

TUGAS AKHIR – TL234839

ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN MASSA *CARBON QUANTUM DOTS (CQDs)* DARI LIMBAH PUNTUNG ROKOK TERHADAP SIFAT FOTOKATALISIS KOMPOSIT CuO/CQDs UNTUK DEGRADASI *METHYLENE BLUE*

JOSUA BUDIMAN SILAEN
NRP 5011201017

Dosen Pembimbing
Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.
NIP 199007262015041002
Rindang Fajarin, S.Si., M.Si.
NIP 198302012008122002

Program Studi Teknik Material
Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2024



TUGAS AKHIR – TL234839

ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN MASSA *CARBON QUANTUM DOTS* (CQDs) DARI LIMBAH PUNTUNG ROKOK TERHADAP SIFAT FOTOKATALISIS KOMPOSIT CuO/CQDs UNTUK DEGRADASI *METHYLENE BLUE*

JOSUA BUDIMAN SILAEN
NRP 5011201017

Dosen Pembimbing
Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.
NIP 199007262015041002
Rindang Fajarin , S.Si., M.Si.
NIP 198302012008122002

Program Studi Teknik Material
Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2024

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT – TL234839

ANALYSIS OF THE EFFECT OF ADDITIONAL MASS OF CARBON QUANTUM DOTS (CQDs) FROM CIGARETTE BUTTS WASTE ON THE PHOTOCATALYSIS PROPERTIES OF CuO/CQDs COMPOSITES FOR METHYLENE BLUE DEGRADATION

JOSUA BUDIMAN SILAEN
NRP 5011201017

Advisor
Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.
NIP 199007262015041002
Rindang Fajarin, S.Si., M.Si.
NIP 198302012008122002

Study Program of Material Engineering
Departement of Materials and Metallurgical Engineering
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2024

(This page is intentionally blank)

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN MASSA *CARBON QUANTUM DOTS* (CQDs) DARI LIMBAH PUNTING ROKOK TERHADAP SIFAT FOTOKATALISIS KOMPOSIT CuO/CQDs UNTUK DEGRADASI *METHYLENE BLUE*

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Teknik Material
Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **JOSUA BUDIMAN SILAEN**
NRP. 5011201017

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Haniffudin Nurdiansah, S.T, M.T.
2. Rindang Fajarin, S.Si., M.Si.
3. Azzah Dyah Pramata, S.T., M.T., M.Eng., Ph.D.
4. Respati Kevin Prama Dewandaru, S.Si., M.Sc., Ph.D.



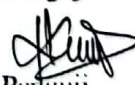
Pembimbing



Ko-Pembimbing



Penguji



Penguji

SURABAYA
Juli, 2024

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

APPROVAL SHEET

ANALYSIS OF THE EFFECT OF ADDITIONAL MASS OF CARBON QUANTUM DOTS (CQDs) FROM CIGARETTE BUTTS WASTE ON THE PHOTOCATALYSIS PROPERTIES OF CuO/CQDs COMPOSITES FOR METHYLENE BLUE DEGRADATION

FINAL PROJECT

Submitted to fulfill one of the requirements
for obtaining a degree of bachelor of engineering at
Undergraduate Study Program of Material Engineering
Departement of Materials and Metallurgical Engineering
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By : **JOSUA BUDIMAN SILAEN**
NRP. 5011201017

Approved by Final Project Examiner Team :

1. Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.
2. Rindang Fajarin, S.Si., M.Si.
3. Azzah Dyah Pramata, S.T., M.T., M.Eng., Ph.D.
4. Respati Kevin Prama Dewandaru, S.Si., M.Sc., Ph.D.


Advisor


Co-Advisor


Examiner


Examiner

SURABAYA
July, 2024

(This page is intentionally blank)

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa/NRP : Josua Budiman Silaen / 5011201017
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS
Dosen Pembimbing/NIP : Haniffudin Nurdiansah, S.T.,M.T. / 199007262015041002
Dosen Ko-Pembimbing/NIP : Rindang Fajarin, S.Si., M.Si. / 198302012008122002

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN MASSA *CARBON QUANTUM DOTS* (CQDs) DARI LIMBAH PUNTUNG ROKOK TERHADAP SIFAT FOTOKATALISIS KOMPOSIT CuO/CQDs UNTUK DEGRADASI *METHYLENE BLUE*” 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.

Surabaya, 29 Juli 2024

Mengetahui
Dosen Pembimbing



(Haniffudin Nurdiansah S.T.,M.T.)
NIP. 199007262015041002

Mahasiswa



(Josua Budiman Silaen)
NRP. 5011201017

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student/NRP : Josua Budiman Silaen / 5011201017
Departement : Materials and Metallurgical Engineering INDSYS-ITS
Advisor/NIP : Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T. / 199007262015041002
Dosen Ko-Pembimbing/NIP : Rindang Fajarin, S.Si., M.Si. / 198302012008122002

hereby declare that the Final Project with the title of “ANALYSIS OF THE EFFECT OF ADDITIONAL MASS OF CARBON QUANTUM DOTS (CQDs) FROM CIGARETTE BUTTS WASTE ON THE PHOTOCATALYSIS PROPERTIES OF CuO/CQDs COMPOSITES FOR METHYLENE BLUE DEGRADATION” is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, July 29th 2024

Acknowledged
Advisor



(Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.)
NIP. 199007262015041002

Student



(Josua Budiman Silaen)
NRP. 5011201017

(This page is intentionally blank)

**ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN MASSA *CARBON QUANTUM DOTS*
(CQDs) DARI LIMBAH PUNTING ROKOK TERHADAP SIFAT FOTOKATALISIS
KOMPOSIT CuO/CQDs UNTUK DEGRADASI *METHYLENE BLUE***

Nama Mahasiswa / NRP : Josua Budiman Silaen / 5011201017
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS
Dosen Pembimbing : Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.
Dosen Ko-Pembimbing : Rindang Fajarin, S.Si., M.Si.

Abstrak

Industri tekstil merupakan industri yang akan terus ada dan berkembang seiring dengan majunya teknologi. Salah satu limbah yang berasal dari industri ini adalah pewarna tekstil seperti *Methylene Blue*. Senyawa ini bersifat toksik, karsinogenik, dan tidak dapat terurai secara alami sehingga perlu diolah sebelum dibuang ke alam. Disisi lain, puntung rokok merupakan salah satu sampah yang banyak ditemukan di dunia. Puntung rokok sebagian besar terbuat dari selulosa asetat yang dapat disintesis menjadi *Carbon Quantum Dots* (CQDs). CQDs merupakan nanomaterial yang bersifat toksisitas rendah, *photoluminescence* stabil, serta luas permukaan dapat dimodifikasi dengan fleksibel. Nanomaterial ini dapat diaplikasikan dalam fotokatalis. Semikonduktor CuO memiliki celah pita kecil yakni 1,2 – 2 eV. CQDs bila dikompositkan dengan CuO dapat meningkatkan luas permukaan CuO yang dapat meningkatkan fotokatalis. Metode penelitian ini berfokus pada sintesis CQDs dari puntung rokok dan hasil fotokatalis menggunakan komposit CuO/CQDs dengan penambahan massa CQDs 5%, 15%, 25%, dan 35% dengan massa total 2 gram. Pengujian karakterisasi yang digunakan meliputi XRD, FTIR, SEM/EDX, dan PSA untuk menganalisis struktur, morfologi, ukuran, dan distribusi partikel komposit. Pengujian peforma fotokatalis menggunakan UV-Vis. CQDs yang disintesis memiliki ukuran partikel sebesar 6,62 nm. Hasil pengujian yang dilakukan tidak dapat memvalidasi terbentuknya CQDs sehingga diperlukan hasil pengujian TEM dan Spektroskopi Raman untuk mengetahui bahwa material yang terbentuk adalah CQDs. Komposit CuO/CQDs dengan penambahan massa CQDs 5%, 15%, 25%, dan 35% berhasil mendegradasi limbah *methyelen blue* selama satu jam dengan persen degradasi maksimal adalah 90,71% oleh komposit CuO/CQDs penambahan massa 25%.

Kata Kunci: *CQDs, CuO, Fotokatalisis, Methylene Blue, Puntung Rokok*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

ANALYSIS OF THE EFFECT OF ADDITIONAL MASS OF CARBON QUANTUM DOTS (CQDs) FROM CIGARETTE BUTT WASTE ON THE PHOTOCATALYSIS PROPERTIES OF CuO/CQDs COMPOSITES FOR METHYLENE BLUE DEGRADATION

Student Name / NRP : Josua Budiman Silaen / 5011201017
Departement : Materials and Metallurgical Engineering INDSYS-ITS
Advisor : Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.
Co-Advisor : Rindang Fajarin, S.Si., M.Si.

Abstract

The textile industry is an industry that will continue to exist and develop along with the advancement of technology. One of the wastes that comes from this industry is textile dyes such as *Methylene Blue*. These compounds are toxic, carcinogenic, and cannot decompose naturally so they need to be treated before being disposed of in nature. On the other hand, cigarette butts are one of the most widely found garbage in the world. Cigarette butts are mostly made of cellulose acetate which can be synthesized into *Carbon Quantum Dots* (CQDs). CQDs are nanomaterials with low toxicity, stable *photoluminescence*, and flexible surface area. These nanomaterials can be applied in photocatalysts. CuO semiconductors have a small band gap of 1.2 – 2 eV. CQDs when composited with CuO can increase the surface area of CuO which can increase the photocatalyst. This research method focuses on the synthesis of CQDs from cigarette butts and photocatalysts using CuO/CQDs composites with the addition of 5%, 15%, 25%, and 35% CQDs masses with a total mass of 2 grams. The characterization tests used include XRD, FTIR, SEM/EDX, and PSA to analyze the structure, morphology, size, and distribution of composite particles. Photocatalyst performance testing using UV-Vis. The synthesized CQDs have a particle size of 6.62 nm. The results of the tests carried out could not validate the formation of CQDs, so the results of TEM and Raman Spectroscopy tests were needed to find out that the material formed was CQDs. CuO/CQDs composites with a mass addition of 5%, 15%, 25%, and 35% CQDs succeeded in degrading *methylene blue waste* for one hour with a maximum degradation percentage of 90.71% by CuO/CQDs composites with a mass addition of 25%.

Keywords: *Cigarette Butts, CQDs, CuO, Methylene Blue, Photocatalysis*

(This page is intentionally blank)

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir yang berjudul “Analisis Pengaruh Penambahan Massa *Carbon Quantum Dots* (CQDs) Dari Limbah Puntung Rokok Terhadap Sifat Fotokatalis Komposit CuO/CQDs Untuk Degradasi *Methylene Blue*”. Selama proses penelitian, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dan memberi dukungan kepada penulis, diantaranya adalah:

1. Bapak Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T. dan Ibu Rindang Fajarin, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing yang telah mencurahkan segenap waktu, tenaga, dan pikiran untuk membimbing penulis dalam penulisan ini, serta memberikan motivasi yang membangun.
2. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS.
3. Bapak Prof. Sungging Pintowantoro, S.T., M.T., Ph.D.Eng. selaku dosen wali.
4. Pihak lainnya yang berkontribusi dalam perancangan Tugas Akhir yang belum dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari penulisan laporan ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Semoga laporan ini dapat berguna bagi penulis dan seluruh pihak terkait.

Surabaya, 29 Juli 2024

Penulis



Josua Budiman Silaen

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

| | |
|---|-----------|
| HALAMAN JUDUL..... | i |
| LEMBAR PENGESAHAN..... | v |
| APPROVAL SHEET..... | vii |
| PERNYATAAN ORISINALITAS..... | ix |
| STATEMENT OF ORIGINALITY..... | xi |
| Abstrak..... | xiii |
| Abstract..... | xv |
| KATA PENGANTAR..... | xvii |
| DAFTAR ISI..... | xix |
| DAFTAR GAMBAR..... | xxi |
| DAFTAR TABEL..... | xxiii |
| BAB I PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 2 |
| 1.3 Batasan Masalah..... | 2 |
| 1.4 Tujuan Penelitian..... | 3 |
| 1.5 Manfaat Penelitian..... | 3 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... | 5 |
| 2.1 Puntung Rokok..... | 5 |
| 2.2 <i>Carbon Quantum Dots</i> | 6 |
| 2.2.1 Properties CQDs..... | 8 |
| 2.2.2 Metode Sintesis CQDs..... | 9 |
| 2.2.3 Aplikasi CQDs..... | 9 |
| 2.3 Metode <i>Hydrothermal</i> | 11 |
| 2.4 <i>Copper Oxide</i> (CuO)..... | 11 |
| 2.5 <i>Methylene Blue</i> | 12 |
| 2.6 Metode <i>Freeze Drying</i> | 14 |
| 2.7 Komposit..... | 15 |
| 2.8 Fotokatalisis..... | 16 |
| 2.9 Penelitian Terdahulu..... | 18 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN..... | 19 |
| 3.1 Diagram Alir..... | 19 |
| 3.1.1 Sintesis <i>Carbon Quantum Dots</i> | 19 |
| 3.1.2 Sintesis Komposit CuO/CQDs..... | 20 |
| 3.1.3 Pengujian Fotokatalisis..... | 21 |
| 3.2 Bahan Penelitian..... | 22 |
| 3.3 Alat Penelitian..... | 23 |
| 3.4 Metode Penelitian..... | 25 |
| 3.4.1 Sintesis <i>Carbon Quantum Dots</i> | 25 |
| 3.4.2 Sintesis Komposit CuO/CQDs..... | 26 |
| 3.5 Pengujian..... | 26 |
| 3.5.1 Pengujian Fotokatalisis..... | 26 |
| 3.5.2 Pengujian FTIR..... | 27 |
| 3.5.3 Pengujian XRD..... | 28 |
| 3.5.4 Pengujian PSA..... | 29 |
| 3.5.5 Pengujian SEM/EDX..... | 29 |
| 3.5.6 Pengujian UV-Vis..... | 31 |

| | |
|--|-----------|
| 3.5 Rancangan Penelitian..... | 32 |
| 3.6 Jadwal Penelitian | 33 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | 35 |
| 4.1 Hasil Pengamatan Visual | 35 |
| 4.2 Hasil Pengujian <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) | 37 |
| 4.3 Hasil Pengujian <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR)..... | 40 |
| 4.4 Hasil Pengujian <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM) dan <i>Energy Dispersive X-Ray Analysis</i> (EDX)..... | 43 |
| 4.5 Hasil Pengujian <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA) | 50 |
| 4.6 Hasil Pengujian UV-Vis | 51 |
| 4.7 Hasil Pengujian Fotokatalis | 53 |
| 4.8 Tabulasi Pengujian..... | 62 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN | 63 |
| 5.1 Kesimpulan | 63 |
| 5.2 Saran | 63 |
| DAFTAR PUSTAKA | 65 |
| LAMPIRAN | 69 |
| UCAPAN TERIMAKASIH..... | 89 |
| BIODATA PENULIS | 91 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|---------------------|---|----|
| Gambar 2. 1 | Struktur dan Komponen Kimia pada Rokok dan Puntung Rokok (Vanapalli et al., 2023) | 5 |
| Gambar 2. 2 | Spektrum Nuclear magnetic Resonance (NMR) dan struktur unit berulang (a) Selulosa Asetat (bagian dalam puntung rokok) dan (b) selulosa (bagian luar puntung rokok). (c) Gambar Scanning Electron Microscope (SEM) dari puntung rokok yang tidak terdegradasi (Vanapalli et al., 2023)..... | 6 |
| Gambar 2. 3 | (a) TEM, (b) HR-TEM, (c) SAED, dan (d) diagram distribusi besar partikel dari CQDs (John et al., 2023)..... | 7 |
| Gambar 2. 4 | (a) EDX, (b) FT-IR, (c) Pola XRD, (d) Raman spectrum dari CQDs (John et al., 2023) | 7 |
| Gambar 2. 5 | Spektrum Photoluminescence dari CQD (Farshbaf et al., 2018)..... | 8 |
| Gambar 2. 6 | Injeksi Intrevena CQDs (a) bright field, (b) Fluorescence terdeteksi (BL, kandung kemih ; Ur, Urine), dan (c) Gambar Kode berwarna (Farshbaf et al., 2018).... | 10 |
| Gambar 2. 7 | Ilustrasi dari mekasnisme katalis dari CQDs dibawah cahaya lampu (Farshbaf et al., 2018) | 10 |
| Gambar 2. 8 | Skema Sintesis CQDs dengan metode hydrothermal dari puntung rokok (Imran Din et al., 2023) | 11 |
| Gambar 2. 9 | Struktur Kristal CuO (Zhang et al., 2014)..... | 11 |
| Gambar 2. 10 | Struktur Molekul dari Methylene Blue (Oladoye et al., 2022) | 12 |
| Gambar 2. 11 | Efek Toksisitas dari Methylene Blue (Oladoye et al., 2022) | 13 |
| Gambar 2. 12 | Diagram Fasa dari Proses Freeze Drying (Assegehegn et al., 2019)..... | 14 |
| Gambar 2. 13 | Ilustrasi dari Kombinasi Komposit Material (Egbo, 2021)..... | 15 |
| Gambar 2. 14 | Klasifikasi Komposit Berdasarkan Matrix dengan Masing Masing Reinforce dan Material yang Digunakan (Gavalda Diaz et al., 2019) | 15 |
| Gambar 2. 15 | Ringkasan Matriks CMC dengan Reinforce yang Digunakan dan Pengaplikasian Populernya (Gavalda Diaz et al., 2019)..... | 16 |
| Gambar 2. 16 | Skema Fotokatalis CuO untuk degradasi polutan (Sibhatu et al., 2022) | 17 |
| Gambar 3. 1 | Diagram Alir CQDs..... | 19 |
| Gambar 3. 2 | Diagram Alir Sintesis Komposit CuO/CQDs | 20 |
| Gambar 3. 3 | Diagram Alir Pengujian Fotokatalis..... | 21 |
| Gambar 3. 4 | Puntung Rokok (Dokumentasi Pribadi) | 22 |
| Gambar 3. 5 | Tembaga (II) Oksida (CuO) (Dokumentasi Pribadi) | 22 |
| Gambar 3. 6 | Asam Sulfat (H ₂ SO ₄) (Dokumentasi Pribadi)..... | 22 |
| Gambar 3. 7 | Drying Oven (Dokumentasi Pribadi) | 23 |
| Gambar 3. 8 | Magnetic Stirrer (Dokumentasi Pribadi)..... | 23 |
| Gambar 3. 9 | Neraca Analitik (Dokumentasi Pribadi)..... | 24 |
| Gambar 3. 10 | Centrifuged (Dokumentasi Pribadi) | 24 |
| Gambar 3. 11 | Freeze Dryer (Dokumentasi Pribadi) | 24 |
| Gambar 3. 12 | Alat FTIR (Dokumentasi Pribadi)..... | 27 |
| Gambar 3. 13 | Skema Kerja FTIR (Putri & Darvina, 2019)..... | 27 |
| Gambar 3. 14 | Skema Kerja XRD (Gumustas <i>et al.</i> , 2017)..... | 28 |
| Gambar 3. 15 | Alat XRD (Dokumentasi Pribadi)..... | 29 |
| Gambar 3. 16 | Alat Pengujian PSA (Dokumentasi Pribadi)..... | 29 |
| Gambar 3. 17 | Alat SEM (Dokumentasi Pribadi)..... | 30 |
| Gambar 3. 18 | Skema Kerja SEM (Gumustas <i>et al.</i> , 2017)..... | 31 |
| Gambar 3. 19 | Alat Pengujian UV-Vis (Dokumentasi Pribadi)..... | 31 |
| Gambar 3. 20 | Skema Kerja Pengujian UV-Vis | 32 |

| | | |
|---------------------|---|----|
| Gambar 4. 1 | Hasil Pengamatan Visual Sampel (a) Puntung Rokok dan (b) CQDs | 35 |
| Gambar 4. 2 | Hasil Pengamatan Visual (a) CuO dan Komposit CuO/CQDs Dengan Variasi Penambahan Massa CQDs (b) 5%, (c) 15%, (d) 25%, dan (e) 35%..... | 36 |
| Gambar 4. 3 | Hasil Pengamatan Visual Sampel Methylene Blue Terdegradasi oleh Komposit CuO/CQDs Berdasarkan (a) Penambahan Massa CQDs dan (b) Lama Waktu Penyinaran..... | 36 |
| Gambar 4. 4 | Hasil Pengujian XRD Puntung Rokok dan CQDs | 37 |
| Gambar 4. 5 | Hasil Pengujian XRD CuO | 38 |
| Gambar 4. 6 | Hasil Pengujian XRD Komposit CuO/CQDs | 39 |
| Gambar 4. 7 | Perbesaran Hasil Pengujian XRD Komposit CuO/CQDs pada 5° - 30° | 39 |
| Gambar 4. 8 | Hasil Pengujian FTIR Puntung Rokok dan CQDs..... | 40 |
| Gambar 4. 9 | Hasil Pengujian FTIR Semikonduktor CuO | 41 |
| Gambar 4. 10 | Hasil Pengujian FTIR Komposit CuO/CQDs | 42 |
| Gambar 4. 11 | Hasil Pengujian SEM Material CuO Perbesaran (a) 2500x dan (b) 5000x..... | 44 |
| Gambar 4. 12 | Hasil Pengujian SEM Material CQDs Perbesaran (a) 2500x dan (b) 7500x.. | 44 |
| Gambar 4. 13 | Hasil Pengujian SEM Material Komposit CuO/CQDs (a) 5% Perbesaran 2500x, (b) 5% Perbesaran 7500x (c) 15% Perbesaran 2500x, (d) 15% Perbesaran 7500x, (e) 25% Perbesaran 2500x, (f) 25% Perbesaran 7500x, (g) 35% Perbesaran 2500x, (h) 35% Perbesaran 7500x..... | 45 |
| Gambar 4. 14 | Hasil Kurva EDX CuO | 46 |
| Gambar 4. 15 | Hasil Kurva EDX CQDs | 46 |
| Gambar 4. 16 | Hasil Kurva EDX CuO/CQDs 5% | 47 |
| Gambar 4. 17 | Hasil Kurva EDX CuO/CQDs 15% | 48 |
| Gambar 4. 18 | Hasil Kurva EDX CuO/CQDs 25% | 48 |
| Gambar 4. 19 | Hasil Kurva EDX CuO/CQDs 35% | 49 |
| Gambar 4. 20 | Hasil Pengujian PSA CQDs..... | 50 |
| Gambar 4. 21 | Hasil Pengujian UV-Vis Air | 52 |
| Gambar 4. 22 | Hasil Pengujian UV-Vis Methylene Blue 10 ppm..... | 52 |
| Gambar 4. 23 | Kurva Hubungan Nilai Konsentrasi dan Absorbansi Larutan Methylene Blue | 53 |
| Gambar 4. 24 | Grafik Nilai Absorbansi Maksimal Katalis CuO/CQDs Terhadap Waktu Degradasi Methylene Blue..... | 54 |
| Gambar 4. 25 | Grafik Nilai Konsentrasi Katalis CuO/CQDs Terhadap Waktu Degradasi Methylene Blue Sesuai Kinetika Zero Order..... | 56 |
| Gambar 4. 26 | Grafik Ln(C) Terhadap Waktu Sesuai Kinetika Reaksi First Order | 56 |
| Gambar 4. 27 | Grafik 1/(C) Terhadap Waktu Sesuai Kinetika Reaksi Second Order..... | 57 |
| Gambar 4. 28 | Kurva Nilai Persentase Degradasi Methylene Blue Oleh Katalis CuO/CQDs | 58 |
| Gambar 4. 29 | Energi Celah Pita (a) CuO, (b) CQDs, dan (c) CuO/CQDs 25%..... | 59 |
| Gambar 4. 30 | Skema Fotokatalis Komposit CuO/CQDs Dalam Mendegradasi Methylene Blue | 60 |
| Gambar 4. 31 | Hubungan Nilai Absorbansi Maksimal dengan Panjang Gelombang dalam Mendegradasi Methylene Blue dengan Penyinaran (a) 0 Menit, (b) 15 Menit, (c) 30 Menit, (d) 45 Menit, dan (e) 60 Menit..... | 61 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2. 1 Tabel Kelebihan dan Kekurangan beberapa Metode Sintesis (Farshbaf <i>et al.</i> , 2018) | 9 |
| Tabel 2. 2 Sifat Copper Oxide (CuO) (Zhang <i>et al.</i> , 2014) | 12 |
| Tabel 2. 3 Sifat dari Methylene Blue (Oladoye <i>et al.</i> , 2022) | 13 |
| Tabel 2. 4 Rangkuman Penelitian Terdahulu | 18 |
| Tabel 3. 1 Rancangan Penelitian | 32 |
| Tabel 3. 2 Jadwal Penelitian | 33 |
| Tabel 4. 1 Gugus Fungsi dan Wavenumber Puntung Rokok dan CQDs | 41 |
| Tabel 4. 2 Gugus Fungsi dan Wavenumber Semikonduktor CuO | 42 |
| Tabel 4. 3 Gugus Fungsi dan Wavenumber Komposit CuO/CQDs | 42 |
| Tabel 4. 4 Komposisi Material CuO | 46 |
| Tabel 4. 5 Komposisi Material CQDs | 47 |
| Tabel 4. 6 Komposisi Material Komposit CuO/CQDs 5% | 47 |
| Tabel 4. 7 Komposisi Material Komposit CuO/CQDs 15% | 48 |
| Tabel 4. 8 Komposisi Material Komposit CuO/CQDs 25% | 49 |
| Tabel 4. 9 Komposisi Material Komposit CuO/CQDs 35% | 49 |
| Tabel 4. 10 Distribusi Ukuran Partikel CQDs Hasil Pengujian PSA | 50 |
| Tabel 4. 11 Nilai Absorbansi Maksimal Larutan Standar Methylene Blue | 53 |
| Tabel 4.12 Nilai Absorbansi Maksimal Methylene Blue Setiap Katalis | 54 |
| Tabel 4. 13 Nilai Konsentrasi Methylene Blue Setiap Katalis (ppm) | 55 |
| Tabel 4. 14 Perbandingan Kinetika Degradasi Sesuai Orde Nol, Satu, dan Dua | 57 |
| Tabel 4. 15 Nilai Persentase Degradasi Methylene Blue Setiap Katalis | 58 |
| Tabel 4. 16 Energi Celah Pita Setiap Material | 59 |
| Tabel 4. 17 Tabulasi Pengujian | 62 |

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri tekstil merupakan salah satu sektor industri yang akan terus berkembang seiring dengan kemajuan teknologi. Berdasarkan data dari World Trade Organization (WTO) tahun 2022 mencatat bahwa ekspor pakaian dunia mencapai US\$576 miliar dan akan terus berkembang seiring berkembangnya e-commerce yang mendukung penjualan dan pendistribusian tekstil. Berdasarkan data WTO pada tahun 2022, China menjadi negara pengekspor tekstil terbesar dengan penjualan mencapai US\$147,8 miliar. Indonesia sendiri masuk kedalam 10 besar pengekspor pakaian di dunia pada tahun 2022 yakni dengan jumlah US\$10,1 miliar. Nilai ini diharapkan meningkat pada tahun berikutnya agar dapat menaikkan perekonomian Indonesia. Namun, pertumbuhan industri tekstil juga memiliki dampak negatif terutama dalam peningkatan limbah. Berdasarkan data dari SIPSN (Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional) KLHK, pada tahun 2022, tekstil menyumbang sekitar 2,54% dari total sampah nasional dengan estimasi mencapai 1,7 ribu ton pertahun. Salah satu limbah dari industri tekstil berasal dari pewarna yang digunakan yang dapat mencemari lingkungan dan dapat menyebabkan krisis air bersih (Alex Mbachu *et al.*, 2023). Salah satu limbah berbahaya yang terdapat pewarna tekstil adalah *Methylene Blue*. *Methylene Blue* adalah pewarna dasar heterosiklik aromatik dengan berat molekul sebesar 319,85 g mol⁻¹ dengan rumus molekul C₁₆H₁₈N₃ClS. *Methylene Blue* juga dikenal sebagai kontaminan organik persisten karena tingginya stabilitas kimia, berat molekul yang besar, dan biodegradasinya yang rendah menyebabkan *Methylene Blue* menjadi limbah yang berbahaya jika dibuang ke lingkungan bahkan dalam konsentrasi yang rendah (Munonde *et al.*, 2023). *Methylene Blue* bersifat toxic, karsinogenik, dan *non-biodegradable* sehingga sangat berbahaya apabila dilepaskan ke lingkungan jika tidak diolah terlebih dahulu. Limbah ini dapat menghambat fotosintesis dan membahayakan keanekaragaman hayati dalam perairan dan juga dapat menyebabkan penyakit seperti kerusakan sel, alergi kulit, kerusakan sistem saraf pusat dan bahkan kanker (Alex Mbachu *et al.*, 2023).

Pengolahan *methylene blue* dapat dilakukan dengan berbagai metode, salah satunya adalah dengan metode degradasi fotokatalitik. Metode ini adalah metode yang paling banyak digunakan karena dinilai lebih efisien dari metode lainnya (I. Khan *et al.*, 2022). Degradasi fotokatalitik dapat terjadi karena reaksi fotokatalis. Reaksi fotokatalis adalah reaksi kimia yang dipercepat oleh adanya material fotokatalis dengan bantuan dari foton (Setiawan Mohar *et al.*, 2021). Metode fotokatalitik heterogen menjadi salah satu metode paling banyak digunakan dalam mendegradasi polutan dari air limbah dikarenakan mampu menghasilkan pengoksidasi yang sangat reaktif untuk menghilangkan kontaminan dalam kapasitas yang banyak (Gaur *et al.*, 2022). Fotokatalis heterogen yang digunakan dalam pengolahan limbah cair adalah fotokatalis nanopartikel karena memiliki kelebihan seperti hemat biaya, efisien, ramah lingkungan, dan lebih stabil (Tayebee *et al.*, 2020). Dengan adanya nanopartikel pada reaksi fotokatalis dapat mempercepat reaksi karena akan mempercepat reaksi kinetik (Gul *et al.*, 2023).

Proses degradasi *methylene blue* dengan metode fotokatalitik dapat menggunakan CuO. CuO memiliki struktur kristal monoklinik yang dibentuk oleh satu atom tembaga dan empat atom oksigen. CuO memiliki sifat optik dan listrik yang baik, tidak beracun, ekonomis, dan berlimpah di bumi (Lee *et al.*, 2019). CuO memiliki celah pita yang kecil yakni 1,2 – 2,0 eV. Dengan celah pita yang menyempit menyebabkan CuO cocok diaplikasikan sebagai bahan semikonduktor fotokatalis. Sifat unggul yang dimiliki dari CuO lainnya adalah luas permukaannya yang besar, potensi redoks yang baik, dan stabilitasnya yang baik dalam larutan

(Raizada *et al.*, 2020). Namun CuO juga memiliki kelemahan yakni sulit dalam pemisahan katalis dari air limbah. Oleh karena itu semikonduktor ini dikembangkan dengan menggabungkannya dengan material lain yang disebut dengan fotokatalis heterogen (Nuengmatcha *et al.*, 2019). Untuk mengatasi kelemahan CuO tersebut dilakukan pencampuran dengan nanopartikel seperti *Carbon Quantum Dots*.

Puntung rokok merupakan salah satu sampah yang banyak ditemukan di Indonesia bahkan dunia. Berdasarkan data dari *Ocean Conservancy*, terdapat 9,76 juta unit sampah yang ditemukan di pesisir pantai dunia pada 2022. Puntung rokok berada pada urutan kedua, setelah pembungkus makanan, dengan jumlah 1,13 juta unit sampah. Hal ini tentu sangat mengkhawatirkan karena setiap puntung rokok memerlukan waktu sepuluh tahun untuk dapat terurai dan dapat mencemari lingkungan dengan kandungan yang terdapat di dalamnya (Aji *et al.*, 2015). Puntung rokok sebagian besar terdiri dari serat selulosa asetat, dan mengandung sebagian kecil bahan kimia seperti nikotin, hidrokarbon aromatik polisiklik (PAH), amina aromatik, N-nitrosamin, dan komponen mirip tar yang ditangkap selama menghisap rokok (Bandi *et al.*, 2018). Kandungan selulosa asetat yang tinggi menjadikan puntung rokok dapat disintesis menjadi CQDs. *Carbon Quantum Dots (CQDs)* adalah nanomaterial *fluorescent* yang ditemukan pada tahun 2004. *Carbon Quantum Dots* sendiri memiliki besar partikel kurang dari 10 nm (Qiu *et al.*, 2023). CQDs bersifat toksisitas rendah, larut dalam air, permukaannya yang dapat dimodifikasi dengan fleksibel, *photoluminescence* stabil, dan tahan terhadap pemudaran cahaya (Z. M. S. H. Khan *et al.*, 2019). *Carbon Quantum Dots* ini digunakan pada fotokatalis heterogen bersama dengan CuO untuk mempertahankan dispersi dan mengurangi agregasi nanopartikel sehingga tidak terjadi penurunan aktivitas fotokatalis (Sabet & Mahdavi, 2019). Sintesis puntung rokok ini dilakukan dengan menggunakan metode *hydrothermal*. Metode ini digunakan karena merupakan metode yang ramah lingkungan dan biaya sintesis yang rendah. Metode ini mengacu pada sintesis melalui reaksi kimia zat dalam larutan panas tertutup di atas suhu dan tekanan sekitar (Sabet & Mahdavi, 2019).

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan mensintesis CQDs dengan memanfaatkan limbah puntung rokok untuk mendegradasi limbah tekstil yakni zat pewarna *methylene blue*. Penelitian ini memfokuskan pada analisis pengaruh penambahan massa CQDs dengan variasi penambahan massa 5%, 15%, 25%, dan 35% terhadap sifat fotokatalis komposit CuO/CQDs untuk degradasi *methylene blue*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan latar belakang di atas, dapat diambil beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi penambahan massa *Carbon Quantum Dots* terhadap struktur dan morfologi komposit CuO/CQDs?
2. Bagaimana pengaruh variasi penambahan massa *Carbon Quantum Dots* pada komposit CuO/CQDs dalam peningkatan sifat fotokatalisis untuk degradasi *methylene blue*?

1.3 Batasan Masalah

Terdapat beberapa batasan masalah dalam menganalisis permasalahan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Konsentrasi *methylene blue* dianggap sama
2. Tekanan dan temperatur udara sekitar dianggap konstan
3. Materials loss dianggap tidak ada pada saat reaksi
4. Kecepatan stirring dianggap konstan
5. Bahan kimia yang digunakan dalam penelitian ini dianggap bebas dari pengotor

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang ada, penelitian ini memiliki tujuan, antara lain:

1. Menganalisis pengaruh variasi penambahan massa *Carbon Quantum Dots* terhadap struktur dan morfologi komposit CuO/CQDs.
2. Menganalisis pengaruh variasi penambahan massa *Carbon Quantum Dots* pada komposit CuO/CQDs dalam peningkatan sifat fotokatalisis untuk degradasi *methylene blue*.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat pada penelitian ini adalah memberikan ilmu pengetahuan terkait solusi mengatasi permasalahan limbah cair pewarna dari industri tekstil berupa *methylene blue*. Kemudian untuk memberikan informasi dan rujukan terkait proses ekstraksi *Carbon Quantum Dots* dari limbah puntung rokok.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

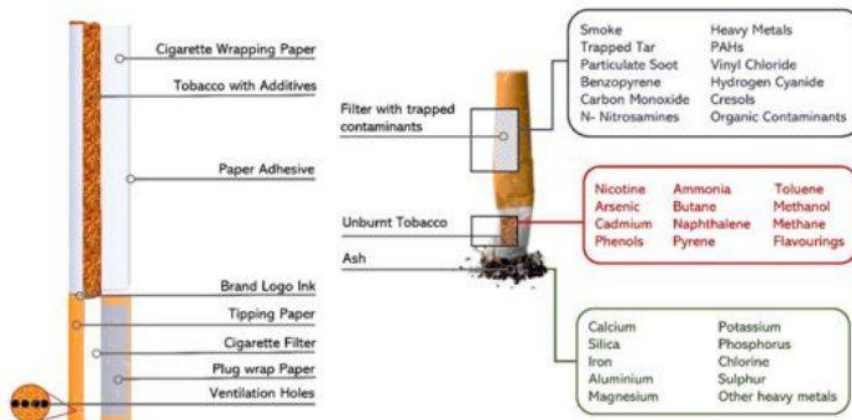
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Puntung Rokok

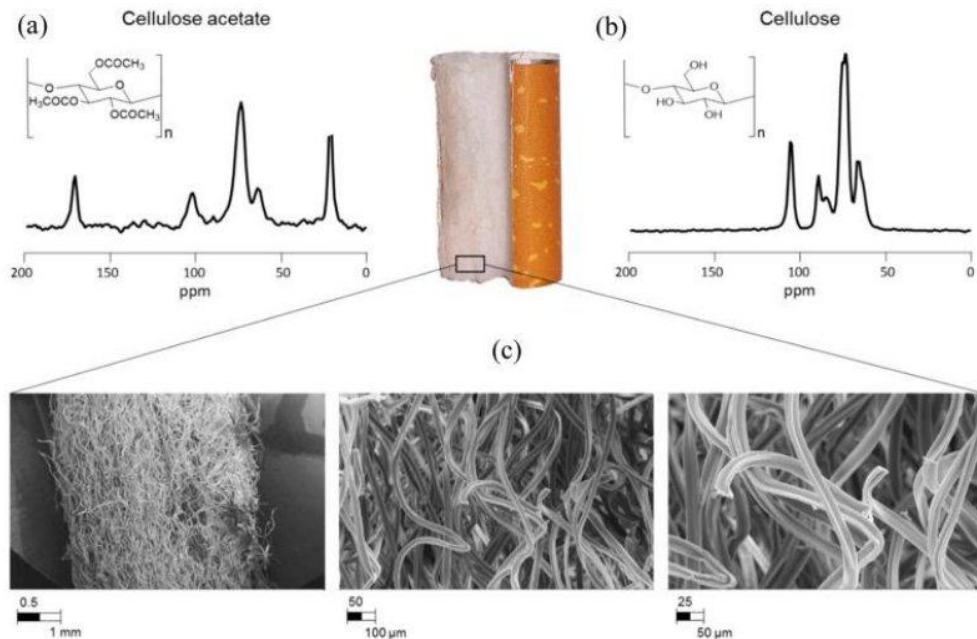
Rokok adalah hasil olahan tembakau yang berbentuk silinder yang dikonsumsi masyarakat untuk dihirup asapnya. Terdapat dua jenis rokok yakni rokok elektrik dan rokok non-elektrik. Rokok non-elektrik biasanya terdapat filter yang berfungsi untuk menghalau tembakau masuk ke dalam mulut ketika dihisap dan menyaring zat-zat yang terhisap seperti nikotin, tar, dan lainnya. Bagian filter ini akan dibuang ketika sudah selesai merokok dan akan menjadi limbah yang disebut puntung rokok (Aji *et al.*, 2015). Puntung rokok biasanya terdiri dari sisa tembakau, abu hasil pembakaran rokok, dan filter yang terbuat dari selulosa asetat (Vanapalli *et al.*, 2023). Puntung rokok merupakan salah satu jenis limbah yang paling sering ditemukan di hampir seluruh dunia. Limbah puntung rokok merupakan limbah yang berbahaya karena dibutuhkan sekitar 10 tahun agar puntung rokok dapat benar-benar terurai (Aji *et al.*, 2015). Selama belum terurai, zat-zat berbahaya yang terdapat di puntung rokok dapat keluar dan mencemari dan merusak lingkungan dan dapat merusak ekosistem terutama perairan karena dapat berubah menjadi mikroplastik (Mušič *et al.*, 2023).

Puntung rokok merupakan salah satu jenis limbah yang masih banyak dan sering ditemukan di seluruh dunia. Hal ini karena belum ada kesadaran manusia tentang pembuangan puntung rokok sehingga banyak orang yang membuang sampah puntung rokok secara sembarangan. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperkirakan sekitar 5,7 triliun puntung rokok dibuang setiap tahunnya di seluruh dunia dan diperkirakan akan mencapai 9 triliun pada tahun 2025 (Testa *et al.*, 2023). Hal ini terjadi karena permintaan pasar untuk rokok terus meningkat diakibatkan konsumsi masyarakat akan rokok yang kian meningkat. Berdasarkan laporan analisis pasar tembakau, ukuran pasar tembakau global memiliki nilai sebesar USD 868 miliar pada tahun 2022 dan diperkirakan akan tumbuh pada tingkat pertumbuhan rata-rata sebesar 2,4% dari tahun 2022 hingga 2030 (Vanapalli *et al.*, 2023).

