

**TUGAS AKHIR - RE 184804**

**PEMANFAATAN CANGKANG INTI KELAPA SAWIT  
SEBAGAI ADSORBEN DALAM PENURUNAN  
KONSENTRASI LOGAM BERAT MERKURI (Hg)**

**ZANNUBA QOTRUNNADHA**

03211840000031

Dosen Pembimbing

**Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., Ph.D**

19711114 200312 2 001

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN**

Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



**TUGAS AKHIR - RE 184804**

**PEMANFAATAN CANGKANG INTI KELAPA SAWIT  
SEBAGAI ADSORBEN DALAM PENURUNAN  
KONSENTRASI LOGAM BERAT MERKURI (Hg)**

**ZANNUBA QOTRUNNADHA**

0321184000031

Dosen Pembimbing

**Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., Ph.D**

19711114 200312 2 001

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN**

Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



**FINAL PROJECT - RE 184804**

**UTILIZATION OF PALM KERNEL SHELL  
AS AN ADSORBENT IN REDUCING  
THE CONCENTRATION OF MERCURY (Hg)**

**ZANNUBA QOTRUNNADHA**

03211840000031

Advisor

**Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., Ph.D**

19711114 200312 2 001

**DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING**

Faculty of Civil, Planning, and Geo Engineering

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

## LEMBAR PENGESAHAN

### PEMANFAATAN CANGKANG INTI KELAPA SAWIT SEBAGAI ADSORBEN DALAM PENURUNAN KONSENTRASI LOGAM BERAT MERKURI (Hg)

#### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat  
Memperoleh gelar Sarjana Teknik pada  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh: ZANNUBA QOTRUNNADHA

NRP. 0321184000031

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., Ph.D.
2. Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, M.ScEs
3. Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., Ph.D.
4. Ir. Bowo Djoko Marsono, M.Eng

Pembimbing

Penguji

Penguji

Penguji





## PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang Bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Zannuba Qotrunnadhha / 03211840000031

Departemen : Teknik Lingkungan

Dosen Pembimbing / NIP : Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., Ph.D. /  
19711114 200312 2 001

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "Pemanfaatan Cangkang Inti Kelapa Sawit Sebagai Adsorben dalam Penurunan Konsentrasi Logam Berat Merkuri (Hg)" adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Mengetahui

Surabaya, Juli 2022

Dosen Pembimbing

Mahasiswa



(Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., Ph.D.)

NIP. 19711114 200312 2 001



(Zannuba Qotrunnadhha)

NRP. 03211840000031

## **PEMANFAATAN CANGKANG INTI KELAPA SAWIT SEBAGAI ADSORBEN DALAM PENURUNAN KADAR LOGAM BERAT MERKURI (Hg)**

**Nama Mahasiswa / NRP** : Zannuba Qotrunnadhha / 03211840000031  
**Departemen** : Teknik Lingkungan  
**Dosen Pembimbing** : Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., Ph.D.

### **ABSTRAK**

Pencemaran akibat logam berat merkuri sangat membahayakan manusia dan juga lingkungan. Pengolahan yang dapat dilakukan yaitu dengan metode adsorpsi. Penggunaan cangkang inti kelapa sawit sebagai alternatif adsorben karena berlimpahnya ketersediaan, didukung kemampuan adsorpsi yang baik, serta ramah lingkungan. Tujuan dari penelitian ini yaitu menganalisis karakteristik adsorben cangkang inti kelapa sawit sebelum dan setelah melalui proses aktivasi dan menganalisis kemampuan kapasitas adsorpsi logam Hg dari cangkang kelapa sawit. Dengan variasi dua jenis aktivator ( $H_3PO_4$  dan NaOH), variasi ukuran adsorben (lolos ukuran 50 mesh dan 100 mesh) serta variasi waktu kontak (30 dan 60 menit).

Proses pemanfaatan cangkang inti kelapa sawit sebagai adsorben dimulai dengan proses karbonisasi dengan suhu  $650\text{ }^{\circ}\text{C}$  selama 2 jam, kemudian dihancurkan dan dilakukan pengayakan dengan lolos ukuran 50 mesh dan 100 mesh. Selanjutnya masuk kepada proses aktivasi, arang yang sudah dihasilkan dari proses karbonisasi direndam menggunakan NaOH 0,1 N dan  $H_3PO_4$  0,1 N selama 24 jam kemudian disaring. Hasil dari penyaringan dan penirisan adsorben selanjutnya dicuci dengan akuades dan dikeringkan dengan oven suhu  $105^{\circ}\text{C}$ . Tahap selanjutnya sampel larutan merkuri dengan konsentrasi 10 mg/L ditambahkan sebanyak 1 gram adsorben sesuai waktu kontak dan dilakukan penyaringan. Metode yang digunakan untuk menganalisis karakteristik cangkang inti kelapa sawit berdasarkan SNI Nomor 06-3730-95 meliputi kadar air, kadar abu, kadar zat terbang dan karbon tetap dan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Metode yang digunakan untuk mengukur kemampuan kapasitas adsorpsi logam Hg, hasil penyaringan (adsorbat) dilakukan pengukuran konsentrasi akhir menggunakan spektrofotometri serapan atom.

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah data karakteristik arang aktif cangkang inti kelapa sawit yang diaktivasi oleh  $H_3PO_4$  dan NaOH sesuai dengan SNI 06-3730-95. Karbon aktif teraktivasi  $H_3PO_4$  memiliki kadar air sebesar 10,1 – 12,0 %, kandungan kadar abu sebesar 6,2 – 7,9 %, kandungan kadar zat terbang sebesar 11,3 – 11,6 %, dan kandungan karbon tetapnya sebesar 70,2 – 70,8%. Untuk karbon aktif teraktivasi NaOH memiliki kadar air sebesar 9,5 – 11,4 %, kandungan kadar abu sebesar 5,8 – 7,6 %, kandungan kadar zat terbang sebesar 11,3 – 14, %, dan kandungan karbon tetapnya sebesar 68,8 – 71,6%. Sementara untuk karbon aktif tanpa perlakuan aktivasi kimia karakteristiknya belum memenuhi standar kualitas arang aktif karena nilai kadar abu, kadar zat terbang dan karbon tetapnya tidak sesuai dengan standar kualitasnya. Hasil yang juga diperoleh dari penelitian ini adalah kemampuan adsorpsi karbon aktif cangkang inti kelapa sawit teraktivasi  $H_3PO_4$  dan NaOH adalah sebesar 2,49 mg/g dengan efisiensi removal mencapai  $\pm 99,7\%$ . Untuk karbon aktif tanpa perlakuan aktivasi kimia, diperoleh kapasitas adsorpsinya sebesar 2,38 mg/g dengan efisiensi removal mencapai 95,3 % pada waktu kontak 60 menit dan ukuran adsorben 100 mesh.

**Kata Kunci:** Adsorpsi, Aktivasi, Cangkang inti kelapa sawit, Logam berat, Merkuri (Hg)

## UTILIZATION OF PALM KERNEL SHELL AS AN ADSORBENT IN REDUCING THE CONCENTRATION OF MERCURY (Hg)

**Student Name / NRP** : Zannuba Qotrunnadhha / 03211840000031  
**Department** : Teknik Lingkungan  
**Advisor** : Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., Ph.D

### ABSTRACT

Pollution due to heavy metals like mercury is very dangerous for humans and the environment. To subdue it, one of the things we can do is by using the adsorption method. The palm kernel shell as an alternative adsorbent is due to its abundant availability, supported by good adsorption capabilities, and is environmentally friendly. The purpose of this study was to analyze the characteristics of the oil palm kernel shell adsorbent before and after going through the activation process and to analyze the adsorption capacity of Hg metal from oil palm shells. With variations of two types of activators ( $H_3PO_4$  and NaOH), variations in the size of the adsorbent (passing the size of 50 mesh and 100 mesh), and variations in contact time (30 and 60 minutes).

The process of utilizing palm kernel shells as an adsorbent begins with the carbonization process at a temperature of 650 °C for 2 hours, followed by crushing and sifting to sizes of 50 mesh and 100 mesh. Next, in the activation process, the charcoal that has been produced from the carbonization process is soaked using 0.1 N NaOH and 0.1 N  $H_3PO_4$  for 24 hours and then filtered. The result of filtering and draining the adsorbent was then washed with distilled water and dried in an oven at 105°C. The mercury solution sample with a concentration of 10 mg/L is then added as much as 1 gram of adsorbent per contact time and filtered. The method used to analyze the characteristics of palm kernel shells based on SNI Number 06-3730-95 includes water content, ash content, volatile matter content, and fixed carbon and uses a Scanning Electron Microscope (SEM). The method used to measure the adsorption capacity of Hg metal, the filtered result (adsorbate) then being measured by atomic absorption spectrophotometry to obtain the final concentration.

The results obtained from this research are data on the characteristics of palm kernel shell activated carbon, those activated by  $H_3PO_4$  and NaOH are in accordance with SNI 06-3730-95. Activated carbon using  $H_3PO_4$  has a moisture content of 10.1 – 12.0%, an ash content of 6.2 – 7.9%, a volatile matter content of 11.3 – 11.6%, and a fixed carbon content of 70,2 – 70.8%. Activated carbon using NaOH has water content of 9.5 – 11.4%, ash content of 5.8 – 7.6%, and volatile matter content of 11.3 – 14. %, and fixed carbon content of 68,8 – 71.6%. Meanwhile, for activated carbon without chemical activation treatment, its characteristics do not meet the quality standards of activated charcoal because the values of ash content, volatile matter, and fixed carbon are not in accordance with the quality standards. The result also obtained from this research is the adsorption ability of activated carbon of palm kernel shell activated by  $H_3PO_4$  and NaOH is 2.49 mg/g with removal efficiency reaching  $\pm$  99.7%. The activated carbon without chemical activation treatment, the adsorption capacity was 2.38 mg/g with removal efficiency reaching 95.3% at contact time of 60 minutes and adsorbent size of 100 mesh.

**Keywords:** Adsorption, Activation, Palm kernel shell, Heavy metal, Mercury (Hg)

## KATA PENGANTAR

Segala Puji bagi Allah Subhanallah Wa Ta'ala. Rasa syukur penulis panjatkan karena atas rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "Pemanfaatan Cangkang Inti Kelapa Sawit Sebagai Adsorben dalam Penurunan Konsentrasi Logam Berat Merkuri (Hg). Dengan tersusunnya Tugas Akhir ini yang tidak terlepas atas saran, bantuan dan bimbingan pihak terkait, penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Ibu Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., Ph.D. sebagai dosen pembimbing Tugas Akhir.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, M.ScES. selaku dosen penguji pada ujian lisan Tugas Akhir.
3. Ibu Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., Ph.D. selaku dosen penguji pada ujian lisan Tugas Akhir.
4. Bapak Ir. Bowo Djoko Marsono, M.Eng. selaku dosen penguji pada ujian lisan Tugas Akhir.
5. Kedua Orang tua dan keluarga yang selalu memberikan semangat dan motivasi dalam menyelesaikan skripsi.
6. Seluruh pihak terkait yang memberikan kontribusi dalam penyelesaian skripsi ini baik secara langsung maupun tidak.

Akhir kata, penulis berharap Skripsi Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, Juli 2022

Penulis

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
ABSTRACT .....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI .....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL .....	vii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan Penelitian .....	2
1.4. Ruang Lingkup Penelitian.....	2
1.5. Manfaat Penelitian .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	4
2.1. Cangkang Kelapa Sawit .....	4
2.2. Pembuatan Karbon Aktif dan Proses Aktivasi.....	5
2.3. Adsorpsi .....	6
2.4 Logam Berat Merkuri.....	8
2.5 Penelitian Terdahulu .....	8
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	13
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian .....	13
3.2. Kerangka Tahapan Perencanaan Penelitian .....	13
3.3 Ide Penelitian.....	15
3.4 Perumusan Masalah dan Tujuan .....	15
3.5 Studi Literatur .....	15
3.6 Penentuan Variabel .....	15
3.7 Persiapan Alat dan Bahan .....	15
3.8 Pelaksanaan Penelitian .....	15
3.8.1 Proses Karbonisasi/Pengarangan Cangkang inti kelapa sawit .....	15
3.8.2 Proses Aktivasi.....	15
3.8.3 Uji Karakteristik Arang Aktif dan Uji <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM) .....	16
3.8.4 Pembuatan Larutan Logam Berat Merkuri.....	17
3.8.5 Penentuan Kapasitas Adsorpsi .....	17
3.9 Analisis Data Hasil Penelitian.....	18
3.9.1 Analisis Karakteristik Cangkang Inti Kelapa Sawit.....	18
3.9.2 Analisis Kemampuan Penyisihan Logam .....	18

3.10 Pembahasan .....	18
3.11 Penarikan Kesimpulan .....	18
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	19
4.1 Pembuatan Arang Aktif Cangkang Inti Kelapa Sawit .....	19
4.2 Pengujian Kualitas Arang Aktif Cangkang Inti Kelapa Sawit .....	19
4.2.1 Kadar Air .....	20
4.2.2 Kadar Abu.....	21
4.2.3. Zat Terbang.....	22
4.2.4. Karbon Tetap .....	22
4.3. Karakteristik Cangkang Inti Kelapa Sawit .....	23
4.4 Efektivitas Adsorpsi Karbon Aktif Cangkang Inti Kelapa Sawit Terhadap Penyerapan Logam Berat Merkuri (Hg).....	25
4.4.1 Pengaruh Variasi Waktu Kontak .....	25
4.4.2 Pengaruh Variasi Ukuran Adsorben dan Variasi Aktivator .....	26
4.5 Mekanisme Adsorpsi .....	27
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	28
5.1 Kesimpulan.....	28
5.2 Saran .....	28
DAFTAR PUSTAKA .....	29
LAMPIRAN.....	34

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Proses Pengolahan Kelapa Sawit.....	4
Gambar 2. 2 Cangkang inti kelapa sawit dalam buah sebelum proses pengolahan .....	5
Gambar 3. 1 Kerangka Rencana Penelitian.....	14
Gambar 3. 2 Penentuan Kapasitas Adsorpsi.....	17
Gambar 4. 1 Cangkang Kelapa Sawit Hasil Karbonisasi .....	19
Gambar 4. 2 Kadar Air Karbon Aktif.....	20
Gambar 4. 3 Kadar Abu Karbon Aktif .....	21
Gambar 4. 4 Kadar Zat Terbang Karbon Aktif .....	22
Gambar 4. 5 Karbon Tetap Karbon Aktif.....	23
Gambar 4. 6 Morfologi Karbon Aktif .....	24
Gambar 4. 7 Hubungan Waktu Kontak dengan Konsentrasi Terserap.....	25
Gambar 4. 8 Hubungan Efisiensi Penyerapan dengan Ukuran Adsorben.....	26
Gambar 4. 9 Hubungan Efisiensi Penyerapan dengan Ukuran Adsorben.....	26
Gambar 4. 10 Mekanisme Adsorpsi Ion Logam berat dengan Adsorben .....	27



## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Karakteristik Cangkang Inti Kelapa Sawit.....	5
Tabel 2. 2 Syarat Mutu Arang Aktif.....	6
Tabel 2. 3 Perbandingan Metode Removal Logam Berat Merkuri .....	8
Tabel 2. 4 Penelitian Adsorpsi Logam Berat Menggunakan Cangkang Inti Kelapa Sawit.....	9
Tabel 2. 5 Penelitian Adsorpsi Logam Berat Merkuri.....	12
Tabel 4. 1 Hasil Analisa Mutu Karbon Aktif dari Cangkang Inti Kelapa Sawit.....	20
Tabel 4. 2 Efektivitas Adsorpsi Karbon Aktif Cangkang Inti Kelapa Sawit.....	25
Tabel Lampiran III. 1 Data Kadar Air Karbon Aktif Uji Pertama .....	38
Tabel Lampiran III. 2 Data Kadar Air Karbon Aktif Uji Kedua.....	38
Tabel Lampiran III. 3 Data Kadar Air Karbon Aktif Uji Ketiga.....	38
Tabel Lampiran III. 4 Data Kadar Air Karbon Aktif Rata-rata.....	38
Tabel Lampiran III. 5 Data Kadar Abu Karbon Aktif Uji Pertama.....	39
Tabel Lampiran III. 6 Data Kadar Abu Karbon Aktif Uji Kedua .....	39
Tabel Lampiran III. 7 Data Kadar Abu Karbon Aktif Uji Ketiga .....	39
Tabel Lampiran III. 8 Data Kadar Abu Karbon Aktif Rata-rata .....	40
Tabel Lampiran III. 9 Data Kadar Zat Terbang Karbon Aktif Uji Pertama.....	40
Tabel Lampiran III. 10 Data Kadar Zat Terbang Karbon Aktif Uji kedua .....	40
Tabel Lampiran III. 11 Data Kadar Zat Terbang Karbon Aktif Ketiga .....	41
Tabel Lampiran III. 12 Data Kadar Zat Terbang Karbon Aktif Rata-rata .....	41
Tabel Lampiran III. 13 Data Kadar Karbon Tetap pada Karbon Aktif.....	42
Tabel Lampiran IV. 1 Data Efektivitas Karbon Aktif Pengujian Pertama.....	43
Tabel Lampiran IV. 2 Data Efektivitas Karbon Aktif Pengujian Kedua .....	43
Tabel Lampiran IV. 3 Data Efektivitas Karbon Aktif Pengujian Rata-rata .....	44

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1. Latar Belakang

Pencemaran logam berat telah menjadi salah satu masalah yang paling serius saat ini. Pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh logam berat yang berasal dari berbagai kegiatan industri telah banyak menimbulkan dampak yang sangat berbahaya terhadap lingkungan dan ekosistem. Salah satu jenis logam berat yang sangat beracun adalah merkuri. Merkuri akan berdampak negatif bagi kesehatan bila dikonsumsi karena dapat bergabung dengan enzim yang menyebabkan hilangnya kemampuan enzim sebagai katalis dalam tubuh manusia. Jumlah merkuri yang terakumulasi dalam jumlah yang signifikan pada manusia harus diwaspadai karena dapat menyebabkan efek kesehatan yang sangat merugikan (Kabiri *et al.*, 2016). Menurut Adhani dan Husaini (2017) keracunan Hg yang akut dapat menyebabkan terjadinya kerusakan saluran pencernaan, kegagalan ginjal akut maupun *shock*, menyebabkan gangguan kondisi sistem saraf, gangguan pendengaran, dan penurunan kecerdasan. Logam berat merkuri biasanya dijumpai pada limbah cair industri elektrokimia, elektroplating, pencucian komponen elektronika, kegiatan pertambangan, pelapisan logam, laboratorium dan air lindi dari tempat pembuangan akhir sampah.

Hal yang dapat dilakukan untuk meminimalisir ataupun menghilangkan pencemaran akibat logam berat merkuri agar memenuhi batas yang diizinkan berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, standar kandungan merkuri di dalam air kelas II yang peruntukannya sebagai prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanian yang aman adalah sebesar 0,002 mg/L, maka diantaranya terdapat alternatif proses seperti adsorpsi, filtrasi membran, pertukaran ion, reverse osmosis, ekstraksi pelarut, presipitasi kimia, dan koagulasi (Shafiq *et al.*, 2018). Salah satu teknik yang memiliki beberapa keunggulan dari pada metode lain adalah adsorpsi, karena pengolahannya yang relatif sederhana, tingkat efisiensinya relatif tinggi, efektif serta tidak memberikan dampak buruk terhadap lingkungan (Awad *et al.*, 2018). Adapun bahan yang berpotensi dapat digunakan sebagai alternatif adsorben logam berat merkuri di Indonesia yaitu cangkang inti kelapa sawit. Cangkang inti kelapa sawit merupakan limbah dari proses pengolahan minyak kelapa sawit yang berfungsi untuk melindungi isi atau kernel. Secara garis besar limbah cangkang inti kelapa sawit yang dihasilkan dari basis satu ton tandan buah segar kelapa sawit akan menghasilkan 5% - 9% atau 50 kg – 90 kg (Fricke, 2009). Berdasarkan Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (2012) kapasitas produksi rata-rata industri perkebunan kelapa sawit di Indonesia mencapai 30 ton TBS/jam. Selama ini penanganan terhadap cangkang inti kelapa sawit telah dimanfaatkan sebagai bahan tambahan dalam pembuatan beton (Gibigaye dan Godonou, 2017), bahan tambahan dalam produksi semen (Osei, 2013), pengembangan plastik polimer (Olumuyiwa *et al.*, 2012), sebagai arang aktif (Fuadi *et al.*, 2014), sebagai katalis dalam produksi biodiesel (Astuti *et al.*, 2020) bahan bakar tambahan untuk boiler pada industri kelapa sawit, bahan baku arang, serta di jual dalam bentuk cangkang kepada pihak pembeli.

