

**TESIS**

**SINTESIS *CARBON NANOTUBE* (CNT) DARI TEMPURUNG KEMIRI  
DENGAN METODE *CHEMICAL VAPOR DEPOSITION* (CVD) UNTUK  
ADSORPSI LOGAM BERAT TIMBAL (Pb)**

**REKAWATY**

**H032192009**



**PROGRAM STUDI MAGISTER FISIKA  
DEPARTEMEN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2023**

**SINTESIS CARBON NANOTUBE (CNT) DARI TEMPURUNG KEMIRI  
DENGAN METODE CHEMICAL VAPOR DEPOSITION (CVD) UNTUK  
ADSORPSI LOGAM BERAT TIMBAL (Pb)**

**TESIS**

*Diajukan sebagai Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Magister Sains  
pada Program Studi Magister Fisika Departemen Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Hasanuddin*

**REKAWATY  
H032192009**

**PROGRAM STUDI MAGISTER FISIKA  
DEPARTEMEN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR**

**2023**

**LEMBAR PENGESAHAN TESIS**

**SINTESIS *CARBON NANOTUBE* (CNT) DARI TEMPURUNG KEMIRI  
DENGAN METODE *CHEMICAL VAPOR DEPOSITION* (CVD) UNTUK  
ADSORPSI LOGAM BERAT TIMBAL (Pb)**

Disusun dan diajukan oleh

**REKAWATY  
H032192009**

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi program Magister Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin  
Pada tanggal 17 Juli 2023

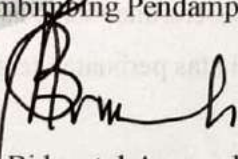
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

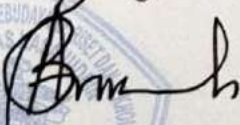
Pembimbing Pendamping,

  
Prof. Dr. Dahlang Tahir, M.Si.  
NIP. 19750907 200003 1 006

  
Dr. Ir. Bidayatul Armynah, M.T.  
NIP. 19630830 198903 2 001

Ketua Program Studi,

Dekan Fakultas,

  
Dr. Ir. Bidayatul Armynah, M.T.  
NIP. 19630830 198903 2 001

  
Dr. Eng. Amiruddin, M.Si.  
NIP. 19720515 199702 1 002



## PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rekawaty  
NIM : H032192009  
Program Studi : Fisika  
Jenjang : S2

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

**SINTESIS *CARBON NANOTUBE* (CNT) DARI TEMPURUNG KEMIRI  
DENGAN METODE *CHEMICAL VAPOR DEPOSITION* (CVD) UNTUK  
ADSORPSI LOGAM BERAT TIMBAL (Pb)**

Adalah karya tulisan sendiri, bukan merupakan pengambil alihan tulisan orang lain dan bahwa teks yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi tesis ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 17 Juli 2023

Yang menyatakan



Rekawaty

## ABSTRAK

Pada penelitian ini, telah berhasil dilakukan sintesis *carbon nanotube* (CNT) dari tempurung kemiri dengan metode *chemical vapor deposition* (CVD) untuk adsorpsi logam berat timbal (Pb). Karakteristik CNT dianalisis menggunakan *x-ray diffraction* (XRD), *fourier transform infrared spectroscopy* (FTIR) dan *scanning electron microscopy* (SEM). Pola XRD dari CNT menunjukkan grafit heksagonal pada puncak  $2\theta$  sebesar  $26,56^\circ$  dan  $44,10^\circ$  dengan panjang gelombang serapan FTIR yang menunjukkan gugus fungsi C=C aromatik dan C-C serta morfologi SEM yang mengonfirmasi material CNT yang disintesis. Adsorpsi logam berat timbal (Pb) pada pH 6,0 dengan waktu kontak satu jam persentase efisiensi adsorpsi timbal sebesar 60,80% atau 17,37 mg/L untuk sampel karbon aktif dengan kapasitas adsorpsi 8,68 mg/g. Sedangkan, untuk CNT dari karbon aktif murni sebesar 15,26% atau 4,36 mg/L dengan kapasitas adsorpsi 2,18 mg/g dan CNT dengan penambahan katalis  $\text{CoSO}_4$  sebesar 35,67% atau 10,19 mg/L dengan kapasitas adsorpsi 5,09 mg/g.

**Kata Kunci:** *Carbon nanotube* (CNT), *Chemical vapor deposition* (CVD), tempurung kemiri, Adsorpsi timbal

## ABSTRACT

In this research, the synthesis of carbon nanotubes (CNT) from candlenut shells using the chemical vapor deposition (CVD) method for the adsorption of heavy metal lead (Pb) has been successfully carried out. CNT characteristics were analyzed using x-ray diffraction (XRD), fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and scanning electron microscopy (SEM). The XRD pattern of CNTs shows hexagonal graphite at  $2\theta$  peaks of  $26,56^\circ$  and  $44,10^\circ$  with FTIR absorption wavelength indicating C=C aromatic and C-C functional groups and SEM morphology confirming the synthesized CNT material. Adsorption of heavy metal lead (Pb) at pH 6,0 with a contact time of one hour, the percentage of lead adsorption efficiency was 60,80% or 17,37 mg/L for activated carbon samples with an adsorption capacity of 8,68 mg/g. Meanwhile, for CNT from pure activated carbon it was 15,26% or 4,36 mg/L with an adsorption capacity of 2,18 mg/g and CNT with the addition of a  $\text{CoSO}_4$  catalyst of 35,67% or 10,19 mg/L with an adsorption capacity of 5,09 mg/g.