Puntung rokok terdiri dari sisa tembakau, *tipping paper*, dan filter rokok. Filter rokok merupakan bagian terbesar dari puntung rokok yang mengandung kontaminan dari hasil pengisapan rokok seperti tar, nikotin, karbon monoksida, dan lainnya. Filter rokok terbuat dari selulosa asetat yakni sejenis polimer dengan karakteristik biodegradable yang buruk yang terdiri dari 12.000 serat individual dengan diameter 20µm (Vanapalli *et al.*, 2023). Hal ini menyebabkan puntung rokok menjadi sangat berbahaya apabila dilepaskan ke lingkungan karena kandungan yang dikandung di dalamnya dan juga degradasinya yang memerlukan waktu yang lama. Berikut adalah struktur dan komposisi yang dimiliki oleh rokok dan puntung rokok.



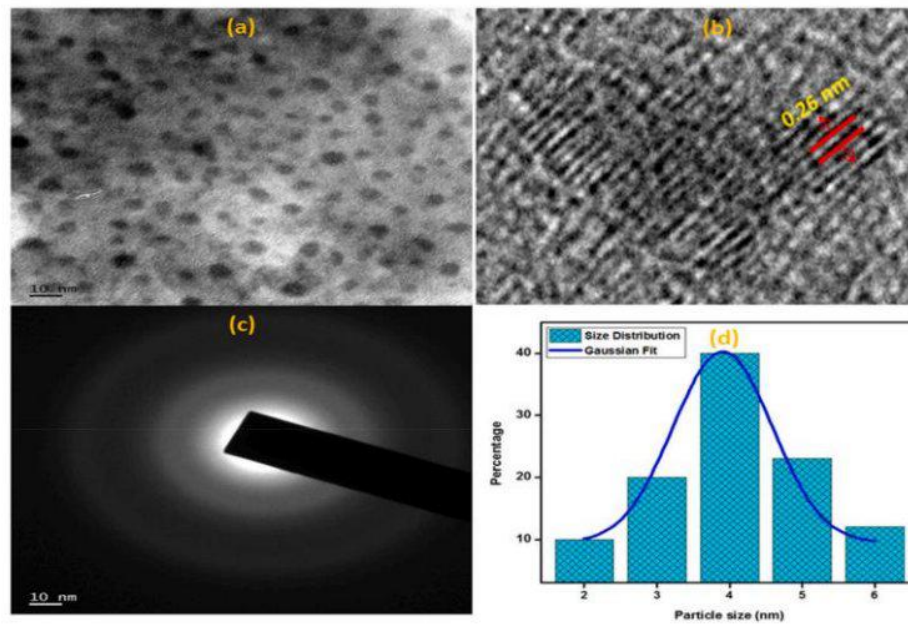
Gambar 2. 1 Struktur dan Komponen Kimia pada Rokok dan Puntung Rokok (Vanapalli *et al.*, 2023)



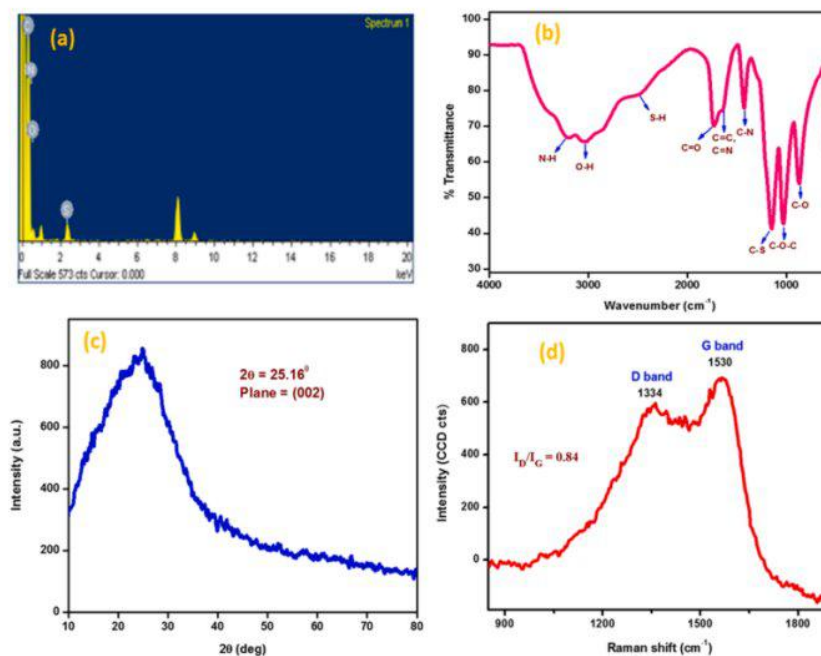
Gambar 2. 2 Spektrum *Nuclear magnetic Resonance* (NMR) dan struktur unit berulang (a) Selulosa Asetat (bagian dalam puntung rokok) dan (b) selulosa (bagian luar puntung rokok). (c) Gambar *Scanning Electron Microscope* (SEM) dari puntung rokok yang tidak terdegradasi (Vanapalli *et al.*, 2023)

2.2 Carbon Quantum Dots

Carbon Quantum Dots (CQDs) adalah nanomaterial *fluorescent* baru yang ditemukan pada tahun 2004 (Qiu *et al.*, 2023). CQDs sendiri memiliki besar partikel kurang dari 10 nm dan ditemukan dalam bentuk struktur karbon yang diskrit, amorf, quasispherical, atau nanokristalin dan memiliki performa yang sangat baik dalam berbagai bidang terutama pada fluoresens sehingga banyak digunakan dalam aplikasi deteksi, fotokatalis, biomedicine, nanodevices, dan lainnya (John *et al.*, 2023). Sifat yang dimiliki material nano ini sehingga banyak digunakan dalam bidang tersebut adalah toksisitas rendah, larut dalam air, permukaannya yang dapat dimodifikasi dengan fleksibel, *photoluminescence* stabil, dan tahan terhadap pemudaran cahaya (Z. M. S. H. Khan *et al.*, 2019). Oleh karena sifat dan kegunaan dari CQDs yang sangat luas menyebabkan banyak penelitian yang dilakukan untuk memaksimalkan penggunaan dan sintesis CQDs ini. Berikut adalah beberapa hasil dari pengujian CQDs yang menunjukkan struktur dan morfologi dari CQDs.



Gambar 2.3 (a) TEM, (b) HR-TEM, (c) SAED, dan (d) diagram distribusi besar partikel dari CQDs (John *et al.*, 2023)



Gambar 2.4 (a) EDX, (b) FT-IR, (c) Pola XRD, (d) Raman spectrum dari CQDs (John *et al.*, 2023)

Pada **Gambar 2.3** (a) dilakukan pengujian TEM yang menunjukkan bahwa CQDs berbentuk bulat dan terdispersi dengan banyak tanpa adanya agregasi. Pada **Gambar 2.3** (b) adalah hasil dari pengujian HR-TEM yang menunjukkan jenis kristalinitas di dalam CQDs dengan lebar 0,26 nm yang serupa dengan jarak kisi pada atom karbon grafitik. Pada **Gambar 2.3** (c) adalah hasil dari pengujian SAED yang menunjukkan sifat amorf sistem secara keseluruhan. Pola distribusi dari CQDs ditunjukkan oleh **Gambar 2.3** (d) dengan bentuk bulat dan distribusi ukuran yang kecil sekitor 2-6 nm dengan ukuran rata-rata 3,8 nm. **Gambar 2.4**

(a) menunjukkan hasil pengujian EDX yang menunjukkan ketersediaan unsur unsur yang ada pada CQDs yakni unsur C 54,33 wt%, O 28,8 wt%, N 10,6 wt%, dan S 6,27 wt%. Pada **Gambar 2.4** (b) adalah hasil FT-IR yang menunjukkan kelompok fungsional yang terdapat pada permukaan CQDs seperti -NH, -OH, C-O, dan kelompok fungsional lainnya. Pada **Gambar 2.4** (c) adalah hasil dari pengujian XRD yang menunjukkan bahwa CQDs memiliki struktur amorf. Pada **Gambar 2.4** (d) adalah spektrum raman mengungkap terdapat 2 puncak terpisah yakni pita D dan pita G yang disebabkan oleh adanya gugus karbonil yang melekat pada permukaan CQDs (John *et al.*, 2023).

2.2.1 Properties CQDs

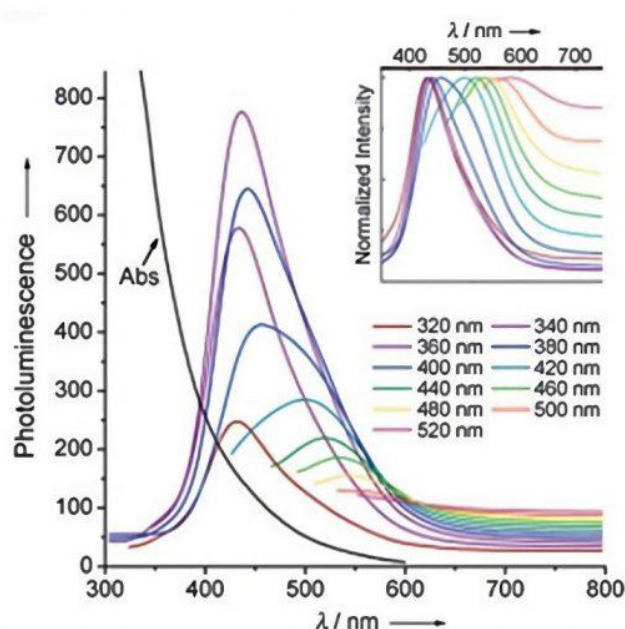
Berikut adalah sifat sifat yang dimiliki oleh CQDs.

1. Absorpsi

CQDs biasanya menunjukkan absorpsi optik yang nyata di daerah *UV-visible*. Sebagian besar CQDs memiliki pita absorpsi sekitar 260-323 nm. Pada beberapa kasus, transisi dari $n-\pi^*$ dari ikatan C=O atau transisi $\pi-\pi^*$ dari ikatan C=C dapat menyebabkan bahu absorpsi dalam spektrum absorpsi. Ditemukan juga bahwa pasivasi permukaan CQDs dengan berbagai molekul dapat mengakibatkan pergeseran absorpsi ke panjang gelombang yang lebih panjang (Farshbaf *et al.*, 2018).

2. Photoluminescence

Photoluminescence (PL) yang bergantung pada ukuran adalah tanda dari pemercepatan kuantum yang merupakan salah satu fitur menarik dari CQDs. Untuk menghasilkan PL yang kuat maka dibutuhkan pasivasi permukaan CQDs agar dapat mengubah panjang dari gelombang absorpsi dari CQDs sehingga dapat memaksimalkan sifat PL dari CQDs. Untuk memaksimalkan sifat PL dari CQDs ukuran kritis yang harus dimiliki adalah 1,5-2 nm. Berikut gambar dari spektrum PL dari CQDs (Farshbaf *et al.*, 2018).



Gambar 2. 5 Spektrum *Photoluminescence* dari CQD (Farshbaf *et al.*, 2018)

3. Cytotoxicity

Pengaplikasian CQDs salah satunya adalah pada pengembangan bio-probe. Untuk memaksimalkan dari penggunaan CQDs pada bio-probe maka diperlukan pengujian toksisitas

untuk memastikan CQDs aman untuk digunakan. Dari hasil pengujian yang dilakukan didapatkan bahwa CQDs tidak bersifat toksik pada konsentrasi tertentu sehingga dapat digunakan untuk pencitraan *in vivo* dan *in vitro* (Farshbaf *et al.*, 2018).

2.2.2 Metode Sintesis CQDs

Selama beberapa dekade terakhir, teknik sintesis CQDs telah banyak dikembangkan. Namun ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam sintesis CQDs yakni (i) Aglomerasi CQDs, (ii) Keseragaman dan kontrol ukuran, dan (iii) sifat permukaan yang merupakan faktor penentu solubilitas dan aplikasi khusus. Berikut adalah kelebihan dan kekurangan dari beberapa metode sintesis CQDs (Farshbaf *et al.*, 2018). **Tabel 2.1** menunjukkan kelebihan dan kekurangan metode sintesis.

Tabel 2. 1 Tabel Kelebihan dan Kekurangan beberapa Metode Sintesis (Farshbaf *et al.*, 2018)

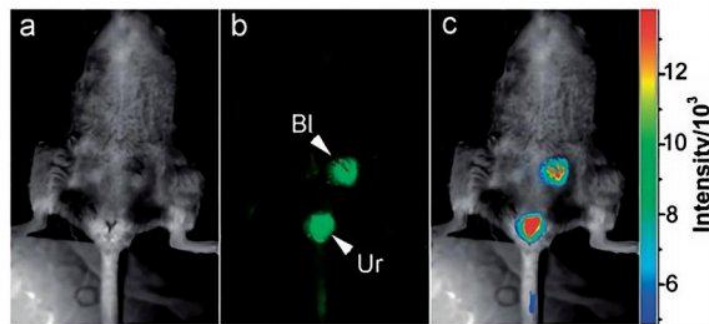
| Metode Sintesis | Kelebihan | Kekurangan |
|--|---|--|
| Sintesis <i>Electrochemical</i> | Mudah dilakukan, Biaya rendah, tidak menggunakan bahan kimia beracun | Proses pemurnian yang lama |
| Ablasi Kimia | Partikel kecil, prekursor yang mudah diakses | Kontrol ukuran yang buruk, proses yang susah, kondisi keras |
| <i>Laser Ablation</i> | Ukuran yang dapat dikontrol dengan baik, partikel yang seragam dan mono-dispers | Proses memakan waktu yang lama dan step banyak |
| Sintesis <i>Microwave/Ultrasonic Supported Synthetic Synthesis</i> | Mudah dilakukan, biaya rendah, <i>scalable</i> | Kontrol ukuran yang buruk |
| <i>Supported Synthetic Synthesis</i> | Mudah dan cepat dilakukan, kondisi permukaan dapat dikontrol | Kontrol ukuran yang buruk, konsumsi energi yang tinggi dan efisiensi kuantum yang rendah |
| <i>Hydrothermal Synthesis</i> | Biaya rendah, mudah dilakukan, produksi banyak, dan <i>eco-friendly</i> | Konsumsi energi yang tinggi |

2.2.3 Aplikasi CQDs

Berikut adalah beberapa aplikasi dari CQDs.

1. *Biomaging*

CQDs memiliki potensi besar untuk digunakan untuk *biomaging* karena memiliki sifat *fluorescent* yang baik, dapat digunakan pada multi-modal *biomaging* pada sel dan jaringan, biokompatibilitas yang baik dan memiliki toksisitas yang rendah. Aplikasi *biomaging* dari CQDs yang paling banyak digunakan adalah pada multi-imaging yakni teknologi probe pencitraan dengan kombinasi dari pencitraan optik dan pencitraan resonansi magnetik (MRI). Berikut adalah gambar dari aplikasi *biomaging* (Farshbaf *et al.*, 2018).



Gambar 2. 6 Injeksi Intrevena CQDs (a) bright field, (b) *Fluorescence* terdeteksi (Bl, kandung kemih ; Ur, Urine), dan (c) Gambar Kode berwarna (Farshbaf *et al.*, 2018)

2. *Biosensor*

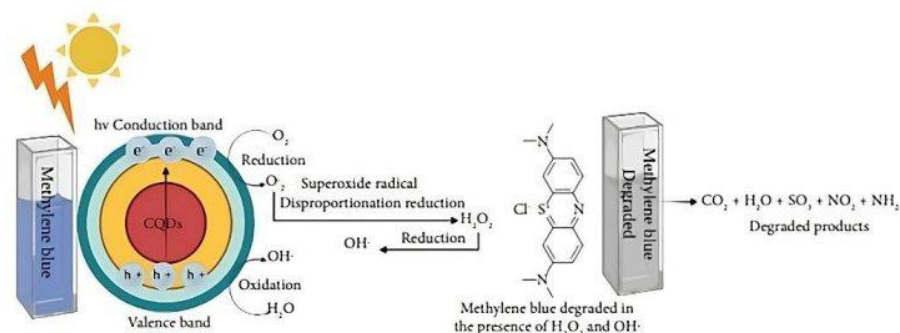
CQDs memiliki sifat biokompatibilitas yang baik, fotostabilitas tinggi, permeabilitas sel yang superior, kelarutan air yang baik dan memiliki kemampuan modifikasi permukaan sehingga sangat cocok jika digunakan sebagai biosensor. Biosensor berbasis CQDs dapat digunakan untuk memonitor bahan dan parameter termasuk zat besi seluler, tembaga asam nukleat, dan PH. Penggunaan CQDs ini sangat membantu dalam proses biosensor karena metode menggunakan CQDs lebih cepat, akurat, hemat biaya, dan ramah lingkungan (Farshbaf *et al.*, 2018).

3. *Drug Delivery*

Saat ini sistem pengiriman obat berbasis nanoteknologi telah banyak dikembangkan. Salah satu nanopartikel yang digunakan adalah AuNPs. Namun, AuNPs memiliki aplikasi yang terbatas karena masalah toksisitas dan biokompatibilitas yang kurang. Oleh karena itu CQDs dapat menjadi alternatif yang digunakan karena sifatnya yang fleksibel dalam modifikasi permukaan dengan berbagai molekul kimia, kelarutan air tinggi, biokompabilitasnya yang baik (Farshbaf *et al.*, 2018).

4. *Photocatalysis*

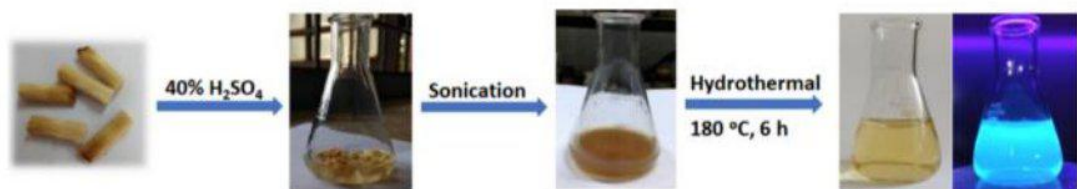
Salah satu bidang yang penting dan menarik dalam nano-kimia adalah nano-fotokatalis. Desain nano-katalis yang kuat dan aktivitas kimia yang dapat diatur dianggap sebagai objek utama. Kestabilan foto terhadap fotokorosi dan kemampuan untuk menggunakan cahaya UV dekat dan/atau cahaya terlihat adalah faktor utama dari fotokatalis yang baik. CQDs merupakan kandidat yang kuat dalam fotokatalis karena CQDs dengan ukuran terkendali mampu menunjukkan emisi yang dapat diatur dari panjang gelombang biru hingga rentang N-IR-nya. Berikut adalah contoh ilustrasi dari katalis CQDs (Farshbaf *et al.*, 2018).



Gambar 2. 7 Ilustrasi dari mekanisme katalis dari CQDs dibawah cahaya lampu (Farshbaf *et al.*, 2018)

2.3 Metode *Hydrothermal*

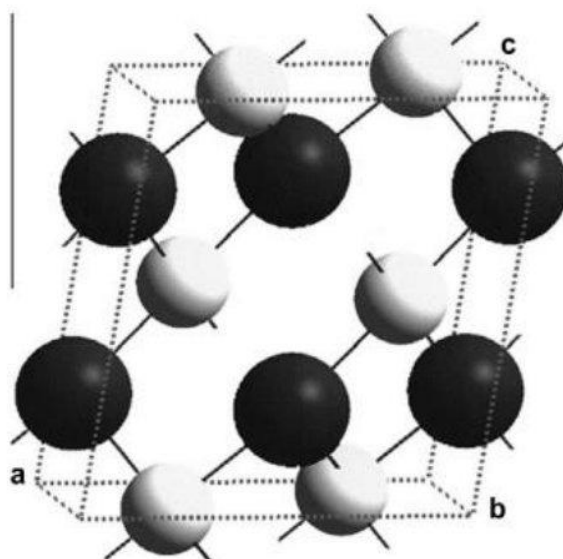
Metode *hydrothermal* adalah metode sintesis dengan memanfaatkan panas dan air atau larutan. Metode ini awalnya digunakan pada proses penguraian batu bara alami. Namun, semakin berkembangnya teknologi maka metode ini semakin banyak diteliti dan dapat digunakan dalam berbagai bidang seperti valorasi limbah organik dan biomassa, pembuatan nanopartikel, sebagai absorben, dan bidang lainnya. Adapun cara kerja dari metode ini adalah dengan memanfaatkan air atau larutan yang berperan sebagai reaktan ataupun pelarut (Ischia & Fiori, 2021). Pada proses pembuatan nanopartikel, suhu yang digunakan adalah sekitar 150-200 °C dengan waktu penahanan berkisar 6 sampai 24 jam. Pada metode ini digunakan stainless-steel autoclave untuk menciptakan kondisi yang ideal pada saat proses sintesis nanopartikel (Imran Din *et al.*, 2023). Berikut adalah contoh skema proses *hydrothermal* pembuatan CQDs dari puntung rokok.



Gambar 2. 8 Skema Sintesis CQDs dengan metode *hydrothermal* dari puntung rokok (Imran Din *et al.*, 2023)

2.4 *Copper Oxide (CuO)*

Copper oxide (CuO) merupakan salah satu jenis oksida logam memiliki struktur kristal monoklinik yang dibentuk oleh satu atom tembaga dan empat atom oksigen. CuO adalah logam semikonduktor yang memiliki sifat optik, listrik, dan magnetik yang unik dan telah digunakan pada berbagai aplikasi seperti pada pengembangan superkapasitor, katalis, sensor, dan berbagai aplikasi lainnya (Lee *et al.*, 2019). Kandungan Cu dalam dalam CuO memiliki sifat antimikroba dan antijamur membuatnya menjadi cocok digunakan dalam pengolahan air, industri tekstil, pengawetan makanan dan pertanian (Zhang *et al.*, 2014).



Gambar 2. 9 Struktur Kristal CuO (Zhang *et al.*, 2014)

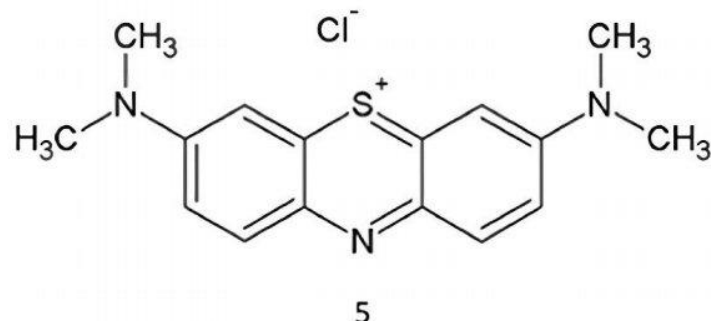
Tabel 2. 2 Sifat *Copper Oxide* (CuO) (Zhang *et al.*, 2014)

| Properti | Keterangan |
|---------------------------------|-----------------------------|
| <i>Density</i> | 6,31 g/cm ³ |
| <i>Melting point</i> | 1200 °C |
| <i>Stable phase at 300 K</i> | Monoklinik |
| <i>Dielectric constant</i> | 18,1 |
| <i>Refractive index</i> | 1,4 |
| <i>Band gap (E_g)</i> | 1,21-2,1 eV <i>direct</i> |
| <i>Hole effective mass</i> | 0,24 mo |
| <i>Hole Mobility</i> | 0,1-10 cm ² /V s |

Sifat optik dari CuO pada bagian adsorpsi sangat bergantung pada nilai *band gap*. Berdasarkan **Table 2.2** diketahui bahwa nilai dari *band gap* yang dimiliki oleh CuO berkisar pada 1,21 – 2,1 eV yang merupakan *band gap* yang kecil. Dengan *band gap* yang kecil, CuO cocok diaplikasikan menjadi material fotokatalis karena dengan *band gap* yang kecil, eksitasi elektron dari tiap *band* akan terjadi lebih cepat, dimana hal ini sangat mendukung sifat dari fotokatalis. Penggunaan CuO sebagai fotokatalis juga sangat banyak digunakan karena luas permukaan yang besar, stabilitas dalam larutan baik, dan relatif murah (Raizada *et al.*, 2020). Namun, CuO memiliki kelemahan yakni tidak terlalu efektif apabila digunakan untuk mendegradasi polutan organik karena ketidakmampuannya untuk menghasilkan jumlah besar dari OH* radikal yang memiliki kemampuan oksidasi tinggi sehingga dapat menyebabkan oksidasi destruktif pada zat pewarna organik (Zhang *et al.*, 2014). Oleh karena itu, CuO digunakan dengan digabungkan dengan material lainnya yang disebut dengan fotokatalis heterogen. Dengan menggunakan fotokatalis heterogen, kelemahan dari CuO dapat teratasi dan hasil dari fotokatalis dapat maksimal (Nuengmatcha *et al.*, 2019).

2.5 Methylene Blue

Methylene Blue (MB) atau dalam penamaan IUPAC phenothiazine chloride tetra methylthionine chloride (3,7-bis(dimethylamino) adalah senyawa kimia herosiklik aromatik dengan berat molekul 319,85 g/mol. MB dengan rumus kimia C₁₆H₁₈N₃ClS merupakan pewarna dengan tipe warna biru yang lazim, kationik, dan tipe thiazine telah banyak digunakan pada industri tekstil. Jenis pewarna ini sangat lazim ditemukan karena sangat larut di dalam air dan dapat membentuk larutan yang stabil pada suhu kamar. Berikut adalah gambar struktur molekul dari *methylene blue* (Oladoye *et al.*, 2022).



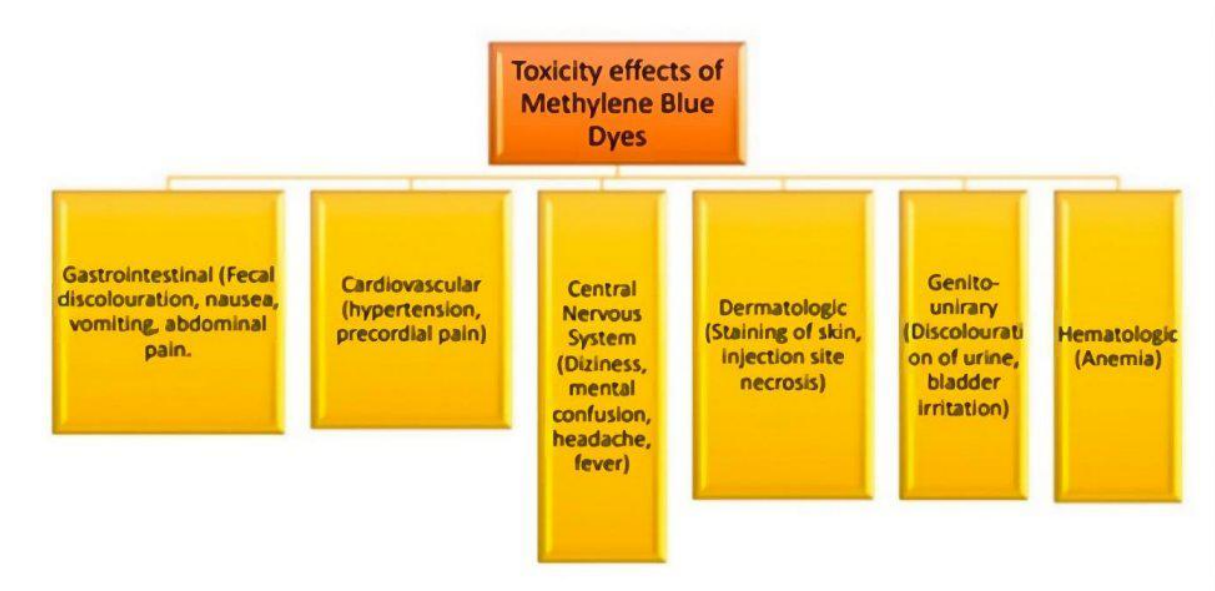
Gambar 2. 10 Struktur Molekul dari *Methylene Blue* (Oladoye *et al.*, 2022)

Aplikasi dari *methylene blue* sangat luas mulai dari bidang medis, tekstil, dan makanan. Pada bidang medis, *methylene blue* dapat digunakan untuk digunakan sebagai obat malaria, metamoglobinemia, penyembuhan vasoplegia, dan lainnya. Dalam industri tekstil MB biasanya

digunakan sebagai pewarna dan dapat digunakan juga sebagai pewarna makanan. Meskipun banyak digunakan pada industri, MB bersifat toksik sehingga harus tetap diperhatikan konsentrasinya. Senyawa MB sendiri bersifat teratogenik dan embriotoksik. Oleh karena sifat toksik ini, MB tidak boleh dibuang ke lingkungan sebelum diolah terlebih dahulu karena dapat merusak lingkungan dan membahayakan kesehatan. Berikut ini adalah sifat dan efek toksisitas dari *methylene blue* (Oladoye *et al.*, 2022).

Tabel 2. 3 Sifat dari *Methylene Blue* (Oladoye *et al.*, 2022)

| Sifat/Parameter | Nilai>Nama |
|---|---|
| Nama Lain | <i>Swiss Blue</i> |
| <i>Ionization</i> | <i>Basic</i> |
| Nama Index Warna | <i>Basic Blue 9</i> |
| Nomor Index Warna | 52015 |
| Difusivitas Molekul (cm ² / s) | 4,7 x 10 ⁶ |
| Panjang Molekul (Å) | 13,82 sampai 14.47 |
| Lebar Molekul (Å) | 9,5 |
| Kelarutan Dalam Air | 43,6 g/L pada 25°C |
| Titik Leleh (°C) | 100 - 110 |
| Keofisien Penyerapan Molar | ~8,4 x 10 ⁴ L/mol.cm pada 664 nm |
| <i>Aqueous pH</i> | 2,0 – 3,5 |



Gambar 2. 11 Efek Toksisitas dari *Methylene Blue* (Oladoye *et al.*, 2022)

Oleh karena sifat toksisitas dari MB ini, maka sebelum dilepaskan ke lingkungan harus dilakukan pengolahan terlebih dahulu sebelum dilepaskan ke lingkungan. Ada berbagai metode untuk mendegradasi MB seperti ekstraksi, adsorpsi, filoremediasi, koagulasi, elektroagulasi, distilasi membran vakum, dll. Karena stabilitas termal, cahaya, dan non-biodegradabilitas membuat MB sulit untuk didegradasi menjadi molekul anorganik yang lebih kecil dengan metode sederhana. Metode umum yang digunakan dalam degradasi MB adalah fotokatalitik. Metode ini digunakan penggunaan metode ini dinilai lebih efisien dibandingkan dengan metode lainnya (I. Khan *et al.*, 2022).

2.6 Metode Freeze Drying

Freeze drying merupakan metode dengan prinsip menghilangkan pelarut dari sampel yang dimana sampel terlebih dahulu dibekukan yang kemudian pelarut yang beku dihilangkan melalui proses sublimasi pada tekanan rendah dan dilanjutkan dengan proses desorpsi untuk menghilangkan pelarut yang tidak beku. Oleh karena itu proses ini dibagi menjadi 2 bagian utama yakni pembekuan dan pengeringan (Assegehegn *et al.*, 2019). Dalam proses *freeze drying* dibagi menjadi 3 tahap yakni pembekuan, pengeringan primer, dan pengeringan sekunder.

1. Pembekuan

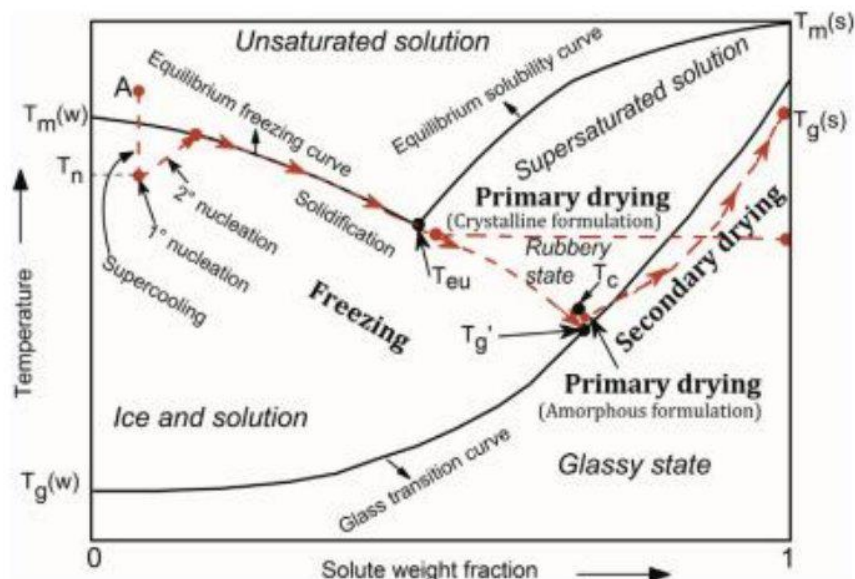
Pembekuan merupakan proses paling kritis dalam *freeze drying* karena apabila produk sudah rusak dari awal maka tidak ada gunanya untuk melanjutkan proses *freeze drying*. Selama pembekuan, sebagian besar air diubah menjadi padatan dengan membentuk jaringan kristal es. Langkah ini juga menentukan morfologi, ukuran, dan distribusi ukuran kristal es. Hal ini akan mempengaruhi beberapa parameter kritis seperti resistansi produk kering, laju pengeringan primer dan sekunder, tingkat kristalinitas produk, luas permukaan spesifik, dan kemampuan produk kering untuk direkonstitusi (Shukla, 2011).

2. Pengeringan Primer

Tahap pengeringan primer merupakan proses sublimasi. Pada tahap ini, perpindahan panas dan massa harus terjadi dalam “*close equilibrium*” sehingga perubahan suhu produk selama seluruh periode pengeringan primer tidak signifikan. Tekanan pada tahap ini diturunkan dan suhu yang cukup disuplai agar air dapat menyublim. Komponen vakum pada alat *freeze drying* akan mempercepat proses penyubliman karena dapat mempercepat proses pengeringannya (Shukla, 2011).

3. Pengeringan Sekunder

Tahap pengeringan sekunder merupakan tahap desorpsi yang berguna untuk menghilangkan molekul air yang tidak beku, karena es telah hilang pada tahap pengeringan primer. Tahap ini diatur oleh isoterm adsorpsi material. Pada tahap ini suhu dinaikkan lebih tinggi dari fase pengeringan primer untuk memutus interaksi fisika kimia yang terbentuk antara molekul air dan bahan beku (Shukla, 2011).

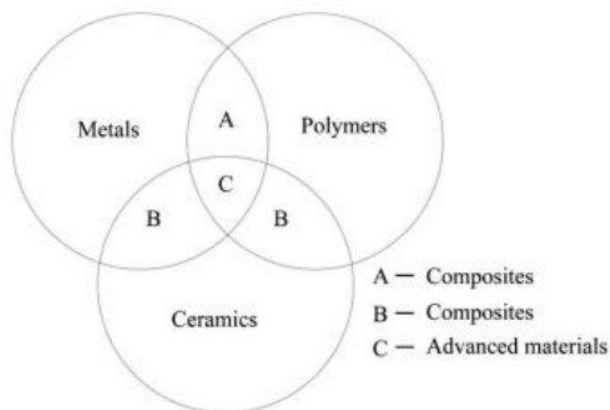


Gambar 2. 12 Diagram Fasa dari Proses *Freeze Drying* (Assegehegn *et al.*, 2019)

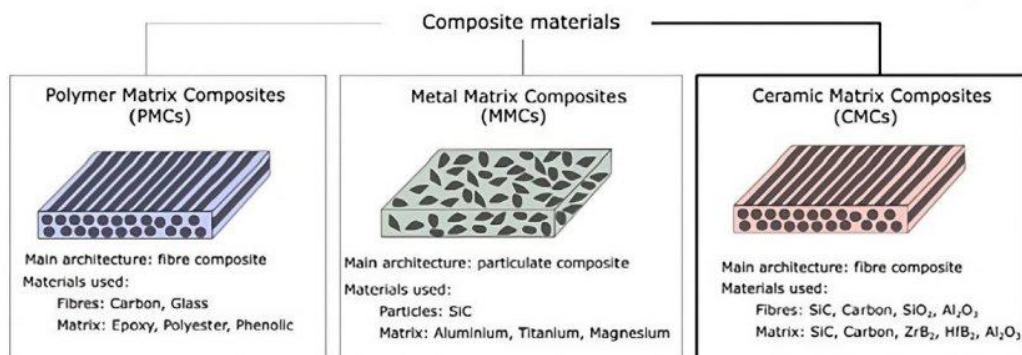
Terdapat beberapa metode dalam melakukan *freeze drying* seperti *Precooled shelf freezing*, *freezing with annealing*, *quench freezing*, *vacuum-induced surface freezing*, *ice fog freezing technique*, *high-pressure shift or depressurization freezing*, *ultrasound-powered freezing*, *electrofreezing*, *ice crystals distribution from condensed frost*, dan *gap freezing* (Assegehegn *et al.*, 2019). Adapun keuntungan dari metode *freeze drying* adalah waktu rekonstitusi yang cepat, dapat tahan bertahun-tahun dengan penyegelan untuk mencegah absorpsi air, memiliki stabilitas tinggi, tidak menyebabkan pengurangan ketangguhan sampel. Namun metode ini memiliki kekurangan seperti semakin besar maka waktu yang diperlukan semakin lama, dapat merubah struktur material jika suhu yang digunakan terlalu tinggi, dan senyawa yang mudah menguap dapat hilang karena vakum yang tinggi (Shukla, 2011).