Pemanfaatan cangkang inti kelapa sawit sebagai adsorben logam berat kadmium telah dilakukan penelitian oleh Faisal *et al* (2019) dengan proses aktivasi menggunakan bahan kimia NaOH 0,1 N direndam selama 24 jam, digunakan 1 gram adsorben. Hasil menunjukkan bahwa kapasitas maksimum adsorpsi karbon aktif cangkang inti kelapa sawit terhadap logam berat Cd pada waktu kontak 30 menit mencapai 93% dengan konsentrasi 30 ppm dan mencapai 96% dengan konsentrasi 60 ppm. Penelitian yang dilakukan oleh Baby *et al* (2021) juga menunjukkan bahwa cangkang inti kelapa sawit dengan proses aktivasi menggunakan

H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, konsentrasi larutan logam 40 mg/L dalam 100 ml dan dosis yang ditambahkan sebanyak 0,25 gram dapat mengadsorpsi Cr<sup>6+</sup> & Pb<sup>2+</sup> diperoleh kapasitas adsorpsi sebesar 40 mg/g, dengan waktu kontak 30 menit dan 60 menit. Untuk mengadsorpsi Cd<sup>2+</sup> & Zn<sup>2+</sup> diperoleh kapasitas adsorpsi sebesar 38 mg/g dan 37 mg/g dengan waktu kontak 120 menit. Penelitian oleh Faisal *et al* (2019) memperlihatkan adanya pengaruh waktu kontak dan konsentrasi logam berat Cd sedangkan penelitian Baby *et al* (2021) menunjukkan pengaruh dosis adsorben yang ditambahkan, konsentrasi logam dan waktu kontak terhadap kemampuan adsorpsi dari cangkang inti kelapa sawit. Penelitian lainnya yang dilakukan oleh Najmia *et al* (2021) juga menunjukkan bahwa cangkang inti kelapa sawit dengan proses aktivasi menggunakan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, waktu kontak 120 menit, kecepatan pengadukan 100 rpm, dan dosis optimum adsorben yang ditambahkan 20 gram untuk konsentrasi logam berat Mn 3,794 mg/L dan Fe 5,265 mg/L dosis optimum adsorben yang ditambahkan 30 gram. Untuk penelitian terhadap adsorpsi logam berat merkuri menggunakan tempurung kelapa sebagai adsorben yang dilakukan oleh Hasan dan Derlean (2015) dengan proses aktivasi menggunakan ZnCl<sub>2</sub>, waktu kontak optimum 60 menit, konsentrasi awal 2,485 ppm, menunjukkan hasil konsentrasi akhir adsorpsi merkuri menjadi 0,0148 ppm sehingga efisiensi penurunan yang didapatkan 99,4%. Berdasarkan penelitian Nyamful *et al* (2020) hasil dari uji karakteristik tempurung kelapa dengan tempurung kelapa sawit memiliki banyak kemiripan. Adapun perbedaan yang cukup berbeda yaitu pada kadar abu (*ash content*), kelembapan (*moisture content*) dan konduktivitas elektrik.

Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan tersebut, adanya potensi dari pemanfaatan limbah cangkang inti kelapa sawit sebagai adsorben logam berat merkuri, maka perlu dilakukan penelitian terkait pemanfaatan cangkang inti kelapa sawit sebagai adsorben logam berat merkuri dengan mempertimbangkan jenis aktivator yang digunakan, variasi dosis adsorben yang ditambahkan dan variasi waktu kontak, sehingga dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik dan kapasitas adsorpsi dari cangkang inti kelapa sawit.

## 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, didapatkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik adsorben cangkang inti kelapa sawit sebelum dan setelah melalui proses aktivasi menggunakan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dan NaOH?
2. Bagaimana kemampuan kapasitas adsorpsi logam merkuri dari cangkang inti kelapa sawit berdasarkan perbedaan jenis aktivator, waktu kontak dan ukuran adsorben?

## 1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis karakteristik adsorben cangkang inti kelapa sawit sebelum dan setelah melalui proses aktivasi menggunakan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dan NaOH.
2. Menganalisis kemampuan kapasitas adsorpsi logam merkuri dari cangkang inti kelapa sawit berdasarkan perbedaan jenis aktivator, waktu kontak dan ukuran adsorben.

## 1.4. Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium dengan sistem *batch*.
2. Pelaksanaan penelitian dilakukan di Laboratorium Remediasi Lingkungan, Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
3. Jenis adsorben yang digunakan pada penelitian ini yaitu cangkang inti kelapa sawit.
4. Air sampel yang digunakan berupa sampel buatan yang mengandung Hg<sup>2+</sup>.

5. Variabel pada penelitian ini berupa variasi jenis aktivator menggunakan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  dan  $\text{NaOH}$ . Variasi ukuran adsorben dengan lolos ukuran 50 mesh dan 100 mesh. Variasi waktu kontak selama 30 menit dan 60 menit.

### **1.5. Manfaat Penelitian**

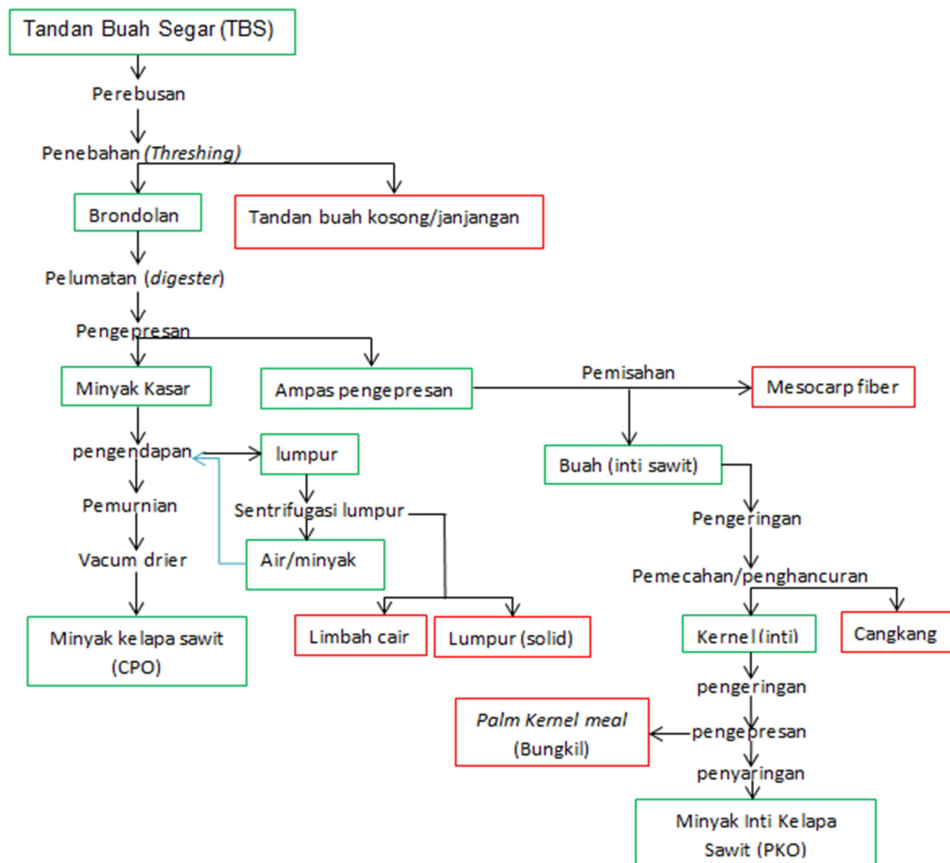
Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini berupa:

1. Memberikan informasi mengenai pemanfaatan cangkang inti kelapa sawit sebagai adsorben alternatif
2. Memberikan informasi terkait karakteristik arang aktif cangkang inti kelapa sawit berdasarkan perbedaan jenis aktivator
3. Memberikan informasi mengenai kapasitas adsorpsi cangkang inti kelapa sawit terhadap logam berat merkuri.

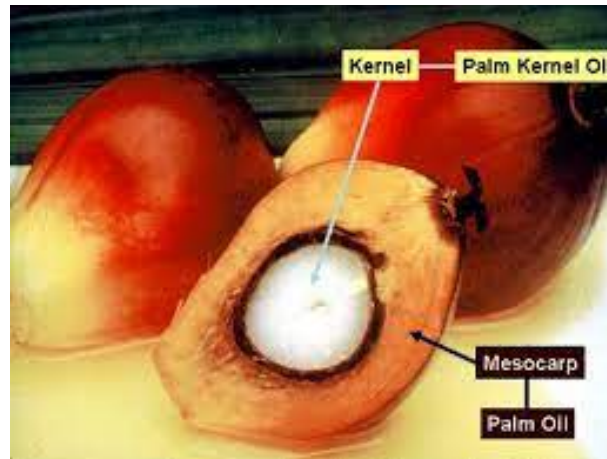
## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Cangkang Kelapa Sawit

Cangkang inti kelapa sawit adalah salah satu dari limbah pengolahan minyak kelapa sawit yang merupakan bagian keras yang terdapat pada buah kelapa sawit yang berfungsi untuk melindungi isi atau kernel. Kandungan dari cangkang inti kelapa sawit adalah selulosa sebesar 45% dan hemiselulosa sebesar 26% (Rasmawan, 2009 dalam Vasdzara *et al.*, 2018). Cangkang inti kelapa sawit diperoleh setelah proses pengolahan inti sawit (Gambar 2.1). Secara garis besar limbah cangkang inti kelapa sawit yang dihasilkan dari basis satu ton tandan buah segar kelapa sawit akan menghasilkan 5% - 9% atau 50 kg – 90 kg (Fricke, 2009). Saat ini penanganan terhadap cangkang inti kelapa sawit telah dimanfaatkan sebagai bahan tambahan dalam pembuatan beton (Gibigaye dan Godonou, 2017), bahan tambahan dalam produksi semen (Osei, 2013), pengembangan plastik polimer (Olumuyiwa *et al.*, 2012), sebagai arang aktif (Fuadi *et al.*, 2014), sebagai katalis dalam produksi biodiesel (Astuti *et al.*, 2020), bahan tambahan pengeras jalan, bahan bakar tambahan untuk boiler pada industri kelapa sawit, bahan baku arang, serta di jual dalam bentuk cangkang kepada pihak pembeli. Bentuk dan bagian dari cangkang inti kelapa sawit dapat dilihat pada Gambar 2. 2 berikut.



**Gambar 2. 1** Proses Pengolahan Kelapa Sawit  
Sumber: Hambali dan Rivai, 2017



**Gambar 2. 2** Cangkang inti kelapa sawit dalam buah sebelum proses pengolahan  
 PSumber: Dinas Perkebunan dan Peternakan Kabupaten Paser (2022).  
<https://disbunak.paserkab.go.id/detailpost/kegunaan-kernel-sawit>

Bagian *mesocarp* merupakan serabut atau serat buah yang mengandung banyak minyak dan bagian inti dengan warna putih yang terletak didalam buah kelapa sawit yang dilindungi oleh cangkang inti kelapa sawit berwarna kecoklatan yang terletak diantara *mesocarp* dan inti. Untuk karakteristik yang terdapat pada cangkang inti kelapa sawit, dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

**Tabel 2. 1** Karakteristik Cangkang Inti Kelapa Sawit

No	Uraian	%
1	Karbon	46,6
2	Oksigen	46,3
3	Hidrogen	5,6
4	Nitrogen	1,5
5	Sulfur	0

Sumber: Fuadi *et al.*, 2014

## 2.2. Pembuatan Karbon Aktif dan Proses Aktivasi

Arang aktif atau dapat disebut juga karbon aktif adalah suatu bahan hasil proses pirolisis arang pada suhu 600 – 900 °C (Harsanti *et al.*, 2011). Arang aktif adalah arang yang telah mengalami proses aktivasi untuk meningkatkan luas permukaan pori-pori sehingga daya adsorpsi dapat ditingkatkan (Koto *et al.*, 2019). Berdasarkan Michaelis dan Loraine (2005) karbon aktif memiliki luas permukaan sebesar 300 – 2000 m<sup>2</sup>/g. Ukuran partikel dari karbon aktif dengan bentuk serbuk (*Powdered Activated Carbon*) adalah < 0,188 mm dan ukuran partikel karbon aktif berbentuk butiran (*Granular Activated Carbon*) adalah sebesar 0,2 – 5 mm (Yihang, 2022). Berdasarkan Danarto dan Samun (2008) terdapat 3 tahapan dalam proses pembuatan karbon aktif adalah sebagai berikut:

1. Tahap dehidrasi

Pada tahapan ini bertujuan untuk menghilangkan kandungan air dilakukan dengan cara memanaskan bahan baku sampai suhu 100 °C.

2. Karbonisasi

Proses pengarangan atau karbonisasi dapat dilakukan dengan menggunakan furnace, terdapat kelebihan jika karbonisasi dilakukan dengan menggunakan furnace yaitu kondisi suhu pembakaran dapat dikontrol. Dari proses karbonisasi akan menghasilkan

tiga komponen utama, yaitu berupa karbon (arang), tar, dan gas CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, dan lain-lain (Danarto dan Samun, 2008). Dalam Proses karbonisasi terjadi empat tahap, menurut Sudrajat dan Salim (1994) dalam Kurniati (2008) diantaranya:

- Pada suhu 100 – 120 °C akan terjadi proses penguapan air, hingga sampai pada suhu 270 °C mulai terjadi peruraian selulosa.
- Pada suhu 270 – 310 °C proses reaksi eksoterm berlangsung dimana terjadi penguraian selulosa secara intensif menjadi larutan pirolignat, gas kayu dan sedikit tar.
- Pada suhu 310 – 500 °C terjadi proses penguraian lignin. Pada tahap ini dihasilkan lebih banyak tar sedangkan larutan pirolignat menurun, gas CO<sub>2</sub> menurun sedangkan gas CO, CH<sub>4</sub> dan H<sub>2</sub> meningkat.
- Pada suhu 500-1000 °C terjadi tahap pemurnian arang atau kadar karbon.

### 3. Proses aktivasi

Proses aktivasi dilakukan terhadap arang bertujuan untuk memperbesar pori, proses ini terjadi dengan cara memecahkan ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul-molekul permukaan. Ketika pori membesar dan luas permukaannya bertambah besar, hal ini akan berpengaruh terhadap daya adsorpsi (Jamilatun dan Setyawan, 2014). Faktor yang mempengaruhi proses aktivasi adalah waktu perendaman, dimana proses perendaman terhadap adsorben berfungsi untuk menghilangkan atau membatasi pembentukan lignin, jika adanya lignin akan dapat terjadi pembentukan tar. Konsentrasi aktivator juga menjadi faktor dalam proses aktivasi, semakin tingginya konsentrasi larutan kimia maka semakin kuat pengaruh larutan tersebut untuk mengikat senyawa-senyawa tar yang tersisa dari proses karbonisasi, sehingga permukaan karbon semakin porous yang menjadikan daya adsorpsi karbon aktif semakin besar (Koto *et al.*, 2019). Secara umum aktivasi dilakukan secara kimia dengan menambahkan senyawa kimia tertentu pada arang. H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, NaOH, ZnCl<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>Cl dan KOH merupakan senyawa kimia yang digunakan sebagai bahan pengaktif pada cangkang inti kelapa sawit. Jenis dan konsentrasi aktivator pada proses aktivasi secara kimia menjadi hal penting karena akan mempengaruhi karakteristik karbon aktif (Olivia, 2015). Pada penelitian ini dipilih aktivator H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dan NaOH karena dipertimbangkan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dan NaOH telah banyak digunakan sebagai aktivator cangkang inti kelapa sawit sebagai adsorben logam berat, dari hasil penelitian menunjukkan karakteristik yang memenuhi standar dan memiliki efisiensi penyisihan logam berat yang baik. Syarat mutu karbon aktif sesuai SNI Nomor 06-3730-1995 dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut.

**Tabel 2. 2** Syarat Mutu Arang Aktif

Parameter	Satuan	Baku Mutu
Kadar air	%	15
Kadar abu	%	10
Zat terbang ( <i>Volatile-matter</i> )	%	25
Karbon tetap ( <i>Fix-carbon</i> )	%	65

Sumber: SNI No.06-3730-1995

### 2.3. Adsorpsi

Proses adsorpsi merupakan sebuah peristiwa penyerapan suatu substansi pada permukaan zat padat yang disebut adsorben dan fase teradsorpsi disebut adsorbat. Terdapat perbedaan adsorpsi, yaitu adsorpsi fisika merupakan suatu proses interaksi antara adsorben dengan



adsorbatnya. Proses ini melibatkan gaya-gaya antar molekul seperti gaya Van der Waals, sedangkan untuk adsorpsi kimia terjadi ketika adanya interaksi adsorben dan adsorbat sehingga terjadi pembentukan ikatan kimia (Koto *et al.*, 2019). Menurut Perwitasari (2021), faktor-faktor yang akan mempengaruhi dari proses adsorpsi secara umum dijelaskan sebagai berikut:

1. Luas permukaan  
Luas permukaan pada karbon aktif yang semakin luas maka akan mendukung semakin banyaknya zat yang teradsorpsi.
2. Jenis adsorbat  
Hal ini berkaitan dengan polarisabilitas adsorbat yang akan meningkatkan kemampuan adsorpsi. Molekul yang mempunyai polarisabilitas yang tinggi (polar) memiliki kemampuan tarik menarik terhadap molekul lain dibandingkan molekul yang tidak dapat membentuk dipol (nonpolar).
3. Konsentrasi adsorbat  
Adsorbat yang memiliki konsentrasi yang besar dalam larutan maka akan semakin banyak jumlah substansi yang terkumpul pada permukaan adsorbennya.
4. pH  
kondisi pH pada larutan adsorbat akan mempengaruhi kelarutan ion logam, aktivitas gugus fungsi pada biosorben dan kompetisi ion logam dalam proses adsorpsi. Pada umumnya dalam kondisi pH yang netral (pH=7) dapat diperoleh kerja yang maksimal dari gugus fungsi dalam adsorbennya karena tidak terjadi kompetisi kation. Namun untuk dapat mengetahui pH optimum dari jenis adsorbat yang berbeda, perlu dilakukan pengujian di laboratorium.
5. Kecepatan pengadukan  
Penentuan kecepatan pengadukan adsorben dan adsorbatnya sangat penting karena jika kondisi pengadukan terlalu lambat maka proses adsorpsi berlangsung lambat pula, namun jika kondisi pengadukan terlalu cepat kemungkinan juga dapat merusak struktur adsorben sehingga proses adsorpsi kurang optimal.
6. Waktu kontak  
Menentukan waktu kontak yang akan menghasilkan kapasitas adsorpsi maksimum perlu dilakukan untuk mengetahui waktu kesetimbangannya. Dimana semakin lama waktu kontak adsorben dengan adsorbatnya maka akan terjadi penyerapan yang lebih optimal. Namun untuk waktu kontak yang diperlukan dari berbagai jenis adsorben dan jenis adsorbatnya perlu dilakukan pengujian di laboratorium.
7. Kandungan senyawa lain dalam adsorbat  
Terdapatnya zat lain yang terkandung di dalam adsorbat akan mempengaruhi proses adsorpsinya, karena akan terjadi kompetisi proses penyerapan dalam adsorbennya.

Proses adsorpsi dapat dilakukan dengan menggunakan sistem *batch* dan sistem kolom (Murdika, 2009). Pada sistem *batch* dapat dilakukan dengan mencampurkan adsorben pada larutan yang tetap jumlahnya, pada rentang waktu kontak tertentu. Namun perlakuan yang dilakukan pada sistem kolom yaitu dengan cara larutan dikontakkan dengan adsorben sehingga dapat mengadsorpsi dengan optimal hingga terjadi kondisi jenuh yang ditandai dengan kemampuan adsorpsi berkurang atau nilai konsentrasi effluen mendekati konsentrasi influen (larutan awal). Perbandingan penggunaan antara sistem kolom dengan sistem *batch* adalah pada umumnya sistem kolom memiliki kapasitas lebih besar dibandingkan dengan sistem *batch*, sistem ini dapat diaplikasikan dalam skala besar, sedangkan dengan jika dengan sistem *batch* kurang tepat jika diaplikasikan dalam dunia industri skala besar.

## 2.4 Logam Berat Merkuri

Merkuri (Hg) merupakan merupakan salah satu logam berat yang paling beracun, banyak digunakan berbagai kegiatan dalam proses industri maupun pertambangan. Merkuri mempunyai titik beku  $-38,87$  dan titik didih  $356,90$  °C serta berat jenis  $13,55$  gram/cm<sup>3</sup> (Banunaek, 2016). *Hydrargyrum* yang berarti cair merupakan nama kimia dari logam merkuri. Pada periodik unsur kimia Hg menempati urutan (NA) 80 dan mempunyai bobot atom (BA 200,59). Bahaya logam berat merkuri terhadap lingkungan dan manusia memberikan dampak yang serius. Keracunan merkuri disebut sebagai acrodynia atau penyakit pink. Adapun tanda-tanda awal jika tubuh keracunan merkuri organik mulai dari depresi, masalah daya ingat, tremor, kelelahan, sakit kepala, rambut rontok, dan lain-lain (Hasan dan Derlean, 2015). Upaya pengendalian pencemaran logam berat dapat dilakukan dengan berbagai proses baik secara teknis maupun non-teknis agar tidak mencemari lingkungan dan sesuai dengan konsentrasi maksimum ion Hg (II) yang diizinkan oleh organisasi kesehatan dunia (WHO) dalam air limbah dan air minum masing-masing adalah  $5$  µg/L dan  $1$  µg/L (Li *et al.*, 2017). Dapat dilihat perbandingan metode penyisihan terhadap logam berat merkuri pada Tabel 2.3 berikut.

**Tabel 2. 3** Perbandingan Metode Removal Logam Berat Merkuri

Metode	Kelebihan	Kekurangan
Ion Exchange	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mempunyai kapasitas yang besar dalam pengolahan</li> <li>Efisiensi removal yang baik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Resin sintetis mahal</li> <li>Adanya produk limbah yang dihasilkan</li> <li>Selektivitas yang rendah</li> </ul>
Adsorpsi	<ul style="list-style-type: none"> <li>Biaya relatif rendah</li> <li>Kemampuan terhadap kapasitas pengikatan logam sangat baik</li> <li>Mudah dalam pengoprasiannya</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Adanya hasil limbah</li> <li>Selektivitas rendah</li> </ul>
Presipitasi kimia	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pengoprasian yang cukup mudah</li> <li>Biaya relatif rendah</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pengolahan terhadap lumpur yang dihasilkan membutuhkan biaya operasional tambahan</li> </ul>
Filtrasi	<ul style="list-style-type: none"> <li>Selektivitas pemisahan tinggi</li> <li>Tidak membutuhkan ruang kecil dan tekanan rendah</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fluks permeat rendah</li> <li>Prosesnya kompleks</li> <li>Pergantian membran rutin</li> </ul>
Flotasi	<ul style="list-style-type: none"> <li>Efisiensi removal terhadap logam berat sangat baik</li> <li>Lumpur yang dihasilkan lebih pekat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Membutuhkan biaya yang besar</li> </ul>

Sumber: Ghouti *et al.*, 2019

## 2.5 Penelitian Terdahulu

Penelitian terhadap kemampuan adsorben yang berasal dari cangkang inti kelapa sawit untuk menurunkan konsentrasi berbagai jenis logam berat didalam air telah dilakukan. Dalam Tabel 2.4 berikut merupakan penelitian terdahulu yang sudah dilakukan guna mengetahui efektivitas adsorpsinya. Penelitian terdahulu dapat digunakan sebagai referensi dalam proses penelitian ini.

