbon aktif pada setiap percobaan yaitu 0,12 gram. Setelah kedua bahan tersebut telah tersedia, kedua bahan tersebut dimasukkan ke dalam gelas Ukur yang ditutup rapat dengan aluminium foil agar tidak terjadi penguapan dan diaduk dengan menggunakan magnetic stirrer dengan kecepatan 150 rpm dan diaduk selama waktu yang berbeda yaitu 12 jam, 24 jam, 36 jam dan 48 jam pada suhu ruangan. Setelah diaduk, campuran limbah cair medis dan karbon aktif dibiarkan mengendap selama 24 jam. Proses adsorpsi ini dilakukan secara berulang hingga semua variasi selesai dilakukan.

#### 3.5.5 Prosedur Pengujian

##### 1. Pengujian pH (*Potential of Hydrogen*)

Siapkan campuran limbah cair medis dan karbon aktif yang telah diaduk dengan menggunakan magnetic stirrer selama variasi waktu yang telah ditentukan dan mengalami pengendapan. Kemudian, lakukan uji pH dengan menggunakan pH meter pada limbah cair medis sebelum dan sesudah diberi perlakuan. Tunggu hingga angka pada pH meter menjadi konstan. Kemudian catat data yang didapatkan.

##### 2. Pengujian TDS (*Total Dissolved Solid*)

Siapkan campuran limbah cair medis dan karbon aktif yang telah diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* selama variasi waktu tertentu dan telah mengendap. Kemudian, lakukan uji TDS dengan menggunakan TDS meter pada limbah cair medis



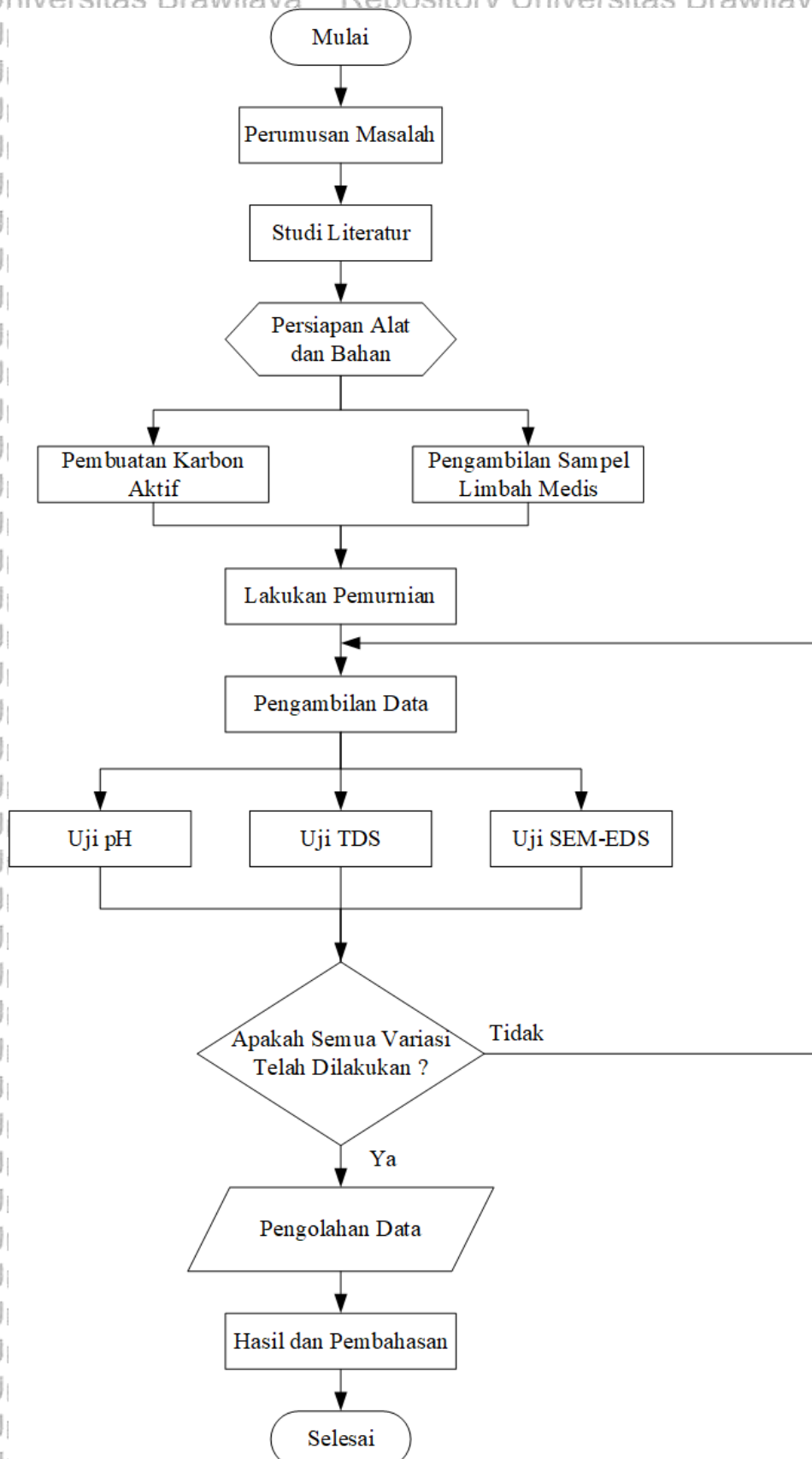
sebelum dan sesudah diberi perlakuan. Tunggu hingga angka pada TDS meter menjadi konstan. Kemudian dokumentasi hasil yang didapatkan.

### 3. Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*) – EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*)

Siapkan campuran limbah cair medis dan karbon aktif yang telah diaduk dengan menggunakan magnetic stirrer selama variasi waktu tertentu dan telah mengendap. Pisahkan karbon aktif dan limbah cair medis dengan menggunakan saringan. Lalu, ambil karbon aktif yang terdapat pada saringan dan yang masih melekat pada gelas Ukur dengan menggunakan spatula dan diletakkan pada toples kaca. Setelah itu, tunggu hingga karbon aktif mengering. Setelah mengering, diberi silika gel dan tutup toples kaca dengan rapat.

Setelah specimen karbon aktif telah siap untuk diuji, letakkan karbon aktif yang telah kering tersebut pada kaca preparate sampel, lalu pilih bagian yang akan diuji dan lakukan perbesaran 5000x hingga 10000x. Simpan gambar dan lakukan analisis. Sementara untuk EDS lakukan mapping daerah permukaan yang diinginkan setelah itu simpan gambar. Pengujian SEM-EDS bertujuan untuk mengetahui dan mendapatkan gambar ukuran pori-pori pada karbon aktif serta mengetahui elemen-elemen yang terkandung pada karbon aktif setelah dilakukan adsorpsi.