**Keywords:** Carbon nanotube (CNT), Chemical vapor deposition (CVD), Candlenut shell, Adsorption of lead.

## KATA PENGANTAR

*Alhamdulillah* *rabbil'alam*, segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah swt, karena atas segala limpahan rahmat dan karunia serta inayah-Nya, sehingga Penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “**Sintesis Carbon Nanotube (CNT) dari Limbah Tempurung Kemiri dengan Metode Chemical Vapor Deposition (CVD) untuk Aplikasi Adsorpsi Logam Berat Timbal (Pb)**” yang disusun sebagai salah satu syarat akademik untuk meraih gelar Magister Sains pada Program Studi Magister Fisika Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa penyelesaian tugas akhir ini masih terdapat banyak hambatan, rintangan dan halangan. Namun, berkat bantuan, motivasi dan doa dari berbagai pihak semua ini dapat teratasi dengan baik. Sehingga secara khusus penulis pada kesempatan ini mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan kontribusi dalam penyusunan tesis ini terutama kepada kedua orang tua penulis, Ayahanda **Abdul Rahim** dan Ibunda **Muliaty** yang telah mendidik dengan penuh kesabaran, terimakasih telah mencurahkan kasih sayang yang tak pernah putus, kesungguhan dalam memberikan dukungan moril serta tak kenal lelah dalam memanjatkan doa serta memberikan nasihat dan motivasi kepada penulis selama menjalani proses pendidikan. Untuk Saudara-saudara penulis **Rahmawaty, Muh. Rafli** dan **Rimabudiarti** serta keluarga yang senantiasa memberikan dukungan dan doa, terima kasih atas segala perhatian yang telah diberikan kepada penulis. Tugas akhir ini hanya setitik kebahagiaan yang bisa penulis persembahkan kepada kalian.

Penghargaan yang tulus dan ucapan terima kasih dengan penuh keikhlasan juga penulis ucapkan kepada:

1. Bapak **Prof. Dr. Dahlang Tahir, M.Si.**, selaku pembimbing utama sekaligus sebagai penasehat akademik penulis yang telah banyak memberikan bantuan yang sangat luar biasa kepada penulis, mulai dari meluangkan waktunya untuk membimbing, mendukung, dan memberi saran-saran kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan penelitian.

2. Ibu **Dr. Ir. Bidayatul Armynah, M.T.** selaku pembimbing pertama sekaligus selaku Ketua Program Studi Magister Fisika Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Terima kasih telah banyak meluangkan waktunya untuk memberikan arahan, bimbingan, ilmu, memberi saran-saran dan kepercayaan yang diberikan kepada penulis.
3. Bapak **Prof. Dr. Arifin., M.T.** selaku Ketua Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam dan segenap dosen pengajar dan staf Departemen Fisika yang telah membekali ilmu dan kemudahan kepada penulis dalam berbagai hal selama menjadi mahasiswa.
4. Bapak **Prof. Dr. Paulus Lobo Gareso, M.Sc., Prof. Dr. rer-nat Wira Bahari Nurdin,** dan Ibu **Prof. Dr. Sri Suryani, DEA.,** sebagai penguji tesis yang telah banyak memberikan masukan dan saran yang membangun untuk kesempurnaan tesis ini.
5. Seluruh anggota **Laboratorium Material dan Energi** terkhusus untuk kakak **Heryanto, S.Si., M.Si., Inayatul Mutmainna, S.Si, M.Si,** untuk adik **Andi Tessiwoja Tenri Ola, S.Si., Syarifuddin, S.Si., Ardiansyah, S.Si., Nurul Fajri Ramadani Tang, S.Si., Andi Uswatun Hasanah, S.Pd., Titin Fatmawati, S.Pd., Fatmawati Sudarman, S.Si., M.Si., Nurul Mutmainnah, S.Si., M. Si., Muh. Azlan** dan seluruh mahasiswa anggota laboratorium terima kasih banyak atas bantuan, arahan, ilmu, keceriaan dan solusi yang selalu diberikan kepada penulis dari awal penelitian hingga penulisan tesis.
6. Teman-teman seperjuangan Magister Fisika terkhusus **Kak Nurjannah, S.Si., M.Si., Nurul Amaliah, S.Si., M.Si., Annamaintin Lembang, S.Si., M.Si., Lorna, S.Si., M.Si., Sasa Harkiah, S.Si., M.Si., Nurhaniah, S.Si., M.Si., dan Syaifuddin, S.Si.,** yang telah memberi saran dan motivasi selama perkuliahan dan penyusunan tesis.
7. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah memberikan semangat, motivasi dan saran sehingga tesis ini dapat terselesaikan dengan baik. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tesis ini masih banyak terdapat kekurangan dan jauh dari kata sempurna yang disebabkan oleh keterbatasan pengetahuan yang dimiliki penulis. Oleh karena itu, penulis



mengharapkan tanggapan baik saran ataupun kritik yang sifatnya membantu dan membangun dalam penyempurnaan tesis ini. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada semua pihak yang telah membantu dan semoga Allah SWT melimpahkan karunia-Nya dalam setiap amal kebaikan dan diberikan balasan. Aamiin.