**Tabel 2. 4 Penelitian Adsorpsi Logam Berat Menggunakan Cangkang Inti Kelapa Sawit**

No	Penelitian	Lingkup Penelitian	Hasil	Sumber
1	Pemanfaatan Arang Aktif Cangkang Kelapa Sawit Teraktivasi H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> untuk Penurunan Kadar Besi (Fe),Mangan (Mn) dan Kondisi pH pada Air Asam Tambang	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Melalui karbonisasi dan menggunakan aktivator H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 5% direndam selama 24 jam</li> <li>• Ukuran adsorben lolos ukuran 100 mesh</li> <li>• Konsentrasi sampel Mn 3,794 mg/l dan Fe 5,265 mg/l</li> <li>• Variasi dosis 5g, 10g, 20g, dan 30g pada setiap 500 ml air sample</li> <li>• Waktu kontak 120 menit</li> <li>• Kecepatan pengadukan 100 rpm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dosis optimum yang ditambahkan adalah sebesar 30 gram untuk adsorpsi Mn hingga konsentrasi akhir rata-rata menjadi 0,28 mg/l</li> <li>• Dan dosis optimum yang ditambahkan sebanyak 30 gram untuk adsorpsi Fe hingga konsentrasi akhir rata-rata menjadi 0,543 mg/l</li> </ul>	Najmia <i>et al.</i> , 2021
2	Functionalized Activated Carbon Derived from Palm Kernel Shells for the Treatment of Simulated Heavy Metal-Contaminated Water	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Melalui karbonisasi dan aktivasi dengan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> konsentrasi 5%, 10%, 20%, 30%, dan 40% selama 24 jam</li> <li>• Ukuran adsorben berupa serbuk</li> <li>• Konsentrasi larutan 40 mg/L dalam 100 ml</li> <li>• Dosis adsorben yang ditambahkan 0.25 g</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konsentrasi aktivator dengan hasil terbaik yaitu H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 20%</li> <li>• Kapasitas adsorpsi sebesar 38 mg/g pada waktu kontak 120 menit untuk Cd.</li> <li>• Pada waktu kontak 120 menit kapasitas adsorpsi sebesar 37 mg/g untuk logam Zn.</li> <li>• Kapasitas adsorpsi sebesar 40 mg/g pada waktu kontak 30 untuk Cr dan;</li> <li>• Kapasitas adsorpsi sebesar 40 mg/g pada 60 menit untuk Pb</li> </ul>	Baby <i>et al.</i> , 2021

No	Penelitian	Lingkup Penelitian	Hasil	Sumber
3	Chemically modified palm kernel shell biochar for the removal of heavy metals from aqueous solution	<ul style="list-style-type: none"> <li>Melalui karbonisasi dan aktivasi dengan NaOH 20% selama 2 jam</li> <li>Ukuran adsorben 0,1 – 1 mm</li> <li>Konsentrasi sampel 30 ppm dalam 25 mL</li> <li>Dosis yang ditambahkan 0,5 g</li> <li>Kecepatan pengadukan 200 rpm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Efisiensi removal untuk Cu sebesar 98.1% dengan waktu kontak 150 menit</li> <li>Efisiensi removal untuk Ni sebesar 97.1% dengan waktu kontak 60 menit</li> <li>Efisiensi removal untuk Ni sebesar Cr &lt; 40% 60 menit</li> </ul>	Shaukat <i>et al.</i> , 2021
4	Cadmium Adsorption Onto Naoh Activated Palm Kernel Shell Charcoal	<ul style="list-style-type: none"> <li>Melalui karbonisasi dan aktivasi NaOH 0,1 N selama 24 jam</li> <li>Ukuran adsorben: nanopartikel</li> <li>Dosis adsorben yang ditambahkan 1 gram</li> <li>Variasi waktu kontak 30, 60, 90, 120, 150, dan 180 menit</li> <li>Kecepatan pengadukan 100 dan 150 rpm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kapasitas maksimum adsorpsi terjadi pada 30 menit mencapai 93% pada konsentrasi 30 ppm pada 150 rpm</li> <li>Kapasitas maksimum adsorpsi kembali terjadi pada 60 menit mencapai 96% pada konsentrasi 60 ppm pada 150 rpm</li> </ul>	Faisal <i>et al.</i> , 2019
5	Study on Adsorption of Mercury from Aqueous Solution on Activated Carbons Prepared from Palm Kernel Shell	<ul style="list-style-type: none"> <li>Melalui karbonisasi dan aktivasi ZnCl<sub>2</sub> 1:10 selama 24 jam</li> <li>Waktu kontak 90 menit</li> <li>Dosis adsorben 2 g</li> <li>Konsentrasi sampel 10 mg/l</li> <li>Ukuran adsorben ≤ 1 mm</li> <li>Kecepatan pengadukan 200 rpm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kapasitas maksimum adsorpsi sebesar 22,98 mg/g dengan efisiensi removal mencapai 97,7%</li> </ul>	Abdullah <i>et al.</i> , 2018

No	Penelitian	Lingkup Penelitian	Hasil	Sumber
6	Cerium removal by activated carbon derived from palm kernel shell	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cangkang inti kelapa sawit di cuci dengan 5% asam nitrat dan dimasukkan kedalam oven</li> <li>• Diaktivasi dengan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (rasio 0,75:1)</li> <li>• 500 mL larutan Ce (500 ppb) ditambahkan 0,435 g NaNO<sub>3</sub> dan 0,250 mL larutan standar Ce (1000 ppm)</li> <li>• Dosis adsorben yang digunakan 0,4 gram</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efisiensi removal logam berat Ce sebesar 99,94% pada suhu aktivasi 500 – 600 °C</li> <li>• Luas permukaan terbaik pada karbon aktif dengan suhu aktivasi 600 °C yakni 622 m<sup>2</sup>/g berdasarkan uji BET</li> </ul>	Ooi <i>et al.</i> , 2017
7	Removal Of Pb <sup>2+</sup> and Cd <sup>2+</sup> Ions From Wastewaters Using Palm Kernel Shell Charcoal (PKSC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Melalui proses karbonisasi</li> <li>• Konsentrasi sampel PbNO<sub>3</sub> 100 ppm</li> <li>• Konsentrasi sampel CdCl<sub>2</sub> 100 ppm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efisiensi removal Cd mencapai 88% pada waktu kontak 60 menit dan dosis adsorben yang digunakan sebanyak 1 g</li> <li>• Efisiensi removal Pb 87% pada waktu kontak 60 menit dan dosis adsorben yang digunakan sebanyak 1 gram</li> <li>• Efisiensi meningkat menjadi 90% pada saat dosis adsorben digunakan sebanyak 3 gram dengan waktu kontak 40 menit</li> </ul>	Oluyemi <i>et al.</i> , 2012

Penelitian terhadap adsorpsi logam berat merkuri yang dilakukan dengan berbagai jenis adsorben telah dilakukan. Dalam Tabel 2.5 berikut merupakan penelitian terdahulu terhadap berbagai jenis adsorben yang digunakan.

**Tabel 2. 5** Penelitian Adsorpsi Logam Berat Merkuri

No	Jenis Adsorben	Lingkup Penelitian	Efisiensi/Kapasitas	Sumber
1	Karbon aktif sekam padi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diaktivasi KOH</li> <li>• pH 5</li> <li>• Konsentrasi larutan 8 mg/l</li> <li>• Dosis adsorben 0,02 gram</li> <li>• Kecepatan pengadukan 150 rpm</li> <li>• Waktu kontak 60 menit</li> </ul>	55,87 mg/g	Liu <i>et al.</i> , 2020
2	Karbon aktif bambu kuning	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diaktivasi NaOH</li> <li>• Suhu karbonisasi 500 °C</li> <li>• Ukuran adsorben 125-250 µm</li> <li>• Dosis adsorben 0,5 gram</li> <li>• Konsentrasi 50 mg/l</li> </ul>	218,08 mg/g	Mistar <i>et al.</i> , 2019
3	Karbon aktif cangkang inti kelapa sawit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suhu karbonisasi 400-800 °C selama 1 jam</li> <li>• Diaktivasi dengan ZnCl<sub>2</sub></li> <li>• Ukuran 1 mm</li> <li>• pH 6-7</li> <li>• Dosis adsorben 2 gram</li> <li>• Waktu kontak 90 menit</li> <li>• Konsentrasi 10 mg/l</li> <li>• Kecepatan pengadukan 200 rpm</li> </ul>	97,7 %	Abdullah <i>et al.</i> , 2018
4	Karbon aktif tempurung kelapa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ukuran adsorben 0,0075 – 0,5 mm</li> <li>• Kecepatan pengadukan 150 rpm</li> <li>• pH 6</li> <li>• Waktu kontak 90 menit</li> <li>• Teraktivasi CuCl</li> </ul>	90,9 %	Hai <i>et al.</i> , 2013
5	Karbon aktif cangkang biji mangga	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Teraktivasi ZnCl<sub>2</sub></li> <li>• Dosis adsorben 3 gram</li> <li>• Konsentrasi 10 mg/l</li> <li>• pH 6,5</li> </ul>	92%	Somayajula <i>et al.</i> , 2012

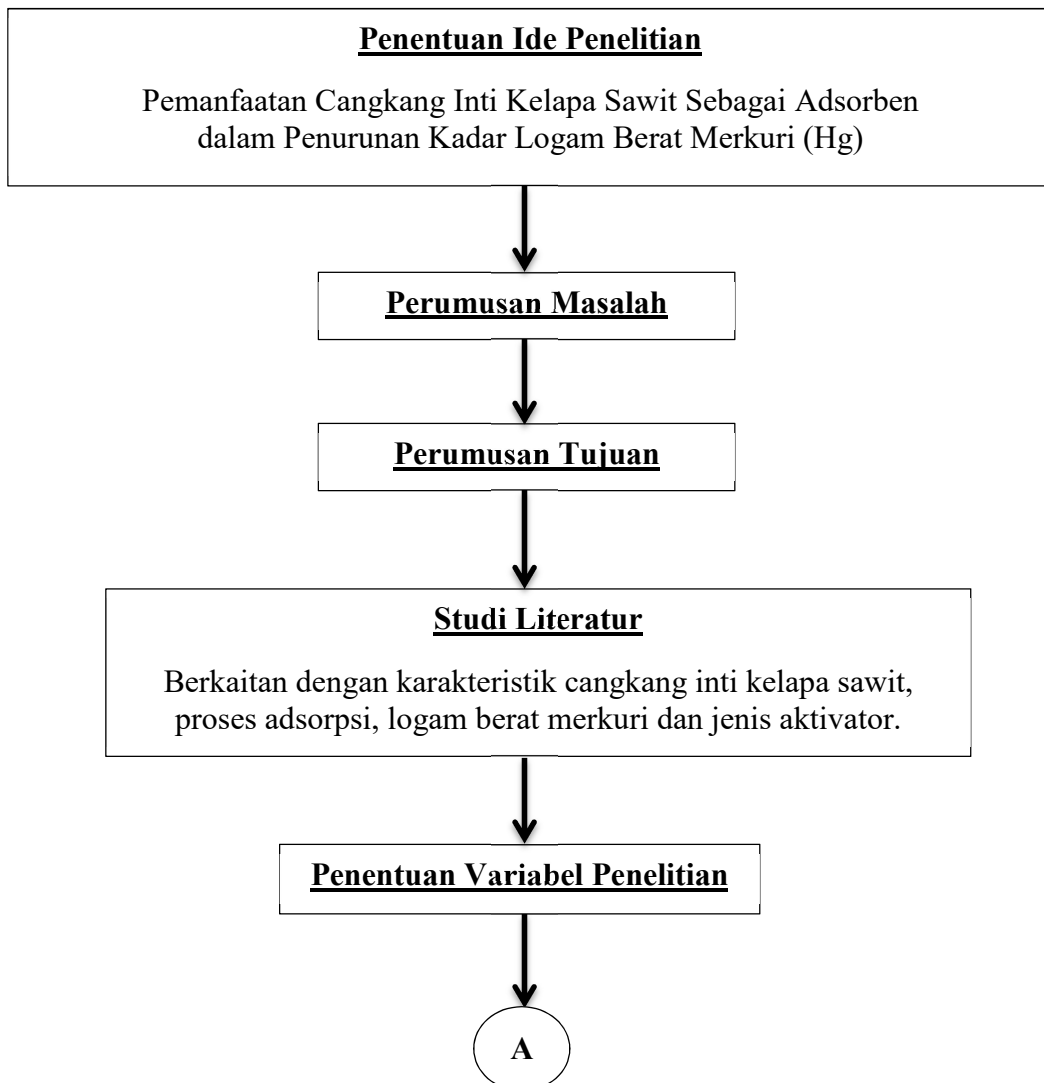
## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

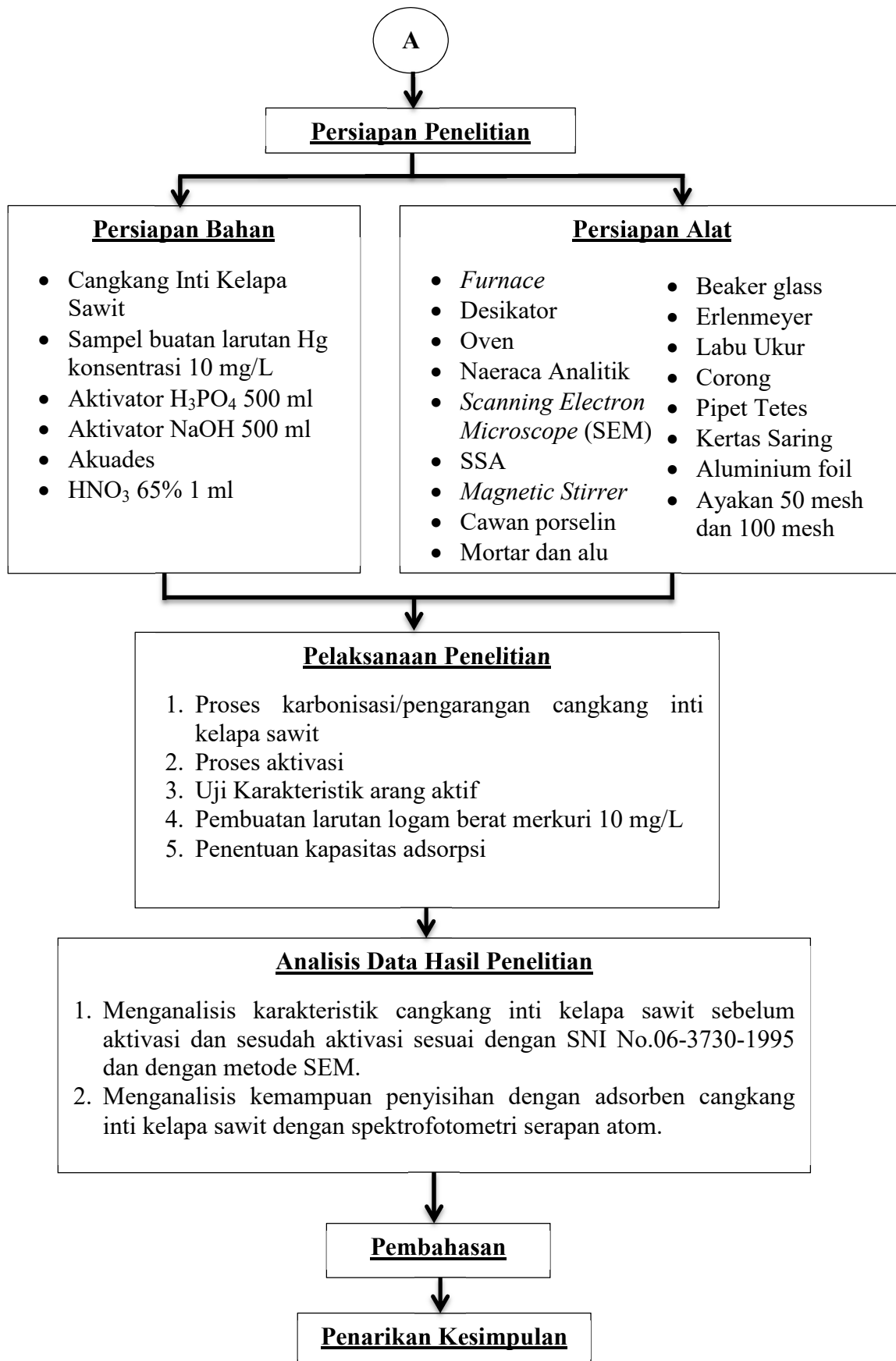
Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan Februari hingga bulan Juni. Tahap penelitian di laboratorium dilakukan selama dua bulan mulai dari bulan Februari hingga bulan April yang dilaksanakan di Laboratorium Remediasi Departemen Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

### 3.2. Kerangka Tahapan Perencanaan Penelitian

Kerangka tahapan perencanaan penelitian ini dimulai dengan tahap penentuan ide penelitian sampai dengan tahap penarikan kesimpulan. Penelitian yang akan dilakukan yaitu terkait dengan pemanfaatan limbah cangkang inti kelapa sawit sebagai adsorben logam berat merkuri dalam air. Diagram alir tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.







**Gambar 3. 1 Kerangka Rencana Penelitian**

### 3.3 Ide Penelitian

Ide pada penelitian ini adalah pemanfaatan cangkang inti kelapa sawit sebagai adsorben dalam penurunan kadar logam berat merkuri (Hg). Ide tersebut muncul berdasarkan hasil pengamatan lapangan terhadap produksi limbah cangkang kelapa sawit yang dihasilkan dari industri kelapa sawit cukup besar dan belum dimanfaatkan secara maksimal. Kemudian pencemaran logam merkuri yang ada di perairan juga masih sering terjadi. Sehingga perlu adanya upaya penelitian terkait pemanfaatan cangkang inti kelapa sawit sebagai adsorben terkait dengan kemampuannya untuk menyisahkan logam merkuri dalam air.

### 3.4 Perumusan Masalah dan Tujuan

Perumusan masalah dan tujuan dari penelitian ini berdasarkan ide dan latar belakang penelitian yang telah didapatkan. Berdasarkan rumusan masalah, penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan hasil karakteristik cangkang inti kelapa sawit sebagai adsorben dan kemampuan cangkang inti kelapa sawit dalam menyisahkan logam berat merkuri.

### 3.5 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendukung dan menambah pengetahuan sebagai rujukan penelitian yang lebih mendalam terkait kemampuan cangkang inti kelapa sawit dalam menyisahkan logam berat merkuri dalam air. Sumber literatur yang digunakan dalam penelitian ini adalah jurnal, buku, peraturan perundangan, serta hasil penelitian yang sudah ada berkaitan dengan adsorpsi logam berat, pemanfaatan cangkang inti kelapa sawit, karakteristik dari cangkang inti kelapa sawit dan jenis-jenis aktivator kimia.

### 3.6 Penentuan Variabel

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah variasi jenis bahan aktivator menggunakan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  0,1 N dan  $\text{NaOH}$  0,1 N. Ukuran partikel adsorben menggunakan lolos ukuran 50 mesh dan 100 mesh. Untuk waktu kontak yang digunakan yaitu 30 menit, 60 menit. Konsentrasi dari larutan buatan mengandung merkuri sebesar 10 mg Hg/L. Dengan Massa adsorben yang ditambahkan yaitu 1 gram.

### 3.7 Persiapan Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain *furnace*, desikator, oven, neraca analitik, *Scanning Electron Microscope* (SEM), spektrofotometri serapan atom, *magnetic stirrer*, cawan porselin, *beaker glass*, erlenmeyer, labu ukur, corong, pipet tetes, kertas saring, aluminium foil, ayakan, alat penumbuk. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah cangkang inti kelapa sawit, sampel buatan larutan Hg konsentrasi 10 mg Hg/L, aktivator  $\text{H}_3\text{PO}_4$  0,1 N dan  $\text{NaOH}$  0,1 N sebanyak 500 ml,  $\text{HNO}_3$  sebanyak 1 ml dan akuades.

### 3.8 Pelaksanaan Penelitian

#### 3.8.1 Proses Karbonisasi/Pengarangan Cangkang inti kelapa sawit

Cangkang kelapa sawit terlebih dahulu dicuci bersih dengan akuades dan dijemur dibawah sinar matahari sampai kering (berat kosong). Kemudian dilakukan pengarangan menggunakan alat *furnace* pada suhu  $650^\circ\text{C}$  selama 2 jam (Najmia *et al.*, 2021). Selanjutnya arang dihaluskan dan dilakukan pengayakan dengan lolos ukuran 50 dan 100 mesh untuk mendapatkan ukuran partikel  $< 0,150 - 0,300$  mm.

