

**TUGAS AKHIR – TL184834**

**ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN MASSA *S-DOPED POROUS CARBON* DARI LIMBAH MASKER MEDIS TERHADAP SIFAT FOTOKATALISIS KOMPOSIT *S-DOPED POROUS CARBON/CuO* UNTUK DEGRADASI *METHYLENE BLUE***

**RIFAUL AMELIA**  
NRP. 0251184000096

Dosen Pembimbing  
**Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.**  
NIP. 199007262015041002  
**Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.**  
NIP. 197701062003122001

**Program Studi Teknik Material**  
Departemen Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2022





**TUGAS AKHIR – TL184834**

**ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN MASSA *S-DOPED POROUS CARBON* DARI LIMBAH MASKER MEDIS TERHADAP SIFAT FOTOKATALISIS KOMPOSIT *S-DOPED POROUS CARBON/CuO* UNTUK DEGRADASI *METHYLENE BLUE***

**RIFAUL AMELIA**  
NRP. 02511840000096

Dosen Pembimbing  
**Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.**  
NIP. 199007262015041002  
**Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.**  
NIP. 197701062003122001

**Program Studi Teknik Material**  
Departemen Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2022

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**FINAL PROJECT – TL184834**

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF ADDING MASS OF S-DOPED POROUS CARBON FROM MEDICAL WASTE MASK ON THE PHOTOCATALYSIS PROPERTIES OF S-DOPED POROUS CARBON/CuO COMPOSITES FOR METHYLENE BLUE DEGRADATION**

**RIFAUL AMELIA**  
NRP. 02511840000096

Advisor  
**Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.**  
NIP. 199007262015041002  
**Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.**  
NIP. 197701062003122001

**Study Program of Materials Engineering**  
Departement of Materials and Metallurgical Engineering  
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2022

*(This page is intentionally blank)*

## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN MASSA *S-DOPED POROUS CARBON* DARI LIMBAH MASKER MEDIS TERHADAP SIFAT FOTOKATALISIS KOMPOSIT *S-DOPED POROUS CARBON/CuO* 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 : RIFAUL AMELIA  
NRP. 0251184000096

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T



Pembimbing

2. Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D



Ko Pembimbing

3. Ir. Moh Farid, DEA



Penguji

4. Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si



Penguji



SURABAYA  
Juli 2022

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## APPROVAL SHEET

### ANALYSIS OF THE EFFECT OF ADDING MASS OF S-DOPED POROUS CARBON FROM MEDICAL WASTE MASK ON THE PHOTOCATALYSIS PROPERTIES OF S-DOPED POROUS CARBON/CuO 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 Materials Engineering  
Departement of Materials and Metallurgical Engineering  
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By : RIFAUL AMELIA  
NRP. 0251184000096

Approved by Final Project Examiner Team :

1. Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T



Advisor

2. Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D



Co-Advisor

3. Ir. Moh Farid, DEA



Examiner

4. Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si



Examiner



SURABAYA  
Juli, 2022

*(This page is intentionally blank)*

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa/NRP : Rifaul Amelia/0251184000096  
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi  
Dosen Pembimbing/NIP : Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T./  
199007262015041002

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN MASSA *S-DOPED POROUS CARBON* DARI LIMBAH MASKER MEDIS TERHADAP SIFAT FOTOKATALISIS KOMPOSIT *S-DOPED POROUS CARBON/CuO* 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, 25 Juli 2022

Mengetahui  
Dosen Pembimbing



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

Mahasiswa



(Rifaul Amelia)  
NRP. 0251184000096

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student/NRP : Rifaul Amelia/02511840000096  
Departement : Materials and Metallurgical Engineering  
Advisor/NIP : Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T./  
199007262015041002

Hereby declare that the Final Project with the title of "ANALYSIS OF THE EFFECT OF ADDING MASS OF S-DOPED POROUS CARBON FROM MEDICAL WASTE MASK ON THE PHOTOCATALYSIS PROPERTIES OF S-DOPED POROUS CARBON/CuO 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 25<sup>th</sup> 2022

Acknowledged  
Advisor

Student



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



(Rifaul Amelia)  
NRP. 02511840000096

*(This page is intentionally blank)*

**ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN MASSA *S-DOPED POROUS CARBON*  
DARI LIMBAH MASKER MEDIS TERHADAP SIFAT FOTOKATALISIS  
KOMPOSIT *S-DOPED POROUS CARBON/CuO* UNTUK DEGRADASI *METHYLENE  
BLUE***

**Nama Mahasiswa / NRP** : Rifaul Amelia/02511840000096  
**Departemen** : Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.

**Abstrak**

Proses *solvothermal* menggunakan senyawa asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) dilakukan untuk *doping* sulfur pada limbah masker medis menghasilkan material *S-Doped Porous Carbon*. *S-Doped Porous Carbon* merupakan bahan karbon berpori yang memiliki luas permukaan yang besar. *S-Doped Porous Carbon* dapat dikombinasikan dengan semikonduktor CuO menjadi komposit fotokatalis yang dimanfaatkan dalam proses degradasi limbah zat warna *Methylene Blue*. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis pengaruh penambahan massa *S-Doped Porous Carbon* terhadap struktur dan morfologi komposit *S-Doped Porous Carbon/CuO* dan kemampuan komposit *S-Doped Porous Carbon/CuO* dalam mendegradasi limbah *Methylene Blue*. Metode penelitian ini adalah eksperimen, terdiri sintesis CuO, sintesis *S-Doped Porous Carbon*, dan sintesis komposit *S-Doped Porous carbon/CuO* dengan variasi penambahan massa *S-Doped Porous Carbon* 0,3g, 0,5g, 0,7g. Kemudian dilakukan pengujian karakterisasi material meliputi uji XRD, FTIR, SEM/EDX, BET, spektrofotometri UV-Vis dan GC-MS. Berdasarkan pengujian karakterisasi XRD, FTIR, SEM/EDX menunjukkan bahwa komposit *S-Doped Porous Carbon/CuO* berhasil terbentuk. Selanjutnya pada hasil uji BET diperoleh nilai *surface area S-Doped Porous Carbon* teraktivasi yaitu sebesar 902.098 m<sup>2</sup>/g. Pada hasil uji fotokatalisis dan spektrofotometri UV-Vis menunjukkan bahwa komposit *S-Doped Porous Carbon/CuO* dengan penambahan massa *S-Doped Porous Carbon* 0,7 gram memiliki tingkat efisiensi degradasi paling tinggi dengan waktu penyinaran selama 2 jam yaitu sebesar 80,9%. Selanjutnya pada hasil pengujian GCMS menunjukkan bahwa senyawa *methylene blue* hasil fotokatalisis merupakan senyawa organik yang tidak berbahaya dan beracun.

**Kata Kunci:** *CuO, Fotokatalis, Masker, Methylene Blue, S-Doped Porous Carbon*

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



# **ANALYSIS OF THE EFFECT OF ADDING MASS OF S-DOPED POROUS CARBON FROM MEDICAL WASTE MASK ON THE PHOTOCATALYSIS PROPERTIES OF S-DOPED POROUS CARBON/CuO COMPOSITES FOR METHYLENE BLUE DEGRADATION**

**Student Name / NRP** : Rifaul Amelia/02511840000096  
**Departement** : Material and Metallurgical Engineering  
**Advisor** : Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.

## **Abstract**

The solvothermal process using sulfuric acid ( $H_2SO_4$ ) was carried out for sulfur doping in medical mask waste to produce S-Doped Porous Carbon. S-Doped Porous Carbon is a porous carbon material that has a large surface area. S-Doped Porous Carbon can be combined with the degradation of the CuO semiconductor into a composite photocatalyst which is utilized in the Methylene Blue wastewater process. The purpose of this study was to analyze the effect of adding mass of S-Doped Porous Carbon to the structure and morphology of the S-Doped Porous Carbon/CuO composite and the ability of the S-Doped Porous Carbon/CuO composite in degrading Methylene Blue waste. This research method is experimental, consisting of synthesis of CuO, synthesis of S-Doped Porous Carbon, and synthesis of S-Doped Porous Carbon/CuO with variations in the addition of mass of S-Doped Porous Carbon 0.3g, 0.5g, 0.7g. Then the material characterization tests were carried out including XRD, FTIR, SEM/EDX, BET, UV-Vis spectrophotometry and GC-MS tests. Based on the XRD, FTIR, SEM/EDX characterization tests, it was shown that the S-Doped Porous Carbon/CuO composite was successfully formed. Furthermore, the BET test results obtained the surface area value of activated S-Doped Porous Carbon, which is 902,098  $m^2/g$ . The results of photocatalysis and UV-Vis spectrophotometry showed that the S-Doped Porous Carbon/CuO composite with the addition of 0.7 grams of S-Doped Porous Carbon mass had the highest level of degradation efficiency with an irradiation time of 2 hours, which was 80.9%. Furthermore, the results of the GCMS test showed that the photocatalyzed methylene blue compound was an organic compound that was harmless and toxic.

**Keywords:** *CuO, Mask, Methylene Blue, Photocatalyst, S-Doped Porous Carbon*

*(This page is intentionally blank)*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir dengan judul, “ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN MASSA *S-DOPED POROUS CARBON* DARI LIMBAH MASKER MEDIS TERHADAP SIFAT FOTOKATALISIS KOMPOSIT *S-DOPED POROUS CARBON/CuO* UNTUK DEGRADASI *METHYLENE BLUE*”. terselesaikannya laporan tugas akhir ini tidak luput dari dukungan, bantuan, motivasi serta partisipasi dari semua pihak, untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T. dan Ibu Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D., selaku dosen pembimbing tugas akhir atas segala ilmu dan bimbingan yang telah diberikan selama pelaksanaan tugas akhir hingga laporan selesai.
2. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M..Si., Ph.D., selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi FT-IRS ITS
3. Ibu Dian Mughni F., S.T., M.Sc., selaku dosen wali penulis yang senantiasa memberikan arahan selama masa perkuliahan.
4. Bapak/Ibu Dosen yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu kepada penulis
5. Orang tua, keluarga, dan teman kuliah penulis yang selalu memberikan dukungan kepada penulis. Penulis menyadari bahwa penyusunan laporan ini masih jauh dari kata sempurna. Untuk itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis dan semua pihak terkait.

Surabaya, 25 Juli 2022

Penulis

Rifaul Amelia

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR ISI

<b>Abstrak</b> .....	<b>xiii</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>xv</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xxi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xxiii</b>
<b>1 BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>3</b>
2.1 Masker Medis Sekali Pakai .....	3
2.2 <i>S-Doped Porous Carbon</i> (SDPC) .....	4
2.3 Metode Oven Solvothermal .....	5
2.4 Aktivasi Karbon .....	6
2.4.1 Dehidrasi .....	6
2.4.2 Karbonisasi .....	6
2.4.3 Proses Aktivasi .....	7
2.5 Copper (II) Oxide (CuO) .....	8
2.5.1 Semikonduktor CuO .....	8
2.5.2 Sintesis CuO .....	9
2.6 <i>Methylene Blue</i> .....	10
2.7 Fotokatalis .....	11
2.7.1 Fotokatalisis .....	11
2.8 Adsorpsi .....	12
2.9 Penelitian Sebelumnya .....	14
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>19</b>
3.1 Bahan Penelitian .....	19
3.2 Alat Penelitian .....	19
3.3 Diagram Alir .....	21
3.3.1 Sintesis CuO .....	21
3.3.2 Sintesis Masker .....	22
3.3.3 Sintesis Komposit <i>S-Doped Porous Carbon</i> /CuO .....	23
3.3.4 Pengujian Fotokatalisis .....	24
3.4 Metode Penelitian .....	25
3.4.1 Sintesis CuO .....	25
3.4.2 Sintesis <i>S-Doped Porous Carbon</i> .....	25
3.4.3 Sintesis Komposit <i>S-Doped Porous Carbon</i> /CuO .....	25
3.5 Pengujian .....	26
3.5.2 XRD ( <i>X-ray Powder Diffraction</i> ) .....	26
3.5.3 FTIR ( <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> ) .....	28
3.5.3 SEM ( <i>Scanning Electron Microscopy</i> ) dan EDX ( <i>Energy Dispersive X-Ray Analysis</i> ) .....	29
3.5.4 Spektrofotometri UV-Vis .....	31
3.5.5 Pengujian <i>Brunaur, Emmett and Teller</i> (BET) .....	31
3.5.6 Pengujian <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometer</i> (GCMS) .....	32
3.6 Rancangan Penelitian .....	33
3.7 Jadwal Penelitian .....	34
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>35</b>

4.1 Hasil Pengujian <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	35
4.2 Hasil Pengujian <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR).....	38
4.3 Hasil Pengujian Scanning Electron Microscope (SEM) dan <i>Energy Dispersive X-Ray Analysis</i> (EDX) .....	40
4.4 Hasil Pengujian Brunaur,Emmett and Teller (BET).....	45
4.5 Hasil Pengujian UV-Vis.....	46
4.6 Hasil Pengujian Fotokatalitik.....	47
4.7 Hasil Pengujian <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometer</i> (GCMS) .....	54
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>57</b>
5.1 Kesimpulan .....	57
5.2 Saran.....	57
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>59</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>63</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b>	Bagian lapisan masker medis sekali pakai .....	3
<b>Gambar 2. 2</b>	(a) Analisa SEM karbon aktif tidak berpori (b) Analisa SEM karbon aktif berpori .....	4
<b>Gambar 2. 3</b>	Komponen dalam oven .....	5
<b>Gambar 2. 4</b>	Struktur Kristal CuO .....	9
<b>Gambar 2. 5</b>	Ikatan kimia <i>methylene blue</i> .....	10
<b>Gambar 2. 6</b>	Fotokatalisis <i>particulate semiconductor</i> (a) Penyebaran partikel pada reaktor tunggal (b) Reaksi pada fotokatalisis <i>particulate semiconductor</i> .....	12
<b>Gambar 2. 7</b>	Hasil uji XRD material CuO .....	14
<b>Gambar 2. 8</b>	Hasil uji XRD <i>S-Doped Porous Carbon</i> .....	15
<b>Gambar 2. 9</b>	Hasil uji FTIR CuO .....	15
<b>Gambar 2. 10</b>	Hasil uji FTIR material masker dan <i>S-Doped Porous Carbon</i> .....	16
<b>Gambar 2. 11</b>	Hasil uji SEM material CuO .....	16
<b>Gambar 2. 12</b>	Hasil uji SEM material <i>S-Doped Porous Carbon</i> .....	17
<b>Gambar 2. 13</b>	Hasil uji UV-Vis <i>methylene blue</i> menggunakan .....	17
<b>Gambar 3. 1</b>	Diagram alir sintesis CuO 21 .....	
<b>Gambar 3. 2</b>	Diagram alir sintesis masker .....	22
<b>Gambar 3. 3</b>	Diagram alir sintesis komposit <i>S-Doped Porous Carbon /CuO</i> .....	23
<b>Gambar 3. 4</b>	Diagram alir pengujian fotokatalisis .....	24
<b>Gambar 3. 5</b>	Alat pengujian XRD .....	28
<b>Gambar 3. 6</b>	Alat uji FTIR .....	29
<b>Gambar 3. 7</b>	Skema prinsip kerja FTIR .....	29
<b>Gambar 3. 8</b>	Prinsip kerja SEM .....	30
<b>Gambar 3. 9</b>	Alat uji SEM .....	30
<b>Gambar 3. 10</b>	Mesin UV-Vis <i>Genesys 10S UV-Vis Spectrometer</i> .....	31
<b>Gambar 3. 11</b>	Alat pengujian BET .....	32
<b>Gambar 3. 12</b>	Instrumentasi alat GC-MS .....	33
<b>Gambar 4. 1</b>	Hasil pengujian XRD masker sekali pakai, <i>S-Doped Porous Carbon</i> dan <i>S-Doped Porous Carbon</i> teraktivasi .....	35
<b>Gambar 4. 2</b>	Hasil pengujian XRD material <i>S-Doped Porous Carbon</i> .....	35
<b>Gambar 4. 3</b>	Hasil pengujian XRD pada material CuO .....	36
<b>Gambar 4. 4</b>	Hasil pengujian XRD material komposit <i>S-Doped Porous Carbon/CuO</i> .....	37
<b>Gambar 4. 5</b>	Hasil pengujian FTIR material masker, <i>S-Doped Porous Carbon</i> dan <i>S-Doped Porous Carbon</i> teraktivasi .....	39
<b>Gambar 4. 6</b>	Hasil pengujian FTIR material CuO dan komposit <i>S-Doped Porous Carbon/CuO</i> .....	40
<b>Gambar 4. 7</b>	Hasil pengujian SEM <i>S-Doped Porous Carbon</i> .....	41
<b>Gambar 4. 8</b>	Hasil pengujian SEM CuO perbesaran, (a) 1000x, (b) 5000x .....	41
<b>Gambar 4. 9</b>	Hasil pengujian SEM untuk material komposit CuO/ <i>S-Doped Porous Carbon</i> dengan penambahan massa <i>S-Doped Porous Carbon</i> , (a) 0,3gram perbesaran 1000x, (b) pada perbesaran 2500x, (c) 0,5 gram perbesaran 1000x, (d) pada perbesaran 2500x, (e) 0,7 gram perbesaran 1000x, (f) pada perbesaran 2500x .....	42
<b>Gambar 4. 10</b>	Hasil kurva EDX <i>S-Doped Porous Carbon</i> teraktivasi .....	43
<b>Gambar 4. 11</b>	Hasil kurva EDX CuO/SDPC 0,3 .....	43
<b>Gambar 4. 12</b>	Hasil kurva EDX CuO/SDPC 0,5 .....	44
<b>Gambar 4. 13</b>	Hasil EDX CuO/SDPC 0,7 .....	45

<b>Gambar 4. 14</b> Hasil uji UV-Vis <i>methylene blue</i> .....	46
<b>Gambar 4. 15</b> Kurva regresi linear hubungan konsentrasi terhadap absorbansi .....	47
<b>Gambar 4. 16</b> Kurva nilai absorbansi katalis <i>S-Doped Porous Carbon/CuO</i> terhadap degradasi <i>methylene blue</i> .....	48
<b>Gambar 4. 17</b> Kurva nilai ppm katalis <i>S-Doped Porous Carbon/CuO</i> terhadap degradasi <i>methylene blue</i> .....	50
<b>Gambar 4. 18</b> Kurva nilai presentase degradasi katalis <i>S-Doped Porous Carbon/CuO</i> terhadap degradasi <i>methylene blue</i> .....	51
<b>Gambar 4. 19</b> Hubungan nilai absorbansi dengan panjang gelombang terhadap degradasi <i>methylene blue</i> .....	52
<b>Gambar 4. 20</b> Hubungan nilai absorbansi, panjang gelombang dan lama waktu penyinaran terhadap degradasi <i>methylene blue</i> .....	53
<b>Gambar 4. 21</b> Skema Fotokatalis .....	53



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b> Komposisi kimia masker bedah sekali pakai .....	3
<b>Tabel 2. 2</b> Tingkat toksisitas dosis <i>methylene blue</i> .....	10
<b>Tabel 2. 3</b> Penelitian sebelumnya terhadap degradasi .....	14
<b>Tabel 3. 1</b> Informasi hasil pengujian XRD .....	28
<b>Tabel 3. 2</b> Rancangan Penelitian.....	33
<b>Tabel 3. 3</b> Jadwal Penelitian .....	34
<b>Tabel 4. 1</b> Hasil perhitungan nilai ukuran kristal dari sampel CuO dan komposit <i>S-Doped Porous Carbon/CuO</i> .....	38
<b>Tabel 4. 2</b> Gugus fungsi dan nilai <i>wavenumber</i> material masker, <i>S-Doped Porous Carbon</i> dan <i>S-Doped Porous Carbon</i> teraktivasi .....	39
<b>Tabel 4. 3</b> Gugus fungsi dan nilai <i>wavenumber</i> material masker, <i>S-Doped Porous Carbon</i> dan <i>S-Doped Porous Carbon</i> teraktivasi .....	40
<b>Tabel 4. 4</b> Komposisi unsur sampel <i>S-Doped Porous Carbon</i> teraktivasi .....	43
<b>Tabel 4. 5</b> Komposisi sampel komposit CuO/SDPC 0,3 .....	44
<b>Tabel 4. 6</b> Komposisi sampel komposit CuO/SDPC 0,5 .....	44
<b>Tabel 4. 7</b> Komposisi sampel komposit CuO/SDPC 0,7 .....	45
<b>Tabel 4. 8</b> Hasil BET <i>S-Doped Porous Carbon</i> dan <i>S-Doped Porous Carbon</i> teraktivasi .....	45
<b>Tabel 4. 9</b> Nilai absorbansi <i>methylene blue</i> pada setiap konsentrasi uji.....	47
<b>Tabel 4. 10</b> Nilai absorbansi larutan <i>methylene blue</i> setiap katalis sampel katalis.....	48
<b>Tabel 4. 11</b> Nilai ppm larutan <i>methylene blue</i> setiap sampel katalis .....	49
<b>Tabel 4. 12</b> Nilai presentase degradasi larutan <i>methylene blue</i> setiap sampel katalis <i>S-Doped Porous Carbon/CuO</i> .....	51
<b>Tabel 4. 13</b> Hasil pengujian GCMS pada larutan <i>methylene blue</i> hasil degradasi .....	54
<b>Tabel 4. 14</b> Tabulasi karakterisasi <i>S-Doped Porous Carbon</i> dan CuO .....	56

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Saat ini, penyakit COVID-19 telah menyebar luas ke seluruh dunia. Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) telah menyatakan wabah COVID-19 sebagai pandemi pada Maret 2020, semenjak munculnya penyakit COVID-19 kehidupan manusia telah dipengaruhi secara signifikan. (Bahl et al., 2020) Saat ini, produksi dan penggunaan masker telah meningkat secara eksponensial. Disamping itu dengan meningkatnya penggunaan masker medis sekali pakai akan menghasilkan pembuangan jutaan sampah masker setiap harinya. Masker medis sekali pakai sebagian besar dibuang sebagai sampah, yang dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan. (Gilbert et al., 2020) Limbah zat warna merupakan limbah senyawa organik yang dapat membahayakan lingkungan. Hal tersebut dikarenakan sifat dari limbah zat warna yang sukar terurai, bersifat resisten dan toksik. Beberapa kandungan di dalam limbah zat warna yang berbahaya misalnya *rhodamine B* dan *methylene blue*. *Methylene blue* merupakan salah satu zat warna *thiazine* yang sering digunakan terutama pada industri tekstil. *Methylene blue* memiliki harga yang cukup ekonomis dan mudah didapatkan sehingga menjadi salah satu pilihan utama dalam pemanfaatannya sebagai pewarnaan kain mori, kain katun, tannin dan lain-lain. Namun, penggunaan *methylene blue* memiliki efek samping yang berbahaya, seperti iritasi saluran pencernaan apabila tertelan, iritasi pada kulit apabila tersentuh serta dapat menimbulkan sianosis apabila terhirup. (Guo et al., 2014)

Masker medis sekali pakai terdiri dari tiga lapisan *polypropylene* (PP). *polypropylene* mengandung karbon dalam jumlah yang besar sehingga *polypropylene* memiliki potensi besar sebagai bahan dasar karbon. Beberapa penelitian telah dilakukan guna mensintesis bahan karbon berpori dengan memanfaatkan *polypropylene* gasifikasi yang diperoleh dari dekomposisi thermal. (Gong et al., 2014) Asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) merupakan salah satu senyawa yang dapat menghancurkan dan mengkarbonisasi beberapa jenis plastik yang kompleks secara struktural seperti yang digunakan pada masker medis sekali pakai. Proses solvothermal menggunakan senyawa asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) dilakukan untuk *doping* sulfur pada material karbon berpori menghasilkan material *S-Doped Porous Carbon*. (Yuwen et al., 2022). Pemberian *doping* diharapkan dapat mensubstitusi atom karbon, sehingga atom pendoping harus memiliki jari-jari atom yang hampir sama dengan jari-jari karbon, (Sahu et al., 2015) diantaranya unsur N, P, S, B, dan O. (Jeon et al., 2021) material *S-Doped Porous Carbon* hasil sintesis memiliki luas permukaan aktif yang tinggi, sehingga dapat dimanfaatkan untuk degradasi limbah zat warna.

Pembuangan limbah zat warna tanpa pengolahan dapat menyebabkan banyak efek samping yang membahayakan. Hal tersebut dapat diminimalisir dengan pengolahan tertentu seperti adsorpsi. Adsorpsi merupakan salah satu metode pemisahan air dari zat beracun yang sering digunakan karena efektif dalam segi ekonomi, sistem operasi, desain dan sensitifitas. (Mohammad et al., 2010) Akan tetapi, metode ini memiliki kekurangan yaitu zat yang diadsorpsi terakumulasi di dalam adsorben sehingga dapat memunculkan masalah baru. Oleh karena itu, fotodegradasi dengan menggunakan bahan katalis semikonduktor metal oksida seperti  $TiO_2$ ,  $ZnO$ ,  $CuO$  dan radiasi sinar ultraviolet menjadi metode tambahan untuk menguraikan limbah zat warna menjadi komponen-komponen yang lebih sederhana yang ramah lingkungan. (Sunardi et al., 2012) Salah satu semikonduktor yang sering digunakan adalah  $CuO$ . Hal ini dikarenakan  $CuO$  memiliki nilai band gap energi yang rendah yaitu 1,21-1,9 eV, sehingga elektron bisa berpindah dari pita valensi ke pita konduksi dengan sangat mudah, sehingga proses fotodegradasi menjadi lebih maksimal. (Serin et al., 2005)

Penelitian mengenai sintesis *S-Doped Porous Carbon* pada limbah masker medis sekali pakai secara keseluruhan masih belum banyak dibahas. Oleh karena itu, penelitian ini terfokus pada sintesis dan penambahan massa *S-Doped Porous Carbon* dari bahan dasar limbah masker medis sekali pakai pada komposit *S-Doped Porous Carbon/CuO* sebagai langkah untuk meningkatkan sifat fotokatalisis terhadap kemampuan dalam mendegradasi *methylene blue*.

### 1.2 Perumusan Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh variasi massa *S-Doped Porous Carbon* terhadap struktur dan morfologi komposit *S-Doped Porous Carbon/CuO*?
2. Bagaimana pengaruh variasi massa *S-Doped Porous Carbon* pada *S-Doped Porous Carbon/CuO* dalam peningkatan sifat fotokatalisis untuk degradasi *methylene blue*?

### 1.3 Batasan Masalah

Untuk menganalisis permasalahan dalam penelitian, terdapat beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Konsentrasi *methylene blue* dianggap sama
2. Fluktuasi temperatur *furnace* diabaikan
3. Tekanan dan temperatur udara sekitar dianggap konstan
4. *Materials loss* dianggap tidak ada pada saat reaksi
5. Kecepatan *stirring* dianggap konstan

### 1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh variasi massa *S-Doped Porous Carbon* terhadap struktur dan morfologi komposit *S-Doped Porous Carbon/CuO*.
2. Menganalisis pengaruh variasi massa *S-Doped Porous Carbon* pada *S-Doped Porous Carbon/CuO* dalam peningkatan sifat fotokatalisis untuk degradasi *methylene blue*.

### 1.5 Manfaat Penelitian

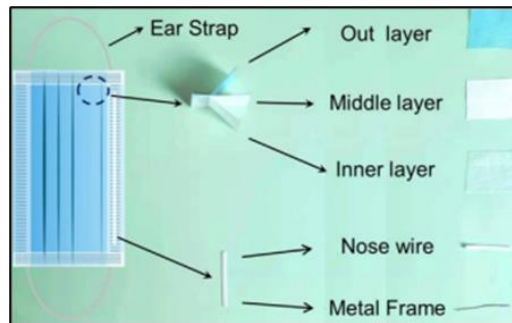
Adapun manfaat pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan ilmu pengetahuan terkait bagaimana mengatasi limbah cair dari perusahaan tekstil berupa *methylene blue*.
2. Memberikan informasi dan rujukan terkait proses sintesis *S-Doped Porous Carbon* dari limbah masker medis sekali pakai.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Masker Medis Sekali Pakai

Masker bedah sekali pakai saat ini sudah menjadi kebutuhan wajib bagi seluruh masyarakat di tengah pandemi COVID-19. Masker bedah sekali pakai terdiri dari 3 lapisan yang berbeda-beda dengan masing-masing lapisan yang memiliki fungsi tertentu. Lapisan terluar (biasanya berwarna biru atau hijau) bersifat tahan air yang berfungsi untuk menahan atau mencegah cairan repelfluida seperti tetesan mukosaliva. Bagian lapisan tengah adalah filter yang berfungsi untuk mencegah partikel atau patogen di atas ukuran tertentu untuk masuk di salah satu arah. Lapisan paling dalam dibuat dari bahan penyerap yang berfungsi untuk menjebak tetesan mukosaliva dari pengguna. Lapisan ini juga dapat menyerap kelembapan dari udara yang dihembuskan, sehingga meningkatkan kenyamanan pemakaiannya. Ketiga lapisan pada masker bedah sekali pakai ini secara efektif melindungi pengguna dan orang di sekitarnya dengan membatasi penetrasi partikel dan patogen di kedua arah. (Chua et al., 2020) Masker bedah sekali pakaki memiliki 5 bagian utama yang dapat dilihat pada **Gambar 2.1**.



**Gambar 2. 1** Bagian lapisan masker medis sekali pakai (Yuwen et al., 2022)

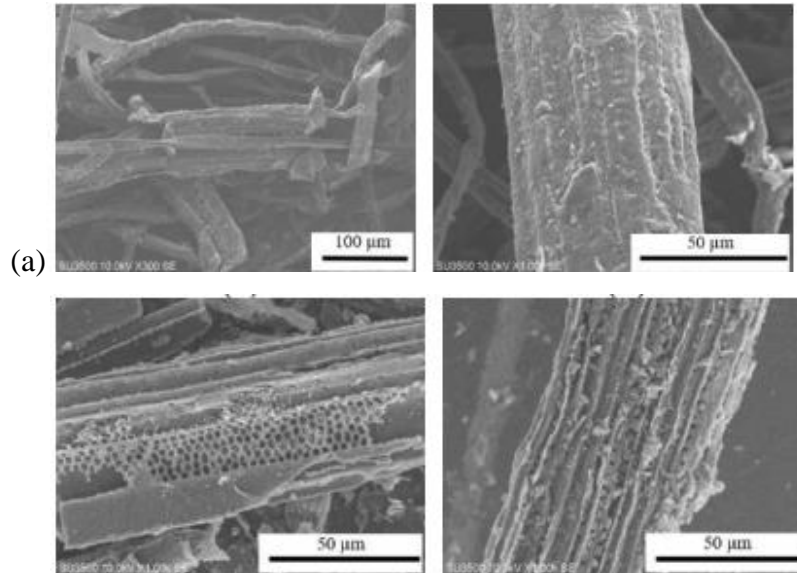
Masker bedah sekali pakai biasanya terbuat dari bahan dasar plastik yaitu jenis *polypropylene*, yang tidak mudah terbakar dan tidak mudah basah. Masker bedah sekali pakai yang umumnya terbuat dari senyawa polimer *polypropylene* merupakan limbah anorganik yang mengandung unsur karbon. Sampah plastik dapat dimanfaatkan sebagai adsorben dengan menggunakan metode adsorpsi untuk mengolah limbah cair sebelum dibuang ke badan air karena terdapat kandungan unsur karbon pada komposisi plastik, seperti plastik jenis polietilen, *polypropylene* atau polivinil klorida. Beberapa jenis polimer dapat berubah menjadi arang atau karbon yang mempunyai struktur pori apabila dibakar di dalam sebuah *furnace* dan kemudian di aktivasi sehingga selanjutnya dapat dimanfaatkan untuk adsorpsi. (Silalahi & Hendrasarie, 2021) Komposisi kimia pada masker bedah sekali pakai dapat dilihat pada **Tabel 2.1**.

**Tabel 2. 1** Komposisi kimia masker bedah sekali pakai (Yuwen et al., 2022)

Bagian	Komposisi Kimia	Persentase Berat (wt.%)
<i>Out Layer</i>	PP	41.83
<i>Middle Layer</i>	PP	17.52
<i>Inner Layer</i>	PP	17.5
<i>Nose Wire</i>	PP	2.52
<i>Ear Strap</i>	PET	16.46
<i>Nose Frame</i>	Metals	4.17 (Fe: 4.125, Zn: 0.026, Mn: 0.012, Mg: 0.007)

## 2.2 S-Doped Porous Carbon (SDPC)

Karbon berpori merupakan karbon dalam bentuk *amorf* yang mempunyai luas permukaan yang besar dan daya serap yang tinggi. Luas permukaan merupakan sifat fisis yang paling penting dari karbon berpori, sehingga memungkinkan dijadikan sebagai bahan adsorben. Material ini dibuat dari pirolisis prekursor karbon organik, polimer alam maupun polimer sintetis yang kemudian diaktifkan untuk memperbesar luas permukaannya. (Al., 2005) Ciri khas karakterisasi bentuk morfologi karbon berpori ditunjukkan pada **Gambar 2.2**.