Makassar, 17 Juli 2023

Rekawaty

## DAFTAR ISI

|  | <b>Halaman</b> |
|--|----------------|
| <b>SAMPUL</b> .....                                | <b>i</b>       |
| <b>HALAMAN JUDUL</b> .....                         | <b>ii</b>      |
| <b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....                    | <b>iii</b>     |
| <b>PERNYATAAN KEASLIAN</b> .....                   | <b>iv</b>      |
| <b>ABSTRAK</b> .....                               | <b>v</b>       |
| <b>ABSTRACT</b> .....                              | <b>vi</b>      |
| <b>KATA PENGANTAR</b> .....                        | <b>vii</b>     |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....                            | <b>x</b>       |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....                          | <b>xii</b>     |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....                         | <b>xiii</b>    |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....                       | <b>xiv</b>     |
| <b>DAFTAR ISTILAH</b> .....                        | <b>xv</b>      |
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....                     | <b>1</b>       |
| I.1 Latar Belakang .....                           | 1              |
| I.2 Rumusan Masalah .....                          | 3              |
| I.3 Tujuan Penelitian .....                        | 3              |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....               | <b>4</b>       |
| II.1 Logam Berat Timbal (Pb) .....                 | 4              |
| II.2 Adsorpsi .....                                | 5              |
| II.3 <i>Carbon Nanotube</i> (CNT) .....            | 6              |
| II.4 Tempurung Kemiri.....                         | 7              |
| II.5 Metode Chemical Vapor Deposition (CVD) .....  | 8              |
| <b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....         | <b>11</b>      |
| III.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....            | 11             |
| III.2 Alat dan Bahan.....                          | 11             |
| III.2.1 Alat.....                                  | 11             |
| III.2.2 Bahan .....                                | 11             |
| III.2.3 Perangkat Karakterisasi dan Pengujian..... | 12             |

|                            |  |           |
|----------------------------|--|-----------|
| III.3                      | Prosedur Penelitian .....  | 12        |
| III.3.1                    | Pembuatan Karbon Aktif dari Tempurung Kemiri .....                           | 12        |
| III.3.2                    | Preparasi Sampel.....  | 12        |
| III.3.3                    | Sintesis <i>Carbon Nanotube</i> (CNT).....                                   | 13        |
| III.3.4                    | Pembuatan Limbah Logam Berat Timbal (Pb) Artifisial.....                     | 13        |
| III.3.5                    | Proses Adsorpsi Logam Berat Timbal (Pb) .....                                | 13        |
| III.3.6                    | Pengambilan Data dan Karakterisasi .....                                     | 13        |
| III.4                      | Diagram Alir .....   | 14        |
| III.4.1                    | Pembuatan Karbon Aktif Tempurung Kemiri .....                                | 14        |
| III.4.2                    | Preparasi Sampel.....  | 15        |
| III.4.3                    | Sintesis <i>Carbon Nanotube</i> (CNT).....                                   | 16        |
| III.4.4                    | Adsorpsi Logam Berat Timbal (Pb).....  | 17        |
| <b>BAB IV</b>              | <b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>  | <b>18</b> |
| IV.1                       | Hasil Sintesis.....  | 18        |
| IV.1.1                     | Sintesis Karbon Aktif Tempurung Kemiri.....                                  | 18        |
| IV.1.2                     | Sintesis <i>Carbon Nanotube</i> (CNT).....                                   | 18        |
| IV.2                       | Karakterisasi .....  | 20        |
| IV.2.1                     | Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....                           | 20        |
| IV.2.2                     | Karakterisasi <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i><br>(FTIR) ..... | 22        |
| IV.2.3                     | Karakterisasi <i>Scanning Elektron Microscopy</i> (SEM).....                 | 25        |
| IV.3                       | Adsorpsi Logam Berat Timbal (Pb).....  | 27        |
| <b>BAB V</b>               | <b>PENUTUP.....</b>  | <b>33</b> |
| V.1                        | Kesimpulan .....   | 33        |
| V.2                        | Saran .....  | 33        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA.....</b> |  | <b>34</b> |
| <b>LAMPIRAN.....</b>       |  | <b>45</b> |

## DAFTAR TABEL

| No. | Keterangan Tabel  | Halaman |
|-----|---|---------|
| 2.1 | Data serapan bilangan gelombang dari karbon aktif dan CNT.....                  | 23      |
| 2.2 | Karbon aktif dari biomaterial untuk adsorpsi timbal (Pb) .....                  | 30      |
| 2.3 | Kapasitas adsorpsi timbal (Pb) dari berbagai variasi CNT sebagai adsorben ..... | 31      |

## DAFTAR GAMBAR

| No.  | Keterangan Gambar  | Halaman |
|------|--|---------|
| 2.1  | Berbagai struktur CNT. (a) Orientasi jaringan karbon CNT; <i>armchair</i> dan <i>zigzag</i> . (b) SWCNT, DWCNT dan MWCNT ..... | 7       |
| 2.2  | Tempurung kemiri .....   | 8       |
| 2.3  | Skema menunjukkan sintesis CNT dengan metode CVD .....   | 9       |
| 3.1  | Bagan alir pembuatan karbon aktif tempurung kemiri .....   | 14      |
| 3.2  | Bagan alir preparasi sampel .....  | 15      |
| 3.3  | Bagan alir sintesis <i>carbon nanotube</i> (CNT) .....   | 16      |
| 3.4  | Bagan alir adsorpsi timbal (Pb) .....  | 17      |
| 4.1  | Karbon aktif tempurung kemiri .....  | 18      |
| 4.2  | Sampel penelitian sebelum disintesis: (a) 100% Karbon aktif; (b) 97% Karbon aktif + 3% CoSO <sub>4</sub> .....                 | 19      |
| 4.3  | Hasil sintesis <i>carbon nanotube</i> (CNT): (a) 100% Karbon aktif; (b) 97% Karbon aktif + 3% CoSO <sub>4</sub> .....          | 19      |
| 4.4  | Pola XRD: (a) karbon aktif; (b) CNT-100% karbon aktif; (c) CNT-97% karbon aktif + 3% CoSO <sub>4</sub> .....                   | 20      |
| 4.5  | Spektrum FTIR: (a) karbon aktif; (b) CNT-100% karbon aktif; (c) CNT-97% karbon aktif + 3% CoSO <sub>4</sub> .....              | 22      |
| 4.6  | Hasil SEM karbon aktif tempurung kemiri: (a) perbesaran 517 kali dan (b) perbesaran 1000 kali .....                            | 25      |
| 4.7  | Hasil SEM CNT-100% karbon aktif: (a) perbesaran 1349 kali dan (b) perbesaran 2064 kali .....                                   | 26      |
| 4.8  | Hasil SEM CNT-97% karbon aktif + 3% CoSO <sub>4</sub> : (a) perbesaran 101 kali dan (b) perbesaran 500 kali .....              | 26      |
| 4.9  | Hasil uji penyisihan logam berat timbal (Pb) karbon aktif dan CNT .....  | 28      |
| 4.10 | Kapasitas adsorpsi timbal (Pb) dari karbon aktif dan CNT .....   | 29      |