2.7 Komposit

Komposit adalah gabungan dari dua material atau lebih yang memiliki perbedaan dalam sifat dan struktur yang berbeda untuk mendapatkan sifat material yang lebih baik. Kombinasi dari fasa tersebut disebut dengan matriks dan *reinforce*. Komposit dari bahan ini tidak akan bereaksi secara kimiawi. *Reinforce* bertanggung jawab atas sifat-sifat mekanik yang dihasilkan pada komposit dan matriks berguna untuk menjaga penguat pada tempatnya dan sebagai sarana penghantar guncangan mekanik dari satu penguat ke penguat lainnya. Berdasarkan matriks penyusunnya, komposit dibagi menjadi 4 yakni *Metal Matrix Composite* (MMC), *Ceramic Matrix Composite* (CMC), *Polimer Matrix Composite* (PMC), dan *Advanced Composite* (ACM). Berikut adalah ilustrasi dari kombinasi penyusunan material komposit. (Ahmad *et al.*, 2019)

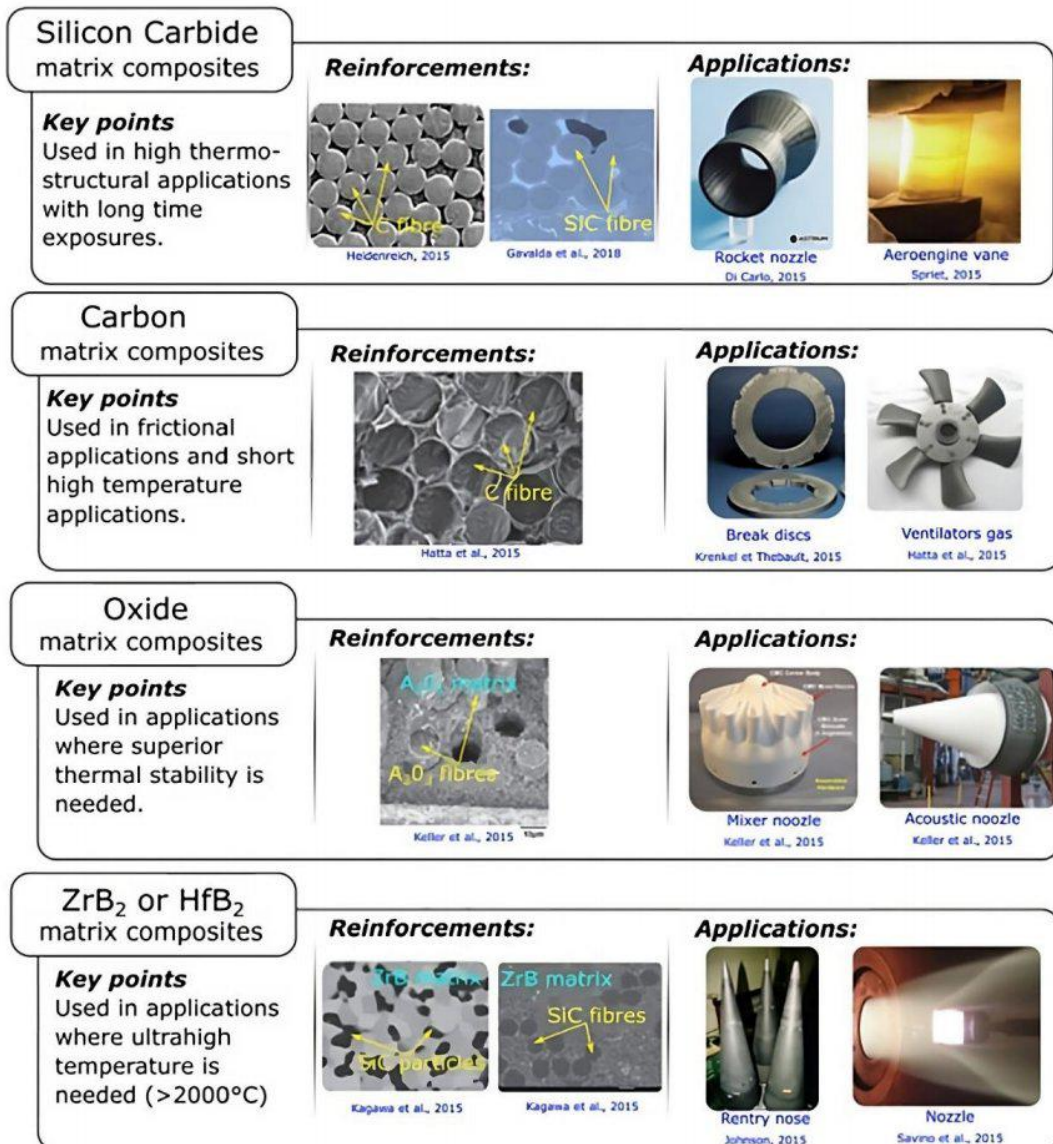


Gambar 2. 13 Ilustrasi dari Kombinasi Komposit Material (Egbo, 2021)



Gambar 2. 14 Klasifikasi Komposit Berdasarkan Matrix dengan Masing Masing *Reinforce* dan Material yang Digunakan (Gavalda Diaz *et al.*, 2019)

Berbagai jenis komposit ini memiliki keunggulan dan fungsinya masing masing. Untuk mengatasi masalah dan tuntutan kebutuhan akan pengaplikasiannya, masing masing dari jenis matriks ini terus dilakukan pengembangan. CMC (*Ceramic Matrix Composite*) merupakan salah satu jenis matriks yang penggunaannya banyak di dalam bidang arsitektur, transportasi, dan energi. CMC umumnya disintesis dengan menggabungkan keramik sebagai matriks dengan material berserat kontinu untuk memperkuat matriks. Matriks yang digunakan pada CMC ini umumnya berukuran nano. CMC memiliki berbagai berbagai ukuran dan penyusun berdasarkan jenis material keramik yang digunakan seperti yang terdapat dalam **Gambar 2.16**. (Gavalda Diaz *et al.*, 2019)

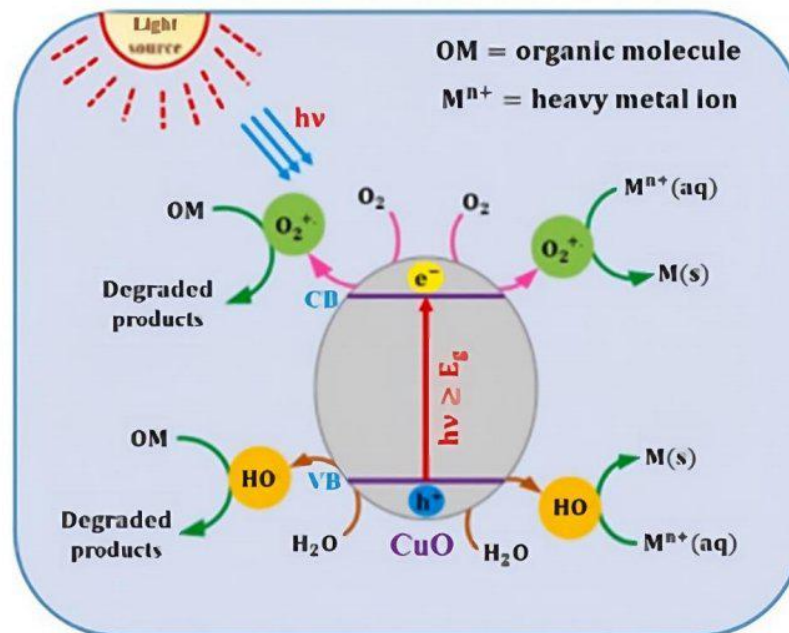


Gambar 2. 15 Ringkasan Matriks CMC dengan *Reinforce* yang Digunakan dan Pengaplikasian Populernya (Gavalda Diaz *et al.*, 2019)

2.8 Fotokatalisis

Fotokatalisis berasal dari 2 kata yakni foto yang berarti cahaya dan katalisis yang berarti proses yang melibatkan suatu zat yang dapat mengubah laju transformasi kimia dari reaktan tanpa mengalami perubahan dan dapat meningkatkan laju reaksi dengan mengurangi energi

aktivasi. Oleh karena itu, pengertian fotokatalis adalah proses percepatan reaksi kimia dengan bantuan cahaya (Saravanan *et al.*, 2017). Fotokatalis dibagi menjadi 2 yakni fotokatalis homogen dan fotokatalis heterogen. Fotokatalis homogen adalah proses fotokatalis dimana semikonduktor dan reaktannya berada dalam fase yang sama. Fotokatalis ini sering digunakan untuk degradasi logam kompleks sebagai katalis. Fotokatalis heterogen adalah proses fotokatalis dimana semikonduktor dan reaktan berada dalam fase yang berbeda. Fotokatalis jenis ini memiliki aplikasi yang banyak salah satunya adalah digunakan sebagai degradasi polutan organik dalam limbah. Fotokatalis heterogen lebih banyak pengaplikasiannya daripada fotokatalis homogen karena memiliki keuntungan seperti mineralisasi lengkap, biaya rendah, tidak ada masalah pembuangan limbah, dan keadaan suhu dan tekanan yang rendah (Mandade, 2021).



Gambar 2. 16 Skema Fotokatalis CuO untuk degradasi polutan (Sibhatu *et al.*, 2022)

Reaksi fotokatalisis bergantung pada panjang gelombang (energi cahaya) dan katalis. Secara umum, bahan semikonduktor digunakan sebagai katalis yang berfungsi sebagai sensitizier untuk penyinaran proses redoks yang dipicu oleh cahaya berdasarkan struktur elektroniknya yang ditandai dengan pita valensi yang terisi dan pita konduksi yang kosong seperti pada **Gambar 2.16**. Adapun langkah langkah dari proses fotokatalis semikonduktor adalah sebagai berikut (Saravanan *et al.*, 2017):

- Ketika energi cahaya dalam bentuk foton jatuh pada permukaan semikonduktor dan energi cahaya yang jatuh setara atau lebih dari energi celah pita semikonduktor, elektron pita valensi digerakkan dan berpindah ke pita konduksi semikonduktor.
- Lubang akan tertinggal di pita valensi semikonduktor. Lubang lubang ini dapat mengoksidasi molekul donor dan bereaksi dengan molekul air untuk menghasilkan radikal hidroksil. Radikal hidroksil memiliki kekuatan oksidasi yang kuat yang bertanggung jawab atas degradasi polutan.
- Elektron pita konduksi bereaksi dengan spesies oksigen terlarut untuk membentuk ion superoksida. Elektron elektron ini menginduksi reaksi redoks.

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi proses fotokatalisis seperti ukuran, bentuk, struktur permukaan katalis, sifat bahan reaktan, Ph, suhu reaksi, intensitas cahaya, jumlah

katalis, dan konsentrasi air limbah. Struktur dan morfologi katalis memiliki peran penting dalam mencapai aktivitas fotokatalisis yang efektif, Struktur dengan luas permukaan besar menunjukkan efisiensi yang lebih tinggi dalam respon fotokatalisis (Mandade, 2021).

2.9 Penelitian Terdahulu

Berikut adalah beberapa penelitian terdahulu terkait CQDs.

Tabel 2. 4 Rangkuman Penelitian Terdahulu

| No. | Material | Aplikasi | Hasil Penelitian | Referensi |
|-----|---|--|--|---------------------------------------|
| 1. | N,S-doped <i>Carbon Quantum Dots</i> , o-Phenylenedia mine, Methionine | Sensor pada azo dye fluorescent ink | Metode fluorensi mencapai LOD 80 nm dalam rentang 0-10 μm dan sensor elektrokimia dengan rentang 5-25 μm dengan LOD 2 nm | (John <i>et al.</i> , 2023) |
| 2. | Lignin, formaldehyde, <i>Carbon Quantum Dots</i> | Deteksi visual formaldehyde | CQDs yang disintesis dapat mendeteksi formaldehyde secara langsung tanpa eksitasi UV dengan LOD 0,4 mg/L | (Li <i>et al.</i> , 2023) |
| 3. | <i>Carbon Quantum Dots</i> , Copper Oxide | <i>Electrochemical sensor for detection dopamine</i> | Nanokomposit CuO/CQDs berhasil mendeteksi dopamine dengan batas deteksi adalah 25,40 μM pada rentang linier lebar 1–180 μM | (Elugoke <i>et al.</i> , 2022) |
| 4. | Kaolin, <i>Carbon Quantum Dots</i> , methylene blue, sekam padi | Methylene blue removal | Komposit (MK)/CQDs mencapai efisiensi degradasi MB sebesar 96%. | (Soraya Sambudi <i>et al.</i> , 2022) |
| 5. | Rumput, N-doped <i>Carbon Quantum Dots</i> | Degradasi polutan dari air | N-CQD disintesis menggunakan metode hidrotermal dari rumput. N-CQDs dapat mendegradasi ion logam dengan persentase 37% dan 75% | (Sabet & Mahdavi, 2019) |

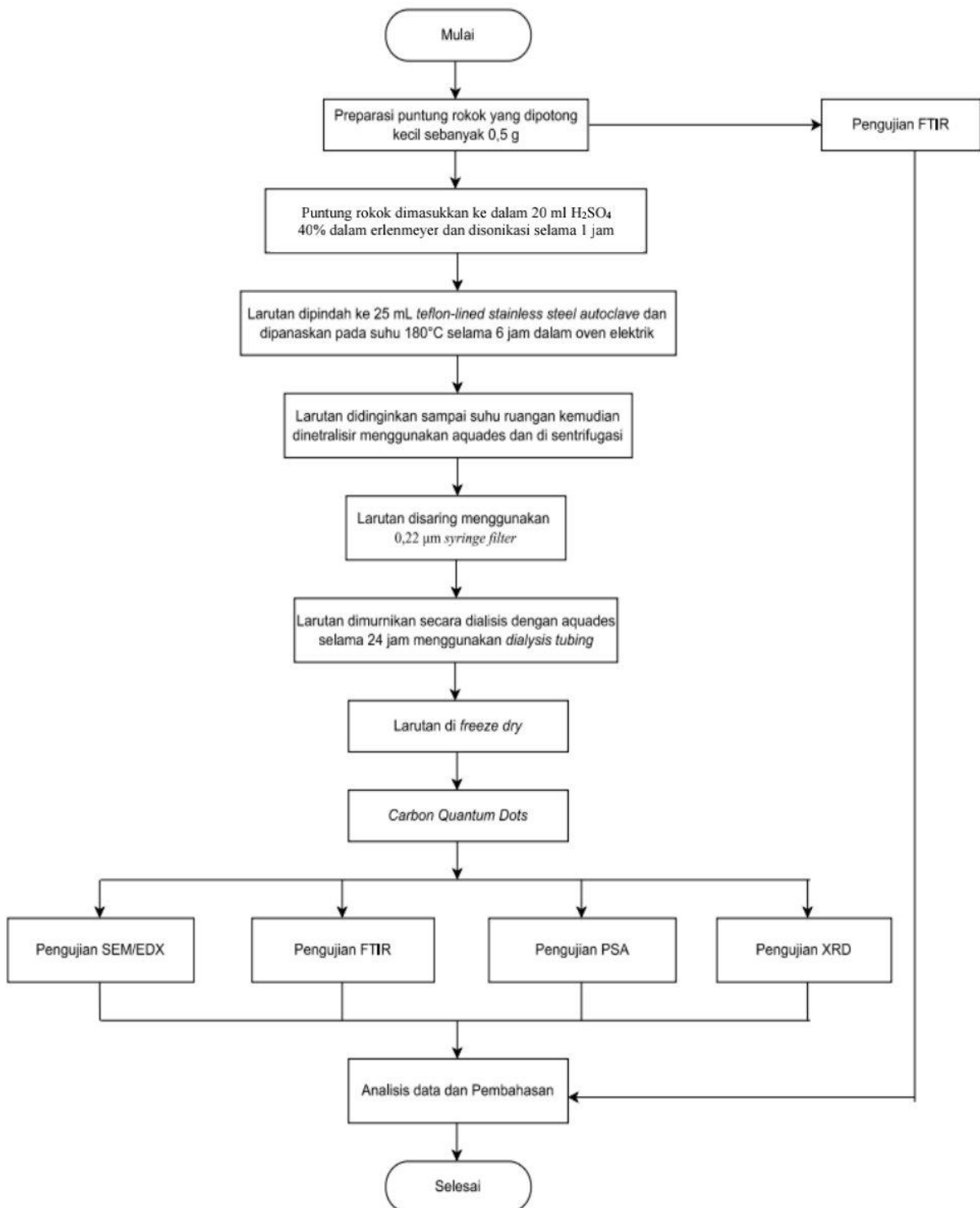
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Adapun diagram alir percobaan yang bisa dilihat sebagai berikut.

3.1.1 Sintesis *Carbon Quantum Dots*

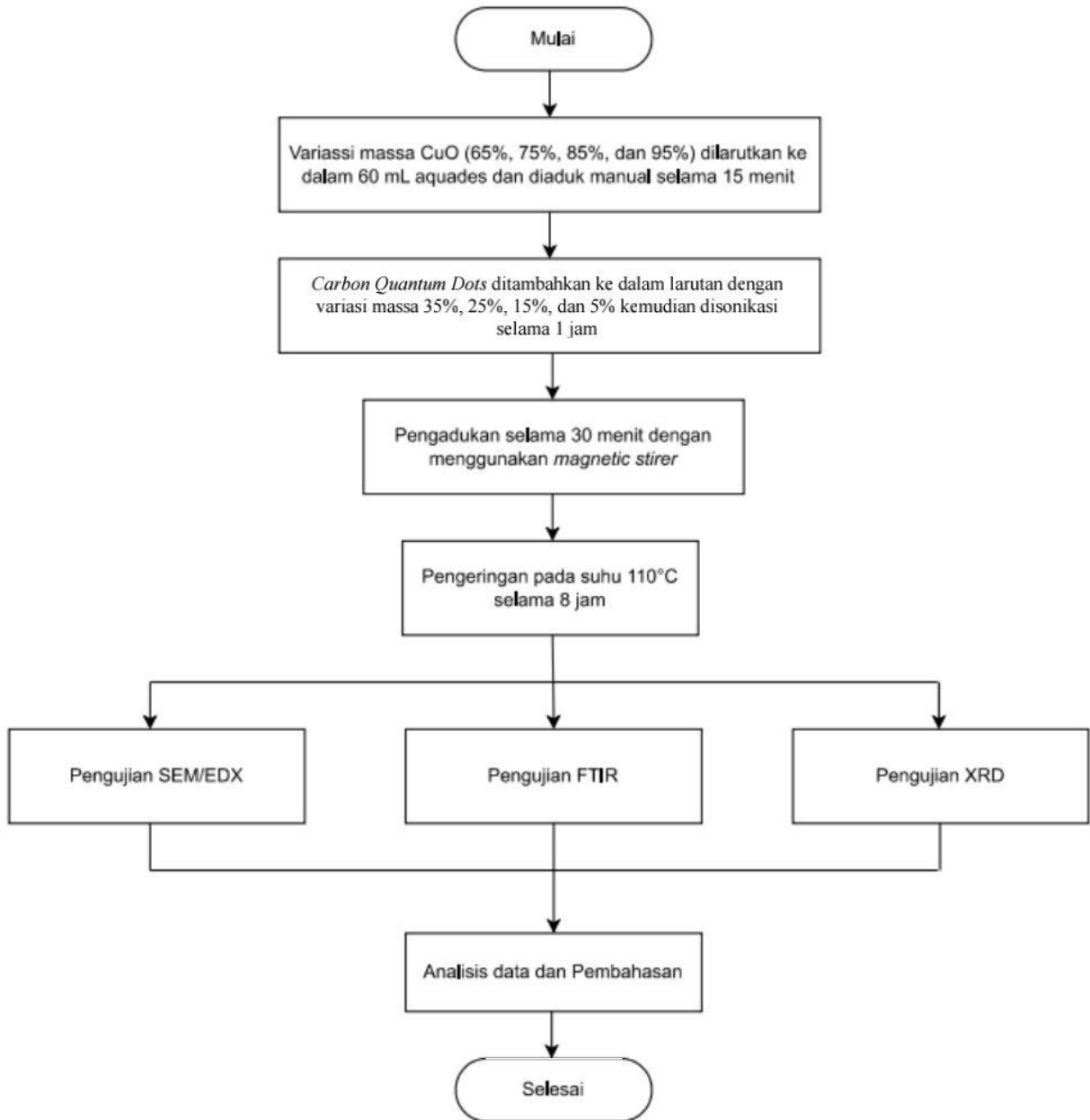
Berikut merupakan gambar diagram alir untuk sintesis CQDs.



Gambar 3. 1 Diagram Alir CQDs

3.1.2 Sintesis Komposit CuO/CQDs

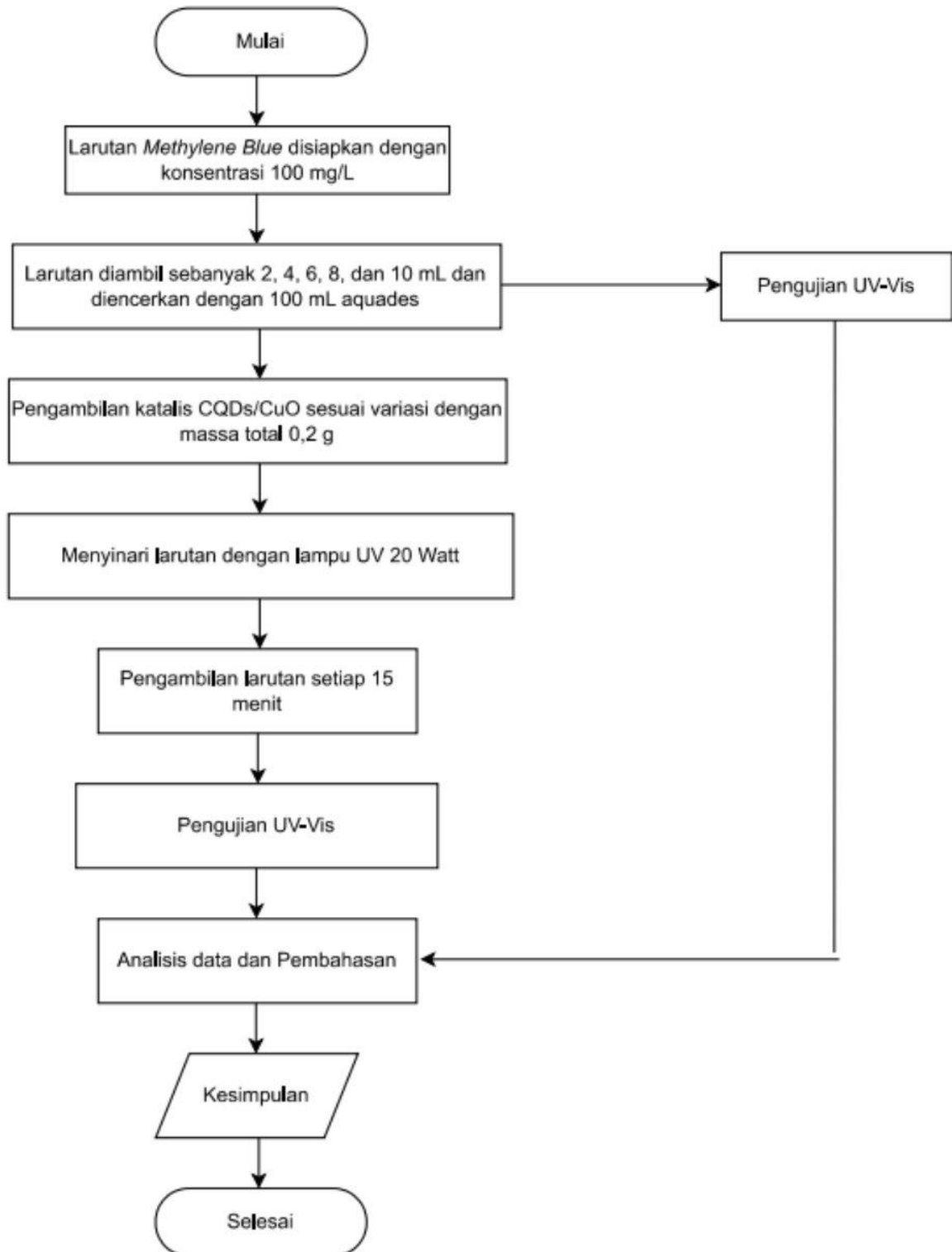
Berikut merupakan diagram alir komposit dari CuO/CQDs.



Gambar 3. 2 Diagram Alir Sintesis Komposit CuO/CQDs

3.1.3 Pengujian Fotokatalisis

Berikut merupakan gambar diagram alir untuk pengujian fotokatalisis.



Gambar 3. 3 Diagram Alir Pengujian Fotokatalisis

3.2 Bahan Penelitian

Adapun bahan-bahan yang diperlukan selama penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Puntung Rokok



Gambar 3. 4 Puntung Rokok (Dokumentasi Pribadi)

Pada penelitian ini puntung rokok digunakan sebagai bahan material untuk disintesis menjadi CQDs

2. *Methylene Blue*
Methylene Blue digunakan sebagai limbah yang akan didegradasi oleh katalis CuO/CQDs
3. *Copper (II) Oxide*



Gambar 3. 5 Tembaga (II) Oksida (CuO) (Dokumentasi Pribadi)

Copper (II) Oxide digunakan sebagai metal oksida yang akan dikompositkan dengan CQDs

4. H₂SO₄



Gambar 3. 6 Asam Sulfat (H₂SO₄) (Dokumentasi Pribadi)

Pada penelitian ini digunakan H₂SO₄ untuk proses hidrolisis selulosa asetat yang terdapat pada filter puntung rokok dalam proses sintesis CQDs

5. Aquades
Aquades digunakan untuk pemurnian larutan setelah proses netralisir.

3.3 Alat Penelitian

Adapun alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Gelas Erlenmeyer
Pada pengujian ini erlenmeyer digunakan sebagai wadah untuk larutan.
2. Gunting
Pada percobaan ini gunting digunakan untuk memotong puntung rokok menjadi bagian kecil.
3. Gelas Ukur
Pada percobaan ini gelas ukur digunakan untuk mengukur jumlah larutan.
4. Oven



Gambar 3. 7 *Drying Oven* (Dokumentasi Pribadi)

Pada pengujian ini oven digunakan untuk memanaskan produk dalam proses sintesis CQDs

5. *Magnetic Stirrer*



Gambar 3. 8 *Magnetic Stirrer* (Dokumentasi Pribadi)

Pada pengujian ini *Magnetic stirrer* digunakan untuk mengaduk larutan dengan rentang waktu tertentu

6. *Teflon-lined stainless-steel autoclave*
Pada pengujian ini *Teflon-lined stainless-steel autoclave* digunakan untuk pemanasan proses sintesis CQDs
7. Spatula
Pada pengujian ini spatula digunakan untuk pengambilan bahan padat dan mengaduk secara normal
8. Pipet Tetes
Pada pengujian ini pipet tetes digunakan untuk mengambil dan memasukkan larutan dari sebuah wadah
9. Neraca Analitik



Gambar 3. 9 Neraca Analitik (Dokumentasi Pribadi)

Pada pengujian ini neraca analitik digunakan untuk mengukur massa bahan padat

10. Corong

Pada pengujian ini corong digunakan sebagai alat bantu dalam proses penyaringan

11. *Centrifuge*



Gambar 3. 10 *Centrifuge* (Dokumentasi Pribadi)

Pada pengujian ini *centrifuge* digunakan untuk memisahkan supernatan dengan presipitat

12. *Freeze-dryer*



Gambar 3. 11 *Freeze Dryer* (Dokumentasi Pribadi)

Pada pengujian ini *freeze-dryer* digunakan untuk mengeringkan produk dalam temperatur rendah

13. Tabung *Centrifuge*

Pada pengujian ini tabung *centrifuge* digunakan sebagai wadah untuk memasukkan larutan ke dalam mesin *centrifuge*

14. Kertas PH

Pada pengujian ini kertas PH digunakan untuk mengukur keasaman larutan

15. *Syringe Filter*
Pada pengujian ini *syringe filter* digunakan untuk penyaringan produk sintesis CQDs
16. *Dialysis Tubing*
Pada pengujian ini *dialysis tubing* digunakan sebagai alat proses dialysis pada proses pemurnian
17. *Thermometer*
Pada pengujian ini *thermometer* digunakan untuk mengukur temperatur larutan
18. Instrumen Karakterisasi Material
Pada pengujian ini digunakan beberapa instrumen karakterisasi material sebagai berikut:
 - a. *X-Ray Diffraction (XRD)* alat karakterisasi material yang digunakan untuk mengetahui senyawa yang terkandung dan struktur kristal dari penelitian
 - b. *Scanning Electron Microscope (SEM-EDX)* alat karakterisasi material yang digunakan untuk mengetahui morfologi dan ukuran partikel dari penelitian
 - c. *Fourier Transform Infrared (FTIR)* alat karakterisasi material digunakan untuk mengetahui nilai gugus fungsi material
 - d. Spektrometer UV-Vis digunakan untuk mengetahui panjang gelombang dan nilai absorbansi
 - e. *Particle Size Analyzer (PSA)* digunakan untuk mengetahui ukuran dan distribusi partikel dan molekul
 - f. *Gas Chromatography-Mass Spectroscopy (GC-MS)* digunakan untuk menganalisis jumlah senyawa secara kuantitatif menggunakan gc dan menganalisis struktur senyawa menggunakan MS.

3.4 Metode Penelitian

Proses penelitian ini dilakukan dengan 3 tahapan yakni proses sintesis *Carbon Quantum Dots*, sintesis komposit CuO/CQDs, dan pengujian fotokatalisis.

3.4.1 Sintesis *Carbon Quantum Dots*

Berikut prosedur dalam melakukan sintesis mikroselulosa pada penelitian ini.

1. Puntung rokok dipreparasi dengan cara dipotong kecil sebanyak 0,5 gram
2. Kemudian dilakukan pengujian FTIR untuk mengetahui gugus fungsi dan kandungan selulosa asetat pada puntung rokok tersebut
3. Puntung rokok yang telah dipotong kemudian dilarutkan dengan menggunakan larutan H₂SO₄ 40% sebanyak 20 mL.
4. Larutan diaduk manual kemudian dilakukan disonikasi selama 1 jam.
5. Kemudian larutan dipindahkan ke *teflon-lined stainless steel autoclave* dan dipanaskan dengan temperatur 180 °C di oven selama 6 jam.
6. Kemudian produk didinginkan di luar oven hingga mencapai suhu ruangan.
7. Setelah mencapai suhu ruangan, produk kemudian dimasukkan ke dalam alat *centrifuged* untuk menghilangkan partikel besar.
8. Kemudian produk dinetralkan dengan menggunakan aquades dan dimasukkan kembali ke dalam *centrifuged*.
9. Larutan kemudian difilter menggunakan *syringe filter* dengan ukuran 0,22 µm
10. Larutan hasil penyaringan kemudian dimurnikan menggunakan aquades selama 24 jam menggunakan *dialyzing tubing*
11. Setelah dimurnikan, produk hasil tersebut dikeringkan dengan menggunakan *freeze dryer*.

12. Hasil pengeringan diperoleh berupa CQDs yang kemudian dilakukan pengujian FTIR, SEM/EDX, XRD, dan PSA untuk mengetahui karakterisasi dari CQDs yang dihasilkan.

3.4.2 Sintesis Komposit CuO/CQDs

Berikut prosedur dalam melakukan sintesis komposit CuO/CQDs pada penelitian ini.

1. Variasi massa CuO (65%, 75%, 85%, dan 95%) dilarutkan dengan 60 mL aquades dan kemudian diaduk selama 15 menit.
2. Larutan tersebut kemudian ditambahkan CQDs yang telah disintesis dengan variasi massa 5%, 15%, 25%, dan 35%.
3. Kemudian larutan disonikasi selama 1 jam.
4. Setelah itu, larutan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit.
5. Kemudian dilanjutkan dengan pengeringan pada 110 °C selama 8 jam.
6. Hasil pengeringan diperoleh komposit CuO/CQDs yang kemudian dilakukan pengujian FTIR, SEM/EDX, dan XRD untuk mengetahui karakterisasi yang telah dihasilkan.

3.5 Pengujian

Adapun penelitian yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

3.5.1 Pengujian Fotokatalisis

Pengujian fotokatalis dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan massa CQDs pada komposit CuO/CQDs untuk degradasi limbah *methylene blue*. Pengujian ini dilakukan sesuai prosedur berikut.

1. Pembuatan larutan uji dan penentuan panjang gelombang maksimum
Larutan *methylene blue* dengan konsentrasi 100mg/L disiapkan dengan cara serbuk *methylene blue* ditimbang sebanyak 0,1 gram. Kemudian dilarutkan ke dalam 100mL aquades. Kemudian ditetesi dengan pipet tetes masing masing 2, 4, 6, 8, dan 10 mL ke dalam labu takar 100 mL dan diencerkan dengan aquades sehingga diperoleh larutan dengan konsentrasi 2, 4, 6, 8, dan 10 mg/L. Selanjutnya ditentukan panjang gelombang maksimum larutan tersebut dengan menggunakan spektrometer UV-Vis.
2. Penentuan kurva standar *methylene blue*
Setelah diketahui panjang gelombang maksimum larutan *methylene blue*, ditentukan nilai absorbansi dari masing masing konsentrasi menggunakan panjang gelombang maksimum. Kurva standar dibuat dengan menghubungkan antara konsentrasi dengan absorbansi.
3. Pengujian degradasi zat warna *methylene blue* dengan variasi penambahan massa CQDs
Pengujian degradasi *methylene blue* oleh katalis CuO/CQDs dengan penambahan CQDs sebesar 5%, 15%, 25%, dan 35%. Disiapkan gelas kimia berukuran 250 mL yang kemudian dimasukkan masing masing 100 mL larutan *methylene blue*. Selanjutnya masing masing gelas kimia ditambahkan katalis CuO/CQDs 0,2 gram setiap variasi massa. Reaktor disinari lampu UV 20 watt dengan variasi setiap 15 menit. Hasil degradasi dianalisis absorbannya dengan alat spektrofotometer. Persentase degradasi *methylene blue* ditemukan dengan **Persamaan 3.1** berikut;

$$\%D = \frac{c_0 - c_t}{c_0} \times 100\% \quad (3.1)$$

Dimana %D adalah persentase degradasi, C_0 adalah konsentrasi awal zat warna sebelum iradasi, C_t adalah konsentrasi zat warna pada t . Berdasarkan hasil analisis, dibuat profil hubungan antara waktu degradasi dengan persentase degradasi.

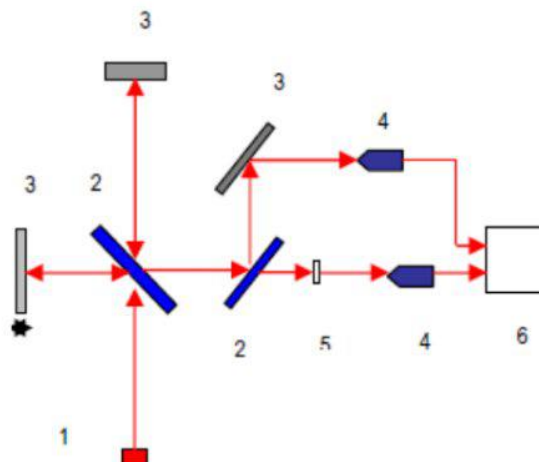
3.5.2 Pengujian FTIR

Spektrometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR) adalah sebuah instrumen yang berfungsi untuk mendeteksi dan menganalisis frekuensi serta mengidentifikasi gugus fungsi pada molekul organik yang didasarkan pada interaksi radiasi dengan getaran molekul. Proses identifikasi dilakukan dengan mencocokkan nilai puncak serapan bilangan gelombang tertentu dari sampel yang telah diperoleh dari beberapa referensi yang ada (Anisa Z *et al.*, 2023). Berikut adalah alat FTIR.



Gambar 3. 12 Alat FTIR (Dokumentasi Pribadi)

Gugus fungsi diamati dari besarnya serapan bilangan gelombang akibat pancaran sinar *infrared* yang diberikan pada kisaran 400 cm^{-1} sampai dengan 4000 cm^{-1} . Prinsip kerja dari FTIR adalah sumber cahaya *infrared* menyinari sampel lewat celah yang berfungsi untuk mengontrol jumlah energi yang diteruskan menuju sampel. Sinar *infrared* yang diterima oleh sampel sebagian akan diserap dan sebagian lagi ditransmisikan melalui permukaan sampel menuju detektor dan akan diteruskan ke komputer (Putri & Darvina, 2019). Berikut adalah skema dari FTIR.



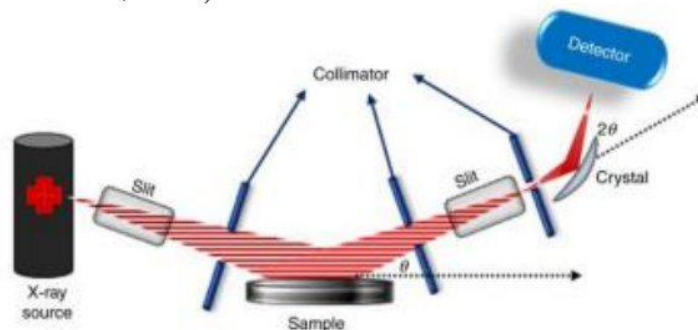
Gambar 3. 13 Skema Kerja FTIR (Putri & Darvina, 2019)

Skema kerja dari FTIR ditunjukkan pada **Gambar 3.13**. Adapun keterangan dari penomoran pada gambar tersebut adalah sebagai berikut:

1. Sumber *infrared*
2. *Beam Splitter*
3. Kaca pemantul
4. Sensor *infrared*
5. Sampel
6. Display

3.5.3 Pengujian XRD

X-Ray Diffraction (XRD) digunakan untuk melihat material kristalin tunggal atau polikristalin. Fungsi utama dari CRD adalah untuk mengidentifikasi senyawa berdasarkan pola difraksinya. Instrumen XRD terdiri dari sinar-X, optic primer, bagian sampel, optik sekunder dan detektor (Gumustas *et al.*, 2017).



Gambar 3. 14 Skema Kerja XRD (Gumustas *et al.*, 2017)

Hasil atau keluaran dari alat ini disebut difraktogram, dimana sumbu y dinyatakan sebagai intensitas dan sumbu x sebagai fungsi sudut pemindaian. Hasil difraktogram memberikan informasi mengenai struktur kristal dan fasa dari posisi puncak (Gumustas *et al.*, 2017). Material kristalin didasarkan pada hukum bragg seperti **Persamaan 3.2** berikut.

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (3.2)$$

dengan,

- n = orde difraksi (1,2,3,4,...)
- λ = panjang sinar X
- d = jarak kisi
- θ = sudut difraksi

Informasi yang diperoleh dari pengujian XRD adalah fasam struktur kristal, *defect*, ukuran kristal, orientasi kristal, dan *strain*. Identifikasi fasa pada sampel yang di XRD dilakukan dengan membandingkan hasil intensitas puncak *diffraction spectra* hasil pengujian dengan standar yang ada (Gumustas *et al.*, 2017). Ukuran kristal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan *debye scherer* seperti pada **Persamaan 3.3**.

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (3.3)$$

dengan,

- D = rata rata ukuran kristal (nm)
- β = nilai *Full Width at Half Maximum* (FWHM) (rad)
- θ = sudut *Bragg*
- λ = panjang gelombang kristal (nm)

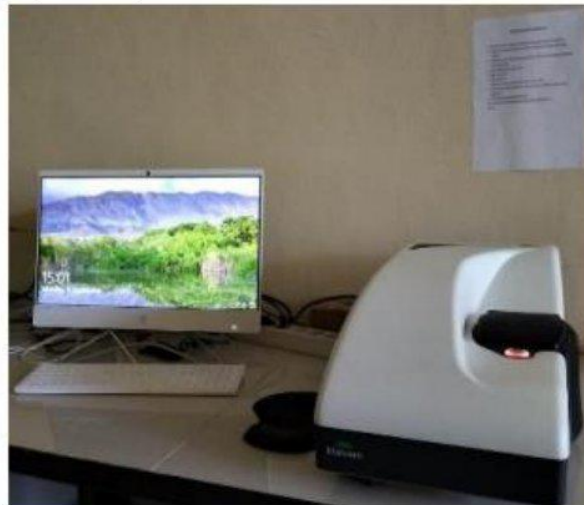
K = konstanta *scherrer* (nilai 0.9)



Gambar 3. 15 Alat XRD (Dokumentasi Pribadi)

3.5.4 Pengujian PSA

Particle Size Analyzer (PSA) adalah salah satu alat yang digunakan untuk mengetahui distribusi ukuran partikel berukuran nano. Prinsip pengukuran alat ini berdasarkan pada hamburan cahaya laser oleh partikel-partikel dalam sampel. *Particle Size Analyser* (PSA) menghasilkan dan mentransmisikan sinar laser yang melewati larutan sampel dalam kuvet. Cahaya akan tersebar dan diserap, tergantung pada ukuran, indeks bias, dan jumlah partikel dalam sampel. Hasil pengujian PSA disajikan sebagai kurva distribusi ukuran. Pada penelitian ini PSA digunakan untuk mengetahui ukuran dan distribusi partikel dari CQDs sintesis dan komposit CuO/CQDs sintesis (Komabayashi & Spångberg, 2008). Berikut merupakan alat pengujian PSA yang ditunjukkan pada **Gambar 3.16**



Gambar 3. 16 Alat Pengujian PSA (Dokumentasi Pribadi)

3.5.5 Pengujian SEM/EDX

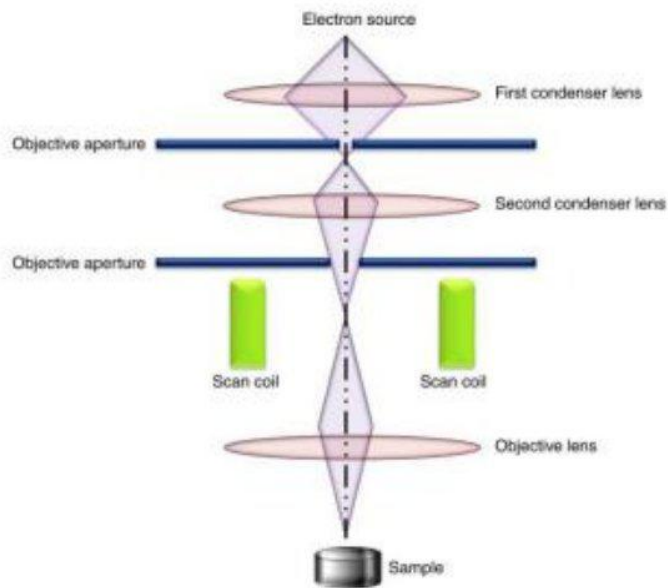
Scanning Elektron Microscopy (SEM) adalah mikroskop yang menggunakan berkas elektron terfokus yang bereaksi dengan sampel untuk menghasilkan morfologi sampel. Setelah kontak dengan sampel berkas elektron akan menghasilkan elektron sekunder (SE), *backscattered electrons*, dan *characteristic X-ray*. Kemudian akan dideteksi oleh masing-masing detektor dan hasil akhir akan ditampilkan melalui monitor. Komponen SEM meliputi

sumber elektron, kolom yang berisi lensa elektromagnetik, detektor elektron, ruang sampel, dan layar komputer. Pembentukan gambar SEM berhubungan dengan deteksi sinyal yang diterima dari interaksi antara elektron dengan sampel (Abd Mutalib *et al.*, 2017). Berikut adalah alat pengujian SEM.



Gambar 3. 17 Alat SEM (Dokumentasi Pribadi)

Energy Dispersive X-Ray (EDX) terlibat dalam pendeteksian komposisi unsur suatu sampel dengan menggunakan pemindaian mikroskop elektron. EDX dapat mendeteksi unsur-unsur yang memiliki nomor atom lebih tinggi dari Boron (5) dan unsur tersebut dapat dideteksi pada konsentrasi minimal 0,1%. Setelah bertumbukan dengan berkas elektron dalam SEM, tumbukan tersebut menghasilkan sinar-X yang khas. Karena setiap unsur memiliki spektrum emisi sinar-X yang berbeda, maka unsur-unsur tersebut dapat diidentifikasi dan diukur konsentrasinya dalam sampel. Sinar-X merupakan hasil interaksi antara elektron primer dengan inti atom sampel. Berkas elektron primer akan merangsang elektron dalam inti atom sehingga mengeluarkannya dari inti dan menciptakan elektron hole. Sebuah elektron dari kulit terluar (energi tinggi) akan menggantikan elektron yang hilang dan melepaskan sinar-X (Abd Mutalib *et al.*, 2017). Berikut adalah skema kerja dari SEM.