**Gambar 2.2** (a) Analisa SEM karbon aktif tidak berpori (b) Analisa SEM karbon aktif berpori (Kiciński et al., 2014)

*Doping* merupakan proses dimana atom dan molekul berinteraksi (secara kovalen atau non-kovalen) dengan permukaan. Doping adalah salah satu cara yang efisien dan sering digunakan untuk mengubah sifat karbon. Tuning struktur elektronik bahan dengan doping heteroatom telah digunakan sejak lama dalam industri semikonduktor. Istilah *doping* mungkin samar-samar dan mencakup tidak hanya substitusi atom dalam kisi kristal karbon, tetapi juga interkalasi, komposisi nano atau bahkan fungsionalisasi permukaan. (Ferawati & Susanti, 2021) Karakteristik karbon aktif selain luas permukaan besar, juga didukung oleh gugus fungsi permukaan. Gugus fungsi permukaan pada karbon aktif didominasi oleh OFG (*oxygenated functional group*) yang berfungsi sebagai daerah aktif untuk reaksi redoks. Penambahan heteroatom *doping* dapat meningkatkan distribusi elektron yang berdampak positif terhadap nilai konduktivitas. Modifikasi ini juga berpengaruh terhadap kemampuan terbasahi (*wettability*) karbon aktif. Heteroatom *doping* yang dapat ditambahkan dalam karbon aktif antara lain nitrogen, sulfur, fosfor dan boron. (Kiciński et al., 2014)

Ada beberapa metodologi yang dapat digunakan untuk memodifikasi permukaan struktur nano karbon dan karbon nanopori dengan sulfur untuk aplikasinya sebagai sorben. Serat karbon yang mengandung sulfur dan karbon nanotube telah dipelajari dan diuji secara ekstensif untuk pemulihan logam berat (yaitu Cd) dan bentuk merkuri anorganik dan organik. Serat karbon yang mengandung sulfur menunjukkan sifat penyerapan selektif karena adanya gugus sulfida dan hidrosulfida dan gugus penghubung C-S-C, C-S-S-C. (Ferawati & Susanti, 2021). Di antara karbon berpori yang diperkaya S, bahan tersulfonasi merupakan hal yang menarik dan mereka telah menemukan banyak aplikasi praktis. Karbon tersebut menunjukkan aktivitas katalitik dalam reaksi kimia tertentu. Karbon aktif yang diolah secara termal dengan asam sulfat yang mengandung gugus tiol dan asam sulfonat juga bermanfaat untuk

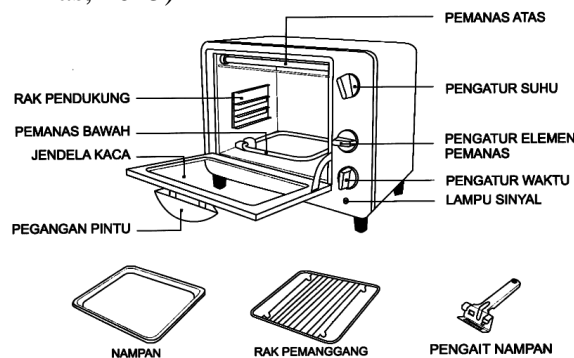
meningkatkan penghilangan polutan. Senyawa yang mengandung sulfur dan S telah diusulkan sebagai promotor pertumbuhan dalam sintesis serat nano karbon. Promotor pertumbuhan berbasis sulfur seperti tiofena atau sulfida logam transisi dapat digunakan untuk meningkatkan hasil dan kualitas karbon nano-filamen. Selain itu, senyawa yang mengandung sulfur dapat digunakan untuk mengontrol diameter serta jumlah dinding karbon *nanotube*.(Ferawati & Susanti, 2021)

Dalam karbon yang didoping S, S memainkan peran penting dalam memodifikasi sifat. Karbon berpori yang didoping S adalah bahan fungsional yang menarik untuk aplikasi dalam konversi/penyimpanan energi dan penyerapan sebagai elektrokatalis bebas logam untuk sel bahan bakar, bahan anoda dalam baterai Li-ion, elektroda dalam kapasitor elektrokimia, bahan katoda dalam baterai lithium-oksigen, meningkatkan sifat konduktivitas dan sebagai penyerap kontaminan spesifik dari fase cair atau gas beracun.(Ferawati & Susanti, 2021)

Terlepas dari kenyataan bahwa karbon aktif digunakan terutama sebagai adsorben, aplikasinya di bidang fotoaktivitas mendapatkan perhatian yang berkembang pesat akhir-akhir ini. Kemampuan bahan karbon untuk berinteraksi dengan sinar UV dan menghasilkan spesies yang sangat reaktif yang mampu mempromosikan reaksi fotooksidasi juga sudah mulai banyak dibahas. Iradiasi UV dari karbon aktif dapat memulai fotooksidasi senyawa organik yang telah diserap sebelumnya. Menggabungkan sifat adsorpsi karbon aktif dengan pemanfaatan energi matahari menuju oksidasi dapat membuka jalur baru untuk adsorpsi reaktif, pemisahan dan lebih umum untuk fotokatalisis. Dalam penelitian (Bendosz, 2012) menunjukkan bahwa karbon aktif yang didoping S adalah katalis yang lebih baik untuk oksidasi metilen biru di bawah cahaya tampak daripada TiO<sub>2</sub> semikonduktor.(Ferawati & Susanti, 2021)

### 2.3 Metode Oven Solvothermal

Oven merupakan alat pemanas yang bekerja dengan mengubah energi listrik menjadi energi panas dan kemudian ditransfer serta disebarkan secara merata ke dalam seluruh ruangan oven untuk memanaskan material. Salah satu kelebihan dari pemakaian oven yaitu panas yang dihasilkan oven akan merata diseluruh ruangan. Akan tetapi konsumsi energi yang dibutuhkan oven terbilang cukup besar sehingga dibutuhkan energi yang besar untuk dapat mengoperasikan oven. Secara umum, oven dilengkapi dengan adanya pengontrol suhu dan waktu, kipas, serta elemen pemanas didalamnya. Proses pemanasan dalam oven dilakukan jika pengatur suhu dan waktu di-*setting*, yang nantinya akan mengakibatkan elemen pemanas hidup. Elemen pemanas tersebut yang akan mengubah energi listrik menjadi energi panas. Panas yang dihasilkan dalam elemen pemanas mengubah udara normal menjadi udara panas di ruang memasak. Udara panas disirkulasikan dengan kipas yang dipasang di tengah bagian belakang oven. Ini juga membuat aliran panas menyebar secara merata di dalam ruang oven. Sehingga material yang diletakkan di dalam oven konveksi akan dapat mendapatkan pemanasan secara merata.(Rosyida Permatasari, M. Sjahrul Annas, 2015)



**Gambar 2.3** Komponen dalam oven(Rosyida Permatasari, M. Sjahrul Annas, 2015)



Metode sintesis solvothermal yang digunakan pada penelitian ini merupakan metode sintesis material dengan cara melakukan pemanasan dengan oven pada temperatur menengah ( $T \approx 200^\circ\text{C}$ ) di dalam bejana reaksi tertutup (*autoclave*). *Autoclave* digunakan bertujuan untuk menciptakan lingkungan reaksi bertekanan tinggi dan bertemperatur tinggi dengan memanaskan sistem reaksi dan diberikan tekanan. Proses pemanasan larutan campuran dua prekursor dilakukan pada tekanan dan temperatur tinggi. Hal tersebut bertujuan untuk meningkatkan dispersi komponen sistem dalam lingkungan cairan yang terkompresi. (Rosyida Permatasari, M. Sjahrul Annas, 2015)

## 2.4 Aktivasi Karbon

Proses aktivasi pada karbon dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan luas permukaan aktif sehingga meningkatkan kemampuan adsorpsi pada karbon. Pada proses aktivasi karbon terdapat 3 tahapan penting dalam melakukan aktivasi yaitu dehidrasi, karbonisasi dan aktivasi. (Ramadhani et al., 2020)

### 2.4.1 Dehidrasi

Proses dehidrasi dilakukan untuk menghilangkan air yang terkandung di dalam bahan baku dengan menjemur di bawah sinar matahari atau pemanasan di dalam oven sampai diperoleh massa konstan. Dari proses dehidrasi akan diperoleh bahan baku yang kering dan seluruh kandungan air di dalam bahan baku dapat menguap. Proses dehidrasi dapat dilakukan ketika bahan baku masih berbentuk serbuk atau setelah menjadi karbon aktif serbuk atau granular. (Dahlan, 2013)

### 2.4.2 Karbonisasi

Karbonisasi adalah metode untuk memperoleh arang sebagai produk utama dengan memasukkan biomassa padat seperti kulit durian, kayu, sekam padi dll pada temperatur antara  $400\text{-}600^\circ\text{C}$ , hal ini dapat menghasilkan arang dan gas mudah terbakar sebagai hasil samping produk. Karbonisasi merupakan suatu konversi dari suatu zat organik ke dalam karbon atau residu yang mengandung karbon dalam proses pembuatan arang berkarbon. (Ridhuan & Suranto, 2017) Konversi zat organik menjadi karbon atau residu yang mengandung karbon dapat dilakukan melalui dua proses yaitu pirolisis dan destilasi kering.

Pirolisis merupakan proses dekomposisi suatu bahan pada suhu tinggi tanpa adanya udara atau dengan udara terbatas. Secara umum pirolisis atau bisa disebut *thermolysis* dapat diartikan sebagai proses dekomposisi kimia dengan menggunakan pemanasan tanpa kehadiran oksigen. Proses pirolisis menghasilkan produk berupa bahan bakar padat seperti karbon, cairan berupa campuran tar dan beberapa zat lainnya. Produk lain yang juga sebagai hasil dari proses pirolisis yaitu berupa karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), metana ( $\text{CH}_4$ ) dan beberapa gas yang memiliki kandungan kecil. Hasil pirolisis berupa tiga jenis produk yaitu padatan (arang), gas (*fuel gas*) dan cairan (bio-oil). Umumnya proses pirolisis dilakukan pada temperatur di atas  $300^\circ\text{C}$  selama 4-7 jam. (Ridhuan & Suranto, 2017)

Destilasi kering juga merupakan salah satu proses yang digunakan dalam konversi zat organik menjadi karbon maupun residu yang mengandung karbon. Umumnya destilasi kering diartikan sebagai proses pembuatan karbon secara tidak langsung atau bisa disebut proses pengarangan. Pengarangan diartikan sebagai pemanasan bahan-bahan organik pada temperatur tertentu dengan disertai oksigen dalam jumlah terbatas yang dilakukan di dalam *furnace*. Proses pengarangan dilakukan pada temperatur antara  $400\text{-}900^\circ\text{C}$ , selanjutnya hasil proses pengarangan didinginkan dan dicuci yang bertujuan menghilangkan dan mendapatkan kembali bahan pengaktif. Setelah itu, dilanjutkan proses pemyaringan dan pengeringan. Ada beberapa hal yang mempengaruhi proses pengarangan, seperti temperatur pengarangan dimana semakin



tinggi temperatur pengarangan akan semakin sempurna akan tetapi jumlah arang yang dihasilkan semakin sedikit. Dan yang kedua yaitu waktu pengarangan dimana semakin lama waktu proses maka semakin lama reaksi sehingga reaksi lebih sempurna dan akan menghasilkan arang semakin sedikit. (Ramadhani et al., 2020)

### 2.4.3 Proses Aktivasi

Aktivasi merupakan suatu perlakuan terhadap karbon yang dilakukan untuk memperbesar pori-pori karbon, yaitu dengan cara memecahkan ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul-molekul permukaan. Karbon akan mengalami perubahan sifat, baik perubahan kimia maupun fisika. Akibat proses aktivasi, luas permukaan karbon akan bertambah besar dan berpengaruh terhadap daya adsorpsi. (Sembiring & Sinaga, 2003) Proses aktivasi pada karbon aktif dapat dilakukan dengan 2 cara, yaitu dengan aktivasi kimia dan aktivasi fisika.

#### 1. Aktivasi Kimia

Salah satu keunggulan aktivasi kimia yaitu, karbon yang dihasilkan sangat memungkinkan diperoleh luas permukaan yang cukup tinggi. Aktivasi kimia sendiri merupakan proses pemutusan rantai karbon pada senyawa-senyawa organik dengan bantuan bahan-bahan kimia. Pada proses aktivasi kimia, karbon hasil karbonisasi dilarutkan atau dicampur dengan larutan kimia yang berperan sebagai *activating agent*. *Activating agent* yang sering digunakan untuk aktivasi kimia umumnya berasal dari golongan alkali tanah dan logam alkali serta zat asam seperti KOH, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, ZnCl<sub>2</sub>, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, dan NaOH. Setelah itu, dilanjutkan dengan proses pengeringan dan pemanasan. Pada proses ini unsur-unsur mineral *activator* masuk di antara sela-sela heksagon dari kristalit dan membuka permukaan yang awalnya tertutup. Ketika proses pemanasan, senyawa kontaminan yang berada dalam pori-pori menjadi lebih muda terlepas. Proses pelepasan pori-pori ini akan menyebabkan karbon menjadi lebih aktif sehingga dapat meningkatkan daya serap karbon aktif dan memperlebar luas permukaan. (Ramadhani et al., 2020)

#### 2. Aktivasi Fisika

Aktivasi fisika merupakan proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik menggunakan bantuan uap panas dan CO<sub>2</sub>. Pada proses aktivasi fisika dapat dilakukan dengan menggunakan gas nitrogen, gas oksigen, gas karbon dioksida dan air. Gas-gas tersebut digunakan untuk memperbesar struktur rongga yang terdapat pada karbon yang bertujuan untuk meningkatkan luas permukaan karbon. Uap panas yang digunakan pada aktivasi fisika yaitu untuk menghilangkan zat-zat pengotor yang mudah menguap dan membuang hidrokarbon pengotor. Proses aktivasi fisika diawali dengan memanaskan karbon dan dialiri oleh gas pengoksidasi seperti oksigen, CO<sub>2</sub>, atau uap air. Gas pengoksidasi tersebut akan bereaksi dengan karbon dan melepaskan karbon monoksida dan hydrogen. Selanjutnya, senyawa-senyawa produk samping akan terlepas sehingga dapat memperlebar pori dan meningkatkan daya adsorpsi. (Ramadhani et al., 2020)

## 2.5 Copper (II) Oxide (CuO)

### 2.5.1 Semikonduktor CuO

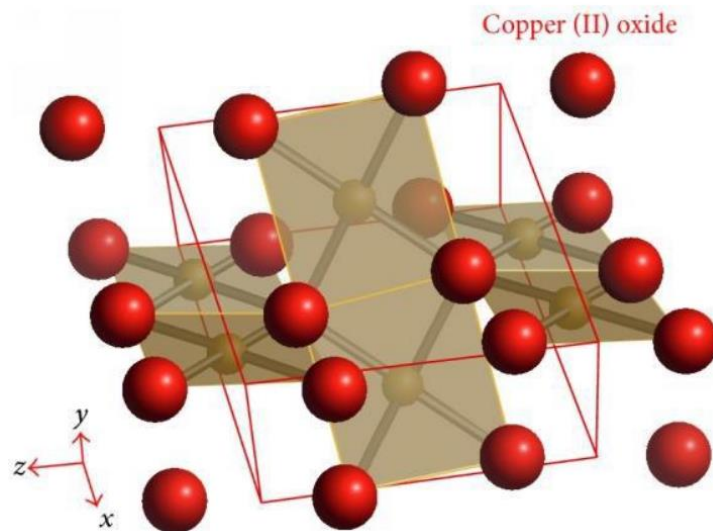
Oksida logam merupakan kelas semikonduktor yang dapat diaplikasikan dalam media penyimpanan yang bersifat magnetis, elektronik, transformasi energi matahari dan katalis. Tembaga oksida sendiri merupakan senyawa dua unsur yaitu tembaga dan oksigen.

**Tabel 2. 2** Sifat CuO(Serin et al., 2005)

Sifat	Nilai
Tembaga (%)	79,87
Oksigen (%)	20,10
Densitas g/cm <sup>3</sup>	6,31
Luas permukaan spesifik (m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	122
Massa molar (g/mol)	79,55
Struktur kristal	<i>Monoclinic</i>
Kisi konstan (Å)	A=4.68, b=3.42, c=5.13
Titik leleh (°C)	1201
Titik didih (°C)	2000
Kapasitas <i>reversible</i> (mA h g <sup>-1</sup> )	630
Mobilitas lubang (cm <sup>2</sup> /V s)	0.1-10
Celah pita (eV)	1.2
Indek bias	1.4

Terdapat dua klasifikasi tembaga oksida yaitu diantaranya tenorit (CuO) dan cuprite (Cu<sub>2</sub>O). CuO murni memiliki warna dasar hitam berbentuk padatan dengan ukuran kepadatan 6,4 g/cm<sup>3</sup>, memiliki titik leleh cukup tinggi yaitu 1330 °C dan tidak larut dalam air.(L. Wang, 2006) CuO adalah semikonduktor tipe-p yang mempunyai energi celah pita yang sempit yaitu pada 1,21-1,9 eV. CuO juga cocok untuk dijadikan penyerap surya selektif karena memiliki daya pancar thermal rendah dan daya serap matahari tinggi.(Serin et al., 2005)

CuO merupakan senyawa semikonduktor yang memiliki struktur monoklinik. CuO adalah salah satu bentuk oksida dari tembaga dan memiliki sifat fisik yang banyak bermanfaat seperti superkonduktivitas temperatur tinggi, efek korelasi elektron dan *spin dynamics*. Sebagai senyawa semikonduktor CuO banyak dimanfaatkan untuk aplikasi seperti katalis, superkonduktor suhu tinggi, baterai, gas sensor dan konversi energi surya.(Ghane et al., 2010) CuO akan bertindak sebagai semikonduktor apabila diberikan cahaya atau sinar yang energi fotonnya lebih besar atau sama dengan energi aktivasi elektronnya ( $h\nu \geq h\nu_g$ ). Hal tersebut dapat menyebabkan pembentukan elektron di pita konduksi dan *hole* di pita valensi. Elektron pada pita konduksi bereaksi dengan oksigen terlarut menghasilkan anion superoksida radikal yang dapat mengonversi senyawa organik.(Wulandari et al., 2014)



**Gambar 2. 4** Struktur Kristal CuO (D. Wang et al., 2013)

Partikel semikonduktor nanokristalin telah menarik minat bagi peneliti dalam beberapa tahun terakhir karena sifat khusus yang dimiliki seperti luas permukaan yang lebih besar dibanding volume, meningkatkan aktivitas, sifat elektronik dan sifat optik yang unik dibandingkan dengan material *bulk*. Oksida logam transisi merupakan bagian penting dari senyawa semikonduktor, yang memiliki aplikasi dalam media penyimpanan magnetik, transformasi energi surya, elektronik dan katalis. Semikonduktor CuO dengan celah pita energi yang kecil sangat cocok digunakan untuk aplikasi fotokonduktif dan aplikasi photothermal. Namun, laporan penelitian terkait karakterisasi nanokristalin CuO sampai sekarang relatif sedikit dibandingkan dengan sintesis beberapa oksida logam transisi yang lain seperti ZnO, TiO<sub>2</sub> dan lain sebagainya.(D. Wang et al., 2013)

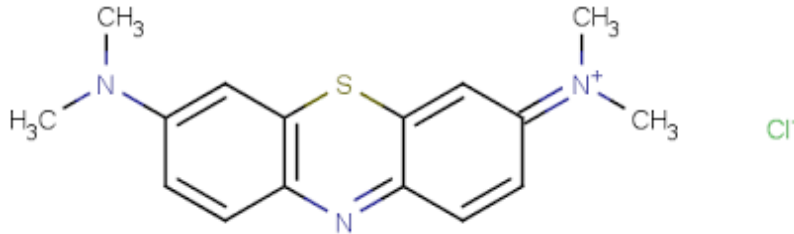
### 2.5.2 Sintesis CuO

Salah satu metode untuk dilakukannya sintesis CuO yaitu dengan menggunakan metode sol-gel. Metode sol-gel merupakan metode sintesis untuk pembentukan berbagai senyawa anorganik dengan reaksi kimia yang dilakukan pada temperatur yang relatif rendah. Metode sol-gel menjadi pilihan utama untuk digunakan dalam berbagai aplikasi seperti pembuatan senyawa organik dan anorganik karena prosesnya yang cukup mudah untuk dilakukan.(National & Pillars, n.d.) Proses sintesis CuO dengan metode sol-gel dilakukan dengan mencampurkan tembaga asetat dengan ammonium karbonat, pencampuran dilakukan hingga mengalami nukleasi. Selanjutnya, dilakukan pengendapan dan terakhir hasil pengendapan dilakukan *sintering*. (Sembiring & Sinaga, 2003)

Metode sol-gel memiliki kelebihan dalam penggunaannya seperti suhu yang digunakan relatif rendah, kemurnian yang tinggi, tidak mengalami reaksi dengan senyawa sisa, kehomogenan yang lebih baik dan dapat memperkecil kehilangan bahan akibat penguapan. Walaupun proses sol-gel memiliki banyak kelebihan dan dapat mudah dilakukan, terdapat beberapa permasalahan terhadap produk akhir yang dihasilkan. Salah satunya yaitu sulit untuk mendapatkan produk yang bebas dari pecahan ketika proses pengeringan. Proses pengeringan yang dilakukan terlalu cepat akan menyebabkan hasil produk berbentuk serbuk dan serpihan.(National & Pillars, n.d.)

## 2.6 Methylene Blue

*Methylene blue* adalah senyawa hidrokarbon aromatik yang beracun dan termasuk senyawa zat warna kationik dengan daya absorpsi yang sangat kuat. *Methylene blue* memiliki rumus kimia  $C_{16}H_{18}N_3S$ , memiliki berat molekul 319,86 gr/mol, dengan titik lebur di  $105\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan daya larut sebesar  $4,36 \times 10^4$  mg/L. Senyawa *Methylene blue* akan menjadi larutan berwarna biru tua apabila dilarutkan dalam air atau alkohol. Pada temperatur ruangan *Methylene blue* berbentuk padatan (kristal) tidak berbau, dan berwarna hijau tua. **Gambar 2.5** menggambarkan bentuk struktur ikatan rantai kimia senyawa *Methylene blue*. (Biru & Zno, 2006)



**Gambar 2. 5** Ikatan kimia *methylene blue* (Biru & Zno, 2006)

Salah satu zat warna yang sering digunakan dalam industri tekstil adalah *methylene blue*, karena harganya ekonomis dan mudah didapatkan. Zat warna *methylene blue* merupakan zat warna dasar sebagai proses pewarnaan sutra, wool, tekstil, kertas dan kosmetik. Terdapat beberapa efek yang bisa ditimbulkan dalam penggunaan *methylene blue*, seperti iritasi pencernaan apabila tertelan, iritasi kulit apabila tersentuh, sianosis apabila terhirup dan kebutaan apabila terkena mata. (Guo et al., 2014)

**Tabel 2. 2** Tingkat toksisitas dosis *methylene blue* (Miclescu & Wiklund, 2014)

Dosis (mg/kg)	Dampak
2-4	<i>Hemolytic anemia</i> , deskuamasi kulit pada bayi
7	Mual, muntah, sakit perut, sesak dada, pusing, <i>hemolysis</i>
7,5	<i>Hyperpyrexia</i> (panas), pusing
20	<i>Hypotensia</i> (tekanan darah rendah)
80	Perubahan warna keburuan pada kulit (sama seperti <i>cyanosis</i> )

Pada **Tabel 2.2** dijelaskan tingkat toksisitas dosis dan dampak yang terjadi pada manusia apabila terkontaminasi atau terkena senyawa *methylene blue*. Akibat dampak yang membahayakan tersebut, fotokatalis semikonduktor heterogen merupakan aplikasi yang bisa menjadi pilihan untuk penghilangan atau pendegradasian polutan cair beracun menjadi senyawa yang lebih ramah lingkungan serta menjadi dekomposisi organik dengan aktivitas yang superior. (Miclescu & Wiklund, 2014)

---

## 2.7 Fotokatalis

Fotokatalis merupakan kombinasi dari dua kata yaitu *photo* (cahaya) dan katalis. Fotokatalis dapat diartikan sebagai sebuah katalis yang digunakan untuk mempercepat reaksi kimia dengan bantuan sinar atau cahaya. Secara umum fotokatalis dapat digambarkan sebagai proses kombinasi reaksi kimia yang memerlukan unsur cahaya dan katalis untuk mempercepat terjadinya transformasi kimia. Transformasi kimia terjadi pada permukaan katalis yang disebut fotokatalis. (Margarucci et al., 2019) Secara umum fotokatalis hanya dapat diaktivasi ketika terkena cahaya ultraviolet (UV) yang bekerja pada rentang panjang gelombang 280-400 nm dan hanya fotokatalis yang di doping yang bisa bekerja pada daerah cahaya tampak. (Subramaniam et al., 2018)

### 2.7.1 Fotokatalisis

Salah satu metode dalam mendegradasi kontaminan organik dan limbah di dalam air merupakan metode fotokatalisis, dimana metode ini menggunakan material oksida sebagai fotokatalis. Dengan metode fotokatalisis senyawa-senyawa beracun dan berbahaya di dalam air dapat diubah menjadi senyawa-senyawa yang ramah lingkungan sekaligus tidak berbahaya seperti karbon dioksida dan air. (Syukri Darajat, 2008) Fotokatalisis adalah jenis proses oksidasi kimia menggunakan partikel semikonduktor, yang responsif dengan sumber foton (UV atau cahaya tampak). Pada proses fotokatalisis, fotokatalis diaktifkan dengan memanfaatkan cahaya matahari. (Tahir et al., 2020) Terdapat dua kategori klasifikasi reaksi fotokatalisis berdasarkan bentuk fisik dan reaktan, yaitu :

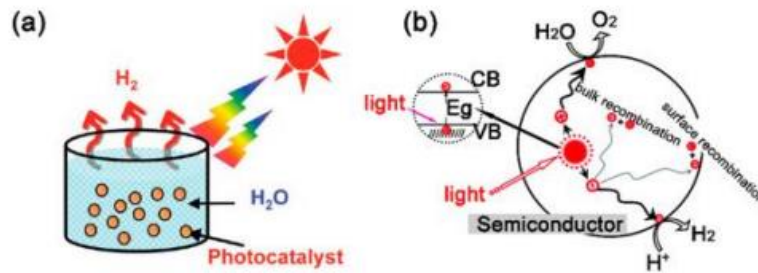
#### 1. Fotokatalisis Homogen

Pada fotokatalisis homogen, semikonduktor dan reaktan memiliki wujud yang sama seperti dalam bentuk solid, gas atau liquid. Fotokatalisis homogen terdiri dari katalis molekul terlarut termasuk sistem penyerap cahaya (*photosensitizer*), reaksi untuk proses oksidasi dan reduksi. Semuanya memiliki wujud yang sama, umumnya adalah larutan. Pada fotokatalisis homogen, sering dimanfaatkan untuk degradasi logam kompleks sebagai katalis. (Tahir et al., 2020)

#### 2. Fotokatalisis Heterogen

Pada fotokatalisis heterogen, semikonduktor dan reaktan memiliki wujud yang berbeda. Fotokatalisis heterogen lebih unggul dibandingkan fotokatalisis homogen, karena stabilitas yang lebih besar, pemisahan yang mudah dan kemampuan proses fotokatalis yang lebih baik. Pada jenis ini, sering dimanfaatkan dalam proses degradasi polutan organik dalam air limbah. (Liu et al., 2012) Terdapat dua struktur elektron yang berpengaruh penting terhadap sifat fotokatalisis semikonduktor, yaitu pita valensi terisi (*valence band*) dan pita konduksi kosong (*conduction band*). Prinsip fotokatalisis yaitu dari proses pembentukan radikal  $\text{OH}^-$  dan proses pembentukan anion super oksida ( $\text{O}_2^-$ ) dari oksigen. Proses fotokatalis akan menghasilkan energi, ketika proses fotokatalis berhasil mengabsorpsi cahaya dengan panjang gelombang tertentu. Energi yang dihasilkan dari proses fotokatalis akan digunakan untuk eksitasi elektron dari pita valensi (VB) ke pita konduksi (CB). Apabila elektron tereksitasi secara sempurna, akan didapatkan hole dari pita valensi. (Rajendra C. Pawar and Caroline Sunyong Lee, 2015)

Pada sistem *particle-based photocatalysis*, terdiri dari fotokatalis dan media reaktif sebagai dua komponen utama. Reaksi oksida dan reduksi berlangsung pada permukaan partikel fotokatalis yang sama, seperti digambarkan pada **Gambar 2.5**.



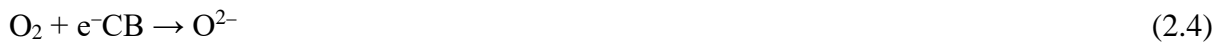
**Gambar 2. 6** Fotokatalisis *particulate semiconductor* (a) Penyebaran partikel pada reaktor tunggal (b) Reaksi pada fotokatalisis *particulate semiconductor* (Yang & Wang, 2018)

Terdapat dua reaksi yang berlangsung pada permukaan partikel fotokatalis, yakni reaksi oksidasi dan reduksi. Berikut reaksi yang terjadi :

a. Oksidasi



b. Reduksi



Pada persamaan 2.1 energi foton akan menembak material semikonduktor. Lalu pada persamaan 2.2 hole akan memecah air membentuk suatu hidroksi radikal, hidroksi radikal yang terbentuk akan bereaksi dengan molekul organik dan memecah senyawa organik tersebut menjadi senyawa intermediet lain sesuai pada persamaan 2.3. Radikal hidroksil mempunyai kekuatan oksidasi yang kuat serta bertanggung jawab atas degradasi polutan. Elektron yang tereksitasi lalu bereaksi dengan oksigen untuk membentuk radikal super oksida sesuai pada persamaan 2.4. Pada persamaan 2.5 anion super oksida akan bereaksi dengan senyawa hasil pemecahan molekul organik membentuk produk. (Kowsari, 2017) Kedua radikal yang terbentuk memiliki umur yang panjang dan efektif dalam mengoksidasi substrat reaktif seperti molekul *dye* (*Methylene Blue*, *Methylene Orange*, *Rhodamine B*). Radikal tersebut juga dapat digunakan untuk mendegradasi polutan organik dan aplikasi untuk disinfeksi dengan mengoksidasi spesies biologis. (Tahir et al., 2020)

## 2.8 Adsorpsi

Adsorpsi didefinisikan sebagai suatu proses penyerapan oleh padatan tertentu terhadap zat tertentu yang terjadi pada permukaan zat padat. Proses penyerapan tersebut terjadi karena terdapat gaya tarik atom atau molekul pada permukaan zat padat, Mekanisme proses adsorpsi dapat terjadi pada antarmuka padat-cair, padat-gas dan gas-cair. Molekul yang terikat pada bagian antarmuka disebut adsorbat, sedangkan permukaan yang menyerap molekul-molekul adsorbat disebut adsorben. Pada adsorpsi, interaksi antara adsorben dengan adsorbat hanya terjadi pada permukaan adsorben, maka dari itu semakin besar luas permukaan adsorben maka semakin banyak zat yang teradsorpsi. Walaupun demikian, adsorpsi tetap masih bergantung pada sifat zat pengadsorpsi. (Apriliani & Pengantar, 2010)



---

Adsorpsi diklasifikasikan menjadi dua berdasarkan besarnya interaksi antar adsorben dan adsorbat, yaitu:

1. Adsorpsi Fisika

Adsorpsi fisika terjadi ketika gaya intermolekular lebih besar dari gaya tarik antarmolekular atau gaya tarik menarik yang relatif lemah antara adsorbat dengan permukaan adsorben, gaya ini disebut dengan gaya *Van Der Waals*. Gaya tersebut menyebabkan adsorbat dapat bergerak dari satu bagian permukaan ke bagian permukaan lain dari adsorben. Adsorpsi fisika berlangsung secara cepat, dapat membentuk lapisan jamak (*multiplayer*), dan bereaksi balik (*reversible*), sehingga ikatan molekul-molekul yang teradsorpsi dapat dengan mudah dilepaskan kembali dengan menurunkan tekanan gas atau konsentrasi zat terlarut. (Apriliani & Pengantar, 2010)

2. Adsorpsi Kimia

Adsorpsi kimia terjadi reaksi kimia pada molekul-molekul yang teradsorpsi pada permukaan adsorben. Reaksi yang terjadi antara molekul-molekul adsorbat dengan adsorben menyebabkan terbentuknya ikatan kovalen dengan ion, sehingga mengakibatkan terjadinya pemutusan dan pembentukan ikatan. Oleh sebab itu, panas adsorpsinya memiliki kurang lebih sama seperti pada reaksi kimia, yaitu berkisar 100 kJ/mol (mempunyai orde besaran yang sama dengan energi ikatan kimia). Adsorpsi kimia bersifat irreversible, hanya membentuk lapisan tunggal (*monoplayer*) dan diperlukan energi yang banyak untuk melepaskan kembali adsorbat. Pada adsorpsi kimia jumlah adsorpsi dipengaruhi oleh temperatur, dengan bertambahnya temperatur maka jumlah adsorpsi bertambah besar. Zat yang teradsorpsi membentuk suatu lapisan monomolekuler dan relatif lambat untuk mencapai kesetimbangan karena dalam adsorpsi kimia melibatkan energi aktivasi. (Apriliani & Pengantar, 2010)

Banyaknya adsorbat yang terserap oleh permukaan adsorben dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu :

1. Jenis Adsorbat

- a. Ukuran molekul adsorbat, rongga tempat terjadinya penyerapan dapat dicapai melalui ukuran yang sesuai, sehingga molekul yang bisa di adsorpsi adalah molekul yang memiliki diameter lebih kecil dari diameter pori adsorben.
- b. Polaritas molekul adsorbat, molekul polar lebih kuat diadsorpsi dibandingkan molekul kurang polar.

2. Sifat adsorben

- a. Kemurnian adsorben, adsorben yang memiliki kemurnian tinggi akan dapat menyerap daya yang lebih baik.
- b. Luas permukaan, semakin luas permukaan adsorben maka jumlah adsorbat yang terserap akan semakin banyak.
- c. Temperatur, adsorpsi merupakan proses eksotermis sehingga jumlah adsorbat akan bertambah dengan berkurangnya temperatur adsorbat. Adsorpsi fisika terjadi pada temperatur di bawah 50°C. Sedangkan pada adsorpsi kimia, jumlah yang teradsorpsi akan berkurang dengan naiknya temperatur adsorbat.
- d. Tekanan, untuk adsorpsi fisika dengan naiknya tekanan adsorbat akan menyebabkan kenaikan jumlah zat yang teradsorpsi.