### 3.6 Diagram Penelitian



Gambar 3.19 Diagram Alir Penelitian

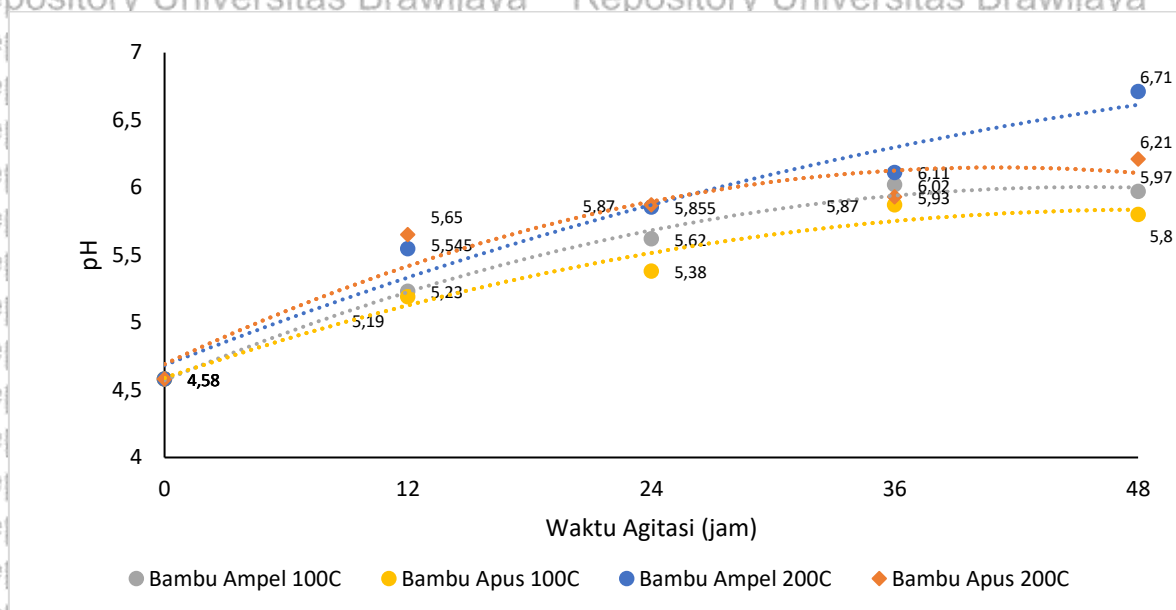


## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Pengujian

#### 4.1.1 Hasil Pengujian pH (*Potential of Hydrogen*)

Hasil pengujian pH limbah cair medis yang dilakukan dan diamati dengan variasi waktu agitasi 12 jam, 24 jam, 36 jam dan 48 jam pada kecepatan agitasi 150 rpm ditunjukkan pada gambar 4.1. Dimana kenaikan pH tertinggi pada suhu pengeringan 200°C yaitu bernilai 6,71 yang dihasilkan oleh karbon aktif dari arang bambu ampel pada waktu agitasi 48 jam dan yang paling rendah yaitu bernilai 6,21 yang dihasilkan oleh arang bambu apus pada waktu agitasi 48 jam. Sedangkan, kenaikan pH tertinggi pada suhu pengeringan 100°C yaitu bernilai 5,97 yang dihasilkan oleh karbon aktif dari arang bambu ampel pada waktu agitasi 48 jam dan yang paling rendah yaitu bernilai 5,8 yang dihasilkan oleh arang bambu apus pada waktu agitasi 48 jam. Pada hasil pengujian pH tersebut terlihat bahwa nilai pH memiliki kecenderungan meningkat seiring dengan peningkatan waktu agitasi



Gambar 4.1 Grafik Pengaruh Waktu Agitasi terhadap Derajat Keasaman (pH) dengan Kecepatan Agitasi 150 rpm pada suhu pengeringan 200°C dan 100°C.

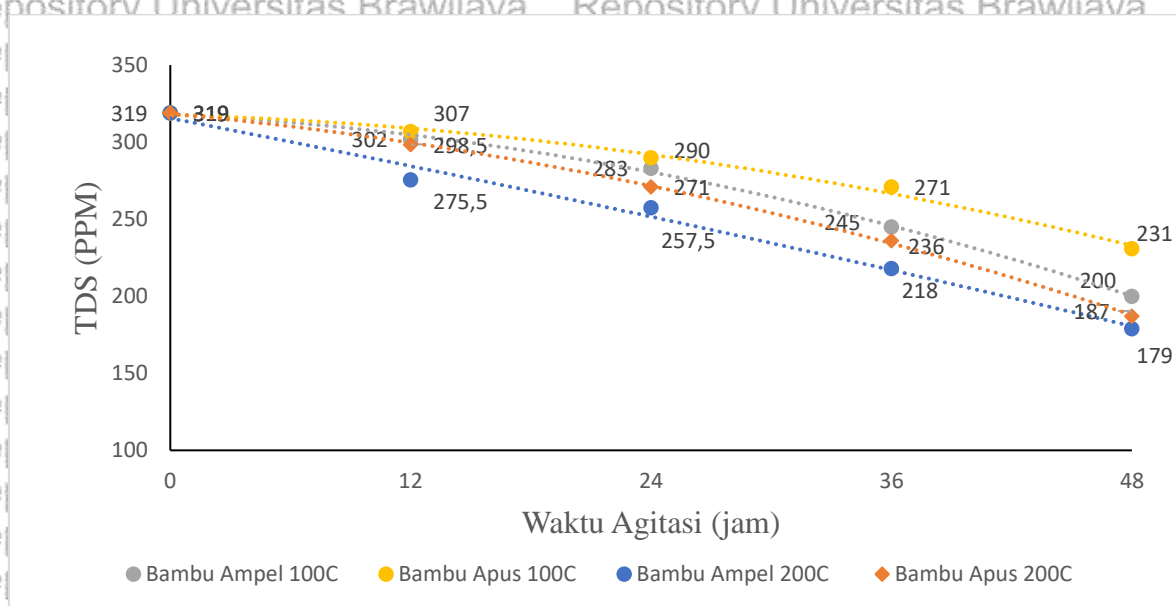
Pada gambar 4.1 dapat dilihat bahwa semakin meningkat waktu agitasi maka nilai pH akan meningkat. Peningkatan tersebut disebabkan oleh peningkatan waktu agitasi menyebabkan ion-ion pada limbah cair medis semakin banyak yang terserap oleh karbon aktif sehingga pada limbah akan terjadi peningkatan nilai pH. Hal ini sesuai dengan yang

dijelaskan oleh Cozmuta dkk. (2012) bahwa kemampuan adsorpsi akan meningkat seiring dengan meningkatnya nilai derajat keasaman dalam sebuah larutan. Sehingga semakin lama waktu agitasi pada proses adsorpsi maka semakin banyak adsorben mengalami adsorpsi sehingga akan meningkatkan pH pada limbah cair medis.

Peningkatan pH setelah diagitasi dengan karbon aktif bambu ampel dan apus pada suhu pengeringan 200°C tampak lebih baik daripada karbon aktif bambu ampel dan apus pada suhu pengeringan 100°C. Perbedaan tersebut diakibatkan oleh permukaan dan jumlah pori yang dihasilkan oleh suhu pengeringan 200°C lebih baik daripada suhu pengeringan 100°C. Sehingga, jumlah dan ukuran pori tersebut akan menyebabkan kemampuan karbon aktif dalam menyerap substrat/adsorbat yang terkandung dalam limbah cair medis.