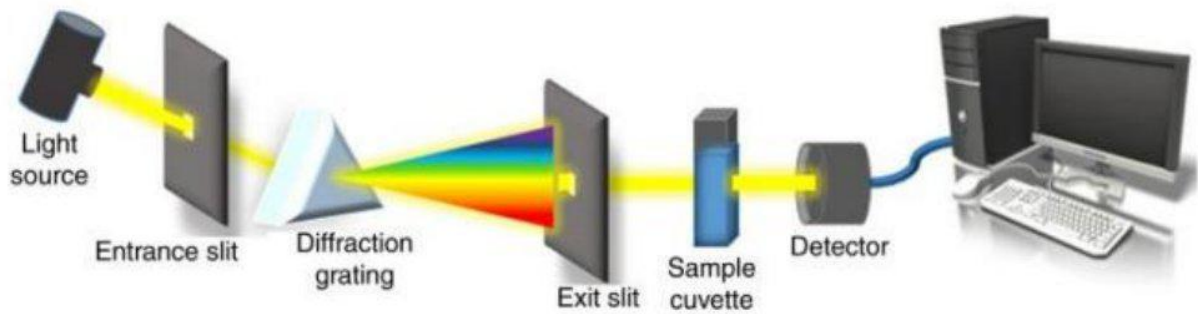
Gambar 3. 18 Skema Kerja SEM (Gumustas *et al.*, 2017)

3.5.6 Pengujian UV-Vis

Sebagian besar senyawa aktif menyerap sinar UV (200-400 nm). Hal ini mendasari penciptaan spectrometer UV-Vis untuk melakukan analisis pada 200-800 nm. Alat pengujian UV-Vis ditunjukkan pada **Gambar 3.19**. Penyerapan ditentukan oleh Cahaya yang melewati sistem pada panjang gelombang tertentu. Ketika seberkas Cahaya merambat melalui sampel yang mengandung senyawa tersebut, sebagian radiasi yang masuk ke sampel akan hilang, sedangkan radiasi tersebut muncul di sisi lain (Gumustas *et al.*, 2017). Skema kerja dari pengujian UV-Vis ditunjukkan pada **Gambar 3.20**



Gambar 3. 19 Alat Pengujian UV-Vis (Dokumentasi Pribadi)



Gambar 3. 20 Skema Kerja Pengujian UV-Vis

3.5 Rancangan Penelitian

Adapun rancangan penelitian yang telah dibuat sesuai dengan pengujian yang akan dilakukan dapat dilihat pada **Tabel 3.1**

Tabel 3. 1 Rancangan Penelitian

| Spesimen | XRD | SEM/EDX | FTIR | PSA | UV-Vis | Freeze-Drying |
|---------------|-----|---------|------|-----|--------|---------------|
| Puntung Rokok | ✓ | ✓ | ✓ | - | - | - |
| CQDs | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | - | ✓ |
| CuO | ✓ | ✓ | ✓ | - | ✓ | - |
| 1-CuO/CQDs | ✓ | ✓ | ✓ | - | ✓ | - |
| 2-CuO/CQDs | ✓ | ✓ | ✓ | - | ✓ | - |
| 3-CuO/CQDs | ✓ | ✓ | ✓ | - | ✓ | - |
| 4-CuO/CQDs | ✓ | ✓ | ✓ | - | ✓ | - |
| 5-CuO/CQDs | ✓ | ✓ | ✓ | - | ✓ | - |

Keterangan:

CQDs : *Carbon Quantum Dots*

CuO : Tembaga (II) Oksida

1-CuO/CQDs : Komposit CQDs 0 g dan CuO 2 g (CQDs 0% dan CuO 100%)

2-CuO/CQDs : Komposit CQDs 0,1 g dan CuO 1,9 g (CQDs 5% dan CuO 95%)

3-CuO/CQDs : Komposit CQDs 0,3 g dan CuO 1,7 g (CQDs 15% dan CuO 85%)

4-CuO/CQDs : Komposit CQDs 0,5 g dan CuO 1,5 g (CQDs 25% dan CuO 75%)

5-CuO/CQDs : Komposit CQDs 0,7 g dan CuO 1,3 g (CQDs 35% dan CuO 65%)

3.6 Jadwal Penelitian

Pada **Tabel 3.2** Menunjukkan jadwal penelitian yang akan dilakukan.

Tabel 3. 2 Jadwal Penelitian

| Kegiatan | Januari | | Februari | | | | Maret | | | | April | | | | Mei | | | | Juni | | | |
|--|------------|---|----------|---|---|---|-------|---|---|---|-------|---|---|---|-----|---|---|---|------|---|--|--|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | | |
| Studi Literatur | Yellow | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Asistensi Kepada Dosen Pembimbing | Orange | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Penyusunan Proposal | Green | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Persiapan Alat dan Bahan | Blue | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sintesis CQDs | Purple | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sintesis Komposit CuO/CQDs | Brown | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pengujian | Dark Green | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Penyusunan Laporan | Red | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

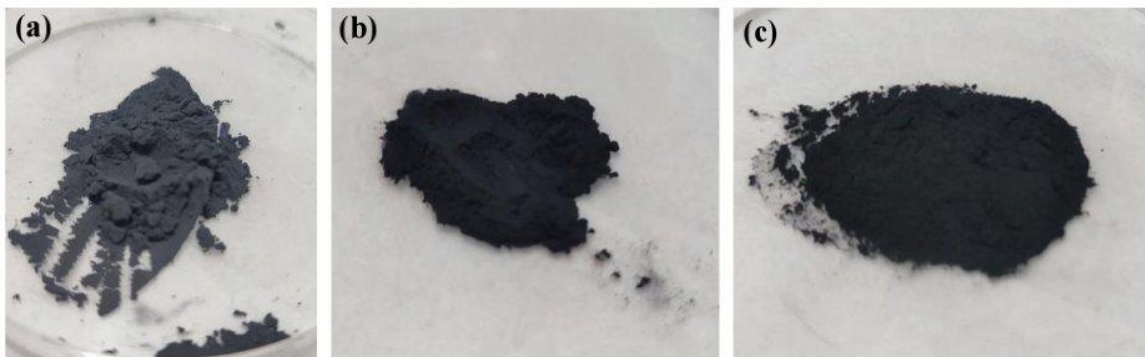
4.1 Hasil Pengamatan Visual

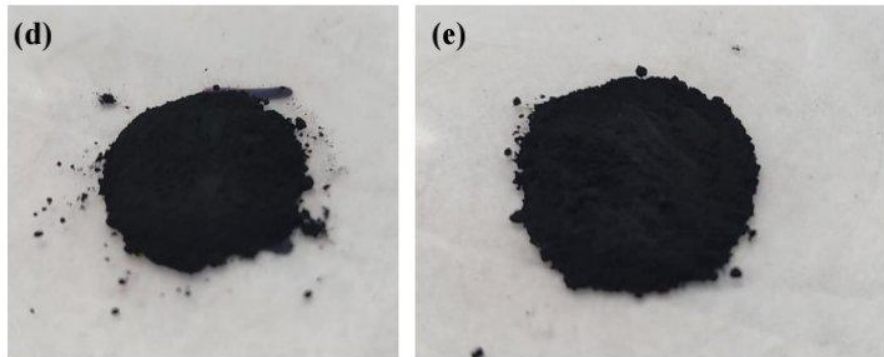
Pada penelitian ini dilakukan pengamatan visual pada sampel untuk mengetahui bentuk dan perubahan yang terjadi pada masing-masing sampel. Pada **Gambar 4.1** ditampilkan hasil pengamatan visual dari sampel puntung rokok dan serbuk *Carbon Quantum Dots* (CQDs). Puntung rokok terbuat dari selulosa asetat dengan bentuk serat panjang yang berukuran 1 cm. Sampel puntung rokok kemudian dilakukan preparasi untuk memperoleh CQDs. Bentuk CQDs yang akan disintesis adalah serbuk yang hasilnya akan dilakukan pengujian karakterisasi seperti XRD, FTIR, PSA, dan SEM/EDX. Puntung rokok yang digunakan merupakan hasil sisa pemakaian. Setelah dilakukan preparasi, hasil larutan yang didapatkan akan di-*freeze dry* untuk mendapatkan bentuk serbuk hitam CQDs seperti pada **Gambar 4.1**.



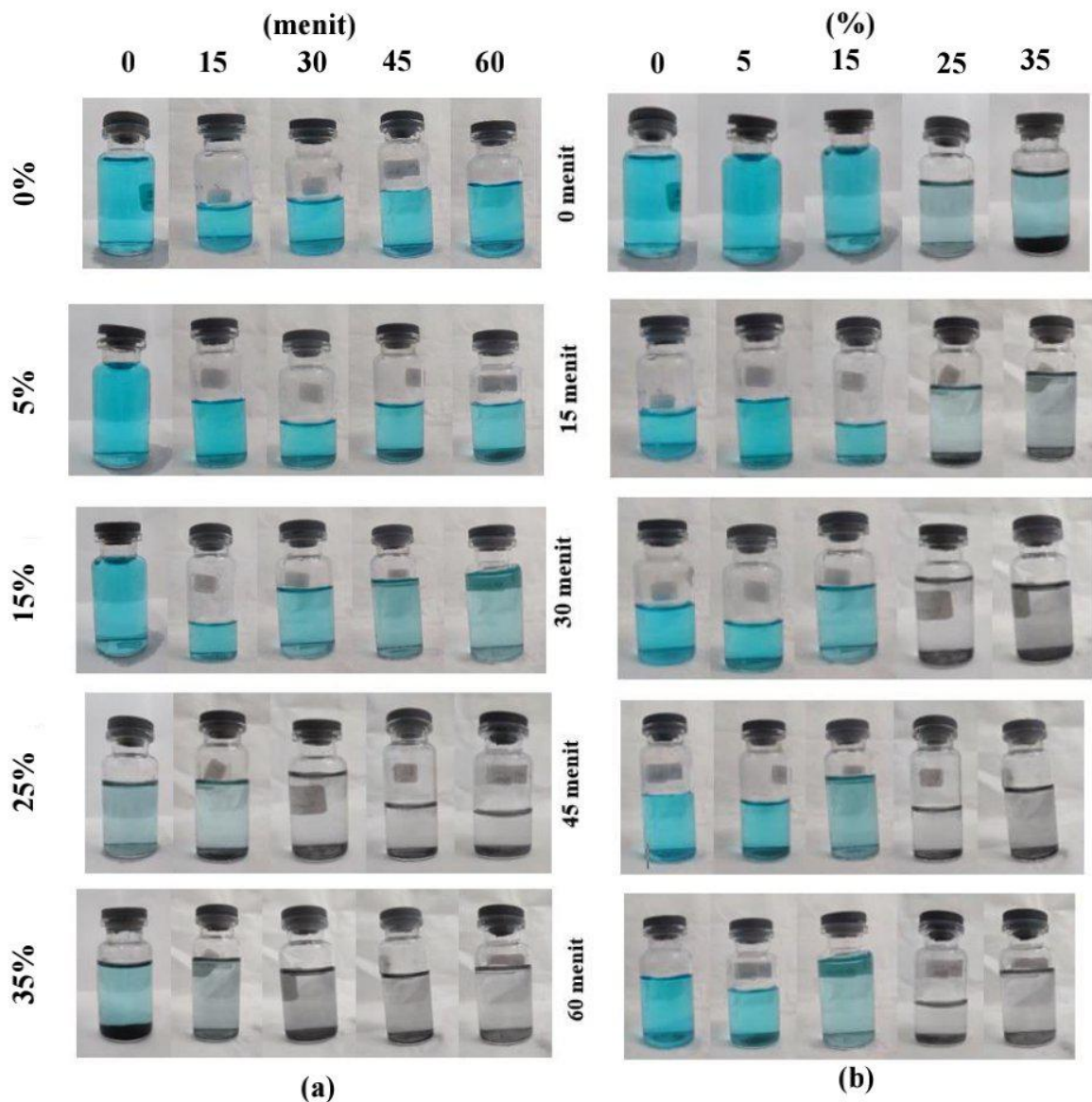
Gambar 4. 1 Hasil Pengamatan Visual Sampel (a) Puntung Rokok dan (b) CQDs

Pengamatan visual juga dilakukan pada material semikonduktor CuO dan setiap variasi komposit CuO/CQDs. Hasil pengamatan visual yang dilakukan disajikan pada **Gambar 4.2**. Semikonduktor CuO yang digunakan adalah berwarna biru tua. CuO kemudian dikompositkan dengan menambahkan CQDs dengan variasi penambahan 5%, 15%, 25%, dan 35%. Perpaduan CuO dengan CQDs menghasilkan serbuk komposit berwarna hitam. Warna hitam ini dihasilkan dari dominasi warna serbuk CQDs. Komposit CuO/CQDs dengan setiap penambahan massa memiliki warna hitam yang sama dan tidak dapat dibedakan.





Gambar 4. 2 Hasil Pengamatan Visual (a) CuO dan Komposit CuO/CQDs Dengan Variasi Penambahan Massa CQDs (b) 5%, (c) 15%, (d) 25%, dan (e) 35%

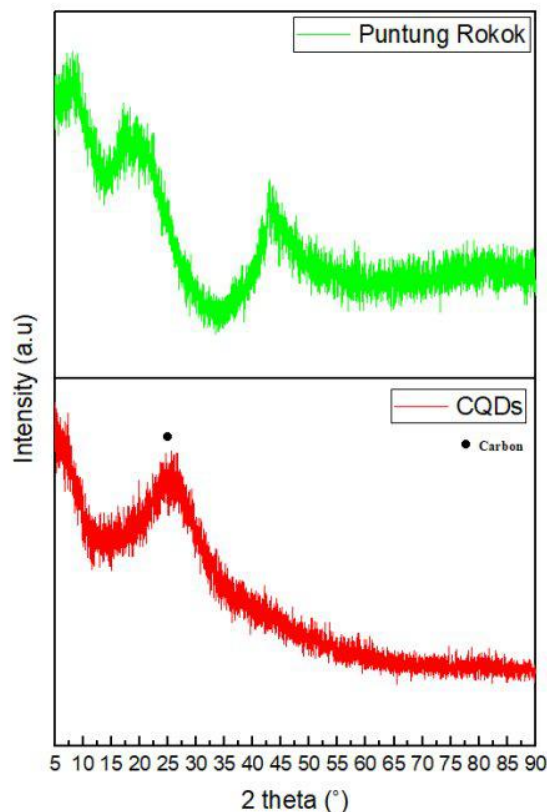


Gambar 4. 3 Hasil Pengamatan Visual Sampel *Methylene Blue* Terdegradasi oleh Komposit CuO/CQDs Berdasarkan (a) Penambahan Massa CQDs dan (b) Lama Waktu Penyinaran

Selanjutnya dilakukan pengamatan visual pada sampel *Methylene Blue*. Perubahan yang diamati pada pengamatan visual ini adalah perubahan warna pada *Methylene Blue*. Warna *methylene blue* dipengaruhi oleh gugus kromofik dan auxokrom. Gugus kromofik ini merupakan gugus N-S pada pusat heterosiklik aromatik *methylene blue* dan gugus auxokrom merupakan gugus yang mengandung N dengan pasangan elektron bebas pada cincin benzena. Pada **Gambar 4.3** menunjukkan perbedaan warna *methylene blue* dengan 10 ppm setelah dilakukan pengujian fotokatalis menggunakan CuO dan komposit CuO/CQDs. Pada **Gambar 4.3 (a)** merupakan perubahan warna larutan *methylene blue* yang diamati pada setiap variasi massa CQDs dan **Gambar 4.3 (b)** merupakan perubahan warna larutan *methylene blue* yang diamati pada setiap 15 menit selama satu jam. Dapat dilihat bahwa semakin banyak CQDs yang dilarutkan dalam *methylene blue* dan semakin lama waktu fotokatalis maka warna dari larutan akan semakin bening. Perubahan warna dari biru menjadi bening disebabkan *methylene blue* yang tereduksi.

4.2 Hasil Pengujian X-Ray Diffraction (XRD)

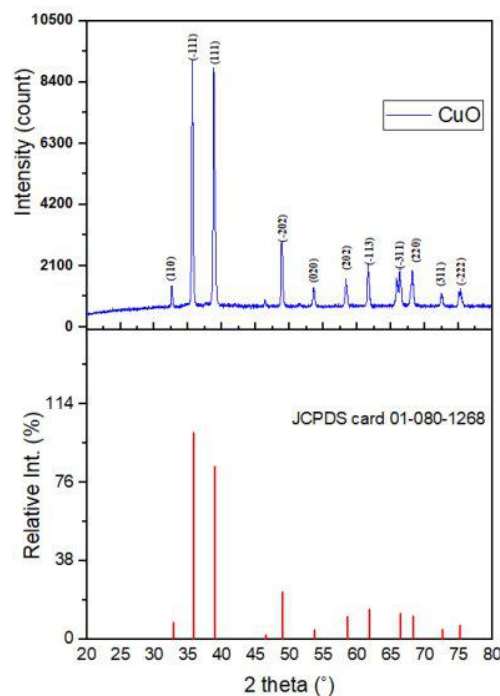
Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) pada penelitian ini dilakukan menggunakan XRD *Philip Analytical*. XRD dilakukan pada parameter sudut $2\theta = 5^\circ - 90^\circ$ dengan panjang gelombang Cu-K α 1,54060 Å. Pengujian ini digunakan untuk mengetahui perbedaan posisi puncak (*peak*) dari setiap sampel material untuk dapat diidentifikasi suatu senyawa dari pola difraksinya. Pada **Gambar 4.4** disajikan hasil pengujian XRD yang dilakukan pada puntung rokok. Dari hasil pengujian XRD yang telah dilakukan pada puntung rokok menunjukkan daerah amorf. Pada hasil pengujian dari puntung rokok dapat dilihat terdapat puncak pada sudut 15° dan 40° yang menandakan adanya selulosa asetat pada puntung rokok yang sudah diuji sesuai dengan pengujian yang dilakukan oleh Yang & Wu (2023).



Gambar 4. 4 Hasil Pengujian XRD Puntung Rokok dan CQDs

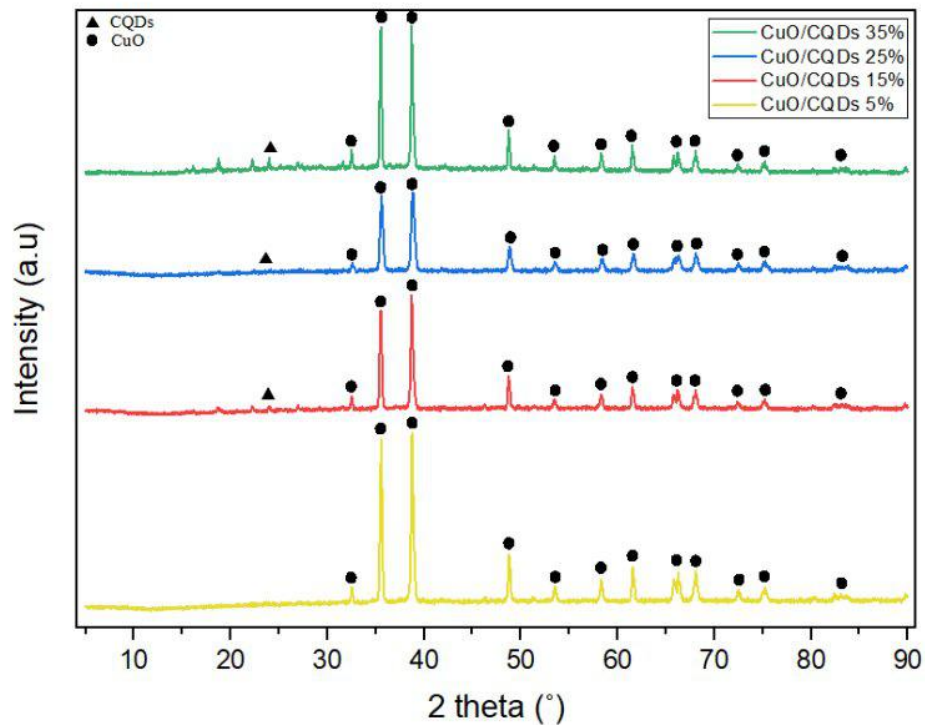
Pengujian XRD juga dilakukan pada CQDs yang didapatkan dari sintesis puntung rokok. Dari **Gambar 4.4** dapat dilihat bahwa sampel memiliki struktur kristal amorf. Pada pengujian yang sudah dilakukan dapat diketahui bahwa sampel memiliki unsur karbon (C) yang ditunjukkan oleh sudut $2\theta = 21^\circ - 29^\circ$. *Peak* tertinggi dari sampel yang diuji ada pada $2\theta = 25,76^\circ$ yang mewakili bidang (002) yang menunjukkan struktur seperti grafit. Hal tersebut sesuai dengan referensi *International Central Securities Depository* (ICSD) dengan kode 088812. Terdapat puncak lain pada hasil pengujian XRD CQDs dikarenakan adanya pengotor pada sampel CQDs (Elugoke *et al.*, 2022).

Selanjutnya pengujian XRD juga dilakukan pada semikonduktor CuO yang merupakan material yang akan dikompositkan dengan CQDs dari puntung rokok. Berdasarkan hasil pengujian XRD ini diketahui bahwa puncak tertinggi material semikonduktor CuO terletak pada sudut $2\theta = 35,566^\circ$ yang mewakili bidang (-111) dan sudut $2\theta = 38,769^\circ$ yang mewakili bidang (111). Selain kedua puncak tersebut terdapat juga puncak lainnya yakni $32,548^\circ$, $48,743^\circ$, $53,534^\circ$, $58,376^\circ$, $61,567^\circ$, $66,292^\circ$, $68,175^\circ$, $72,498^\circ$, $75,298^\circ$ yang secara berurutan mewakili bidang (110), (-202), (020), (202), (-113), (311), (220), (311), dan (-222). Dari hasil tersebut diketahui bahwa material semikonduktor CuO memiliki struktur *monoclinic* yang sesuai dengan JCPDS card 01-080-1268. Struktur CuO memiliki *lattice* parameter $a = 4.6833 \text{ \AA}$, $b = 3.4208 \text{ \AA}$, $c = 5.1294 \text{ \AA}$ dan $\beta = 99.5670^\circ$ jarak interlayer pada material ini berkisar antara $1.12 - 2.74 \text{ \AA}$. Hasil Pengujian XRD dari semikonduktor CuO ditunjukkan pada **Gambar 4.5** berikut.

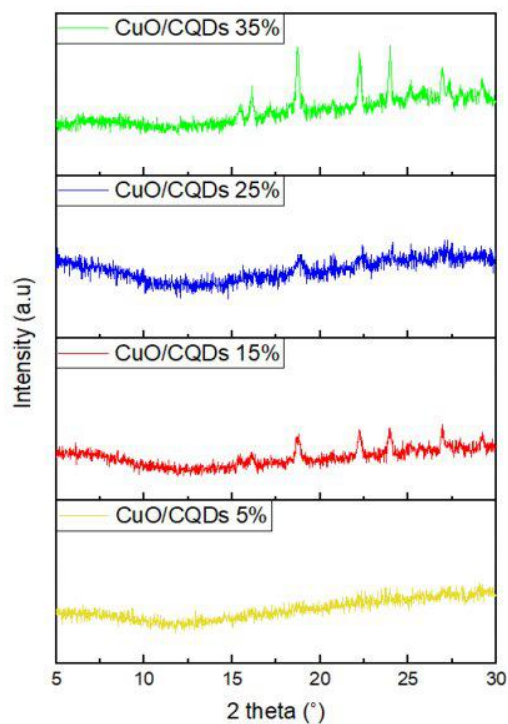


Gambar 4.5 Hasil Pengujian XRD CuO

Pengujian XRD juga dilakukan pada material komposit CuO/CQDs dengan variasi penambahan massa CQDs 5%, 15%, 25%, dan 35%. Berdasarkan hasil pengujian XRD pada **Gambar 4.6** terdapat puncak yang khas pada $2\theta = 25,76^\circ$ yang merupakan puncak yang dimiliki oleh CQDs yakni grafit karbon. Puncak tersebut terdapat pada komposit CuO/CQDs dengan penambahan massa 15%, 25%, dan 35%. Pada komposit CuO/CQDs dengan penambahan variasi 5% tidak terdapat puncak tersebut karena konten CQDs yang sedikit dan bentuk kristalnya yang buruk pada komposit (Heng *et al.*, 2020).



Gambar 4. 6 Hasil Pengujian XRD Komposit CuO/CQDs



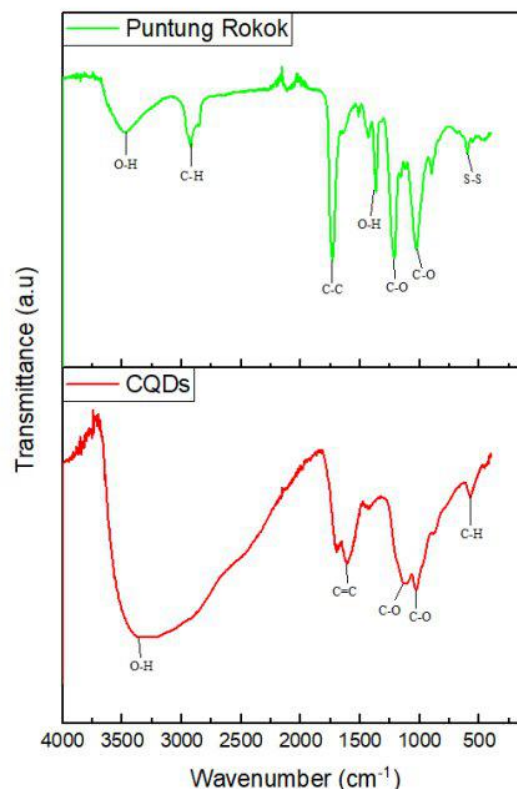
Gambar 4. 7 Perbesaran Hasil Pengujian XRD Komposit CuO/CQDs pada $5^\circ - 30^\circ$

Gambar 4.7 merupakan hasil perbesaran hasil pengujian XRD komposit CuO/CQDs pada sudut $2\theta = 5^\circ - 30^\circ$ yang digunakan untuk mengidentifikasi *peak* dari sampel CQDs yang disintesis. Pada komposit CuO/CQDs 5% tidak terdapat *peak* dari CQDs. Hal ini dikarenakan

konten dari CQDs yang sedikit (Heng *et al.*, 2020). Pada komposit CuO/CQDs dengan penambahan massa 15%, 25%, dan 35% terlihat *peak* dari CQDs yang telah disintesis yakni pada sudut $2\theta = 25,76^\circ$. Terdapat beberapa puncak lain pada hasil komposit CuO penambahan massa 15%, 25%, dan 35%. Puncak ini terjadi karena adanya pengotor dalam sampel komposit CuO/CQDs dari CQDs yang disintesis (Elugoke *et al.*, 2022). Pada hasil pengujian XRD komposit CuO/CQDs 25% memiliki peak yang lebih rendah daripada komposit CuO/CQDs 15%. Hal ini dikarenakan CQDs dapat menyebabkan pembentukan nanokristalin atau amorf CuO yang lebih tinggi sehingga mengurangi intensitas puncak difraksi karena ketidakteraturan dalam struktur kristal (Elugoke *et al.*, 2022). Untuk menganalisis komposisi, struktur kristal, dan karakterisasi pada material CQDs dan komposit CuO/CQDs perlu ditambahkan pengujian Spektroskopi Raman karena pengujian Spektroskopi Raman dapat menampilkan komposisi dan struktur kristal material nano secara lebih jelas.

4.3 Hasil Pengujian *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

Fourier Transform Infrared (FTIR) merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada suatu material. Pada penelitian ini digunakan pengujian FTIR dengan instrumen Nicolet IS10 yang dimiliki oleh Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS dengan panjang gelombang $500-4000\text{ cm}^{-1}$. Pengujian dilakukan pada puntung rokok dan CQDs untuk mengetahui gugus fungsi yang dimiliki oleh puntung rokok dan CQDs. Hasil pengujian FTIR pada puntung rokok dan CQDs ditunjukkan pada **Gambar 4.8** dan **Tabel 4.2**. Dari hasil FTIR diketahui bahwa puntung rokok tersusun dari unsur C, O, H, dan S sedangkan CQDs tersusun dari unsur C, O, dan H. Gugus fungsi O-H, C-O, dan C-H masing masing terdapat pada puntung rokok dan CQDs baik dalam bentuk *stretching* maupun *bending*. Gugus fungsi C=C hanya terdapat pada CQDs yakni pada *wavenumber* 1614,43 dan gugus fungsi S-S dan C-C (*carboxyl*) yakni pada *wavenumber* 600,27 dan 1732,53.

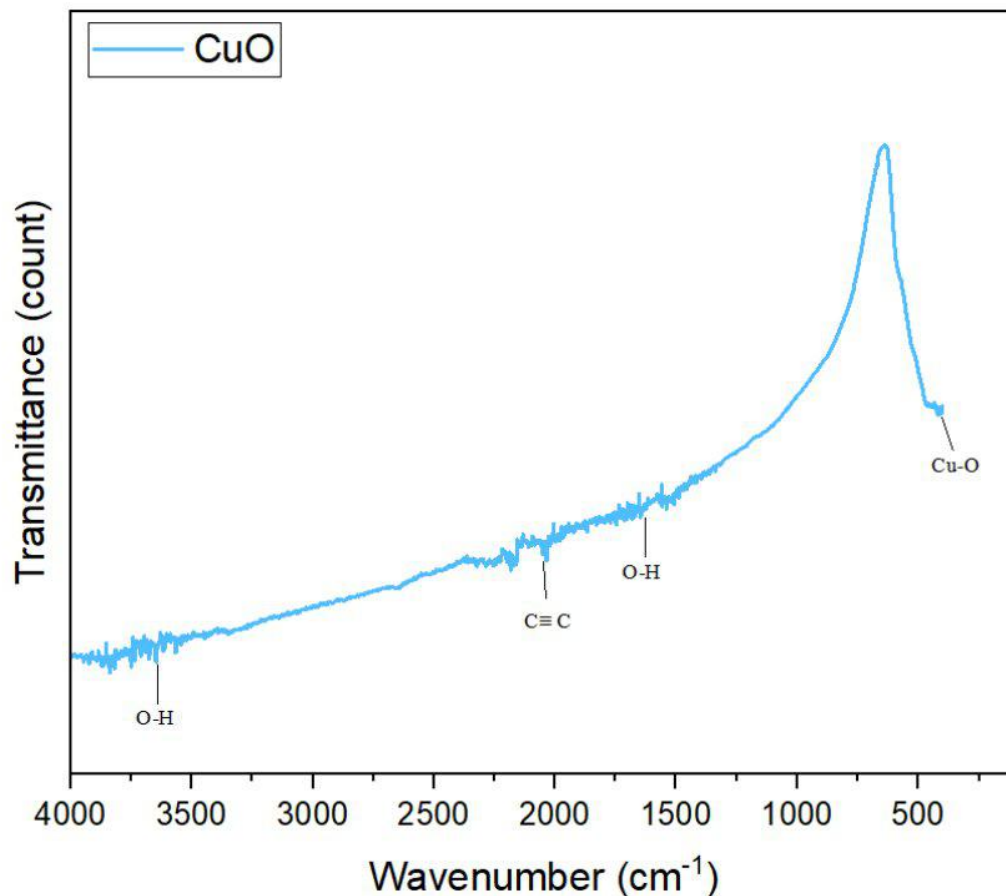


Gambar 4. 8 Hasil Pengujian FTIR Puntung Rokok dan Sampel CQDs

Tabel 4. 1 Gugus Fungsi dan Wavenumber Puntung Rokok dan CQDs

| Sampel | Wavenumber (cm ⁻¹) | Gugus Fungsi |
|---------------|--------------------------------|------------------|
| Puntung Rokok | 3468.05 | O-H (strecthing) |
| | 2923.18 | C-H (strecthing) |
| | 1732.53 | C-C (carboxyl) |
| | 1366.39 | O-H (bending) |
| | 1213 | C-O (strecthing) |
| | 1028.29 | C-O (strecthing) |
| | 600.27 | S-S (strecthing) |
| CQDs | 3338,97 | O-H (strecthing) |
| | 1614.43 | C=C (strecthing) |
| | 1030.33-1115,59 | C-O (strecthing) |
| | 575.55 | C-H (bending) |

Pengujian FTIR juga dilakukan pada material semikonduktor CuO yang hasilnya ditunjukkan pada **Gambar 4.9** dan **Tabel 4.3**. Material semikonduktor CuO memiliki gugus fungsi Cu-O pada *peak* 475,55. Pada semikonduktor CuO yang digunakan juga terdapat gugus fungsi lain yakni O-H yang ditunjukkan pada *wavenumber* 3647,71 nm. Gugus fungsi O-H ada karena adanya kadar air dalam material semikonduktor CuO yang disiapkan (Elugoke *et al.*, 2022).

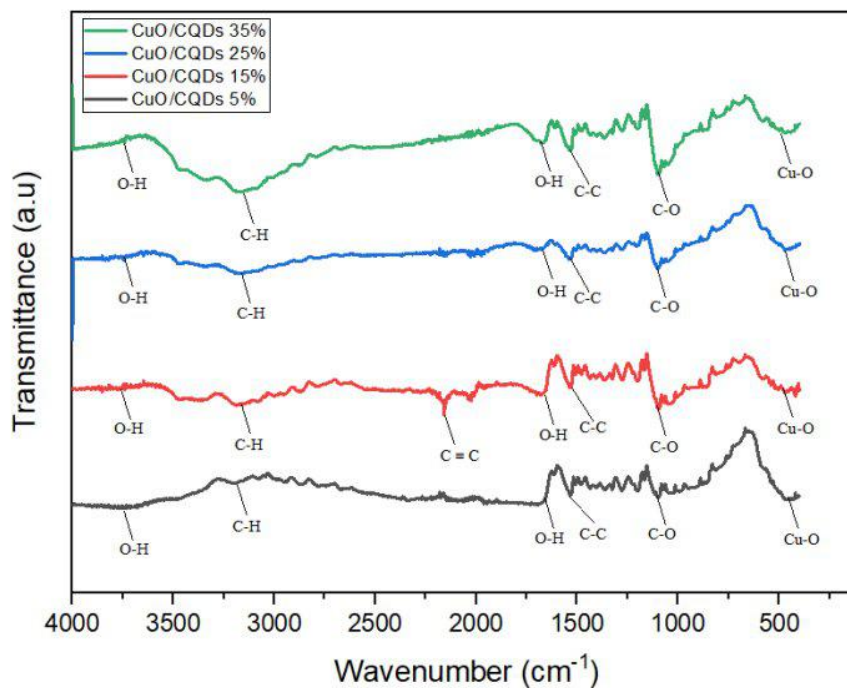


Gambar 4. 9 Hasil Pengujian FTIR Semikonduktor CuO

Tabel 4. 2 Gugus Fungsi dan *Wavenumber* Semikonduktor CuO

| Sampel | Wavenumber (cm ⁻¹) | Gugus Fungsi |
|--------|--------------------------------|------------------------|
| CuO | 3647,71 | O-H (stretching) |
| | 2034,81 | C ≡ C (monosubstitued) |
| | 1540 | O-H (bending) |
| | 475.55 | Cu-O (stretching) |

Pengujian FTIR juga dilakukan pada material setiap variasi komposit CuO/CQDs yang hasilnya ditunjukkan pada **Gambar 4.10** dan **Tabel 4.4**. Dari hasil FTIR yang dilakukan dapat diketahui bahwa gugus fungsi dari CQDs dan CuO yang ditemukan pada komposit CuO/CQDs sama. Tidak ada pembentukan ikatan baru yang terjadi dari interaksi kimia antara CuO dan CQDs. Spektrum O-H yang lebih lemah dan luas (relatif pada CQDs) pada rentang *wavenumber* 3700 cm⁻¹ dan pita serapan yang lebih lemah pada rentang *wavenumber* 440 – 550 cm⁻¹ yang menunjukkan gugus fungsi Cu-O merupakan indikasi dari interaksi antara CuO dan CQDs (Elugoke *et al.*, 2022).



Gambar 4. 10 Hasil Pengujian FTIR Komposit CuO/CQDs

Tabel 4. 3 Gugus Fungsi dan *Wavenumber* Komposit CuO/CQDs

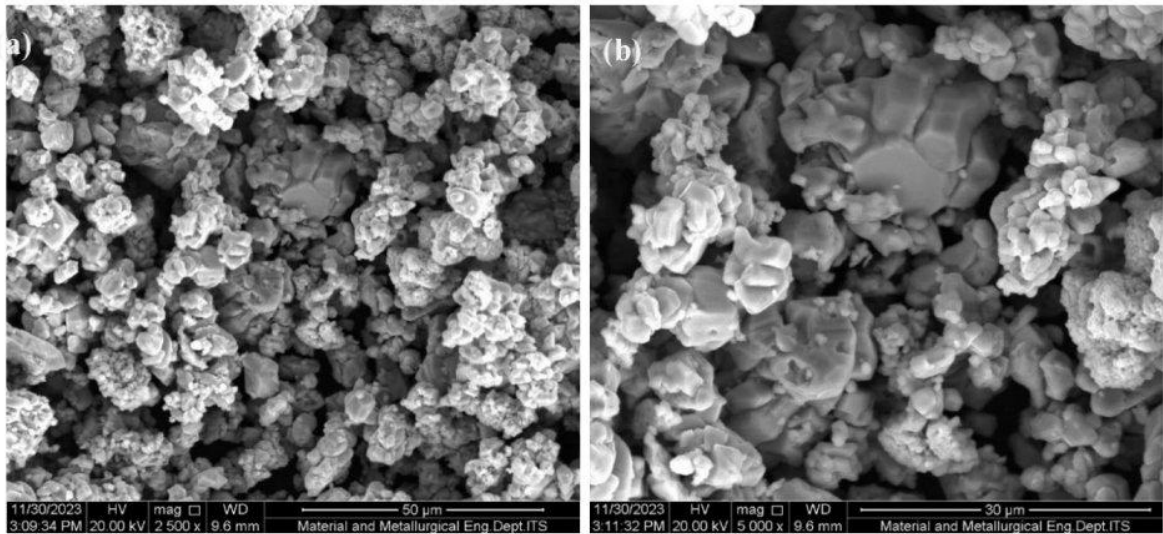
| Sampel | Wavenumber (cm ⁻¹) | Gugus Fungsi |
|--------------|--------------------------------|-------------------|
| CuO/CQDs 5% | 3712.60 | O-H (stretching) |
| | 3202.13 | C-H (stretching) |
| | 1732.77 | C-C (carboxyl) |
| | 1532.54 | O-H (bending) |
| | 1200.18 | C-O (stretching) |
| | 444.24 | Cu-O (stretching) |
| CuO/CQDs 15% | 3705.66 | O-H (stretching) |
| | 3190.62 | C-H (stretching) |

| | | |
|--------------|---------|-------------------------------|
| | 2159.03 | C \equiv C (monosubstitued) |
| | 1682.52 | C-C (carboxyl) |
| | 1530.09 | O-H (bending) |
| | 1199.38 | C-O (strecthing) |
| | 539.66 | Cu-O (strecthing) |
| CuO/CQDs 25% | 3748.36 | O-H (strecthing) |
| | 3158.34 | C-H (stretching) |
| | 1715.68 | C-C (carboxyl) |
| | 1540.21 | O-H (bending) |
| | 1278.40 | C-O (strecthing) |
| | 471.24 | Cu-O (strecthing) |
| | 3712.72 | O-H (stretching) |
| | 3178.71 | C-H (stretching) |
| CuO/CQDs 35% | 1673.47 | C-C (carboxyl) |
| | 1532.48 | O-H (bending) |
| | 1200.76 | C-O (strecthing) |
| | 576.05 | Cu-O (strecthing) |

4.4 Hasil Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *Energy Dispersive X-Ray Analysis* (EDX)

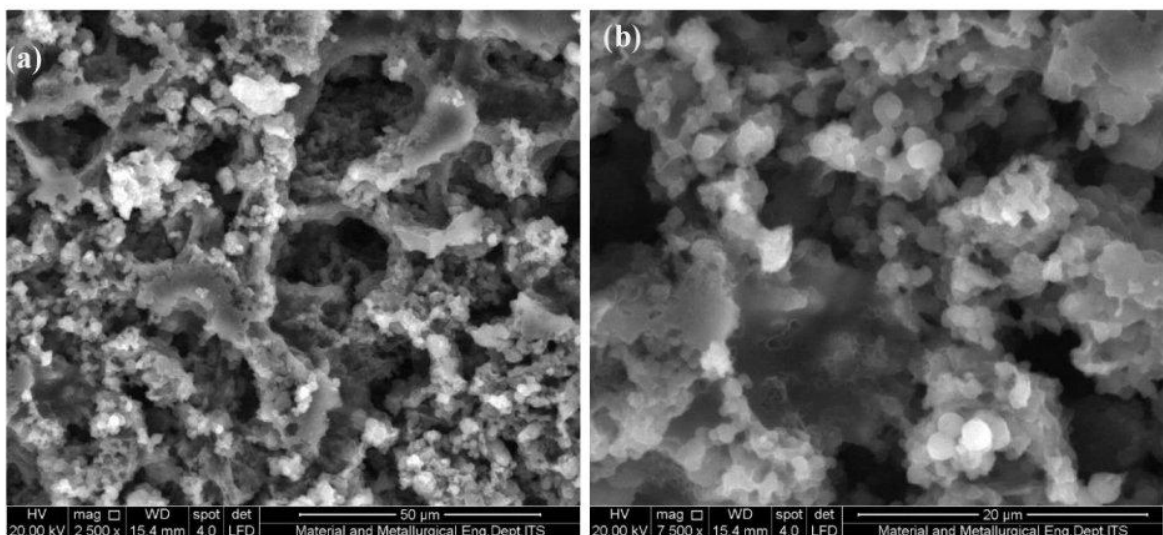
Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *Energy Dispersive X-ray* (EDX) dilakukan dengan menggunakan instrumen FEI tipe INSPECT S50 yang dimiliki oleh Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui bentuk partikel atau morfologi serta komposisi unsur yang dimiliki oleh material. **Gambar 4.11** merupakan hasil pengujian SEM material semikonduktor CuO dengan perbesaran 2500x dan 5000x. Pada perbesaran 2500x, dapat dilihat bentuk CuO yang berupa gumpalan dan tidak beraturan. Pada perbesaran 5000x mulai terlihat jelas struktur yang dimiliki oleh CuO yakni *quasi-spherical* yang teraglomerasi. Bentuk ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Vindhya (2023). Aglomerasi ini terjadi karena adanya adhesi partikel satu dengan yang lainnya melalui gaya lemah yang mengarah ke partikel sub-nano yang meningkatkan ukurannya dengan menurunkan energi permukaan dan mengurangi luas permukaan (Vindhya, 2023). Pengujian fotokatalis pada *methylene blue* dengan menggunakan semikonduktor berbentuk *quasi-spherical* ini pernah dilakukan oleh Ahmad (2022) di bawah sinar matahari. Dari penelitian tersebut didapatkan bahwa semikonduktor CuO berbentuk *quasi-spherical* yang disintesis memiliki fotostabilitas yang aktif dalam proses fotodegradasi.