Teknik adsorpsi banyak dimanfaatkan untuk menghilangkan kelas tertentu dari kontaminan kimia dari perairan salah satunya limbah zat warna yang mencemari lingkungan, karena efektif dan tidak terpengaruh oleh pengolahan air limbah biologis konvensional. Adsorpsi memiliki nilai unggul dibandingkan metode lain dalam hal fleksibilitas dan kesederhanaan desain, biaya proses, insentivitas terhadap polutan beracun dan kemudahan operasi. Adsorpsi juga dapat prosesnya tidak menghasilkan zat yang berbahaya. (Ahmed et al., 2017)

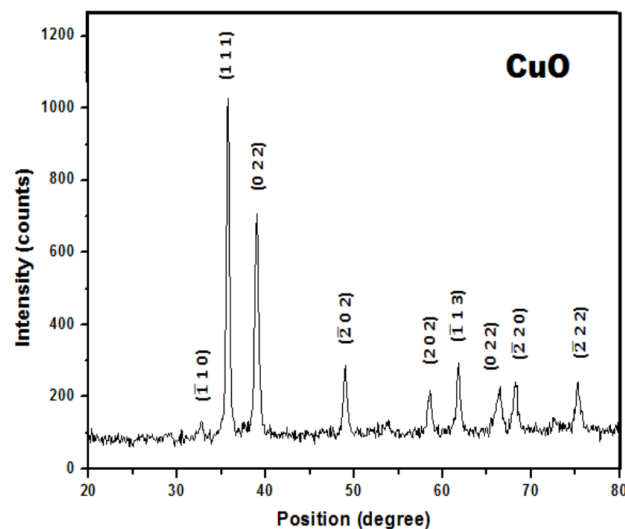
## 2.9 Penelitian Sebelumnya

Dilihat dari **Tabel 2.4** beberapa penelitian telah dilakukan untuk melihat pengaruh material semikonduktor CuO dan *S-Doped Porous Carbon* untuk degradasi *methylene blue* dengan metode fotokatalisis.

**Tabel 2. 3** Penelitian sebelumnya terhadap degradasi *methylene blue*

Material	Aplikasi	Variasi dan Hasil	Penelitian Sebelumnya
<i>S-Doped Porous Carbon (polimer)</i>	Fotodegradasi <i>Methylene Blue</i>	Hasil degradasi sebesar 11% terdegradasi menggunakan cahaya tampak selama 5 menit	Bendosz et al. (2012)
<i>S-Doped Carbon Quantum Dots (S-CQDs)/ Hexagonal Mesoporous Silica (HMS)</i>	Adsorpsi <i>Methylene Blue</i>	Hasil degradasi sebesar 97% terdegradasi menggunakan cahaya tampak selama 45 menit	Teymoorian et al. (2021)
CuO/TiO <sub>2</sub> /graphene	Fotodegradasi <i>Methylene Blue</i>	Hasil degradasi sebesar >80% terdegradasi menggunakan sinar <i>visible light</i> selama 7 jam Hasil degradasi sebesar >60%	Y. Fang et al. (2012)
CuO/ZnO	Fotodegradasi <i>Methylene Blue</i>	terdegradasi menggunakan sinar <i>visible light</i> selama 130 menit	Fouda A et al. (2020) 2020)
CuO/graphene hybride	Fotodegradasi <i>Methylene Blue</i>	Hasil degradasi sebesar 85% menggunakan cahaya tampak selama 60 menit	(Darvishi et al., 2017)

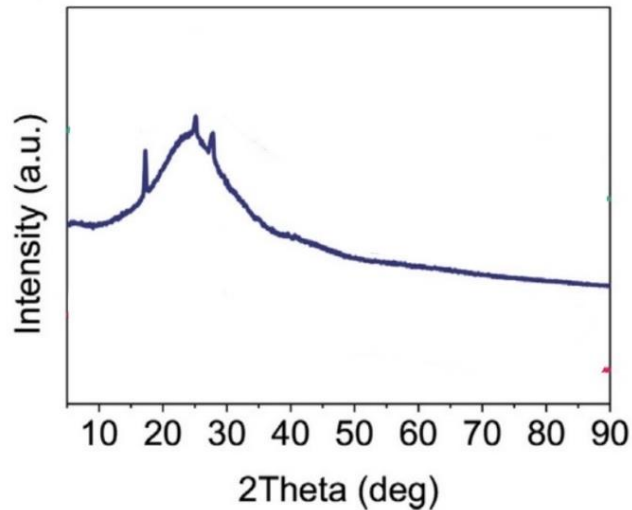
Sintesis material CuO berhasil dilakukan oleh Ashok et al., dengan menggunakan karakteristik XRD yang dapat dilihat pada **Gambar 2.7**



**Gambar 2. 7** Hasil uji XRD material CuO (Ashok et al. 2014)

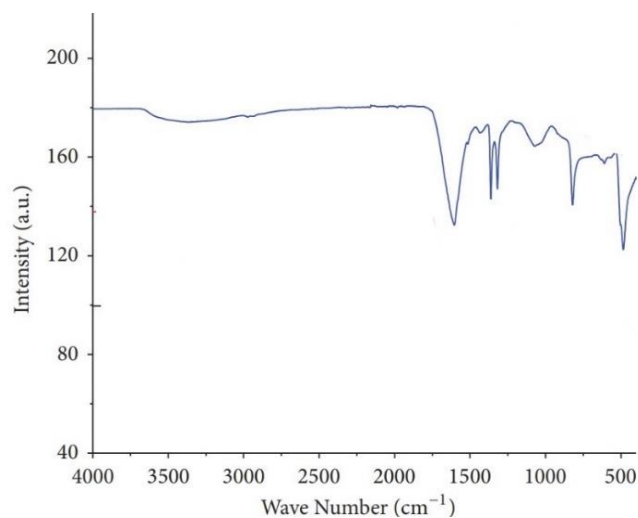


Puncak (*peak*) kuat diamati pada posisi  $35^\circ$  dengan bidang (1 1 1) yang menunjukkan bahwa sampel tersebut memiliki kualitas kristal yang tinggi dan merupakan struktur monoklinik dengan kisi parameter  $a=0,4685$  nm,  $b=0,3425$  nm, dan  $c = 0,5130$  nm sesuai dengan nomor kartu JCPDS 45-0937.



**Gambar 2. 8** Hasil uji XRD *S-Doped Porous Carbon* (Yuwen et al., 2022)

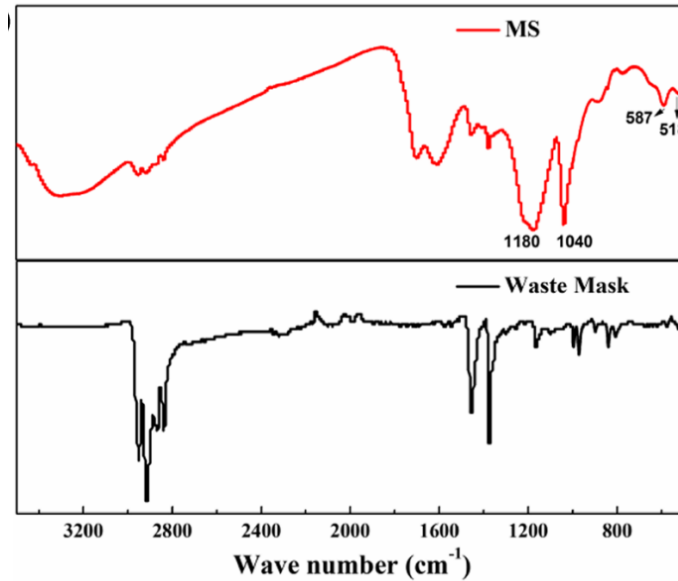
Pada penelitian Yuwen et al., dilakukan uji XRD pada sampel *S-Doped Porous Carbon* yang ditunjukkan pada **Gambar 2.8**. Dari gambar di atas menunjukkan terdapat puncak lebar pada  $23,6^\circ$  dan puncak lemah pada  $43,5^\circ$ , yaitu puncak karakteristik karbon grafit *amorf*, menunjukkan bahwa bahan karbon memiliki struktur grafit *amorf*. Gugus asam sulfonat dapat menginduksi lebih banyak unsur belerang dan atom belerang berukuran besar membuat cacat pada kerangka karbon dan mempengaruhi proses aktivasi selain itu pada hasil uji XRD juga terlihat masih ada puncak difraksi PP dan PET yang tersisa, sehingga dibutuhkan proses *annealing* yang lebih maksimal lagi.



**Gambar 2. 9** Hasil uji FTIR CuO (Peter et al., 2017)

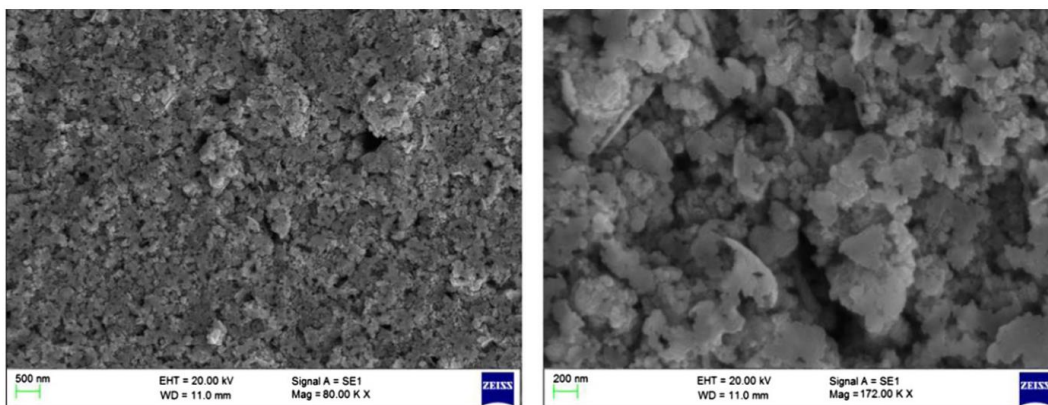
Pada penelitian Peter et al., dilakukan uji karakterisasi FTIR yang dapat dilihat pada **Gambar 2.9** terlihat pola pita lebar pada *wavenumber*  $3250\text{ cm}^{-1}$  yang mengindikasikan gugus fungsi O-H dari (hidroksil logam dan/atau hidroksil air molekul kristalisasi). Pengurangan intensitas dari menunjukkan berkurangnya jumlah air kristalisasi di nilai *wavenumber* tersebut. Pada nilai

$1580\text{ cm}^{-1}$  dapat menjadi dikaitkan dengan mode getaran peregangan antisimetris gugus karboksilat C=O dari oksalat. Tiga band pada  $1487\text{--}1400\text{ cm}^{-1}$ ,  $1365\text{--}1337\text{ cm}^{-1}$ , dan  $1324\text{--}1292\text{ cm}^{-1}$  dikaitkan dengan peregangan asimetris dan simetris modulus OC=O. NSelanjutnya *wavenumber* antara  $750$  dan  $490\text{ cm}^{-1}$  adalah karakteristik Cu-O.



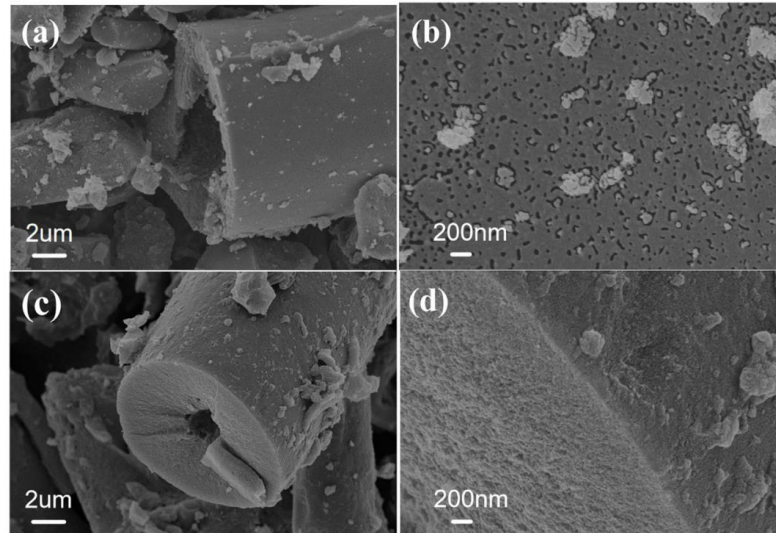
**Gambar 2. 10** Hasil uji FTIR material masker dan *S-Doped Porous Carbon* (Xiang Hu et al., 2021)

Pada hasil sintesis *S-Doped Porous Carbon* untuk mengetahui komposisi limbah masker dan keberadaan gugus asam sulfonat Xiang Hu et al melakukan karakterisasi FT-IR yang digunakan untuk spektrum analisis dan karakterisasi pada  $400\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$  yang dapat dilihat pada **Gambar 2.10**. Spektrum FTIR bahan baku menunjukkan puncak serapan khas *polypropylene* (PP) ( $1370\text{ cm}^{-1}$ ,  $997\text{ cm}^{-1}$ , dan  $971\text{ cm}^{-1}$ ). Karena susunan spiral rantai molekul, seri pita dengan intensitas sedang ( $1170\text{ cm}^{-1}$ ,  $997\text{ cm}^{-1}$ ,  $839\text{ cm}^{-1}$ , dan  $810\text{ cm}^{-1}$ ) muncul di antara  $1250\text{ cm}^{-1}$  dan  $800\text{ cm}^{-1}$ , sesuai dengan penyerapan pita polipropilen isotaktik. Untuk sampel MS, puncak karakteristik ( $1180\text{ cm}^{-1}$ ,  $1140\text{ cm}^{-1}$ ,  $587\text{ cm}^{-1}$ , dan  $518\text{ cm}^{-1}$ ) muncul dalam spektrum karena penggabungan gugus asam sulfonat ke dalam rantai karbon bahan polimer. Selain itu, dua puncak karakteristik ( $1700\text{ cm}^{-1}$  dan  $1610\text{ cm}^{-1}$ ) muncul yang mengindikasikan dihasilkan dari pembentukan ikatan rangkap karbonil (C=O) dan karbon-karbon (C=C) selama sulfonasi.



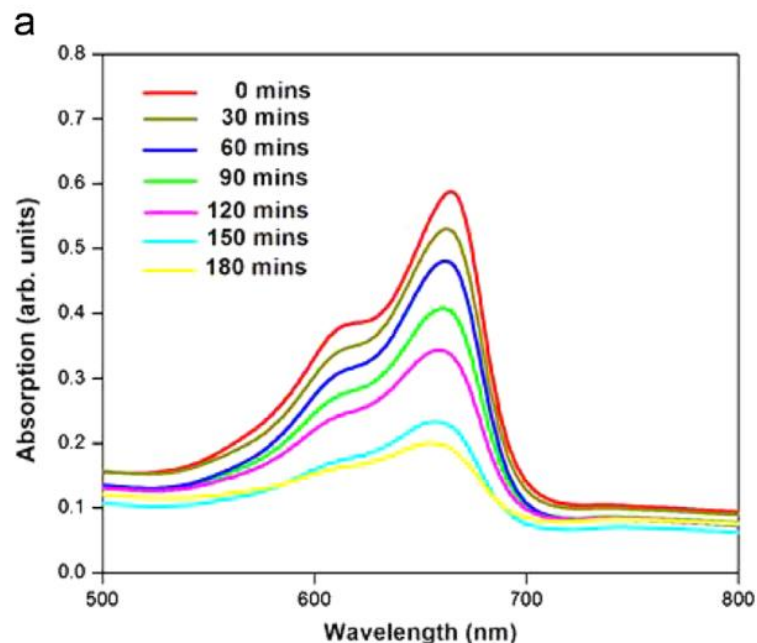
**Gambar 2. 11** Hasil uji SEM material CuO (Ashok et al. 2014)

Penelitian Ashok et al., juga melakukan uji karakterisasi SE yang digunakan untuk menyelidiki morfologi dan partikel ukuran. Gambar SEM dari CuO yang diperoleh nanopartikel ditampilkan pada **Gambar 2.11** Gambar menunjukkan bahwa nanopartikel CuO teraglomerasi berwarna putih dan menunjukkan bunga seperti struktur. Kisaran nanopartikel CuO adalah 80 nm hingga 100 nm. Terjadinya aglomerasi ini disebabkan adanya proses pemanasan cepat larutan pada waktu sintesis.



**Gambar 2. 12** Hasil uji SEM material *S-Doped Porous Carbon* (Xiang et al. 2021)

Penelitian Xiang et al., mengenai sintesis masker medis sekali pakai yang disintesis menjadi material *S-Doped Porous Carbon* dilakukan karakterisasi SEM yang dapat dilihat pada **Gambar 2.12**. Pada di atas menunjukkan hasil uji SEM dari CMS-0 atau *S-Doped Porous Carbon* yang diaktifkan menggunakan KOH setelah karbonisasi, terlihat sebuah padat struktur berpori terbentuk pada permukaan serat berongga.



**Gambar 2. 13** Hasil uji UV-Vis *methylene blue* menggunakan semikonduktor CuO (Sonia et al., 2015)

Pada penelitian Sonia et al., mengenai fotokatalisis limbah zat warna *methylene blue* menggunakan semikonduktor CuO dilakukan uji UV-Vis untuk mengetahui nilai absorbansi dan kinerja fotokatalisis pada masing-masing variasi waktu penyinaran terhadap sinar ultraviolet. Pada **Gambar 2.13** terlihat puncak penyerapan *methylene blue* terdapat pada panjang gelombang 665 nm. Dari **Gambar 2.13** menunjukkan adanya penurunan nilai absorbansi secara bertahap sesuai dengan peningkatan lama waktu penyinaran dari 0 hingga 3 jam. nilai efisiensi degradasi terbesar adalah 89% untuk *methylene blue* dengan lama penyinaran 3 jam, sehingga lama waktu penyinaran berpengaruh dengan hasil nilai absorbansi dan kinerja fotokatalis.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. *Copper (II) Sulfate Pentahydrate* ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )
2. KOH
3. *Methylene Blue*
4.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  98%
5. Masker
6.  $\text{NH}_4\text{OH}$
7. NaOH
8. Aquades
9. Etanol 70%
10. Etanol Absolute 99%

### 3.2 Alat Penelitian

Alat yang digunakan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Neraca Analitik (*Mettler Toledo*)  
Alat ini digunakan untuk alat mengukur massa untuk bahan padatan.
2. *Furnace (muffle furnace)*  
Alat ini digunakan untuk memanaskan dan mengeringkan dengan adanya oksigen.
3. *Magnetic Stirrer*  
Alat ini digunakan untuk mencampur dan mengaduk agar homogen pada saat larutan dipanaskan di atas *hot plate magnetic stirrer*.
4. Hot plate magnetic stirrer  
Alat ini digunakan untuk mencampurkan serta mengaduk larutan agar homogen pada temperatur dan kecepatan tertentu.
5. *Autoclave*  
Alat ini digunakan untuk sebagai wadah larutan dalam menghomogenkan kontak panas dan udara vakum.
6. *Ultrasonic cleaner*  
Alat ini digunakan untuk proses sonikasi sebelum material dimasukkan ke dalam *autoclave*.
7. *Centrifuge*  
Alat ini digunakan untuk memisahkan partikel terdispersi.
8. Tabung *centrifuge*  
Alat ini digunakan untuk wadah larutan kimia yang ditempatkan pada mesin *centrifuged*.
9. Pengaduk (Spatula)  
Alat ini digunakan untuk mengaduk larutan.
10. Kertas PH (kertas lakmus)  
Alat ini digunakan untuk mengukur kadar pH pada larutan.
11. *Crucible*  
Alat ini digunakan untuk wadah penyimpanan sampel pada saat proses pemanasan maupun pengeringan.
12. Kotak *Styrofoam*  
Alat ini digunakan untuk reactor pada uji fotokatalisis.

13. Lampu UV 20 Watt

Alat ini digunakan untuk pengujian fotokatalis larutan *methylene blue*.

14. Erlenmeyer

Alat ini digunakan untuk tempat larutan.

15. Gelas Beaker

Alat ini digunakan untuk tempat aktivasi kimia instrumen karakterisasi material.

16. Instrumen Karakterisasi

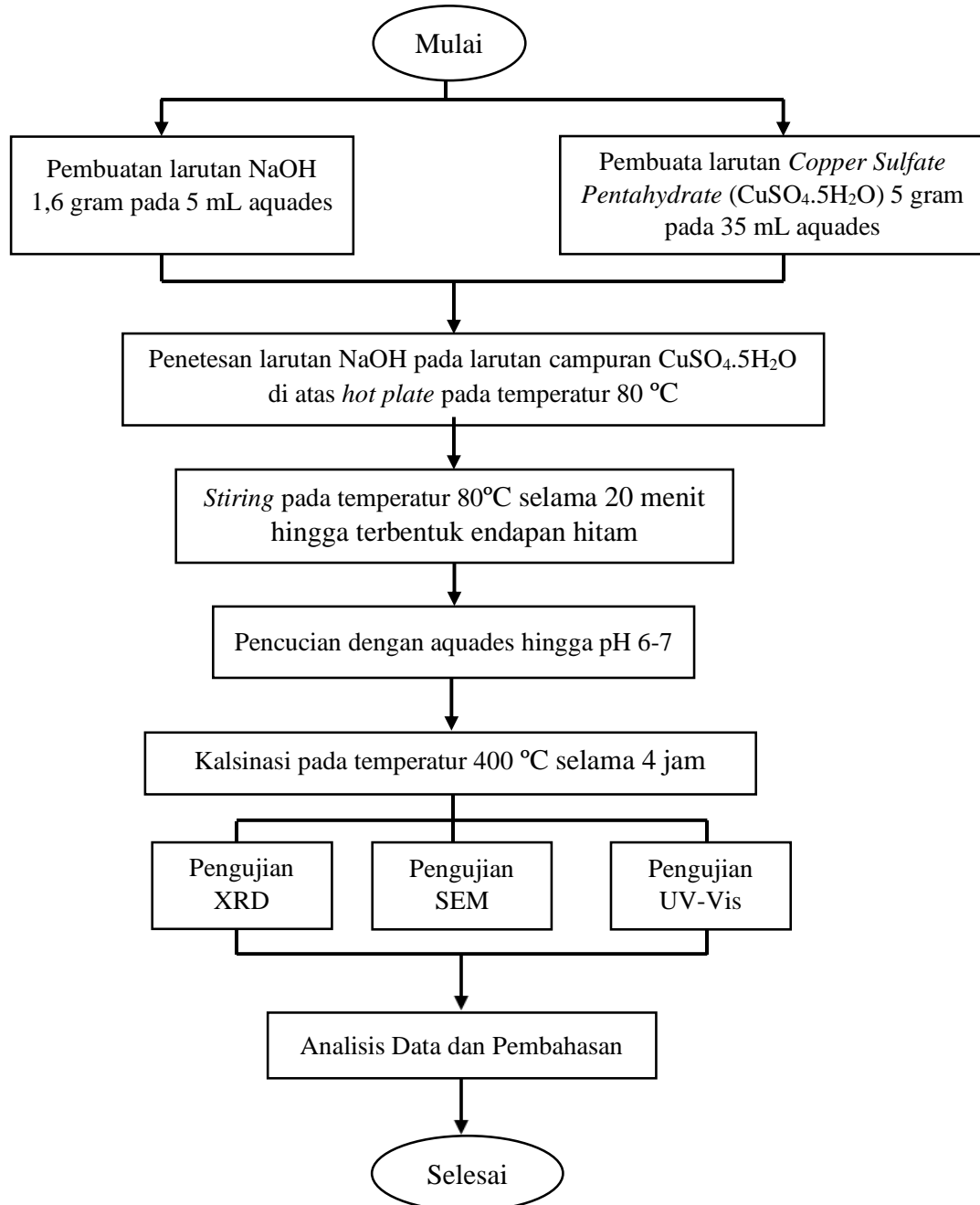
- a. *X-ray Diffraction* (XRD), alat karakterisasi ini digunakan untuk mengetahui senyawa yang terkandung serta struktur kristalnya dari hasil penelitian.
- b. *Scanning Electron Microscope* (SEM-EDX), alat karakterisasi ini digunakan untuk menganalisa morfologi dan juga ukuran partikel dari hasil penelitian.
- c. *Fourier Transform Infrared* (FTI-R), alat karakterisasi ini digunakan untuk mengetahui nilai gugus fungsi hasil penelitian.
- d. *Brunauer, Emmett and Teller* (BET), alat karakterisasi ini digunakan untuk mengetahui *surface area* dari spesimen penelitian.
- e. Spektrofotometer UV-Vis, alat instrument ini digunakan untuk mengetahui Panjang gelombang dan adsorban sampel penelitian.
- f. *Gas Chromatography-Mass Spectroscopy* GC-MS, alat instrument ini digunakan untuk menganalisis kemampuan fisik sampel dari kromatografi cair dengan spesifikasi deteksi spektrometri massa. Kromatografi cair membuka komponen-komponen sampel dan kemudian ion bermuatan dideteksi oleh spectrometer massa.

### 3.3 Diagram Alir

Adapun diagram alir pada penelitian ini yang akan dijelaskan sebagai berikut:

#### 3.3.1 Sintesis CuO

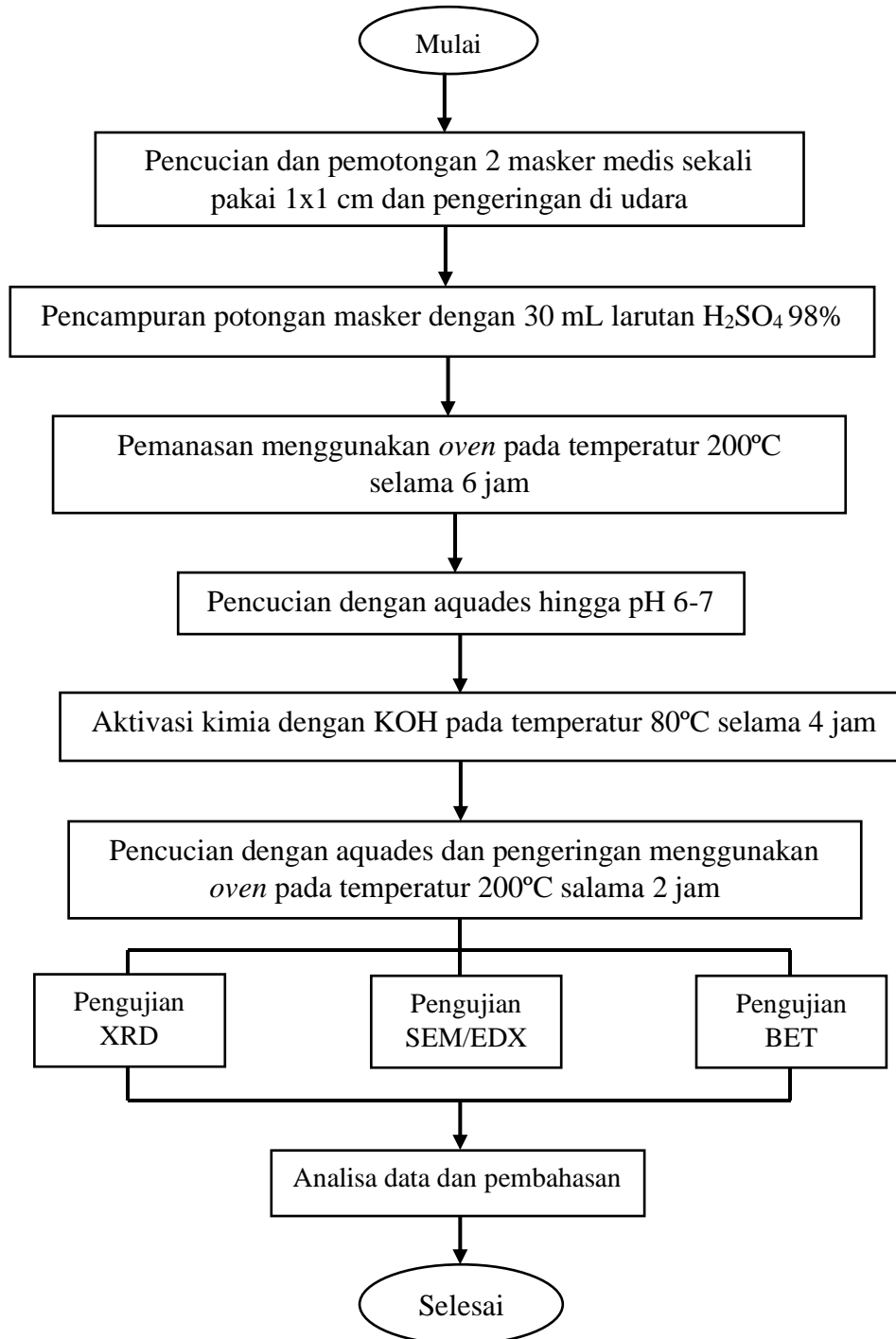
**Gambar 3.1** merupakan diagram alir dari proses sintesis CuO yang digambarkan sebagai berikut.



**Gambar 3. 1** Diagram alir sintesis CuO

### 3.3.2 Sintesis Masker

**Gambar 3.2** merupakan diagram alir dari proses sintesis masker yang digambarkan sebagai berikut.

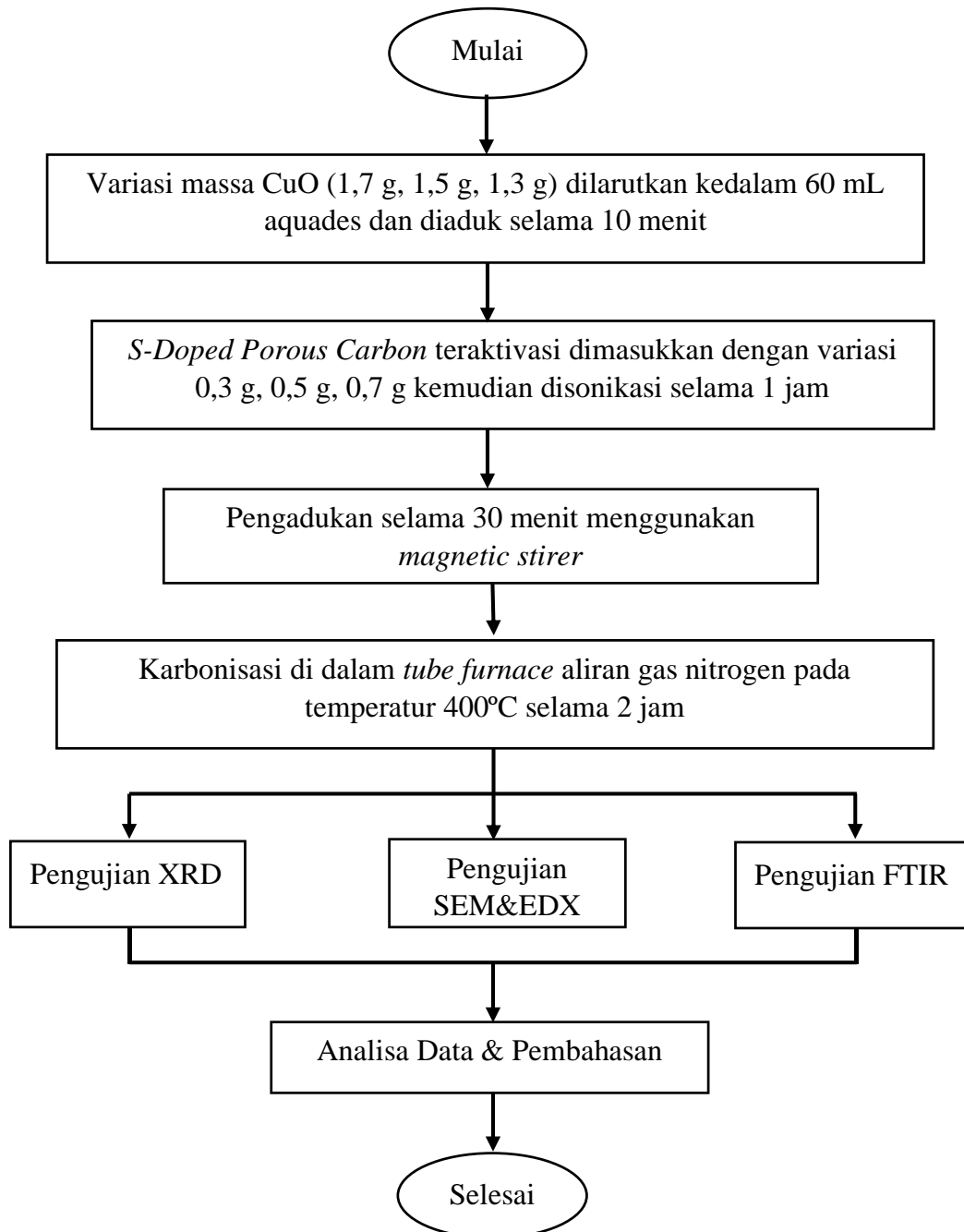


**Gambar 3. 2** Diagram alir sintesis masker



### 3.3.3 Sintesis Komposit *S-Doped Porous Carbon /CuO*

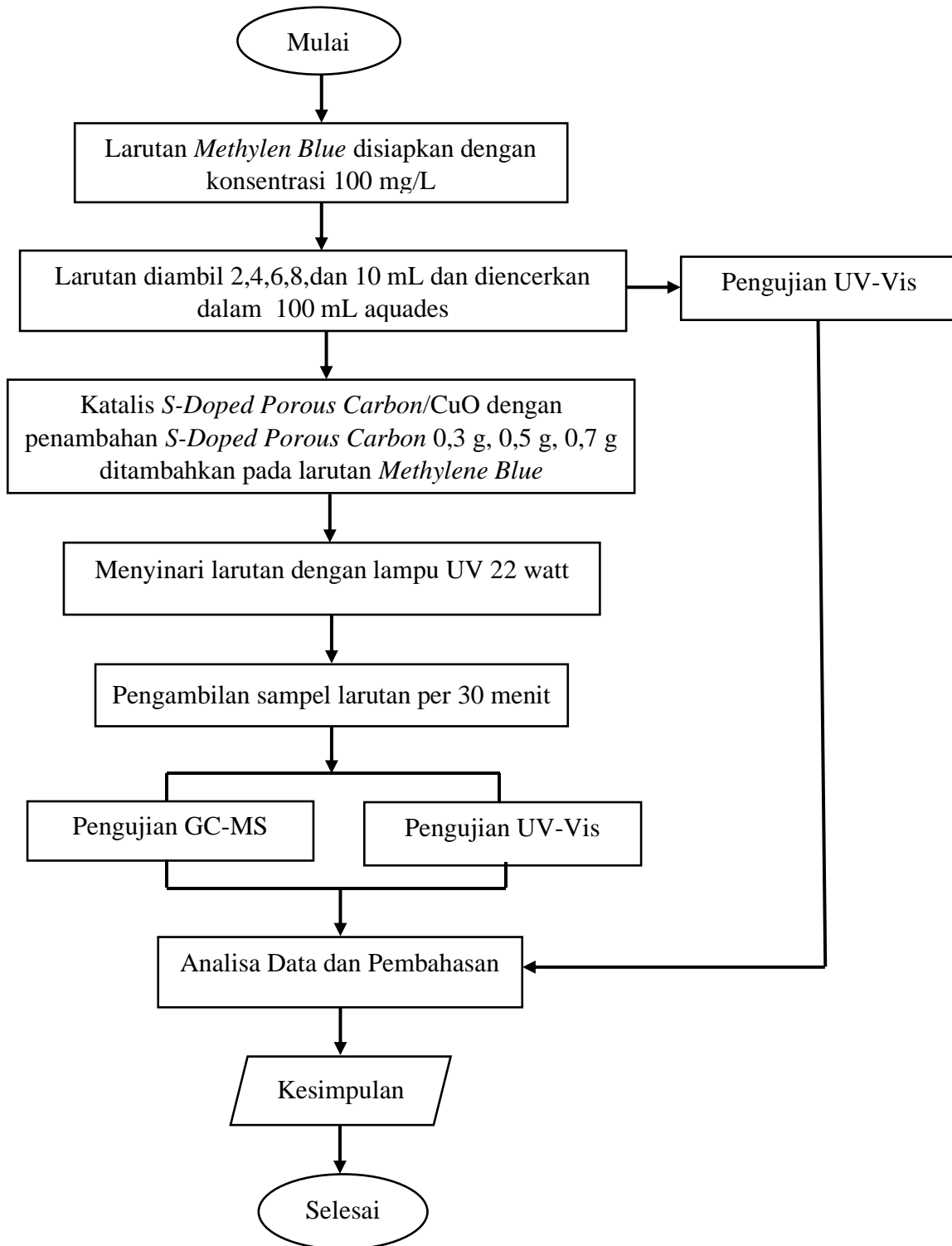
**Gambar 3.3** merupakan diagram alir dari proses sintesis komposit *S-Doped Porous Carbon /CuO* yang digambarkan sebagai berikut.