#### 3.8.2 Proses Aktivasi

Aktivasi arang yang sudah dihasilkan dari proses karbonisasi dengan direndam menggunakan  $\text{NaOH}$  0,1 N terlebih dahulu diaduk rata dengan bantuan *magnetic stirrer* sebelum didiamkan selama 24 jam. Kemudian disaring dan ditiriskan. Selanjutnya dicuci dengan akuades sebelum dikeringkan dalam oven dengan suhu  $105^\circ\text{C}$  selama 1 jam. Tujuan

dari proses pengeringan adalah untuk menghilangkan sisa air dan mencapai berat konstan. Untuk aktivasi dengan menggunakan  $H_3PO_4$  0,1 N dilakukan dengan cara dan kondisi yang sama dengan aktivasi menggunakan NaOH.

### 3.8.3 Uji Karakteristik Arang Aktif dan Uji *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Pada tahap ini dilakukan uji karakteristik terhadap arang aktif cangkang kelapa sawit yang belum diaktivasi  $H_3PO_4$  dan NaOH dan juga arang aktif cangkang kelapa sawit yang sudah teraktivasi demi mengetahui apakah arang aktif yang sudah dibuat meliputi uji kadar air, kadar abu, kadar zat terbang dan kadar karbon tetap telah sesuai dengan SNI 06-3730-1995. Setelah itu dilakukan Uji *Scanning Electron Microscope* (SEM) guna mengetahui perbedaan morfologi arang aktif yang digunakan baik yang belum teraktivasi dan yang sudah teraktivasi. Menurut Faizal *et al* (2014) dalam Viena *et al* (2020) persamaan yang digunakan untuk menghitung secara *proximate* kadar air, kadar abu, kadar zat terbang dan kadar karbon tetap diurutkan sebagai berikut:

- Uji Kadar Air

Ditimbang 1 gram sampel ke dalam kertas saring yang telah diketahui beratnya, kemudian dipanaskan ke dalam oven pada suhu  $110\text{ }^\circ\text{C}$  selama 1 jam. Selanjutnya didinginkan dengan menggunakan desikator dan dilakukan penimbangan.

$$M = \frac{M_2 - M_3}{M_2 - M_1} \times 100 \dots \dots \dots (3.1)$$

Dimana: M : Kandungan air yang dianalisa (%)  
 M1 : Berat cawan  
 M2 : Berat cawan + berat sampel sebelum dioven  
 M3 : Berat cawan + berat sampel setelah dioven

- Uji Kadar Abu

Ditimbang 1 gram sampel ke dalam cawan porselin yang telah diketahui beratnya, kemudian dimasukkan ke dalam *furnace* pada suhu  $900\text{ }^\circ\text{C}$  selama 2 jam. Selanjutnya didinginkan dengan menggunakan desikator dan dilakukan penimbangan.

$$\text{Kadar Abu} = \frac{X_3 - X_1}{X_2 - X_1} \times 100 \dots \dots \dots (3.2)$$

Dimana: X1 : Berat porselin  
 X2 : Berat porselin + berat sampel sebelum dimasukkan *furnace*  
 X3 : Berat porselin + berat sampel setelah dimasukkan ke dalam *furnace*

- Kadar Zat Terbang

Ditimbang 1 gram sampel ke dalam cawan porselin yang telah diketahui beratnya, kemudian dimasukkan ke dalam *furnace* pada suhu  $900\text{ }^\circ\text{C}$  selama 7 menit. Selanjutnya didinginkan dengan menggunakan desikator dan dilakukan penimbangan.

$$VM = \left( \frac{M_2 - M_3}{M_2 - M_1} \times 100 \right) - M \dots \dots \dots (3.4)$$

Dimana: VM : Kandungan zat terbang (*volatile matter* dalam %)  
 M1 : Berat porselin  
 M2 : Berat porselin + berat sampel sebelum dimasukkan *furnace*  
 M3 : Berat porselin + berat sampel setelah dimasukkan *furnace*  
 M : Kandungan air hasil analisa sebelumnya

- Kadar Karbon Tetap  
Untuk mengetahui nilai kadar karbon tetap dapat diperoleh dengan persamaan berikut.  
Karbon tetap = 100% – (kadar air + kadar abu + zat terbang).....(3.5)

### 3.8.4 Pembuatan Larutan Logam Berat Merkuri

Pembuatan larutan logam merkuri dilakukan dengan menimbang 0,1354 gram HgCl<sub>2</sub>, kemudian dilarutkan dengan akuades dan 1 ml HNO<sub>3</sub> 65% ke dalam labu hingga volume 100 ml, sehingga didapatkan konsentrasi larutan 1000 ppm atau 1000 mg Hg/L (Rahman *et al.*, 2019). Kemudian dilakukan pengenceran hingga didapatkan konsentrasi yang diinginkan, yaitu dengan mengambil 2,5 ml dari 1000 mg Hg/L, selanjutnya ditambahkan akuades hingga tepat batas tanda 250 ml pada labu ukur, sehingga didapatkan konsentrasi menjadi 10 mg Hg/L. Diperoleh dari perhitungan sebagai berikut.

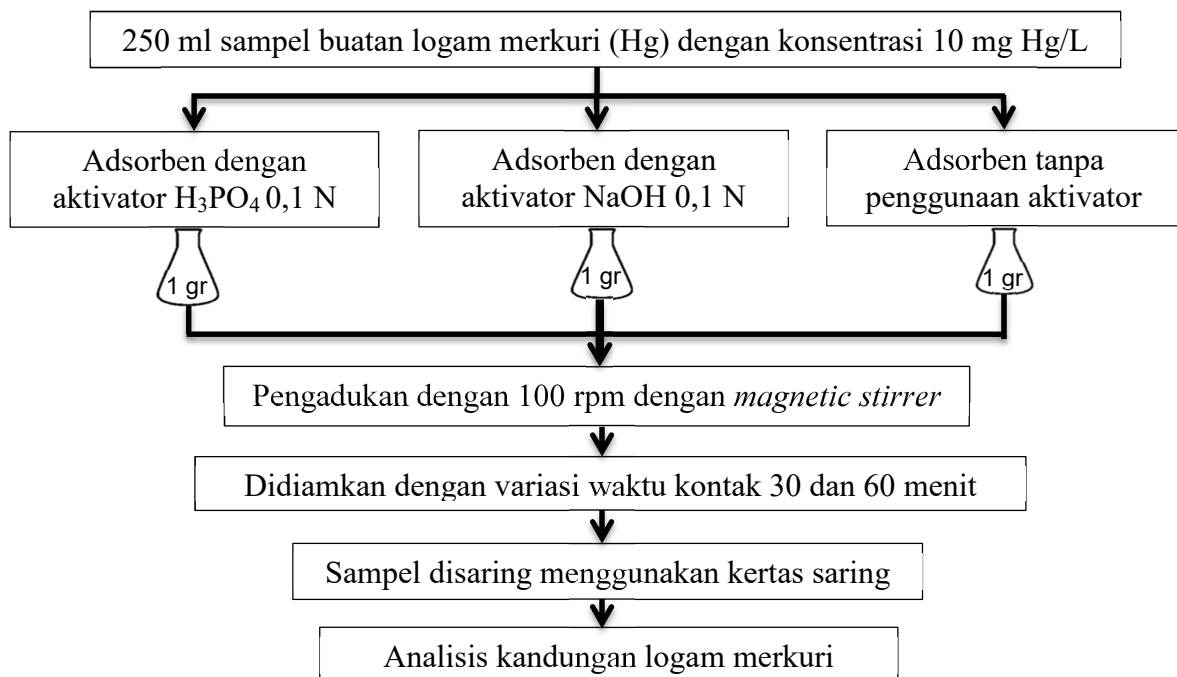
$$V_1M_1 = V_2M_2.....(3.6)$$

### 3.8.5 Penentuan Kapasitas Adsorpsi

Karbon aktif yang telah dihasilkan dimasukkan ke dalam beaker gelas sebanyak 1 gram yang berisi 250 ml konsentrasi 10 mg Hg/L sampel air larutan buatan mengandung logam berat merkuri. Kemudian campuran diaduk dengan kecepatan pengadukan 100 rpm (Najmia *et al.*, 2021). Didiamkan dengan variasi waktu waktu kontak 30 dan 60 menit. Selanjutnya campuran disaring dengan menggunakan kertas saring untuk memisahkan karbon aktif dan air mengandung logam berat. Kemudian dilakukan analisa menentukan konsentrasi Hg pada air tersebut menggunakan spektrofotometri serapan atom. Kapasitas adsorpsi dapat ditentukan dengan rumus berikut (Elkady *et al.*, 2017).

$$\text{Kapasitas Adsorpsi} = \frac{(\text{Konsentrasi awal} - \text{konsentrasi akhir})}{\text{massa karbon aktif}} \times \text{Volume adsorbat}$$

Proses penelitian untuk mendapatkan data terkait konsentrasi akhir sampel mengandung logam berat merkuri dan mengetahui kapasitas adsorpsi dapat dilihat pada Gambar 3.2.



**Gambar 3. 2** Penentuan Kapasitas Adsorpsi

### **3.9 Analisis Data Hasil Penelitian**

#### **3.9.1 Analisis Karakteristik Cangkang Inti Kelapa Sawit**

Analisis karakteristik cangkang inti kelapa sawit dilakukan dari data hasil SEM dan perhitungan kadar air, kadar abu, kadar zat terbang dan kadar karbon dengan cara membandingkan karakteristik cangkang inti kelapa sawit sebelum diaktivasi dan setelah diaktivasi secara kimia.

#### **3.9.2 Analisis Kemampuan Penyisihan Logam**

Analisis kemampuan penyisihan logam merkuri berdasarkan jenis aktivator yang digunakan, variasi waktu kontak dan variasi dosis cangkang inti kelapa sawit dengan pengukuran kemampuan penyisihan logam dari konsentrasi akhir larutan menggunakan spektrofotometri serapan atom.

### **3.10 Pembahasan**

Pembahasan dihasilkan dan disusun berdasarkan hasil analisis data penelitian dan mengacu pada studi literatur yang telah dilakukan. Isi dari pembahasan juga dilengkapi dengan membandingkan hasil penelitian ini dengan penelitian yang telah ada sebelumnya.

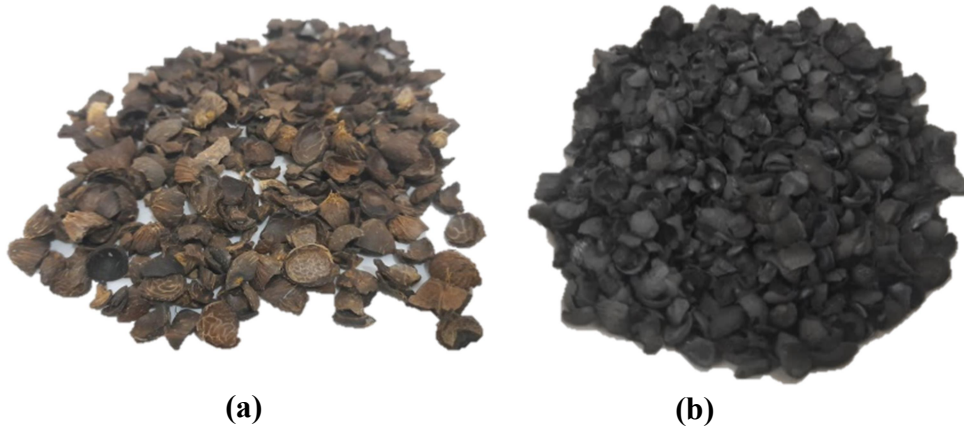
### **3.11 Penarikan Kesimpulan**

Tahap penarikan kesimpulan adalah tahapan terakhir dalam penelitian ini, diperoleh dari data yang telah dilakukan pengujian di laboratorium. Hasil penelitian terhadap adsorpsi logam berat merkuri menggunakan cangkang inti kelapa sawit akan menjawab permasalahan dan tujuan yang telah ditetapkan berdasarkan pengujian karakteristik menggunakan metode SNI 06-3730-1995 serta uji *Scanning Electron Microscope* (SEM), untuk kemampuan kapasitas adsorpsi dengan mengukur konsentrasi akhir larutan merkuri menggunakan spektrofotometri serapan sehingga akan didapatkan hasil pengujian terbaik.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pembuatan Arang Aktif Cangkang Inti Kelapa Sawit

Hasil perlakuan dengan pemanasan 650 °C menyebabkan warna cangkang inti kelapa sawit berubah dari berwarna kecoklatan menjadi hitam seperti yang terlihat pada Gambar 4.1. Berdasarkan penelitian oleh Persada dan Yunesti (2020) bahwa semakin tinggi temperatur karbonisasi maka bubuk arang yang dihasilkan memiliki pori-pori yang semakin banyak, jumlah pori yang semakin banyak akan meningkatkan kemampuan penyerapan air pada arang yang dihasilkan.



**Gambar 4. 1** (a) Cangkang Kelapa Sawit; (b) Cangkang Kelapa Sawit Hasil Karbonisasi

Proses aktivasi dilakukan terhadap arang cangkang inti kelapa sawit bertujuan untuk memperbesar pori, pada proses ini terjadi dengan cara memecahkan ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul-molekul permukaan (Kurniati *et al.*, 2011). Pengaruh dari ukuran pori karbon aktif yang membesar dan luas permukaannya bertambah akan sangat berkaitan terhadap daya adsorpsi (Jamilatun dan Setyawan, 2014). Menurut Sandi dan Astuti (2014) bahwa residu-residu hidrokarbon pada pelat karbon kristalit yang tidak teratur mengalami pergeseran dan terdorong selama proses aktivasi sehingga permukaan kristalit menjadi terbuka terhadap pengaktif. Berdasarkan penelitian oleh Diharyo *et al* (2015) menyimpulkan bahwa aktivasi dengan menggunakan aktivator asam  $H_3PO_4$  bereaksi dengan arang yang mampu mengangkat senyawa hidrokarbon atau zat pengotor sehingga menyebabkan terjadinya pembentukan pori pada permukaan karbon. Untuk proses aktivasi dengan larutan basa berdasarkan Ulfia dan Astuti (2014) dimana basa kuat dapat bereaksi dengan karbon sehingga dapat menghilangkan zat-zat pengotor yang terdapat di dalam karbon sehingga membuat karbon menjadi berpori.

### 4.2 Pengujian Kualitas Arang Aktif Cangkang Inti Kelapa Sawit

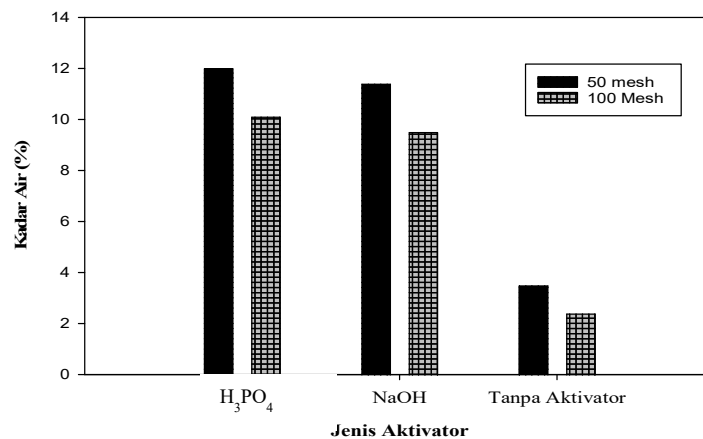
Pengujian terhadap kualitas arang aktif dilakukan untuk mengetahui apakah arang aktif memenuhi standar kualitas karbon aktif telah berdasarkan SNI 06-3730-1995. Hasil percobaan analisa kadar air, kadar abu, kadar zat menguap, kadar karbon terikat pada karbon aktif dari cangkang inti kelapa sawit dapat dilihat pada Tabel 4.1 sebagai berikut.

**Tabel 4. 1** Hasil Analisa Mutu Karbon Aktif dari Cangkang Inti Kelapa Sawit

Karbon	Aktivator	Kadar Air (%)	Kadar Abu (%)	Zat Terbang (%)	Karbon Tetap (%)
50 Mesh	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	12,0	6,2	11,6	70,2
	NaOH	11,4	5,8	14,0	68,8
	Tanpa Aktivator	3,5	11,1	26,7	58,8
100 Mesh	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	10,1	7,9	11,3	70,8
	NaOH	9,5	7,6	11,3	71,6
	Tanpa Aktivator	2,4	11,4	26,7	59,5

#### 4.2.1 Kadar Air

Perhitungan kadar air bertujuan mengetahui sifat higroskopis dari karbon aktif, sifat yang sangat higroskopis inilah yang mengakibatkan karbon aktif digunakan sebagai adsorben (Laos dan Selan, 2016). Pengukuran kadar air karbon aktif dari cangkang inti kelapa sawit diperlihatkan dalam Tabel 4.1 dan ditampilkan pada Gambar 4.2 berikut.



**Gambar 4. 2** Kadar Air Karbon Aktif

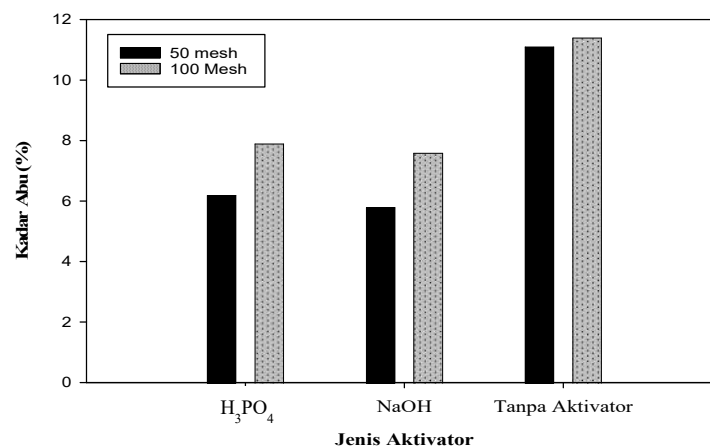
Gambar 4.2 di atas menunjukkan bahwa kadar air karbon aktif dari cangkang inti kelapa sawit yang dihasilkan dari penelitian ini memenuhi standar kualitas karbon aktif berdasarkan SNI 06-3730-1995 yaitu maksimal 15%. Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Najmia *et al* (2021) terhadap pengukuran nilai kadar air karbon aktif cangkang inti kelapa sawit yang teraktivasi H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> konsentrasi 5% dengan suhu 650 °C diperoleh sebesar 10,51%. Penelitian lain yang dilakukan oleh Rashidi dan Yusuf (2019) bahwa kadar air karbon aktif ukuran <500 µm yang diperoleh dari karbonisasi dengan suhu 750 °C adalah 2,62% . Penelitian yang dilakukan terhadap karbon aktif cangkang inti kelapa sawit teraktivasi NaOH 0,125 M – 0,25 M dengan suhu karbonisasi 500 °C ukuran 500 µm yang dilakukan oleh Aliasia *et al* (2017) diperoleh nilai kadar airnya sebesar 6,07% – 17%. Adapun berdasarkan penelitian oleh Budiman *et al* (2018) dan Haji *et al* (2013) menyimpulkan bahwa tinggi dan rendahnya nilai dari kadar air dapat disebabkan oleh sifat yang dimiliki karbon aktif itu sendiri yaitu sifat higroskopis yang dipengaruhi oleh jumlah uap air pada udara pada saat proses penggilingan, proses pengayakan dan pencucian terhadap karbon aktif. Tingginya kadar air yang terdapat pada karbon aktif setelah dilakukan proses



aktivasi juga disebabkan oleh waktu perendaman. Hal ini sesuai dengan penelitian oleh Laos dan Selan (2016) adanya pengaruh aktivator terhadap ukuran pori yang dapat mengikat molekul air. Sedangkan rendahnya nilai kadar air pada karbon aktif cangkang inti kelapa sawit pada karbon yang tidak melalui proses aktivasi kimia menunjukkan bahwa kandungan air terikat yang terdapat dalam karbon telah ikut menguap selama proses awal karbonisasi arang dan juga pada proses pengeringan di dalam oven. Adapun berdasarkan hasil kadar air yang diperoleh memiliki perbedaan berdasarkan ukuran adsorbennya. Dengan ukuran < 0,300 mm atau lolos ukuran 50 mesh memiliki kadar air yang lebih besar dari pada ukuran < 0,150 mm atau lolos ukuran 100 mesh. Hal ini dikarenakan adanya pengaruh ukuran pori yang dihasilkan pada karbon aktif 50 mesh (Gambar 4.6) sehingga molekul-molekul air terperangkap di dalam kisinya. Menurut Erawati dan Fernando (2018) menyatakan, dengan ukuran partikel yang besar memiliki pori-pori lebih sedikit dibandingkan dengan ukuran partikel kecil sehingga kandungan air yang terdapat dalam partikel karbon aktif lebih sedikit karena telah teruapkan.

#### 4.2.2 Kadar Abu

Parameter yang juga dapat mempengaruhi kualitas arang aktif adalah kadar abu. Kadar abu merupakan kandungan zat anorganik (kandungan selain karbon) dari proses karbonisasi. Berkurangnya luas permukaan karbon aktif dapat disebabkan oleh penyumbatan pori-pori oleh abu (Kusdarini *et al.*, 2017). Berikut hasil pengukuran kadar abu karbon aktif dari cangkang inti kelapa sawit diperlihatkan dalam Tabel 4.1 dan ditampilkan pada Gambar 4.3 berikut.