## DAFTAR LAMPIRAN

| <b>No.</b> | <b>Keterangan Lampiran</b>  | <b>Halaman</b> |
|------------|---|----------------|
| 1.         | Perhitungan .....   | 45             |
| 2.         | Analisis Karakterisasi <i>X-Ray Diffractometer</i> (XRD) .....                        | 49             |
| 3.         | Analisis Karakterisasi <i>Fourier Transform Infrared Spectrometer</i><br>(FTIR) ..... | 58             |
| 4.         | Analisis Karakterisasi <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....                 | 61             |
| 5.         | Hasil <i>Atomic Absorption Spectroscopy</i> (AAS) .....                               | 62             |
| 6.         | Dokumentasi .....   | 63             |



## DAFTAR ISTILAH

---

| Istilah                 | Arti dan Penjelasan   |
|-------------------------|---|
| CNT                     | <i>Carbon Nanotube</i> atau tabung nano karbon.   |
| CVD                     | <i>Chemical Vapor Deposition</i> atau pengendapan uap kimia.  |
| XRD                     | <i>X-Ray Diffraction</i> atau difraksi sinar-X.   |
| FTIR                    | <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> atau spektroskopi inframerah transformasi Fourier.   |
| SEM                     | <i>Scanning Electron Microscopy</i> atau mikroskop pemindai elektron.   |
| AAS                     | <i>Atomic Absorption Spektroskopi</i> atau spektroskopi serapan atom.   |
| JCPDS                   | Joint Committee on Powder Diffraction Standard  |
| <i>Furnace</i>          | <i>Tungku pembakaran</i> atau suatu alat yang digunakan untuk proses pembakaran pada suhu tinggi.   |
| <i>Sieve shaker</i>     | Alat yang dapat dimanfaatkan untuk memisahkan ukuran serbuk atau granul ke dalam beberapa ukuran bergantung ukuran pengayak yang digunakan. |
| <i>Hotplate</i>         | Lempeng panas atau pemanas seperti kompor listrik dengan lempeng panas di atasnya untuk keperluan laboratorium.                             |
| <i>Ball milling</i>     | Mesin penggiling yang biasanya digunakan untuk menggiling suatu bahan material menjadi bubuk yang sangat halus                              |
| <i>Magnetic stirrer</i> | Alat laboratorium yang digunakan untuk pengadukan suatu larutan dengan bantuan magnet.  |
| <i>Chamber</i>          | Ruang vakum yang didalamnya terdapat filamen untuk pemanasan serta berisi satu atau lebih benda yang dipanaskan untuk dilapisi.             |
| Adsorpsi                | Penjerapan atau suatu peristiwa mengumpulkan materi gas atau cairan dalam molekul, atom atau ion pada permukaan suatu zat.                  |
| Adsorben                | Zat penjerap atau bahan padatan atau zat yang digunakan untuk suatu proses adsorpsi terhadap zat lain.                                      |
| Adsorbat                | Zat terlarut yang terakumulasi dalam proses adsorpsi.   |

---

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **I.1 Latar Belakang**

Pencemaran lingkungan merupakan salah satu dampak yang muncul sejak dimulainya revolusi industri [1]. Revolusi industri tentunya memberikan dampak positif bagi pertumbuhan ekonomi. Namun di sisi lain, revolusi industri juga memberikan dampak negatif berupa pencemaran lingkungan akibat pembuangan limbah industri dan penggunaan bahan bakar fosil. Limbah industri dapat bocor ke perairan dan permukaan yang dapat diserap oleh tanah dan meresap ke dalam sistem perairan jika sistem pengelolaan limbah tidak efektif [2].

Salah satu jenis limbah yang paling berbahaya adalah limbah yang mengandung logam berat seperti timbal. Timbal merupakan salah satu unsur yang paling banyak ditemukan dalam limbah dan paling beracun bahkan pada dosis rendah [3,4]. Jika timbal masuk ke dalam tubuh atau dikonsumsi melampaui ambang batas maka dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan serius bagi manusia seperti keterbelakangan mental, penyakit ginjal, anemia, kerusakan parah pada sistem saraf, sistem reproduksi, hati, otak dan lain sebagainya [5].

Mengingat bahaya yang ditimbulkan dari keberadaan logam berat timbal, maka beberapa upaya telah dilakukan oleh para ilmuwan untuk menghilangkan timbal dari air limbah, diantaranya pengendapan kimia, pertukaran ion, reverse osmosis dan adsorpsi [6]. Di antara semua metode, adsorpsi menjadi metode yang paling umum dan paling banyak digunakan dalam penyisihan logam berat timbal karena kesederhanaan dan efektivitas biayanya serta efisiensi tinggi terhadap penyisihan logam timbal [7]. Proses adsorpsi timbal melibatkan kontak antara adsorben dengan air yang tercemar, di mana ion timbal akan menempel pada permukaan bahan adsorben melalui gaya interaksi seperti adsorpsi kimia atau adsorpsi fisika [8].