#### 4.1.2 Hasil Pengujian TDS (*Total Dissolved Solids*)

Hasil pengujian TDS limbah cair medis yang dilakukan dan diamati dengan variasi waktu agitasi 12 jam, 24 jam, 36 jam dan 48 jam pada kecepatan agitasi 150 rpm ditunjukkan pada gambar 4.2. Dimana penurunan TDS pada suhu pengeringan 200°C yang paling rendah yaitu bernilai 179 ppm yang dihasilkan oleh karbon aktif pada waktu agitasi 48 jam dari arang bambu ampel dan penurunan yang paling rendah yaitu bernilai 187 ppm yang dihasilkan oleh arang bambu apus pada waktu agitasi 48 jam. Sedangkan penurunan TDS pada suhu pengeringan 100°C yang paling rendah yaitu bernilai 200 ppm yang dihasilkan oleh karbon aktif pada waktu agitasi 48 jam dari arang bambu ampel dan penurunan yang paling rendah yaitu bernilai 231 ppm yang dihasilkan oleh arang bambu apus pada waktu agitasi 48 jam. Pada hasil pengujian TDS tersebut terlihat bahwa nilai TDS memiliki kecenderungan menurun seiring dengan peningkatan waktu agitasi.

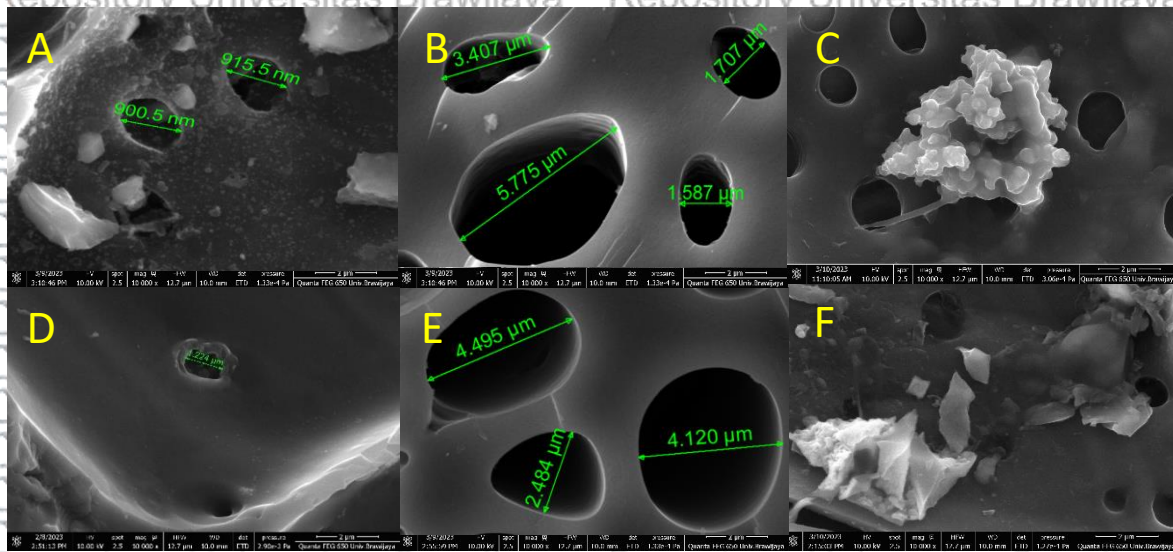


Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Waktu Agitasi terhadap TDS (*Total Dissolve Solids*) dengan Kecepatan Agitasi 150 rpm pada suhu pengeringan 200°C dan 100°C.

Pada gambar 4.2 dapat dilihat bahwa semakin meningkat waktu agitasi maka akan menurunkan nilai TDS. Hal tersebut dikarenakan semakin lama waktu agitasi maka kontak antara karbon aktif sebagai adsorben dan adsorbat akan semakin besar. Maka dari itu, kemungkinan adsorbat teradsorpsi oleh karbon aktif bambu ampel dan bambu apus akan semakin besar. Sebagaimana dijelaskan dalam penelitian Kuntadi (2016), bahwa semakin lama waktu adsorpsi yang terjadi kontak antara adsorben dan adsorbat menyebabkan adsorbat semakin banyak yang teradsorpsi sehingga daya adsorpsinya akan semakin besar sampai mencapai titik kesetimbangan.

Penurunan nilai TDS setelah diagitasi dengan karbon aktif bambu ampel dan apus pada suhu pengeringan 200°C tampak lebih baik daripada karbon aktif bambu ampel dan apus pada suhu pengeringan 100°C. Perbedaan tersebut diakibatkan oleh permukaan dan jumlah pori yang dihasilkan oleh suhu pengeringan 200°C lebih baik daripada suhu pengeringan 100°C. Sehingga, jumlah dan ukuran pori tersebut akan menyebabkan kemampuan karbon aktif dalam menyerap substrat/adsorbat padatan yang terkandung dalam limbah cair medis.

#### 4.1.3 Hasil Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) - *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS)



Gambar 4.3 Hasil Pengujian SEM dengan perbesaran 10.000x pada (A) karbon aktif bambu ampel sebelum aktivasi, (B) karbon aktif bambu ampel setelah aktivasi pada suhu pengeringan 200<sup>0</sup>C, (C) karbon aktif bambu ampel setelah adsorpsi, (D) karbon aktif bambu apus sebelum aktivasi, (E) karbon aktif bambu apus setelah aktivasi dan (F) karbon aktif bambu apus setelah adsorpsi

Hasil pengujian morfologi menggunakan SEM diunjukkan pada gambar 4.3. Gambar tersebut menunjukkan gambar pori pada karbon aktif dari arang bambu ampel dan bambu apus pada kondisi sebelum diaktivasi, setelah diaktivasi dan setelah adsorpsi. Dari hasil perbesaran 10000X dapat dilihat bahwa pada karbon aktif dari arang bambu ampel sebelum diaktivasi memiliki ukuran pori 0,9155 µm, setelah diaktivasi memiliki ukuran pori 5,775 µm, dan setelah adsorpsi tampak bahwa pada pori terdapat adsorbat yang menutupi pori.

Sedangkan pada karbon aktif dari arang bambu apus sebelum diaktivasi memiliki ukuran pori 1,224 µm, setelah diaktivasi memiliki ukuran pori 4,495 µm, dan setelah adsorpsi tampak bahwa pada pori terdapat adsorbat yang menutupi pori. Sehingga pada gambar tersebut tampak bahwa terdapat perbedaan ukuran pori sebelum dan sesudah aktivasi serta terdapat perubahan permukaan pada karbon aktif setelah adsorpsi.

Perubahan ukuran pori pada karbon aktif sebelum dan setelah diaktivasi tersebut terjadi karena pada pori karbon aktif sebelum aktivasi masih terdapat zat pengotor sehingga mempengaruhi porinya menjadi tertutup maupun berukuran kecil. Zat lain tersebut yaitu hidrogen, ter, dan senyawa organik lain yang komponennya terdiri dari abu, air, nitrogen, dan sulfur (Sudrajat dan Soleh, dalam Triono, 2006: 6). Penambahan aktivator HCl berfungsi untuk mengikat zat-zat pengotor agar keluar melewati pori-pori dari karbon aktif sehingga



permukaan dari karbon aktif tersebut semakin lebar atau luas yang menyebabkan semakin besar pula daya serap karbon aktifnya (Suhendarwati dkk., 2013). HCl juga merupakan *dehydrating agent* atau bersifat mendehidrasi pada proses aktivasi, arang akan bereaksi dengan HCl sehingga arang akan terkikis menghasilkan pori-pori, pembentukan pori-pori ini akan memperbesar luas permukaan arang aktif yang akan menentukan kinerja penyerapan (Rizqi, 2016).