(a)



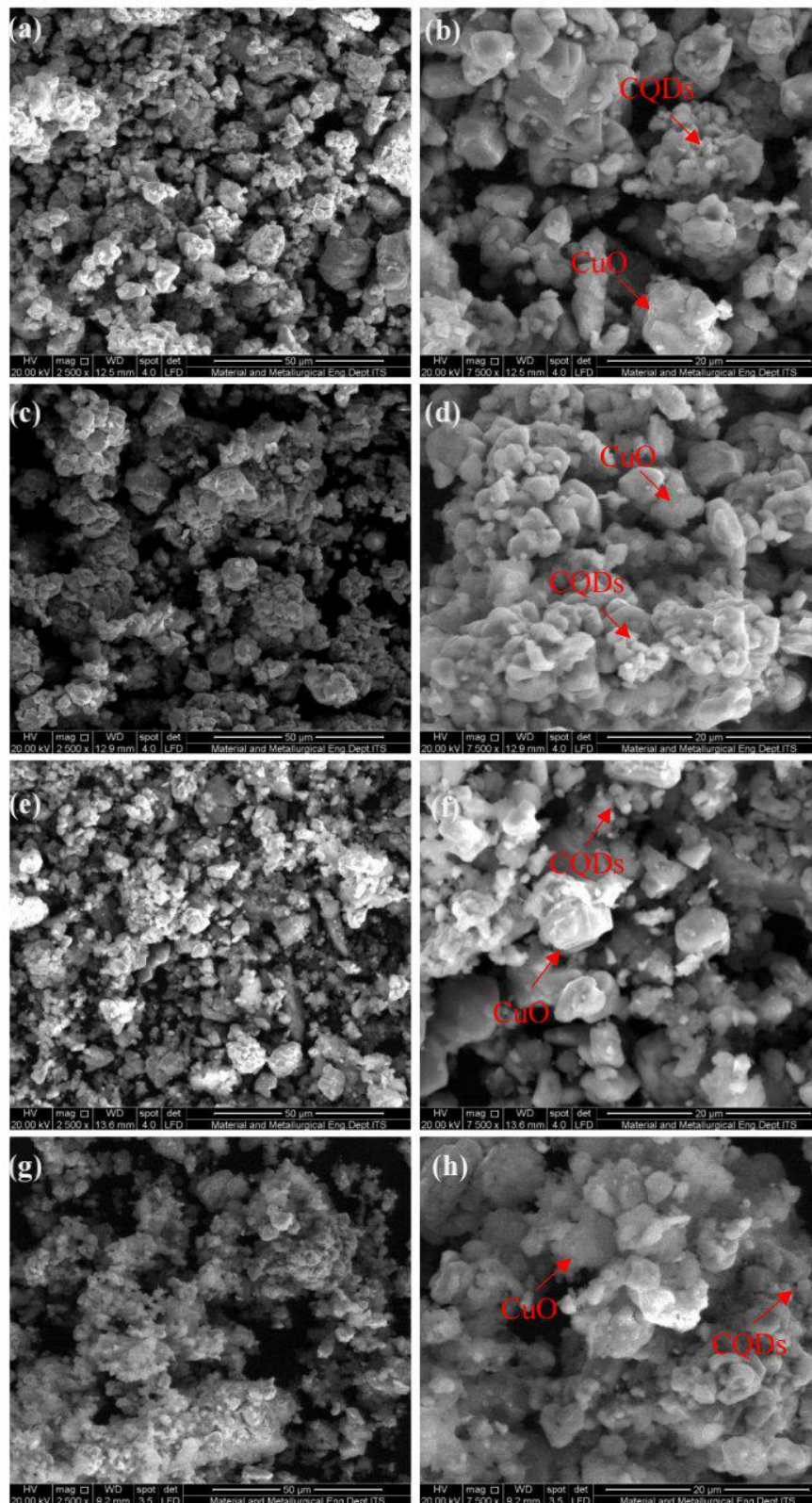
Gambar 4. 11 Hasil Pengujian SEM Material CuO Perbesaran (a) 2500x dan (b) 5000x

Pengujian SEM juga dilakukan pada material CQDs hasil sintesis puntung rokok. Hasil pengujian SEM pada material CQDs ditunjukkan pada **Gambar 4.12** dengan perbesaran 2500x dan 7500x. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa bentuk morfologi dari CQDs adalah bulat tidak beraturan. Morfologi CQDs yang didapat dari pengujian SEM ini tidak terlihat jelas sehingga dibutuhkan pengujian lain seperti TEM untuk melihat lebih jelas morfologi yang dimiliki oleh CQDs yang disintesis.

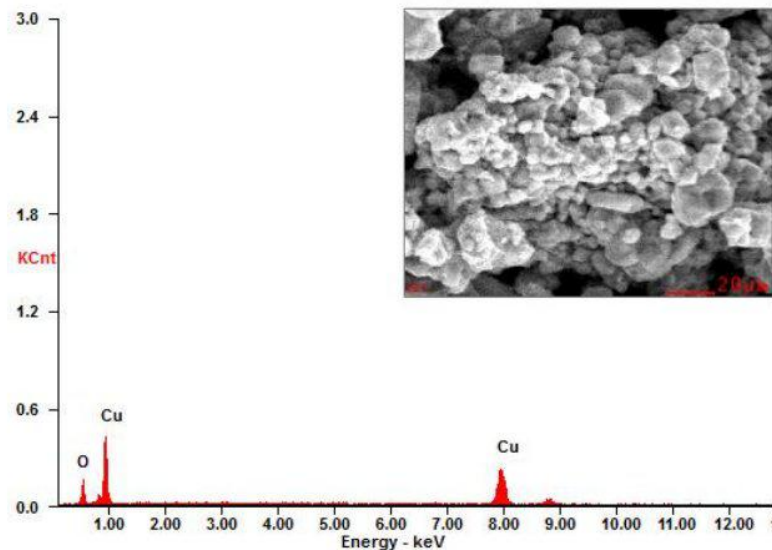


Gambar 4. 12 Hasil Pengujian SEM Material CQDs Perbesaran (a) 2500x dan (b) 7500x

Pengujian SEM juga dilakukan pada komposit CuO/CQDs untuk setiap variasi penambahan massa CQDs yang hasilnya ditunjukkan pada **Gambar 4.13** dengan perbesaran 2500x dan 7500x untuk setiap variasi penambahan massa. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, dapat diketahui bahwa terjadi pencampuran antara material CuO dengan CQDs. Tidak terlihat perbedaan mencolok dari hasil pengujian SEM untuk setiap variasi massa material komposit CuO/CQDs. Terdapat bentuk *quasi-spherical* yang merupakan bentuk morfologi dari CuO dan bentuk morfologi bulat yang merupakan bentuk dari CQDs hasil sintesis dari puntung rokok.



Gambar 4. 13 Hasil Pengujian SEM Material Komposit CuO/CQDs (a) 5% Perbesaran 2500x, (b) 5% Perbesaran 7500x (c) 15% Perbesaran 2500x, (d) 15% Perbesaran 7500x, (e) 25% Perbesaran 2500x, (f) 25% Perbesaran 7500x, (g) 35% Perbesaran 2500x, (h) 35% Perbesaran 7500x

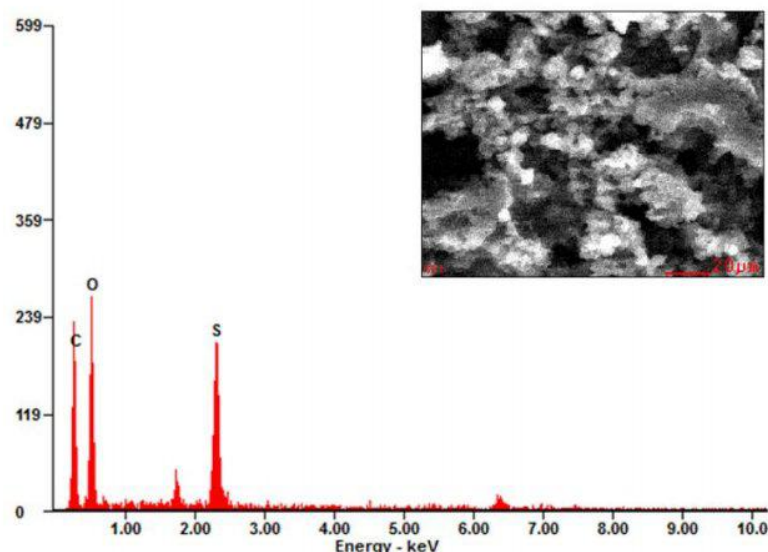


Gambar 4. 14 Hasil Kurva EDX CuO

Tabel 4. 4 Komposisi Material CuO

| Element | Wt% | At% |
|---------|-------|-------|
| OK | 06.41 | 21.38 |
| CuK | 93.59 | 78.62 |

Selanjutnya sampel dilakukan pengujian *Energy Dispersive X-ray* (EDX) yang bertujuan untuk mengetahui komposisi unsur-unsur pada sampel. **Gambar 4.14** Merupakan kurva hasil pengujian EDX pada sampel material semikonduktor CuO. Dimana pada **Tabel 4.5** ditunjukkan komposisi unsur-unsur pada material semikonduktor CuO. Berdasarkan hasil pengujian EDX dapat diketahui bahwa CuO yang digunakan untuk sintesis merupakan CuO murni yang tersusun dari tembaga (Cu) dan oksigen (O) dengan persentase masing-masing yaitu sebesar 93,59% Cu dan 06,41% O.

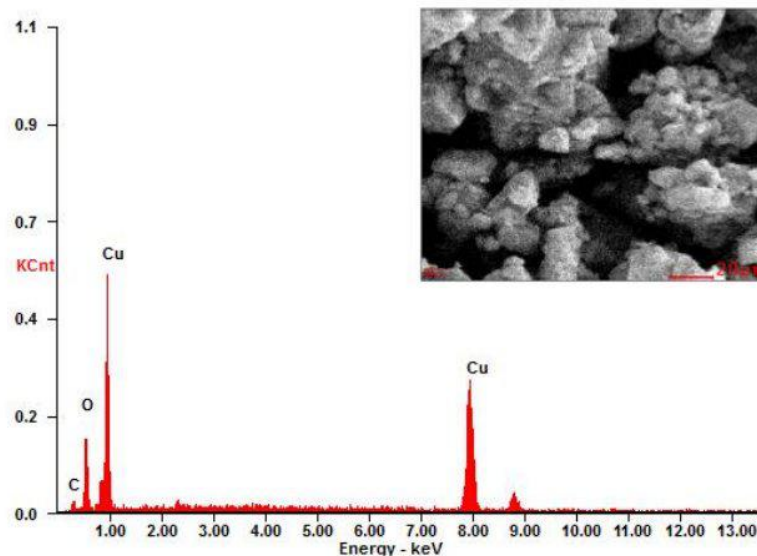


Gambar 4. 15 Hasil Kurva EDX CQDs

Tabel 4. 5 Komposisi Material CQDs

| Element | Wt% | At% |
|---------|-------|-------|
| CK | 38.45 | 48.43 |
| OK | 47.57 | 44.98 |
| SK | 13.99 | 06.60 |

Pengujian EDX juga dilakukan pada material CQDs hasil sintesis dari puntung rokok. Berdasarkan hasil pengujian EDX CQDs yang ditunjukkan pada **Gambar 4.15** dan **Tabel 4.6** dapat diketahui komposisi material CQDs hasil sintesis dari puntung rokok terdiri dari karbon (C), Oksigen (O), dan belerang (S). Persentasenya berturut-turut adalah 38,45% C, 45,57% O, dan 13,99% S. Pada penelitian ini, sintesis CQDs dari puntung rokok menggunakan pelarut H₂SO₄. Unsur belerang (S) yang terdapat pada komposisi CQDs hasil sintesis dari puntung rokok ini merupakan pengotor. Hal dikarenakan proses sintesis menggunakan H₂SO₄ dan tidak hilang sepenuhnya pada proses netralisir sampel.

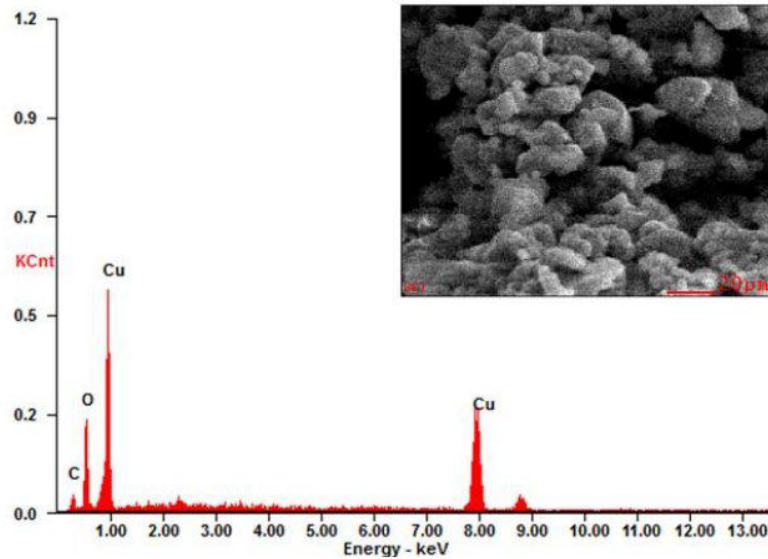


Gambar 4. 16 Hasil Kurva EDX CuO/CQDs 5%

Tabel 4. 6 Komposisi Material Komposit CuO/CQDs 5%

| Element | Wt% | At% |
|---------|-------|-------|
| CK | 03.28 | 11.44 |
| OK | 12.65 | 33.13 |
| CuK | 84.06 | 25.42 |

Pengujian EDX juga dilakukan pada komposit CuO/CQDs. Pengujian dilakukan untuk setiap variasi penambahan massa CQDs pada komposit CuO/CQDs. Pengujian EDX pada komposit CQDs akan menunjukkan komposisi unsur karbon (C), tembaga (Cu), dan oksigen (O). Berdasarkan **Gambar 4.16** dan **Tabel 4.7** yang menunjukkan hasil EDX komposit CuO/CQDs 5% diketahui bahwa komposisinya terdiri dari karbon (C), oksigen (O), dan tembaga (Cu). Persentase masing-masing unsur tersebut secara berturut 03,28%, 12,65%, dan 84,06%. Karbon merupakan penyusun CQDs, tembaga merupakan penyusun CuO, dan oksigen merupakan penyusun CQDs dan CuO.

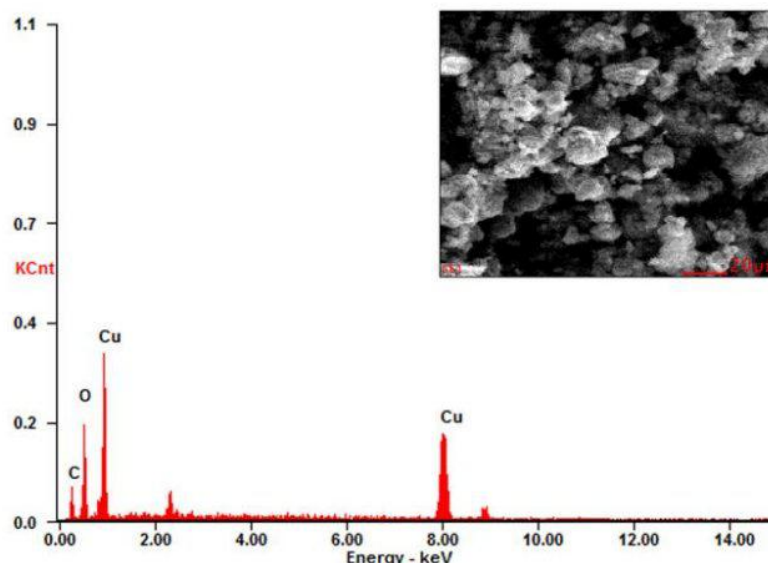


Gambar 4. 17 Hasil Kurva EDX CuO/CQDs 15%

Tabel 4. 7 Komposisi Material Komposit CuO/CQDs 15%

| Element | Wt% | At% |
|---------|-------|-------|
| CK | 06.10 | 18.62 |
| OK | 15.86 | 36.35 |
| CuK | 78.04 | 45.03 |

Selanjutnya pengujian EDX dilakukan pada komposit CuO/CQDs 15%. Hasil pengujian ditunjukkan pada **Gambar 4.17** dan komposisinya disajikan pada **Tabel 4.8**. Berdasarkan hasil pengujian EDX, diketahui material komposit CuO/CQDs 15% memiliki komposisi karbon (C) 06,10%, oksigen (O) 15,86%, dan tembaga (Cu) 78,04%. Pada penambahan CQDs 15% terdapat penambahan kandungan karbon (C) sebesar 2,82%.

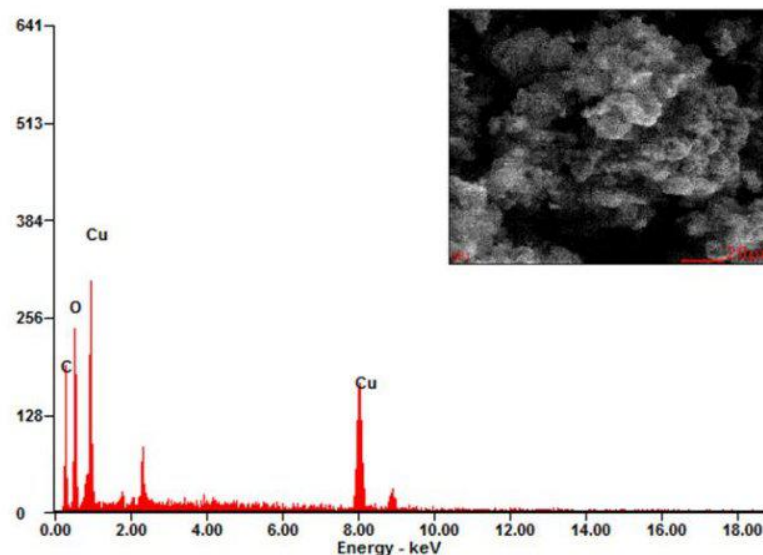


Gambar 4. 18 Hasil Kurva EDX CuO/CQDs 25%

Tabel 4. 8 Komposisi Material Komposit CuO/CQDs 25%

| Element | Wt% | At% |
|---------|-------|-------|
| CK | 10.81 | 28.64 |
| OK | 17.94 | 35.68 |
| CuK | 71.25 | 35.68 |

Selanjutnya pengujian EDX juga dilakukan pada komposit CuO/CQDs 25%. Hasil pengujian ditunjukkan pada **Gambar 4.18** dan komposisinya ditunjukkan pada **Tabel 4.9**. Material komposit CuO/CQDs 25% tersusun atas karbon (C) 10,81%, oksigen (O) 17,94%, dan tembaga (CuO) 71,25%. Pada komposit CuO/CQDs 25% juga terdapat kenaikan kandungan karbon (C) sebanyak 4,71% dari komposit CuO/CQDs 15%.



Gambar 4. 19 Hasil Kurva EDX CuO/CQDs 35%

Tabel 4. 9 Komposisi Material Komposit CuO/CQDs 35%

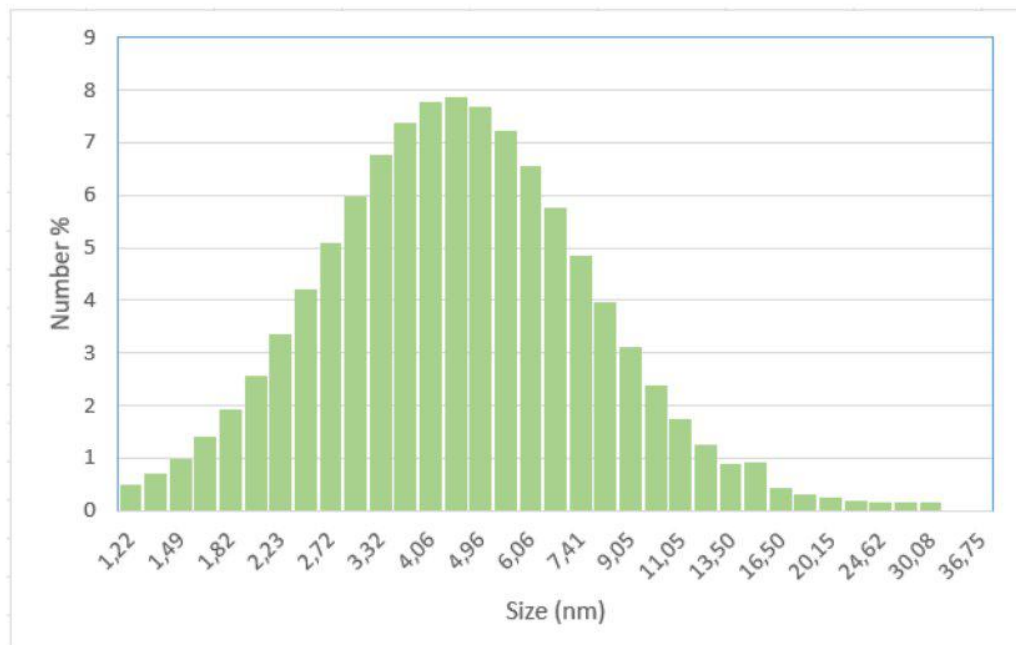
| Element | Wt% | At% |
|---------|-------|-------|
| CK | 18.56 | 40.10 |
| OK | 21.94 | 35.60 |
| CuK | 59.50 | 24.30 |

Komposit CuO/CQDs dengan penambahan massa 35% juga dilakukan pengujian EDX. Hasil pengujian ditunjukkan pada **Gambar 4.19** dan komposisinya dapat dilihat pada **Tabel 4.10**. Berdasarkan hasil pengujian EDX komposit CuO/CQDs 35% tersusun atas karbon (C) 18,56%, oksigen (O) 21,94%, dan tembaga (Cu) 59,50%. Komposit CuO/CQDs merupakan variasi penambahan massa dengan kandungan karbon paling tinggi dibandingkan dengan variasi lainnya. Untuk setiap variasi penambahan massa, CUO memiliki kandungan tertinggi pada setiap sampelnya. Hal ini sesuai dengan kandungan CuO pada saat sintesis yang mana CuO sebagai matriks memiliki kandungan paling tinggi. Berdasarkan hasil pengujian EDX untuk komposit CuO/CQDs dapat diketahui bahwa meningkatnya kandungan CQDs untuk setiap variasi penambahan massa akan meningkatkan kandungan unsur karbon (C). Kandungan unsur karbon (C) untuk variasi komposit 5%, 15%, 25%, dan 35% masing-masing sebesar 03,28%, 06,10%, 10,81%, dan 18,56%. Di samping itu, kandungan unsur tembaga (Cu)

menurun seiring bertambahnya massa CQDs. Kandungan unsur tembaga (Cu) untuk variasi komposit 5%, 15%, 25%, dan 35% masing-masing sebesar 84,06%, 78,04%, 71,25%, dan 59,50%.

4.5 Hasil Pengujian *Particle Size Analyzer* (PSA)

Pengujian *Particle Size Analyzer* (PSA) dilakukan untuk mengetahui ukuran dari CQDs yang dihasilkan dari puntung rokok. Pengujian ini menggunakan instrumen Biobase BK-802N yang dilakukan di Lembaga Ilmu Hayati, Teknik, dan Rekayasa (LIHTR) di Universitas Airlangga. CQDs dilarutkan ke dalam aquades dan diketahui memiliki nilai *Refractive Index* (RI) sebesar 1,33 pada temperatur 20°C.



Gambar 4. 20 Hasil Pengujian PSA CQDs

Tabel 4. 10 Distribusi Ukuran Partikel CQDs Hasil Pengujian PSA

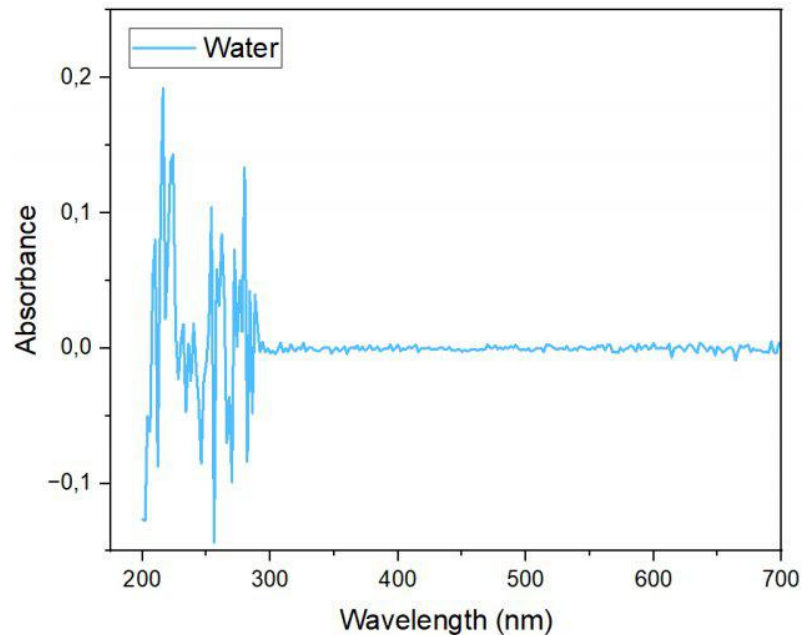
| Size (nm) | V (%) | S (%) |
|-----------|-------|-------|
| 1,22 | 0,35 | 0,35 |
| 1,35 | 0,56 | 0,91 |
| 1,49 | 0,85 | 1,76 |
| 1,65 | 1,26 | 3,02 |
| 1,82 | 1,78 | 4,8 |
| 2,02 | 2,44 | 7,23 |
| 2,23 | 3,21 | 10,44 |
| 2,46 | 4,07 | 14,51 |
| 2,72 | 4,97 | 19,48 |
| 3,01 | 5,85 | 25,34 |
| 3,32 | 6,64 | 31,98 |
| 3,67 | 7,25 | 39,23 |
| 4,06 | 7,63 | 48,86 |
| 4,49 | 7,73 | 54,59 |
| 4,96 | 7,55 | 62,14 |

| | | |
|-------|------|-------|
| 5,48 | 7,1 | 69,24 |
| 6,06 | 6,43 | 75,68 |
| 6,7 | 5,62 | 81,29 |
| 7,41 | 4,72 | 86,01 |
| 8,19 | 3,82 | 89,84 |
| 9,05 | 2,98 | 92,82 |
| 10 | 2,24 | 95,06 |
| 11,05 | 1,62 | 96,68 |
| 12,22 | 1,13 | 97,81 |
| 13,5 | 0,76 | 98,57 |
| 14,92 | 0,79 | 99,07 |
| 16,5 | 0,31 | 99,37 |
| 18,23 | 0,18 | 99,56 |
| 20,15 | 0,11 | 99,66 |
| 22,28 | 0,06 | 99,72 |
| 24,62 | 0,03 | 99,76 |
| 27,21 | 0,02 | 99,77 |
| 30,08 | 0,01 | 99,78 |
| 33,25 | 0 | 99,78 |
| 36,75 | 0 | 99,79 |

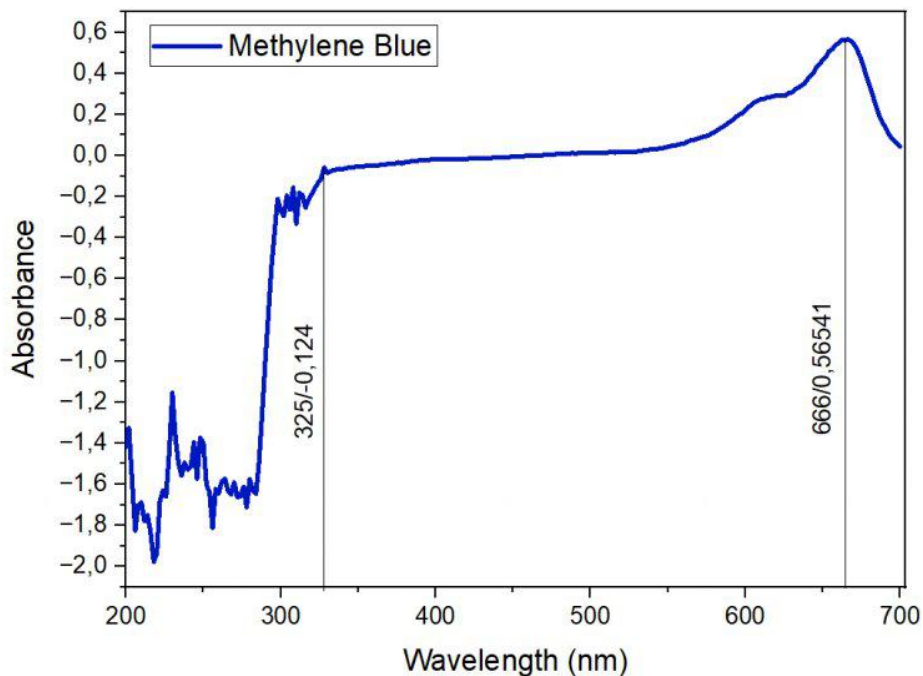
Berdasarkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada **Gambar 4.20** CQDs hasil sintesis dari puntung rokok memiliki ukuran terdistribusi dalam rentang 1,22 sampai 36,75 nm. Puncak tertinggi ditunjukkan pada 4,49 nm. Berdasarkan tabel **Tabel 4.11** ditunjukkan distribusi ukuran partikel CQDs. Berdasarkan data diatas, didapatkan nilai ukuran partikel rata rata CQDs dari hasil sintesis puntung rokok adalah 6,62 nm. CQDs memiliki ukuran partikel kurang dari 10 nm (John *et al.*, 2023).

4.6 Hasil Pengujian UV-Vis

Dilakukan pengujian UV-Vis untuk mengetahui panjang gelombang dari larutan methylene blue dan nilai absorbansi maksimal hasil pengujian fotokatalisis. Pengujian ini menggunakan spektrofotometer GENESYS 150 UV-Vis yang dimiliki oleh Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS. Pada pengujian ini menggunakan rentang panjang gelombang 200 hingga 700 nm. Sebelum digunakan untuk melakukan pengujian pada larutan methylene blue dilakukan kalibrasi alat dengan melakukan pengujian UV-Vis pada air. Hasil pengujian UV-Vis air ditunjukkan pada **Gambar 4.21**. Pada pengujian UV-Vis air diketahui bahwa pada panjang gelombang 666 nm memiliki nilai absorbansi 0,002.



Gambar 4. 21 Hasil Pengujian UV-Vis Air



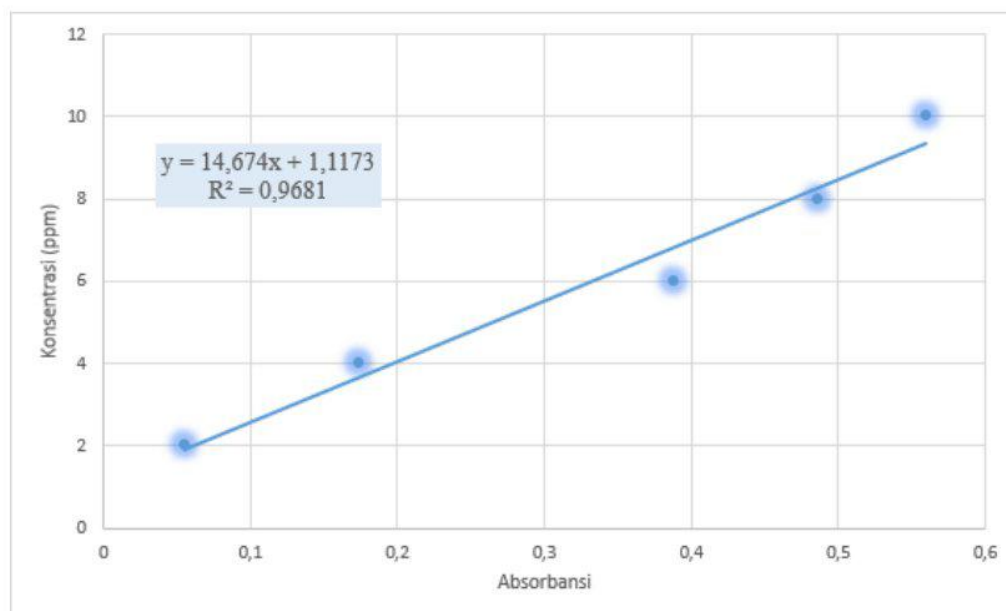
Gambar 4. 22 Hasil Pengujian UV-Vis *Methylene Blue* 10 ppm

Hasil pengujian UV-Vis larutan methylene blue dengan konsentrasi 10 ppm memiliki panjang gelombang maksimal sebesar 666 nm dengan nilai absorbansi maksimal sebesar 0,5641 seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.22**. Dimana nilai ini akan digunakan sebagai kurva kalibrasi untuk pengukuran nilai absorbansi maksimal pada methylene blue yang kemudian digunakan untuk menentukan besarnya persen degradasi. Dalam pembuatan kurva

kalibrasi digunakan larutan standar methylene blue dengan konsentrasi 2, 4, 6, 8, dan 10 ppm. Adapun nilai absorbansi maksimal masing-masing larutan standar ditunjukkan pada **Tabel 4.12** berikut.

Tabel 4. 11 Nilai Absorbansi Maksimal Larutan Standar *Methylene Blue*

| No | Konsentrasi (ppm) | Nilai Absorbansi Maksimal |
|----|-------------------|---------------------------|
| 1 | 2 | 0.05551 |
| 2 | 4 | 0.17466 |
| 3 | 6 | 0.38803 |
| 4 | 8 | 0.48589 |
| 5 | 10 | 0.56541 |



Gambar 4. 23 Kurva Hubungan Nilai Konsentrasi dan Absorbansi Larutan *Methylene Blue*

Tabel tersebut menunjukkan data nilai absorbansi maksimal larutan methylene blue yang diperoleh dari pengujian UV-Vis. Berdasarkan data tersebut dapat diolah untuk mendapatkan persamaan regresi linear dan nilai koefisien korelasinya. Didapatkan persamaan regresi linear $y = 14.674(x)+1.1173$ dengan nilai koefisien korelasi sebesar $R^2 = 0,9681$. Dimana pada persamaan regresi linear, y menunjukkan nilai absorbansi maksimal dan x merupakan nilai ppm (konsentrasi) larutan methylene blue. Nilai koefisien korelasi yang mendekati 1 menunjukkan bahwa hubungan linear antara besar konsentrasi dan absorbansi. Hal tersebut sesuai dengan Hukum Lambert-Beer yang dijelaskan pada persamaan (3.4). Data nilai absorbansi maksimal dan konsentrasi methylene blue selanjutnya digambarkan dalam kurva regresi linear seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.23**.

4.7 Hasil Pengujian Fotokatalis

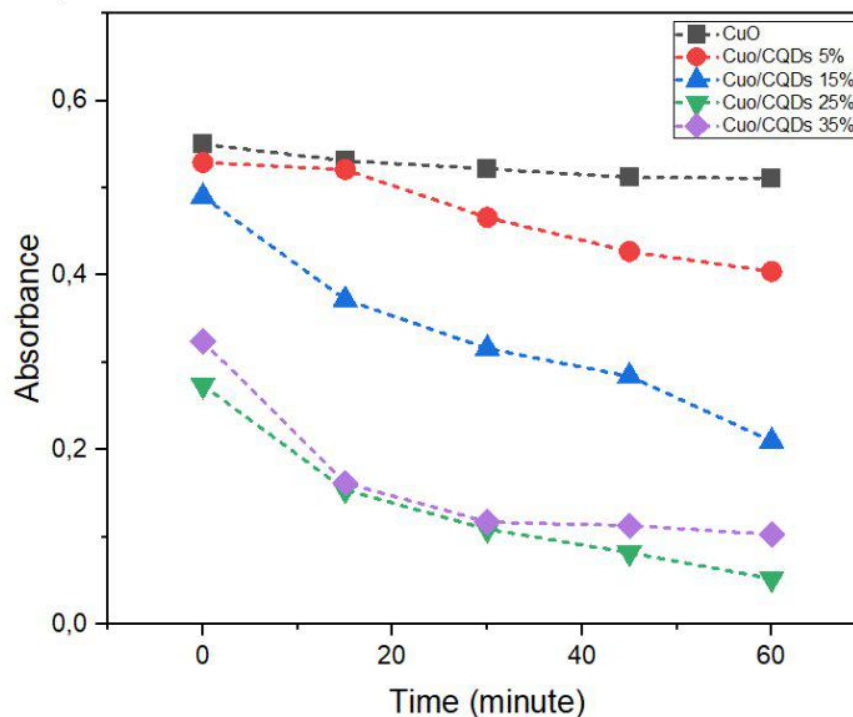
Sifat fotokatalisis CuO yang dikompositkan dengan CQDs untuk mendegradasi *methylene blue* dapat diketahui dengan melakukan pengujian fotokatalisis. Pengujian ini dilakukan pada sampel CuO dan komposit CuO/CQDs dengan variasi penambahan massa 5%, 15%, 25%, dan 35% yang digunakan untuk mendegradasi *methylene blue* dengan konsentrasi 10 ppm. Dalam

pengujian ini, digunakan lampu UV 20 watt dengan waktu penyinaran satu jam dimana pengambilan sampel dilakukan setiap 15 menit.

Tabel 4.12 Nilai Absorbansi Maksimal *Methylene Blue* Setiap Katalis

| Lama Penyinaran (menit) | CuO | CuO/CQDs 5% | CuO/CQDs 15% | CuO/CQDs 25% | CuO/CQDs 35% |
|-------------------------|-------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| 0 | 0,55 | 0,529 | 0,49 | 0,274 | 0,324 |
| 15 | 0,531 | 0,521 | 0,372 | 0,154 | 0,162 |
| 30 | 0,522 | 0,466 | 0,316 | 0,109 | 0,117 |
| 45 | 0,512 | 0,427 | 0,284 | 0,082 | 0,113 |
| 60 | 0,511 | 0,404 | 0,21 | 0,052 | 0,103 |

Tabel 4.13 menunjukkan nilai absorbansi maksimal *methylene blue* untuk setiap katalis CuO dan komposit CuO/CQDs dengan setiap variasi penambahan massa. Berdasarkan tabel di atas diketahui terjadi perubahan nilai absorbansi maksimal setiap penambahan variasi massa CQDs pada komposit CuO/CQDs. Dapat dilihat bahwa semakin besar penambahan massa CQDs pada komposit CuO/CQDs maka nilai absorbansi maksimalnya akan semakin menurun. Penurunan terbesar terdapat pada sampel komposit CuO/CQDs 25% dengan lama penyinaran 60 menit yakni sebesar 0,052. Penurunan ini terlihat jelas pada **Gambar 4.24** yang menunjukkan hubungan antara nilai absorbansi maksimal *methylene blue* dan lama penyinaran untuk setiap sampel katalis.