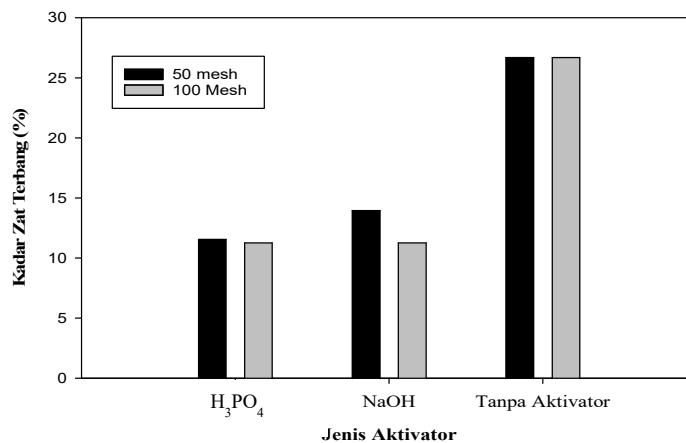
**Gambar 4. 3** Kadar Abu Karbon Aktif

Hasil pengujian pada Gambar 4.3 menunjukkan penurunan persentase kadar abu setelah aktivasi. Nilai kadar abu untuk karbon aktif cangkang inti kelapa sawit yang telah diaktivasi kimia lebih rendah dari ambang batas kualitas karbon aktif yaitu maksimal sebesar 10% atau telah memenuhi standar yang telah ditetapkan SNI 06-3730-95, sementara untuk karbon aktif yang tanpa perlakuan aktivasi kimia memiliki kadar abu yang besar dan melebihi standar, hal ini lah yang disebabkan karena adanya pengaruh dan fungsi dari penggunaan aktivator kimia, pada karbon cangkang inti kelapa sawit sebelum diaktivasi masih mengandung tar maupun zat lainnya, sehingga pada proses pengabuan menghasilkan kadar abu yang lebih tinggi. Berdasarkan Budiono *et al* (2006) dalam Setyawan *et al* (2018) bahwa dengan penggunaan aktivator H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dapat mempengaruhi nilai kadar abu, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dapat melarutkan mineral-mineral anorganik yang terkandung dalam arang aktif selama proses perendaman. Berdasarkan oleh Viswanathan *et al* (2009) aktivator NaOH berpengaruh terhadap penurunan kadar abu karena bahan anorganik (terutama silika) yang larut dalam air saat aktivasi dan

pencucian air. Pengaruh ukuran adsorben terhadap kadar abu dapat dilihat dari pori yang terbentuk, dalam proses pemanasan terjadi proses pembakaran bidang permukaan dari karbon aktif yang menghasilkan abu, sehingga semakin banyak pori yang dihasilkan maka kadar abu yang dihasilkan juga semakin tinggi (Subadra *et al.*, 2005 dalam Pambayun *et al.*, 2013).

#### 4.2.3. Zat Terbang

Tujuan menghitung kadar zat terbang atau zat mudah menguap pada suhu 900 °C dari karbon aktif adalah guna mengetahui jumlah zat atau senyawa yang belum ikut menguap pada proses karbonisasi dan aktivasi. Nilai kadar zat terbang berpengaruh terhadap nilai karbon tetap pada suatu karbon aktif. Berikut hasil pengukuran kadar zat terbang karbon aktif dari cangkang inti kelapa sawit diperlihatkan dalam Tabel 4.1 dan ditampilkan pada Gambar 4.4 berikut.



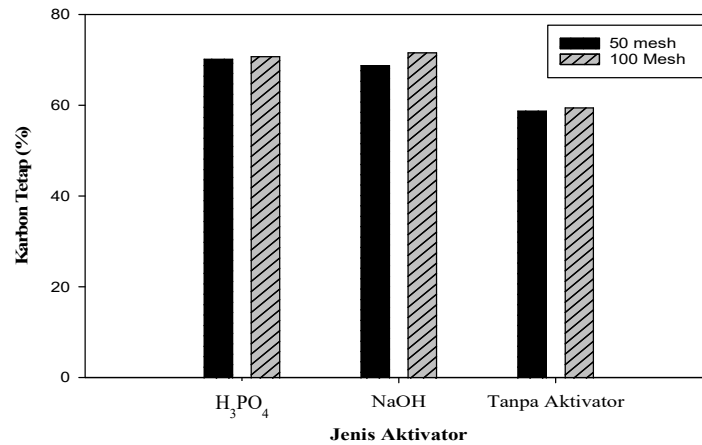
**Gambar 4. 4** Kadar Zat Terbang Karbon Aktif

Dapat dilihat bahwa kadar zat menguap karbon aktif teraktivasi H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dan NaOH yang dihasilkan memenuhi ketentuan SNI. Namun untuk karbon aktif yang tidak melalui proses aktivasi kimia memiliki nilai kadar zat terbang sebesar 26,7% dan berdasarkan SNI bahwa kadar zat menguap karbon aktif adalah maksimal 25%. Hasil penelitian ini sesuai dengan hasil yang dilakukan oleh Najmia *et al* (2021) terhadap pengukuran nilai kadar zat terbang karbon aktif cangkang inti kelapa sawit ukuran 100 mesh yang teraktivasi H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> konsentrasi 5% diperoleh sebesar 14,31%. Penelitian juga telah dilakukan oleh Azman dan Pa (2021) terhadap karbon aktif cangkang inti kelapa sawit yang teraktivasi NaOH dengan suhu karbonisasi 400 – 600 °C diperoleh nilai kadar zat terbangnya sebesar 10 – 15 %. Hasil penelitian kadar zat terbang yang dilakukan oleh Adlim *et al* (2021) terhadap karbon aktif cangkang inti kelapa sawit tanpa perlakuan aktivasi kimia dengan suhu karbonisasi 800–1000 °C diperoleh sebesar 24%. Pengaruh penggunaan jenis aktivator terhadap nilai kadar zat terbang sebuah karbon aktif berdasarkan penelitian oleh Nurrahman *et al* (2021) menyimpulkan bahwa penggunaan bahan aktivator tidak begitu mempengaruhi kadar zat terbang, dimana kadar zat menguap terbang akan menurun seiring dengan meningkatnya suhu karbonisasi dan suhu aktivasi, hal ini disebabkan ketidaksempurnaan penguraian senyawa non karbon selama proses aktivasi.

#### 4.2.4. Karbon Tetap

Mengetahui besarnya nilai dari kandungan karbon murni dalam suatu karbon merupakan tujuan dari penentuan kadar karbon terikat, jika nilai karbon tetap menunjukkan nilai yang besar maka semakin baik digunakan sebagai bahan baku pembuatan arang aktif (Maulana *et al.*, 2017). Dari hasil analisis karbon tetap terlihat pada Tabel 4.1 dan ditampilkan pada grafik Gambar 4.5 bahwa dihasilkan karbon tetap pada karbon aktif yang teraktivasi oleh H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dan

NaOH memiliki nilai yang cukup tinggi, sementara karbon aktif tanpa penambahan aktivator masih belum memenuhi baku mutu yakni minimal 65%.



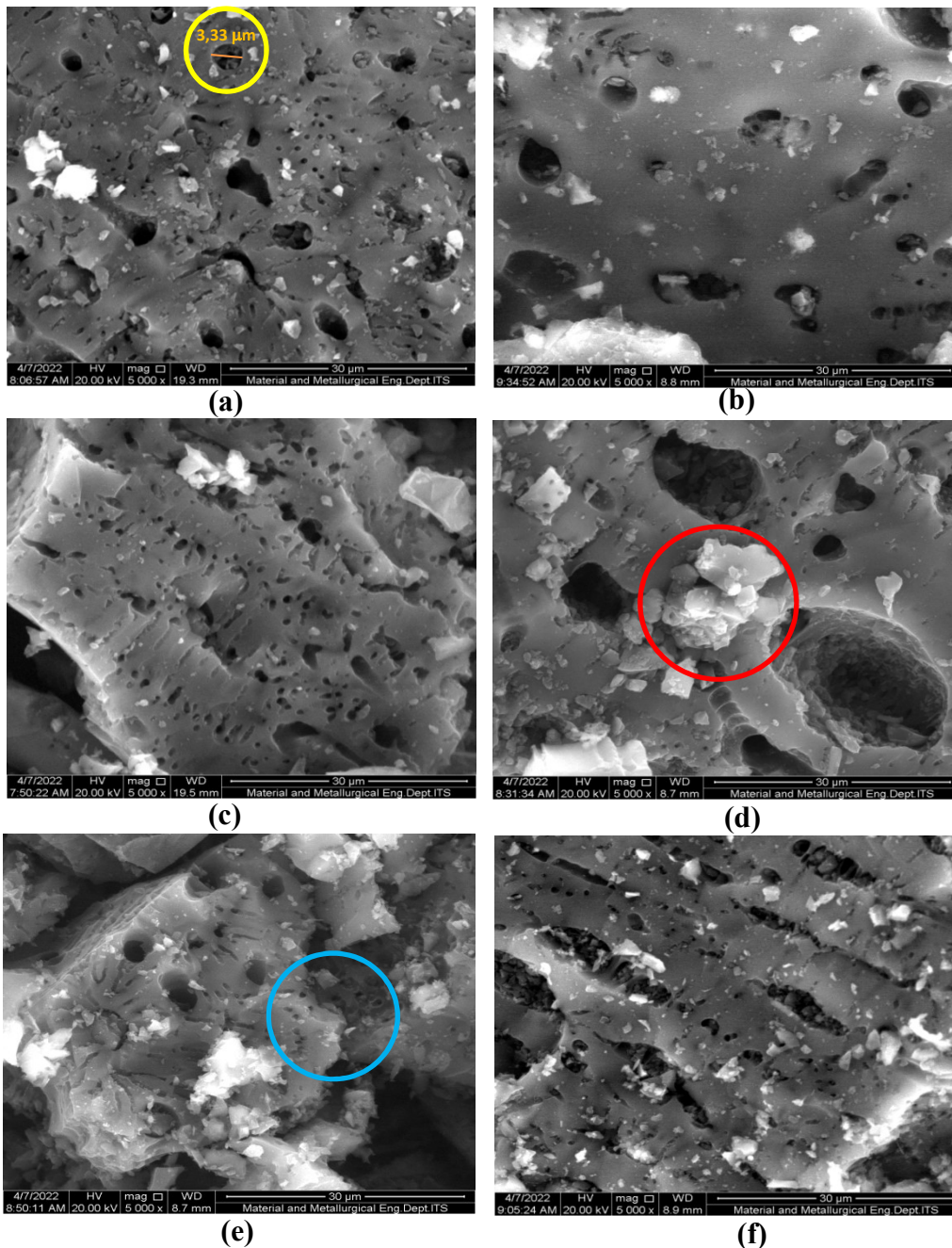
**Gambar 4. 5** Karbon Tetap Karbon Aktif

Hasil pengujian pada Gambar 4.5 menunjukkan nilai karbon tetap dari variasi karbon aktif teraktivasi H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dan NaOH memiliki nilai yang cukup tinggi dan memenuhi standar yaitu minimal 65%. Tinggi rendahnya nilai karbon tetap yang disebabkan karena banyaknya karbon yang terlepas dari cangkang inti kelapa sawit bersama dengan kandungan kadar air, kadar abu, dan kadar zat mudah menguap selama berlangsungnya proses karbonisasi dan aktivasi. Selain itu, berdasarkan Hendrawan *et al* (2017) bahwa penyebab lainnya adalah karena dalam proses karbonisasi terjadi kurang sempurna sehingga aktivator lebih banyak mengikat garam-garam mineral dan aktivator mampu mendesak keluar kandungan utama.

### 4.3. Karakteristik Cangkang Inti Kelapa Sawit

Karbon aktif cangkang inti kelapa sawit dilakukan pengujian karakteristik dengan menggunakan metode *Scanning electron microscopy* (SEM) untuk mengetahui bentuk permukaan pada karbon aktif berdasarkan perbedaan ukuran dan perbedaan perlakuan aktivasinya. Morfologi karbon aktif cangkang inti kelapa sawit dengan perbesaran 5000x dapat dilihat pada Gambar 4.6. Perbedaan perlakuan aktivasi terhadap karbon aktif menunjukkan hasil pengujian morfologi ukuran pori yang berbeda. Morfologi karbon aktif yang diaktivasi oleh zat kimia H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> terlihat pada Gambar 4.6 (a) dan (b) menunjukkan permukaan karbon aktif sudah terlihat pori-pori yang terbentuk. Hal ini juga dipengaruhi oleh aktivator asam yang mampu bereaksi dengan zat-zat sisa karbonisasi sehingga zat pengotor tersebut tidak menutupi permukaan karbon. Hasil morfologi karbon aktif dengan perlakuan aktivasi kimia menggunakan NaOH terlihat pada Gambar 4.6 (c) dan (d) yang memperlihatkan bahwa permukaan karbon aktif sudah terlihat pori-pori yang terbentuk, hal ini berkaitan dengan fungsi dan tujuan dari proses aktivasi kimia, karena kotoran yang ditemukan pada permukaan arang dapat dihilangkan karena selama proses aktivasi, aktivator bereaksi dengan arang yang mampu mengoksidasi dan mengikis hidrokarbon, tar, dan senyawa lain yang menempel pada permukaan arang sehingga permukaan arang menjadi halus dan pembentukan pori-pori baru (Rampe dan Vistarani, 2018 dalam Husin dan Hasibuan, 2020). Pada permukaan karbon aktif berbentuk lubang-lubang (pori) yang diberi tanda lingkaran dengan warna kuning, didapatkan selama aktivasi berguna untuk adsorpsi ion dan menyimpan muatan (Nurrahman *et al.*, 2021). Menurut Efiyanti *et al* (2020) dari hasil morfologi terlihat pori masih tertutupi oleh pengotor atau senyawa aktivator yang belum sepenuhnya hilang, sehingga ketidakaturan pori yang diberikan tanda lingkaran berwarna merah. Hasil morfologi karbon aktif dengan perlakuan tanpa aktivasi kimia terlihat pada

Gambar 4.6 (e) dan (f) dimana pori yang terbentuk masih belum terlihat begitu jelas seperti pada tanda lingkaran warna biru. Terlihat perbedaan hasil pori yang terbentuk berdasarkan ukuran partikel 50 mesh dan 100 mesh. Ukuran pori pada karbon aktif 50 mesh terlihat lebih besar dibandingkan dengan karbon aktif 100 mesh yang memiliki pori kecil dengan persebaran yang cukup merata di permukaan karbon aktif. Hal ini akan mempengaruhi proses adsorpsi yang terjadi, dimana semakin kecil ukuran partikel, semakin besar luas permukaan adsorben maka semakin besar kemampuan adsorben yang dimiliki bahan tersebut (Budihardjo *et al.*, 2021).



**Gambar 4. 6** Morfologi Karbon Aktif (a) 100 Mesh Teraktivasi  $H_3PO_4$  Perbesaran 5000x; (b) 50 Mesh Teraktivasi  $H_3PO_4$  Perbesaran 5000x; (c) 100 Mesh Teraktivasi NaOH Perbesaran 5000x; (d) 50 Mesh Teraktivasi NaOH Perbesaran 5000x; (e) 100 Mesh Perbesaran 5000x; (f) 50 Mesh Perbesaran 5000x

#### 4.4 Efektivitas Adsorpsi Karbon Aktif Cangkang Inti Kelapa Sawit Terhadap Penyerapan Logam Berat Merkuri (Hg)

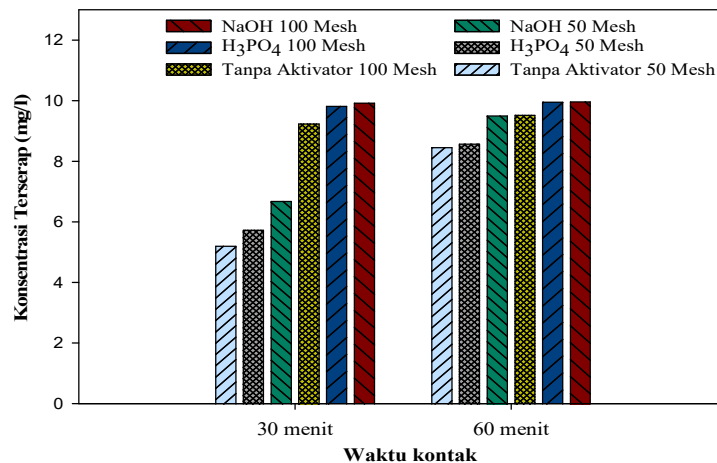
Efektivitas penyerapan merkuri yang teradsorpsi dengan konsentrasi awal 10 mg/l menggunakan 1 gram karbon aktif cangkang inti kelapa sawit dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut.

**Tabel 4. 2** Efektivitas Adsorpsi Karbon Aktif Cangkang Inti Kelapa Sawit

Aktivasi	Waktu Kontak (menit)	Variasi Ukuran (mesh)	Konsentrasi Merkuri mg/l		Konsentrasi Terserap (mg/l)	Efisiensi Adsorpsi (%)	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)
			Sebelum Adsorpsi	Setelah Adsorpsi			
Tanpa	30	50	10	4,80	5,21	52,1	1,30
		100		0,75	9,25	92,5	2,31
	60	50		1,53	8,47	84,7	2,12
		100		0,48	9,53	95,3	2,38
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	30	50		4,26	5,74	57,4	1,44
		100		0,18	9,83	98,3	2,46
	60	50		1,42	8,58	85,8	2,15
		100		0,04	9,96	99,6	2,49
NaOH	30	50	3,31	6,69	66,9	1,67	
		100	0,08	9,93	99,3	2,48	
	60	50	0,50	9,51	95,1	2,38	
		100	0,03	9,97	99,7	2,49	

##### 4.4.1 Pengaruh Variasi Waktu Kontak

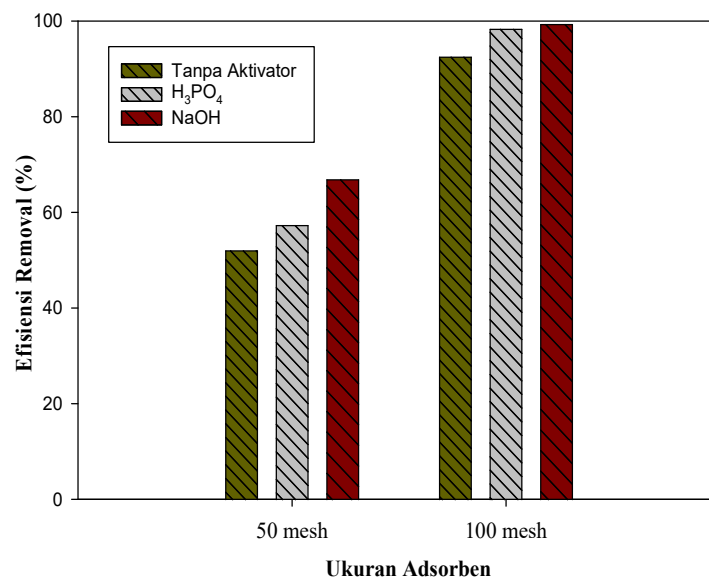
Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.2 terlihat adanya pengaruh waktu kontak dalam proses adsorpsi logam berat merkuri. Perbandingan dari waktu kontak proses adsorpsi yang terjadi di waktu 30 menit dan 60 menunjukkan hasil kemampuan adsorpsi yang berbeda-beda. Dengan waktu kontak yang lebih lama, memberikan pengaruh dalam penurunan konsentrasi merkuri dan peningkatan kapasitas adsorpsinya. Diperoleh pada waktu kontak 60 menit karbon aktif teraktivasi NaOH ukuran 100 mesh proses adsorpsi mampu menyerap konsentrasi logam berat merkuri terbaik hingga 9,97 mg/l. Grafik kemampuan penyerapan konsentrasi logam berat dari karbon aktif cangkang inti kelapa sawit dengan waktu kontak terlihat pada Gambar 4.7 berikut.



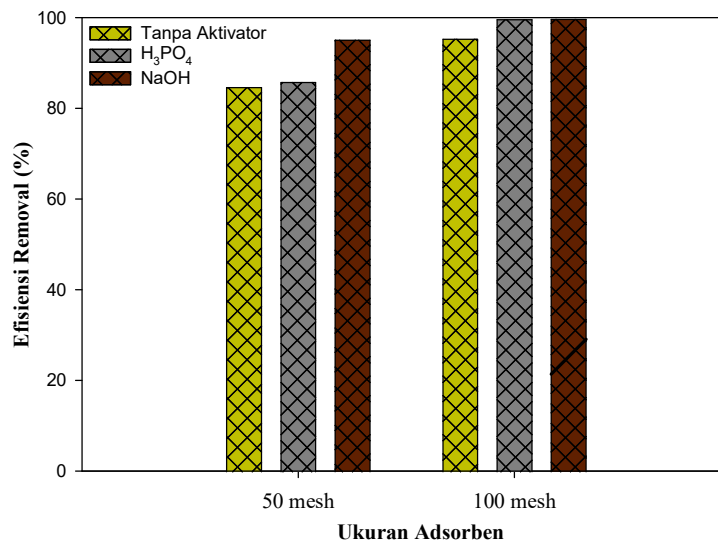
**Gambar 4. 7** Hubungan Waktu Kontak dengan Konsentrasi Terserap

#### 4.4.2 Pengaruh Variasi Ukuran Adsorben dan Variasi Aktivator

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.2 terlihat pengaruh dari ukuran adsorben yang digunakan menghasilkan kemampuan daya serap adsorpsi yang berbeda. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa ukuran adsorben yang kecil yaitu 100 mesh memberikan hasil efisiensi yang tinggi dalam penurunan konsentrasi logam berat merkuri, baik yang teraktivasi  $H_3PO_4$ , NaOH, dan yang tidak ditambahkan aktivator. Hal ini sesuai dengan hasil pengujian morfologi yang telah dilakukan pada karbon aktif ukuran 100 mesh memperlihatkan jumlah pori yang tersebar merata pada permukaan karbon aktif. Berdasarkan Budihardjo *et al* (2021) yang menyatakan bahwa semakin kecil ukuran partikel, semakin besar luas permukaan adsorben maka semakin besar kemampuan adsorben yang dimiliki bahan tersebut. Grafik efisiensi penyerapan karbon aktif cangkang inti kelapa sawit dapat dilihat pada Gambar 4.8 dan Gambar 4.9 yang menunjukkan hasil penyerapan logam berat merkuri terbaik yaitu karbon aktif ukuran 100 mesh teraktivasi NaOH mencapai 99,7% pada waktu kontak 60 menit.