Pada karbon aktif dengan kondisi yang setelah adsorpsi terlihat bahwa terdapat adsorbat-adsorbat yang menempel pada permukaan pori karbon aktif. Hal tersebut dikarenakan adanya gaya Van der Waals, yaitu gaya tarik menarik yang lemah antara adsorbat dengan permukaan adsorben (Jasmal dkk., 2015). Selain itu, perlakuan agitasi juga memperbesar terjadinya kontak antara adsorben dan adsorbat yang mengakibatkan kemungkinan terjadinya gaya Van der Waals semakin besar.

Tabel 4.1 menampilkan komposisi elemen yang terdapat pada karbon aktif bambu apus dan bambu ampel sebelum dan setelah dilakukan adsorpsi yang diketahui menggunakan pengujian *energy dispersive spectroscopy* (EDS). Pada Tabel 4.1 terlihat bahwa terdapat elemen baru yang terkandung pada bambu ampel dan bambu apus yakni P, Na, S, dan Mg. Pada bambu ampel dan apus terdapat elemen yang bertambah dan berkurang. Elemen yang bertambah yakni O, K, Cl, dan Si sedangkan elemen yang berkurang adalah C. Pada hasil pengujian EDS tampak bahwa bambu ampel memiliki kemampuan penyerapan yang lebih baik daripada bambu apus yang ditandai dengan penambahan dan pengurangan elemen-elemen yang terdapat pada karbon aktif.

Berdasarkan hasil pengujian pH dan TDS serta SEM-EDS terlihat bahwa karbon aktif bambu ampel mampu menimbulkan perubahan yang lebih baik daripada karbon aktif bambu apus. Hal ini dikarenakan jumlah dan ukuran pori yang dihasilkan berbeda. Hal ini sesuai dengan yang dikemukakan oleh Handika dkk. (2017) yakni perbedaan jumlah dan ukuran pori-pori ini dikarenakan adanya pengaruh suhu saat proses pengeringan yang menyebabkan terjadinya proses penguraian senyawa volatil yang terlepas sehingga terbentuk pori karbon pada kedua jenis bambu. Dan juga adanya pengaruh kandungan lignin dan selulosa yang terdegradasi dan menguap sehingga pori-pori terbentuk dan membesar.

Tabel 4.1 Komposisi Karbon Aktif Bambu Ampel dan Bambu Apus

Elemen	Bambu Ampel		Bambu Apus	
	Sebelum Adsorpsi	Setelah Adsorpsi	Sebelum Adsorpsi	Setelah Adsorpsi
C	89,93	81,13	93,85	86,19
O	9,85	17,26	5,53	12,33
K	0,05	0,80	0,15	0,14
P	-	0,11	-	0,10
Na	-	0,29	-	0,05
S	-	0,19	-	0,24
Mg	-	0,09	-	0,07
Cl	0,07	0,08	0,27	0,05
Si	0,10	0,05	0,20	0,83
Total	100	100	100	100

Kemampuan bambu ampel yang lebih baik dalam pengolahan limbah cair daripada bambu apus juga dipengaruhi oleh kadar Lignin dan selulosa yang terkandung oleh masing-masing jenis bambu yang digunakan. Bambu ampel mengandung lignin sebesar 25,6% dan selulosa sebesar 45,3% sedangkan bambu apus mengandung lignin sebesar 24,6% dan selulosa sebesar 52,1%. Hal tersebut mengakibatkan karbon yang terbentuk dari bambu ampel lebih banyak dibandingkan dengan yang terbentuk dari bambu apus. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Hastuti dkk. (2015) yang menyatakan bahwa kadar karbon dipengaruhi oleh kadar lignin dan selulosa pada bahan baku yang terkonversi menjadi arang selama proses karbonisasi. Dalam hal ini, kadar lignin memiliki peran yang lebih besar daripada selulosa karena lignin memiliki jumlah karbon lebih banyak dibandingkan dengan hemiselulosa dan selulosa. Sehingga, karbon aktif dari arang bambu ampel memiliki kandungan karbon yang lebih banyak dan memiliki kemampuan dalam mengolah limbah cair medis yang lebih baik daripada karbon aktif yang berasal dari arang bambu apus.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan mengenai bagaimana pengaruh waktu agitasi terhadap kualitas limbah cair medis menggunakan karbon aktif bambu ampel dan apus dengan aktivator HCl dapat disimpulkan bahwa waktu agitasi pada proses adsorpsi memiliki pengaruh terhadap kualitas limbah cair medis. Pengaruhnya yaitu semakin lama waktu agitasi maka nilai pH akan meningkat dan akan menurunkan nilai TDS.

Hasil pengujian pH menunjukkan kenaikan nilai pH karbon aktif dari arang bambu ampel pada suhu pengeringan 200°C yaitu sebanyak 46,5% dan pada karbon aktif dari arang bambu apus yaitu sebanyak 35,6%. Sedangkan, kenaikan nilai pH karbon aktif dari arang bambu ampel pada suhu pengeringan 100°C yaitu sebesar 30,3% dan pada karbon aktif dari arang bambu apus yaitu sebanyak 26,6%. Penurunan nilai TDS pada karbon aktif dari arang bambu ampel yaitu sebanyak 43,9% dan pada karbon aktif dari arang bambu apus yaitu sebanyak 41,4%. Sedangkan, penurunan nilai TDS karbon aktif dari arang bambu ampel pada suhu pengeringan 100°C yaitu sebesar 37,3% dan pada karbon aktif dari arang bambu apus yaitu sebanyak 27,6%. Perubahan pH dan TDS serta SEM-EDS yang dihasilkan karbon aktif bambu ampel mampu menimbulkan perubahan yang lebih baik daripada karbon aktif bambu apus. Hal tersebut disebabkan oleh suhu pengeringan dan juga kandungan lignin selulosa pada jenis bambu tertentu yang dapat mempengaruhi jumlah karbon dan ukuran pori.

Morfologi pori pada karbon aktif dari arang bambu ampel dan apus juga mengalami peningkatan ukuran dan jumlah pori setelah diaktivasi dengan menggunakan HCl 0,1 M dan morfologi pori karbon aktif dari arang bambu ampel dan apus pada kondisi setelah adsorpsi tampak terdapat adsorbat-adsorbat yang melekat pada pori-pori karbon aktif.

### 5.2 Saran

Dari penelitian ini, terdapat beberapa saran untuk penelitian yang akan dilakukan selanjutnya yaitu sebagai berikut :

1. Temperatur pada saat melakukan pengeringan karbon aktif setelah aktivasi sebaiknya tidak terlalu tinggi, agar karbon aktif tidak menjadi abu.
2. Pastikan alat pengujian selalu bersih dan terkalibrasi, agar data yang didapatkan lebih akurat.