Gambar 4. 24 Grafik Nilai Absorbansi Maksimal Katalis CuO/CQDs Terhadap Waktu Degradasi *Methylene Blue*

Pada pengujian UV-Vis yang dilakukan, larutan standar dari *methylene blue* yang akan digunakan memiliki konsentrasi 10 ppm dengan nilai absorbansi maksimal 0,56541. Dari hasil pengujian UV-Vis yang telah dilakukan diketahui bahwa nilai absorbansi maksimal dari setiap sampel yang digunakan katalis menunjukkan penurunan. Nilai penurunan nilai absorbansi

maksimal yang signifikan adalah dengan menggunakan katalis komposit CuO/CQDs 25% dengan waktu penyinaran 60 menit yakni sebesar 0,052. Pada komposit CuO/CQDs dengan variasi dan lama waktu penyinaran lainnya juga menunjukkan penurunan. Hal ini membuktikan bahwa dengan ditambahkan massa atau persentase CQDs pada komposit CuO/CQDs dapat menurunkan nilai absorpsi maksimal *methylene blue*.

Tabel 4. 13 Nilai Konsentrasi *Methylene Blue* Setiap Katalis (ppm)

| Lama Penyinaran (menit) | CuO | CuO/CQDs 5% | CuO/CQDs 15% | CuO/CQDs 25% | CuO/CQDs 35% |
|-------------------------|----------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| 0 | 9,188 | 8,879846 | 8,30756 | 5,137976 | 5,871676 |
| 15 | 8,909194 | 8,762454 | 6,576028 | 3,377096 | 3,494488 |
| 30 | 8,777128 | 7,955384 | 5,754284 | 2,716766 | 2,834158 |
| 45 | 8,630388 | 7,383098 | 5,284716 | 2,320568 | 2,775462 |
| 60 | 8,615714 | 7,045596 | 4,19884 | 1,880348 | 2,628722 |

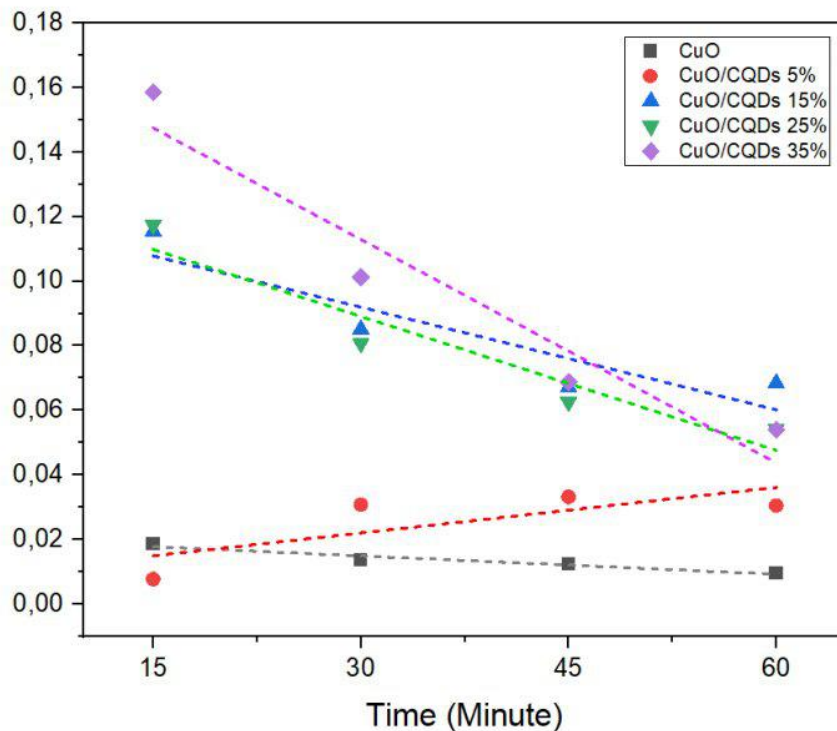
Berdasarkan **Tabel 4.14** dapat diketahui konsentrasi dari *methylene blue* setelah dilakukan uji fotokatalis menggunakan CuO dan setiap variasi massa komposit CuO/CQDs. Pada penggunaan CuO murni dalam proses fotokatalis diketahui konsentrasi (ppm) *methylene blue* setiap 15 menit selama satu jam sebesar 9,188, 8,909, 8,777, 8,63, dan 8,615 ppm. Sedangkan pada komposit CuO/CQDs 5% konsentrasinya adalah 8,879, 8,762, 7,955, 7,383, dan 7,045 ppm. Selanjutnya pada penggunaan komposit CuO/CQDs 15% konsentrasinya adalah 8,307, 6,576, 5,754, 5,284, dan 4,198 ppm. Pada penggunaan komposit CuO/CQDs 25% nilai konsentrasi dari *methylene blue* adalah 5,137, 3,377, 2,716, 2,32, dan 1,88 ppm. Sedangkan pada penggunaan komposit CuO/CQDs 35% nilai konsentrasinya adalah 5,871, 3,494, 2,834, 2,775, dan 2,628 ppm. Dari pengujian yang dilakukan diketahui bahwa penggunaan komposit CuO/CQDs 25% dengan lama waktu penyinaran 60 menit memiliki nilai konsentrasi paling rendah yakni 1,88 ppm. Menurut Haouzi dkk (2018), ambang batas *methylene blue* yang dapat diterima oleh makhluk hidup adalah pada rentang 1-2 ppm. Dari data konsentrasi di atas diketahui bahwa konsentrasi *methylene blue* dengan pengujian fotokatalis CuO/CQDs 25% dengan lama penyinaran 60 menit memasuki nilai ambang batas yang dapat diterima oleh makhluk hidup. Dari hasil pengujian diatas dapat disimpulkan bahwa penambahan CQDs sangat berperan dalam penurunan konsentrasi *methylene blue*.

Selanjutnya data konsentrasi (ppm) disajikan dalam grafik konsentrasi sesuai kinetika orde nol, satu, dan dua yang masing masing ditunjukkan pada **Gambar 4.25**, **Gambar 4.26**, dan **Gambar 4.27**. Data tersebut menunjukkan hubungan antara lama waktu penyinaran dengan nilai konsentrasi dari *methylene blue* yang telah terdegradasi. Semakin lama waktu penyinaran maka nilai konsentrasi *methylene blue* akan semakin menurun. Pada kinetika reaksi orde nol, perubahan konsentrasi tidak mempengaruhi laju reaksi sehingga persamaan ditunjukkan melalui persamaan (4.1). kemudian persamaan tersebut diintegrasikan untuk mendapat persamaan (4.2) dengan diketahui nilai awal $C = C_0$ pada $t = 0$ dan nilai akhir $C = C$ pada $t = t$

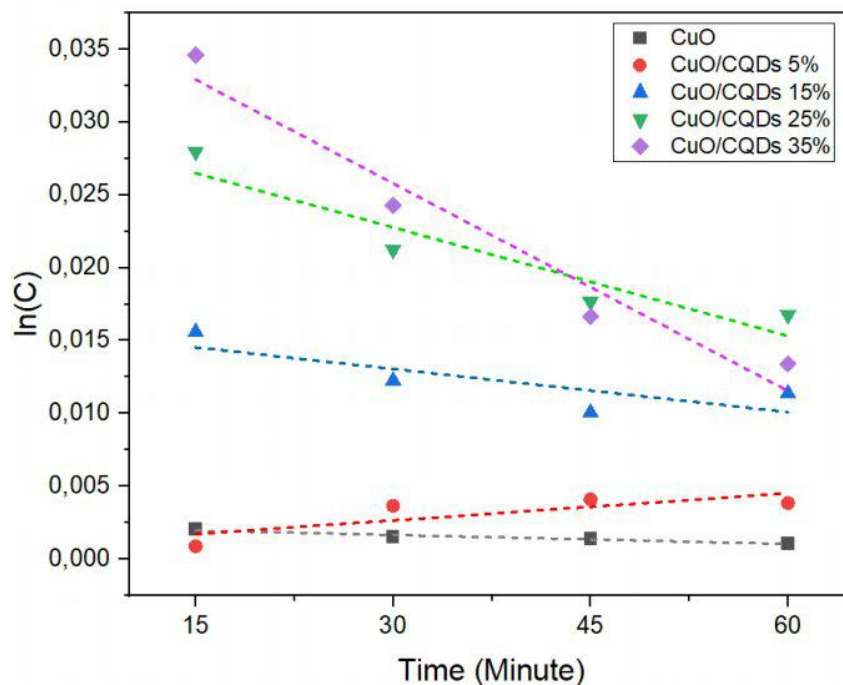
$$\frac{dC}{dt} = -k \quad (4.1)$$

$$C = -kt + C_0 \quad (4.2)$$

Dimana, C_0 merupakan konsentrasi *methylene blue* (ppm), t merupakan waktu (menit), k merupakan konstanta laju reaksi (ppm/menit).



Gambar 4. 25 Grafik Nilai Konsentrasi Katalis CuO/CQDs Terhadap Waktu Degradasi *Methylene Blue* Sesuai Kinetika Zero Order



Gambar 4. 26 Grafik Ln(C) Terhadap Waktu Sesuai Kinetika Reaksi *First Order*

Pada kinetika reaksi orde satu dapat diketahui melalui persamaan (4.3) yang menunjukkan laju reaksi yang kemudian diintegrasikan didapatkan persamaa (4.4).

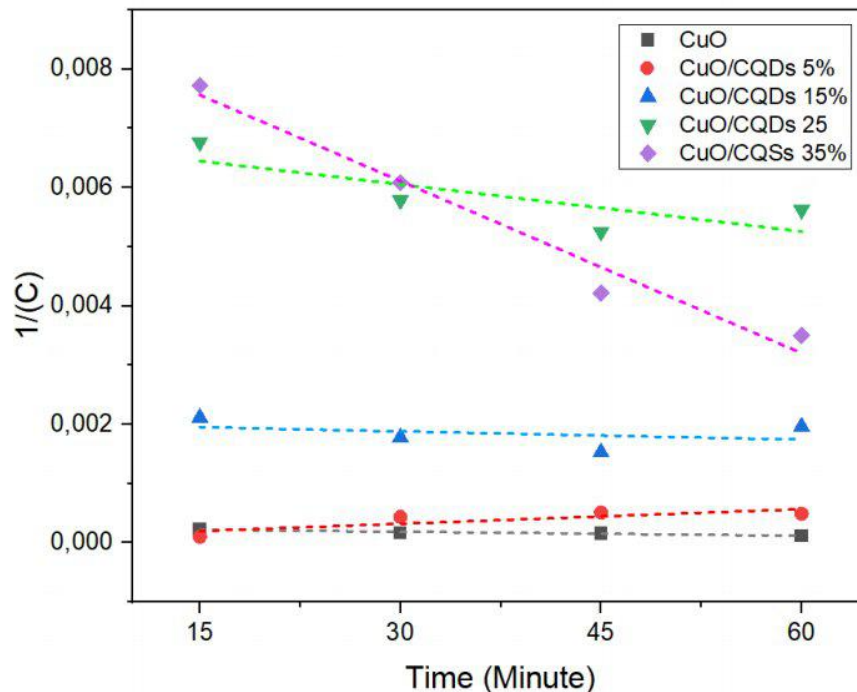
$$\frac{dc}{dt} = -kC \quad (4.3)$$

$$\ln C = -kt + \ln C_0 \quad (4.4)$$

Dengan menganalisis kinetika reaksi orde pertama dapat diketahui bahwa kecepatan reaksi hanya bergantung pada salah satu zat yang bereaksi atau sebanding dengan salah satu pangkat reaktannya. Kemudian pada orde kedua dapat diketahui bahwa laju reaksi berbanding lurus dengan hasil kali konsentrasi dua reaktannya atau dengan kuadrat konsentrasi salah satu reaktannya. Pada orde kedua persamaan laju reaksi dan hasil integralnya ditunjukkan oleh persamaan (4.5) dan (4.6) berikut.

$$\frac{dC}{dt} = -kC^2 \quad (4.5)$$

$$\frac{1}{C} = kt + \frac{1}{C_0} \quad (4.6)$$

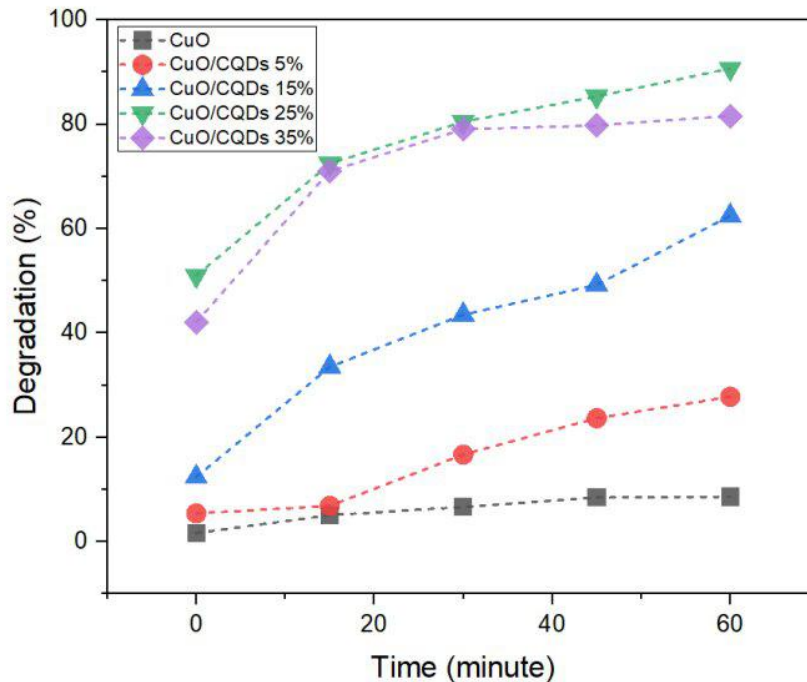


Gambar 4. 27 Grafik 1/(C) Terhadap Waktu Sesuai Kinetika Reaksi *Second Order*

Selanjutnya, dari grafik orde nol, satu, dan dua dapat diketahui nilai dari korelasi koefisien (R^2) dari setiap sampel yang hasilnya disajikan pada **Tabel 4.15**. Dari tabel tersebut diketahui bahwa rata rata dari nilai korelasi efisien (R^2) untuk orde nol, satu, dan dua secara berturut turut adalah 0,84124, 0,81781, dan 0,67424. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa untk kinetika reaksi dalam degradasi *methylene blue* mengikuti model reaksi orde nol karena memiliki rata rata korelasi koefisin paling tinggi dibandingkan dengan orde lainnya.

Tabel 4. 14 Perbandingan Kinetika Degradasi Sesuai Orde Nol, Satu, dan Dua

| Sampel | R^2 Zero Order | R^2 First Order | R^2 Second Order |
|--------------|------------------|-------------------|--------------------|
| CuO | 0,94496 | 0,94445 | 0,94356 |
| CuO/CQDs 5% | 0,58564 | 0,64324 | 0,69862 |
| CuO/CQDs 15% | 0,83318 | 0,65779 | 0,1295 |
| CuO/CQDs 25% | 0,91294 | 0,89087 | 0,62757 |
| CuO/CQDs 35% | 0,92947 | 0,95269 | 0,97197 |
| Rata-rata | 0,84124 | 0,81781 | 0,67424 |

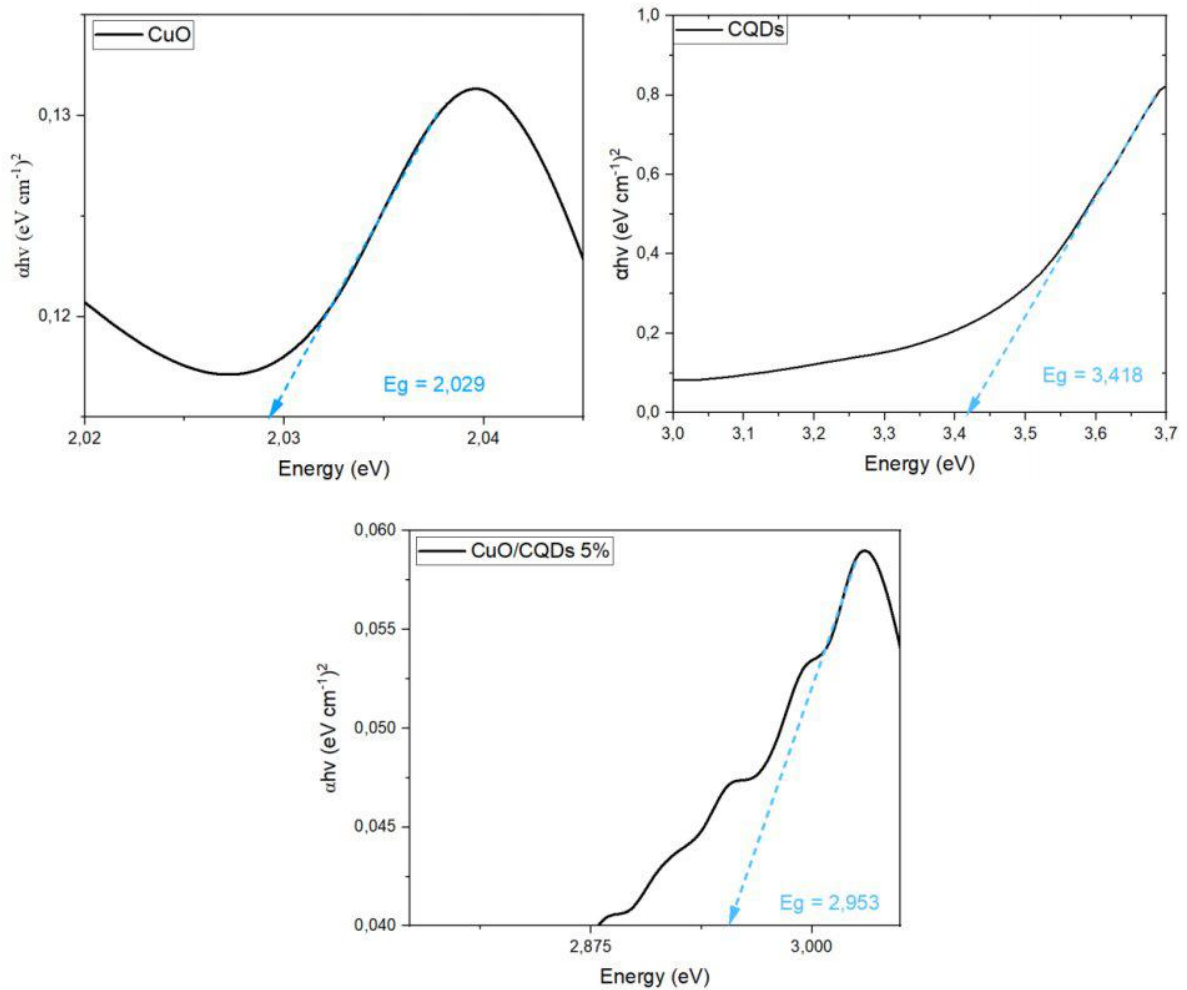


Gambar 4.28 Kurva Nilai Persentase Degradasi *Methylene Blue* Oleh Katalis CuO/CQDs

Tabel 4.15 Nilai Persentase Degradasi *Methylene Blue* Setiap Katalis

| Lama Penyinaran (menit) | CuO | CuO/CQDs 5% | CuO/CQDs 15% | CuO/CQDs 25% | CuO/CQDs 35% |
|-------------------------|-------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| 0 | 1,72% | 5,47% | 12,44% | 51,04% | 42,11% |
| 15 | 5,12% | 6,90% | 33,53% | 72,48% | 71,05% |
| 30 | 6,73% | 16,73% | 43,54% | 80,52% | 79,09% |
| 45 | 8,51% | 23,70% | 49,25% | 85,35% | 79,81% |
| 60 | 8,69% | 27,81% | 62,48% | 90,71% | 81,60% |

Setelah diketahui konsentrasi larutan *methylene blue* setelah terdegradasi, selanjutnya dilakukan perhitungan persentase degradasi larutan *methylene blue* oleh setiap sampel katalis. Perhitungan persen degradasi dilakukan dengan menggunakan persamaan (3.1). Data hasil perhitungan persentase degradasi *methylene blue* oleh setiap sampel katalis ditunjukkan pada **Tabel 4.16**. Berdasarkan tabel tersebut, dapat diketahui bahwa persentase degradasi meningkat seiring dengan meningkatnya lama waktu penyinaran yang dilakukan untuk setiap sampel katalis. Sampel katalis CuO murni memiliki persentase degradasi paling kecil selama waktu satu jam pada setiap 15 menit yaitu 1,72%, 5,12%, 6,73%, 8,51%, dan 8,69%. Sedangkan untuk katalis yang memiliki persentase degradasi paling besar yaitu komposit CuO/CQDs 25%. Dimana katalis tersebut mampu mendegradasi *methylene blue* sampai dengan 90,71%. Data hasil perhitungan yang disajikan dalam **Tabel 4.16** dibuat grafik yang ditunjukkan pada **Gambar 4.28**. Diagram tersebut menunjukkan tren yang semakin meningkat untuk nilai persentase degradasi *methylene blue* oleh setiap sampel katalis. Semakin meningkatnya nilai persentase degradasi menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan massa CQDs pada material semikonduktor CuO mampu berperan aktif dalam proses fotokatalis.



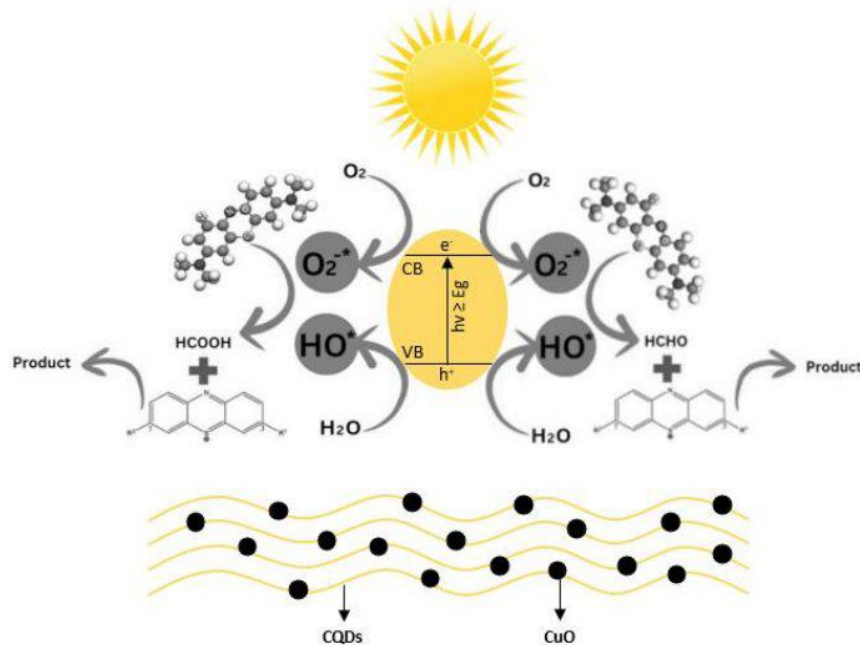
Gambar 4. 29 Energi Celah Pita (a) CuO, (b) CQDs, dan (c) CuO/CQDs 25%

Tabel 4. 16 Energi Celah Pita Setiap Material

| Material | Band Gap (eV) |
|--------------|---------------|
| CuO | 2.029 |
| CQDs | 3,418 |
| CuO/CQDs 25% | 2,953 |

Pengujian UV-Vis juga dilakukan untuk mengetahui energi celah pita dari material CuO, CQDs, dan komposit CuO/CQDs 25%. Setiap material dilakukan pengujian UV-Vis untuk mengetahui energi celah pita dengan melarutkannya dengan etanol. Adapun hasil dari energi celah pita dari ketiga sampel tersebut ditunjukkan oleh **Gambar 4.29** dan **Tabel 4.17**. Dapat diketahui bahwa CuO memiliki energi celah pita sebesar 2.029 eV (*indirect*) yang mana sesuai dengan energi celah pita yang dikemukakan oleh Zhang (2014) yang dimana CuO memiliki energi celah pita sebesar 1,3-2,1 eV. Celah pita yang dimiliki oleh CQDs adalah 3,418 eV (*indirect*) yang menunjukkan bahwa CQDS merupakan material *insulator* karena memiliki energi celah pita > 3 eV dan semikonduktor memiliki energi celah pita < 3 eV. Material insulator memiliki celah pita yang lebar sehingga eksitasi elektron akan terhambat atau tidak memungkinkan. Pengelompokkan material CQDs sebagai material insulator menunjukkan bahwa CQDs tidak memiliki kemampuan dalam mendegradasi *methylene blue*. Material ini

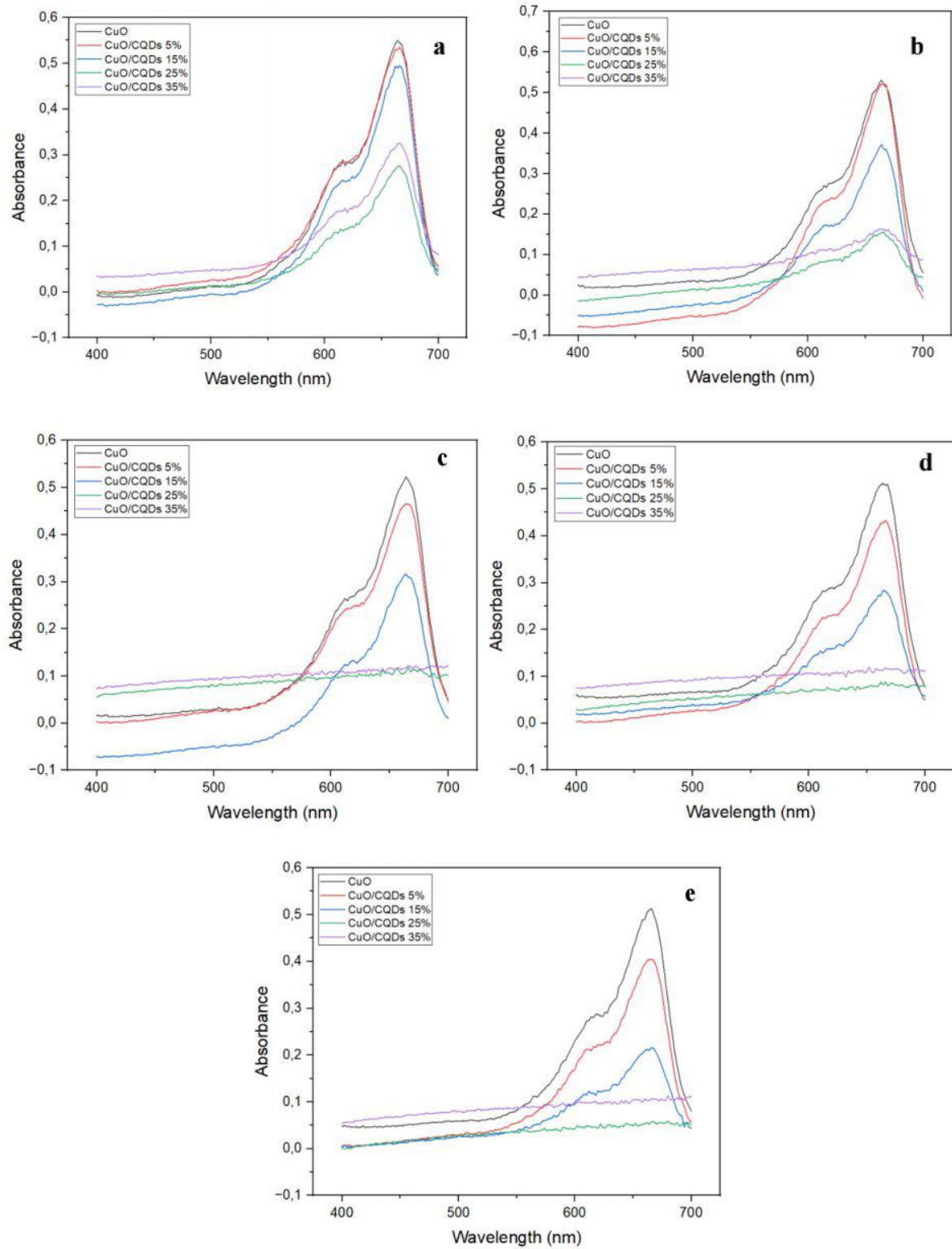
hanya berperan sebagai adsorben yang mengadsorpsi *methylene blue* ke permukaan material fotokatalis tanpa terlibat dalam reaksi fotokatalisis. Selanjutnya diketahui bahwa komposit CuO/CQDs 25% memiliki energi celah pita sebesar 2,953 eV (*indirect*). Hal ini menandakan bahwa terjadi kenaikan energi celah pita dari semikonduktor CuO setelah dikompositkan dengan CQDs yang dimana dapat memperbesar luas permukaan dari komposit CuO/CQDs sehingga fotokatalis dapat berlangsung lebih optimal.



Gambar 4. 30 Skema Fotokatalis Komposit CuO/CQDs Dalam Mendegradasi *Methylene Blue*

Pada **Gambar 4.30** menunjukkan skema fotokatalis CuO/CQDs dalam mendegradasi *methylene blue*. Ketika energi foton ($h\nu$) lebih besar atau sama dengan energi *band gap* (E_g) dari CuO, maka akan terbentuk pasangan elektron (e^-) dan *hole* (h^+). Kemudian akan terjadi eksitasi elektron dari pita valensi (VB) ke pita konduksi (CB). Elektron dan *hole* masing masing akan mengalami reaksi redoks secara terpisah dengan cara berdifusi ke permukaan dan bereaksi dengan spesies yang teradsorpsi di dekatnya. Elektron akan mereduksi O_2 dan membentuk radikal superoksida anion ($O_2^{\cdot-}$) dan *hole* akan mengoksidasi H_2O dan membentuk radikal hidroksil (HO^{\cdot}). Radikal yang dihasilkan dari reaksi pasangan elektron *hole* akan bereaksi dengan *methylene blue* yang akan membentuk Thionine, Azure A, Azure B, dan akan mengoksidasi $-CH_3$ dari *methylene blue* membentuk HCHO atau HCOOH. Ketika HCHO dan HCOOH bereaksi dengan Thionine, Azure A, Azure B maka akan terbentuk produk degradasi berupa senyawa sederhana yang bersifat volatile dan tidak berbahaya.

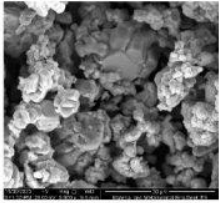
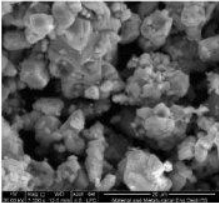
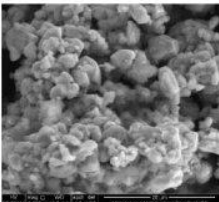
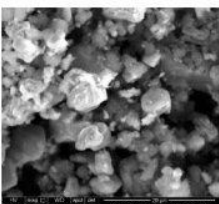
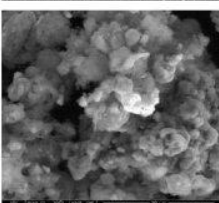
Untuk mengetahui hubungan antara nilai absorbansi dengan panjang gelombang pada penyinaran selama satu jam dapat dilihat pada **Gambar 4.31**. Kurva tersebut didapat dari pengujian UV-Vis. Berdasarkan hasil pengujian, diketahui bahwa puncak resapan tertinggi *methylene blue* berada pada rentang 662-666 nm. Pada **Gambar 4.32** untuk setiap lama penyinaran, katalis CuO murni memiliki nilai absorbansi maksimal tertinggi diikuti dengan komposit 5%, 15%, 35%, dan 25%. Nilai absorbansi maksimal terendah dimiliki oleh katalis komposit CuO/CQDs 25%.



Gambar 4. 31 Hubungan Nilai Absorbansi Maksimal dengan Panjang Gelombang dalam Mendegradasi *Methylene Blue* dengan Penyinaran (a) 0 Menit, (b) 15 Menit, (c) 30 Menit, (d) 45 Menit, dan (e) 60 Menit

4.8 Tabulasi Pengujian

Tabel 4. 17 Tabulasi Pengujian

| Spesimen | SEM | EDX | Persen Degradasi Selama 1 jam |
|-----------------|---|--------------------------------------|-------------------------------|
| CuO |  | OK 06,41% CuK 93,59% | 8.69% |
| CuO/CQDs 5% |  | CK 03,28% OK 12,65% CuK 84,06% | 27.81% |
| CuO/CQDs 15% |  | CK 06,10% OK 15,86% CuK 78,04% | 62.48% |
| CuO/CQDs 25% |  | CK 10,81% OK 17,94% CuK 71,25% | 90.71% |
| CuO/CQDs 35% |  | CK 18,56% OK 21,94% CuK 59,5% | 81.60% |

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Terdapat kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini antara lain:

1. Sintesis Komposit CuO/CQDs telah dilakukan dan tidak ada perubahan struktur pada material yang dibuktikan oleh hasil pengujian XRD dengan munculnya *peak* pada $2\theta = 25.76^\circ$ yang merupakan *peak* CQDs dan munculnya *peak* pada $2\theta = 35,56^\circ$ dan $38,76^\circ$ yang merupakan *peak* tertinggi dari CuO. Pengujian FTIR berhasil mengidentifikasi adanya gugus fungsi untuk setiap material CuO dan CQDs yang diwakili oleh unsur unsur H, C, O, dan Cu. Terlihat adanya perubahan morfologi pada komposit CuO/CQDs. Hal ini terlihat dari pengujian SEM dimana bentuk bulat CQDs menempel pada bentuk *quasi-spherical* dari CuO. Pada pengujian EDX, komposit CuO/CQDs memiliki kandungan karbon (C) yang berasal dari CQDs dan copper (Cu) serta oksigen (O) dari CuO. Ukuran partikel rata-rata CQDs hasil sintesis dari puntung rokok adalah 6,62 nm yang didapat dari hasil pengujian PSA. Hasil pengujian yang telah dilakukan tidak dapat memvalidasi bahwa material yang terbentuk adalah CQDs.
2. Material komposit CuO/CQDs dengan variasi penambahan massa CQDs 5%, 15%, 25%, dan 35% berhasil mendegradasi larutan *methylene blue* setelah penyinaran selama satu jam. Nilai persen degradasi untuk setiap variasi penambahan massa sebesar 27.81%, 62.48%, 90.71%, dan 81,60%. Hasil maksimal ditunjukkan pada variasi penambahan massa CQDs 25% pada penyinaran satu jam yaitu sebesar 90.71%. Hasil degradasi tersebut dapat berupa hasil absorbansi dari karbon aktif dikarenakan CQDs belum dapat dipastikan berhasil disintesis pada penelitian ini.

5.2 Saran

Adapun saran dari penelitian ini antara lain:

1. Larutan pewarna yang akan dan sudah didegradasi sebaiknya diletakkan atau disimpan pada ruangan yang tidak terkena cahaya.
2. Dilakukan pengujian TEM dan Spektroskopi Raman untuk mengetahui morfologi, struktur kristal, dan senyawa kimia dari CQDs dan komposit CuO/CQDs.
3. Alat dan bahan yang digunakan pada saat sintesis CQDs harus bebas dari pengotor.
4. Sintesis komposit CuO/CQDs memerlukan waktu sonikasi yang lebih lama dari 1 jam.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Abd Mutalib, M., Rahman, M. A., Othman, M. H. D., Ismail, A. F., & Jaafar, J. (2017). Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energy-Dispersive X-Ray (EDX) Spectroscopy. In *Membrane Characterization* (pp. 161–179). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63776-5.00009-7>
- Ahmad, H., Tariq, A., Shehzad, A., Faheem, M. S., Shafiq, M., Rashid, I. A., Afzal, A., Munir, A., Riaz, M. T., Haider, H. T., Afzal, A., Qadir, M. B., & Khaliq, Z. (2019). Stealth technology: Methods and composite materials—A review. In *Polymer Composites* (Vol. 40, Issue 12, pp. 4457–4472). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1002/pc.25311>
- Aji, A., Maulinda, L., & Amin, S. (2015). Jurnal Teknologi Kimia Unimal Jurnal Teknologi Kimia Unimal Isolasi Nikotin Dari Puntung Rokok Sebagai Insektisida. In *Jurnal Teknologi Kimia Unimal* (Vol. 4). http://ft.unimal.ac.id/teknik_kimia/jurnal
- Alex Mbachu, C., Kamoru Babayemi, A., Chinedu Egbosiuba, T., Ifeanyichukwu Ike, J., Jacinta Ani, I., & Mustapha, S. (2023). Green synthesis of iron oxide nanoparticles by Taguchi design of experiment method for effective adsorption of methylene blue and methyl orange from textile wastewater. *Results in Engineering*, 19. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101198>
- Anisa Z, Mubarakah L, Setyaningrum D, & Novianto H. (2023). Identifikasi Sifat Termal Dan Ikatan Batu Kapur Alam Dengan Menggunakan Dsc-Tga Dan Ftir. *Inovasi Teknik Kimia*, 8(3), 173–177. <https://publikasiilmiah.unwahas.ac.id/index.php/inteka/article/view/8504/4779>
- Assegehegn, G., Brito-de la Fuente, E., Franco, J. M., & Gallegos, C. (2019). The Importance of Understanding the Freezing Step and Its Impact on Freeze-Drying Process Performance. In *Journal of Pharmaceutical Sciences* (Vol. 108, Issue 4, pp. 1378–1395). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.xphs.2018.11.039>
- Bandi, R., Devulapalli, N. P., Dadigala, R., Gangapuram, B. R., & Guttena, V. (2018). Facile Conversion of Toxic Cigarette Butts to N,S-Codoped Carbon Dots and Their Application in Fluorescent Film, Security Ink, Bioimaging, Sensing and Logic Gate Operation. *ACS Omega*, 3(10), 13454–13466. <https://doi.org/10.1021/acsomega.8b01743>
- Egbo, M. K. (2021). A fundamental review on composite materials and some of their applications in biomedical engineering. In *Journal of King Saud University - Engineering Sciences* (Vol. 33, Issue 8, pp. 557–568). King Saud University. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2020.07.007>
- Elugoke, S. E., Fayemi, O. E., Adekunle, A. S., Mamba, B. B., Nkambule, T. T. I., & Ebenso, E. E. (2022). Electrochemical sensor for the detection of dopamine using *Carbon Quantum Dots/copper oxide nanocomposite modified electrode*. *FlatChem*, 33. <https://doi.org/10.1016/j.flatc.2022.100372>
- Farshbaf, M., Davaran, S., Rahimi, F., Annabi, N., Salehi, R., & Akbarzadeh, A. (2018). *Carbon Quantum Dots*: recent progresses on synthesis, surface modification and applications. In *Artificial Cells, Nanomedicine and Biotechnology* (Vol. 46, Issue 7, pp. 1331–1348). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/21691401.2017.1377725>
- Gaur, N., Dutta, D., Singh, A., Dubey, R., & Kamboj, D. V. (2022). Recent advances in the elimination of persistent organic pollutants by photocatalysis. In *Frontiers in Environmental Science* (Vol. 10). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.872514>
- Gavalda Diaz, O., Garcia Luna, G., Liao, Z., & Axinte, D. (2019). The new challenges of machining Ceramic Matrix Composites (CMCs): Review of surface integrity. In