**Gambar 3.3** Diagram alir sintesis komposit *S-Doped Porous Carbon /CuO*

### 3.3.4 Pengujian Fotokatalisis

**Gambar 3.4** merupakan diagram alir dari proses pengujian fotokatalisis yang digambarkan sebagai berikut.



**Gambar 3. 4** Diagram alir pengujian fotokatalisis

---

### 3.4 Metode Penelitian

Proses penelitian dilakukan melalui 4 tahapan, yaitu proses sintesis CuO, dilanjutkan dengan metode sintesis masker, tahapan ketiga yaitu sintesis komposit *S-Doped Porous Carbon* / CuO dan tahapan yang terakhir yaitu pengujian fotokatalisis.

#### 3.4.1 Sintesis CuO

Proses sintesis CuO dimulai dengan pembuatan larutan 1,6 gram NaOH dengan aquades 5 mL dan pembuatan larutan 5 gram *copper sulfate pentahydrate* ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) dengan 35 mL aquades. Kemudian larutan NaOH yang telah dibuat diteteskan sedikit demi sedikit ke larutan ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) di atas *hot plate* pada temperatur  $80^\circ$ . Selanjutnya larutan yang telah dicampurkan tersebut di *stiring* pada temperatur  $80^\circ\text{C}$  selama 20 menit hingga terbentuk endapan. Hasil *stiring* larutan lalu dicuci dengan aquades hingga pH menunjukkan netral yaitu antara pH 6-7. Setelah dicuci hingga pH netral lalu dilakukan kalsinasi pada temperatur  $400^\circ\text{C}$  selama 4 jam. Setelah proses kalsinasi selanjutnya dilakukan uji XRD, SEM dan UV-Vis untuk melihat hasil CuO yang terbentuk.

#### 3.4.2 Sintesis *S-Doped Porous Carbon*

Proses sintesis pada masker medis sekali pakai diawali dengan preparasi pada masker, yaitu pertama-tama 2 buah masker dicuci bersih menggunakan aquades dan etanol lalu dipotong kecil-kecil persegi berukuran sekitar  $1 \times 1$  cm. Setelah masker terpotong rata, masker dikeringkan di udara hingga kering. Selanjutnya potongan masker yang telah kering dimasukkan ke dalam *autoclave* dan dicampurkan larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  98% sebanyak 30 mL. *Autoclave* ditutup rapat dan dipastikan tidak ada cela udara yang masuk. Kemudian dilakukan pemanasan di dalam oven pada temperatur  $200^\circ\text{C}$  selama 6 jam dan setelah pemanasan terbentuklah *S-Doped Porous Carbon*. *S-Doped Porous Carbon* yang terbentuk kemudian dicuci menggunakan aquades hingga pH netral yaitu sekitar 6-7. Selanjutnya, dilakukan aktivasi kimia menggunakan aktivasi agent KOH yang bertujuan untuk membuka pori-pori dari *S-Doped Porous Carbon*, perbandingan massa yang digunakan pada proses aktivasi yaitu aquades: *S-Doped Porous Carbon*: KOH sebanyak 1:1:3. Proses aktivasi kimia dilakukan menggunakan *magnetic stirrer* dan *hot plate* pada temperatur  $80^\circ\text{C}$  selama 4 jam. Pada proses aktivasi tersebut terbentuk *S-Doped Porous Carbon* teraktivasi. Selanjutnya, *S-Doped Porous Carbon* teraktivasi dicuci bersih menggunakan aquades hingga pH netral dan dilakukan pengeringan menggunakan oven pada temperatur  $200^\circ\text{C}$  selama 2 jam. Untuk mengetahui karakterisasi dari *S-Doped Porous Carbon* teraktivasi yang terbentuk maka dilakukan pengujian XRD, SEM/EDX dan BET.

#### 3.4.3 Sintesis Komposit *S-Doped Porous Carbon*/CuO

Untuk menghasilkan komposit *S-Doped Porous Carbon* teraktivasi/CuO dibutuhkan beberapa tahapan proses sintesis pembentukan komposit tersebut. Pertama-tama proses sintesis dimulai dengan pelarutan variasi massa CuO (1,7 g, 1,5 g, 1,3 g) yang terbentuk dari proses sintesis CuO ke dalam 60 mL aquades dan diaduk selama 10 menit. Selanjutnya, pada larutan tersebut ditambahkan *S-Doped Porous Carbon* teraktivasi dengan variasi massa 0,3 g, 0,5 g, 0,7 g lalu kemudian disonikasi selama 1 jam. Kemudian dilanjutkan pengadukan pada larutan menggunakan *magnetic stirrer* selama 1 jam untuk menghomogen larutan sampel komposit tersebut. Setelah homogen dilakukan kalsinasi dan karbonisasi menggunakan *tube furnace* yang dialiri gas nitrogen pada temperatur  $400^\circ\text{C}$  selama 2 jam. Kemudian ketika selesai proses kalsinasi dan karbonisasi larutan komposit didinginkan 1 hari untuk selanjutnya dilakukan karakterisasi hasil sintesis komposit *S-Doped Porous Carbon*/CuO dengan pengujian SEM/EDX, XRD dan FTIR.

### 3.5 Pengujian

Hasil penelitian akan dilakukan karakterisasi melalui beberapa proses pengujian untuk mendukung apakah dianggap berhasil atau tidak penelitian tersebut. Berikut merupakan penjelasan terkait jenis-jenis pengujian karakteristik yang akan dilakukan pada penelitian ini.

#### 3.5.1 Pengujian Fotokatalitik

Pengujian fotokatalisis digunakan untuk mengamati seberapa besar pengaruh penambahan *S-Doped Porous Carbon* pada komposit *S-Doped Porous Carbon/CuO* untuk degradasi *Methylene Blue*. Prosedur pengujian fotokatalisis yang dilakukan sebagai berikut:

1. Pembuatan larutan uji dan penentuan panjang gelombang maksimum

Serbuk *methylene blue* ditimbang sebanyak 0,01 gram kemudian dilarutkan ke dalam 100 mL aquades hingga didapatkan larutan *methylene blue* dengan konsentrasi  $100 \text{ mg.L}^{-1}$ . Larutan baku  $100 \text{ mg.L}^{-1}$  selanjutnya di pipet 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  $10 \text{ mg.L}^{-1}$ . Selanjutnya ditentukan panjang gelombang maksimum *methylene blue* dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

2. Penentuan kurva standar *methylene blue*

Larutan *methylene blue* dengan konsentrasi 2,4,6,8, dan  $10 \text{ mg.L}^{-1}$ . Ditentukan nilai absorbansi dari masing-masing konsentrasi menggunakan panjang gelombang maksimum yang telah ditentukan sebelumnya. Kurva standar dibuat dengan menghubungkan antara konsentrasi dengan absorbansi.

3. Uji degradasi zat warna *methylene blue* dengan variasi penambahan *S-Doped Porous Carbon*

Degradasi *methylene blue* dilakukan dengan menggunakan variasi penambahan *S-Doped Porous Carbon*. Variasi penambahan *S-Doped Porous Carbon* yang dipilih adalah 0,3 g, 0,5 g, 0,7 g. 4 buah gelas kimia berukuran 250 mL. masing-masing dimasukkan 100 mL larutan *methylene blue*. Selanjutnya masing-masing gelas dimasukkan katalis *S-Doped Porous Carbon/CuO* 0,5 gram. Reaktor disinari lampu UV 22 watt dengan variasi waktu per 1 menit, hasil degradasi dianalisis absorbansinya dengan alat spektrofotometer pada Panjang gelombang maksimum 540 nm. Hasil analisis dibandingkan dengan konsentrasi zat warna hasil degradasi secara fotokatalis ditentukan presentase degradasi zat warna. Presentase degradasi *methylene blue* ditentukan dengan persamaan berikut:

$$(\%D) = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \quad (3.1)$$

Dimana  $C_0$  adalah konsentrasi awal zat warna sebelum iradiasi,  $C_t$  adalah konsentrasi zat warna pada t. Berdasarkan hasil analisis, dibuat profil hubungan antara waktu degradasi dengan presentase degradasi.

#### 3.5.2 XRD (X-ray Powder Diffraction)

XRD adalah alat yang digunakan untuk mengkarakterisasi struktur kristal dan ukuran kristal dari suatu bahan padat. Metode difraksi umumnya digunakan untuk mengidentifikasi senyawa yang belum diketahui yang terkandung dalam suatu padatan dengan cara membandingkan dengan data difraksi dengan database yang dikeluarkan oleh JCPDS (*Joint Committee of Powder Diffraction Standard*). Semua bahan yang mengandung kristal tertentu ketika dianalisa menggunakan XRD akan memunculkan puncak-puncak yang spesifik.

Sehingga kelemahan alat ini yaitu tidak dapat untuk mengkarakterisasi bahan yang bersifat amorf. Prinsip kerja XRD yaitu dimana tabung sinar-X menembak sampel padatan kristalin, selanjutnya mendifraksikan sinar ke segala arah dengan memenuhi Hukum Bragg pada Persamaan 3.1 Detektor bergerak dengan kecepatan sudut yang konstan untuk mendeteksi berkas sinar-X yang didifraksikan oleh sampel. Sampel serbuk atau padatan kristalin memiliki bidang-bidang kisi yang tersusun secara acak dengan berbagai kemungkinan orientasi, begitu pula partikel-partikel kristal yang terdapat di dalamnya. Setiap kumpulan bidang kisi tersebut memilih beberapa sudut orientasi tertentu sehingga difraksi sinar-X memenuhi:

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

dimana,

$n$  = orde difraksi (1,2,3,...)

$\lambda$  = Panjang sinar-X

$d$  = jarak kisi

$\theta$  = sudut difraksi

Perhitungan jarak antar layer pada hasil grafit XRD ( $d_{spacing}$ ) dapat menggunakan Hukum Bragg pada Persamaan 3.3 yang digunakan untuk menganalisa pengaruh sintesis khususnya jarak layer pada sampel.

$$d_{002} = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \quad (3.3)$$

dimana,

$d_{002}$  = Jarak antar layer

$\lambda$  = Panjang gelombang (1,54 Å)

$\theta$  = Sudut difraksi ( $^{\circ}$ )

Dari hasil keluaran XRD dapat memberikan informasi untuk melihat ukuran kristal sampel. Hal ini dapat didapatkan dengan Persamaan Scherrer pada persamaan 3.4.

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (3.4)$$

dimana,

$D$  = Ukuran kristal

$\lambda$  = Panjang gelombang Cu-K $\alpha$  (1.54060Å)

$\beta$  = FWHM (rad)

$K$  = Konstan Scherrer dengan nilai 0.9

Bentuk keluaran dari difraktometer dapat berupa data analog atau digital. Rekaman data analog berupa grafit garis-garis yang terekam per menitnya, dengan detektor sudut  $2\theta$  per menit sehingga sumbu-X setara dengan sudut  $2\theta$ . Sedangkan rekaman digital menginformasikan intensitas sinar-X terhadap jumlah intensitas cahaya per detik.



**Gambar 3. 5** Alat pengujian XRD (Dokumen Pribadi)

Karakterisasi material menggunakan XRD alat instrument XRD PAN *Alytcal* yang ditunjukkan pada **Gambar 3.5**. Karakterisasi XRD menghasilkan beberapa data, baik data kualitatif maupun data kuantitatif seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 3.1**.

**Tabel 3. 1** Informasi hasil pengujian XRD(Muliastri et al., 2018)

No	Karakter	Informasi dari material
1	Posisi Puncak ( $2\theta$ )	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fasa</li> <li>- Identifikasi kristal</li> <li>- Struktur kristal</li> <li>- Parameter kisi</li> <li>- Regangan seragam</li> </ul>
2	Tinggi Puncak (Intensitas)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identifikasi</li> <li>- Komposisi</li> <li>- Hamburan tak koheren</li> <li>- Extinction</li> <li>- Preferred orientation</li> </ul>
3	Lebar dan Bentuk Puncak	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ukuran kristal (bukan partikel atau bukan grain)</li> </ul>

### 3.5.3 FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*)

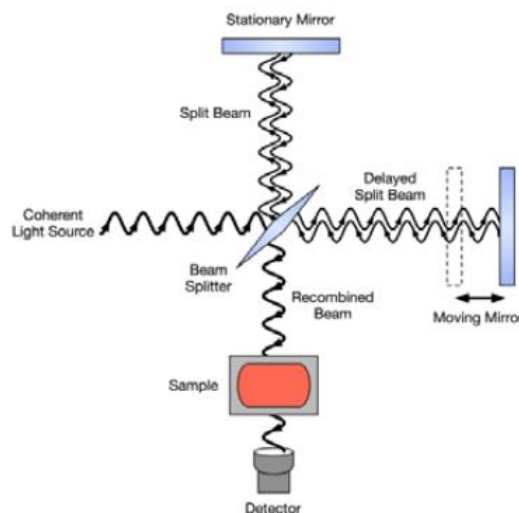
FTIR merupakan sebuah alat pengujian yang menggunakan penyerapan radiasi infra merah dan juga salah satu instrumen spektroskopi. Pada spektroskopi infra merah, radiasi inframerah dipancarkan mengenai sampel. Sebagian radiasi infra merah diserap oleh sampel sebagian yang lain ditransmisikan. Hasil spektrum infra merah menggambarkan penyerapan molekul dan transmisi, menggambarkan ciri khas sampel. Setiap molekul memiliki penyerapan berbeda sesuai dengan pola vibrasi dan pola ikatan antar atomnya. Tidak ada dua molekul yang menghasilkan spektrum infra merah yang sama. Oleh karena itu spektroskopi infra merah sangat berguna untuk berbagai analisis. FTIR dapat memberikan informasi mengenai material

yang belum diketahui (teridentifikasi), mengenai kualitas sampel, dan mengetahui jumlah komponen dalam suatu campuran. **Gambar 3.6** memperlihatkan instrumen uji FTIR.



**Gambar 3. 6** Alat uji FTIR (Dokumen Pribadi)

Prinsip kerja FTIR yaitu berdasarkan penyerapan radiasi infra merah. Infra merah dipancarkan melalui interferometer kemudian dipancarkan melalui sampel, sebagian radiasi *infrared* diserap sampel dan sebagian lain dipancarkan kembali dan tertangkap oleh *detector*. Besarnya radiasi infra merah yang tertangkap oleh detektor kemudian diubah menjadi spektrum oleh interferogram. Untuk dapat menyerap radiasi infra merah (aktif inframerah), vibrasi molekul harus menghasilkan perubahan momen dwikutub. Setiap molekul memiliki penyerapan berbeda sesuai dengan pola vibrasi dan pola ikatan antar atomnya. (Di Gianfrancesco, 2017) Mekanisme kerja FTIR di gambarkan pada **Gambar 3.7**.



**Gambar 3. 7** Skema prinsip kerja FTIR(Di Gianfrancesco, 2017)

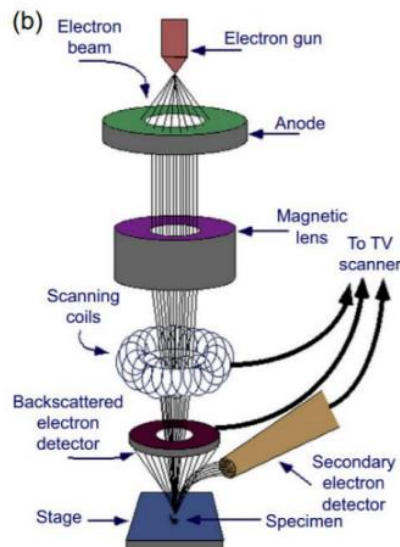
### 3.5.3 SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dan EDX (*Energy Dispersive X-Ray Analysis*)

*Scanning Electron Microscopy* (SEM) merupakan mikroskop yang prinsip kerjanya dengan memanfaatkan pancaran elektron berenergi tinggi untuk memeriksa objek dalam skala yang sangat kecil. SEM digunakan untuk menguji topografi dan morfologi dari semua sampel. Pengamatan ini memberikan informasi mengenai topografi (jenis permukaan objek), morfologi (bentuk dan ukuran partikel), komposisi (unsur dan senyawa berdasarkan jumlah relatif masing-masing) dengan menggunakan *Energy Dispersive X-Ray Analysis* (EDX). Komponen utama alat SEM ini pertama adalah tiga pasang lensa-lensa elektromagnetik yang masing-masing berfungsi untuk memfokuskan berkas elektron menjadi sebuah titik kecil, lalu oleh dua pasang



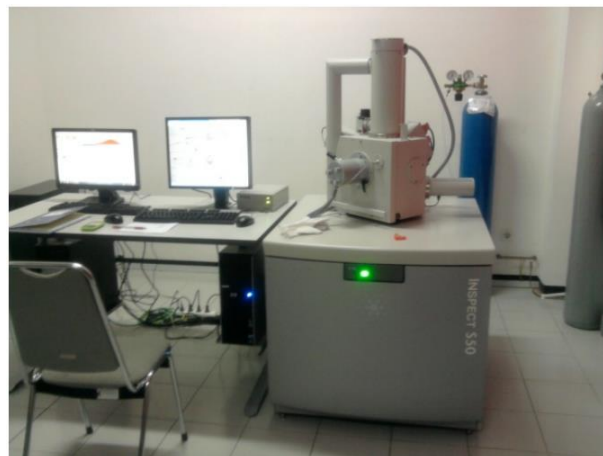
*scan coil* discan-kan dengan frekuensi variabel pada permukaan sampel. Semakin kecil berkas difokuskan semakin besar resolusi lateral yang dicapai.

Prinsip kerja SEM yaitu berkas elektron yang dihasilkan oleh *electron gun* menyapu permukaan sampel. Pada saat electron berinteraksi dengan sampel, maka akan dihasilkan *secondary electron* (SE). electron ini masuk ke dalam *detector* dan diubah menjadi sinyal listrik yang menghasilkan gambar pada layar monitor. Sinyal keluaran dari *detector* ini berpengaruh terhadap intensitas cahaya di dalam tabung monitor, karena jumlah cahaya yang dipancarkan oleh monitor sebanding dengan jumlah electron yang berinteraksi dengan sampel. Hasil yang ditampilkan dengan *secondary electron* ini adalah topografi permukaan sampel. Sedangkan untuk mengamati fasa-fasa, dilakukan dengan *backscattered electron* (BE). BE memberikan perbedaan kehitaman gambar berdasarkan nomor atom (Z) dari unsur-unsur fasa yang ada pada sampel. Bahkan dengan nomor atom yang besar, akan tampak lebih terang dibandingkan bahan dengan nomor atom yang lebih kecil. (Di Gianfrancesco, 2017)



**Gambar 3. 8** Prinsip kerja SEM (Di Gianfrancesco, 2017)

Pada pengujian ini sampel diamati morfologinya menggunakan mesin SEM Inspect S50 seperti yang terlihat pada **Gambar 3.9** Sampel yang digunakan berupa lembaran yang dilengketkan pada holder dengan menggunakan selotip karbon *double tape*. Lalu sampel diamati dengan berbagai perbesaran. Perbesaran yang digunakan adalah 300x, 500x, 1000x, 5000x, 10000x, 15000x.



**Gambar 3. 9** Alat uji SEM (Dokumen Pribadi)



### 3.5.4 Spektrofotometri UV-Vis

Spektrofotometri UV-Vis adalah teknik analisis spektroskopik yang memakai sumber radiasi elektromagnetik ultra violet dekat(190-380 nm) dan sinar tampak (380-780 nm) dengan memakai alat spektrofotometer. Spektrofotometer UV-VIS digunakan untuk mendapatkan absorbance spectra dari suatu material, mengukur intensitas cahaya yang melewati larutan sampel dalam kuvet, dan membandingkannya dengan intensitas cahaya sebelum melewati sampel. Pengujian UV-Vis bertujuan untuk mengetahui panjang gelombang ( $\lambda$ ) dan nilai absorbansi dengan cara menembakkan sinar ultraviolet (UV) pada larutan. Prinsip pengujian UV-Vis adalah mengamati elektron yang tereksitasi menuju level energi yang tinggi diamati sebagai absorbansi cahaya atau radiasi elektromagnetik. Pada pengujian UV-Vis menggunakan panjang gelombang UV visible light dengan rentang 200-800 nm yang memiliki energi sebesar 1.5-6.2 eV.(Henry & Yanuar, 2002) Alat pengujian spektrofotometer UV-VIS seperti **Gambar 3.10**.



**Gambar 3. 10** Mesin UV-Vis *Genesys 10S UV-Vis Spectrometer* (Dokumen Pribadi)

Radiasi maksimal yang diserap oleh larutan tersebut akan ditunjukkan pada panjang gelombang tertinggi dari nilai absorbansi maksimum dan persentase nilai transmisi minimum yang dihasilkan larutan tersebut. Untuk perhitungan nilai absorbansi digunakan Hukum *Lambert-Beer* yang dirumuskan seperti pada Persamaan (3.5) sebagai berikut.

$$A = \epsilon \cdot b \cdot c \quad (3.5)$$

dimana,

- A : absorbansi (arb. units atau *arbitrary units*)
- $\epsilon$  : absorptivitas molar dari material ( $M^{-1}cm^{-1}$ )
- b : panjang dari *cuvette* atau *sample holder* (~1 cm)
- c : konsentrasi (M)

### 3.5.5 Pengujian *Brunaur, Emmett and Teller* (BET)

Pengujian BET (*Bruner Emmet Teller*) merupakan pengujian yang bertujuan untuk mengetahui besar luas permukaan aktif atau karakterisasi permukaan pada suatu sampel. Sampel dengan data yang dihasilkan yaitu *Spesific surface area* (SA,  $m^2 /g$ ) dan Volume pori ( $V_{pr}$ ,  $mm^3 /g$ ). Prinsip kerja pengujian BET yaitu dengan memanfaatkan daya serap sampel terhadap gas nitrogen. Gas nitrogen umumnya digunakan sebagai molekul *probe* dan diekspos

ke benda padat pada kondisi nitrogen cair. Sampel yang diuji minimal memiliki massa 0,1 g. Pada pengujian BET sampel akan dipanaskan namun temperatur pemanasannya dibawah perlakuan aktivasi fisiknya agar tidak mempengaruhi hasil sampel karbon aktif.

Teknik pengujian BET keseluruhan dari prosesnya dilakukan secara otomatis. Data sampel yang diuji akan otomatis didapatkan pada komputer yang terhubung dengan BET *Analyzer* berupa grafik dan tabel data *isotherm*, grafik dan tabel data *Multiple BET plot*, grafik dan tabel data *pore diameter* dan luas *Specific surface*. Untuk mengetahui *specific surface area* maka dilakukan pengujian BET *specific surface area measurment*. *Specific surface area* benda padat yang diukur didapatkan dari *measured monolayer capacity* dan data *cross sectional area* dari molekul yang dijadikan *probe*. Alat pengujian BET digambarkan pada **Gambar 3.11**.



**Gambar 3. 11** Alat pengujian BET

### 3.5.6 Pengujian Gas *Chromatography-Mass Spectrometer* (GCMS)

GCMS adalah metode pemisahan senyawa organik yang menggunakan dua metode analisis senyawa yaitu gas kromatografi (GC) untuk menganalisis jumlah senyawa secara kuantitatif dan spektrometri massa (MS) untuk menganalisis struktur molekul senyawa analit. Kromatografi gas (GC) adalah jenis umum dari kromatografi yang digunakan dalam kimia analitik untuk memisahkan dan menganalisis senyawa yang dapat menguap tanpa dekomposisi. GC dapat digunakan untuk pengujian kemurnian zat tertentu atau memisahkan komponen yang berbeda dari campuran (jumlah relatif komponen tersebut juga dapat ditentukan). Kromatografi gas, berdasarkan fasa gerak dan fasa diamnya merupakan kromatografi gas-cair. Dimana fasa geraknya berupa gas yang bersifat inert, sedangkan fasa diamnya berupa cairan yang inert pula, dapat berupa polimer ataupun larutan. Sedangkan spektroskopi massa adalah suatu metode untuk mendapatkan berat molekul dengan cara mencari perbandingan massa terhadap muatan dari ion yang muatannya diketahui dengan mengukur jari-jari orbit melingkarnya dalam medan magnetik seragam. Penggunaan kromatografi gas dapat dipadukan dengan spektroskopi massa. Paduan keduanya dapat menghasilkan data yang lebih akurat dalam pengidentifikasian senyawa yang dilengkapi dengan struktur molekulnya. Metode analisis GCMS adalah membaca spectra yang ada pada kedua metode yang digabung tersebut. Pada spectra GC jika terdapat bahwa dari sampel mengandung banyak senyawa, yaitu terlihat dari banyaknya puncak (*peak*) dalam spectra GC tersebut. Berdasarkan data referensi yang sudah diketahui dari literatur, bisa diketahui senyawa apa saja yang terdapat dalam sampel. Senyawa terduga dimasukkan ke dalam instrument spektroskopi massa. Gas kromatografi akan memisahkan senyawa-senyawa dari suatu sampel. Setelah itu, akan didapat hasil dari spectra spektroskopi massa pada grafik yang berbeda. Instrumen alat uji GCMS dapat dilihat pada **Gambar 3.12** sebagai berikut.



**Gambar 3. 12** Instrumentasi alat GC-MS

### 3.6 Rancangan Penelitian

Berikut merupakan rancangan penelitian dan pengujian yang akan dilakukan pada penelitian kali ini yang ditunjukkan pada **Tabel 3.2**.

**Tabel 3. 2** Rancangan Penelitian

Spesimen	XRD	FTIR	SEM/EDX	BET	Uv-Vis	GCMS
S-DPC	✓	✓	✓	✓	✓	-
CuO	✓	-	✓	-	✓	-
2S-DPC/CuO	✓	✓	✓	-	✓	-
4S-DPC/CuO	✓	✓	✓	✓	✓	-
6S-DPC/CuO	✓	✓	✓	-	✓	-
MB	-	-	-	-	✓	✓
MB-n	-	-	-	-	-	✓

Keterangan:

S-DPC : *S-Doped Porous Carbon*

CuO : CuO hasil sintesis

2S-DPC/CuO : Komposit *S-Doped Porous Carbon* dan CuO 2%

4S-DPC/CuO : Komposit *S-Doped Porous Carbon* dan CuO 4%

6S-DPC/CuO : Komposit *S-Doped Porous Carbon* dan CuO 6%

MB : Larutan *Methylene Blue* sebelum terdegradasi

MB-n : Larutan *Methylene Blue* setelah terdegradasi

### 3.7 Jadwal Penelitian

Berikut merupakan jadwal penelitian yang akan dilakukan pada penelitian kali ini yang ditunjukkan oleh **Tabel 3.3**

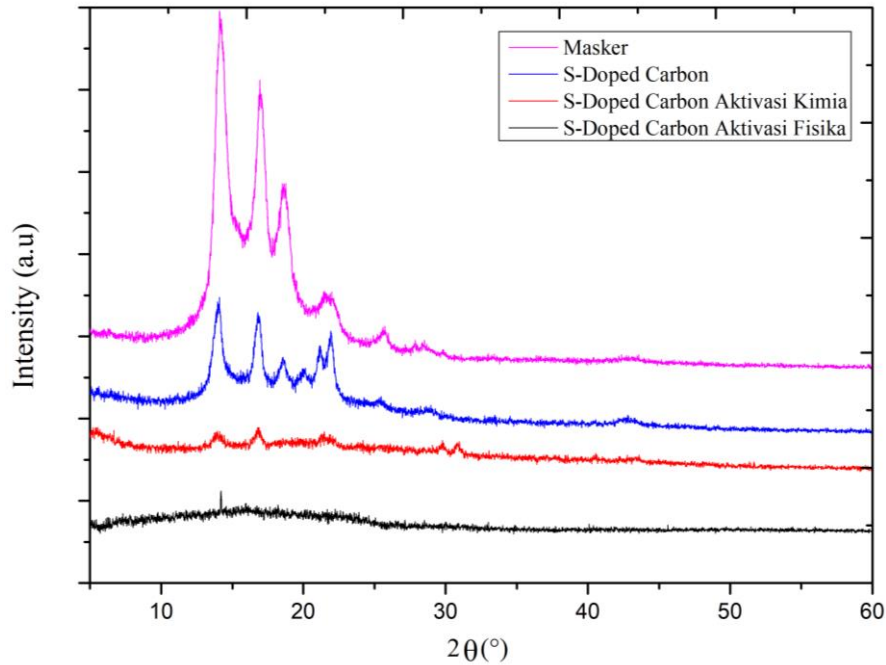
**Tabel 3.3** Jadwal Penelitian

Kegiatan	Bulan																											
	Februari				Maret				April				Mei				Juni				Juli							
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Studi Literatur																												
Bimbingan dengan dosen																												
Persiapan alat bahan																												
Sintesis dan aktivasi <i>S-Doped Porous Carbon</i>																												
Sintesis Komposit <i>S-Doped Porous Carbon/CuO</i>																												
Pengujian XRD																												
Pengujian FTIR																												
Pengujian SEM/EDX																												
Pengujian BET																												
Pengujian UV-Vis/Fotokatalitik																												
Pengujian GCMS																												
Penyusunan laporan akhir																												

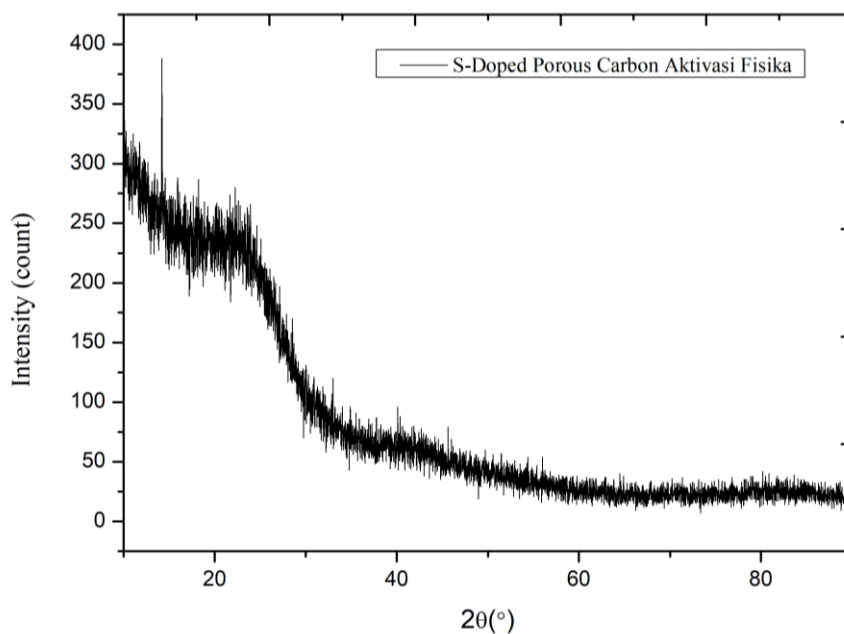
## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD)

Pada pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) ini digunakan alat XRD *Phillip Analytical* dengan parameter sudut  $2\theta = 5^\circ - 90^\circ$  dan panjang gelombang  $\text{Cu-K}\alpha$  1.54060 Å. Pengujian dilakukan untuk mengetahui perbedaan posisi puncak (*peak*) dari sampel masker sekali pakai, *S-Doped Porous Carbon*, dan *S-Doped Porous Carbon* teraktivasi. Grafik perbedaan puncak (*peak*) pada tiap-tiap sampel dapat dilihat pada **Gambar 4.1**.