## DAFTAR PUSTAKA

- Adhani, Rosihan. (2018). *Pengelolaan Limbah Medis Pelayanan Kesehatan*. Banjarmasin: Lambung Mangkurat University Press
- Adisasmito W. (2007) *Sistem Manajemen Lingkungan Rumah Sakit*. Jakarta: PT,Raja Grafindo Persada.
- Anggraeni, I. S. dan Yuliana, L. E., (2015). *Pembuatan Karbon Aktif dari Limbah Tempurung Siwalan (*Borassus Flabellifer L.*) dengan Menggunakan Aktivator Seng Klorida ( $ZnCl_2$ ) dan Natrium Karbonat ( $Na_2CO_3$ )*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Annadural, G., Juang, R.-S., & Lee, D. (2003). *Adsorption of Heavy Metals From Water Using Banana and Orange Peels*. *Water science and technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research*, 47, 185–190. <https://doi.org/10.2166/wst.2003.0049>
- Aprilia, Bella Sri (2019) *Upaya Minimisasi dan pengelolaan limbah Padat B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) RSUD Haji Surabaya*. Undergraduate thesis, Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya.
- Astria, F., Subito, M., & Nugraha, D. W. (2014). *Rancang Bangun Alat Ukur Ph Dan Suhu Berbasis Short Message Service (SMS) Gateway*. *Mektrik*, 1(1).
- Astuti, Widi. (2018). *Adsorpsi menggunakan Material Berbasis Lignoselulosa*. Semarang: UNNES PRESS.
- Berlin, N. V. A., dan Estu, R. (2005). *Jenis dan Prospek Bisnis Bambu*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Bhatnagar, A., Hogland, W., Marques, M., & Sillanpää, M. (2013). *An overview of the modification methods of activated carbon for its water treatment applications*. *Chemical Engineering Journal*, 219, 499–511. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.12.038>.
- Biswas, A., Amanullah, A., & Santra, S. (2011). *Medical Waste Management in the Tertiary Hospitals of Bangladesh: An Empirical Enquiry*. *ASA University Review*, Vol. 5 No. 2, July–December, 2011, 5.
- Bui, Q. B., Grillet, A.-C., & Tran, H.-D. (2017). *A Bamboo Treatment Procedure: Effects on the Durability and Mechanical Performance*. *Sustainability*, 9, 1444. <https://doi.org/10.3390/su9091444>.
- Buku Petunjuk Praktikum Satuan Operasi. (2004). *Agitasi dan Pencampuran*. Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung.

Cozmuta, L Mihaly, Cozmuta, A Mihaly, Peter, A, Nicula, C, Nsimba, E Bakatula, & Tutu, H. (2012). The influence of pH on the adsorption of lead by Na-clinoptilolite: Kinetic and equilibrium studies. *Water SA*, 38(2), 269-278. Retrieved May 15, 2023, from [http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1816-](http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1816-79502012000200013&lng=en&tlng=en)

[79502012000200013&lng=en&tlng=en](http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1816-79502012000200013&lng=en&tlng=en).

Chekwube, N., & Onukwuli, O. (2020). *Adsorption Study of Kinetics and Equilibrium of Basic Dye on Kola Nut Pod Carbon*. *Gazi University Journal of Science*, 30, 86–102.

Dąbrowski, A. (2001). *Adsorption-from Theory to Practice*. *Advances in colloid and interface science*, 93, 135–224. [https://doi.org/10.1016/S0001-8686\(00\)00082-8](https://doi.org/10.1016/S0001-8686(00)00082-8).

Danarto, Y.C., dan Samun, T. (2008). Pengaruh Aktivasi Karbon dari Sekam Padi pada Proses Adsorpsi Logam Cr (VI). Jurusan Teknik Kimia UNS Surakarta, Surakarta.

Departemen Kesehatan RI. (2002). Pedoman sanitasi rumah sakit di Indonesia. Jakarta: Direktorat Jenderal PPM & PPL dan Direktorat Jenderal Pelayanan Medik.

Dewi, T. K., Nurrahman, A. dan Permana, E., (2009). *Manufactured of Activated Carbon from Cassava Skin (Mannihot Esculenta)*. *Jurnal Teknik Kimia*, 16(1), pp. 24–30

Djohan & Halim. (2013). *Pengelolaan Limbah Rumah Sakit*. Jakarta: Salemba Medika.

Dransfield, S. & Widjaja, E. A. (1995). *Plant Resources of South-East Asia No.7 Bamboos*. Leiden: Bakhuys Publishers.

Effendi, H. (2003). *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya Dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta: Kanisius.

Abdel-gawad, H. (2014). *Fundamental of Machining Processes*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group

Farghali, A., Khedr, M., & Moustafa, A. (2008). *Photocatalytic Activity and Magnetic Properties of Nanocrystallite Strontium Hexaferrite Prepared by Self-Flash Combustion*. *Journal of material technology* 2008 VOL 23, 23, 104–109. <https://doi.org/10.1179/175355508X310089>.

Fianti, Sujarwata. 2014. *Transistor Film Tipis Organik*. Yogyakarta: CV BUDIUTAMA

Firdaus, M., Krisnanto, N., Alwi, W., Muhammad, R., & Allan serunting, M. (2017). *Adsorption of Textile Dye by Activated Carbon Made from Rice Straw and Oil Palm Midrib*. *Aceh International Journal of Science and Technology*, 6, 1. <https://doi.org/10.13170/aijst.6.1.5502>

Ginting, Perdana, 2007. *Sistem Pengelolaan Lingkungan dan Limbah Industri*, Bandung : CV. Yrama Widya.



Gratani, L., Crescente, M. F., Varone, L., Fabrini, G., & Digiulio, E. (2008). *Growth pattern and photosynthetic activity of different bamboo species growing in the Botanical Garden of Rome*. *Flora*, 203, 77–84. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2007.11.002>

Gusmailina & Sumadiwangsa. (1988). Analisis Kimia Sepuluh Jenis Bambu dari Jawa Timur. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 5 (5):290-293

Hastuti, N., Pari, G., Setiawan, D., Mahpudin, Daud, D., & Godang, M. (2015). Tingkat Keasaman Dan Kebasaan Arang Aktif Bambu Mayan (AABM) Terhadap Uap Jenuh HCl Dan Naoh Acidity And Alkalinity Level Of Mayan Bamboo Activated Charcoal (MBAC) On Saturated Vapor Of Acid Chloride and Natrium Hydroxide. *Widyariset*, 1, 41–50. <https://doi.org/10.14203/widyariset.1.1.2015.%25p>

Hossain, M. A., Ngo, H. H., Guo, W. S., & Nguyen, T. V. (2012). *Removal of copper from water by adsorption onto banana peel as bioadsorbent*. *International Journal of GEOMATE*, 2, 227–234.

Idrus, R., Lapanporo, Boni P. dan Putra, Yoga S. (2013). Pengaruh Suhu Aktivasi Terhadap Kualitas Karbon Aktif Berbahan Dasar Tempurung Kelapa. *PRISMA FISIKA*, Vol. I, No. 1, Hal. 50 – 55.