Berbagai adsorben yang telah digunakan oleh para peneliti untuk menghilangkan timbal dari air limbah salah satunya yaitu penggunaan *carbon nanotube* (CNT). CNT memiliki sifat adsorpsi yang baik terhadap berbagai polutan,

termasuk logam berat seperti timbal. Sifat adsorpsi CNT terutama disebabkan oleh luas permukaan yang besar, struktur pori yang teratur, dan kelarutan yang rendah, yang memungkinkan untuk terjadinya interaksi permukaan dan menyerap ion timbal dengan efisiensi tinggi. Selain itu, CNT dapat dimodifikasi secara kimia atau fisik untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi mereka terhadap timbal [9]. Keuntungan lain dari penggunaan CNT dalam adsorpsi timbal adalah kemampuan untuk melakukan regenerasi. Setelah CNT jenuh dengan timbal, mereka dapat diregenerasi dengan menggunakan teknik seperti penggunaan asam atau basa untuk mengeluarkan ion timbal dari permukaan CNT. Hal ini memungkinkan penggunaan berulang CNT dalam proses adsorpsi [10].

Meskipun CNT menunjukkan potensi yang besar sebagai adsorben. Akan tetapi perlu untuk mempertimbangkan penggunaan CNT dalam ruang lingkup yang lebih luas. Sehingga penting untuk memilih bahan baku yang tepat serta pemilihan metode sintesis CNT yang efisien. Metode sintesis CNT yang paling populer digunakan saat yaitu *chemical vapor deposition* (CVD). Metode CVD telah banyak diteliti dan dikembangkan karena kemampuannya untuk menghasilkan CNT dengan kualitas yang baik dan skalabilitas produksi yang tinggi. Metode CVD melibatkan penggunaan prekursor karbon yang dipanaskan dalam reaktor pada suhu (550-1000°C) yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan metode sintesis yang lain [11] serta penggunaan katalis logam mampu membantu mengurangi energi dan mempercepat laju reaksi [12].

Beberapa penelitian telah membuktikan bahwa CNT dapat dibuat dari karbon aktif dengan bahan baku biomassa melalui metode CVD yang mampu menghilangkan logam berat. Misalnya, penelitian yang dilakukan oleh Osman *et al.* (2019) menghasilkan CNT dari karbon aktif dengan bahan baku limbah kulit kentang, di mana bahan yang dihasilkan digunakan untuk menghilangkan logam berat [13]. Penelitian Melati *et al.* (2016) yaitu sintesis CNT dengan metode CVD dilakukan dengan mereaksikan karbon aktif dari tempurung kelapa, *ferrocene* ( $\text{Fe}(\text{C}_5\text{H}_5)_2$ ) sebagai katalis, dan *benzene* sebagai sumber karbon serta dialirkan gas argon (Ar) pada temperatur 800°C dan data yang diperoleh menunjukkan terbentuknya CNT [14]. Penelitian Sugiani, *et al.* (2021) berhasil membuat karbon

aktif tempurung kemiri sebagai penyerap logam timbal dengan persentase konsentrasi timbal yang terserap sebesar 90,70% [15].

Berdasarkan uraian di atas, maka dilakukan penelitian sintesis CNT menggunakan bahan baku tempurung kemiri sebagai alternatif yang ramah lingkungan, dapat diperbaharui dan ketersediaanya yang berlimpah serta menerapkan konsep ekonomi sirkular dengan mendaur ulang bahan baku limbah dengan menambahkan nilai untuk aplikasi pengolahan air limbah. Selain itu, penelitian ini juga mengedepankan pada metode sintesis yang lebih sederhana dan biaya produksi lebih murah agar hasil yang didapatkan bukan hanya dapat dijadikan referensi berbasis laboratorium saja tetapi juga dapat diaplikasikan lebih luas di bidang industri maupun masyarakat umum.

## **I.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik CNT dari tempurung kemiri berdasarkan spektra XRD, FTIR dan morfologi permukaan menggunakan SEM?
2. Bagaimana kemampuan adsorpsi timbal (Pb) menggunakan adsorben karbon aktif dan CNT?

## **I.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis karakteristik CNT dari tempurung kemiri berdasarkan spektra XRD, FTIR dan morfologi permukaan menggunakan SEM.
2. Menganalisis kemampuan adsorpsi timbal (Pb) menggunakan adsorben karbon aktif dan CNT.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **II.1 Logam Berat Timbal (Pb)**

Timbal atau dalam bahasa ilmiahnya dinamakan plumbum yang di simbolkan dengan (Pb) termasuk dalam kelompok logam berat golongan IVA dalam sistem periodik unsur kimia, mempunyai nomor atom 82 dengan berat atom 207,2 gr/mol, berbentuk padat pada suhu kamar, bertitik lebur 327,4°C. Timbal memiliki warna abu-abu kebiruan yang mengkilap. Timbal jarang ditemukan di alam dalam keadaan bebas melainkan dalam bentuk senyawa dengan molekul lain, misalnya dalam bentuk timbal oksida (PbO), timbal bromida (PbBr<sub>2</sub>), timbal klorida (PbCl<sub>2</sub>) dan lain sebagainya [16].