**Gambar 4. 1** Hasil pengujian XRD masker sekali pakai, *S-Doped Porous Carbon* dan *S-Doped Porous Carbon* teraktivasi

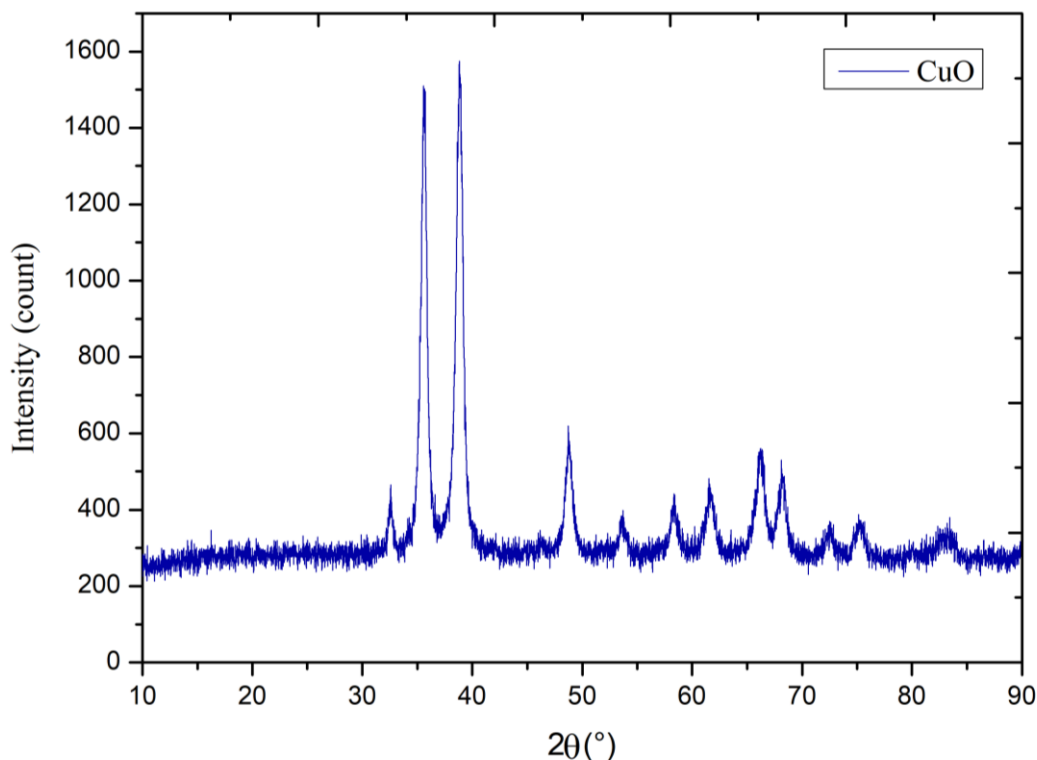


**Gambar 4. 2** Hasil pengujian XRD material *S-Doped Porous Carbon*

Dari **Gambar 4.1** dan **Gambar 4.2** dapat dilihat perbedaan posisi puncak yang mengindikasikan adanya perubahan struktur dari masker menjadi *S-Doped Porous Carbon* dan selanjutnya menjadi *S-Doped Porous Carbon* Teraktivasi. Dari hasil pengujian XRD pada material masker menunjukkan puncak difraksi yang jelas pada  $14.1^\circ$ ,  $17.0^\circ$ ,  $18.6^\circ$ ,  $21.6^\circ$ ,  $25.5^\circ$  dan  $28.8^\circ$  dimana puncak tersebut sesuai dengan bidang kristal dari [110], [040], [130], [131], [151] yang merupakan bidang struktur semikristalin, hal tersebut sesuai dengan bahan utama masker yaitu dari *polypropylene* dimana *polypropylene* memiliki bidang struktur semikristalin. Hasil XRD pada masker tersebut menunjukkan bahwa sifat kristalinitas masker sangat baik. Nilai intensitas XRD yang semakin tinggi menunjukkan kristalinitas yang semakin baik (Hye-Min Yoo, 2011).

Setelah terjadi proses sintesis *S-Doped Porous Carbon* dan proses aktivasi terjadi perubahan puncak (*peak*) secara bertahap dari masker menjadi *S-Doped Porous Carbon* dan *S-Doped Porous Carbon* teraktivasi. Berdasarkan gambar di atas pada grafik XRD *S-Doped Porous Carbon* teraktivasi terdapat kesesuaian dengan hasil penelitian Xiang dan Zhidan (2021) dengan nilai puncak (*peak*) lebar pada  $2\theta=23,6^\circ$  yang merupakan puncak (*peak*) karakterisasi karbon grafit *amorf*, sehingga menunjukkan bahwa bahan karbon memiliki struktur grafit *amorf*. Hal tersebut mendukung penelitian ini dimana pada **Gambar 4.2** *S-Doped Porous Carbon* teraktivasi yang juga memiliki puncak (*peak*) pada posisi  $2\theta = 23.6^\circ$  sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa *S-Doped Porous Carbon* hasil sintesis pada penelitian ini memiliki karakterisasi karbon dengan struktur *amorf* yang dapat ditunjukkan pada **Gambar 4.2**.

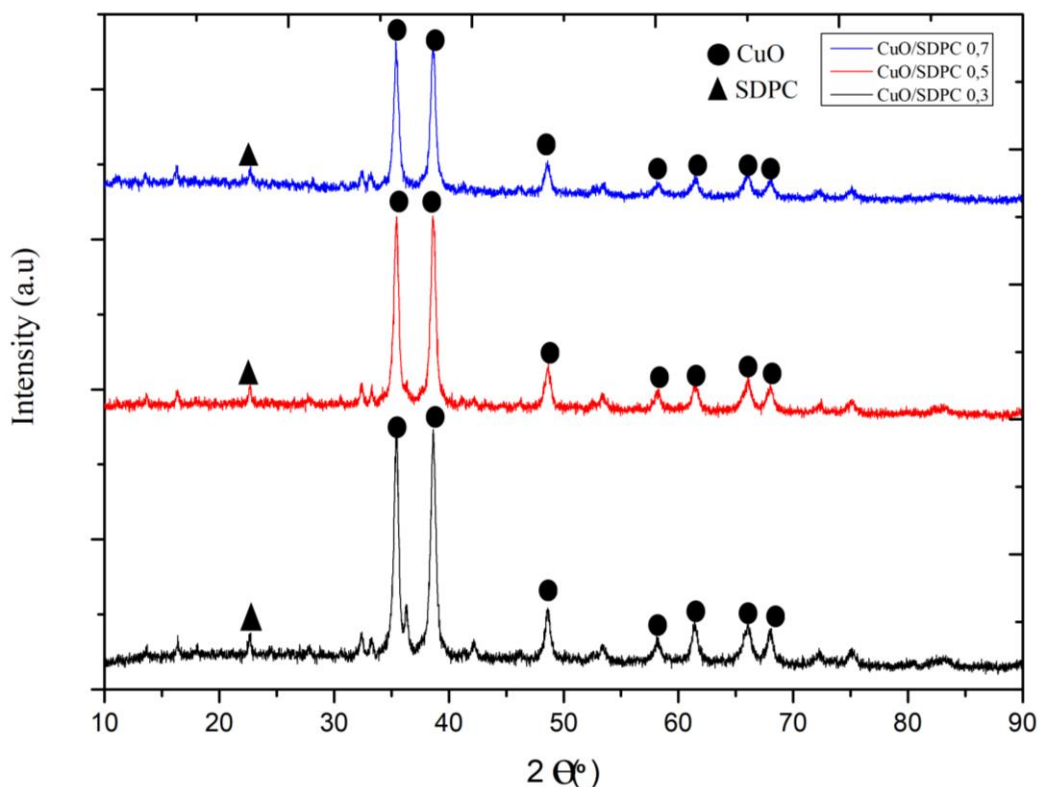
Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) dilakukan kembali pada sampel CuO dan komposit *S-Doped Porous Carbon*/CuO. Hasil pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) pada sampel CuO dapat dilihat pada **Gambar 4.3**.



**Gambar 4.3** Hasil pengujian XRD pada material CuO



Dari hasil pengujian XRD pada material CuO didapatkan hasil puncak (*peak*) tertinggi terletak pada  $2\theta=35.558^\circ$  yang mewakili bidang (-111) dan  $2\theta=38.759^\circ$  dengan bidang (111), selain itu terdapat puncak (*peak*) yang lain pada  $35.462^\circ$ ,  $48.704^\circ$ ,  $53.547^\circ$ ,  $58.333^\circ$ ,  $61.559^\circ$ ,  $66.222^\circ$ ,  $68.154^\circ$ ,  $72.424^\circ$ ,  $75.280^\circ$  dan sesuai dengan bidang [002], [-202], [020], [202], [-113], [-311], [220], [311], [-222] yang menunjukkan bahwa struktur CuO adalah *monoclinic* sesuai dengan JCPDS card 089-2531. Struktur CuO memiliki *lattice* parameter  $a=4.6890 \text{ \AA}$ ,  $b=3.4200 \text{ \AA}$ ,  $c=5.1300 \text{ \AA}$  dan  $\beta=99.5700^\circ$  jarak interlayer pada material ini berkisar antara  $1.26 - 2.77 \text{ \AA}$ . Selanjutnya untuk hasil pengujian XRD komposit *S-Doped Porous Carbon/CuO* hampir tidak memiliki perbedaan puncak (*peak*) yang signifikan. Perbandingan hasil uji XRD CuO dan komposit *S-Doped Porous Carbon/CuO* dengan variasi penambahan massa *S-Doped Porous Carbon* 0,3 gram, 0,5 gram, dan 0,7 gram dapat dilihat pada **Gambar 4.4**.



**Gambar 4. 4** Hasil pengujian XRD material komposit *S-Doped Porous Carbon/CuO*

Dari hasil pengujian XRD pada material komposit *S-Doped Porous Carbon/CuO* didapatkan hasil puncak (*peak*) khas yang berada pada posisi  $2\theta = 23^\circ$ . Ketiga variasi massa pada komposit apabila dibandingkan tidak menunjukkan pergeseran *peak* khas yang signifikan. Hal ini sesuai dengan penelitian Linyu Zhu et. al. pada tahun 2018 yang mengatakan bahwa pada komposit material *amorf* dan kristalin jumlah intensitas material *amorf* (*S-Doped Porous Carbon*) akan sangat kecil dan hampir tidak terlihat dimana akan muncul *peak* karbon pada posisi  $2\theta = 23^\circ$ .

Pada hasil pengujian XRD katalis CuO dan komposit CuO dengan variasi penambahan massa *S-Doped Porous Carbon* 0,3 gram, 0,5 gram dan 0,7 gram terlihat adanya perubahan FWHM (*broadening*) akibat dari penambahan variasi massa *S-Doped Porous Carbon*. *Peak broadening* ini mengindikasikan bahwa adanya perubahan *crystalline size* yang terjadi setelah material CuO dikompositkan dengan material *S-Doped Porous Carbon*. Hal ini dapat

didapatkan dengan persamaan *Scherrer* pada persamaan 3.4. Dengan mengetahui ukuran kristalin dari material, kita dapat mengetahui pengaruh ukuran kristal terhadap proses fotokatalitik. Ukuran kristal berpengaruh terhadap lebarnya luas permukaan penampang material. Semakin kecil ukuran kristal, maka semakin besar pula luas penampang yang dihasilkan material tersebut. Sebaliknya, semakin besar ukuran kristal yang dihasilkan maka luas penampang yang dihasilkan juga akan semakin kecil. Hasil perhitungan nilai ukuran kristal dari setiap sampel dapat dilihat pada **Tabel 4.1**.

**Tabel 4. 1** Hasil perhitungan nilai ukuran kristal dari sampel CuO dan komposit *S-Doped Porous Carbon/CuO*

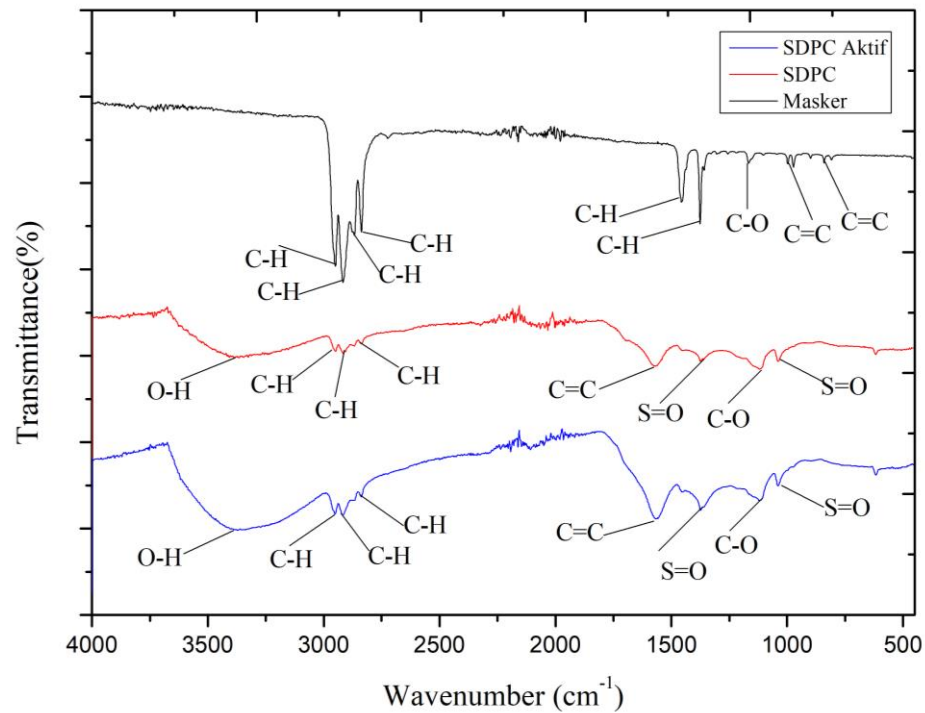
No	Sampel	FWHM (rad)	2 $\theta$ (°)	Ukuran Kristalite (nm)
1.	CuO	0.1380	38.8	63.21
2.	CuO/SDPC 0,3	0.2415	38.6	38.86
3.	CuO/SDPC 0,5	0.3020	38.5	29.62
4.	CuO/SDPC 0,7	0.4804	38.6	21.35

Pada **Tabel 4.1** dapat diketahui ukuran kristalin pada CuO dan komposit *S-Doped Porous Carbon/CuO* dengan penambahan massa *S-Doped Porous Carbon* sebanyak 0,3 gram, 0,5 gram dan 0,7 gram melalui perhitungan dengan menggunakan rumus pada persamaan 3.4. Untuk mengetahui ukuran kristal pada CuO maka akan diambil *peak* tertinggi CuO dari hasil pengujian XRD setiap variabel. Ukuran kristal juga dipengaruhi oleh nilai *Full Width Half Maximum* (FWHM) yaitu semakin besar nilai FWHM CuO maka semakin kecil ukuran kristal material semikonduktor CuO. Dari data diatas dapat diketahui bahwa terjadi penurunan ukuran kristal pada setiap sampel berturut turut adalah 63.21 nm, 38.86 nm, 29.62 nm dan 21.35 nm. Dengan adanya penambahan *S-Doped Porous Carbon* pada komposit menyebabkan ukuran kristal CuO menjadi lebih kecil. Dari data diatas, dapat disimpulkan dengan adanya penambahan *S-Doped Porous Carbon* pada komposit *S-Doped Porous Carbon/CuO* menyebabkan ukuran kristal CuO menjadi lebih kecil.

#### 4.2 Hasil Pengujian *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

Pengujian *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dilakukan menggunakan mesin Nicolet IS10 dengan range panjang gelombang sebesar 500-4500  $\text{cm}^{-1}$ . Pengujian FTIR bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi yang terbentuk selama proses sintesis dan aktivasi. Pengujian dilakukan pada sampel masker sekali pakai, *S-Doped Porous Carbon*, *S-Doped Porous Carbon* teraktivasi yang dapat dilihat pada **Gambar 4.5**.





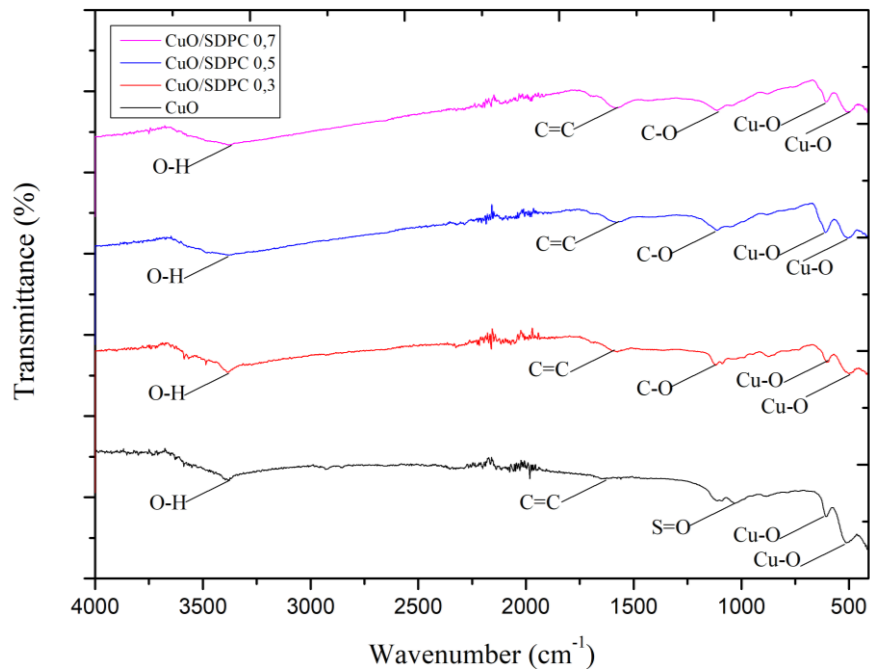
**Gambar 4. 5** Hasil pengujian FTIR material masker, *S-Doped Porous Carbon* dan *S-Doped Porous Carbon* teraktivasi

**Tabel 4. 2** Gugus fungsi dan nilai *wavenumber* material masker, *S-Doped Porous Carbon* dan *S-Doped Porous Carbon* teraktivasi

No.	Gugus fungsi	Kategori	<i>Wavenumber</i> (cm <sup>-1</sup> )
1.	O-H	<i>Strong</i>	3550-3200
2.	C-H	<i>Medium</i>	3000-2840
3.	C=C	<i>Medium</i>	1650-1566
4.	C-O	<i>Strong</i>	1205-1124
5.	S=O	<i>Strong</i>	1415-1380

Pada **Gambar 4.5** merupakan hasil pengujian FTIR pada hasil sintesis dan aktivasi *S-Doped Porous Carbon*. Hasil uji FTIR material masker terdapat ikatan C-H pada *peak* antara 2837.67-2949.98 cm<sup>-1</sup> dan antara 1375.71-1455.91 cm<sup>-1</sup> dimana pada rentang *peak* tersebut sesuai dengan karakterisasi hasil FTIR dari material *polypropylene* (Jung et.al, 2018). Selanjutnya pada proses sintesis masker menyebabkan perubahan gugus fungsi pada masker yang bisa dilihat pada **Tabel 4.2** Pada *wavenumber* 1038.92-1374.09 cm<sup>-1</sup> terdapat ikatan S=O dan *wavenumber* 1115.76-1119.41 cm<sup>-1</sup> terdapat ikatan C-O. Gugus fungsi yang terbentuk pada *S-Doped Porous Carbon* sebelum maupun sesudah aktivasi tidak memiliki perbedaan yang signifikan, akan tetapi dapat dilihat di **Gambar 4.5** terdapat penurunan *peak* secara bertahap pada ikatan C-O dan S=O yang juga terkait dengan ketidakstabilan kedua gugus fungsi tersebut pada proses sintesis menggunakan temperatur tinggi (Hasegawa et al, 2015).

Selanjutnya hasil pengujian FTIR material CuO dan komposit CuO/*S-Doped Porous Carbon* ditunjukkan pada **Gambar 4.6** berikut ini.



**Gambar 4. 6** Hasil pengujian FTIR material CuO dan komposit *S-Doped Porous Carbon/CuO*

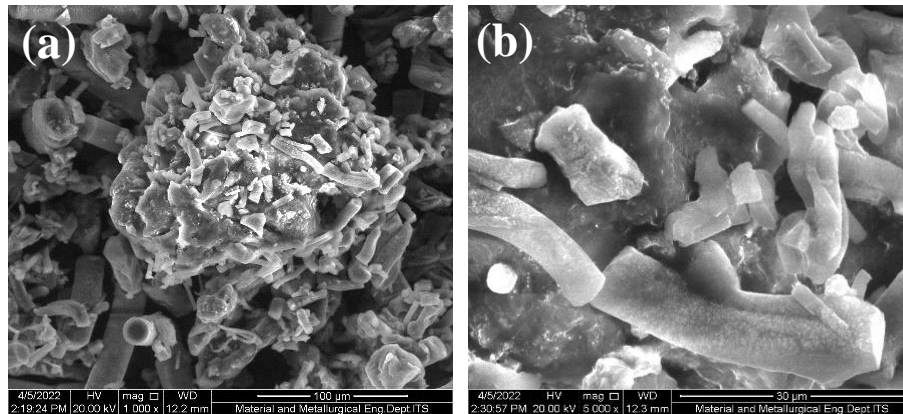
**Tabel 4. 3** Gugus fungsi dan nilai *wavenumber* material masker, *S-Doped Porous Carbon* dan *S-Doped Porous Carbon* teraktivasi

No.	Gugus fungsi	Kategori	<i>Wavenumber</i> (cm <sup>-1</sup> )
1.	O-H	<i>Strong</i>	3550-3200
2.	C=C	<i>Medium</i>	1650-1566
3.	C-O	<i>Strong</i>	1124-1087
5.	Cu-O	<i>Strong</i>	400-475

Pada **Gambar 4.6** merupakan hasil pengujian FTIR terhadap sampel katalis CuO dan komposit CuO dengan penambahan *S-Doped Porous Carbon* sebanyak 0,3 gram, 0,5 gram dan 0,7 gram. Pada hasil peak sampel katalis CuO sudah terbentuk ikatan Cu-O pada *peak*  $\approx 400-475 \text{ cm}^{-1}$ , selanjutnya muncul ikatan S=O pada *peak*  $1030.85 \text{ cm}^{-1}$ . Munculnya ikatan S=O pada *peak* sampel katalis CuO menandakan proses sintesis menggunakan prekursor  $\text{Cu}(\text{SO}_4) \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  masih terdapat senyawa sulfat yang belum teroksidasi secara sempurna dan masih terdapat ikatan O-H pada *peak*  $3384.92 \text{ cm}^{-1}$  yang menandakan CuO yang terbentuk belum teroksidasi secara sempurna diakarenakan masih banyak kandungan air. Hal ini sesuai dengan penelitian George Socrate pada tahun 2004.

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

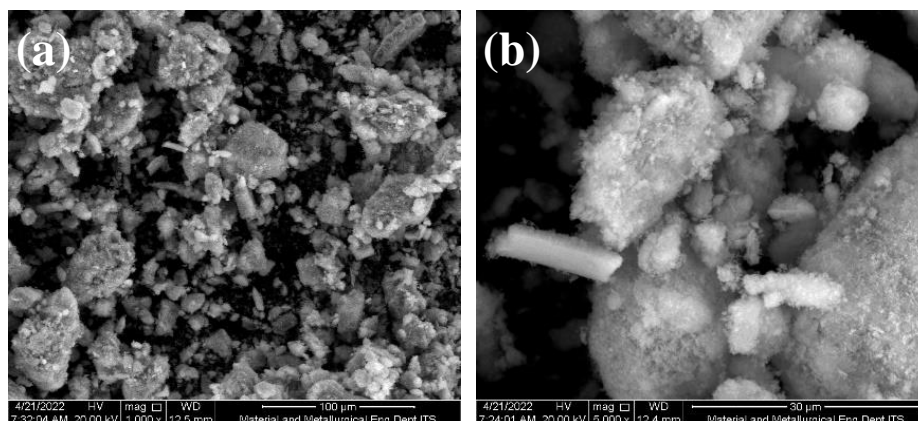
Pengujian SEM-EDX dilakukan menggunakan alat INSPECT S50. Pengujian SEM-EDX dilakukan untuk mengetahui topografi (jenis permukaan) dan morfologi (bentuk partikel) dari sampel *S-Doped Porous Carbon* teraktivasi, CuO dan komposit *S-Doped Porous Carbon/CuO*. Hasil SEM *S-Doped Porous Carbon* teraktivasi dapat dilihat pada **Gambar 4.7**.



**Gambar 4. 7** Hasil pengujian SEM *S-Doped Porous Carbon* perbesaran, (a) 1000x, (b) 5000x

Dari **Gambar 4.7** terlihat morfologi dari material *S-Doped Porous Carbon*. Morfologi *S-Doped Porous Carbon* berbentuk tidak teratur dan memiliki sedikit pori. Terdapat gangguan serat struktur dalam prekursor yang disebabkan oleh waktu proses sulfonasi yang belum maksimal. Apabila dilakukan perpanjangan waktu sulfonasi serat akan terputus secara bertahap ke dalam struktur berpori dan nantinya akan muncul partikel halus yang menempel pada permukaannya. Morfologi *S-Doped Porous Carbon* yang seperti terkelupas atau seperti bulatan besar dengan bentuk tidak teratur ini menunjukkan morfologi dari *montmorillonite*. Hasil pengujian SEM memiliki kemiripan dengan *S-Doped Porous Carbon* hasil sintesis yang dilakukan Chao Yuen et al pada tahun 2022 yang menggunakan prekursor masker medis sekali pakai. (Yuen et al., 2022)

Selanjutnya pengujian SEM juga dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan dari sampel CuO seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.8**.

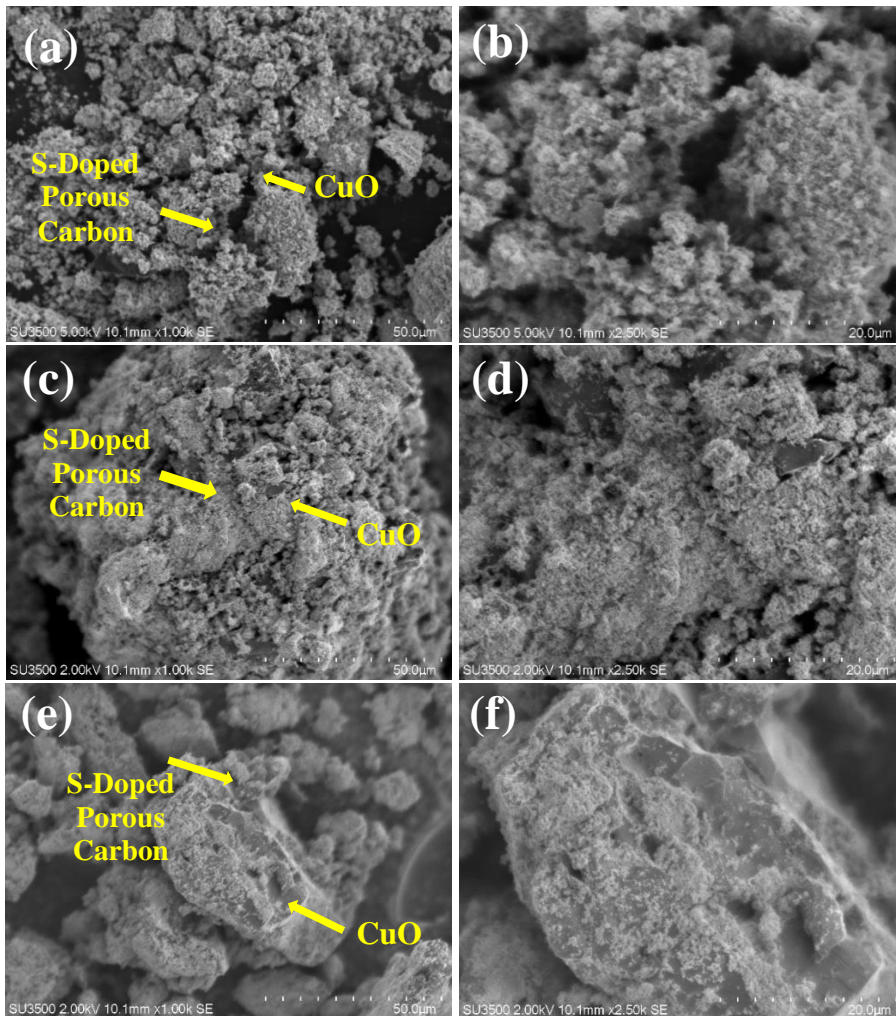


**Gambar 4. 8** Hasil pengujian SEM CuO perbesaran, (a) 1000x, (b) 5000x

Pengujian SEM dilakukan pada CuO yang berasal dari prekursor  $\text{Cu}(\text{SO}_4) \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  dan NaOH. Berdasarkan **Gambar 4.8** (a) pada perbesaran 1000x terlihat bahwa CuO berbentuk tidak beraturan, **Gambar 4.8** (b) terlihat struktur CuO berbentuk gumpalan dan tidak beraturan. Terjadinya aglomerasi atau gumpalan disebabkan oleh adanya pemanasan larutan yang cepat pada waktu proses sintesis. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa nanopartikel yang disintesis dari prekursor tembaga sulfat berukuran kecil dan berbentuk abstrak (Raju, 2015).

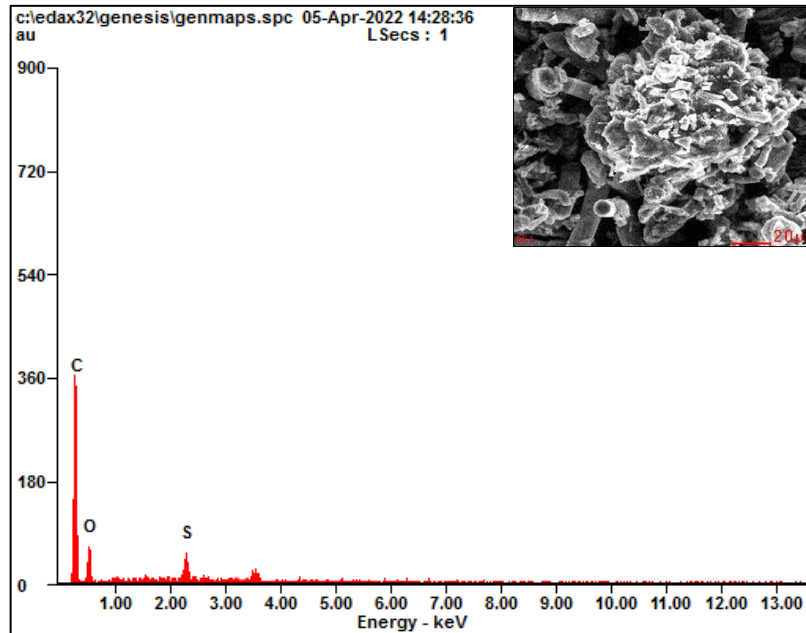


Selanjutnya pengujian SEM juga dilakukan pada komposit *S-Doped Porous Carbon*/CuO dengan variasi penambahan massa *S-Doped Porous Carbon* 0,3 gram, 0,5 gram, 0,7 gram seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.9**. Pada **Gambar 4.9** terlihat bahwa pada keseluruhan komposisi terjadi pencampuran antara material semikonduktor CuO dan *S-Doped Porous Carbon*. Tidak tampak perbedaan yang mencolok dari ketiga gambar SEM hasil komposit CuO/*S-Doped Porous Carbon* dengan variasi penambahan massa *S-Doped Porous Carbon*. *S-Doped Porous Carbon* memiliki ciri berbentuk serpihan berwarna hitam dan CuO ditandai dengan adanya gumpalan berwarna putih yang menyebar seperti yang terlihat pada **Gambar 4.9**. Pada perbesaran 1000x dan 2500x terlihat bahwa *S-Doped Porous Carbon* tersebar secara merata pada permukaan CuO dengan persebaran yang terjadi secara acak.



**Gambar 4.9** Hasil pengujian SEM untuk material komposit CuO/*S-Doped Porous Carbon* dengan penambahan massa *S-Doped Porous Carbon*, (a) 0,3gram perbesaran 1000x, (b) pada perbesaran 2500x, (c) 0,5 gram perbesaran 1000x, (d) pada perbesaran 2500x, (e) 0,7 gram perbesaran 1000x, (f) pada perbesaran 2500x

Kemudian dilakukan pengujian *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDX) untuk mengetahui kadar unsur-unsur pada sampel *S-Doped Porous Carbon* teraktivasi dan komposit *S-Doped Porous Carbon*/CuO dengan variasi penambahan massa *S-Doped Porous Carbon* 0,3 gram, 0,5 gram, 0,7 gram. Hasil uji EDX sampel *S-Doped Porous Carbon* teraktivasi dapat dilihat pada **Gambar 4.10** dan **Tabel 4.4**.

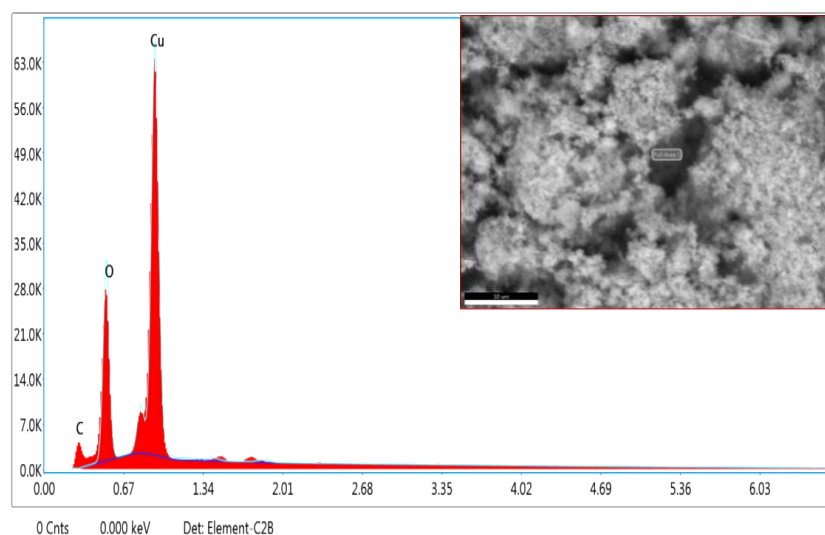


**Gambar 4. 10** Hasil kurva EDX *S-Doped Porous Carbon* teraktivasi

**Tabel 4. 4** Komposisi unsur sampel *S-Doped Porous Carbon* teraktivasi

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
CK	48.72	64.14
OK	25.19	24.90
SK	04.56	02.25

Dari **Tabel 4.4** diatas menunjukkan bahwa *S-Doped Porous Carbon* yang telah disintesis dan diaktivasi tersusun atas beberapa unsur yaitu karbon (C), oksigen (O) dan sulfur (S) dengan presentase masing-masing yaitu sebesar 48.72.% untuk karbon, 25.19% untuk oksigen, dan 04.56% untuk sulfur. Adanya unsur oksigen berasal dari proses karbonasi dari prekursor yang menyebabkan adanya oksigen yang bereaksi dengan karbon dan unsur sulfur yang berasal dari proses sulfonasi pada sintesis masker.