Ihsanto, E., & Hidayat, S. (2014). Rancang Bangun Sistem Pengukuran Ph Meter Dengan Menggunakan Mikrokontroler Arduino Uno. *Jurnal Teknologi Elektro*, 5(3). <https://doi.org/10.22441/jte.v5i3.769>

Jamilatun, S., Salamah, S., & Isparulita, I. (2016). Karakteristik Arang Aktif Dari Tempurung Kelapa Dengan Pengaktivasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Variasi Suhu Dan Waktu. *Chemica: Jurnal Teknik Kimia*, 2, 13. <https://doi.org/10.26555/chemica.v2i1.4562>

Jasmal, Sulfikar, & Ramlawati. (2015). Kapasitas Adsorpsi Arang Aktif Ijuk Pohon Aren (Arenca Pinnata) Terhadap Pb<sup>2+</sup>. *Jurnal Sainsmat*, 4(1).

Kaminski, S., Lawrence, A., & Trujillo, D. (2016). *Structural use of bamboo. Part 1: Introduction to bamboo*. *Structural Engineer*, 94(8).

Kang, C., Chung, W.-Y., Han, J.-O., & Kang, H.-Y. (2017). *High-Temperature Drying of Bamboo Tubes Pretreated with Polyethylen Glycol Solution*. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 45, 139–146. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2017.45.2.139>

Kaushish, J. P. (2010). *Manufacturing processes 2nd Edition*. New Delhi: PHI Learning Private Limited.

Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. 2022. Profil Kesehatan Indonesia 2021. Jakarta : Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.



KepMenkes RI No.1204/Menkes/SK/X/2004 tentang JOM FISIP Vol. 6: Edisi II Juli – Desember 2019 Page 18 Persyaratan Kesehatan Lingkungan Rumah Sakit.

Khalili, F. (2019). ADSORPTION OF Ni(II), Zn(II) AND Cu(II) IONS ONTO NANO KAOLINITE. <https://doi.org/10.5281/zenodo.2644985>

Kim, J.-S., Lee, H., Jo, J.-S., Jung, J., Ha, Y., & Yang, J.-K. (2014). *Evaluation of Antioxidant and Anticancer Activity of Steam Extract from The Bamboo Species*. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 42, 543–554. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2014.42.5.543>

Kuntadi dan Endang, W. Laksono. (2016). Isoterm Adsorpsi dari Adsorben Nata De Ipomoea pada Adsorpsi Pewarna Direct Red Teknis. *Jurnal Teknik Kimia*. Vol 5, No 6.

Latief, A.S. (2010). Manfaat dan Dampak Penggunaan Insinerator Terhadap Lingkungan. *TEKNIS* Vol.5: 20-24.

Leng, Yang & Wiley, J. 2008. *Material Characterization: Introduction to Microscopic and Spectroscopic Methods*. John Wiley & Sons (Asia) Pte Ltd.

Liu, D., Song, J., Anderson, D. P., Chang, P. R., & Hua, Y. (2012). *Bamboo fiber and its reinforced composites: Structure and properties*. *Dalam Cellulose* (Vol. 19, Nomor 5). <https://doi.org/10.1007/s10570-012-9741-1>

Maryono, S. (t.t.). Rahmawati. 2013. *Preparation and Quality Analysis of Coconut Shell Charcoal Briquette Observed by Starch Concentration*. *Journal Chemical*, 14(1), 74-83.

Maulana, S., Busyra, I., Fatrawana, A., Hidayat, W., Sari, R. K., Sumardi, I., ... Febrianto, F. (2017, November). *Effects of Steam Treatment on Physical and Mechanical Properties of Bamboo Oriented Strand Board*. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*. *The Korean Society of Wood Science Technology*. <https://doi.org/10.5658/wood.2017.45.6.872>

McCleskey, R. (2011). *Electrical Conductivity of Electrolytes Found In Natural Waters from (5 to 90) °C*. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 56. <https://doi.org/10.1021/je101012n>

Mera, F., & Xu, C. (2014). *Plantation Management And Bamboo Resource Economics In China*. *Ciencia y Tecnología*, 7, 1–12. <https://doi.org/10.18779/cyt.v7i1.93>

Mortada, W., Moustafa, A., Ismail, A., Hassaniien, M., & A. Aboud, A. (2015). *Microwave Assisted Decoration of Titanium Oxides Nanotubes With CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Quantum Dots for Solid Phase Extraction of Uranium*. *RSC Advances*, 5. <https://doi.org/10.1039/C5RA10304E>





Mulyaningsih, T. (2016). Identifikasi Bambu pada Daerah Aliran Sungai Tiupupus Kabupaten Lombok Utara. *JURNAL BIOLOGI TROPIS*, 16. <https://doi.org/10.29303/jbt.v16i2.221>

Naifasa, Taroci., Hermania Em W., dan Luther Kadang. (2013). Pemanfaatan Arang Aktif Biji Kapuk Sebagai Adsorben Limbah Cair Tahu. Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknik Universitas Nusa Cendana. Kupang. Vol. 1.

Nicola, F. (2015). Hubungan Antara Konduktivitas, Tds (Total Dissolved Solid) Dan Tss (Total Suspended Solid) Dengan Kadar  $Fe^{2+}$  Dan Fe Total Pada Air Sumur Gali. Skripsi. Jember : Universitas Jember.

Nitsae, M., Lano, L. A., & Ledo, M. E. (2020). Pembuatan Arang Aktif dari Tempurung Siwalan (*Borassus flabellifer* L.) yang Diaktivasi dengan Kalium Hidroksida (KOH). *Biota : Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Hayati*, 8–15. <https://doi.org/10.24002/biota.v5i1.2948>.

Noer, A. A., Awitdrus, A., & Malik, U. (2014). Pembuatan Karbon Aktif dari Pelepah Kelapa Sawit Menggunakan Aktivator  $H_2O$  sebagai Adsorben. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Riau*, 1(2).

Perry, Robert H., and Don W. Green. 2007. *“Perry’s Chemical Engineer’s Handbook”*. 7th edition . Tokyo : McGraw-Hill Book Company.

Pillai, S. B. (2020). *Adsorption in Water and Used Water Purification*. In J. Lahnsteiner (Ed.), *Handbook of Water and Used Water Purification* (pp. 1–22). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-66382-1\\_4-1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-66382-1_4-1)

Pratiwi, R., & Prinajati, P. S. (2018). *Adsorption For Lead Removal By Chitosan From Shrimp Shells*. *Indonesian Journal Of Urban And Environmental Technology*, 2, 35. <https://doi.org/10.25105/urbanenyrotech.v2i1.3554>.

Rizqi, Y., Nuvicha, Chairul, Reni, & Silvia, Y. (2016). Adsorpsi Ion Logam Pb dengan Menggunakan Karbon Aktif Kulit Durian yang Teraktivasi. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*, 3(1), 1–8.

Roh, J.K., Kim, J.K., Kim, S.I., Ra, J.B., Kim, Y.J., Park, S.J. (2004). *Manufacture of wood veneer-bamboo zephyr composite board: I. Properties of bamboo zephyr and composite board made from moso, giant timber and hachiku bamboo*. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 32(3): 42-51.

Said, Nusa Idaman. (1999). Kesehatan Masyarakat dan Teknologi Peningkatan Kualitas Air. Jakarta: Direktorat Teknologi Lingkungan Deputi Bidang Teknologi Informasi, Energi, Material dan Lingkungan BPPT.