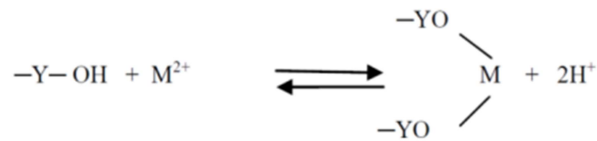
**Gambar 4. 8** Hubungan Efisiensi Penyerapan dengan Ukuran Adsorben (30 menit)



**Gambar 4. 9** Hubungan Efisiensi Penyerapan dengan Ukuran Adsorben (60 menit)

#### 4.5 Mekanisme Adsorpsi

Proses adsorpsi yang terjadi pada penelitian ini merupakan proses adsorpsi kimia, hal ini dikarenakan adanya interaksi antara adsorbat dengan adsorbennya hingga membentuk ikatan kimia. Ketika dalam proses adsorpsi terjadi pembentukan ikatan kimia didalamnya, maka dikategorikan sebagai adsorpsi kimia (Koto *et al.*, 2019). Kemampuan adsorpsi dari karbon aktif cangkang inti kelapa sawit didukung oleh kandungan selulosa yang dimiliki, dalam karbon aktif terdapat gugus  $-OH$  yang akan berinteraksi dengan komponen adsorbatnya (Kusumawardani *et al.*, 2018). Hal ini juga sesuai dengan O'Connell *et al* (2008) dalam Sailah *et al* (2020) yang menyatakan bahwa gugus hidroksil dapat membentuk serangkaian penyerapan dengan senyawa kationik maupun anionik. Berdasarkan Tasanif *et al* (2020) mekanisme yang terjadi antara ikatan  $-OH$  dengan ion logam bermuatan positif pada permukaan dapat dilihat pada Gambar 4.10 berikut.



**Gambar 4. 10** Mekanisme Adsorpsi Ion Logam berat dengan Adsorben  
Sumber: Tasanif *et al.*, 2020

Y merupakan matriks tempat gugus  $-OH$  terikat dan  $M^{2+}$  merupakan ion logam, dimana Interaksi antara gugus  $-OH$  dengan ion logam juga memungkinkan melalui mekanisme pembentukan kompleks koordinasi (Tasanif *et al.*, 2020). Dalam proses adsorpsi, adapun salah satu faktor yang dapat mempengaruhi adalah kondisi pH adsorbat. Pada penelitian ini kondisi pH larutan sebesar 5,12. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Al-Yaari *et al* (2020) dalam mengadsorpsi logam berat merkuri dengan menggunakan karbon aktif serat polimer dengan konsentrasi larutan 20 mg/l dan variasi pH yang digunakan adalah 3, 4, 5, 6, 7. pH optimum yang diperoleh pada kondisi pH 5 dengan hasil efisiensi removal mencapai 99,5 %. Penelitian juga dilakukan oleh Musafira *et al* (2020) terkait adsorpsi logam berat merkuri menggunakan karbon aktif limbah kulit pisang kepok dengan konsentrasi larutan 40 ppm, variasi pH adsorbatnya sebesar 1, 2, 3, 4, 5, dan 6. Diperoleh pH optimum yang dicapai adalah pada kondisi pH 5 dengan penyerapan rata-rata sebesar 98 %. Kondisi pH menjadi salah satu faktor dalam proses adsorpsi dikarenakan ketika pH adsorbatnya dalam kondisi terlalu asam maka akan terjadi kompetisi antara ion  $H^+$  dengan ion  $Hg^{2+}$  untuk yang menempati permukaan karbon aktif (Al-Yaari *et al.*, 2020) dan jika adsorbat dalam kondisi pH tinggi atau basa, maka akan terjadi pengendapan akibat reaksi antara  $Hg^{2+}$  dengan  $OH^-$  membentuk  $HgO$  (Al-Ayubi *et al.*, 2010 dalam Musafira *et al.*, 2020).

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Karakteristik karbon aktif cangkang inti kelapa sawit yang teraktivasi  $H_3PO_4$  dan NaOH memenuhi standar kualitas sesuai dengan SNI 06-3730-95. Karbon aktif teraktivasi  $H_3PO_4$  memiliki kadar air sebesar 10,1 – 12,0 %, kandungan kadar abu sebesar 6,2 – 7,9 %, kandungan kadar zat terbang sebesar 11,3 – 11,6 %, dan kandungan karbon tetapnya sebesar 70,2 – 70,8%. Untuk karbon aktif teraktivasi NaOH memiliki kadar air sebesar 9,5 – 11,4 %, kandungan kadar abu sebesar 5,8 – 7,6 %, kandungan kadar zat terbang sebesar 11,3 – 14, %, dan kandungan karbon tetapnya sebesar 68,8 – 71,6%. Sementara untuk karbon aktif tanpa perlakuan aktivasi kimia karakteristiknya belum memenuhi standar kualitas arang aktif karena nilai kadar abu, kadar zat terbang dan karbon tetapnya tidak sesuai dengan standar kualitasnya.
2. Kemampuan kapasitas adsorpsi logam berat merkuri oleh karbon aktif cangkang inti kelapa sawit memberikan hasil yang baik dengan semakin lamanya waktu kontak yang diberikan yaitu 60 menit dan ukuran partikel adsorben yang kecil yaitu 100 mesh. Karbon aktif teraktivasi NaOH memiliki kapasitas adsorpsi sebesar 2,49 mg/g dengan efisiensi removal mencapai 99,7 %, untuk karbon aktif teraktivasi  $H_3PO_4$  juga memiliki nilai kapasitas adsorpsinya sebesar 2,49 mg/g dengan efisiensi removal mencapai 99,6 %, dan karbon aktif tanpa perlakuan aktivasi kimia memiliki kapasitas adsorpsi sebesar 2,38 mg/g dengan efisiensi removal mencapai 95,3 %.

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, adapun saran yang dapat dilakukan pada penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Untuk penelitian lanjutan dapat menggunakan variasi konsentrasi aktivator zat kimia yang digunakan agar diketahui konsentrasi optimum yang dapat mempengaruhi karakteristik karbon aktif.
2. Untuk penelitian lanjutan dapat dilakukan variasi dosis adsorben yang ditambahkan untuk mendapatkan persamaan isoterm dan kinetika adsorpsi.



## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, N. S., Sharifuddin, S. S., and Hussin, M. H. 2018. Study on Adsorption of Mercury from Aqueous Solution on Activated Carbons Prepared from Palm Kernel Shell. *Key Engineering Materials*, 783, 109–114. [www.scientific.net/KEM.783.109](http://www.scientific.net/KEM.783.109).
- Adhani, R., dan Husaini. 2017. *Logam Berat Sekitar Manusia*. Lambung Mangkurat University Press. Banjarmasin.
- Adlim, M., Rahmayani, R. F. I., Zarlaida, F., Hanum, L., Rizki, M., Manatillah, N. U., and Muktaridha, O. 2021. Simple Preparations and Characterizations of Activated-Carbon-Clothes from Palm-Kernel-Shell for Ammonia Vapor Adsorption and Skim-Latex-Odor Removal. *Indonesian Journal of Chemistry*, 21(4), 920 – 931.
- Al-Ghouti, M. A., Da'ana, D., Dieyeh, M. A., and Khraisheh, M. 2019. Adsorptive removal of mercury from water by adsorbents derived from date pits. *Scientific Reports*. Department of Biological and Environmental Sciences, College of Arts and Sciences. Qatar University.
- Aliaza, N., Zaini, M. A. A. and Kamaruddin, M. J. 2017. Roles of Impregnation Ratio of  $K_2CO_3$  and NaOH in Chemical Activation of Palm Kernel Shell. *Journal of Applied Science & Process Engineering*, 4(2), 195 – 204.
- Al-Yaari, M., Saleh, T. A., and Saber, O. 2020. Removal of mercury from polluted water by a novel composite of polymer carbon nanofiber: kinetic, isotherm, and thermodynamic studies. *Royal Society of Chemistry*, 11, 380 – 389. <https://doi.org/10.1039/d0ra08882j>.
- Astuti, E., Mufrodi, M., Budiarti, G. I., Dewi A. C., and Husna, M. 2020. Active Charcoal from Palm Kernel Shells as a Catalyst in The Production of Biodiesel. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 9(2), 120 – 125.
- Awad, F. S., AbouZied, K. M., El-Maaty, W. M. A., El-Wakil, A. M., and El-Shall, M. S. 2018. Effective removal of mercury(II) from aqueous solutions by chemically modified graphene oxide nanosheets. *Arabian Journal of Chemistry*, 13(1), 2659 – 2670.
- Azman, N. A. M., and Pa, N. F. C. 2021. Production of Smokeless Biofuel Briquettes from Palm Kernel Shell Assisted with Slow Pyrolysis Treatment. *Progress in Engineering Application and Technology*, 2(1), 38 – 49. <https://doi.org/10.30880/peat.2021.02.01.004>
- Baby, R., Hussein, M. Z., Zainal, Z., and Abdullah, A. H. 2021. Functionalized Activated Carbon Derived from Palm Kernel Shells for the Treatment of Simulated Heavy Metal-Contaminated Water. Licensee MDPI Basel. Switzerland.
- Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. 2012. <https://www.bppt.go.id/en/berita-bppt/bppt-kembangkan-pabrik-kelapa-sawit-mini-5-dan-10-ton-tbsjam>.
- Banunaek, Z. A. 2016. Pencemaran Merkuri di Lahan Pertambangan Emas Rakyat dan Strategi Pengendaliannya. *Teknik Lingkungan*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya. <https://repository.its.ac.id/72867/>.
- Budihardjo, M. A., Wibowo, Y. G., Ramadan, B. S., Serunting, M. A., Yohana, E., dan Syafrudin. 2021. Mercury Removal Using Modified Activated Carbon of Peat Soil and Coal in Simulated Landfill Leachate. *Journal Environmental Technology & Innovation*, 24(2021), 102022.
- Budiman, J. A. P., Yulianti, I. M., dan Jati, W. N. 2018. Potensi Arang Aktif dari Kulit Buah Durian (*Durio zibethius murr.*) dengan Aktivator NaOH sebagai Penjernih Air Sumur. *Biotal*, 3(3), 117 – 124.

- Budiono, A., Suhartana, & Gunawan. 2009. Pengaruh Aktivasi Arang Tempurung Kelapa dengan Asam Sulfat dan Asam Posfat untuk Adsorpsi Fenol. Semarang. Universitas Diponegoro.
- 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.
- Diharyo, Salampak, Damanik, Z., dan Gumiri, S. 2020. Pengaruh Lama Aktivasi dengan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dan Ukuran Butir Arang Cangkang Kelapa Sawit Terhadap Ukuran Pori dan Luas Permukaan Butir Arang Aktif. Prosiding Seminar Nasional Lingkungan Lahan Basah, 5(1), 48 – 54. Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Universitas Lambung Mangkurat.
- Efiyanti, L., Wati, S. A., dan Maslahat, M. 2020. Pembuatan dan Analisis Karbon Aktif dari Cangkang Buah Karet dengan Proses Kimia dan Fisika. Jurnal Ilmu Kehutanan, 14(1), 94. <http://dx.doi.org/10.22146/jik.57479>.
- Elkady, M. F., Hassan S. H., Amer, W. A., Salama, E., Algarni, H., and Shaaban, E. R. 2017. Novel Magnetic Zinc Oxide Nanotubes for Phenol Adsorption: Mechanism Modeling. Materials, 10(12), 1355.
- Erawati, E., dan Fernando, A. 2018. Pengaruh Jenis Aktivator dan Ukuran Karbon Aktif Terhadap Pembuatan Adsorben dari Serbuk Gergaji Kayu Sengon (*Paraserianthes Falcataria*). Jurnal Integrasi Proses, 7(2), 58 – 66.
- Ervianto, D., Abhi, B., dan Notosudjono, D. 2016. Penggunaan Limbah Padat Kelapa Sawit Untuk Menghasilkan Tenaga Listrik pada Existing Boiler. Sainstech, 26(2), 85 – 93.
- Faisal, M., Gani, A., and Muslim, A. 2019. Cadmium Adsorption Onto Naoh Activated Palm Kernel Shell Charcoal. International Journal of GEOMATE, 17(64), 252 – 260.
- Faizal, M., Andynapratiwi, I., dan Putri, P. D. A. 2014. Pengaruh Komposisi Arang dan Perikat Terhadap Kualitas Biobriket dari Kayu Karet. Teknik Kimia, 20(2), 36–44.
- Firdaus, Samadi, Muhammadar, A. A., Sarong, M. A. Muchlisin, Z. A., Sari, W., and Batubara, A. S. 2020. Gut and intestinal biometrics of the giant trevally, *Caranx ignobilis*, fed an experimental diet with difference sources of activated charcoal. Departement of Biology, Faculty of Mathematics and Natural Science, Universitas Syiah Kuala. Banda Aceh.
- Fuadi, N. A., Ibrahim, A. S., and Ismail, K. N. 2014. Removal of Heavy Metals from Simulated Wastewater Using Physically and Chemically Modified Palm Shell Activated Carbon. Journal of Applied Sciences, 14(12), 1294 – 1298.
- Fricke, T. B. 2009. Buku Panduan Pabrik Kelapa Sawit Skala Kecil untuk Produksi Bahan Baku Bahan Bakar Nabati (BBN). United States Agency for International Development. USAID/Indonesia.
- Gibigaye, M., Godonou, G. F., Katte, R., and Degan G. 2017. Structured mixture proportioning for oil palm kernel shell concrete. Case Studies in Construction Materials, 6, 219 – 224.
- Hai, N. T. T., Hue, N. T. and Trung, D. Q. 2013. Adsorption of Hg(II) from Aqueous Solution of Activated Carbon Impregnated in Copper Chloride Solution. Asian Journal of Chemistry, 25(18), 10251 – 10254.
- Haji, A. G., Pari, G., Nazar, M., dan Habibati. 2013. Characterization of activated carbon produced from urban organic waste. International Journal of Science and Engineering (IJSE), 5(2), 89 – 94.
- Hambali, E. and Rivai, M. 2017. The Potential of Palm Oil Waste Biomass in Indonesia in 2020 and 2030. Proceedings of IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 65. Bogor, Indonesia.

- Harsanti, E.S., dan Ardiwinata, A. N. 2011. Arang Aktif Meningkatkan Kualitas Lingkungan, Sinar Tani, Edisi 6-12 Nomor 3400 Tahun XLI. <http://www.Litbang>.
- Hasan, N. A., dan Derlean, A. 2015. Kinetika Adsorpsi Logam Merkuri (Hg) oleh Karbon Aktif Tempurung Kelapa pada Limbah Pengolahan Emas di Kabupaten Buru Provinsi Maluku. *Bimafika*, 6, 763–769.
- Hendrawan, Y., Sutan, S. M., and Kreative, R. 2017. Pengaruh Variasi Suhu Karbonisasi dan Konsentrasi Aktivator Terhadap Karakteristik Karbon Aktif dari Ampas Tebu (Bagasse) Menggunakan Activating Agent NaCl. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*, 5(3), 200 – 207.
- Husin, A., dan Hasibuan, A. 2020. Studi Pengaruh Variasi Konsentrasi Asam Posfat ( $H_3PO_4$ ) dan Waktu Perendaman Karbon terhadap Karakteristik Karbon Aktif dari Kulit Durian. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 9(2), 80 – 86.
- Jamilatun, S., dan Setyawan, M. 2014. Pembuatan Arang Aktif dari Tempurung Kelapa dan Aplikasinya untuk Penjernihan Asap Cair. *Spektrum Industri*, 12(1), 73 – 86.
- Kabiri, S., Tran, D. N. H., Cole, M.A., and Losic, D. 2016. Functionalized 3-dimensional (3-d) graphene composite for high efficiency removal of mercury. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 2(2), 390 – 402.
- Koto, I., Siallagan, S., Lisyanto, dan Putra, A. N. 2019. Modul Bioarang Organik Energi Alternatif. Yayasan Kita Menulis. Indonesia.
- Kurniati, F. D., Pardoyo, dan Suhartana. 2011. Sintesis Arang Aktif dari Tempurung Kelapa dan Aplikasinya Untuk Adsorpsi Asap Cair. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 13 (3), 72 – 76.
- Kusdarini, E., Budianto, A., dan Ghafarunnisa, D. 2017. Produksi Karbon Aktif dari Batubara Bituminus dengan Aktivasi Tunggal  $H_3PO_4$ , Kombinasi  $H_3PO_4-NH_4HCO_3$ , dan Termal. *Reaktor*, 17(2), 74 – 80.
- Kusumawardani, R., Zaharah, T. A., dan Destiarti, L. 2018. Adsorpsi Kadmium(II) Menggunakan Adsorben Selulosa Ampas Tebu Teraktivasi Asam Nitrat. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 7(3), 75 – 83.
- Laos, L. E., dan Selan, A. 2016. Pemanfaatan Kulit Singkong Sebagai Bahan Baku Karbon Aktif Landiana Etni Laos, Arkilaus Selan. *Jurnal Ilmu Pendidikan Fisika*, 1(1), 32 – 36.
- Li, R., Wu, H., Ding, J., Fu, W., Lijun and Li, Y. 2017. Mercury pollution in vegetables, grains and soils from areas surrounding coal-fired power plants. *Scientific Reports* 7 (46545). College of Horticulture, Nanjing Agricultural University. Nanjing.
- Liu, Z., Sun, Y., Xu, X., Qu, J., and Qu, B. 2020. Adsorption of Hg(II) in an Aqueous Solution by Activated Carbon Prepared from Rice Husk Using KOH Activation. *ACS omega*, 5(45), 29231–29242. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c03992>.
- Maulana, G. G. R., Agustina, L., dan Susi. 2017. Proses Aktivasi Arang Aktif dari Cangkang Kemiri (Aleurites Moluccana) dengan Variasi Jenis dan Konsentrasi Aktivator Kimia. *Ziraa'ah*, 42(3), 247 – 256.
- Michaelis, S., and Loranie, T. 2005. Aircraft Cabin Air Filtration and Related Technologies: Requirements, Present Practice and Prospects. *Hdb Env Chem*. Vol 4, Part H, 267 – 289. DOI 10.1007/b107248.
- Mistar, E. M., Hasmita, I., Alfatah, T., Muslim, A., and Supardan, M. 2019. Adsorption of Mercury(II) using Activated Carbon Produced from *Bambusa vulgaris* var. *striata* in a Fixed-Bed Column. *Journal Sains Malaysiana*, 48(4), 719 – 725.
- Murdika, A. 2009. Aplikasi teknik kombinasi adsorpsi dan elektrolisis untuk menurunkan kandungan fenol dalam limbah industri bahan kimia sanitasi. Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Indonesia.

- Musafira, Dzulkifli, Fardinah, Qadrini, L. 2020. Penyerapan Ion Logam Merkuri Menggunakan Arang Aktif Limbah Kulit Pisang Kepok (*Musa paradisiaca Formatypica*). *Jurnal Riset Kimia*, 6(1), 39 – 44.
- Najmia, H., Mahreda, E. S., Mahyudin, R. P., dan Kissinger. 2021. Pemanfaatan Arang Aktif Cangkang Kelapa Sawit Teraktivasi  $H_3PO_4$  untuk Penurunan Kadar Besi (Fe) Mangan (Mn) dan Kondisi pH pada Air Asam Tambang. *EnviroScienceae*, 17(1), 30 – 37.
- Nurrahman, A., Permana, E., Gusti, D. R., dan Lestari, I. 2021. Pengaruh Konsentrasi Aktivator Terhadap Kualitas Karbon Aktif dari Batubara Lignit. *Jurnal Daur Lingkungan*, 4(2), 44 – 53.
- Nyamful, A., Nyogbe, E. K., Mohammed L., , Zainudeen, M. N., Darkwa, S. A., Phiri, I., Mohammed, M., and Ko, J. M. 2021. Processing and Characterization of Activated Carbon from Coconut Shell and Palm Kernel Shell Waste by  $H_3PO_4$ . *Ghana Journal of Science*, 61(2), 91–104.
- Olivia, M. E. 2015. Pengaruh Penambahan Aktivator  $ZnCl_2$ ,  $KOH$ , dan  $H_3PO_4$  Dalam Pembuatan Karbon Aktif Dari Pelelah Aren (*Arenga Pinnata*). *Jurnal Teknik Kimia*, 4(1), 47 – 52.
- Olumuyiwa, A. J., Isaac, T.S., Adewunmi, O. A., and Ololade, A. I. 2012. Effects of palm kernel shell on the microstructure and mechanical properties of recycled polyethylene/palm kernel shell particulate composites. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 11(8), 825 – 831.
- Oluyemi, E., Adeyemi, A. F., and Olabanji, I. O. 2012. Removal Of  $Pb^{2+}$  and  $Cd^{2+}$  Ions From Wastewaters Using Palm Kernel Shell Charcoal (PKSC). *Research Journal in Engineering and Applied Sciences*, 1(5), 308 – 313.
- Ooi, C. H., Ito, A., Otake, T., and Yeoh, F. Y. 2016. Cerium removal by activated carbon derived from palm kernel shell. *Advanced Materials Letters*, 8(2), 145 – 149.
- Osei, D. Y. 2013. Pozzolana and palm kernel shells as replacements of Portland cement and crushed granite in concrete. *Journal of Engineering Inventions*, 2(10), 1 – 5.
- Pambayun, G. S., Yulianto, Y. E., Rachimoellah, M., dan Putri, E. M. M. 2013. Pembuatan Karbon Aktif dari Arang Tempurung Kelapa dengan Aktivator  $ZnCl_2$  dan  $Na_2CO_3$  Sebagai Adsorben untuk Mengurangi Kadar Fenol dalam Air Limbah. *Jurnal Teknik POMITS*, 2(1), 116 – 120.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
- Persada, G. B., dan Yunest, P. 2020. Pengaruh Temperatur, Komposisi Bahan Cangkang Inti Kelapa Sawit dan Konsentrasi Perikat pada Karakteristik Briket Komersial dari Tempurung Kelapa Sawit. *Journal of Science and Applicative Technology*, 4(2), 126 – 132.
- Perwitasari, D. S. 2021. Teknologi Penurunan Kadar Ion Logam pada Limbah Cair Industri. CV. Mitra Abisatya. <http://eprints.upnjatim.ac.id/8201/>.
- Rahman, H., Wilantika, I., dan Latief, M. 2016. Mengetahui Kadar Logam Berat Merkuri (Hg) pada Krim Pemutih yang Tidak Teregistrasi oleh BPOM yang beredar di Kecamatan Pasar Kota Jambi Menggunakan SSA. *Jurnal Farmasi Indonesia*, 16, 36 – 44.
- Rashidi, N. A., and Yusuf, S. 2019. Production of Palm Kernel Shell-Based Activated Carbon by Direct Physical Activation for Carbon Dioxide Adsorption. *Environmental Science and Pollution Research* (26). <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1903-8>.
- Rampe, M. J., and Tiwow, V. A. 2018. Fabrication and Characterization of Activated Carbon from Charcoal Coconut Shell Minahasa Indonesia. *Journal of Physics: Conference Series*, 1.028.