Timbal sebenarnya terbentuk secara alami di alam, namun kebanyakan dari konsentrasi timbal di lingkungan berasal dari hasil aktivitas manusia, seperti pembuangan limbah industri pertambangan, industri kimia, tekstil, polimerisasi, manufaktur plastik, produk minyak olahan, metalurgi, pestisida dan deterjen [17]. Timbal merupakan salah satu logam berat berbahaya dengan tingkat toksisitas yang tinggi yang masuk ke dalam tubuh manusia melalui bermacam cara antara lain lewat saluran pernafasan (inhalasi), saluran pencernaan (oral), ataupun kontak kulit (dermal) [18]. Timbal yang telah masuk ke dalam tubuh akan didistribusi ke dalam darah dan sebagian timbal disimpan pada jaringan lunak, tulang dan gigi. Paparan timbal yang terlalu lama dapat terakumulasi dalam tubuh dan menyebabkan kerusakan organ dan sistem tubuh, terutama pada sistem saraf, ginjal, dan sistem kekebalan tubuh manusia [19].

Timbal bukanlah bahan asing bagi tubuh manusia, di mana dalam darah manusia ambang batas timbal sebesar 10 µg/dL pada orang dewasa dan 1,40 µg/dL pada anak-anak. Jika kadar dalam darah lebih dari nilai tersebut menandakan keracunan timbal [20]. Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) telah menetapkan batas timbal maksimum dalam air minum sebesar 0,01 mg/L [21], sedangkan berdasarkan regulasi terbaru, Nilai Ambang Batas (NAB) baku mutu menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021 Lampiran

VI, kadar maksimum timbal yang diperbolehkan dalam air minum yaitu 0,03 mg/L [22].

## II.2 Adsorpsi

Adsorpsi adalah suatu peristiwa mengumpulkan materi gas atau cairan dalam molekul, atom atau ion pada permukaan suatu zat [23]. Dalam kasus pengolahan air, ketika larutan dan adsorben bersentuhan, molekul zat terlarut menarik ke permukaan adsorben melalui gugus fungsi di atas permukaan [24]. Adsorbat adalah zat terlarut yang terakumulasi dalam proses adsorpsi, sedangkan padatan tempat penyimpanannya disebut adsorben [25].

Proses adsorpsi dapat diklasifikasikan menjadi dua mekanisme utama menurut jenis daya tarik antara adsorbat dan adsorben: pertama, adsorpsi fisik atau fisisorpsi yang disebabkan oleh gaya van der Waals, interaksi dipol dan gaya pengikat hidrogen di mana ion-ion berpindah dari larutan ke permukaan adsorben di mana ditemukan muatan permukaan yang berlawanan. Akibatnya, ion logam akan hilang dari larutan hampir ketika mereka telah melewati lapisan batas dan menempel pada permukaan adsorben [26]. Mekanisme lainnya adalah adsorpsi kimiawi atau kemisorpsi yang merupakan hasil gaya tarik elektrostatis akibat ikatan kovalen [27]. Mekanisme adsorpsi terjadi pada kemisorpsi melalui interaksi kimiawi antara bahan yang diserap dengan adsorben, yang sebelumnya dipaparkan dengan modifikasi kimia tertentu dalam hal ini menghasilkan gugus fungsi permukaan tersebut (yaitu gugus fungsi asam seperti karboksil, karbonil, hidroksil, lakton, dan anhidrida karboksilat), yang merupakan jenis gugus fungsi permukaan yang paling umum. Gugus fungsi ini dengan demikian mempertahankan zat yang diserap jauh lebih kuat dalam adsorpsi, yang membutuhkan lebih banyak energi untuk melepaskannya [26].

Adsorben dapat diklasifikasikan menjadi adsorben alami dan adsorben sintetik. Arang, semen, mineral tanah liat, kitin, kitosan, abu, gambut, zeolit, dan bijih adalah semua jenis adsorben alami. Keuntungan dari adsorben alami ini adalah harganya yang relatif murah, pasokan yang melimpah dan memiliki potensi yang cukup besar untuk dimodifikasi dan pada akhirnya meningkatkan kemampuan adsorpsinya. Adsorben sintetik adalah adsorben yang dihasilkan dari produk dan



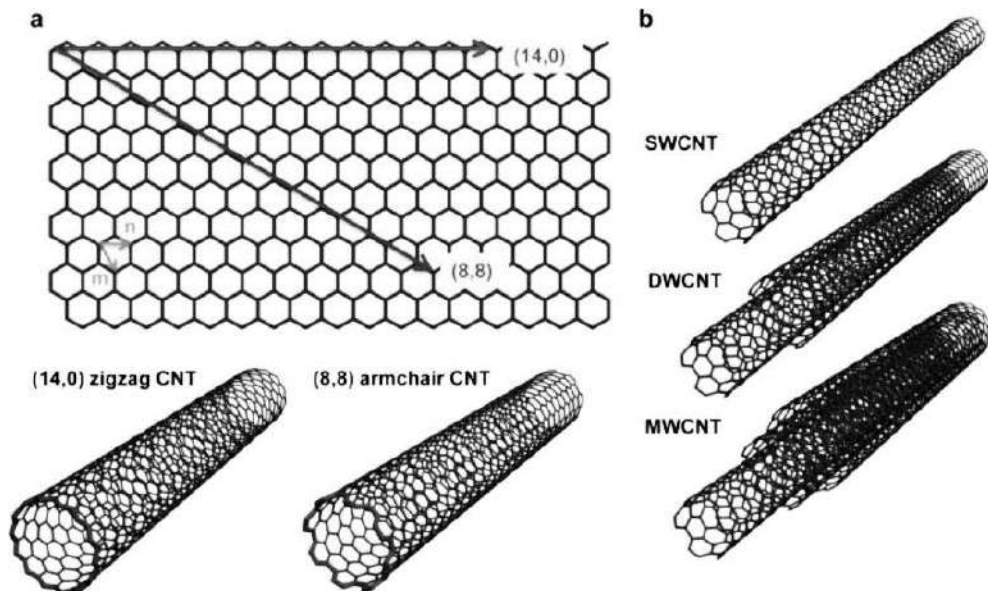
limbah pertanian, adsorben laut, adsorben untuk limbah hutan, limbah rumah tangga, limbah industri, lumpur limbah dan adsorben polimer [28].