- Sekretariat Lingkungan Hidup. (2014). Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah. Jakarta: Sekretariat Lingkungan Hidup.
- Shofa, (2012). Pembuatan Karbon Aktif Berbahan Baku Ampas Tebu dengan Aktivasi Kalium Hidroksida. Universitas Indonesia. Skripsi. Tidak Dipublikasikan. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Slamet, J. S. (1994). Kesehatan lingkungan. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Suarya, P. (2008). Adsorpsi Pengotor Minyak Daun Cengkeh Oleh Lempung Teraktivasi Asam. Jurnal Kimia (*Journal Of Chemistry*), Retrieved from <https://ojs.unud.ac.id/index.php/jchem/article/view/2697>.
- Suhendarwati, L., Suharto, B., & Susanawati, L. D. (2013). Pengaruh Konsentrasi Larutan Kalium Hidroksida pada Abu Dasar Ampas Tebu Teraktivasi. 1(1), 19-25.
- Tangio, Julhim S. (2013). Adsorpsi Logam Timbal (Pb) dengan Menggunakan Biomassa Enceng Gondok (*Eichorniacrassipes*). Jurnal Entropi. VIII(1).
- Triono, A. (2006). Karakteristik Briket Arang Dari Campuran Serbuk Gergajian Kayu Afrika (*Maesopsis Eminii Engl*) Dan Sengon (*Paraserianthes Falcataria L. Nielsen*) Dengan Penambahan Tempurung Kelapa (*Cocos Nucifera L*). Skripsi. Bogor: Universitas Institut Pertanian Bogor.
- U.S. Geological Survey, (2021), *Measurement of pH: U.S. Geological Survey Techniques and Methods*, book 9, chap. A6.4, 21 p., <https://doi.org/10.3133/tm9A6.4>. [Supersedes *USGS Techniques of Water-Resources Investigations*, book 9, chap. A6.4, version 2.0.]
- Verayana, M., Papatungan, H., & Iyabu, H. (2018). Pengaruh Aktivator HCl dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> terhadap Karakteristik (Morfologi Pori) Arang Aktif Tempurung Kelapa serta Uji Adsorpsi pada Logam Timbal (Pb). *Jambura Journal of Educational Chemistry*, vol. 13, no. 1, 15 Feb. 2018, pp. 67-75.
- Vilardi, G., Di Palma, L., & Verdone, N. (2017). *Heavy metals adsorption by banana peels micro-powder. Equilibrium modeling by non-linear models. Chinese Journal of Chemical Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2017.06.026>
- Waji, Yosef Asrat. (2018). *Bamboo Based Activated Carbon For Removal Of Lead From Aqueous Solution. Thesis. Ethiopia Addis Ababa Science and Technology University*.
- Widjaja, E.A. (2001). Identikit jenis-jenis bambu di Jawa. Bogor: Puslitbang-Biologi-LIPI.
- Wise, L.E. (1944). *Wood chemistry. New York: Reinhold Publisher Corporation*.
- Wu, W., Liu, Q., Zhu, Z., & Shen, Y. (2015). *Managing Bamboo for Carbon Sequestration, Bamboo Stem and Bamboo Shoots. Small-scale Forestry*, 14. <https://doi.org/10.1007/s11842-014-9284-4>





Wulandari, F. T., Ni, Ety, P., Dewi, L., Kehutanan, J., Pertanian, F., & Mataram, U. (2022). Karakteristik Batang dan Sifat Fisika Bambu Tali (*Gigantochloa apus* (Bi. Ex Schult.)

*Kurz*) di Kawasan HKm Desa Aik Bual, Kabupaten Lombok Barat, Indonesia. Daun: Jurnal Ilmiah Pertanian Dan Kehutanan, 9(1), 12–23.

<https://doi.org/10.33084/DAUN.V9I1.3467>

Yahya, M., Mansor, M., Zolkarnaini, W., Rusli, N., Aminuddin, A., Mohamad, K., Sabhan, F., Atik, A., & Ozair, L. (2018). *A brief review on activated carbon derived from agriculture by-product. Dalam AIP Conference Proceedings* (Vol. 1972).

<https://doi.org/10.1063/1.5041244>.



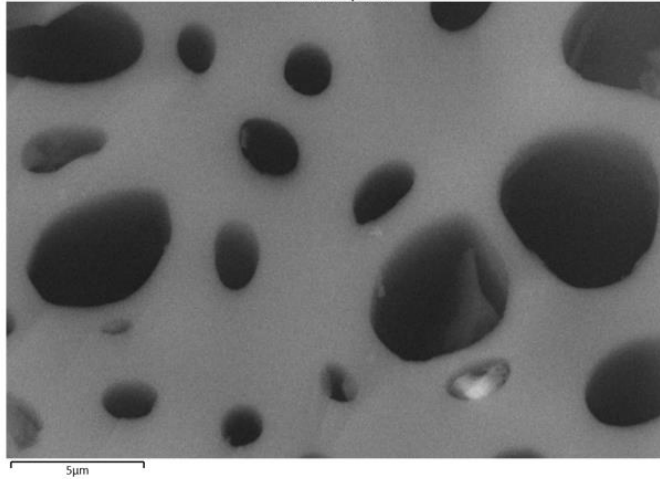
# LAMPIRAN

## Lampiran 1 Data Hasil Pengujian SEM- EDS Karbon Aktif Bambu Ampel Sebelum Adsorpsi

09032023

4/11/2023

Bambu Ampel HCl

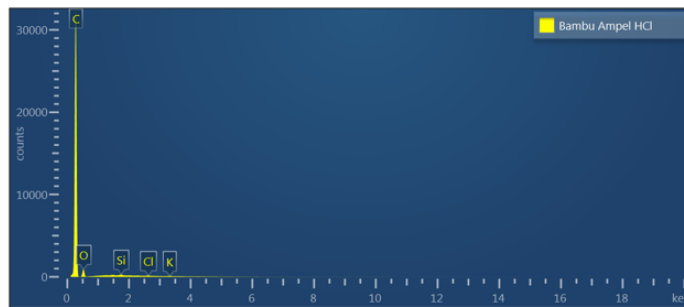


5µm

OXFORD  
INSTRUMENTS  
The Business of Science®

09032023

4/11/2023



Element	Line Type	Weight %	Weight % Sigma	Atomic %
C	K series	89.93	0.20	92.33
Si	K series	0.10	0.01	0.04
Cl	K series	0.07	0.01	0.02
O	K series	9.85	0.20	7.59
K	K series	0.05	0.01	0.02
Total		100.00		100.00

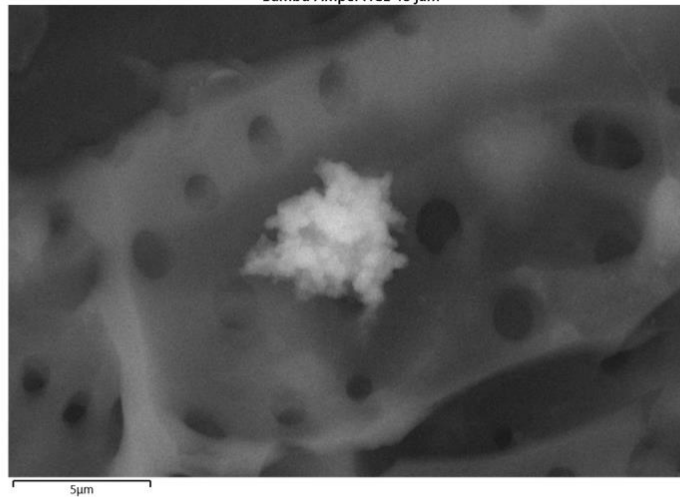
OXFORD  
INSTRUMENTS  
The Business of Science®