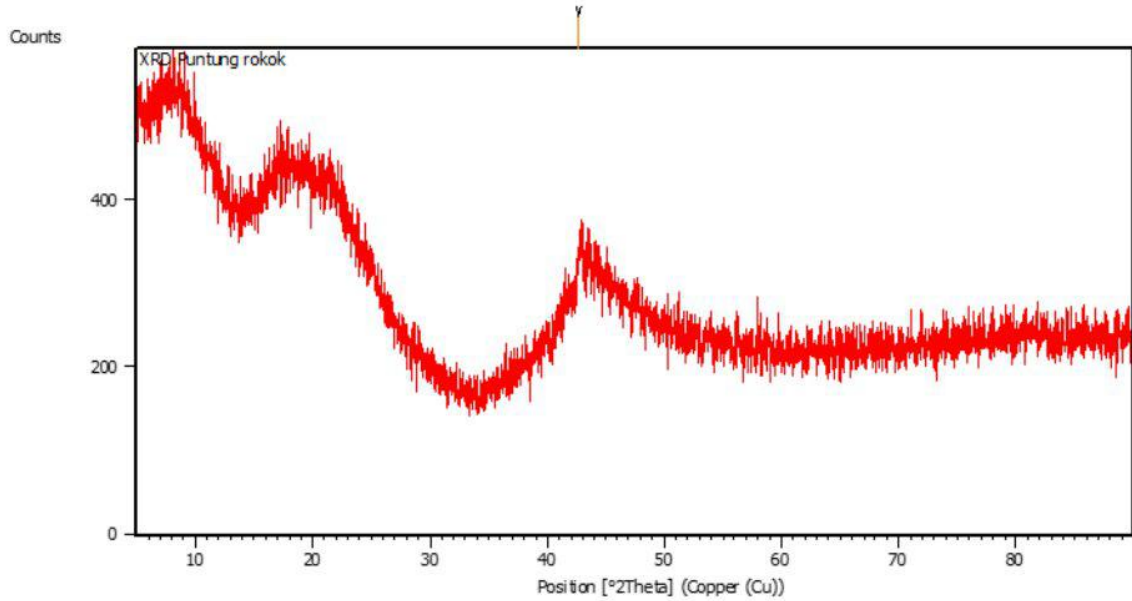
- International Journal of Machine Tools and Manufacture* (Vol. 139, pp. 24–36). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2019.01.003>
- Gul, T., Ahmad, S., Khan, I., Khan, I., Almeahmadi, M., Amer Alsaiani, A., Allahyani, M., & Saeed, K. (2023). Photodegradation of orange II dye using p-n junction NiO/TiO₂ composite, and assessment of its biological activities. *Journal of Saudi Chemical Society*, 27(4). <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2023.101654>
- Gumustas, M., Sengel-Turk, C. T., Gumustas, A., Ozkan, S. A., & Uslu, B. (2017). Effect of Polymer-Based Nanoparticles on the Assay of Antimicrobial Drug Delivery Systems. In *Multifunctional Systems for Combined Delivery, Biosensing and Diagnostics* (pp. 67–108). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-52725-5.00005-8>
- Heng, Z. W., Chong, W. C., Pang, Y. L., & Sim, L. C. (2020). Photocatalytic degradation of methylene blue under visible light using carbon dot/titanium dioxide nanohybrid. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 991(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/991/1/012092>
- Imran Din, M., Ahmed, M., Ahmad, M., Saqib, S., Mubarak, W., Hussain, Z., Khalid, R., Raza, H., & Hussain, T. (2023). Novel and Facile Synthesis of *Carbon Quantum Dots* from Chicken Feathers and Their Application as a Photocatalyst to Degrade Methylene Blue Dye. *Journal of Chemistry*, 2023. <https://doi.org/10.1155/2023/9956427>
- Ischia, G., & Fiori, L. (2021). Hydrothermal Carbonization of Organic Waste and Biomass: A Review on Process, Reactor, and Plant Modeling. In *Waste and Biomass Valorization* (Vol. 12, Issue 6, pp. 2797–2824). Springer Science and Business Media B.V. <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01255-3>
- John, B. K., Mathew, S., John, N., Mathew, J., & Mathew, B. (2023). Hydrothermal synthesis of N,S-doped *Carbon Quantum Dots* as a dual mode sensor for azo dye tartrazine and fluorescent ink applications. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 436. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2022.114386>
- Khan, I., Saeed, K., Zekker, I., Zhang, B., Hendi, A. H., Ahmad, A., Ahmad, S., Zada, N., Ahmad, H., Shah, L. A., Shah, T., & Khan, I. (2022). Review on Methylene Blue: Its Properties, Uses, Toxicity and Photodegradation. In *Water (Switzerland)* (Vol. 14, Issue 2). MDPI. <https://doi.org/10.3390/w14020242>
- Khan, Z. M. S. H., Rahman, R. S., Shumaila, Islam, S., & Zulfequar, M. (2019). Hydrothermal treatment of red lentils for the synthesis of fluorescent *Carbon Quantum Dots* and its application for sensing Fe³⁺. *Optical Materials*, 91, 386–395. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2019.03.054>
- Komabayashi, T., & Spångberg, L. S. W. (2008). Comparative Analysis of the Particle Size and Shape of Commercially Available Mineral Trioxide Aggregates and Portland Cement: A Study with a Flow Particle Image Analyzer. *Journal of Endodontics*, 34(1), 94–98. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2007.10.013>
- Lee, S. B., Jung, R. Y., & Kim, S. (2019). Copper(II) oxide powder manufacture for via-filling plating from H₂O₂ type etching wastes. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 79, 418–424. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2019.07.016>
- Li, Y., Hu, M., Liu, K., Gao, S., Lian, H., & Xu, C. (2023). Lignin derived multicolor carbon dots for visual detection of formaldehyde. *Industrial Crops and Products*, 192. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.116006>
- Mandade, P. (2021). Introduction, basic principles, mechanism, and challenges of photocatalysis. In *Handbook of Nanomaterials for Wastewater Treatment: Fundamentals and Scale up Issues* (pp. 137–154). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821496-1.00016-7>

- Munonde, T. S., Nqombolo, A., Hobongwana, S., Mpupa, A., & Nomngongo, P. N. (2023). Removal of methylene blue using MnO₂@rGO nanocomposite from textile wastewater: Isotherms, kinetics and thermodynamics studies. *Heliyon*, 9(4). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15502>
- Mušič, B., Jemec Kokalj, A., & Sever Škapin, A. (2023). Influence of Weathering on the Degradation of Cellulose Acetate Microplastics Obtained from Used Cigarette Butts. *Polymers*, 15(12). <https://doi.org/10.3390/polym15122751>
- Nuengmatcha, P., Porrawatkul, P., Chanthai, S., Sricharoen, P., & Limchoowong, N. (2019). Enhanced photocatalytic degradation of methylene blue using Fe₂O₃/graphene/CuO nanocomposites under visible light. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(6). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103438>
- Oladoye, P. O., Ajiboye, T. O., Omotola, E. O., & Oyewola, O. J. (2022). Methylene blue dye: Toxicity and potential elimination technology from wastewater. In *Results in Engineering* (Vol. 16). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100678>
- Putri, D., & Darvina, Y. (2019). Pengaruh Komposisi Terhadap Ukuran Butir Lapisan Nanokomposit Cofe₂O₄/Pvdf Dengan Metode Spin Coating. In *Pillar of Physics* (Vol. 12).
- Qiu, Y., Wang, F., Ma, X., Yin, F., Li, D., & Li, J. (2023). Carbon Quantum Dots derived from cassava stems via acid/alkali-assisted hydrothermal carbonization: formation, mechanism and application in drug release. *Industrial Crops and Products*, 204. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117243>
- Raizada, P., Sudhaik, A., Patial, S., Hasija, V., Parwaz Khan, A. A., Singh, P., Gautam, S., Kaur, M., & Nguyen, V. H. (2020). Engineering nanostructures of CuO-based photocatalysts for water treatment: Current progress and future challenges. *Arabian Journal of Chemistry*, 13(11), 8424–8457. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.06.031>
- Sabet, M., & Mahdavi, K. (2019). Green synthesis of high photoluminescence nitrogen-doped Carbon Quantum Dots from grass via a simple hydrothermal method for removing organic and inorganic water pollutions. *Applied Surface Science*, 463, 283–291. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.08.223>
- Saravanan, R., Gracia, F., & Stephen, A. (2017). *Basic Principles, Mechanism, and Challenges of Photocatalysis* (pp. 19–40). https://doi.org/10.1007/978-3-319-62446-4_2
- Setiawan Mohar, R., Soewoto, H. P., Garinas, W., Pengembangan, P. T., Mineral, S., Pengkajian, B., & Teknologi, P. (2021). Tinjauan Penggunaan Material Fotokatalis Untuk Peningkatan Reaksi Degradasi Sianida. In *Jurnal Rekayasa Pertambangan* (Vol. 1, Issue 1).
- Shukla, S. (2011). *Freeze Drying Process: A Review*. 2(12), 3061–3068. www.ijpsr.com
- Sibhatu, A. K., Weldegebriael, G. K., Sagadevan, S., Tran, N. N., & Hessel, V. (2022). Photocatalytic activity of CuO nanoparticles for organic and inorganic pollutants removal in wastewater remediation. *Chemosphere*, 300. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134623>
- Soraya Sambudi, N., Sithambaran, Y., Chung Hui, K., Wahyu Nugraha, M., Ahmad Kamal, N., Yub Harun, N., Sufian, S., & blue, M. (2022). Modification of Kaolin with Carbon Quantum Dots as Composite for Methylene Blue Removal: Literature Review and Experiment. *Indonesian Journal of Science & Technology*, 7(2), 311–336. <https://doi.org/10.17509/ijost.v7i2>
- Tayebee, R., Esmaeili, E., Maleki, B., Khoshniat, A., Chahkandi, M., & Mollania, N. (2020). Photodegradation of methylene blue and some emerging pharmaceutical micropollutants with an aqueous suspension of WZnO-NH₂@H₃PW₁₂O₄₀ nanocomposite. *Journal of Molecular Liquids*, 317. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.113928>

- Testa, D., Zuccante, G., Muhyuddin, M., Landone, R., Scommegna, A., Lorenzi, R., Acciarri, M., Petri, E., Soavi, F., Poggini, L., Capozzoli, L., Lavacchi, A., Lamanna, N., Franzetti, A., Zoia, L., & Santoro, C. (2023). Giving New Life to Waste Cigarette Butts: Transformation into Platinum Group Metal-Free Electrocatalysts for Oxygen Reduction Reaction in Acid, Neutral and Alkaline Environment. *Catalysts*, 13(3). <https://doi.org/10.3390/catal13030635>
- Vanapalli, K. R., Sharma, H. B., Anand, S., Ranjan, V. P., Singh, H., Dubey, B. K., & Mohanty, B. (2023). Cigarettes butt littering: The story of the world's most littered item from the perspective of pollution, remedial actions, and policy measures. In *Journal of Hazardous Materials* (Vol. 453). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.131387>
- Vindhya, P. S., & Kavitha, V. T. (2023). A comprehensive study on photocatalytic, antimicrobial, antioxidant and cytotoxicity effects of biosynthesized pure and Ni doped CuO nanoparticles. *Inorganic Chemistry Communications*, 150. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2023.110472>
- Zhang, Q., Zhang, K., Xu, D., Yang, G., Huang, H., Nie, F., Liu, C., & Yang, S. (2014). CuO nanostructures: Synthesis, characterization, growth mechanisms, fundamental properties, and applications. In *Progress in Materials Science* (Vol. 60, Issue 1, pp. 208–337). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2013.09.003>

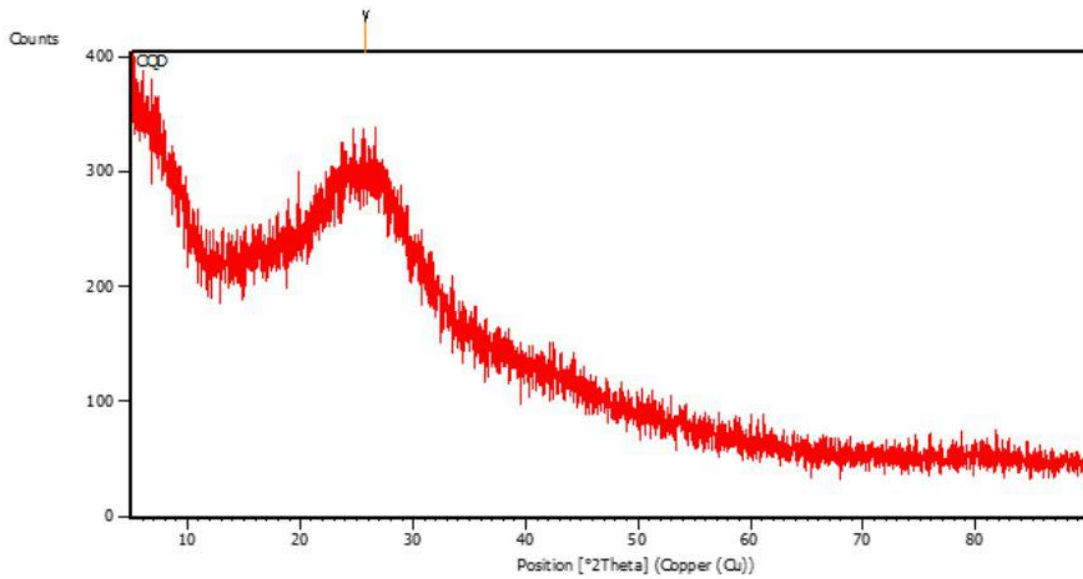
LAMPIRAN

Lampiran 1 : Hasil Pengujian XRD a. Sampel Puntung Rokok



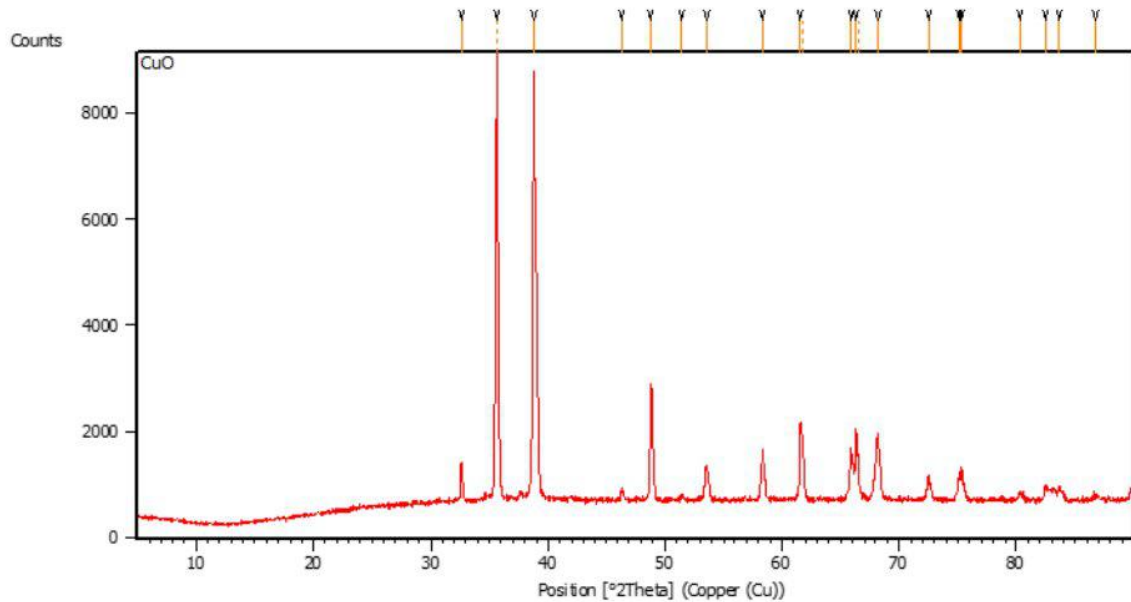
| Pos. [°2Th.] | Height [cts] | FWHM Left [°2Th.] | d-spacing [Å] | Rel. Int. [%] |
|--------------|--------------|-------------------|---------------|---------------|
| 42.7045 | 466.04 | 0.0900 | 2.11562 | 100.00 |

b. Sampel *Carbon Quantum Dots (CQDs)*



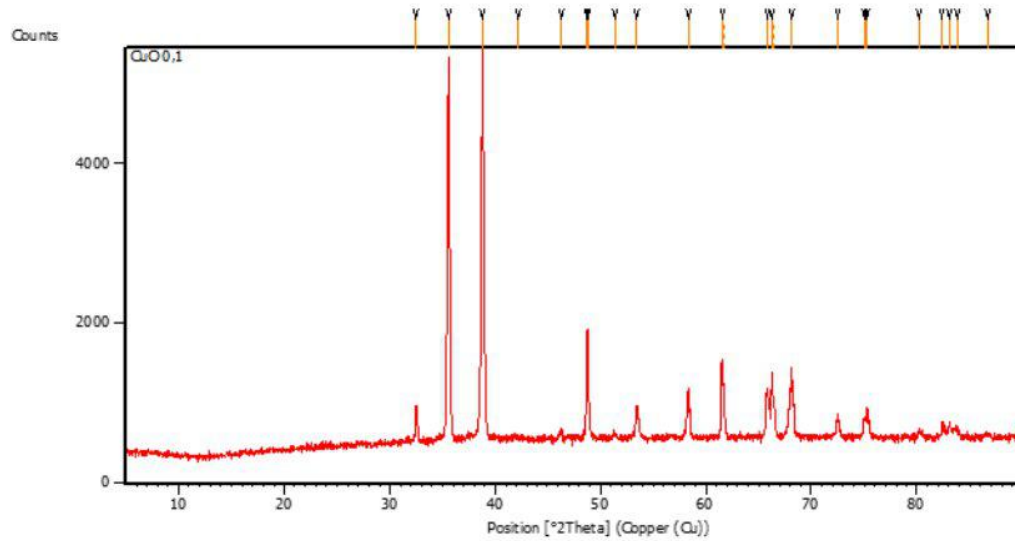
| Pos. [°2Th.] | Height [cts] | FWHM Left [°2Th.] | d-spacing [Å] | Rel. Int. [%] |
|--------------|--------------|-------------------|---------------|---------------|
| 25.7687 | 95.60 | 0.0900 | 3.45451 | 100.00 |

c. Sampel CuO



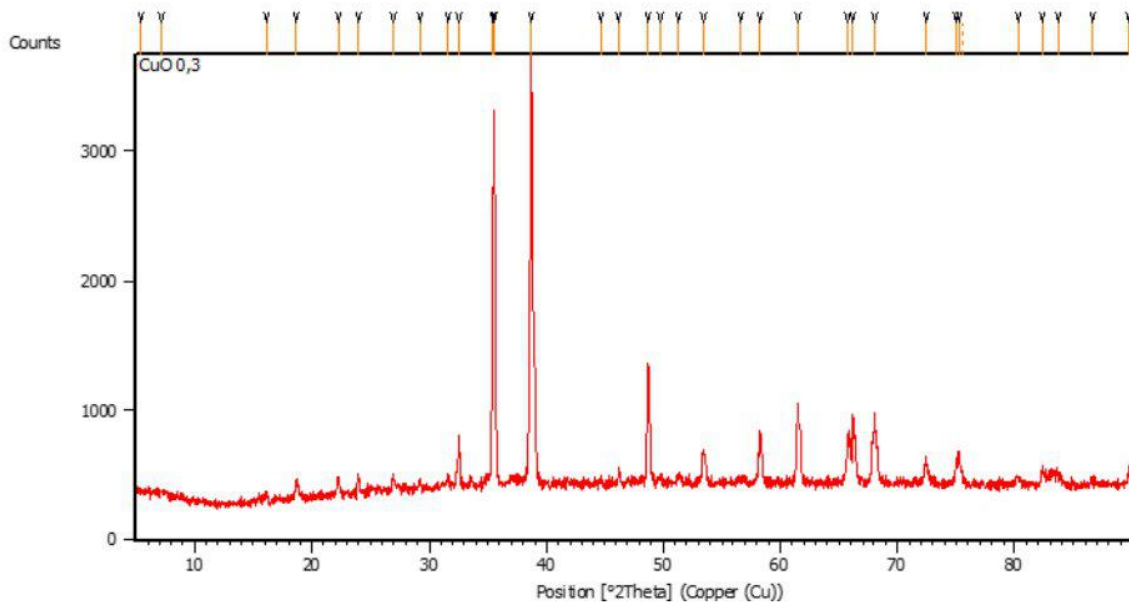
| Pos. [°2Th.] | Height [cts] | FWHM Left [°2Th.] | d-spacing [Å] | Rel. Int. [%] |
|--------------|--------------|-------------------|---------------|---------------|
| 32.5787 | 735.19 | 0.0836 | 2.74855 | 8.67 |
| 35.6108 | 8477.75 | 0.1224 | 2.51908 | 100.00 |
| 35.7157 | 5786.42 | 0.0612 | 2.51817 | 68.25 |
| 38.7886 | 7901.42 | 0.1632 | 2.31971 | 93.20 |
| 46.3311 | 203.54 | 0.1632 | 1.95811 | 2.40 |
| 48.8018 | 2070.57 | 0.1224 | 1.86460 | 24.42 |
| 51.4624 | 92.95 | 0.2448 | 1.77427 | 1.10 |
| 53.5612 | 657.53 | 0.1428 | 1.70959 | 7.76 |
| 58.3667 | 920.07 | 0.1428 | 1.57976 | 10.85 |
| 61.5925 | 1401.70 | 0.1428 | 1.50453 | 16.53 |
| 61.7813 | 1014.36 | 0.0816 | 1.50411 | 11.96 |
| 65.8577 | 905.92 | 0.1632 | 1.41704 | 10.69 |
| 66.3258 | 1319.12 | 0.1020 | 1.40817 | 15.56 |
| 66.5195 | 798.36 | 0.1224 | 1.40803 | 9.42 |
| 68.1545 | 1205.70 | 0.1428 | 1.37477 | 14.22 |
| 72.4718 | 438.86 | 0.1428 | 1.30314 | 5.18 |
| 75.0563 | 465.92 | 0.1224 | 1.26454 | 5.50 |
| 75.3000 | 618.48 | 0.1224 | 1.26106 | 7.30 |
| 80.2680 | 138.97 | 0.3264 | 1.19504 | 1.64 |
| 82.4963 | 242.95 | 0.4080 | 1.16832 | 2.87 |
| 83.6611 | 235.48 | 0.2448 | 1.15499 | 2.78 |
| 86.7368 | 76.19 | 0.4896 | 1.12176 | 0.90 |

d. Sampel Komposit CuO/CQDs 5%



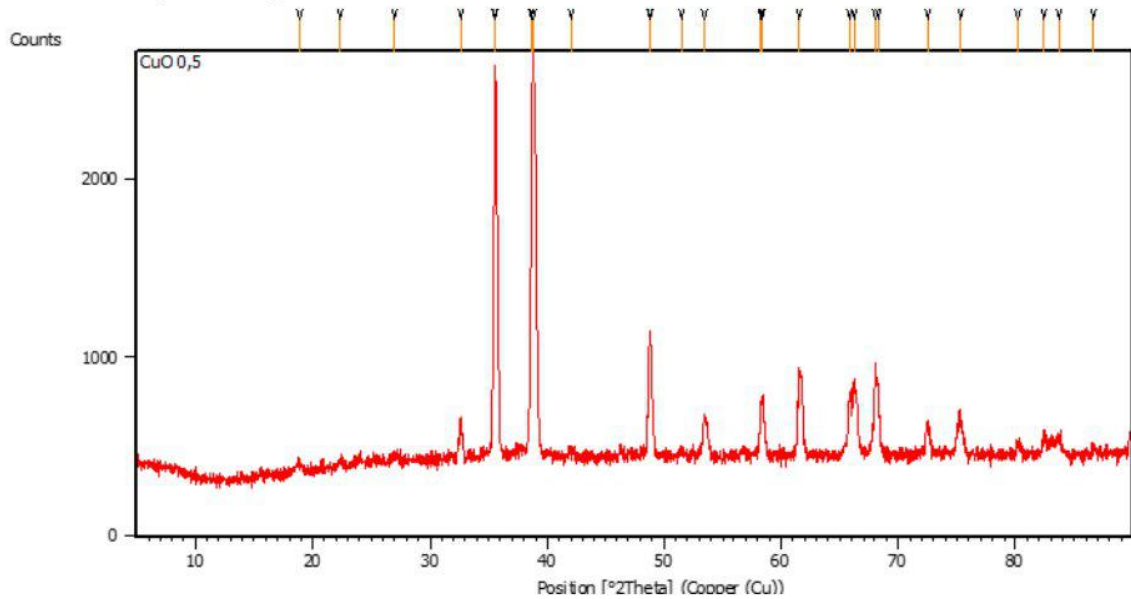
| Pos. [°2Th.] | Height [cts] | FWHM Left [°2Th.] | d-spacing [Å] | Rel. Int. [%] |
|--------------|--------------|-------------------|---------------|---------------|
| 32.4971 | 449.62 | 0.0669 | 2.75527 | 9.31 |
| 35.5537 | 4789.06 | 0.2342 | 2.52509 | 99.15 |
| 38.7297 | 4829.88 | 0.1840 | 2.32503 | 100.00 |
| 42.1921 | 19.11 | 1.0706 | 2.14189 | 0.40 |
| 46.3459 | 99.40 | 0.2007 | 1.95914 | 2.06 |
| 48.7255 | 1305.28 | 0.1224 | 1.86734 | 27.03 |
| 48.8424 | 1211.34 | 0.0836 | 1.86468 | 25.08 |
| 51.3501 | 59.74 | 0.3346 | 1.77936 | 1.24 |
| 53.4722 | 400.17 | 0.2676 | 1.71364 | 8.29 |
| 58.3171 | 582.71 | 0.0836 | 1.58229 | 12.06 |
| 61.5623 | 959.83 | 0.1428 | 1.50519 | 19.87 |
| 61.7041 | 647.11 | 0.0816 | 1.50581 | 13.40 |
| 65.8154 | 605.56 | 0.1428 | 1.41785 | 12.54 |
| 66.2572 | 791.12 | 0.1224 | 1.40946 | 16.38 |
| 66.4621 | 469.79 | 0.1224 | 1.40910 | 9.73 |
| 68.1023 | 866.99 | 0.0816 | 1.37570 | 17.95 |
| 72.4739 | 283.61 | 0.1224 | 1.30310 | 5.87 |
| 75.0012 | 264.20 | 0.1632 | 1.26534 | 5.47 |
| 75.2445 | 376.23 | 0.1632 | 1.26185 | 7.79 |
| 80.1877 | 121.73 | 0.1224 | 1.19604 | 2.52 |
| 82.3691 | 185.56 | 0.1224 | 1.16980 | 3.84 |
| 83.0893 | 181.09 | 0.1632 | 1.16148 | 3.75 |
| 83.7523 | 119.25 | 0.3264 | 1.15397 | 2.47 |
| 86.6489 | 44.46 | 0.6528 | 1.12267 | 0.92 |

e. Sampel Komposit CuO/CQDs 15%



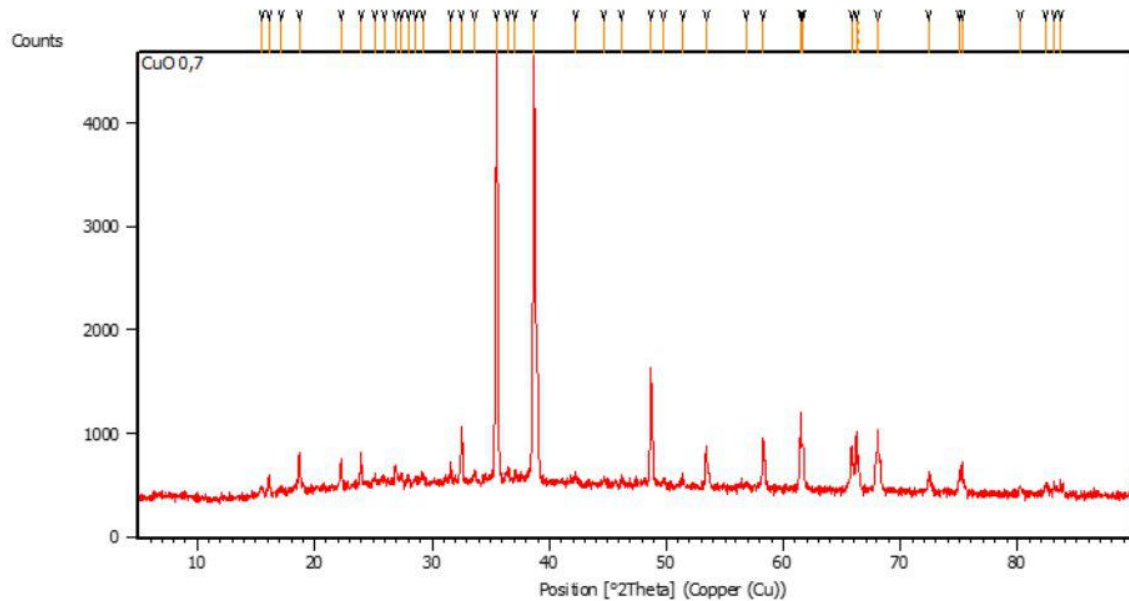
| Pos. [°2Th.] | Height [cts] | FWHM Left [°2Th.] | d-spacing [Å] | Rel. Int. [%] |
|--------------|--------------|-------------------|---------------|---------------|
| 5.4753 | 32.93 | 0.8029 | 16.14102 | 1.02 |
| 7.1400 | 28.86 | 1.3382 | 12.38098 | 0.89 |
| 16.1252 | 54.41 | 0.2342 | 5.49667 | 1.68 |
| 18.6791 | 135.00 | 0.2007 | 4.75051 | 4.16 |
| 22.2453 | 132.06 | 0.1673 | 3.99636 | 4.07 |
| 23.9697 | 112.80 | 0.2342 | 3.71263 | 3.48 |
| 26.9376 | 107.43 | 0.2007 | 3.30994 | 3.31 |
| 29.2291 | 69.52 | 0.2007 | 3.05546 | 2.14 |
| 31.6005 | 89.20 | 0.2007 | 2.83137 | 2.75 |
| 32.5317 | 319.90 | 0.1338 | 2.75242 | 9.87 |
| 35.4290 | 2098.12 | 0.0816 | 2.53160 | 64.72 |
| 35.5241 | 2860.57 | 0.1004 | 2.52712 | 88.24 |
| 38.7001 | 3241.96 | 0.1171 | 2.32673 | 100.00 |
| 44.6735 | 49.56 | 0.2676 | 2.02852 | 1.53 |
| 46.2220 | 90.26 | 0.2007 | 1.96410 | 2.78 |
| 48.6869 | 876.05 | 0.1338 | 1.87027 | 27.02 |
| 49.7838 | 62.98 | 0.2676 | 1.83161 | 1.94 |
| 51.2985 | 65.07 | 0.2676 | 1.78103 | 2.01 |
| 53.4365 | 244.13 | 0.2676 | 1.71470 | 7.53 |
| 56.6219 | 29.24 | 0.6691 | 1.62557 | 0.90 |
| 58.2809 | 400.86 | 0.0836 | 1.58319 | 12.36 |
| 61.4944 | 616.18 | 0.0612 | 1.50669 | 19.01 |
| 65.7648 | 364.90 | 0.2342 | 1.41999 | 11.26 |
| 66.2046 | 500.06 | 0.1020 | 1.41045 | 15.42 |
| 68.0590 | 542.22 | 0.0612 | 1.37647 | 16.73 |
| 72.3956 | 211.36 | 0.1338 | 1.30540 | 6.52 |
| 74.9569 | 189.05 | 0.1224 | 1.26598 | 5.83 |

f. Sampel Komposit CuO/CQDs 25%



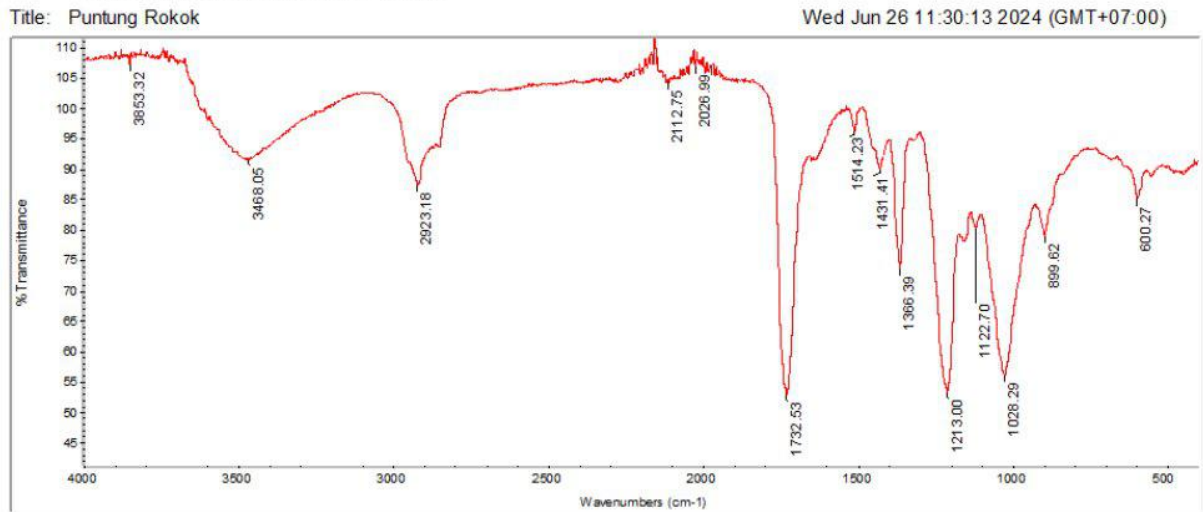
| Pos. [°2Th.] | Height [cts] | FWHM Left [°2Th.] | d-spacing [Å] | Rel. Int. [%] |
|--------------|--------------|-------------------|---------------|---------------|
| 18.8575 | 55.34 | 0.3346 | 4.70596 | 2.56 |
| 22.3577 | 32.60 | 0.4015 | 3.97652 | 1.51 |
| 26.9942 | 23.80 | 0.8029 | 3.30313 | 1.10 |
| 32.5759 | 209.95 | 0.1338 | 2.74878 | 9.69 |
| 35.4635 | 1525.95 | 0.1224 | 2.52921 | 70.45 |
| 35.5606 | 2046.65 | 0.0836 | 2.52462 | 94.49 |
| 38.6579 | 1504.51 | 0.0816 | 2.32725 | 69.46 |
| 38.7742 | 2165.94 | 0.1171 | 2.32246 | 100.00 |
| 41.9971 | 32.55 | 0.4015 | 2.15139 | 1.50 |
| 48.7439 | 613.23 | 0.1224 | 1.86668 | 28.31 |
| 48.8669 | 693.37 | 0.0836 | 1.86381 | 32.01 |
| 51.4852 | 29.90 | 0.5353 | 1.77501 | 1.38 |
| 53.4584 | 201.12 | 0.2007 | 1.71405 | 9.29 |
| 58.2554 | 265.61 | 0.2040 | 1.58251 | 12.26 |
| 58.4440 | 327.75 | 0.1338 | 1.57916 | 15.13 |
| 61.5797 | 492.49 | 0.1171 | 1.50606 | 22.74 |
| 65.8396 | 323.69 | 0.2676 | 1.41856 | 14.94 |
| 66.2297 | 406.71 | 0.1673 | 1.41115 | 18.78 |
| 68.0543 | 428.54 | 0.1632 | 1.37655 | 19.79 |
| 68.2442 | 382.39 | 0.1338 | 1.37432 | 17.65 |
| 72.4642 | 175.15 | 0.2007 | 1.30434 | 8.09 |
| 75.2740 | 238.23 | 0.2342 | 1.26247 | 11.00 |
| 80.1754 | 48.74 | 0.4015 | 1.19718 | 2.25 |
| 82.4295 | 96.86 | 0.3346 | 1.17007 | 4.47 |
| 83.7169 | 94.73 | 0.4015 | 1.15532 | 4.37 |
| 86.6361 | 26.90 | 0.8029 | 1.12374 | 1.24 |

g. Sampel Komposit CuO/CQDs 35%

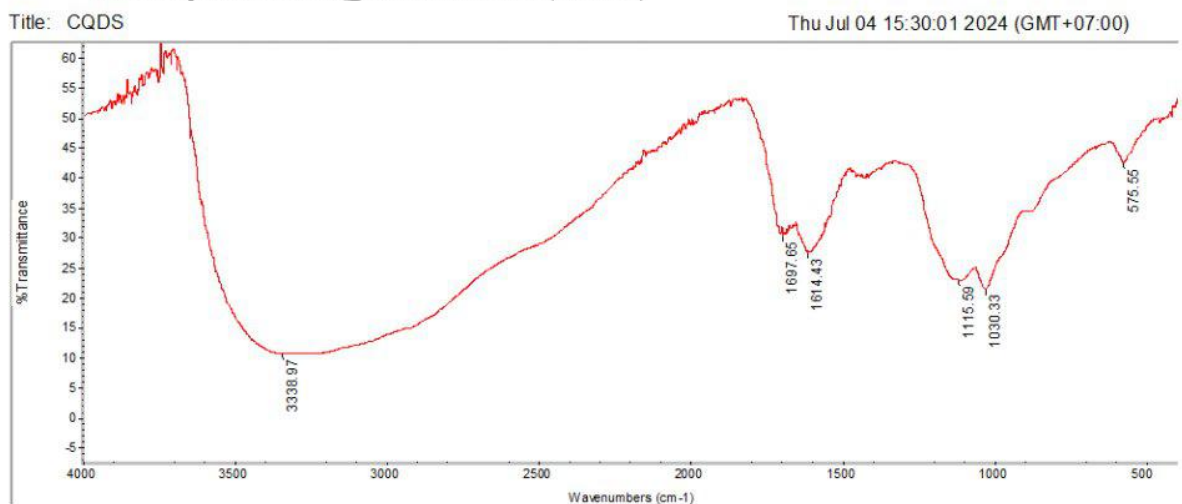


| Pos. [°2Th.] | Height [cts] | FWHM Left [°2Th.] | d-spacing [Å] | Rel. Int. [%] |
|--------------|--------------|-------------------|---------------|---------------|
| 15.4738 | 68.73 | 0.2007 | 5.72658 | 1.66 |
| 16.1309 | 183.72 | 0.0836 | 5.49474 | 4.45 |
| 17.1310 | 45.27 | 0.3346 | 5.17617 | 1.10 |
| 18.7156 | 347.53 | 0.1171 | 4.74133 | 8.41 |
| 22.2467 | 283.16 | 0.0669 | 3.99612 | 6.85 |
| 23.9699 | 320.82 | 0.0836 | 3.71258 | 7.77 |
| 25.1077 | 101.50 | 0.2676 | 3.54687 | 2.46 |
| 25.9312 | 73.52 | 0.4015 | 3.43607 | 1.78 |
| 26.9415 | 199.58 | 0.1673 | 3.30946 | 4.83 |
| 27.3366 | 108.02 | 0.2342 | 3.26252 | 2.61 |
| 28.0122 | 78.27 | 0.2007 | 3.18536 | 1.89 |
| 28.6041 | 61.29 | 0.2342 | 3.12078 | 1.48 |
| 29.2310 | 118.14 | 0.2007 | 3.05526 | 2.86 |
| 31.6019 | 193.65 | 0.1338 | 2.83125 | 4.69 |
| 32.4817 | 519.22 | 0.0836 | 2.75654 | 12.57 |
| 33.6190 | 98.86 | 0.2007 | 2.66584 | 2.39 |
| 35.4972 | 4131.34 | 0.1171 | 2.52898 | 100.00 |
| 36.3890 | 119.00 | 0.2007 | 2.46902 | 2.88 |
| 37.0951 | 117.97 | 0.1004 | 2.42363 | 2.86 |
| 38.6879 | 3969.17 | 0.1171 | 2.32744 | 96.07 |
| 42.2235 | 88.93 | 0.2007 | 2.14037 | 2.15 |
| 44.7170 | 79.93 | 0.2007 | 2.02664 | 1.93 |
| 46.2167 | 78.74 | 0.2676 | 1.96432 | 1.91 |
| 48.6974 | 1103.48 | 0.1004 | 1.86989 | 26.71 |
| 49.8113 | 57.22 | 0.2676 | 1.83066 | 1.39 |
| 51.4370 | 65.25 | 0.2676 | 1.77656 | 1.58 |
| 53.4193 | 326.09 | 0.0669 | 1.71522 | 7.89 |
| 56.8387 | 50.63 | 0.3346 | 1.61988 | 1.23 |
| 58.2720 | 464.21 | 0.0816 | 1.58210 | 11.24 |
| 61.5005 | 750.51 | 0.0816 | 1.50656 | 18.17 |
| 61.6696 | 426.87 | 0.1004 | 1.50408 | 10.33 |
| 65.7837 | 434.89 | 0.1004 | 1.41963 | 10.53 |
| 66.2147 | 572.43 | 0.1020 | 1.41026 | 13.86 |
| 66.4102 | 342.72 | 0.0816 | 1.41008 | 8.30 |
| 68.0671 | 578.77 | 0.0816 | 1.37632 | 14.01 |
| 72.3841 | 196.39 | 0.1224 | 1.30450 | 4.75 |
| 74.9699 | 201.92 | 0.1224 | 1.26579 | 4.89 |
| 75.2128 | 297.13 | 0.1632 | 1.26230 | 7.19 |
| 80.1787 | 69.97 | 0.4080 | 1.19615 | 1.69 |
| 82.3682 | 114.80 | 0.1632 | 1.16981 | 2.78 |
| 83.0390 | 111.91 | 0.1632 | 1.16206 | 2.71 |
| 83.6107 | 134.74 | 0.1224 | 1.15556 | 3.26 |

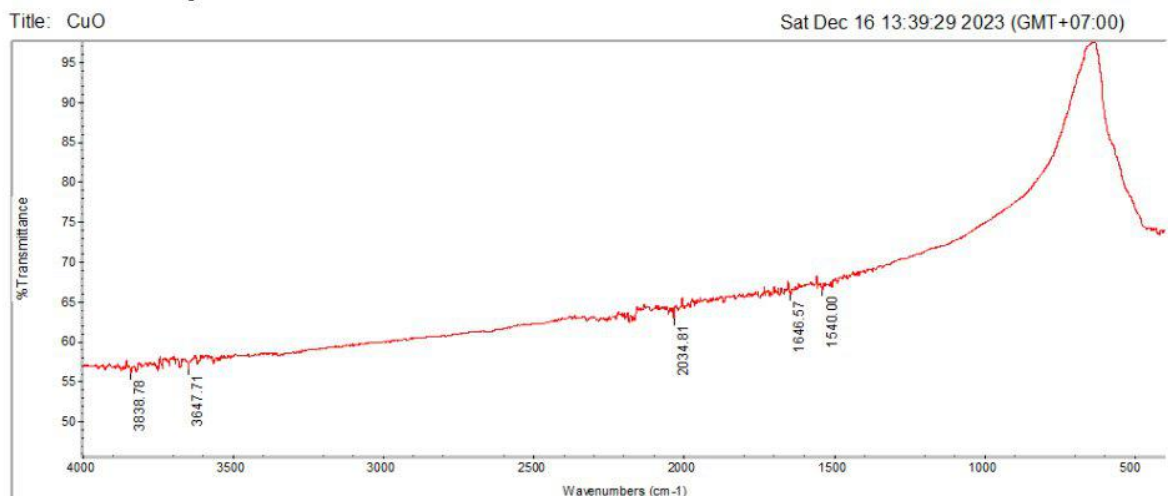
Lampiran 2 : Hasil Pengujian FTIR
a. Sampel Puntung Rokok



b. Sampel Carbon Quantum Dots (CQDs)