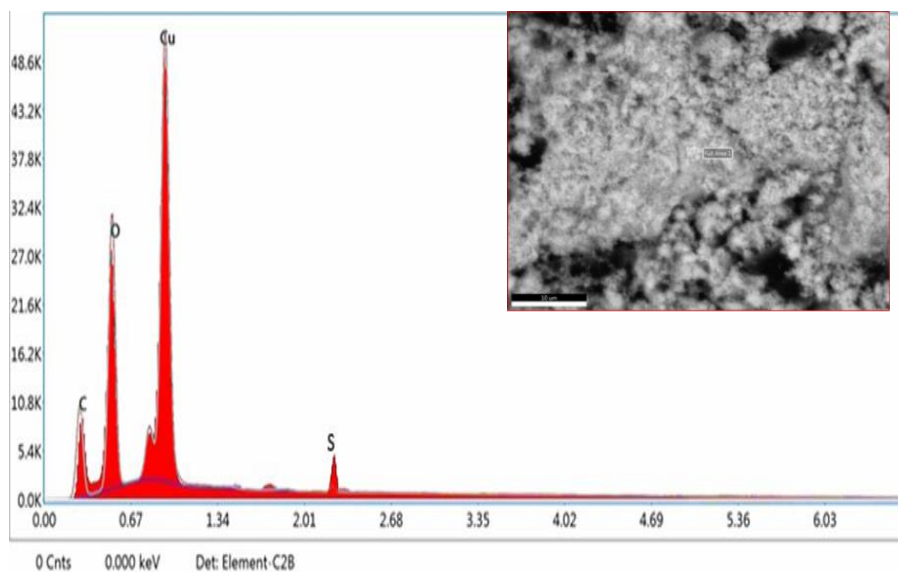


**Gambar 4. 11** Hasil kurva EDX *CuO/SDPC 0,3*

**Tabel 4. 5** Komposisi sampel komposit CuO/SDPC 0,3

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
CuK	79.29	49.08
OK	20.71	50.92
CK	06.97	19.37
SK	05.56	03.91

Dari **Tabel 4.5** diatas menunjukkan bahwa komposit CuO/SDPC 0,3 yang telah disintesis tersusun atas beberapa unsur yaitu *copper* (Cu), oksigen (O), karbon (C) dan sulfur (S) dengan presentase masing-masing atom unsur yaitu sebesar 79.78% untuk *copper*, 20.71% untuk oksigen, 06.97 % untuk karbon, dan 05.56% untuk sulfur. Perbandingan unsur Cu:O seharusnya 1:1, hal tersebut sesuai dengan hasil EDX yang diperoleh pada perbandingan At% yaitu 1:1. Kemudian material *S-Doped Porous Carbon* dengan unsur C dan S dapat dilihat memiliki kandungan paling sedikit pada campuran komposit CuO/SDPC 0,3.

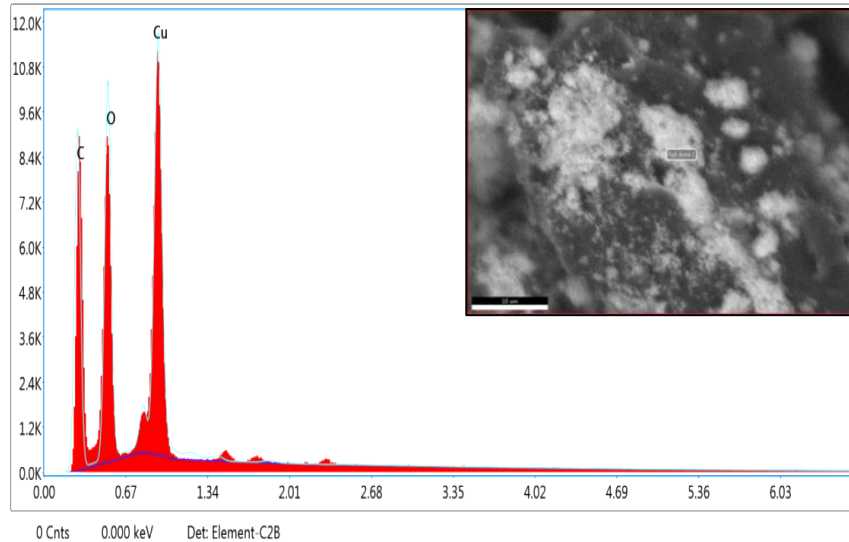


**Gambar 4. 12** Hasil kurva EDX CuO/SDPC 0,5

**Tabel 4. 6** Komposisi sampel komposit CuO/SDPC 0,5

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
CuK	63.16	27.75
OK	23.10	40.32
CK	13.16	31.93
SK	06.53	04.91

Dari **Tabel 4.6** diatas menunjukkan bahwa komposit CuO/SDPC 0,5 yang telah disintesis tersusun atas beberapa unsur yaitu *copper* (Cu), oksigen (O), karbon (C) dan sulfur (S) dengan presentase masing-masing unsur yaitu sebesar 63.16% untuk *copper*, 23.10% untuk oksigen, 13.16% untuk karbon, dan 06.53% untuk sulfur. Material *S-Doped Porous Carbon* dengan unsur C dan S dapat dilihat memiliki peningkatan kandungan, hal ini sesuai dengan penambahan *S-Doped Porous Carbon* lebih banyak pada komposit CuO/SDPC 0,5.



**Gambar 4. 13** Hasil EDX CuO/SDPC 0,7

**Tabel 4. 7** Komposisi sampel komposit CuO/SDPC 0,7

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
CuK	43.77	14.3
OK	26.60	34.51
CK	29.63	51.19
SK	12.86	09.76

Dari **Tabel 4.7** diatas menunjukkan bahwa komposit CuO/SDPC 0,7 yang telah disintesis tersusun atas beberapa unsur yaitu *copper* (Cu), oksigen (O), karbon (C) dan sulfur (S) dengan presentase masing-masing unsur yaitu sebesar 43.77.% untuk *copper*, 26.60% untuk oksigen, 29.63% untuk karbon, dan 12.86% untuk sulfur. Selanjutnya dapat dilihat material *S-Doped Porous Carbon* dengan unsur C dan S dapat dilihat memiliki peningkatan kandungan tertinggi, hal ini sesuai dengan penambahan *S-Doped Porous Carbon* lebih banyak pada komposit CuO/SDPC 0,7.

#### 4.4 Hasil Pengujian Brunaur,Emmett and Teller (BET)

Pengujian *Brunaur, Emmett and Teller* (BET) dilakukan pada sampel *S-Doped Porous Carbon* dan *S-Doped Porous Carbon* teraktivasi. Pengujian ini untuk mengetahui perubahan *surface area* dari material *S-Doped Porous Carbon* sebelum dan setelah diaktivasi. Adapun hasil pengujian ini ditunjukkan oleh **Tabel 4.6** berikut ini.

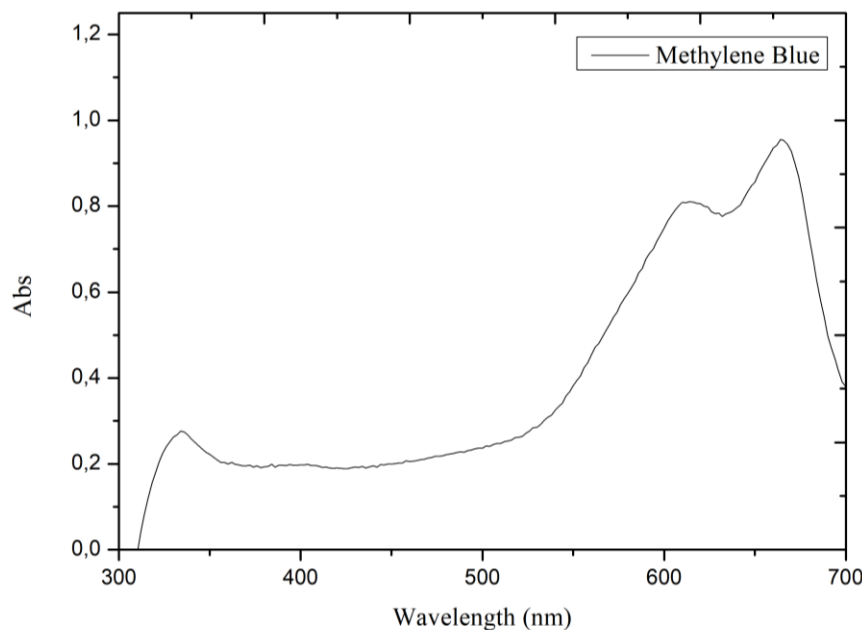
**Tabel 4. 8** Hasil BET *S-Doped Porous Carbon* dan *S-Doped Porous Carbon* teraktivasi

<i>No</i>	<i>Sampel</i>	<i>BET Surface Area (m<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup>)</i>
1.	<i>S-Doped Porous Carbon</i>	16.600
2.	<i>S-Doped Porous Carbon</i> Teraktivasi	902.098

Berdasarkan **Tabel 4.8** dapat dilihat sampel *S-Doped Porous Carbon* memiliki *surface area* sebesar  $16.600 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ , selanjutnya setelah dilakukan aktivasi terjadi peningkatan secara signifikan pada nilai *surface area* pada sampel *S-Doped Porous Carbon* teraktivasi yaitu sebesar  $902.098 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ . Peningkatan *surface area* ini terjadi karena adanya proses aktivasi yang dilakukan. Penggunaan Kalium Hidroksida (KOH) pada aktivasi kimia material *S-Doped Porous Carbon* dapat menghilangkan zat-zat pengotor dalam sampel seperti volatil dan tar sehingga dapat meningkatkan efisiensi pembentukan pori dan *surface area* material. *Surface area* akan berkaitan dengan kemampuan material untuk mengadsorpsi selama proses degradasi berlangsung.

#### 4.5 Hasil Pengujian UV-Vis

Pengujian UV-Vis dilakukan bertujuan untuk mengetahui panjang gelombang dari *methylene blue* dan serta absorbansi dari hasil uji fotokatalitik. Pengujian UV-Vis menggunakan spektrofotometer GENESYS 150 UV-Vis. Range Panjang gelombang yang digunakan pada pengujian ini adalah 200 hingga 700 nm. Hasil uji UV-Vis dari *methylene blue* dapat dilihat pada **Gambar 4.14**.



**Gambar 4. 14** Hasil uji UV-Vis *methylene blue*

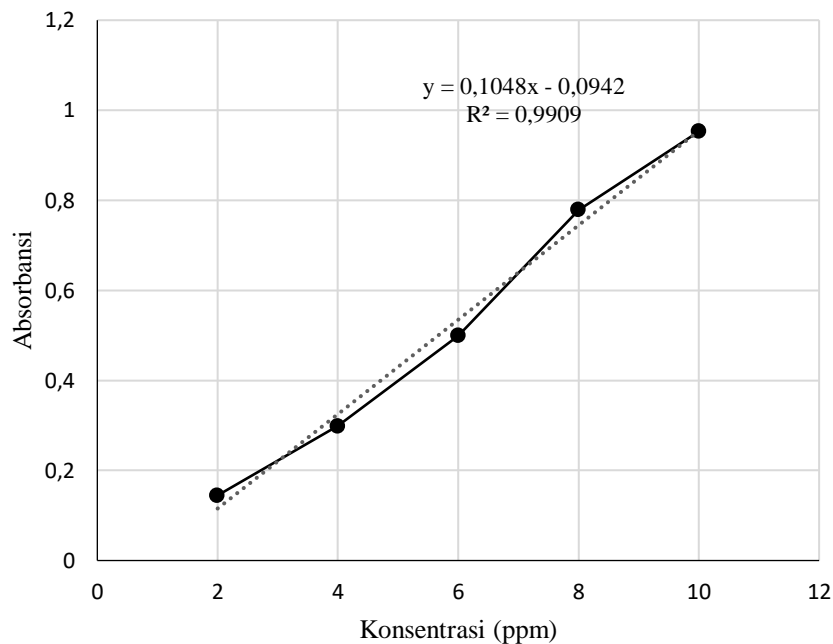
Berdasarkan **Gambar 4.14** menunjukkan larutan *methyelen blue* dengan konsentrasi 10 ppm memiliki panjang gelombang maksimum sebesar 666 nm dengan nilai absorbansi sebesar 0,95275 panjang gelombang maksimum dari larutan *methylene blue* digunakan untuk pengukuran nilai absorban pada larutan *methylene blue* sebagai pembuatan kurva kalibrasi dengan penentuan absorban hasil degradasi. Pembuatan kurva kalibrasi dibuat dengan mengolah data deret larutan standar 2, 4, 6, 8, dan 10 ppm. Adapun nilai absorbansi masing-masing larutan ditunjukkan pada **Tebal 4.9**.



**Tabel 4. 9** Nilai absorbansi *methylene blue* pada setiap konsentrasi uji

No.	Konsentrasi (ppm)	Nilai Absorbansi
1.	2	0,14469
2.	4	0,29839
3.	6	0,49914
4.	8	0,77893
5.	10	0,95275

Dari **Tabel 4.9** menunjukkan data nilai absorbansi larutan *methylene blue* dari pengujian UV-Vis. Berdasarkan data **Tabel 4.9** tersebut didapatkan persamaan regresi linier yaitu  $y = 0.1048x - 0.0942$  dengan koefisien korelasi yang hampir mendekati satu yaitu  $R^2 = 0.9909$ . Dimana  $y$  menunjukkan nilai absorbansi dan  $x$  menunjukkan besar ppm. Nilai  $R^2$  mendekati 1 menunjukkan bahwa hubungan yang linier antara konsentrasi dan absorbansi. Hal ini sesuai dengan Hukum *Lambert-Beer* seperti pada persamaan (3.5). Selanjutnya dengan menggunakan data **Tabel 4.9** dibuat kurva regresi linear seperti yang ada pada **Gambar 4.15**.



**Gambar 4. 15** Kurva regresi linear hubungan konsentrasi terhadap absorbansi *methylene blue*

#### 4.6 Hasil Pengujian Fotokatalitik

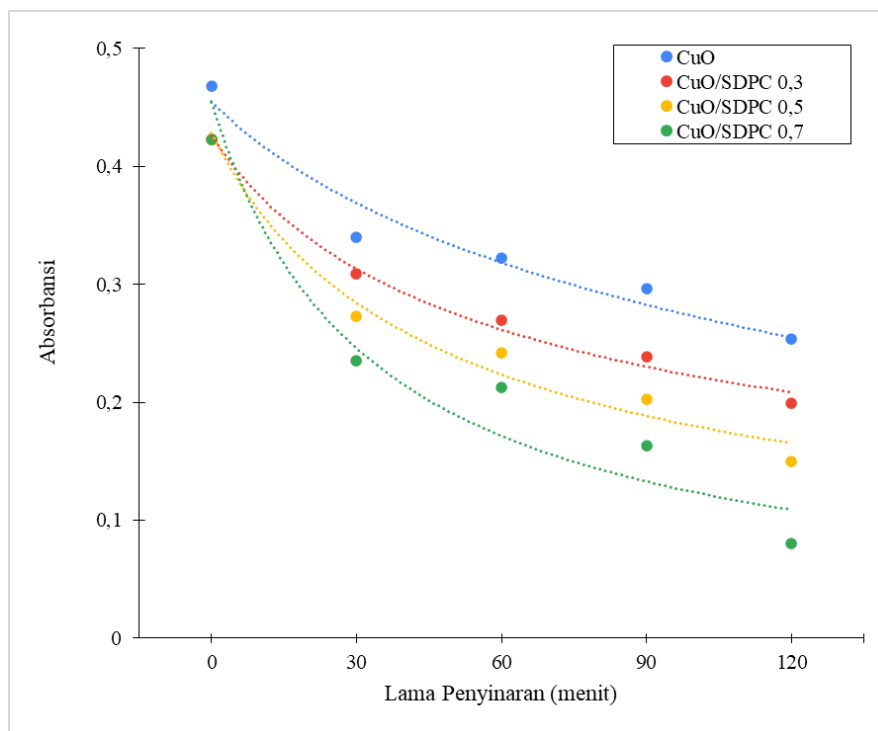
Pengujian fotokatalitik dilakukan bertujuan untuk mengetahui hasil kinerja katalis CuO yang telah dikompositkan dengan *S-Doped Porous Carbon* teraktivasi. Pengujian fotokatalis dilakukan dengan penambahan katalis CuO dan *S-Doped Porous Carbon*/CuO dengan variasi penambahan *S-Doped Porous Carbon* 0,3 gram, 0,5 gram, dan 0,7 gram digunakan untuk mendegradasi *methylene blue* dengan besaran 10 ppm. Waktu iradiasi yang dilakukan adalah selama 2 jam dimana pengambilan sampel dilakukan berulang ulang per 30 menit dengan bantuan sinar UV 22 Watt.

Material CuO dengan *band gap* 2,2 eV dan elektronegatif sebesar 5,8 eV memiliki Panjang gelombang *maximum* sebesar 208 nm, penggunaan lampu UV sangat sesuai karena memiliki *range* panjang gelombang 100-400 nm (Hazardous Materials, 2012). Data nilai absorbansi dari semua sampel yang sudah dilakukan pada pengujian UV-Vis ditunjukkan seperti pada **Tabel 4.10**.

**Tabel 4.10** Nilai absorbansi larutan *methylene blue* setiap katalis sampel katalis

Lama Penyinaran (menit)	CuO	CuO/SDPC 0,3	CuO/SDPC 0,5	CuO/SDPC 0,7
0	0,46	0,42	0,42	0,42
30	0,33	0,30	0,27	0,23
60	0,32	0,26	0,24	0,21
90	0,29	0,23	0,20	0,16
120	0,25	0,19	0,14	0,08

Berdasarkan **Tabel 4.10** terlihat bahwa hasil degradasi *methylene blue* dengan menggunakan sampel CuO, komposit CuO/SDPC 0,3, CuO/SDPC 0,5 dan CuO/SDPC 0,7 dalam setiap sampel terdapat perubahan nilai absorbansi. **Tabel 4.10** menunjukkan data hasil pengujian UV-Vis yaitu nilai absorbansi dari masing-masing sampel yang sudah ditambahkan katalis dan dilakukan penyinaran selama 2 jam. Selanjutnya data tersebut digunakan untuk membuat grafik degradasi *methylene blue* seperti pada **Gambar 4.16**.



**Gambar 4.16** Kurva nilai absorbansi katalis *S-Doped Porous Carbon/CuO* terhadap degradasi *methylene blue*

Dari **Gambar 4.16** menunjukkan adanya kesesuaian bentuk grafik dengan penelitian Shibsankar (2016), yaitu semakin lama waktu penyinaran yang dilakukan, maka nilai absorbansi yang diperoleh semakin kecil sehingga degradasi *methylene blue* semakin meningkat. **Gambar 4.16** menunjukkan adanya penurunan nilai absorbansi selama 2 jam diberikan penyinaran. Pada sampel penambahan katalis CuO mampu mendegradasi *methylene blue* selama 2 jam dengan nilai absorbansi tiap 30 menitnya adalah 0.46, 0.33, 0.32, 0.29, dan 0.25. Apabila dibandingkan dengan seluruh penambahan katalis lainnya, performa katalis CuO murni lebih rendah dalam mendegradasi zat warna *methylene blue*. Hal ini disebabkan karena CuO murni kurang efektif dalam mendegradasi pewarna *methylene blue*.

Selanjutnya dengan penambahan katalis CuO/*S-Doped Porous Carbon* dengan variasi penambahan massa *S-Doped Porous Carbon* 0,3 gram, 0,5 gram, dan 0,7 gram menunjukkan penurunan nilai absorbansi yang lebih signifikan dibandingkan dengan katalis CuO murni. Pada sampel dengan penambahan variasi massa *S-Doped Porous Carbon* menunjukkan penurunan absorbansi paling maksimal mencapai 0.08063 setelah diberikan penyinaran selama 2 jam menggunakan lampu UV 22 W.

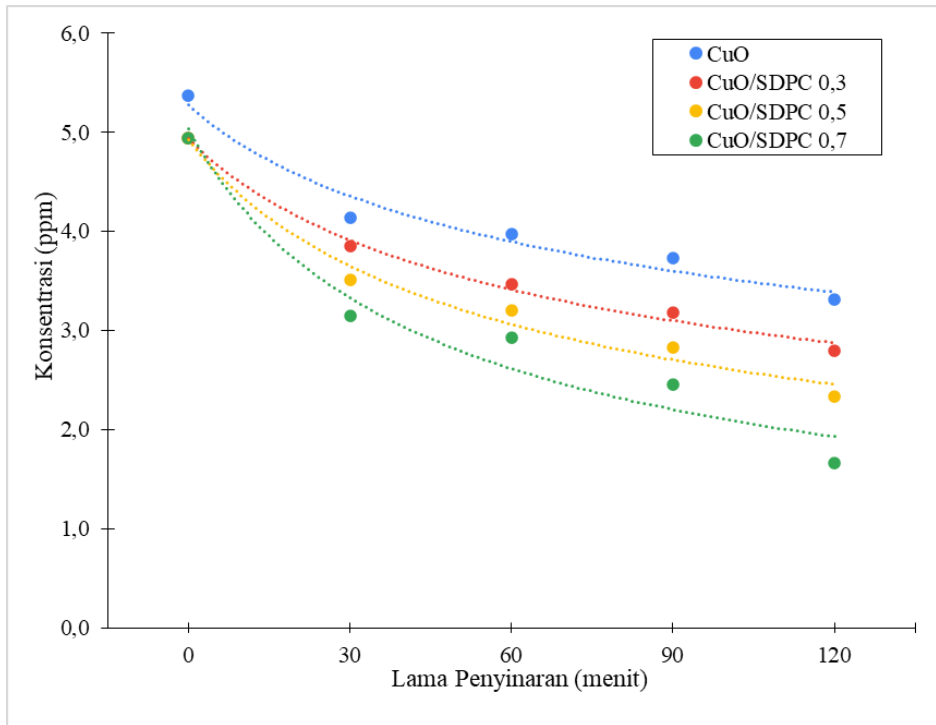
Setelah dilakukannya pengujian UV-Vis, terbukti bahwa dengan penambahan massa sebesar 0,7 gram menunjukkan keefektifan degradasi terhadap *methylene blue*. Hal tersebut disebabkan adanya penambahan *S-Doped Porous Carbon* yang memiliki luas permukaan aktif yang luas sebesar 902,098 m<sup>2</sup>/g sehingga dapat mempercepat perpindahan elektron material semikonduktor CuO dari VB menuju CB serta penyerapan pewarna *methylene blue* yang superior dengan metode fotokatalis (Sing, et al., 2011).

Nilai absorbansi (y) dari masing-masing katalis disubstitusikan kedalam persamaan regresi linier  $y = 0.1048x - 0.0942$  maka akan didapatkan nilai konsentrasi (x) dari larutan *methylene blue* dari masing-masing penambahan katalis yang ditunjukkan seperti pada **Tabel 4.11**.

**Tabel 4. 11** Nilai ppm larutan *methylene blue* setiap sampel katalis

Lama Penyinaran (menit)	CuO	CuO/SDPC 0,3	CuO/SDPC 0,5	CuO/SDPC 0,7
0	5,36	4,93	4,93	4,93
30	4,14	3,84	3,50	3,14
60	3,97	3,47	3,20	2,92
90	3,72	3,17	2,83	2,45
120	3,31	2,80	2,32	1,66

Berdasarkan **Tabel 4.11** dapat dilihat data hasil pengujian UV-Vis yaitu nilai ppm/t dari masing-masing sampel yang sudah ditambahkan katalis dan dilakukan penyinaran selama 2 jam. Selanjutnya berdasarkan data **Tabel 4.11** digunakan untuk membuat grafik konsentrasi per *million* (ppm) *methylene blue* seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.17**.



**Gambar 4. 17** Kurva nilai ppm katalis *S-Doped Porous Carbon*/CuO terhadap degradasi *methylene blue*

Dari **Gambar 4.17** dapat dilihat hubungan antara lama waktu penyinaran dengan nilai konsentrasi (ppm) dari *methylene blue* yang telah terdegradasi, yaitu semakin lama waktu penyinaran yang dilakukan maka semakin kecil nilai konsentrasi (ppm) *methylene blue* yang dihasilkan. Hal tersebut menunjukkan dimana semakin kecil nilai konsentrasi (ppm) yang dihasilkan, maka *methylene blue* yang terdegradasi oleh katalis komposit akan semakin maksimal. Sehingga dapat disimpulkan adanya penurunan konsentrasi yang terjadi seiring dengan lamanya waktu penyinaran menggunakan lampu UV. (Shibsankar, 2016)

Selama 2 jam proses fotokatalis dan penyinaran yang dilakukan terhadap katalis *pure* CuO menunjukkan adanya penurunan konsentrasi di tiap 30 menitnya yaitu 5,36, 4,14, 3,97, 3,72 dan 3,31 ppm. Sedangkan untuk penambahan massa *S-Doped Porous Carbon* sebanyak 0,3 gram terjadi penurunan konsentrasi sebesar 4,93, 3,84, 3,47, 3,17 dan 2,80 ppm. Selanjutnya pada penambahan massa *S-Doped Porous Carbon* sebanyak 0,5 gram terjadi penurunan konsentrasi yang lebih besar yaitu 4,93, 3,50, 3,20, 2,83 dan 2,32 ppm. Penurunan konsentrasi zat warna *methylene blue* terbesar yaitu pada penambahan massa *S-Doped Porous Carbon* sebanyak 0,7 gram dengan hasil penurunan konsentrasi sebesar 4,93, 3,14, 2,92, 2,45 dan 1,66 ppm.

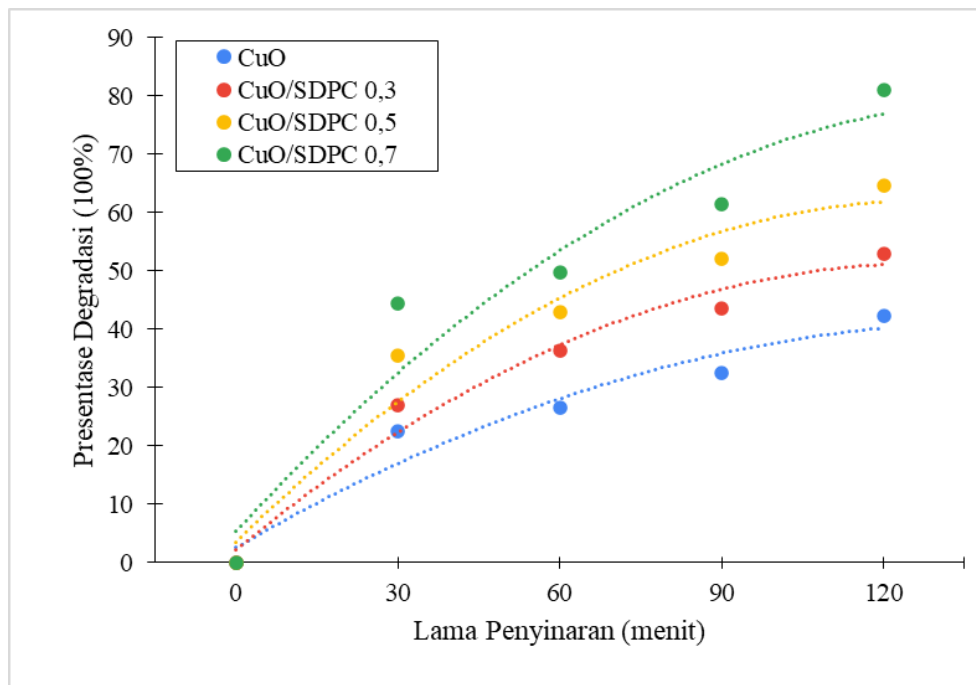
Melihat data tersebut didapat bahwa nilai konsentrasi katalis *pure* CuO tanpa penambahan *S-Doped Porous Carbon* merupakan nilai konsentrasi paling besar diantara semua variabel pengujian, hal tersebut dapat diketahui untuk katalis *pure* CuO tanpa penambahan *S-Doped Porous Carbon* merupakan variabel yang paling lambat untuk mendegradasi limbah *methylene blue*. Hal ini disebabkan CuO memiliki luas permukaan aktif yang lebih kecil dibanding dengan ke-tiga variabel pengujian. Nilai konsentrasi yang dihasilkan katalis komposit CuO dengan penambahan *S-Doped Porous Carbon* mengalami penurunan secara bertahap sesuai dengan lama waktu penyinaran. Nilai konsentrasi terkecil yang dihasilkan adalah hasil degradasi katalis komposit CuO dengan penambahan *S-Doped Porous Carbon*

sebanyak 0,7 gram. Hal ini disebabkan karena adanya bantuan dari *S-Doped Porous Carbon* yang memiliki luas permukaan aktif yang luas yaitu sebesar 902,098 m<sup>2</sup>/g sehingga pembentukan super anion dan OH semakin maksimal dan dapat mempercepat proses degradasi (Sing et. al. 2011).

**Tabel 4. 12** Nilai presentase degradasi larutan *methylene blue* setiap sampel katalis *S-Doped Porous Carbon/CuO*

Lama Penyinaran (menit)	CuO	CuO/SDPC 0,3	CuO/SDPC 0,5	CuO/SDPC 0,7
0	0,00	0,00	0,00	0,00
30	22,45	26,91	35,40	44,33
60	26,53	36,28	42,87	49,72
90	32,40	43,57	52,10	61,50
120	42,18	52,89	64,57	80,94

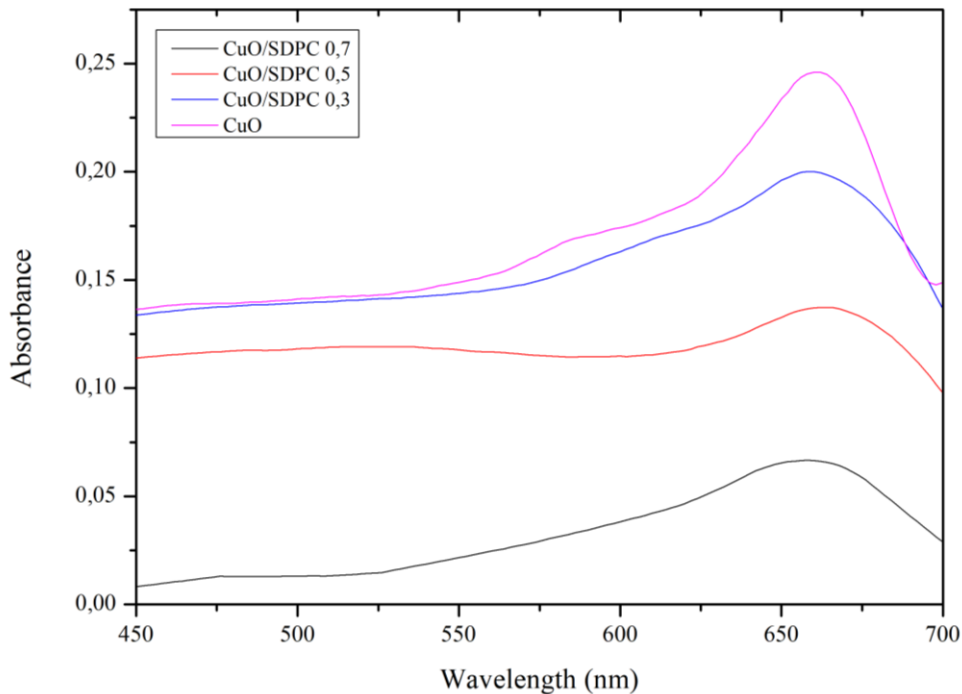
Berdasarkan **Tabel 4.12** dapat dilihat data hasil pengujian UV-Vis yaitu nilai presentase degradasi dari masing-masing sampel sesuai variasi dan dilakukan penyinaran selama 2 jam. Selanjutnya berdasarkan data **Tabel 4.12** digunakan untuk membuat grafik presentasi degradasi *methylene blue* seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.17**.



**Gambar 4. 18** Kurva nilai presentase degradasi katalis *S-Doped Porous Carbon/CuO* terhadap degradasi *methylene blue*

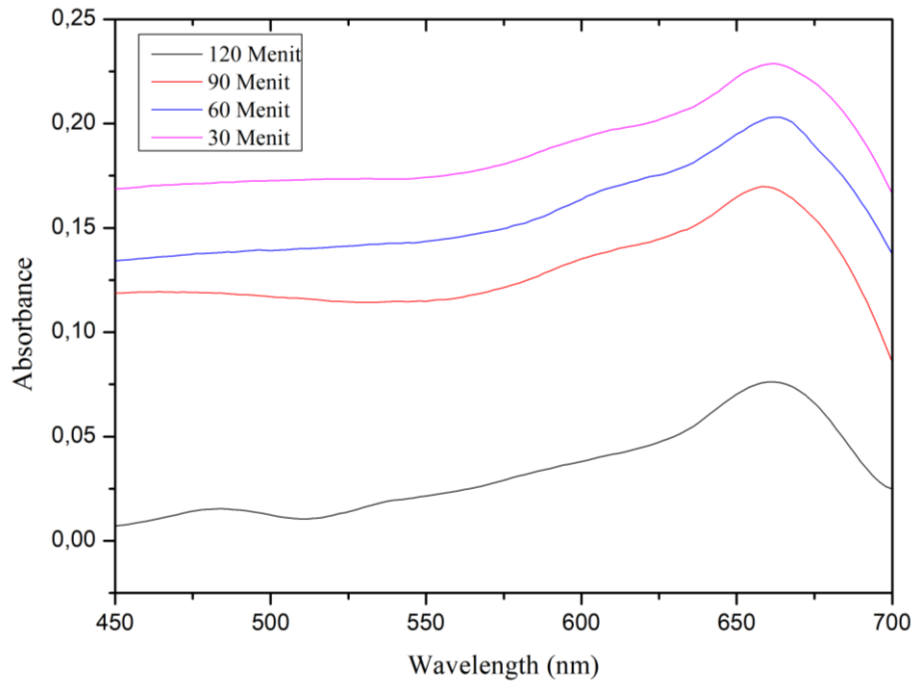
Dari **Gambar 4.18** dapat dilihat kurva nilai presentase degradasi katalis *S-Doped Porous Carbon/CuO* terhadap degradasi *methylene blue* pada setiap variabel pengujian. Kurva tersebut membandingkan presentase degradasi pada tiap variabel waktu penyinaran. Pada **Gambar 4.18** terlihat tren hasil degradasi meningkat seiring dengan meningkatnya lama penyinaran yang dilakukan terhadap variabel. Variabel katalis *pure CuO* tanpa penambahan *S-*

*Doped Porous Carbon* merupakan variabel yang nilai presentase degradasinya paling kecil di tiap 30 menitnya yaitu sebesar 22,45%, 26,53%, 32,40% dan 42,18%. Selain itu, terdapat variabel komposit CuO dengan penambahan *S-Doped Porous Carbon* 0,7gram yang memiliki nilai presentase degradasi terbesar di tiap 30 menitnya dibanding dengan variabel komposit lainnya yaitu sebesar 44,33%, 49,72%, 61,50% dan 80,94%. Meningkatnya nilai presentase dan efisiensi degradasi katalis *S-Doped Porous Carbon*/CuO terhadap larutan zat warna *methylene blue* menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan massa *S-Doped Porous Carbon* mampu berperan lebih efektif dalam proses fotokatalis. Selanjutnya untuk mengetahui hubungan antara nilai absorbansi dengan panjang gelombang pada penyinaran selama 2 jam dapat dilihat pada **Gambar 4.19** di bawah ini.