Lampiran 2 Data Hasil Pengujian SEM- EDS Karbon Aktif Bambu Ampel Setelah Adsorpsi

09032023

4/11/2023

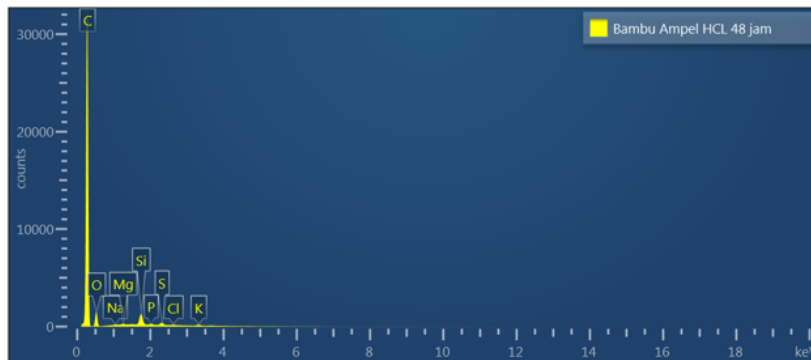
Bambu Ampel HCL 48 jam



OXFORD INSTRUMENTS  
The Business of Science®

09032023

4/11/2023



Element	Line Type	Weight %	Weight % sigma	Atomic %
P	K series	0,11	0,01	0,04
Si	K series	0,05	0,02	0,37
C	K series	81,13	0,19	89,73
O	K series	17,26	0,18	9,64
K	K series	0,80	0,01	0,05
S	K series	0,19	0,01	0,09
Mg	K series	0,09	0,01	0,04
Na	K series	0,29	0,02	0,02
Cl	K series	0,08	0,01	0,03
Total		100,00		100,00

OXFORD INSTRUMENTS  
The Business of Science®

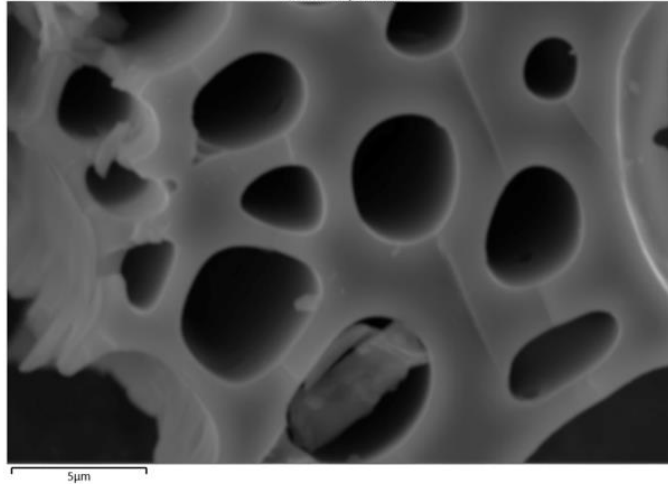


Lampiran 3 Data Hasil Pengujian SEM- EDS Karbon Aktif Bamboo Sebelum Adsorpsi

09032023

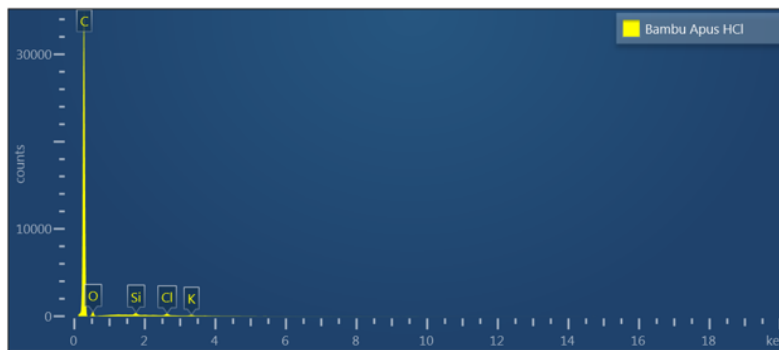
4/11/2023

Bambu Apus HCl



09032023

4/11/2023



Bambu Apus HCl				
Element	Line Type	Weight %	Weight % Sigma	Atomic %
C	K series	93.85	0.17	95.55
Si	K series	0.20	0.01	0.09
Cl	K series	0.27	0.01	0.09
O	K series	5.52	0.16	4.22
K	K series	0.15	0.01	0.05
Total		100.00		100.00

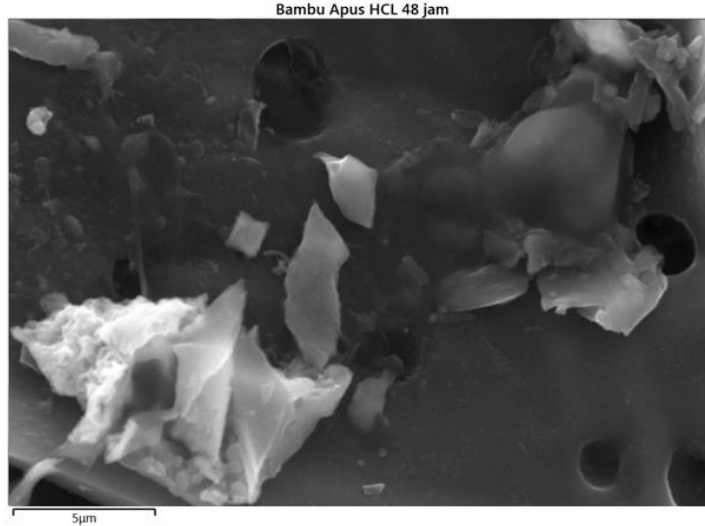




Lampiran 4 Data Hasil Pengujian SEM- EDS Karbon Aktif Bambu Apus Setelah Adsorpsi

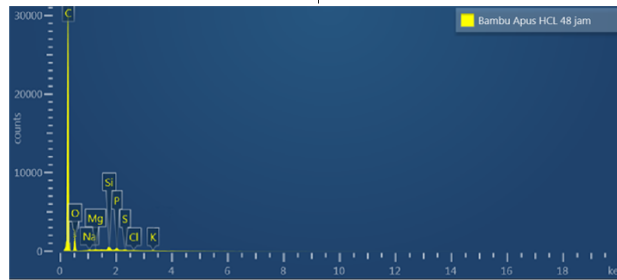
09032023

5/9/2023



09032023

5/9/2023



Bambu Apus HCL 48 Jam Element	Line Type	Weight %	Weight % sigma	Atomic %
P	K series	0,10	0,01	0,09
Si	K series	0,83	0,01	0,07
C	K series	86,19	0,20	89,64
O	K series	12,33	0,20	9,90
K	K series	0,14	0,01	0,03
S	K series	0,24	0,01	0,03
Mg	K series	0,07	0,01	0,03
Na	K series	0,05	0,02	0,05
Cl	K series	0,05	0,01	0,01
Total		100,00		100,00