- Sahara, E., Sulihingtyas, W. D., dan Mahardika, I. P. A. S. 2017. Pembuatan dan Karakterisasi Arang Aktif dari Batang Tanaman Gumitir (*Tagetes Erecta*) yang Diaktivasi dengan  $H_3PO_4$ . *Jurnal Kimia*, 11(1), 1 – 9.
- Sailah, I., Mulyaningsih, F., Ismayana, A., Puspaningrum, T., Adnan, A. A., dan Indrasti, N. S. 2020. Kinerja Karbon Aktif dari Kulit Singkong dalam Menurunkan Konsentrasi Fosfat pada Air Limbah *Laundry*. *Jurnal Teknologi Industri*, 30(2), 180 – 189.
- Sandi, A. P., dan Astuti. 2014. Pengaruh Waktu Aktivasi Menggunakan  $H_3PO_4$  Terhadap Struktur dan Ukuran Pori Karbon Berbasis Arang Tempurung Kemiri (*Aleurites moluccana*), 3(2), 115 – 120.
- Shafiq, M., Alazba, A. A., and Amin, M. T. 2018. Removal of heavy metals from wastewater using date palm as a biosorbent: A comparative review. *Sains Malaysiana*, 47(1), 35 – 49.
- Shaukat, M. I., Wahi, R., Rosli, N. R., Aziz S. M. A., and Ngaini, Z. 2021. Chemically modified palm kernel shell biochar for the removal of heavy metals from aqueous solution. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 765. DOI: 10.1088/1755-1315/765/1/012019.
- Somayajula, A., Aziz, A. A., Saravanan, P., and Matheswaran, M. 2012. Adsorption of mercury (II) ion from aqueous solution using low-cost activated carbon prepared from mango kernel. *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*, 8(1), 1 – 10. Doi: 10.1002/apj.1613.
- Sudrajat R, Soleh S. 1994. *Petunjuk Teknis Pembuatan Arang Aktif*. Badan Peneliti dan Pengembangan Kehutanan. Bogor.
- Sunardi S., dan Nurliani N. 2008. Pemanfaatan arang aktif sekam padi dengan aktivator natrium karbonat ( $Na_2CO_3$ ) 5% untuk mengurangi kadar besi (Fe) dalam air ledeng. *Jurnal Teknologi Hasil Hutan*, 23, 99–104.
- Tarapitakcheevin, P., Weerayutsil, P., Khuanmar, K. 2013. Adsorption of Acid Dye on Activated Carbon Prepared from Water Hyacinth by Sodium Chloride Activation. *GMSARN International Journal*, 7, 83 – 90.
- Tasanif, R., Isa, I., dan Kunusa, W. R. 2020. Potensi Ampas Tebu Sebagai Adsorben Logam Berat Cd, Cu dan Cr. *Jambura Journal of Chemistry*, 2(1), 35 – 45.
- Ulfia, S. M. M., dan Astuti. 2014. Sintesis Karbon Aktif dari Kulit Durian Untuk Pemurnian Air Gambut. *Jurnal Fisika Unand*, 3(4), 255 – 261.
- Vasdazara, O. L., Ardhyanta, H., dan Wicaksono, S. T. 2018. Pengaruh Penambahan Serat Cangkang Kelapa Sawit (Palm Kernel Fiber) Terhadap Sifat Mekanik dan Stabilitas Termal Komposit Epoksi/Serat Cangkang Kelapa Sawit. *Jurnal Teknik ITS*, 7(1), 2337 – 3520.
- Viena, V., Bahagia, dan Afrizal, Z. 2020. Produksi Karbon Aktif dari Cangkang Sawit dan Aplikasinya Pada Penyerapan Zat Besi, Mangan Dan ph Air Sumur. *Serambi Engineering*, 5(1), 875 – 882.
- Viswanathan, B., Neel, P. I., and Varadarajan, T. K. 2009, *Methods of Activation and Specific Applications of Carbon Material*, Indian Institute of technology Madra, Chennai.
- Yihang. (2022, March 18). The Difference Between Granular and Powdered Activated Carbon. <https://www.yihangcarbon.com/news/the-difference-between-granular-and-powdered-activated-carbon.html>.

## LAMPIRAN

### Lampiran I : Skema Kerja

#### 1. Preparasi Sampel Cangkang Inti Kelapa Sawit

Cangkang Inti Kelapa Sawit

- Ditimbang  $\pm 2$  kg cangkang inti kelapa sawit
- Dicuci bersih dengan akuades
- Dikeringkan di bawah sinar matahari

Hasil

#### 2. Pembuatan Karbon

Cangkang Inti Kelapa Sawit yang telah bersih

- Dimasukkan ke dalam furnace dengan suhu  $650^{\circ}\text{C}$  selama 2 jam lalu didinginkan
- Dihancurkan atau di gerus hingga halus
- Diayak dengan lolos ukuran 50 mesh dan 100 mesh

Hasil

#### 3. Aktivasi Karbon dengan NaOH

200 gram karbon cangkang inti kelapa sawit

- Direndamkan dengan 500 mL NaOH 0,1 N selama 24 jam
- Dicuci dengan akuades
- Dimasukkan kedalam oven dengan suhu  $105^{\circ}\text{C}$  selama 1 jam

Hasil

#### 4. Aktivasi Karbon dengan $\text{H}_3\text{PO}_4$

200 gram karbon cangkang inti kelapa sawit

- Direndamkan dengan 500 mL  $\text{H}_3\text{PO}_4$  0,1 N selama 24 jam
- Dicuci dengan akuades
- Dimasukkan kedalam oven dengan suhu  $105^{\circ}\text{C}$  selama 1 jam

Hasil

## 5. Penentuan Uji Standar Karbon Sesuai SNI 06-3730-1995

### I. Uji Kadar Air

1 gram karbon aktif cangkang inti kelapa sawit dari yang teraktivasi  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , NaOH dan yang tidak teraktivasi

- Dimasukkan kedalam oven dengan suhu  $110^\circ\text{C}$  selama 1 jam

Hasil

### II. Uji Kadar Abu

1 gram karbon aktif cangkang inti kelapa sawit dari yang teraktivasi  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , NaOH dan yang tidak teraktivasi

- Dimasukkan kedalam furnace dengan suhu  $900^\circ\text{C}$  selama 2 jam

Hasil

### III. Kadar Zat Terbang

1 gram karbon aktif cangkang inti kelapa sawit dari yang teraktivasi  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , NaOH dan yang tidak teraktivasi

- Dimasukkan kedalam furnace dengan suhu  $900^\circ\text{C}$  selama 7 menit

Hasil

## 6. Pembuatan Larutan sampel merkuri

0,1354 gram  $\text{HgCl}_2$

- Dimasukkan kedalam labu ukur kemudian dilarutkan dengan ditambahkan akuades dan 1 ml  $\text{HNO}_3$  65% hingga volume larutan 100 ml

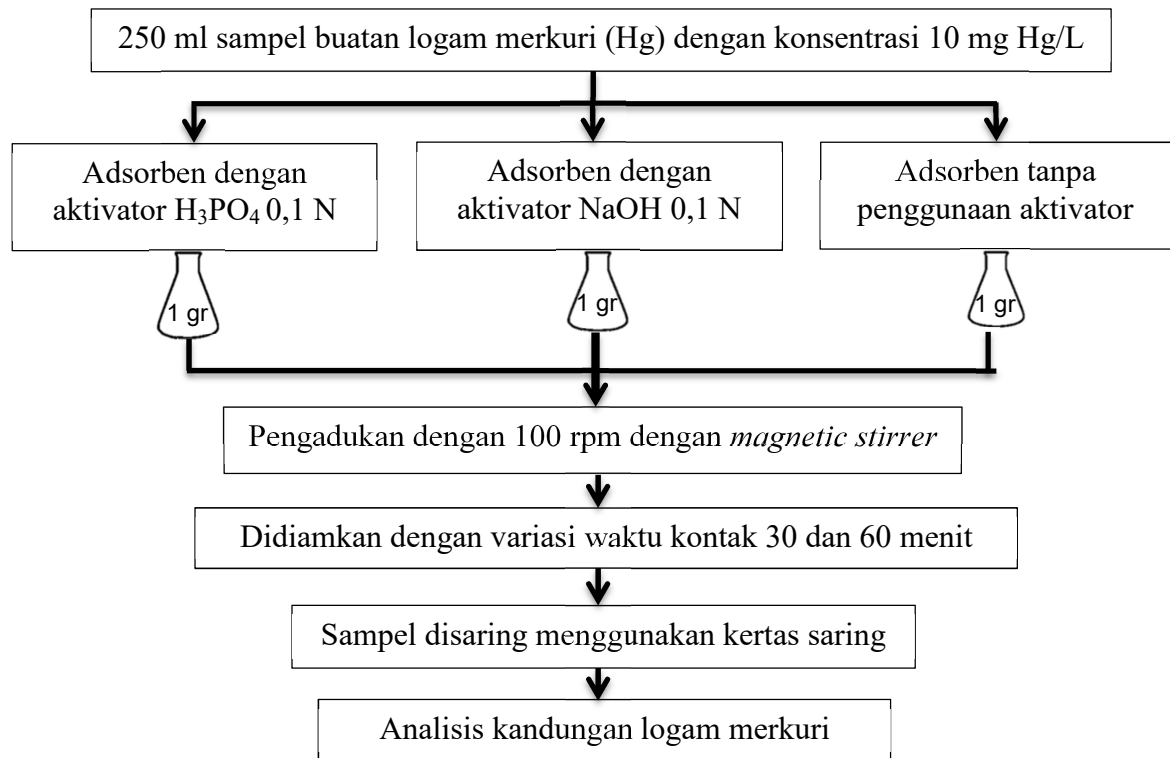
Larutan Merkuri  
1000 mg/L

- Dilakukan pengenceran larutan dengan mengambil masing-masing 2,5 ml kedalam labu ukur dan ditambahkan akuades hingga 250 ml

Larutan Merkuri  
10 mg/L

Hasil

## 7. Pengujian karbon aktif terhadap merkuri





## Lampiran II : Pembuatan Larutan

### 1. Larutan Aktivator H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 0,1 N

- Diketahui : Massa Jenis = 1,71 g/ml  
Berat Molekul = 98 g/mol

- Maka Normalitas :

$$N = \frac{(\text{massa jenis} \times 10 \times \%) \times \text{Valensi}}{\text{Berat Molekul}}$$

$$N = \frac{\left(1,71 \frac{\text{g}}{\text{ml}} \times 10 \times 85\%\right) \times 3}{98 \text{ g/mol}}$$

$$N = 44,49 \text{ N}$$

- Volume yang dibutuhkan:

$$N_1 \times V_1 = N_2 \times V_2$$

$$44,49 \text{ N} \times V_1 = 0,1 \text{ N} \times 500 \text{ ml}$$

$$V_1 = \frac{50 \text{ ml}}{44,49}$$

$$V_1 = 1,12 \text{ ml}$$

### 2. Larutan Aktivator NaOH 0,1 N

$$N = \frac{\text{Massa}(\text{gr}) \times \text{Valensi}}{\text{Mr} \times \text{Volume}}$$

$$0,1 \text{ N} = \frac{\text{Massa}(\text{gr}) \times 1}{40 \times \left(\frac{1000}{500}\right)}$$

$$\text{Massa} = 2 \text{ gram}$$

### 3. Pengenceran Larutan Merkuri 10 mg/L

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 1000 \text{ ppm} = 250 \text{ ml} \times 10 \text{ ppm}$$

$$V_1 = 2,5 \text{ ml}$$

**Lampiran III : Perhitungan Karakteristik Karbon Aktif**

**Tabel Lampiran III. 1 Data Kadar Air Karbon Aktif Uji Pertama**

Karbon	Aktivator	Massa karbon (gram)	Berat Cawan	Berat Total sebelum	Berat total Setelah	Hasil (%)
50 Mesh	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1	34,1390	35,1390	35,0151	12,4
	NaOH		30,3605	31,3605	31,2484	11,2
	Tanpa		28,0133	29,0135	28,9800	3,3
100 Mesh	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>		30,5274	31,5274	31,4222	10,5
	NaOH		39,3177	40,3178	40,2150	10,3
	Tanpa		36,1328	37,1330	37,1088	2,4

**Tabel Lampiran III. 2 Data Kadar Air Karbon Aktif Uji Kedua**

Karbon	Aktivator	Massa karbon (gram)	Berat Cawan	Berat Total sebelum	Berat total Setelah	Hasil (%)
50 Mesh	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1	34,1416	35,1416	35,0097	13,2
	NaOH		28,0143	29,0145	28,8987	11,6
	Tanpa		36,1343	37,1345	37,0991	3,5
100 Mesh	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>		30,3619	31,3619	31,2575	10,4
	NaOH		39,3192	40,3192	40,2293	9,0
	Tanpa		30,5273	31,5275	31,5055	2,2

**Tabel Lampiran III. 3 Data Kadar Air Karbon Aktif Uji Ketiga**

Karbon	Aktivator	Massa karbon (gram)	Berat Cawan	Berat Total sebelum	Berat total Setelah	Hasil (%)
50 Mesh	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1	35,4640	36,4640	36,3597	10,4
	NaOH		29,0143	30,0143	29,8997	11,5
	Tanpa		31,4175	32,4175	32,3815	3,6
100 Mesh	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>		28,6673	29,6673	29,5751	9,2
	NaOH		30,6607	31,6607	31,5681	9,3
	Tanpa		28,0407	29,0407	29,0150	2,6

**Tabel Lampiran III. 4 Data Kadar Air Karbon Aktif Rata-rata**

Karbon	Aktivator	Hasil (%)
50 Mesh	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	12,0
	NaOH	11,4
	Tanpa	3,5
100 Mesh	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	10,1
	NaOH	9,5
	Tanpa	2,4

Perhitungan kadar air pada karbon aktif 50 Mesh dengan aktivator H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>:  
 Berat Cawan (M1) = 34,1390 gram

Berat cawan + sampel awal (M2) = 35,1390 gram

Berat Cawan + sampel setelah (M3) = 35,0151 gram

Maka:

$$\text{Kadar air \% (M)} = \frac{M2 - M3}{M2 - M1} \times 100$$

$$\text{Kadar air \% (M)} = \frac{35,1390 - 35,0151}{35,1390 - 34,1390} \times 100$$

$$\text{Kadar air \% (M)} = 12,4\%$$

Dilakukan cara perhitungan yang sama untuk mengetahui kadar air karbon aktif lainnya.

**Tabel Lampiran III. 5** Data Kadar Abu Karbon Aktif Uji Pertama

Karbon	Aktivator	Massa karbon (gram)	Berat Cawan	Berat Total sebelum	Berat total Setelah	Hasil (%)
50 Mesh	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1	81,1638	82,1638	81,2246	6,1
	NaOH		77,4679	78,4679	77,5269	5,9
	Tanpa		79,4513	80,4513	79,5675	11,6
100 Mesh	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>		74,2043	75,2043	74,2791	7,5
	NaOH		77,6824	78,6824	77,7601	7,8
	Tanpa		76,1828	77,1828	76,2888	10,6

**Tabel Lampiran III. 6** Data Kadar Abu Karbon Aktif Uji Kedua

Karbon	Aktivator	Massa karbon (gram)	Berat Cawan	Berat Total sebelum	Berat total Setelah	Hasil (%)
50 Mesh	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1	74,3075	75,3075	74,3712	6,4
	NaOH		82,8780	83,8780	82,9343	5,6
	Tanpa		79,1724	80,1724	79,2768	10,4
100 Mesh	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>		76,8233	77,8233	76,9024	7,9
	NaOH		75,5091	76,5091	75,5811	7,2
	Tanpa		77,4739	78,4739	77,5924	11,8

**Tabel Lampiran III. 7** Data Kadar Abu Karbon Aktif Uji Ketiga

Karbon	Aktivator	Massa karbon (gram)	Berat Cawan	Berat Total sebelum	Berat total Setelah	Hasil (%)
50 Mesh	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1	74,4782	75,4782	74,5398	6,2
	NaOH		82,8838	83,8838	82,9421	5,8
	Tanpa		79,1084	80,1084	79,2201	11,2
100 Mesh	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>		76,9107	77,9107	76,9934	8,3
	NaOH		75,5254	76,5254	75,6041	7,9
	Tanpa		77,4817	78,4817	77,5985	11,7

**Tabel Lampiran III. 8** Data Kadar Abu Karbon Aktif Rata-rata

Karbon	Aktivator	Hasil (%)
50 Mesh	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	6,2
	NaOH	5,8
	Tanpa	11,1
100 Mesh	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	7,9
	NaOH	7,6
	Tanpa	11,4

Perhitungan kadar abu pada karbon aktif 50 Mesh dengan aktivator H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>:

Berat Cawan (X1) = 81,1638 gram

Berat cawan + sampel awal (X2) = 82,1638 gram

Berat Cawan + sampel setelah (X3) = 81,2246 gram

Maka:

$$\text{Kadar abu \%} = \frac{X3 - X1}{X2 - X1} \times 100$$

$$\text{Kadar abu \%} = \frac{81,2246 - 81,1638}{82,1638 - 81,1638} \times 100$$

$$\text{Kadar abu \%} = 6,1 \%$$

Dilakukan cara perhitungan yang sama untuk mengetahui kadar abu karbon aktif lainnya.

**Tabel Lampiran III. 9** Data Kadar Zat Terbang Karbon Aktif Uji Pertama

Karbon	Aktivator	Massa karbon (gram)	Berat Cawan	Berat Total sebelum	Berat total Setelah	Hasil (%)
50 Mesh	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1	78,1208	79,1208	78,8730	24,8
	NaOH		78,4267	79,4267	79,1678	25,9
	Tanpa		82,8403	83,8403	83,5489	29,1
100 Mesh	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>		76,0845	77,0845	76,8730	21,2
	NaOH		75,9612	76,9612	76,7465	21,5
	Tanpa		74,9074	75,9074	75,6064	30,1

**Tabel Lampiran III. 10** Data Kadar Zat Terbang Karbon Aktif Uji kedua

Karbon	Aktivator	Massa karbon (gram)	Berat Cawan	Berat Total sebelum	Berat total Setelah	Hasil (%)
50 Mesh	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1	82,1260	83,1260	82,8943	23,2
	NaOH		74,2555	75,2555	74,9975	25,8
	Tanpa		75,6276	76,6276	76,3294	29,8
100 Mesh	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>		75,5601	76,5601	76,3652	19,5
	NaOH		81,9120	82,9120	82,7091	20,3
	Tanpa		76,6728	77,6728	77,3963	27,6

**Tabel Lampiran III. 11** Data Kadar Zat Terbang Karbon Aktif Ketiga

Karbon	Aktivator	Massa karbon (gram)	Berat Cawan	Berat Total sebelum	Berat total Setelah	Hasil (%)
50 Mesh	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1	80,9443	81,9443	81,7145	23,0
	NaOH		77,7630	78,7630	78,5176	24,5
	Tanpa		78,5040	79,5040	79,1892	31,5
100 Mesh	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>		74,2156	75,2156	74,9824	23,3
	NaOH		76,6775	77,6775	77,4711	20,6
	Tanpa		78,1910	79,1910	78,8962	29,5

**Tabel Lampiran III. 12** Data Kadar Zat Terbang Karbon Aktif Rata-rata

Karbon	Aktivator	Hasil Selisih Rata-rata (%)	Hasil Rata-rata (%)
50 Mesh	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	23,6	11,6
	NaOH	25,4	14,0
	Tanpa	30,1	26,7
100 Mesh	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	21,3	11,3
	NaOH	20,8	11,3
	Tanpa	29,1	26,7

Perhitungan kadar zat terbang pada karbon aktif 50 Mesh dengan aktivator H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>:

Berat Cawan = 78,1208 gram

Berat cawan + sampel awal = 79,1208 gram

Berat Cawan + sampel setelah = 78,8730 gram

Maka:

$$\text{Kadar Zat Terbang (VM)} = \left( \frac{M_2 - M_3}{M_2 - M_1} \times 100 \right) - M$$

$$\text{Zat Terbang (VM)} = \left( \frac{79,1208 - 78,8730}{79,1208 - 78,1208} \times 100 \right) - 12,4 \%$$

$$\text{Zat Terbang (VM)} = 24,8 - 12,4 \%$$

$$= 11,6 \%$$

Dilakukan cara perhitungan yang sama untuk mengetahui kadar zat terbang karbon aktif lainnya.