### II.3 Carbon Nanotube (CNT)

*Carbon nanotube* (CNT) ditemukan pertama kali oleh Sumio Iijima pada tahun 1991 dan upaya pertamanya untuk mensintesis CNT berdinding banyak yang dilakukan dengan metode penguapan busur sederhana [29]. CNT disusun dalam segi enam dan Pentagon yang terdiri dari atom karbon dengan diameter 3-15 nm. Nama ini diambil dari ukurannya dimana ukuran CNT beberapa nanometer.. Struktur CNT adalah struktur silinder berongga, yang terbentuk dari lembaran *graphene* yang digulung dengan arah gulung yang berbeda-beda [30].

Bergantung pada orientasi sumbu tabung relatif terhadap jaringan karbon, berbagai jenis CNT, yang dijelaskan oleh indeks vektor kiralnya,  $n$  dan  $m$ , dapat diperoleh. CNT yang dibentuk oleh koneksi kepala dan ekor dari vektor kiral dirujuk oleh indeks masing-masing (yaitu, lihat struktur 14,0 dan 8,8 pada gambar 2.1 (a)). CNT *armchair* ( $n = m$ ) biasanya menunjukkan konduktivitas logam sementara CNT *zigzag* ( $m = 0$ ) atau kiral ( $n \neq m$ ) bersifat semikonduktor. Selain itu, berdasarkan jumlah dinding bagian dalamnya CNT dibagi menjadi tiga kelompok yaitu *single-walled carbon nanotubes* (SWCNT), *double-walled carbon nanotubes* (DWCNT), dan *multi-walled carbon nanotubes* (MWCNT) yang ditunjukkan pada gambar 2.1(b).

SWCNT pertama kali dijelaskan pada tahun 1993. SWCNT adalah lapisan tunggal lembaran *graphene* dengan diameter 1-2 nm. Katalis diperlukan untuk persiapan CNT untuk kontrol yang tepat atas peningkatan dan keadaan atmosfer. Bergantung pada metode persiapan, panjang CNT dapat bervariasi dengan kemurnian yang lebih rendah [31]. DWCNT terdiri dari dua tabung nano karbon yang dibedakan satu sama lain di mana tabung luar membungkus tabung dalam. Tabung luar memiliki diameter 2-4 nm dan diameter dalam 1-3 nm [32]. Karena adanya berbagai lapisan lembaran *graphene* yang digulung dengan kisaran diameter 2-50 nm. Sedangkan, MWCNT terdiri dari beberapa lembaran *graphene* yang digulung [33].



**Gambar 2.1** Berbagai struktur CNT. (a) Orientasi jaringan karbon CNT; *armchair* dan *zigzag*. (b) SWCNT, DWCNT dan MWCNT [34].

## II.4 Tempurung Kemiri

Tempurung kemiri merupakan salah satu limbah produk pertanian yang dihasilkan dari pengolahan buah kemiri. Patabang, *et al.* (2001) melaporkan pada tahun 2015 produksi kemiri nasional Republik Indonesia sebanyak 100.700 ton. Dari jumlah produksi tersebut akan menghasilkan 65.700 ton limbah tempurung kemiri [35]. Mengacu pada statistik produksi kemiri Food and Agriculture Organization (FAO), produksi kemiri dunia pada tahun 2020 sebesar 554.490 ton. Karena produk agroindustri ini mengandung sekitar 66,1% tempurung padat, sekitar 366.518 ton limbah yang dihasilkan dari produksi kemiri setiap tahun [36].

Pemanfaatan limbah yang sangat besar ini untuk keperluan teknologi adsorpsi akan sangat bermanfaat bagi petani kemiri. Adsorben dari tempurung kemiri ini akan menghasilkan keuntungan bagi petani serta mengurangi tekanan terhadap lingkungan. Transformasi tempurung kemiri menjadi bahan yang bermanfaat seperti bioadsorben akan menghasilkan pendapatan yang lebih tinggi, mengurangi jumlah limbah pertanian secara signifikan, dan mempromosikan pelestarian lingkungan dengan mempertahankan sumber karbon sebagai struktur yang kokoh [37].