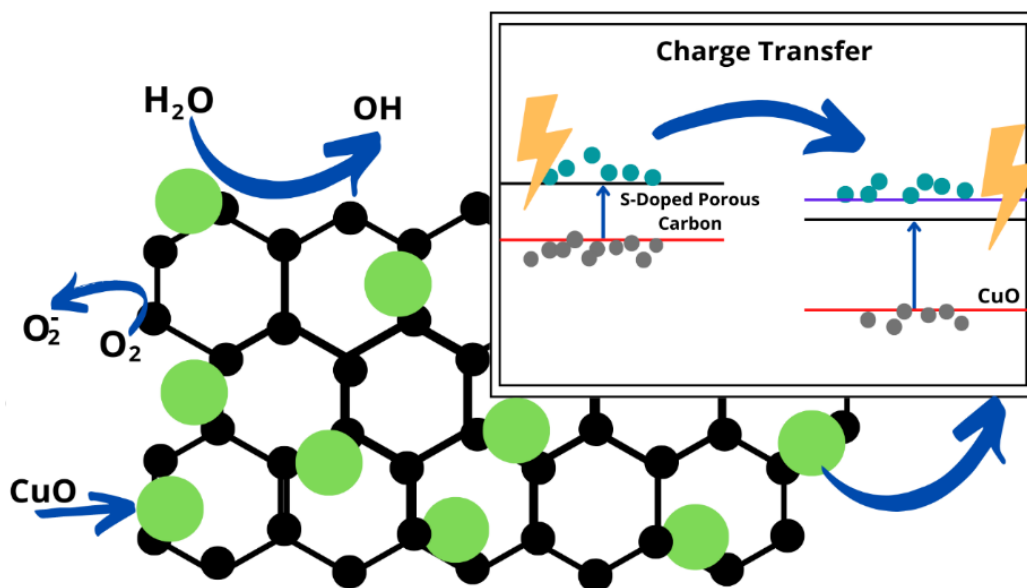
**Gambar 4. 19** Hubungan nilai absorbansi dengan panjang gelombang terhadap degradasi *methylene blue*

Dari **Gambar 4.19** dapat dilihat hubungan antara nilai absorbansi dengan panjang gelombang hasil degradasi *methylene blue*, terlihat bahwa hasil degradasi *methylene blue* memiliki puncak pada panjang gelombang 666 nm dan mengalami penurunan nilai absorbansi secara bertahap pada masing-masing variasi sampel. Sampel material CuO memiliki nilai absorbansi paling tinggi dan komposit *S-Doped Porous Carbon*/CuO dengan penambahan massa 0,7 gram memiliki nilai absorbansi paling rendah. Selanjutnya untuk mengetahui hubungan antara nilai absorbansi, panjang gelombang dan lama waktu penyinaran pada sampel material komposit *S-Doped Porous Carbon*/CuO 0,7 gram dapat dilihat pada **Gambar 4.20** dibawah ini.



**Gambar 4. 20** Hubungan nilai absorbansi, panjang gelombang dan lama waktu penyinaran terhadap degradasi *methylene blue*

Dari **Gambar 4.19** dapat dilihat hubungan antara nilai absorbansi, panjang gelombang dan lama waktu penyinaran hasil degradasi *methylene blue*, terlihat bahwa pada masing-masing variasi waktu menunjukkan puncak dengan panjang gelombang 666 nm dan mengalami penurunan nilai absorbansi secara bertahap pada masing-masing variasi waktu. Dari Gambar 4.19 dapat disimpulkan bahwa semakin lama waktu penyinaran maka nilai absorbansi akan semakin kecil. Untuk mengetahui mekanisme proses degradasi menggunakan metode fotokatalisis dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



**Gambar 4. 21** Skema Fotokatalis (Dokumen Pribadi, 2022)



Pada **Gambar 4.21** menggambarkan proses mendasar dalam mendegradasi pewarna *methylene blue* yang terdiri dari 3 mekanisme yaitu adsorpsi, oksidasi dan desorpsi. Ketika dilakukan penyinaran menggunakan lampu UV 22 Watt yang memiliki panjang gelombang sama dengan material CuO yaitu sebesar 208 nm, akan terjadi proses beberapa elektron dieksitasi dari pita valensi ke pita konduksi. Ketika energi cahaya foton jatuh pada permukaan semikonduktor CuO dan jika energi dari sinar yang datang setara atau lebih dari energi pada celah pita semikonduktor, foton-elektron yang ditembak dari sinar UV 22 Watt foton akan jatuh terlebih dahulu ke material yang memiliki celah pita (*band gap*) yang lebih kecil dan selanjutnya elektron akan teremis ke material semikonduktor CuO yang akan ditransfer ke pita konduksi material semikonduktor CuO.

Pada saat proses fotokatalis elektron pada pita valensi menjadi terpecah dan selanjutnya bergerak menuju pita konduksi sehingga akan menghasilkan *hole* pada pita valensi semikonduktor CuO. *Hole* ini dapat mengoksidasi molekul donor dan bereaksi dengan molekul air menghasilkan radikal hidroksil (OH<sup>\*</sup>). Radikal hidroksil memiliki kekuatan oksidasi yang kuat dan kemudian bereaksi dengan *methylene blue*. Selanjutnya elektron yang tereksitasi akan bereaksi dengan oksigen untuk membentuk ion terlarut anion super oksida. Anion super oksida akan bereaksi dengan senyawa hasil pemecah molekul organik membentuk produk, dengan adanya *S-Doped Porous Carbon* maka luas permukaan aktif akan semakin besar sehingga elektron yang tereksitasi akan menuju pada permukaan *S-Doped Porous Carbon* dimana elektron tersebut akan bereaksi dengan oksigen dan membentuk superanion oksida. Siklus ini akan berlangsung secara berulang sampai *methylene blue* selesai terdegradasi. (Zhang, 2018)

Sumber energi merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap tingkat efektifitas proses fotokatalisis dimana kuat lemahnya energi sinar mempengaruhi kecepatan degradasi larutan. Selain itu, lamanya penyinaran yang diberikan terhadap sampel juga mempengaruhi tingkat efisiensi degradasi terhadap larutan. Melihat energi yang digunakan dan tren hasil degradasi pada penelitian ini, dapat dijadikan langkah awal untuk terus mengembangkan pemanfaatan sampah masker medis sekali pakai menjadi material karbon berpori. Dengan kata lain, dapat disimpulkan bahwa penelitian ini dapat dikategorikan baik dan dapat dikembangkan lebih dalam lagi untuk penelitian selanjutnya.

#### 4.7 Hasil Pengujian *Gas Chromatography-Mass Spectrometer* (GCMS)

Pengujian *Gas Chromatography-Mass Spectrometer* (GCMS) dilakukan untuk mengetahui senyawa organik yang dihasilkan dari proses degradasi *Methylene Blue* dengan komposit *S-Doped Porous Carbon/CuO* degradasi tertinggi yaitu 80,94214%. Larutan *Methylene Blue* yang telah terdegradasi dilarutkan dengan etanol kemudian diuji GCMS. Adapun hasil uji GCMS sebagai berikut:

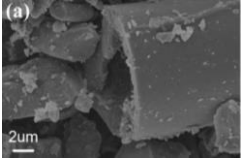
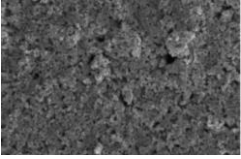
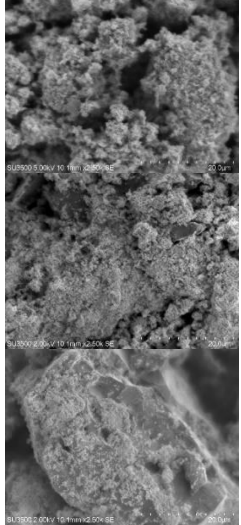
**Tabel 4. 13** Hasil pengujian GCMS pada larutan *methylene blue* hasil degradasi

No	Nama Senyawa	Rumus Kimia	Area (%)
1.	Etanol	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	
2.	Hydroxyethane	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	73.453%
3.	Metanol	CH <sub>4</sub> O	
4.	Formamide	CH <sub>3</sub> NO	
5.	N,N-Dimethylformamide	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> NO	26.547%
6.	N,N-Dimethylmethanami	C <sub>4</sub> H <sub>11</sub> NO <sub>3</sub>	



Pada **Tabel 4.13** menunjukkan hasil pengujian dari *Gas Chromatography-Mass Spectrometer* (GCMS) larutan *methylene blue* yang terdegradasi. Pada pengujian larutan *methylene blue* yang dilarutkan dalam etanol kemudian ditambahkan metanol pada sampel pengujian karena metanol lebih mudah menguap sehingga pengujian dapat dilakukan. Dari data **Tabel 4.13** dapat dilihat bahwa senyawa-senyawa tersebut merupakan bukan senyawa beracun sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa setelah larutan *methylene blue* didegradasi akan menghasilkan senyawa yang tidak beracun serta ramah lingkungan. Dari data senyawa hasil pengujian GCMS tidak terdeteksi unsur berbahaya yang ada pada senyawa *methylene blue* yaitu ion  $\text{Cl}^-$ , sehingga dapat diketahui bahwa ion  $\text{Cl}^-$  menguap ke udara disebabkan adanya panas yang diterima sampel saat pengujian fotokatalitik dan botol juga terbuka saat pengambilan sampel untuk pengujian. Senyawa organik yang terdeteksi pada hasil pengujian terdiri dari unsur C, H, dan N, hal ini dikarenakan dari larutan *methylene blue* murni terdiri dari unsur-unsur tersebut yaitu dengan rumus molekul  $\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{N}_3\text{SCl}$ . Dari hilangnya ion  $\text{Cl}^-$  dari larutan *methylene blue* yang telah terdegradasi dapat diambil kesimpulan bahwa larutan *methylene blue* hasil degradasi oleh komposit *S-Doped Porous Carbon/CuO* merupakan larutan ramah lingkungan dan tidak beracun serta berbahaya seperti sebelumnya

**Tabel 4. 14** Tabulasi karakterisasi S-Doped Porous Carbon dan CuO

Spesimen	Morfologi SEM	EDX	XRD	FTIR	Hasil presentase degradasi
SDPC	 (Xiang et al., 2021)	C 88% (Xiang et al., 2021)	$2\theta = 23,6^\circ$ Xiang et al., 2021	1180 $\text{cm}^{-1}$ , 1140 $\text{cm}^{-1}$ , 587 $\text{cm}^{-1}$ , 518 $\text{cm}^{-1}$ (C-O) (C=C) (Xiang et al., 2021)	11% (Penyinaran 5 menit) (Bendosz et al., 2012)
CuO	 (Ashok et al., 2014)	Cu 24.00% O 62.67% (Ashok et al., 2014)	$2\theta = 35^\circ$ Bidang = [111] (Ashok et al., 2014)	750 dan 490 $\text{cm}^{-1}$ (Cu-O) (Ashok et al., 2014)	26% (Penyinaran 1 jam) (Amal et al., 2022)
SDPC/CuO 0,3		CuK 79.29% OK 20.71% CK 06.97% SK 05.56%	SDPC $2\theta = 23,0^\circ$ CuO $2\theta = 35,46^\circ$	C=C 1650-1566 C-O 1124-1087 Cu-O 400-475	52,89% (Penyinaran 2 jam)
SDPC/CuO 0,5		CuK 63.16% OK 23.10% CK 13.16% SK 06.53%	SDPC $2\theta = 23,0^\circ$ CuO $2\theta = 35,46^\circ$	C=C 1650-1566 C-O 1124-1087 Cu-O 400-475	64.57% (Penyinaran 2 jam)
SDPC/CuO 0,7		CuK 43.77% OK 26.60% CK 29.63% SK 12.86%	SDPC $2\theta = 23,0^\circ$ CuO $2\theta = 35,46^\circ$	C=C 1650-1566 C-O 1124-1087 Cu-O 400-475	80.90% (Penyinaran 2 jam)

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Komposit *S-Doped Porous Carbon*/CuO berhasil disintesis dengan dibuktikan pada hasil pengujian XRD dengan munculnya *peak* pada sudut  $2\theta=23.6^\circ$  yang mengindikasikan *peak S-Doped Porous Carbon* dan *peak* tertinggi yaitu  $35.462^\circ$ ,  $48,704^\circ$  dan  $53.547^\circ$  yang menunjukkan *peak* dari CuO. Pada hasil uji FTIR menunjukkan adanya gugus fungsi yang sesuai pada masing-masing material yaitu gugus fungsi C, O, dan Cu. Selanjutnya pada hasil morfologi yang terbentuk terdapat serpihan berwarna hitam yang material mengindikasikan *S-Doped Porous Carbon* dan gumpalan putih yang mengindikasikan semikonduktor CuO.
2. Material komposit *S-Doped Porous Carbon*/CuO dengan variasi penambahan massa *S-Doped Porous Carbon* 0,3 gram, 0,5 gram dan 0,7 gram berhasil mendegradasi larutan *methylene blue* setelah penyinaran 2 jam berturut-turut yaitu sebesar 42,18%, 52,89%, 64,57% dan 80,94%. Hasil efisiensi degradasi tertinggi pada variasi komposit penambahan massa *S-Doped Porous Carbon* 0,7 gram pada penyinaran 2 jam yaitu sebesar 80,94% dengan senyawa hasil degradasi yaitu senyawa organik yang ramah lingkungan serta tidak beracun.

### 5.2 Saran

Adapun saran yang perlu diperhatikan untuk penelitian selanjutnya antara lain sebagai berikut:

1. Saat proses sintesis masker pencucian sampel diharapkan dicuci sampai pH netral sehingga hasil yang didapatkan menjadi lebih baik dan tidak muncul pengotor.
2. Alat *autoclave* pada proses sintesis masker dipastikan bersih dan tidak berkarat agar hasil yang didapatkan tidak terkontaminasi.
3. Dapat dilakukan penelitian lain dengan variasi dan parameter lain.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, M. B., Zhou, J. L., Ngo, H. H., Guo, W., Thomaidis, N. S., & Xu, J. (2017). Progress in the biological and chemical treatment technologies for emerging contaminant removal from wastewater: A critical review. *Journal of Hazardous Materials*, 323, 274–298. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.04.045>
- Al., Y. et. (2005). Porous Carbon Structures an Methods. (United States Patent Appplication Publication).
- Apriliani, A. D. E., & Pengantar, K. (2010). Pemanfaatan Arang Ampas Tebu sebagai Adsorben Ion Logam Cd, Cr, Cu dan Pb dalam Air Limbah. Program Studi Kimia. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.
- Bahl, P., Doolan, C., de Silva, C., Chughtai, A. A., Bourouiba, L., & MacIntyre, C. R. (2020). Airborne or Droplet Precautions for Health Workers Treating Coronavirus Disease 2019? *The Journal of Infectious Diseases*, Xx Xxxx, 1–8. <https://doi.org/10.1093/infdis/jiaa189>
- Bandosz, T. J., Matos, J., Seredych, M., Islam, M. S. Z., & Alfano, R. (2012). Photoactivity of S-doped nanoporous activated carbons: A new perspective for harvesting solar energy on carbon-based semiconductors. *Applied Catalysis A: General*, 445–446, 159–165. <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2012.08.020>
- Biru, M., & Zno, K. (2006). Fotodegradasi Metylene Blue dengan Sinar Ultraviolet dan Katalis ZnO. 137–143.
- Chua, M. H., Cheng, W., Goh, S. S., Kong, J., Li, B., Lim, J. Y. C., Mao, L., Wang, S., Xue, K., Yang, L., Ye, E., Zhang, K., Cheong, W. C. D., Tan, B. H., Li, Z., Tan, B. H., & Loh, X. J. (2020). Face Masks in the New COVID-19 Normal: Materials, Testing, and Perspectives. *Research*, 2020, 1–40. <https://doi.org/10.34133/2020/7286735>
- Dahlan, M. (2013). Penggunaan Karbon Aktif dari Biji Kelor dapat Memurnikan Minyak Jelantah. *Jurnal Teknik Kimia*.
- Darvishi, M., Mohseni-Asgerani, G., & Seyed-Yazdi, J. (2017). Simple microwave irradiation procedure for the synthesis of CuO/Graphene hybrid composite with significant photocatalytic enhancement. *Surfaces and Interfaces*, 7(November 2016), 69–73. <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2017.02.007>
- Di Gianfrancesco, A. (2017). Technologies for chemical analyses, microstructural and inspection investigations. In *Materials for Ultra-Supercritical and Advanced Ultra-Supercritical Power Plants*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100552-1.00008-7>
- Fang, Y., Wang, R., Jiang, G., Jin, H., Wang, Y., Sun, X., Wang, S., & Wang, T. (2012). CuO/TiO<sub>2</sub> nanocrystals grown on graphene as visible-light responsive photocatalytic hybrid materials. *Bulletin of Materials Science*, 35(4), 495–499. <https://doi.org/10.1007/s12034-012-0338-y>
- Feng, S., Shen, C., Xia, N., Song, W., Fan, M., & Cowling, B. J. (2020). Rational use of face masks in the COVID-19 pandemic. *The Lancet Respiratory Medicine*, 8(5), 434–436. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(20\)30134-X](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(20)30134-X)
- Ferawati, Y. F., & Susanti, R. F. (2021). the Role of N-Doping To the Pore Characteristics of Activated Carbon From Vetiver Root Distillation Waste. *Metalurgi*, 36(2), 59–68. <https://doi.org/10.14203/metalurgi.v36i2.595>
- Fouda, A., Salem, S. S., Wassel, A. R., Hamza, M. F., & Shaheen, T. I. (2020). Optimization of green biosynthesized visible light active CuO/ZnO nano-photocatalysts for the degradation of organic methylene blue dye. *Heliyon*, 6(9), e04896. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04896>
- Ghane, M., Sadeghi, B., Jafari, A. R., & Paknejhad, A. R. (2010). Synthesis and characterization

- of a Bi-Oxide nanoparticle ZnO/CuO by thermal decomposition of oxalate precursor method. *International Journal of Nano Dimension*, 1(1), 33–40. [http://www.ijnd.ir/article\\_632514.html](http://www.ijnd.ir/article_632514.html)
- Gilbert, R. M., Donzanti, M. J., Minahan, D. J., Shirazi, J., Hatem, C. L., Hayward-Piatkovskiy, B., Dang, A. M., Nelson, K. M., Bothi, K. L., & Gleghorn, J. P. (2020). Mask reuse in the covid-19 pandemic: Creating an inexpensive and scalable ultraviolet system for filtering facepiece respirator decontamination. *Global Health Science and Practice*, 8(3), 582–595. <https://doi.org/10.9745/GHSP-D-20-00218>
- Gong, J., Liu, J., Wen, X., Jiang, Z., Chen, X., Mijowska, E., & Tang, T. (2014). Upcycling waste polypropylene into graphene flakes on organically modified montmorillonite. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 53(11), 4173–4181. <https://doi.org/10.1021/ie4043246>
- Guo, J. Z., Li, B., Liu, L., & Lv, K. (2014). Removal of methylene blue from aqueous solutions by chemically modified bamboo. *Chemosphere*, 111(January 2007), 225–231. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.03.118>
- Henry, A., & Yanuar, A. (2002). Influenza Dengan Menggunakan Aplikasi Sistem Persamaan Linier Spektrofotometri UV-Vis. *Proceedings, Komputer Dan Sistem Intelijen (KOMMIT 2002)*, A1-11.
- Jeon, W. S., Kim, C. H., Wee, J. H., Kim, J. H., Kim, Y. A., & Yang, C. M. (2021). Sulfur-doping effects on the supercapacitive behavior of porous spherical graphene electrode derived from layered double hydroxide template. *Applied Surface Science*, 558, 149867. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2021.149867>
- Kiciński, W., Szala, M., & Bystrzejewski, M. (2014). Sulfur-doped porous carbons: Synthesis and applications. *Carbon*, 68, 1–32. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2013.11.004>
- Kowsari, E. (2017). *Carbon-Based Nanocomposites for Visible Light-Induced Photocatalysis*. 203–249. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-62446-4\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-319-62446-4_8)
- Li, H., Zhang, X., Huo, Y., & Zhu, J. (2007). Supercritical preparation of a highly active S-doped TiO<sub>2</sub> photocatalyst for methylene blue mineralization. *Environmental Science and Technology*, 41(12), 4410–4414. <https://doi.org/10.1021/es062680x>
- Liu, H., Lu, J., Teoh, H. F., Li, D., Feng, Y. P., Tang, S. H., Sow, C. H., & Zhang, X. (2012). Defect engineering in CdS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub> nanobelts: An insight into carrier relaxation dynamics via optical pump-terahertz probe spectroscopy. *Journal of Physical Chemistry C*, 116(49), 26036–26042. <https://doi.org/10.1021/jp307864d>
- Margarucci, L. M., Romano Spica, V., Protano, C., Gianfranceschi, G., Giuliano, M., Di Onofrio, V., Mucci, N., Valeriani, F., Vitali, M., & Romano, F. (2019). Potential antimicrobial effects of photocatalytic nanotechnologies in hospital settings. *Annali Di Igiene Medicina Preventiva e Di Comunita*, 31(5), 461–473. <https://doi.org/10.7416/ai.2019.2307>
- Miclescu, A., & Wiklund, L. (2014). *Methylene blue, an old drug with new indications?* July.
- Mohammad, M., Maitra, S., Ahmad, N., Bustam, A., Sen, T. K., & Dutta, B. K. (2010). Metal ion removal from aqueous solution using physic seed hull. *Journal of Hazardous Materials*, 179(1–3), 363–372. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.03.014>
- Muliasri, D., Susanti, D., & Widyastuti. (2018). Influence of composition grafit oxide, irradiation-time variation analyzes on reduced graphene oxide - Copper oxide (rGO/CuO) composite toward photocatalytic conversion of CO<sub>2</sub> to methanol. *AIP Conference Proceedings*, 2014(2017). <https://doi.org/10.1063/1.5054506>
- National, G., & Pillars, H. (n.d.). Optimasi Proses Kalsinasi pada Sintesis Komposit TiO<sub>2</sub>/Kitosan.
- Rajendra C. Pawar and Caroline Sunyong Lee. (2015). *Heterogeneous Nanocomposite-*

- Photocatalysis for Water Purification*. Elsevier B.V. [www.elsevier.com/permissions](http://www.elsevier.com/permissions)
- Ridhuan, K., & Suranto, J. (2017). Perbandingan Pembakaran Pirolisis Dan Karbonisasi Pada Biomassa Kulit Durian Terhadap Nilai Kalori. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 5(1), 50–56. <https://doi.org/10.24127/trb.v5i1.119>
- Rosyida Permatasari, M. Sjahrul Annas, B. A. (2015). Distribusi Temperatur Pada Microwave menggunakan Metode CFD. *Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTTM XIV), October 2015*, 1–5. <http://eprints.unlam.ac.id/634/1/KE-57.pdf>
- Sahu, V., Grover, S., Tulachan, B., Sharma, M., Srivastava, G., Roy, M., Saxena, M., Sethy, N., Bhargava, K., Philip, D., Kim, H., Singh, G., Singh, S. K., Das, M., & Sharma, R. K. (2015). Heavily nitrogen doped, graphene supercapacitor from silk cocoon. *Electrochimica Acta*, 160, 244–253. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2015.02.019>
- Sembiring, M. T., & Sinaga, T. S. (2003). Arang Aktif (Pengenalan Dan Proses Pembuatannya). *USU Digital Library*, 1–9.
- Serin, N., Serin, T., Horzum, Ş., & Çelik, Y. (2005). Annealing effects on the properties of copper oxide thin films prepared by chemical deposition. *Semiconductor Science and Technology*, 20(5), 398–401. <https://doi.org/10.1088/0268-1242/20/5/012>
- Silalahi, A. S., & Hendrasarie, N. (2021). Pemanfaatan Limbah Masker Bedah 3 Ply dan Limbah Plastik Polyetilen sebagai Adsorben Untuk Menurunkan Kandungan Deterjen dan Fosfat pada Limbah Industri Laundry. *Esec*, 2(1), 51–59.
- Subramaniam, M. N., Goh, P. S., Lau, W. J., Ng, B. C., & Ismail, A. F. (2018). Development of nanomaterial-based photocatalytic membrane for organic pollutants removal. In *Advanced Nanomaterials for Membrane Synthesis and Its Applications*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814503-6.00003-3>
- Sunardi, Irawati, U., & Sybianti, N. R. (2012). Sintesis dan Karakterisasi Komposit Kaolin-TiO<sub>2</sub> sebagai Fotokatalis untuk Degradasi Zat Warna Rhodamine B. *Sains Dan Terapan Kimia*, 6(2), 118–129.
- Syukri Darajat, H. A. dan A. A. (2008). Seng Oksida (ZnO) sebagai Fotokatalis pada Proses Degradasi Senyawa Metilen Biru. *Jurnal Riset Kimia*, 1(2), 1978–1979.
- Tahir, M. B., Iqbal, T., Rafique, M., Rafique, M. S., Nawaz, T., & Sagir, M. (2020). Nanomaterials for photocatalysis. In *Nanotechnology and Photocatalysis for Environmental Applications*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-821192->
- Teymoorian, T., Hashemi, N., Mousazadeh, M. H., & Entezarian, Z. (2021). N, S doped carbon quantum dots inside mesoporous silica for effective adsorption of methylene blue dye. *SN Applied Sciences*, 3(3), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04287-z>
- Wang, D., Yan, W., Vijapur, S. H., & Botte, G. G. (2013). Electrochemically reduced graphene oxide-nickel nanocomposites for urea electrolysis. *Electrochimica Acta*, 89, 732–736. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2012.11.046>
- Wang, L. (2006). Preparation and Characterization of Properties of electrodeposited copper oxide films. *Dissertation, December*.
- Wulandari, I. O., Wardhani, S., & Purwonugroho, D. (2014). Sintesis dan Karakterisasi Fotokatalis ZnO pada Zeolit. *Jurnal Ilmu Kimia Universitas Brawijaya*, 1(2), 241–247.
- Yang, X., & Wang, D. (2018). Photocatalysis: From Fundamental Principles to Materials and Applications [Review-article]. *ACS Applied Energy Materials*, 1(12), 6657–6693. <https://doi.org/10.1021/acsaem.8b01345>
- Yuwen, C., Liu, B., Rong, Q., Zhang, L., & Guo, S. (2022). Porous carbon materials derived from discarded COVID-19 masks via microwave solvothermal method for lithium-sulfur batteries. *Science of the Total Environment*, 817, 152995. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.152995>

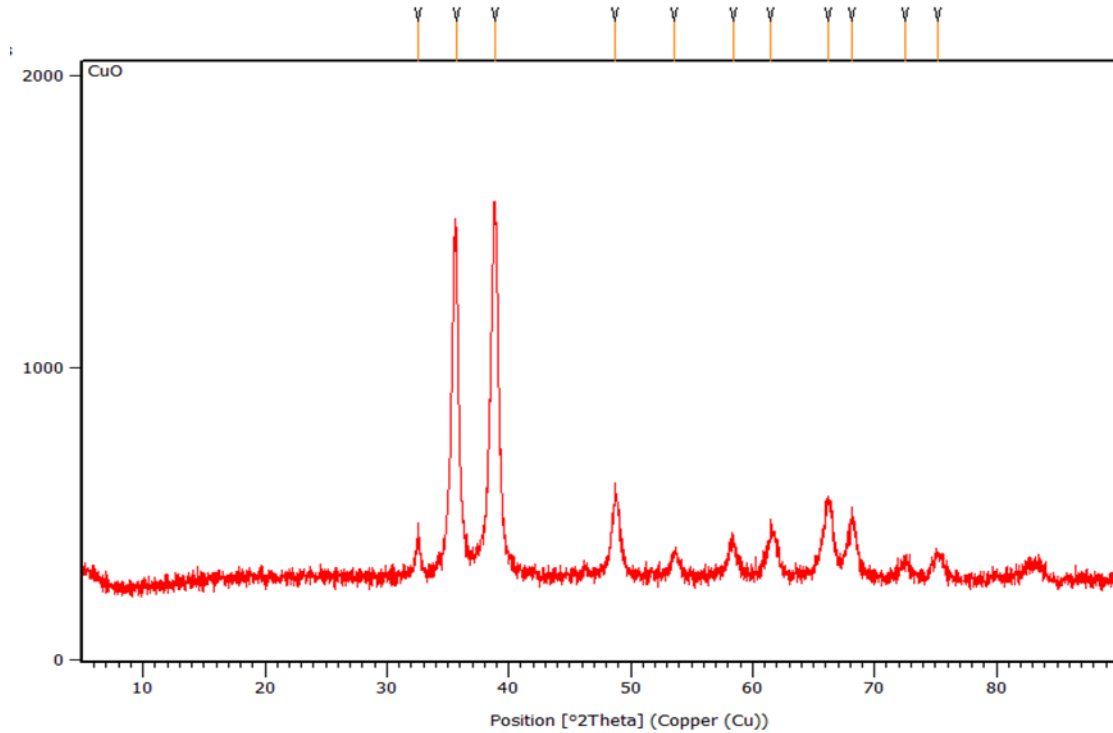
*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## LAMPIRAN

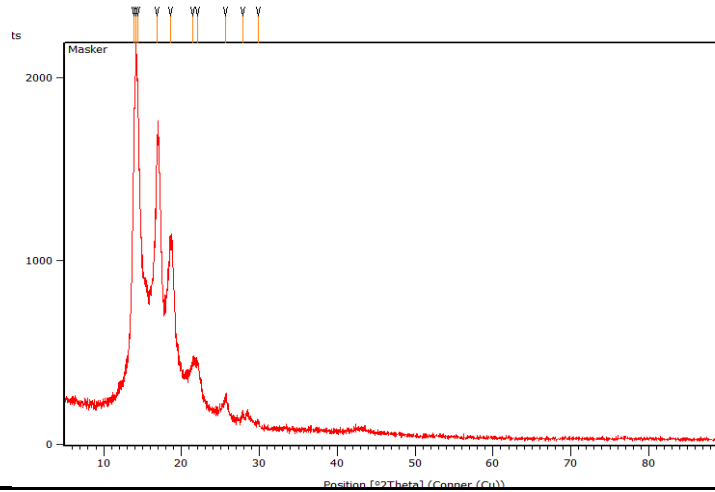
### Lampiran 1 : Hasil Pengujian XRD

#### a. Sampel CuO



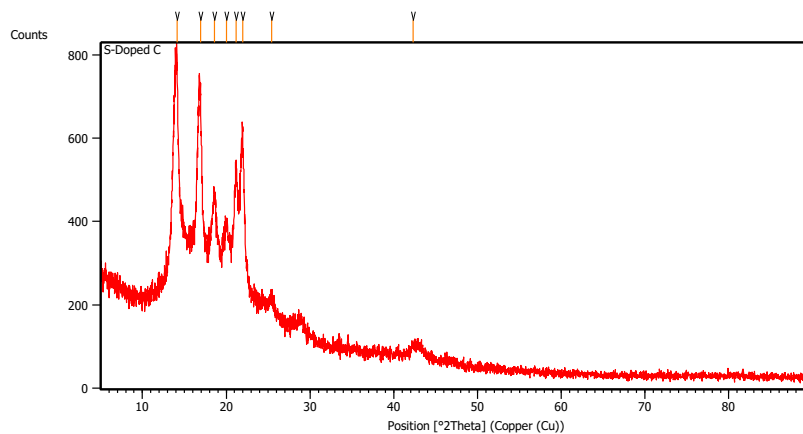
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
32.5971	126.70	0.2676	2.74705	10.64
35.6908	1103.32	0.4015	2.51570	92.61
38.8561	1191.35	0.1380	2.31775	100.00
48.7502	285.63	0.1673	1.86799	23.998
53.6361	82.86	0.3346	1.70879	6.95
58.3754	109.96	0.4684	1.58085	9.23
61.5133	159.15	0.2676	1.50752	13.36
66.1634	245.91	0.5353	1.41240	20.64
68.1990	188.54	0.2676	1.37512	15.83
72.4880	58.07	0.5353	1.30397	4.87
75.2113	74.36	0.8029	1.26337	6.24