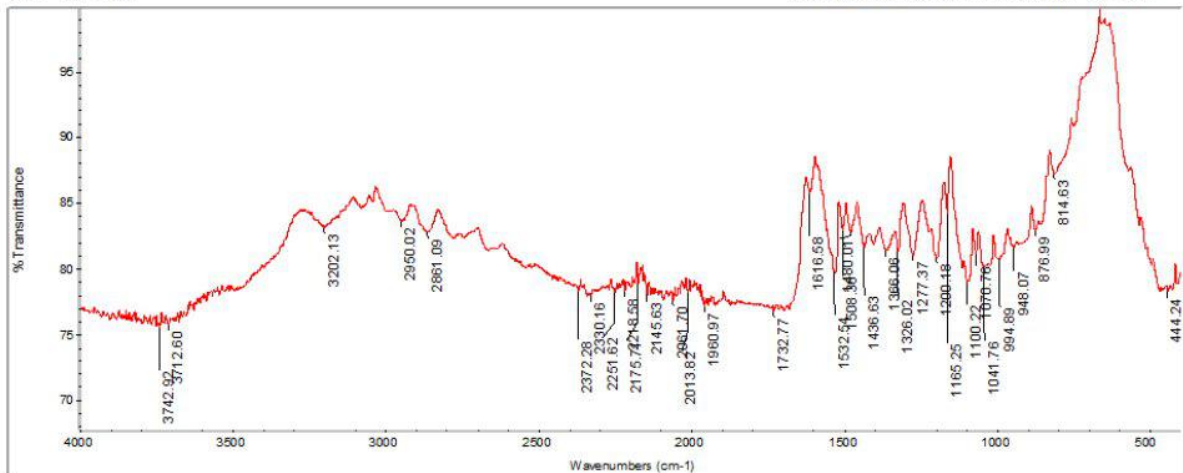
c. Sampel CuO



d. Sampel Komposit CuO/CQDs 5%

Title: CuO 0,1

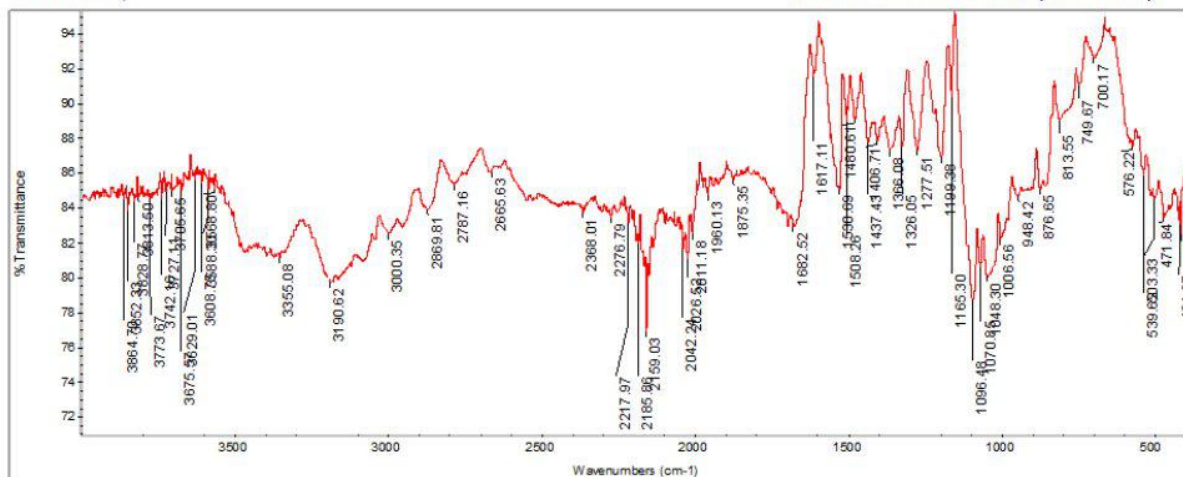
Wed Jun 26 11:31:27 2024 (GMT+07:00)



e. Sampel Komposit CuO/CQDs 15%

Title: CuO 0,3

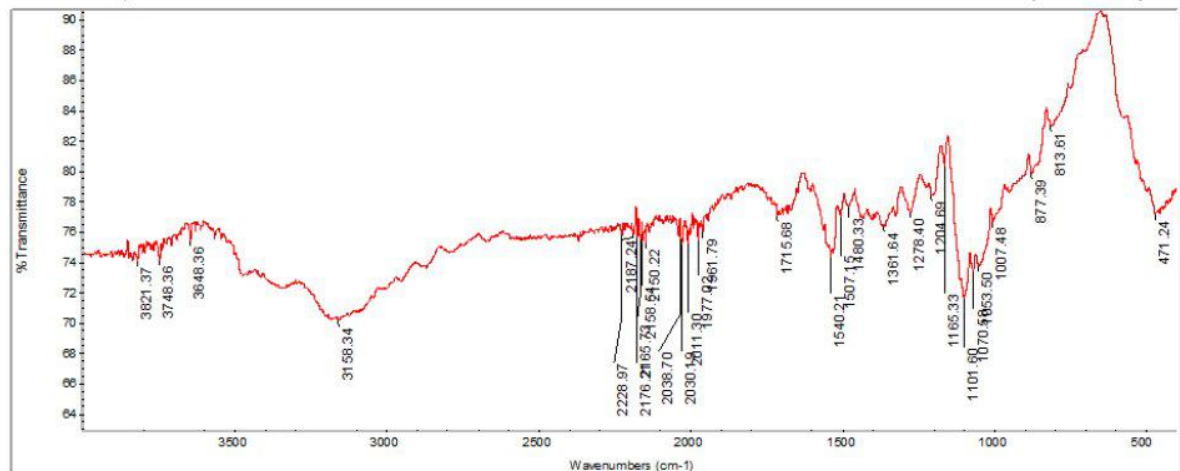
Wed Jun 26 11:35:06 2024 (GMT+07:00)



f. Sampel Komposit CuO/CQDs 25%

Title: CuO 0,5

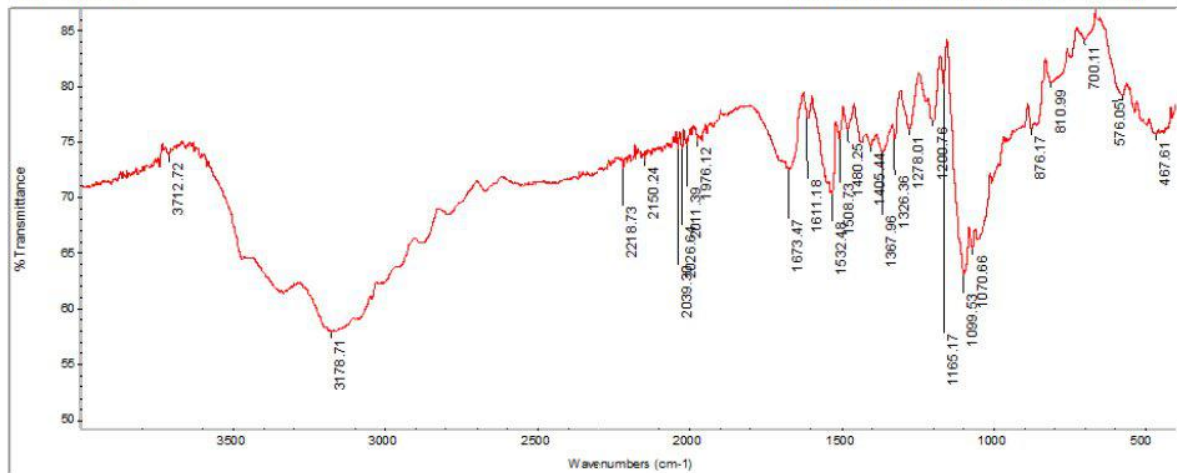
Wed Jun 26 11:36:14 2024 (GMT+07:00)



g. Sampel Komposit CuO/CQDs 35%

Title: CuO 0,7

Wed Jun 26 11:37:18 2024 (GMT+07:00)



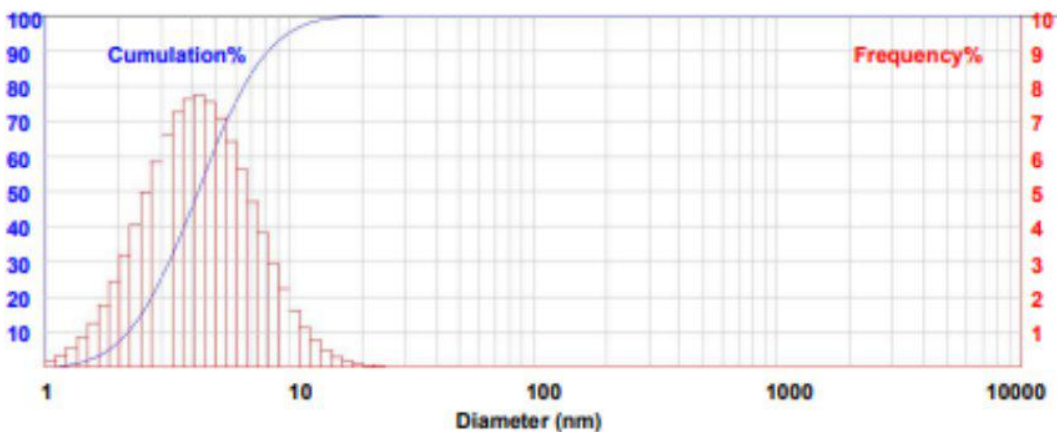
Lampiran 3 : Hasil Pengujian PSA

BIOBASE Nano Particle Size Analyzer test report BK-802N

Measurement range: 1-10000 nm

Print Time: 6/6/2024 1:18:07 PM

| Sample information | | |
|--|--------------------------------|---------------------------------|
| Sample name: CQDs | | |
| Sample supplier: Institut Teknologi Sepuluh Nopember | | |
| Test Condition | | |
| Test temperature: 20°C | Dispersion medium: Water | Medium viscosity: 1.002E-03Pa·s |
| Medium refractive index: 1.333 | Angle: 90.0Deg | Delay Unit Time: 10us |
| LightColor: Red | | |
| Test Information | | |
| Test company: LIHTR | | |
| Tester: LIHTR | Test time: 6/6/2024 1:18:07 PM | |
| Test Result: | | |
| Dav Diameter: Xav=6.62 nm | Dispersion Index: PI=0.2273 | Photon Count: 3 |
| D10= 2.18 nm | D50= 4.22 nm | D90= 8.18 nm |



| Size | V% | S% | Size | V% | S% | Size | V% | S% | Size | V% | S% |
|------|------|-------|------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|
| 1.22 | 0.35 | 0.35 | 3.01 | 5.85 | 25.34 | 7.41 | 4.72 | 86.01 | 18.23 | 0.18 | 99.56 |
| 1.35 | 0.56 | 0.91 | 3.32 | 6.64 | 31.98 | 8.19 | 3.82 | 89.84 | 20.15 | 0.11 | 99.66 |
| 1.49 | 0.85 | 1.76 | 3.67 | 7.25 | 39.23 | 9.05 | 2.98 | 92.82 | 22.28 | 0.06 | 99.72 |
| 1.65 | 1.26 | 3.02 | 4.06 | 7.63 | 46.86 | 10.00 | 2.24 | 95.06 | 24.62 | 0.03 | 99.76 |
| 1.82 | 1.78 | 4.80 | 4.49 | 7.73 | 54.59 | 11.05 | 1.62 | 96.68 | 27.21 | 0.02 | 99.77 |
| 2.02 | 2.44 | 7.23 | 4.96 | 7.55 | 62.14 | 12.22 | 1.13 | 97.81 | 30.08 | 0.01 | 99.78 |
| 2.23 | 3.21 | 10.44 | 5.48 | 7.10 | 69.24 | 13.50 | 0.76 | 98.57 | 33.25 | 0.00 | 99.78 |
| 2.46 | 4.07 | 14.51 | 6.06 | 6.43 | 75.68 | 14.92 | 0.49 | 99.07 | 36.75 | 0.00 | 99.79 |
| 2.72 | 4.97 | 19.48 | 6.70 | 5.62 | 81.29 | 16.50 | 0.31 | 99.37 | | | |

| Contact Us | |
|--|--|
| Name: Institute of Life Science, Technology, and Engineering | |
| Address: ARH Building, Campus C Universitas Airlangga, Mulyorejo, Surabaya | |
| Website : arh.unair.ac.id | |

Lampiran 4 : Spesifikasi CuO dan *Methylene blue*



Specification

1.02766.9025 Copper(II) oxide powder for analysis EMSURE® ACS

| | Specification | |
|--|---------------|----|
| Assay (complexometric) | ≥ 99.0 | % |
| Substances insoluble in dilute hydrochloric acid | ≤ 0.02 | % |
| Free Alkali | passes test | |
| Chloride (Cl) | ≤ 0.005 | % |
| Total sulfur (as SO ₄) | ≤ 0.01 | % |
| Total nitrogen (N) | ≤ 0.002 | % |
| C (Carbon) | ≤ 0.01 | % |
| Ca (Calcium) | ≤ 0.01 | % |
| Cr (Chromium) | ≤ 0.05 | % |
| Fe (Iron) | ≤ 0.05 | % |
| K (Potassium) | ≤ 0.02 | % |
| Na (Sodium) | ≤ 0.05 | % |
| Pb (Lead) | ≤ 0.05 | % |
| Particle size (laser diffraction) (d95) | ≤ 160 | µm |

Dr. Martin Blöcker
Responsible laboratory manager quality control

This document has been produced electronically and is valid without a signature.



Specification

1.59270.0100 Methylene blue (C.I. 52015) Reag. Ph Eur

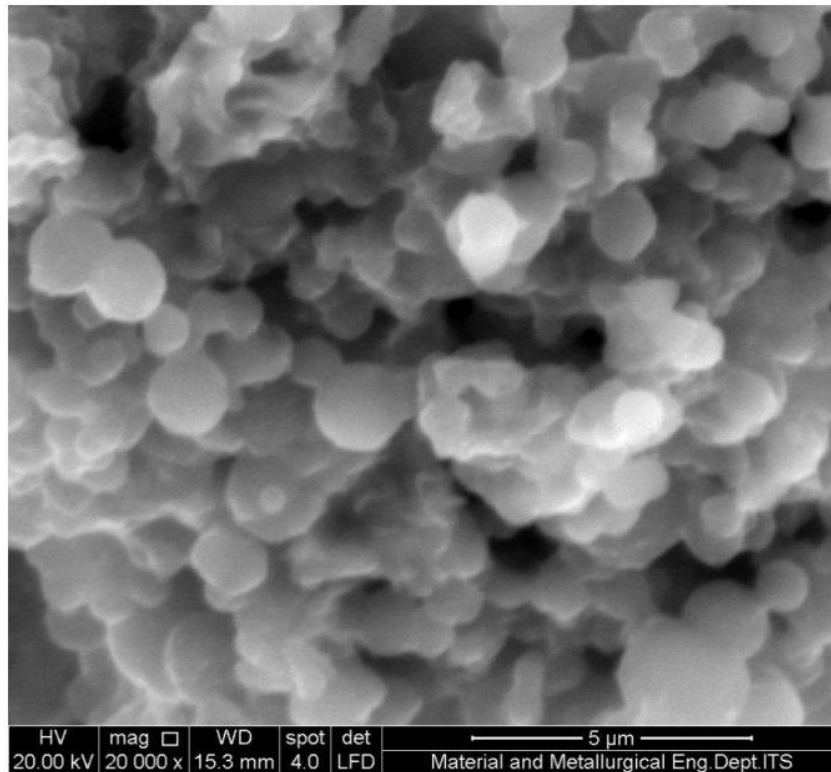
| Specification | | |
|--|---|----|
| Appearance | Dark green powder, eventually with granular and bright parts. | |
| Identity (UV/VIS-Spectrum) | passes test | |
| Absorption maximum λ_{max} (ethanol 50 %) | 660 - 685 | nm |
| Spec. Absorptivity A 1%/1cm (λ_{max} : 0.003 g/l; ethanol 50 %) | 2250 - 2750 | |
| Loss on drying (110 °C) | 10 - 15 | % |

Dr. Michael Mommel
Responsible laboratory manager quality control

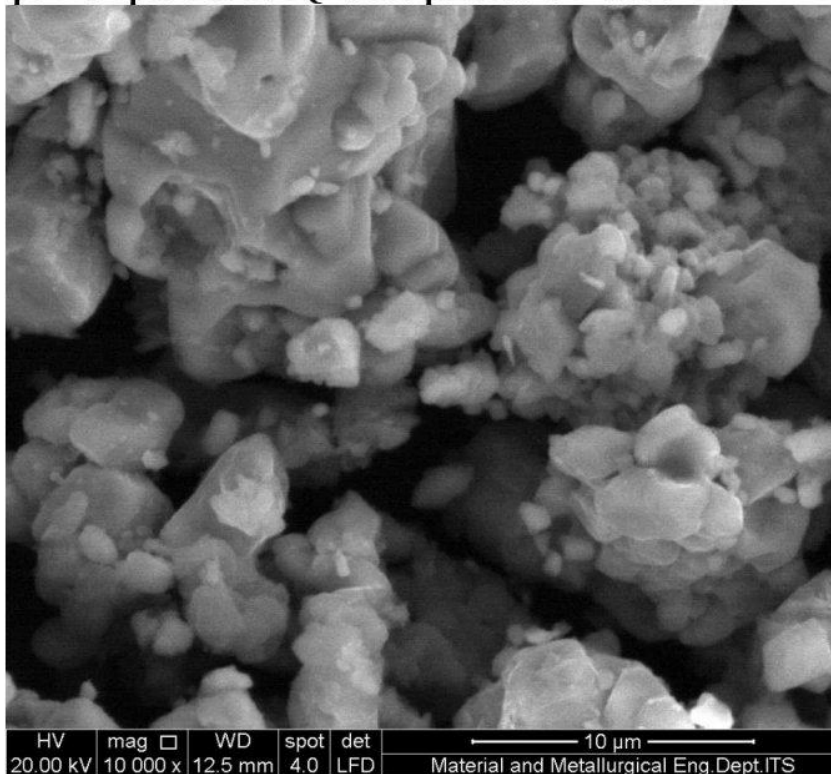
This document has been produced electronically and is valid without a signature.

Lampiran 5 : Hasil Pengujian SEM

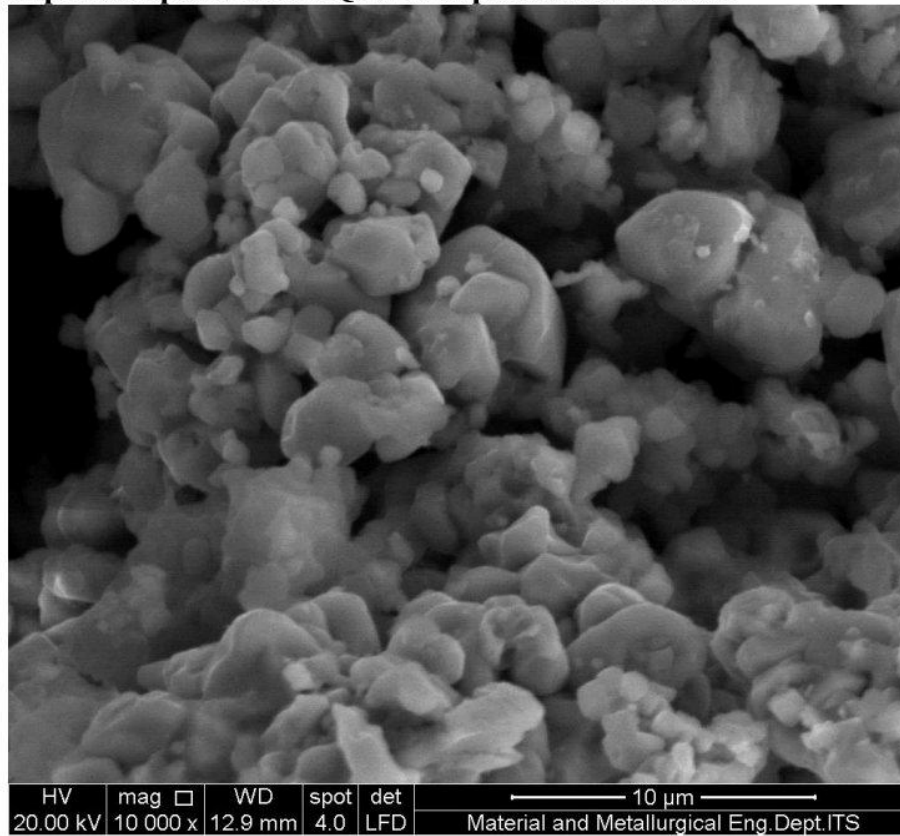
a. Sampel *Carbon Quantum Dots* (CQDs) perbesaran 20.000x



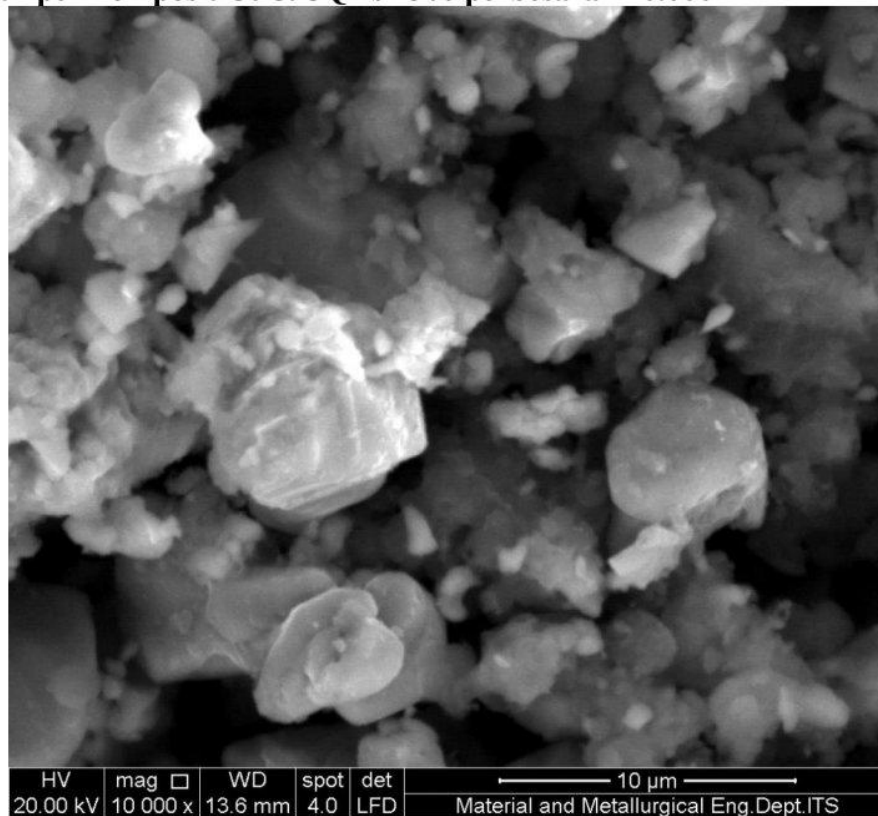
b. Sampel Komposit CuO/CQDs 5% perbesaran 10.000x



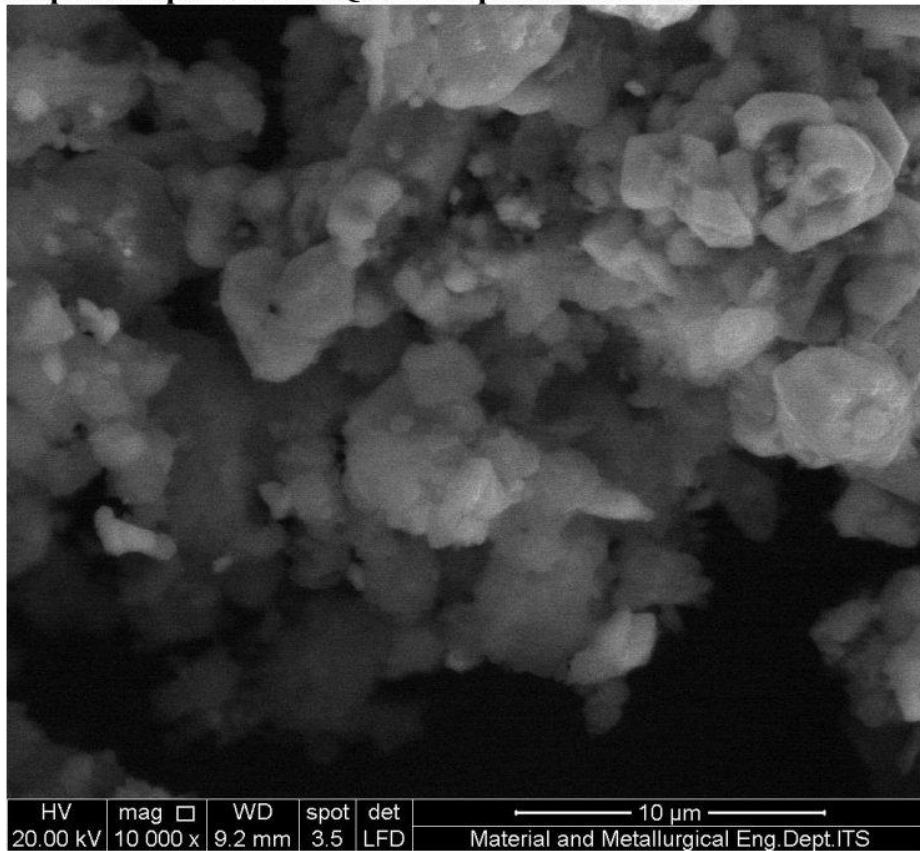
c. Sampel Komposit CuO/CQDs 15% perbesaran 10.000x



d. Sampel Komposit CuO/CQDs 25% perbesaran 10.000x



e. Sampel Komposit CuO/CQDs 35% perbesaran 10.000x



Lampiran 5 : Pengukuran Bandgap

$$(\alpha h\nu)^{\gamma} = B(h\nu - E_g)$$

Dimana,

α = absorbansi

E_g = energi celah pita (eV)

h = konstanta plank (6.626×10^{-34} J.s atau 4.14125×10^{-15} eV.s)

ν = frekuensi (s⁻¹) $\gamma = \frac{1}{2}$ untuk *direct* dan 2 untuk *indirect type*

B = konstanta

a. CuO

| | A(X1) | B(Y1) | C(Y1) | D(Y1) |
|-----------|------------|----------|-------------|-------------------------|
| Long Name | Wavelength | CuO | Energy | CuO |
| Units | nm | | eV | |
| Comments | | | | |
| F(x)= | | | 1240/col(A) | (2,303*col(B)*col(C))^2 |
| Method | | | | |
| 1 | 700 | -0,07679 | 1,77143 | 0,09814 |
| 2 | 698 | -0,07286 | 1,7765 | 0,08886 |
| 3 | 696 | -0,07685 | 1,78161 | 0,09943 |
| 4 | 694 | -0,07537 | 1,78674 | 0,09619 |
| 5 | 692 | -0,0819 | 1,79191 | 0,11423 |
| 6 | 690 | -0,07485 | 1,7971 | 0,09597 |
| 7 | 688 | -0,07129 | 1,80233 | 0,08756 |
| 8 | 686 | -0,07194 | 1,80758 | 0,08969 |
| 9 | 684 | -0,07617 | 1,81287 | 0,10113 |
| 10 | 682 | -0,07217 | 1,81818 | 0,09132 |
| 11 | 680 | -0,06923 | 1,82353 | 0,08453 |
| 12 | 678 | -0,07507 | 1,82891 | 0,09998 |
| 13 | 676 | -0,06919 | 1,83432 | 0,08543 |
| 14 | 674 | -0,06957 | 1,83976 | 0,08689 |
| 15 | 672 | -0,06995 | 1,84524 | 0,08836 |
| 16 | 670 | -0,06818 | 1,85075 | 0,08445 |
| 17 | 668 | -0,06763 | 1,85629 | 0,08359 |
| 18 | 666 | -0,06614 | 1,86186 | 0,08043 |
| 19 | 664 | -0,06303 | 1,86747 | 0,07348 |
| 20 | 662 | -0,06791 | 1,87311 | 0,08582 |
| 21 | 660 | -0,06602 | 1,87879 | 0,0816 |
| 22 | 658 | -0,06493 | 1,8845 | 0,07941 |
| 23 | 656 | -0,06942 | 1,89024 | 0,09133 |
| 24 | 654 | -0,0672 | 1,89602 | 0,0861 |
| 25 | 652 | -0,06964 | 1,90184 | 0,09304 |
| 26 | 650 | -0,07124 | 1,90769 | 0,09796 |
| 27 | 648 | -0,06368 | 1,91358 | 0,07876 |
| 28 | 646 | -0,0676 | 1,9195 | 0,0893 |
| 29 | 644 | -0,06835 | 1,92547 | 0,09186 |
| 30 | 642 | -0,06716 | 1,93146 | 0,08924 |
| 31 | 640 | -0,07445 | 1,9375 | 0,11036 |
| 32 | 638 | -0,07306 | 1,94357 | 0,10694 |
| 33 | 636 | -0,07112 | 1,94969 | 0,10198 |

b. CQDs

| | A(X1) | B(Y1) | C(X2) | D(Y2) |
|-----------|------------|-------------|---------------|------------------------------------|
| Long Name | Wavelength | Sample 1(A) | energy | CQDs |
| Units | | | hv | ($\alpha h\nu$) ² |
| Comments | | | | |
| F(x)= | | | 1240/(Col(A)) | (2,303*col(B)*col(C)) ² |
| 1 | 700 | -0,03748 | 1,77143 | 0,02338 |
| 2 | 698 | -0,04186 | 1,7765 | 0,02933 |
| 3 | 696 | -0,03642 | 1,78161 | 0,02233 |
| 4 | 694 | -0,04084 | 1,78674 | 0,02824 |
| 5 | 692 | -0,03632 | 1,79191 | 0,02247 |
| 6 | 690 | -0,02959 | 1,7971 | 0,015 |
| 7 | 688 | -0,03702 | 1,80233 | 0,02361 |
| 8 | 686 | -0,04163 | 1,80758 | 0,03003 |
| 9 | 684 | -0,04056 | 1,81287 | 0,02868 |
| 10 | 682 | -0,036 | 1,81818 | 0,02272 |
| 11 | 680 | -0,03739 | 1,82353 | 0,02466 |
| 12 | 678 | -0,03743 | 1,82891 | 0,02485 |
| 13 | 676 | -0,03373 | 1,83432 | 0,0203 |
| 14 | 674 | -0,03382 | 1,83976 | 0,02053 |
| 15 | 672 | -0,03361 | 1,84524 | 0,0204 |
| 16 | 670 | -0,03375 | 1,85075 | 0,02069 |
| 17 | 668 | -0,03314 | 1,85629 | 0,02007 |
| 18 | 666 | -0,03419 | 1,86186 | 0,02149 |
| 19 | 664 | -0,03294 | 1,86747 | 0,02007 |
| 20 | 662 | -0,04117 | 1,87311 | 0,03154 |
| 21 | 660 | -0,03679 | 1,87879 | 0,02534 |
| 22 | 658 | -0,03376 | 1,8845 | 0,02147 |
| 23 | 656 | -0,03526 | 1,89024 | 0,02356 |
| 24 | 654 | -0,03671 | 1,89602 | 0,02569 |
| 25 | 652 | -0,0407 | 1,90184 | 0,03178 |
| 26 | 650 | -0,04213 | 1,90769 | 0,03426 |
| 27 | 648 | -0,03943 | 1,91358 | 0,03019 |
| 28 | 646 | -0,03244 | 1,9195 | 0,02056 |
| 29 | 644 | -0,03852 | 1,92547 | 0,02918 |
| 30 | 642 | -0,03545 | 1,93146 | 0,02487 |
| 31 | 640 | -0,04042 | 1,9375 | 0,03253 |
| 32 | 638 | -0,04449 | 1,94357 | 0,03966 |
| 33 | 636 | -0,03726 | 1,94969 | 0,02799 |
| 34 | 634 | -0,04014 | 1,95584 | 0,03269 |
| 35 | 632 | -0,03956 | 1,96203 | 0,03195 |
| 36 | 630 | -0,04177 | 1,96825 | 0,03585 |

c. Komposit CuO/CQDs 25%

| | A(X1) | B(Y1) | C(X2) | D(Y2) |
|-----------|------------|-------------|---------------|------------------------------------|
| Long Name | Wavelength | Sample 1(A) | energy | 25% |
| Units | | | hv | (ahv) ² |
| Comments | | | | |
| F(x)= | | | 1240/(Col(A)) | (2,303*col(B)*col(C)) ² |
| 1 | 700 | 0,06446 | 1,77143 | 0,06915 |
| 2 | 698 | 0,06641 | 1,7765 | 0,07382 |
| 3 | 696 | 0,06649 | 1,78161 | 0,07443 |
| 4 | 694 | 0,06461 | 1,78674 | 0,07068 |
| 5 | 692 | 0,06181 | 1,79191 | 0,06506 |
| 6 | 690 | 0,05798 | 1,7971 | 0,05758 |
| 7 | 688 | 0,06352 | 1,80233 | 0,06951 |
| 8 | 686 | 0,05996 | 1,80758 | 0,0623 |
| 9 | 684 | 0,0584 | 1,81287 | 0,05945 |
| 10 | 682 | 0,0539 | 1,81818 | 0,05094 |
| 11 | 680 | 0,0574 | 1,82353 | 0,05811 |
| 12 | 678 | 0,05482 | 1,82891 | 0,05332 |
| 13 | 676 | 0,05565 | 1,83432 | 0,05527 |
| 14 | 674 | 0,05324 | 1,83976 | 0,05088 |
| 15 | 672 | 0,05376 | 1,84524 | 0,05219 |
| 16 | 670 | 0,059 | 1,85075 | 0,06324 |
| 17 | 668 | 0,05427 | 1,85629 | 0,05383 |
| 18 | 666 | 0,04729 | 1,86186 | 0,04112 |
| 19 | 664 | 0,05309 | 1,86747 | 0,05213 |
| 20 | 662 | 0,04751 | 1,87311 | 0,042 |
| 21 | 660 | 0,04761 | 1,87879 | 0,04244 |
| 22 | 658 | 0,05257 | 1,8845 | 0,05205 |
| 23 | 656 | 0,04964 | 1,89024 | 0,0467 |
| 24 | 654 | 0,04812 | 1,89602 | 0,04415 |
| 25 | 652 | 0,04591 | 1,90184 | 0,04043 |
| 26 | 650 | 0,04683 | 1,90769 | 0,04233 |
| 27 | 648 | 0,04717 | 1,91358 | 0,04321 |
| 28 | 646 | 0,04128 | 1,9195 | 0,0333 |
| 29 | 644 | 0,04015 | 1,92547 | 0,0317 |
| 30 | 642 | 0,0431 | 1,93146 | 0,03675 |
| 31 | 640 | 0,03705 | 1,9375 | 0,02733 |
| 32 | 638 | 0,04133 | 1,94357 | 0,03422 |
| 33 | 636 | 0,04284 | 1,94969 | 0,037 |
| 34 | 634 | 0,0426 | 1,95584 | 0,03682 |
| 35 | 632 | 0,02913 | 1,96203 | 0,01733 |
| 36 | 630 | 0,03604 | 1,96825 | 0,02669 |

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

UCAPAN TERIMAKASIH

Segala proses yang telah dilalui, Penulis memanjatkan syukur kehadiran Tuhan YME. yang telah memberikan nikmat dan energi positif sehingga Penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir. Dalam penulisan laporan penelitian tugas akhir Penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan, diantaranya:

1. Dua orang paling berjasa dalam hidup Penulis, Ibu Judika Hutapea dan Bapak Mangara Silaen. Terima kasih atas kepercayaan yang diberikan, atas izin merantau dari Ibu & Bapak, pengorbanan, cinta, doa, motivasi, semangat, nasihat, dan candaan yang tiada hentinya diberikan kepada Penulis. Penulis juga berterima kasih untuk segala dukungan tanpa lelah atas keputusan dan pilihan dalam hidup Penulis. Terima kasih telah kebersamai Penulis dalam meraih gelar sarjana.
2. Saudara dan saudari Penulis, Suzanna Silaen, Suryani Silaen, Susi Silaen, Sahat Sakkot Silaen, dan Hotman Silaen. Terima kasih atas cinta kasih, doa, usaha, dukungan, dan motivasi yang telah diberikan kepada Penulis.
3. Bapak Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T. dan Ibu Rindang Fajarin, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing yang membantu, mendukung, dan memberikan bimbingan, semangat, dan motivasi kepada Penulis.
4. Ibu Azzah Dyah Pramata, S.T., M.T., M.Eng., Ph.D. dan Bapak Respati Kevin Prama Dewandaru, S.Si., M.Sc., Ph.D. selaku dosen penguji seminar Tugas Akhir yang telah memberikan arahan dan saran.
5. Mba Yenny selaku petugas Lab Material yang membantu penguji dalam melakukan pengujian.
6. Saudari Amanda Pradani, terima kasih karena selalu menemani Penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir, membantu, dan menyemangati Penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir.
7. Reza Maulana Majid (Bocil) sebagai partner Penulis dalam mengerjakan tugas akhir. Terima kasih telah kebersamai pengerjaan tugas akhir dari setiap kendala yang ada.
8. Anggota Lab Kimia Material Yusuf Bayu, Thiery Reyhan, Alamanda Kartika, dan Fathan karena kebersamai penulis dalam mengerjakan tugas akhir dan bercanda pada saat saat sulit.
9. Teman teman MT 22 selaku teman seangkatan Penulis dalam menjalani perkuliahan di Teknik Material dan Metalurgi.
10. Teman teman Yasop 28 selaku teman dekat penulis dari mulai SMA sampai saat ini. Terima kasih sudah menjadi tempat berbagi cerita dan keluh kesah selama ini. Semoga pertemanan ini tetap terjaga dan semoga apa yang masing masing dari kita cita citakan dapat tercapai.
11. Serta kepada semua pihak yang tidak dapat Penulis sebutkan satu persatu.

Akhir kata, semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat untuk pengembangan penelitian lebih lanjut dan siapapun yang membutuhkan di masa mendatang.

Surabaya, 29 Juli 2024
Penulis

Josua Budiman Silaen

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis dengan nama Josua Budiman Silaen lahir di Narumonda pada 13 November 2002 dari orangtua yang bernama Bapak Mangara Silaen dan Ibu Judika Hutapea. Penulis merupakan anak kelima dari enam bersaudara. Penulis menempuh Pendidikan formal dimulai dari TK Pelangi Kasih tahun 2007-2008. Dilanjutkan di SDN 173637 Narumonda pada tahun 2008-2014 dan SMPS Budhi Dharma Balige tahun 2014-2017. Kemudian, dilanjutkan di SMAN 2 Balige pada tahun 2017-2020. Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan Pendidikan pada tahun 2020 S-1 di Departemen Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem di salah satu perguruan tinggi di Surabaya, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Selama berkuliah, penulis aktif mengikuti kegiatan pelatihan manajerial, kewirausahaan, organisasi, dan keilmiahan seperti LKMM Pra-TD, LKWM TD, dan PKTI TD. Penulis juga aktif dalam kegiatan organisasi dengan menjadi Staff Badan Semi Otonom Minat Bakat HMMT ITS. Penulis memiliki pengalaman keprofesian melalui kegiatan kerja praktik di PLTU KPJB Jepara selama 1 bulan pada Divisi Teknologi dan juga magang di PT INKA Persero selama 6 bulan pada Divisi *Quality Control*. Untuk menyelesaikan Pendidikan S-1, penulis melakukan penelitian dalam bidang studi Material Inovatif dengan tugas akhir berjudul “Analisis Pengaruh Penambahan Massa *Carbon Quantum Dots (CQDs)* Dari Limbah Puntung Rokok Terhadap Sifat Fotokatalisis Komposit CuO/CQDs Untuk Degradasi *Methylene Blue*”. Penulis dapat dihubungi melalui Alamat email: josua.b.silaen@gmail.com dan nomor handphone 082253915366.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)