**Gambar 2.2** Tempurung kemiri [38].

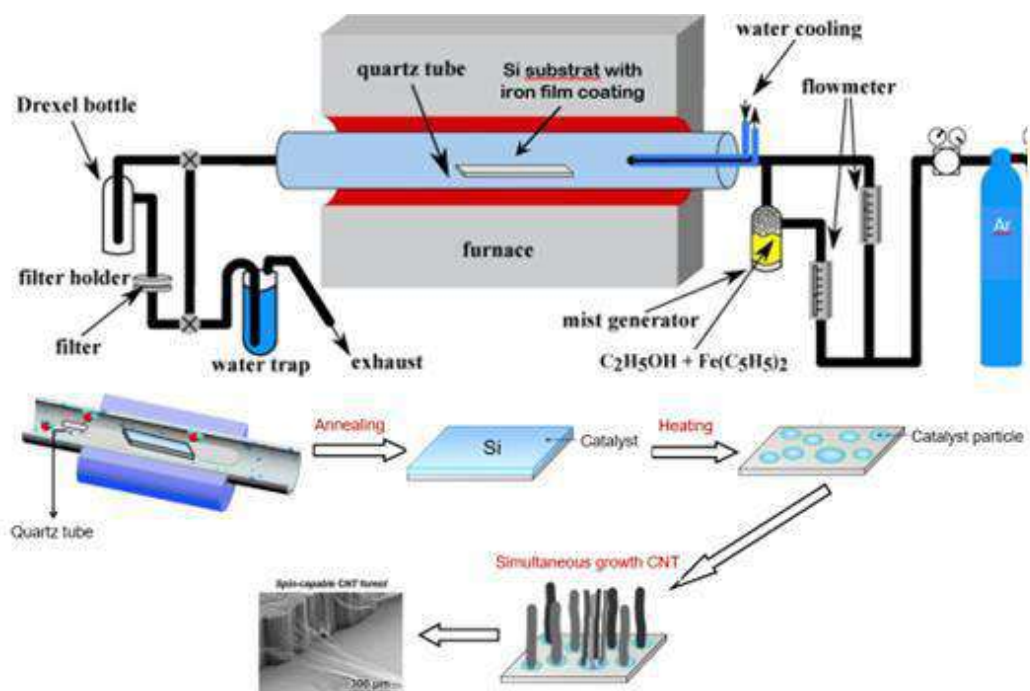
Kandungan abu tempurung kemiri yang rendah menunjukkan bahwa limbah organik sesuai dengan adsorben [39,40]. Kandungan hemiselulosa tempurung kemiri mudah terdegradasi pada rentang suhu 220-315°C, selulosa terdegradasi pada rentang suhu 315-400°C dan lignin akan terdegradasi rentang suhu 150-900°C. Pirolisis dari biomassa Lignin, Hemiselulosa dan Selulosa menghasilkan H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, senyawa volatil lain dan uap air. Karbon aktif tempurung kemiri dibuat melalui proses karbonisasi dan aktivasi kimia. Suhu karbonisasi memiliki pengaruh paling besar terhadap kualitas karbon aktif selama proses pengaktifan. Setidaknya harus 400°C untuk memastikan transformasi lengkap senyawa organik (prekursor lignoselulosa) ke dalam struktur graphene. Namun, suhu karbonisasi yang digunakan dalam produksi karbon aktif umumnya lebih besar dari 400°C dan suhu ini berkisar antara 120°C sampai 1000 °C, sedangkan waktu yang dibutuhkan untuk karbonisasi berkisar 1 jam-14 jam [35].

## **II.5 Metode *Chemical Vapor Deposition* (CVD)**

*Chemical vapor deposition* (CVD) adalah salah satu metode sintesis CNT dengan cara membelah gas yang mengandung atom karbon yang terus mengalir melalui partikel nano katalis untuk menghasilkan atom karbon dan kemudian menghasilkan CNT pada permukaan katalis atau substrat. Proses sintesisnya adalah membiarkan katalis menguraikan sumber karbon (biasanya gas hidrokarbon) pada suhu yang cukup tinggi di dalam reaktor tubular [41].

Mekanisme pertumbuhan CNT dengan metode CVD ditunjukkan pada gambar 2.3, saat ini ada dua mekanisme yang diterima secara luas, dan dapat diuraikan sebagai berikut: Ketika uap hidrokarbon dikontakkan dengan

nanopartikel logam yang dipanaskan, pertama-tama akan terdekomposisi menjadi karbon dan hidrogen. Hidrogen keluar dengan gas pembawa yang lewat atau gas pereduksi, dan karbon larut dalam katalis logam [42]. Temperatur proses memecah molekul menjadi atom karbon. Karbon kemudian berdifusi menuju substrat, yang dipanaskan dan dilapisi dengan katalis. Katalis umumnya dibuat dengan memercikkan logam transisi ke substrat dan kemudian menggunakan bahan kimia seperti amonia atau anil termal untuk menginduksi nukleasi partikel katalis [43]. Ketika suhu mencapai batas kelarutan karbon logam, partikel karbon yang terdekomposisi mengendap dan mengkristal membentuk CNT [42].



**Gambar 2.3** Skema menunjukkan sintesis CNT dengan metode CVD [44]

Selama sintesis CNT, banyak parameter yang mempengaruhi morfologi akhir dan sifat CNT, seperti sumber karbon, katalis, suhu reaktor, tekanan sistem, laju aliran gas pembawa, waktu pengendapan, jenis reaktor, geometri reaktor, pendukung katalis, komponen logam aktif dalam katalis, dan seterusnya [42]. Teknik CVD untuk produksi CNT menggunakan hidrokarbon dengan adanya katalis, dan CNT diendapkan ke substrat. Proses ini memiliki keuntungan dalam menghasilkan CNT dengan struktur yang diinginkan dengan mengontrol perataan, panjang dan diameternya. Langkah dasar metode CVD melibatkan disosiasi

molekul hidrokarbon, saturasi atom karbon dalam nanopartikel katalis, dan pengendapan karbon dari katalis untuk membentuk CNT [45]. sejumlah logam transisi misalnya Fe, Mo, Co, Ni, ferrocene dan besi pentakarbonil dapat digunakan sebagai katalis; Namun, besi adalah katalis yang paling banyak digunakan untuk sintesis CNT [46–54]. Metode CVD tidak memerlukan pemurnian kecuali logam katalis perlu dihilangkan. Metode ini membutuhkan CNT yang tumbuh dengan menguraikan gas organik di atas substrat yang ditutupi dengan partikel katalis logam [55]. Ada banyak metode yang digunakan untuk membuat CNT menggunakan CVD; metode yang paling umum adalah *plasma-enhanced CVD*, pirolisis hidrasi katalitik, dan CVD termal [56].