**Tabel Lampiran III. 13** Data Kadar Karbon Tetap pada Karbon Aktif

Karbon	Aktivator	Karbon Tetap (%)
50 Mesh	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	70,2
	NaOH	68,8
	Tanpa Aktivator	58,8
100 Mesh	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	70,8
	NaOH	71,6
	Tanpa Aktivator	59,5

Perhitungan kadar karbon tetap pada karbon aktif 50 Mesh dengan aktivator H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>:

$$\text{Karbon tetap} = 100\% - (\text{kadar air} + \text{kadar abu} + \text{zat terbang})$$

$$\text{Karbon tetap} = 100\% - (12,0\% + 6,2\% + 11,6\%)$$

$$\text{Karbon tetap} = 70,2\%$$

Dilakukan cara perhitungan yang sama untuk mengetahui kadar karbon tetap pada karbon aktif lainnya.

**Lampiran IV : Perhitungan Efektivitas Adsorben**

**Tabel Lampiran IV. 1 Data Efektivitas Karbon Aktif Pengujian Pertama**

Waktu Kontak (menit)	Aktivasi	Variasi Ukuran (mesh)	Konsentrasi Merkuri mg/l	
			Sebelum Adsorpsi	Setelah Adsorpsi
30	Tanpa	50	10	4,6
		100		0,75
60		50		1,52
		100		0,48
30	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	50		4,18
		100		0,17
60		50		1,44
		100		0,04
30	NaOH	50	3,33	
		100	0,07	
60		50	0,5	
		100	0,03	

**Tabel Lampiran IV. 2 Data Efektivitas Karbon Aktif Pengujian Kedua**

Waktu Kontak (menit)	Aktivasi	Variasi Ukuran (mesh)	Konsentrasi Merkuri mg/l	
			Sebelum Adsorpsi	Setelah Adsorpsi
30	Tanpa	50	10	4,99
		100		0,75
60		50		1,54
		100		0,47
30	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	50		4,34
		100		0,28
60		50		2,4
		100		0,04
30	NaOH	50	3,29	
		100	0,08	
60		50	0,49	
		100	0,03	

**Tabel Lampiran IV. 3 Data Efektivitas Karbon Aktif Pengujian Rata-rata**

Waktu Kontak (menit)	Aktivasi	Variasi Ukuran (mesh)	Konsentrasi Merkuri mg/l		Konsentrasi Terserap (mg/l)	Efisiensi Adsorpsi (%)	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)
			Sebelum Adsorpsi	Setelah Adsorpsi			
30	Tanpa	50	10	4,8	5,21	52,1	1,30
		100		0,75	9,25	92,5	2,31
60		50		1,53	8,47	84,7	2,12
		100		0,48	9,53	95,3	2,38
30	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	50		4,26	5,74	57,4	1,44
		100		0,18	9,83	98,3	2,46
60		50		1,42	8,58	85,8	2,15
		100		0,04	9,96	99,6	2,49
30	NaOH	50		3,31	6,69	66,9	1,67
		100		0,08	9,93	99,3	2,48
60		50		0,50	9,51	95,1	2,38
		100		0,03	9,97	99,7	2,49

Perhitungan besarnya nilai efisiensi adsorpsi dan kapasitas adsorpsi pada karbon aktif ukuran 50 mesh dengan waktu kontak 30 menit adalah sebagai berikut:

Konsentrasi awal = 10 mg/l

Konsentrasi akhir = 2,324 mg/l

Maka:

- Efisiensi adsorpsi yang diperoleh adalah  $\frac{(10 \text{ mg/l} - 4,8 \text{ mg/l})}{10} \times 100\% = 52,1 \%$

- Untuk Kapasitas Adsorpsi =  $\frac{(\text{Konsentrasi awal} - \text{konsent akhir})}{\text{massa karbon aktif}} \times \text{Volume adsorbat}$

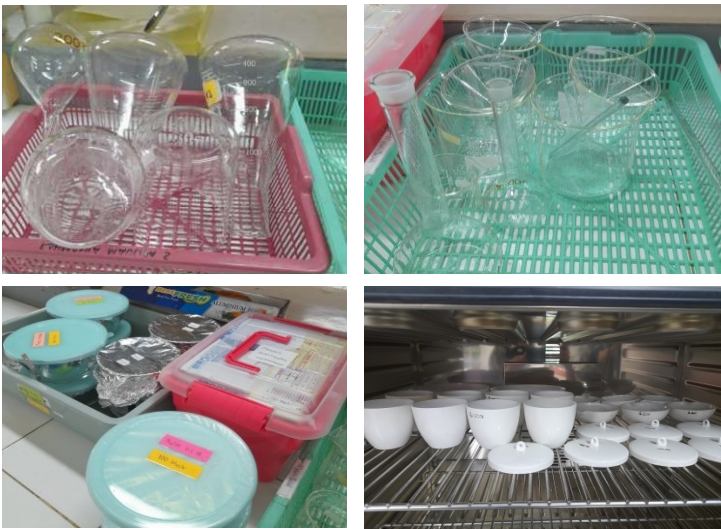
$$= \frac{(10 \text{ mg/l} - 4,8 \text{ mg/l})}{1 \text{ gram}} \times 0,25 \text{ L}$$






$$= 1,30 \text{ mg/l}$$



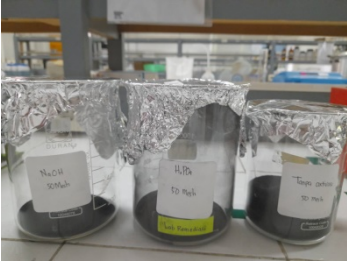
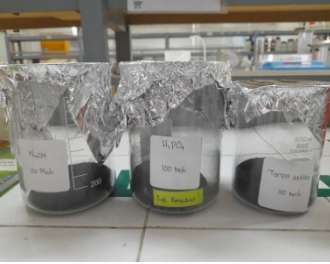


Dilakukan cara perhitungan yang sama untuk mengetahui nilai efektivitas pada karbon aktif lainnya.



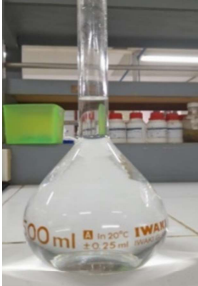





**Lampiran V : Dokumentasi Penelitian**





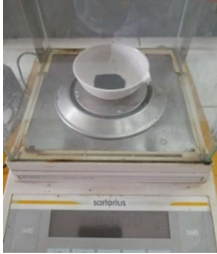
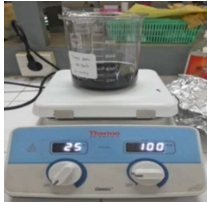
No	Perlakuan	Gambar
A.	<b>Persiapan Alat dan Bahan</b>	
1.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beakerglass ukuran 1000 ml dan 500 ml</li> <li>• Labu ukur ukuran 500 ml, 250 ml dan 100 ml</li> <li>• Pipet volumetri ukuran 10 ml</li> <li>• Erlenmeyer ukuran 1000 ml</li> <li>• Cawan porselin ukuran 300 ml dan 50 ml</li> <li>• Cawan krusibel ukuran 50 ml</li> <li>• Botol duran/kaca 250 ml</li> <li>• Wadah penyimpanan kaca 500 ml</li> </ul>	
2.	<p>Bahan yang digunakan adalah limbah cangkang inti kelapa sawit, NaOH, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, HgCl<sub>2</sub>, HNO<sub>3</sub></p>	 <p>(a) Cangkang Kelapa Sawit</p> <p>(b) NaOH</p> <p>(c) H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub></p> <p>(d) HNO<sub>3</sub></p> <p>(e) HgCl<sub>2</sub></p>

No	Perlakuan	Gambar	
<b>B. Persiapan Sampel Cangkang Inti Kelapa Sawit</b>			
1.	Ditimbang Cangkang Inti Kelapa Sawit		
2.	Dicuci hingga bersih dengan akuades		
3.	Dikeringkan di bawah sinar matahari		
<b>C. Pembuatan Karbon Cangkang Inti Kelapa Sawit</b>			
1.	Dimasukkan ke dalam furnace dengan suhu 650 °C selama 2 jam		
2.	Dihancurkan/digerus hingga halus		

No	Perlakuan	Gambar													
3.	Diayak dengan lolos ukuran 50 mesh dan 100 mesh														
4.	Disiapkan dan dipisahkan karbon aktif sesuai kebutuhan														
5.	Hasil keseluruhan berat karbon aktif cangkang inti kelapa sawit														
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th data-bbox="619 978 794 1016">Keterangan</th> <th data-bbox="799 978 970 1016">Berat (Kg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="619 1023 794 1122">Massa sebelum furnace</td> <td data-bbox="799 1023 970 1122" style="text-align: center;">1,929</td> </tr> <tr> <td data-bbox="619 1128 794 1227">Massa setelah furnace</td> <td data-bbox="799 1128 970 1227" style="text-align: center;">0,450</td> </tr> <tr> <td data-bbox="619 1234 794 1301">Massa Hilang</td> <td data-bbox="799 1234 970 1301" style="text-align: center;">1,479</td> </tr> <tr> <td data-bbox="619 1308 794 1375">% Rendemen</td> <td data-bbox="799 1308 970 1375" style="text-align: center;">23,33%</td> </tr> <tr> <td data-bbox="619 1382 794 1449">% Yang Hilang</td> <td data-bbox="799 1382 970 1449" style="text-align: center;">76,67%</td> </tr> </tbody> </table>		Keterangan	Berat (Kg)	Massa sebelum furnace	1,929	Massa setelah furnace	0,450	Massa Hilang	1,479	% Rendemen	23,33%	% Yang Hilang	76,67%
Keterangan	Berat (Kg)														
Massa sebelum furnace	1,929														
Massa setelah furnace	0,450														
Massa Hilang	1,479														
% Rendemen	23,33%														
% Yang Hilang	76,67%														
<b>D. Aktivasi Karbon Aktif Cangkang Inti Kelapa Sawit</b>															
1.	Pembuatan Larutan Aktivator NaOH 0,1 N 500 ml														
2.	Direndamkan karbon aktif sebanyak 50 gram dengan larutan aktivator														



No	Perlakuan	Gambar
3.	Pembuatan Larutan Aktivator $H_3PO_4$ 0,1 N 500 ml	
4.	Direndamkan karbon aktif sebanyak 50 gram dengan larutan aktivator	
5.	Setelah 24 jam perendaman oleh aktivator, dilakukan penyaringan karbon aktif dan dilakukan pencucian dengan akuades	
6.	Dimasukkan kedalam oven selama 1 jam dengan suhu $105\text{ }^\circ\text{C}$ dan dipisahkan karbon aktif sesuai kebutuhan	
<b>E. Pengujian Karbon Aktif Sesuai SNI 06-3730-1995</b>		
1.	Ditimbang sebanyak 1 gram dari masing-masing variasi karbon aktif untuk mengukur kadar air dengan memasukkannya kedalam oven selama 1 jam dengan suhu $110\text{ }^\circ\text{C}$ Kemudian ditimbang berat akhirnya	
2.	Ditimbang sebanyak 1 gram dari masing-masing variasi karbon aktif untuk mengukur kadar abu dengan memasukkannya ke dalam furnace dengan suhu $900\text{ }^\circ\text{C}$ selama 2 jam Kemudian ditimbang berat akhirnya	

No	Perlakuan	Gambar
3.	Ditimbang sebanyak 1 gram dari masing-masing variasi karbon aktif untuk mengukur kadar zat terbang dengan memasukkannya ke dalam furnace dengan suhu 900 °C selama 7 menit Kemudian ditimbang berat akhirnya.	
<b>F. Pembuatan Larutan Sampel Mengandung Merkuri</b>		
1.	Ditimbang 0,1354 gram HgCl <sub>2</sub>	
2.	Ditambahkan HNO <sub>3</sub> 65% 1 ml dan akuades ke dalam labu ukur 100 ml dan diambil 2,5 ml dari larutan induk dan dimasukkan kedalam labu ukur 250 ml dan ditambahkan akuades tepat hingga tanda batas untuk mendapatkan konsentrasi yang diinginkan yaitu 10 mg/l dalam 250 ml	
3.	Diukur pH larutan uji (hasil pH 5,12)	
<b>G. Pengujian Adsorpsi Karbon Aktif Terhadap Merkuri</b>		
1.	Ditimbang sebanyak 1 gram dari masing-masing variasi karbon aktif untuk ditambahkan ke dalam reaktor (beaker glass) yang berjumlah total 24 reaktor berisi larutan mengandung merkuri 10 mg/l	
2.	Selama proses kontak berlangsung dilakukan dengan magnetic stirrer dengan kecepatan 100 rpm selama 30 menit (12 reaktor) dan 60 menit (12 reaktor)	

No	Perlakuan	Gambar
3.	<p>Disaring menggunakan kertas saring dan corong kaca, adsorbat yang tersaring ditampung di dalam wadah kaca yang akan dilakukan pengujian konsentrasi menggunakan AAS</p>	
4.	<p>Sisa proses adsorpsi (adsorben dan kertas saring) dikumpulkan menjadi satu untuk dibuang ke dalam tempat sampah golongan B3</p>	

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama Zannuba Qotrunnadhha lahir di Torgamba, 12 Maret 2000. Pendidikan yang telah ditempuh oleh penulis yaitu SD Negeri 117475 Sei Baruhur tahun 2006, SMP Swasta Al-Azhar Medan tahun 2012, SMA Plus Swasta Al-Azhar Medan tahun 2015, dan pada tahun 2018 penulis melanjutkan pendidikan program S1 Teknik Lingkungan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember dan terdaftar dengan NRP 03211840000031. Penulis aktif dalam berbagai kegiatan keorganisasian di Himpunan Mahasiswa Departemen Teknik Lingkungan ITS, diantaranya sebagai Staff Kajian dan Aksi Strategis periode 2020, sebagai Kepala Bidang Kajian Divisi Kajian dan Aksi Strategis periode 2021, sebagai anggota dari Kelompok Pecinta dan Pemerhati Lingkungan, sebagai Staff *Physical Marketing* dalam kepanitiaan Environation ITS periode 2019 – 2020 dan aktif dalam berbagai kegiatan penunjang *softskill* baik di Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan maupun diluar. Penulis berkesempatan mendapatkan pendanaan pada ajang Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) bidang penelitian pada tahun 2020 dan menjadi Peserta PIMNAS 33 Universitas Gadjah Mada Tahun 2020.





**KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR**

- : Zannuba Qotrunnadha
- : 0321184000031
- : Pemanfaatan Cangkang Inti Kelapa Sawit Sebagai Adsorben dalam Penurunan Konsentrasi Logam Berat Merkuri (Hg)

Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
22/12/2021	Perisapan dan penentuan topik Tugas Akhir (secara online)	Y
03/01/2022	Penentuan judul proposal dan pemeriksaan penyelesaian bab 1-3 (secara online)	Y
17/01/2022	Menampilkan pengerjaan proposal yang telah selesai disusun dan menambahkan literatur-literatur pada bab 2 (secara online)	Y
09/02/2022	Melakukan diskusi berdasarkan arahan dan saran dari para dosen pengarah hasil sidang proposal yang dilaksanakan pada 27 Januari (secara online)	Y
18/04/2022	Mendiskusikan hasil pengujian beberapa karakteristik karbon aktif tidak sesuai SNI (offline di kampus)	Y
04/05/2022	Pengiriman draft laporan dan pengecekan kelengkapan penulisan laporan sesuai format terbaru yang berlaku (secara online)	Y
02/06/2022	Diskusi berdasarkan arahan dan saran dari para dosen pengarah hasil sidang kemajuan terkait pengujian ulang (offline di kampus)	Y
08/06/2022	Mendiskusikan hasil pengujian ulang parameter-parameter karakteristik karbon aktif yang memenuhi SNI (offline di kampus)	Y
19/06/2022	Menampilkan sekaligus pemeriksaan pengerjaan laporan tugas akhir yang telah selesai disusun dengan kesesuaian format (secara online)	Y
20/07/2022	Menampilkan dan sekaligus pemeriksaan pengerjaan laporan Tugas Akhir yang telah selesai dikerjakan sesuai dengan saran dan arahan dosen penguji pada ujian lisan 11 Juli 2022	Y

Surabaya, 25 Juli 2022

Dosen Pembimbing

Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., Ph.D.





PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN - ITS  
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp. 031 8040000, Fax. 031-8020307

UTA-S1-TL-02 TUGAS AKHIR  
Periode: Genap 2021/2022

Kode/SKS : RE184104 (0/8/0)  
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-02  
Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing  
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Senin, 11 Juli 2022  
Pukul : 14.45 - 16.00  
Lokasi : TL 105  
Judul : Pemanfaatan Cangkang Inti Kelapa Sawit Sebagai Adsorben dalam Penurunan Konsentrasi Logam Berat Merkuri (Hg)  
Nama : Zannuba Gotrunnadhha  
NRP. : 0321184000031  
Topik : Penelitian

Tanda Tangan

No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Ujian Tugas Akhir
①	Ikuti saran/masukan dr penguji kesimpulan no 1 → jelaskan lebih detail bagaimana kualitas sebelum & sesudah diaktivasi → sesuai tujuan.
②	

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-02 ke Sekretariat Program Sarjana  
Formulir ini harus dibawa mahasiswa saat asistensi kepada Dosen Pembimbing  
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:

1. Lulus Ujian Tugas Akhir
2. harus mengulang Ujian Tugas Akhir semester berikutnya
3. Tugas Akhir dinyatakan gagal atau harus mengganti Tugas Akhir (lebih dari 2 semester)

Dosen Pembimbing

Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., Ph.D



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEDUMIHAN - ITS  
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp. 031-5040000, Fax: 031-5021397

UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR  
Periode: Genap 2021/2022

Kode/SKS : RE184804 (0/6/0)  
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03  
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji  
Ujian Tugas Akhir


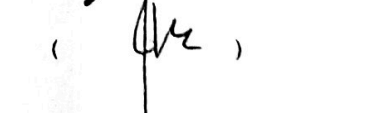
Hari, tanggal : Senin, 11 Juli 2022  
Pukul : 14.45 - 16.00  
Lokasi : TL 105  
Judul : Pemanfaatan Cangkang Inti Kelapa Sawit Sebagai Adsorben dalam Penurunan Konsentrasi Logam Berat Merkuri (Hg)  
Nama : Zannuba Qotrunnadha  
NRP. : 0321184000031  
Topik : Penelitian

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
	Mengapa menggunakan 103 P02 & NR04

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.  
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana  
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Penguji  
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

Dosen Penguji Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, M.ScEs

Dosen Pembimbing Ipung Fitri Purvanti, ST., MT., Ph.D

()  
()



UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR  
Periode: Genap 2021/2022

Kode/BKS : RE184604 (08/07)  
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA 03  
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji  
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Senin, 11 Juli 2022  
Pukul : 14.45 - 16.00  
Lokasi : TL 105  
Judul : Pemanfaatan Cangkang Inti Kelapa Sawit Sebagai Adsorben dalam Penurunan Konsentrasi Logam Berat Merkuri (Hg)  
Nama : Zannuba Qotrunnadha  
NRP. : 03211840000031  
Topik : Penelitan

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
6	literatur dalam literatur → sebaiknya dicari literatur aslinya / primer → contoh tab 2.2.
19	tidak ada deskripsi % kadar air ? →
21	SNI kadar air 15 % (minimum atau maksimum?) kadar zat terbayar SNI → minimal / maksimal?
6	literatur Hg adsorpsi perlu ditambal - Mekanisme adsorpsi → tidak ada di laporan - adsorpsi fisik / kimia ? - faktor apa saja yg berpengaruh pd proses adsorpsi ? - signifik adsorben yg baik / basa yg dpt berpolusi untuk adsorben ?

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.  
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana  
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Penguji  
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

Dosen Penguji : Bieby Voljant Tangahu, ST., MT., Ph D

Dosen Pembimbing : Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., Ph D

lewat catikan dari draft laporan

adsorpsi ini, menguji beberapa apa ?

- uji stabilitas ?

- kemampuan adsorpsi ?

*(Handwritten signatures)*

layanan  
Freundlich



UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR

Periode: Genap 2021/2022

Kode/SKS : PE184804 (0/6/0)

No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03  
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji  
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Senin, 11 Juli 2022  
Pukul : 14.45 - 16.00  
Lokasi : TL 105  
Judul : Pemanfaatan Cangkang Inti Kelapa Sawit Sebagai Adsorben dalam Penurunan Konsentrasi Logam Berat Merkuri (Hg)  
Nama : Zannuba Qotrunnadha  
NRP. : 0321184000031  
Topik : Penelitian

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
1.	Perbedaan dgn peneliti sebelumnya apa?
2.	Spesifikasi karbon aktif (d.p, pori, a/kg etc)
3.	Menyebutkan dimensi CA
4.	Buat hub. jenis aktivasi & Eff
5.	ukuran vs eff.
6.	breakthrough kapan
7.	<del>kontribusi</del> / <del>base</del>
8.	Selama ini dimanfaatkan kenapa?
9.	Gamb. sebelum & sesudah aktivasi
10.	Kontribusi aktivator CA → turunkan dlm hasil paku.

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana

Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Penguji

Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

Dosen Penguji Ir. Bowo Djoko Marsono, M.Eng

(  )

Dosen Pembimbing Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., Ph.D

(  )