**b. Sampel Masker**



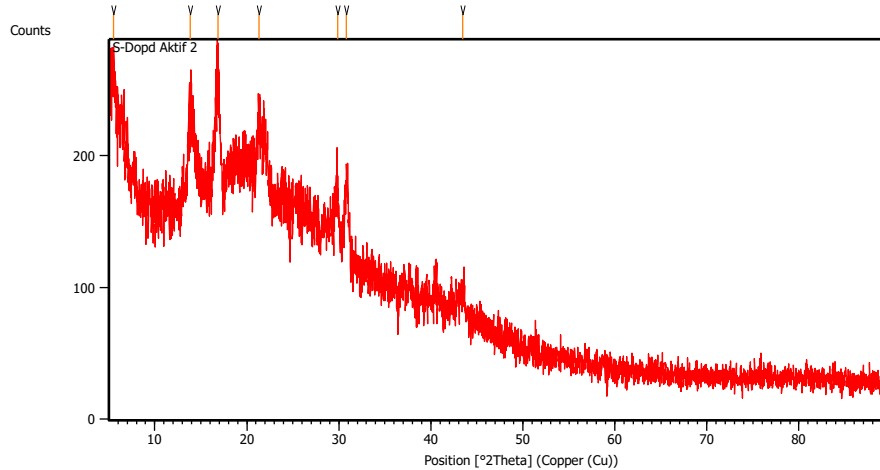
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
13.9166	1483.46	0.1338	6.36366	79.93
14.1109	1855.99	0.1673	6.27647	100.00
14.4013	1560.44	0.2007	6.15054	84.08
16.8841	1384.08	0.2007	5.25129	74.57
18.5759	845.76	0.6691	4.77667	45.57
21.4741	242.70	0.3346	4.13810	13.08
22.0731	228.74	0.3346	4.02714	12.32
25.6652	87.03	0.4684	3.47107	4.69
27.8219	47.45	0.2007	3.20671	2.56
29.8458	23.79	0.4015	2.99371	1.28

**c. Sampe S-Doped Porous Carbon**



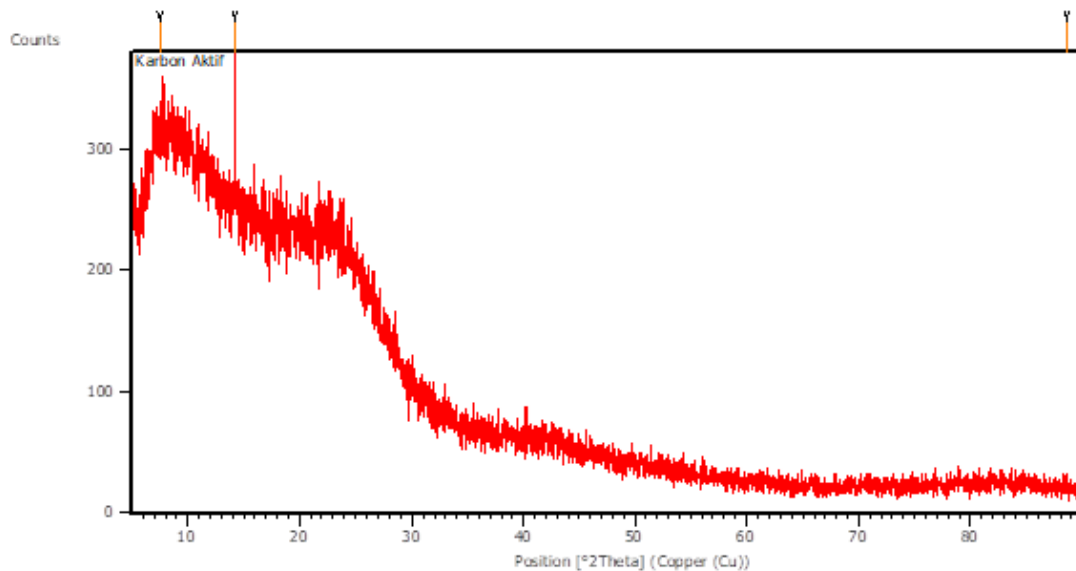
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
14.1141	532.11	0.2676	6.27506	100.00
16.9128	468.08	0.2676	5.24244	87.97
18.5996	224.77	0.3346	4.77063	42.24
20.0434	156.68	0.2676	4.43012	29.45
21.1689	301.45	0.1673	4.19708	56.65
21.9485	392.79	0.1673	4.04972	73.82
25.3972	31.52	0.5353	3.50709	5.92
42.3382	25.60	0.8029	2.13484	4.81

**d. Sampel S-Doped Porous Carbon Teraktivasi**



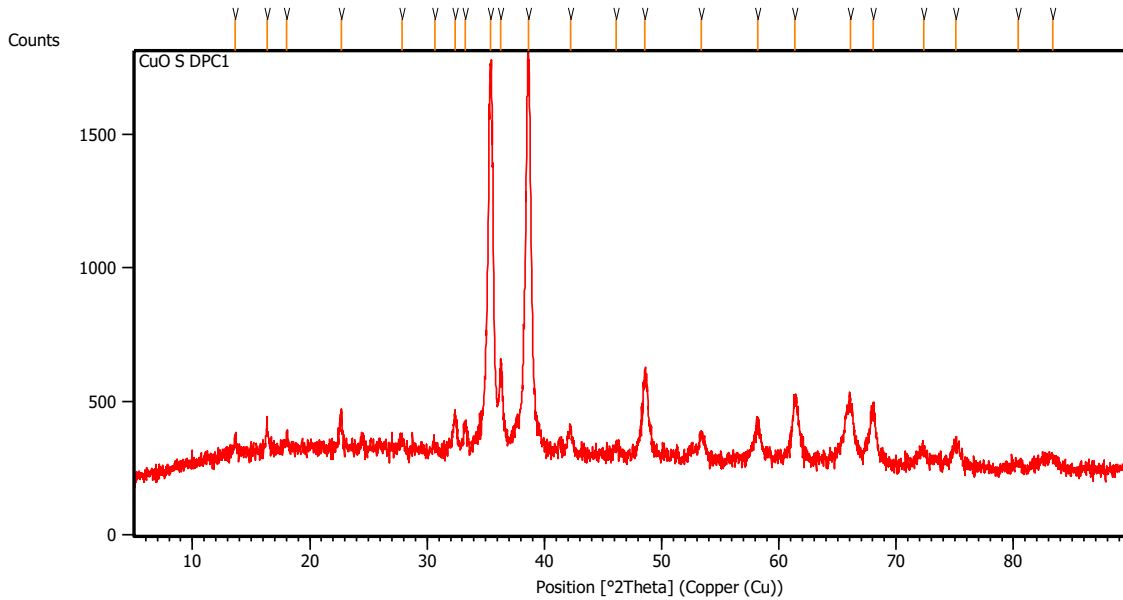
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
5.4944	62.84	0.4015	16.0849	87.44
13.8616	56.89	0.4015	6.38876	79.16
16.8881	71.87	0.2676	5.25005	100.00
21.3286	45.07	0.4015	4.16600	62.71
29.8442	43.70	0.3346	2.99387	60.81
30.8294	56.31	0.3346	2.90040	78.36
43.4673	17.46	0.8029	2.08197	24.30

**e. Sampel S-Doped Porous Carbon Teraktivasi Fisika**



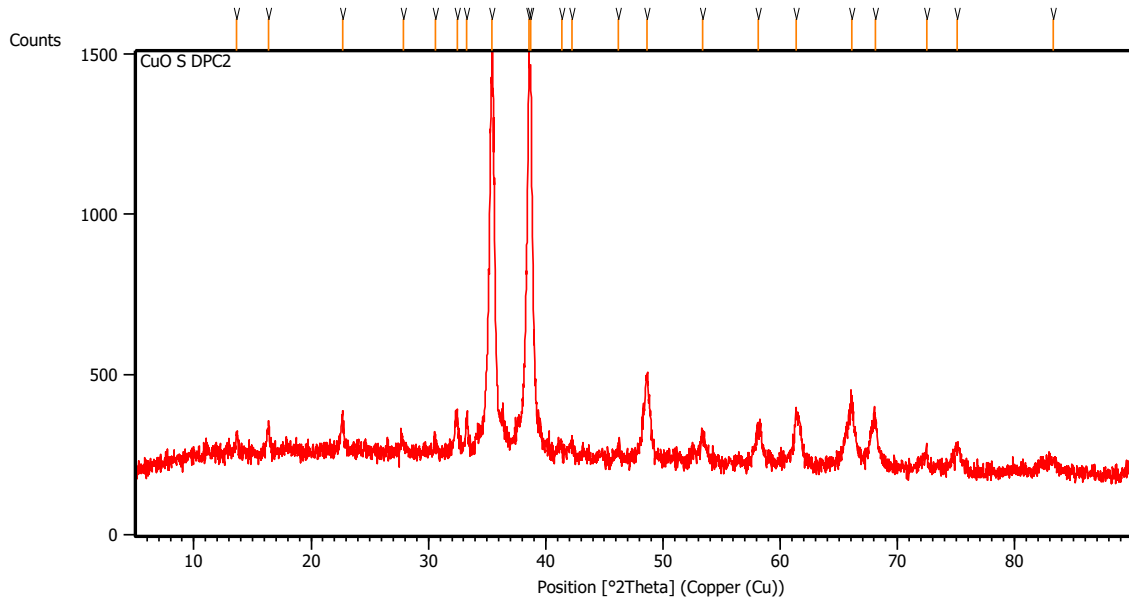
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
7.5300	93.03	0.0900	11.73082	71.93
14.2046	129.33	0.0669	6.23526	100.00
88.5776	2.99	0.4015	1.10406	2.31

**f. Sampel komposit CuO/ S-Doped Porous Carbon 0,3**



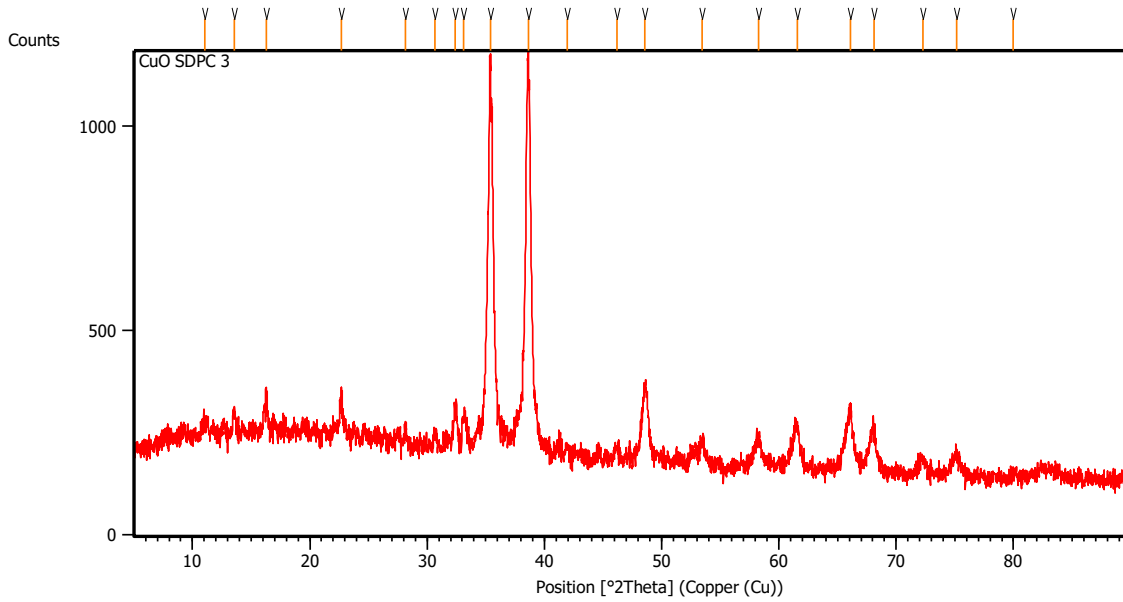
Pos. [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	Height [cts]	FWHM Left [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	d-spacing [ $\text{\AA}$ ]	Rel. Int. [%]
13.6420	65.75	0.2007	6.49111	4.51
16.3706	114.18	0.1338	5.41482	7.82
17.9891	31.31	0.4015	4.93115	2.15
22.6709	128.71	0.2007	3.92230	8.82
27.8383	41.15	0.3346	3.20486	2.82
30.6455	22.87	0.4015	2.91738	1.57
32.3780	131.61	0.2342	2.76513	9.02
33.2400	95.91	0.2676	2.69536	6.57
35.4391	1426.99	0.3680	2.53299	97.79
36.2520	301.48	0.2007	2.47804	20.66
38.6099	1459.30	0.4015	2.33196	100.00
42.2130	90.55	0.1673	2.14088	6.20
46.1477	40.73	0.4015	1.96709	2.79
48.5743	318.95	0.2342	1.87434	21.86
53.3555	89.39	0.4015	1.71712	6.13
58.1837	118.69	0.4015	1.58560	8.13
61.3847	218.53	0.4684	1.51037	14.98
66.1191	204.79	0.4015	1.41324	14.03
68.0303	192.40	0.4684	1.37812	13.18
72.3269	61.93	0.5353	1.30647	4.24
75.0707	89.03	0.6691	1.26539	6.10
80.4107	19.27	0.6691	1.19427	1.32
83.3189	43.43	0.6691	1.15982	2.98

**g. Sampel komposit CuO/ S-Doped Porous Carbon 0,5**



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
13.6684	64.71	0.1338	6.47864	5.39
16.3942	91.23	0.2007	5.40710	7.60
22.6569	111.01	0.1673	3.92469	9.24
27.8558	29.00	0.4015	3.20288	2.41
30.5640	32.17	0.4015	2.92498	2.68
32.4508	113.77	0.2676	2.75909	9.47
33.2680	95.53	0.1338	2.69316	7.95
35.4161	209.64	0.3346	2.53458	98.48
38.5667	3020.89	0.3020	2.33254	100.00
38.7282	1104.70	0.1673	2.32511	91.99
41.3581	33.83	0.1338	2.18314	2.82
42.2108	30.45	0.4015	2.14099	2.54
46.1715	32.12	0.4015	1.96613	2.67
48.6573	261.41	0.2007	1.87134	21.77
53.3971	73.49	0.2676	1.71588	6.12
58.1217	107.01	0.4015	1.58714	8.91
61.3453	148.56	0.2676	1.51125	12.37
66.0961	187.36	0.2676	1.41368	15.60
68.0890	138.86	0.4684	1.37707	11.56
72.4889	57.44	0.2676	1.30395	4.78
75.0682	74.10	0.3346	1.26542	6.17
83.2478	26.60	0.6691	1.16063	2.22

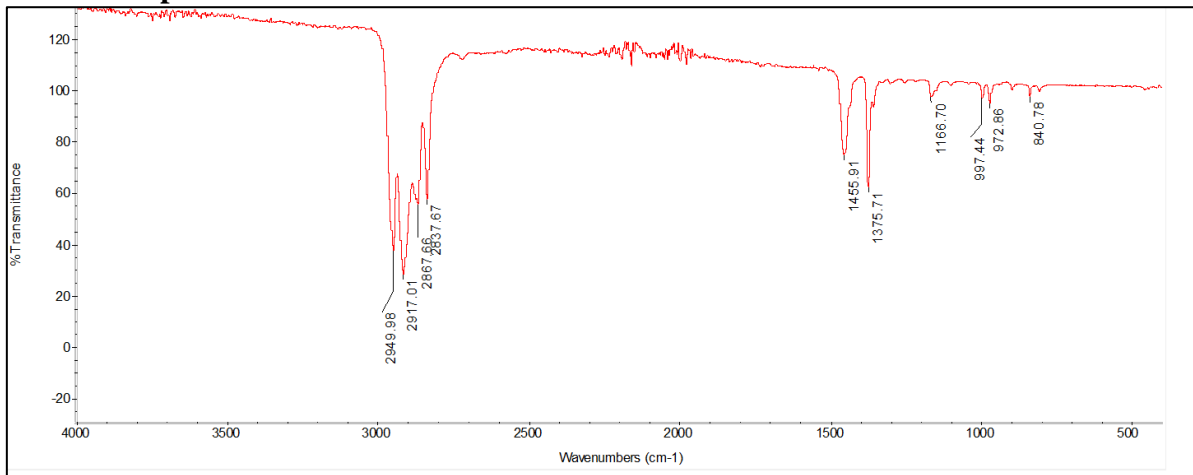
**h. Sampel komposit CuO/ S-Doped Porous Carbon 0,7**



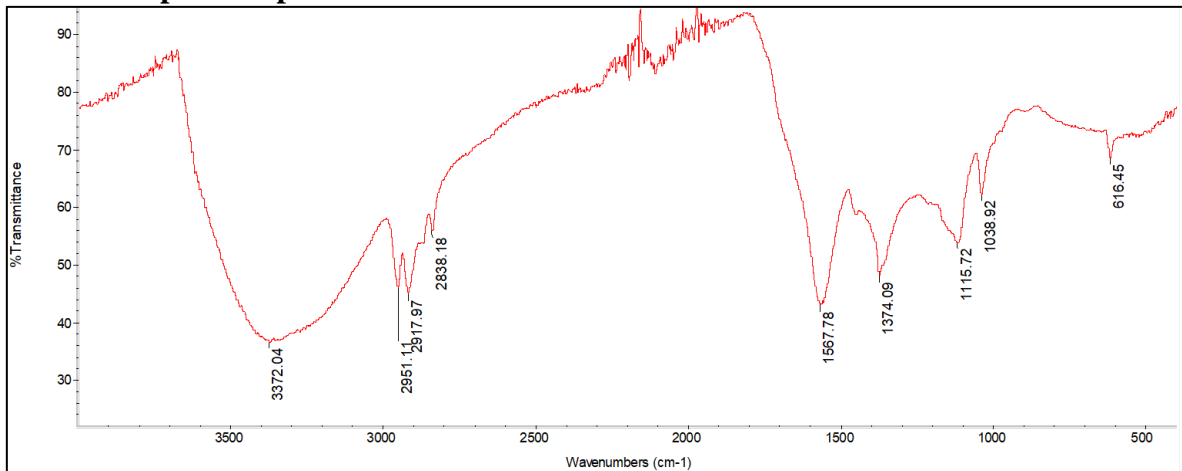
Pos. [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	Height [cts]	FWHM Left [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	d-spacing [ $\text{\AA}$ ]	Rel. Int. [%]
11.0736	30.43	0.4015	7.99020	3.17
13.5417	54.65	0.2676	6.53900	5.70
16.2999	94.37	0.1004	5.43815	9.84
22.6986	92.35	0.2007	3.91757	9.63
28.1694	42.29	0.2007	3.16793	4.41
30.6778	32.98	0.2676	2.91439	3.44
32.4185	89.14	0.2676	2.76177	9.29
33.1262	64.55	0.2676	2.70437	6.73
35.3891	907.38	0.0836	2.53645	94.58
38.6172	959.42	0.4804	2.33154	100.00
41.9329	17.86	0.3346	2.15453	1.86
46.2177	26.22	0.4015	1.96428	2.73
48.5888	176.17	0.2007	1.87382	18.36
53.4732	55.35	0.3346	1.71361	5.77
58.2550	67.45	0.4684	1.58383	7.03
61.5619	99.31	0.4684	1.50645	10.35
66.0852	141.25	0.4015	1.41388	14.72
68.0885	98.02	0.4015	1.37708	10.22
72.3003	38.01	0.5353	1.30689	3.96
75.1654	46.04	0.6691	1.26403	4.80
79.9914	13.22	0.4015	1.19947	1.38

Lampiran 2 : Hasil Pengujian FTIR

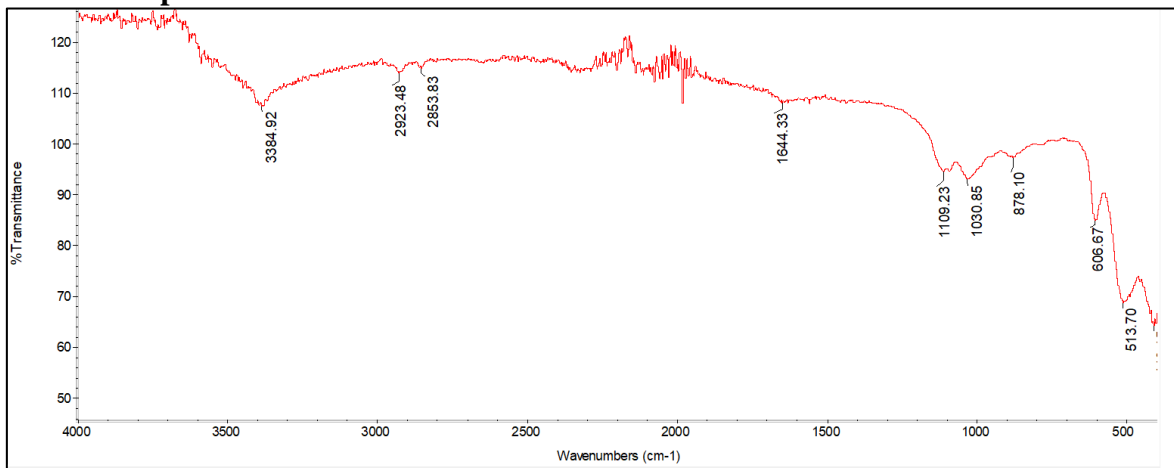
a. Sampel Masker



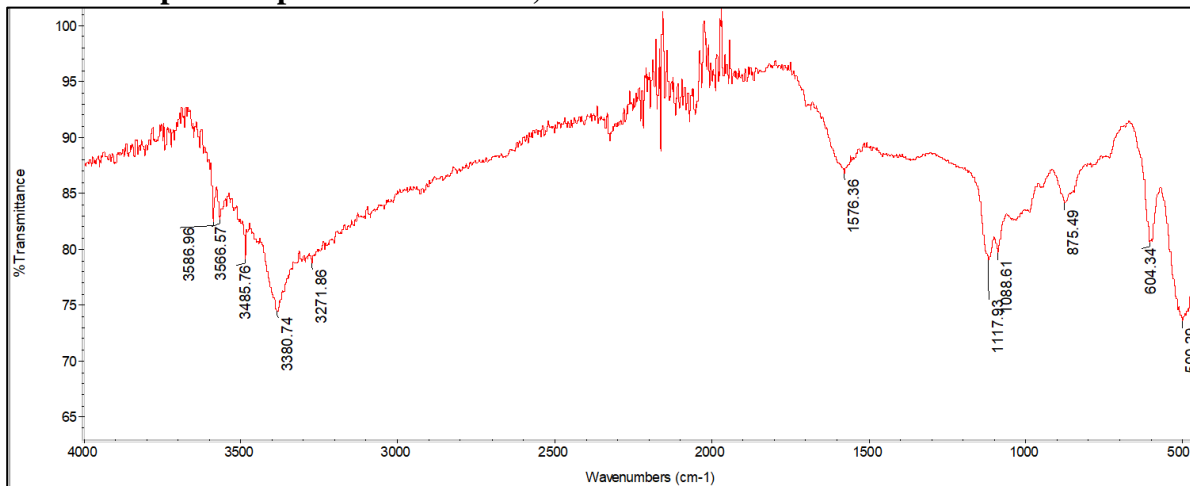
b. Sampel S-Doped Porous Carbon Teraktivasi



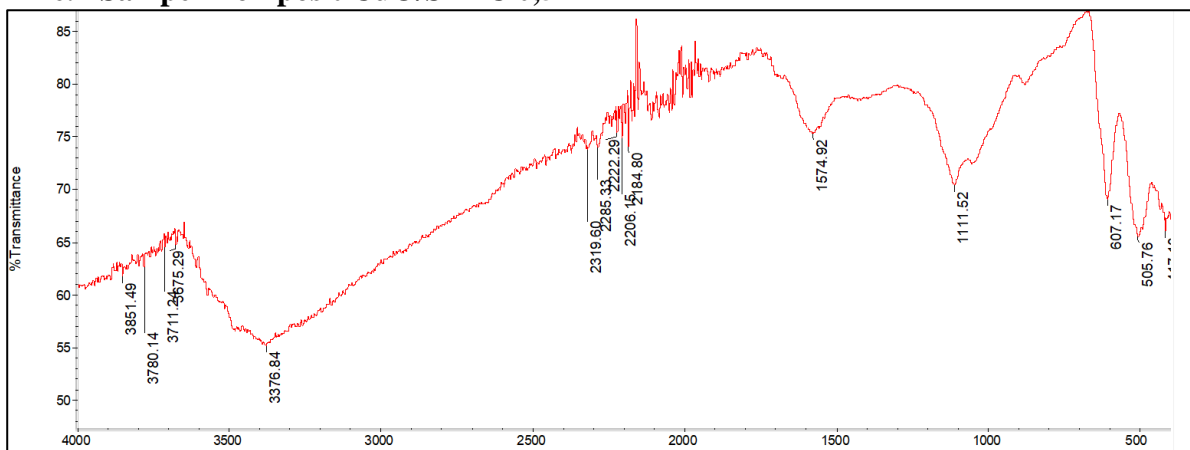
c. Sampel CuO



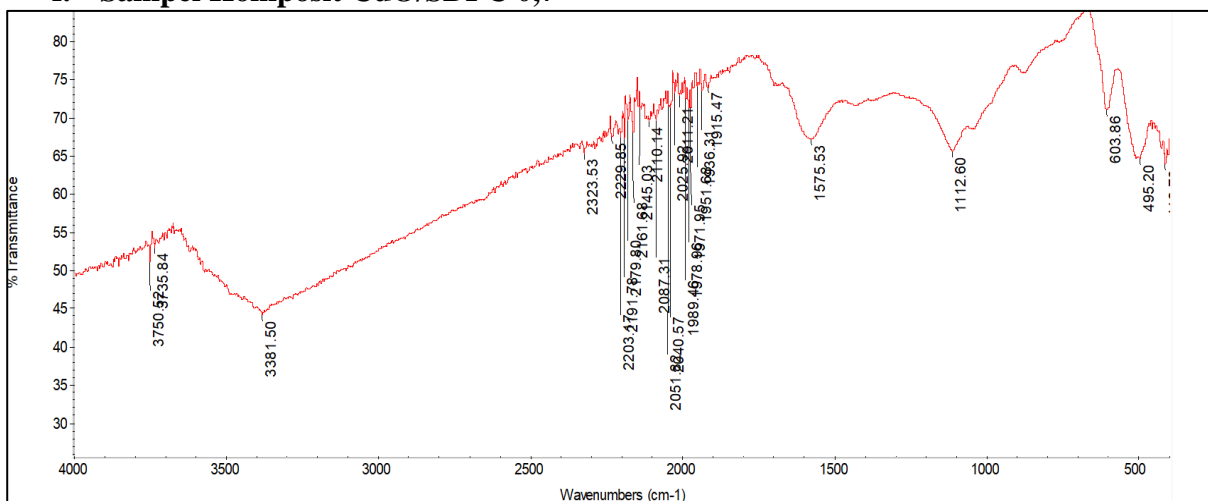
**d. Sampel Komposit CuO/SDPC 0,3**



**e. Sampel Komposit CuO/SDPC 0,5**

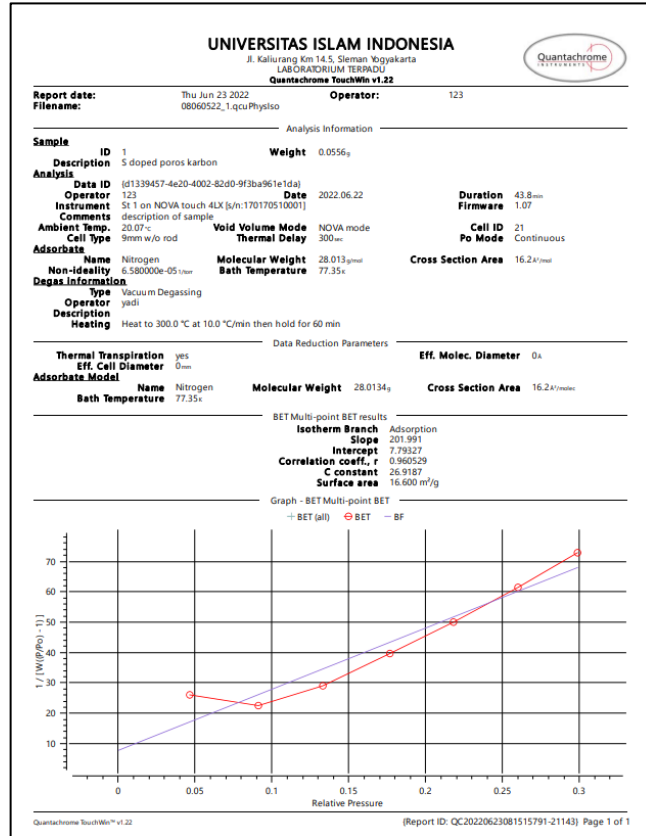


**f. Sampel Komposit CuO/SDPC 0,7**

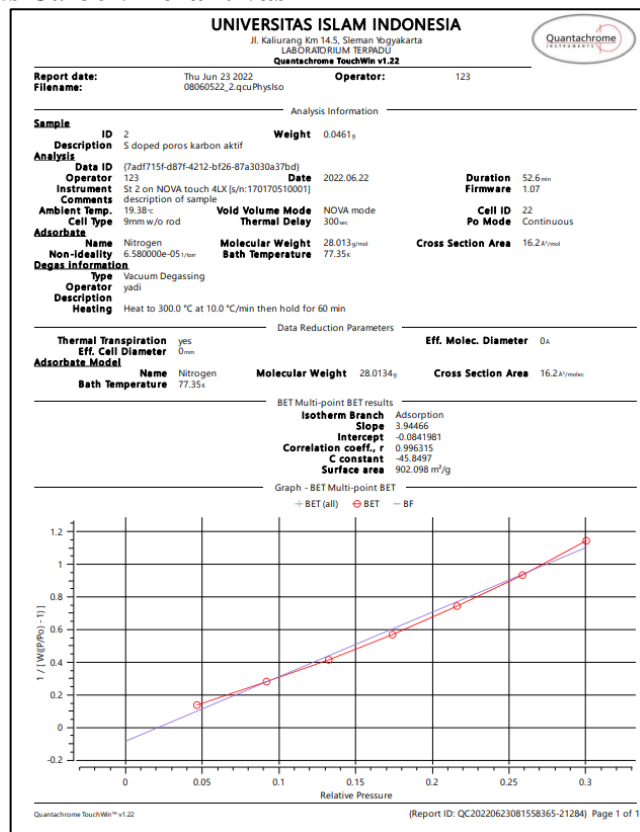




Lampiran 3: Pengujian BET  
a. S-Doped Porous Carbon



b. S-Doped Porous Carbon Teraktivasi



Lampiran 4: Pengujian GC-MS

**Pemeriksaan Profiling Sampel 6-306**

**Cara Kerja**

1. Sampel 2 ml dilarutkan Etanol p.a. 2 ml
2. Di vortex 3 menit, disonifikasi selama 15 menit
3. Larutan sampel disaring dengan membran filter 0,45µl
4. Filtrat diinjeksikan 1 µl di instrumen GCMS

**Baku Eksternal:**

2 µl DMF kadar 99% ad 2 ml etanol : 1 ppm  
Rumus : (2\*Perbandingan Area)\* Kadar baku

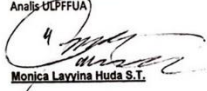
**Kondisi GC**

Instrument = Agilent 6890N Network GC System dengan autosampler  
Detektor = Agilent 5973 Inert MSD  
Kolom = J&W Scientific, HP-5MS, 0.25mm x 30m x 0.25um  
Inlet = split 1/100, 250°C  
Oven = terprogram; 40°C (10mnt) -> 10°C/mnt -> 280°C (20mnt)  
Flow dlm Kolom = 1 ml/menit (konstan)  
Aux = 250°C  
MS Quad = 150°C  
MS Source = 230°C  
Scan Mode = 6-600 amu  
Solvent delay = 0 menit  
Pustaka = Wiley versi 8.0  
Volume Injeksi = 1 µl

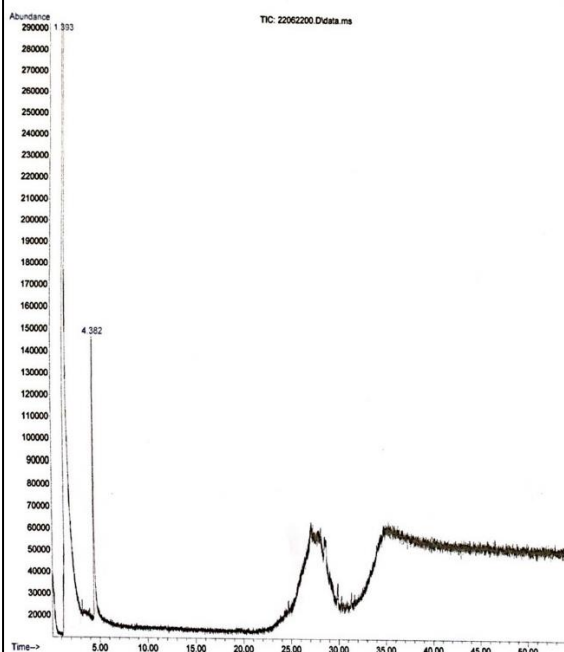
**Hasil**

RT	Nama Senyawa	Area	Faktor Pengenceran	Kadar ppm	Qual
6-306	4.38 N,N-Dimethylformamide	5187977	2.00	0.0136	90

Unknown karena qual < 90  
Catatan : % Normalisasi area tidak menunjukkan prosentase sebenarnya dalam komposisi sampel

Surabaya, 22 Juni 2022  
Analisis U/LFFUA  
  
**Monica Lavvina Huda S.T.**

File : C:\msdchem\1\data\profiling 2022\22062200.D  
Operator : monic  
Acquired : 22 Jun 2022 11:34 using AcqMethod PROFILING2022a.M  
Instrument : GCMS  
Sample Name: 6-306  
Misc Info : 1 mikro split 1/100  
Vial Number: 1



Library Search Report

Data Path : C:\msdchem\1\data\profiling 2022\  
Data File : 27062200.D  
Acq On : 27 Jun 2022 14:32  
Operator : monic  
Sample : 6-306 DMF etanol  
Misc : 1 mikro split 1/100  
ALS Vial : 1 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\W8N05ST.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex  
Integration Events: ChemStation Integrator - events.e

PK#	RT	Area#	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	1.391	73.36	C:\Database\W8N05ST.L ETHANOL \$ HYDROXYETHANE \$ 1-HYDROX YETHANE \$ ABSOLUTE ALCOHOL \$ ABSOL UTE ETHANOL \$ ABSOLUTE ETHYL ALCOH OL \$ AETHANOL [GERMAN] \$ AETHYLALK OHOL [GERMAN] \$ AHD 2000 \$ A13-017 06 \$ AIDS-006139 \$ ALCARE HAND DEG ERMER \$ ALCOHOL \$ ALCOHOL (ETHYL A LCOHOL) \$ ALCOHOL ETHANOL \$ HYDROXYETHANE \$ 1-HYDROX YETHANE \$ 100C.NPA \$ ABSOLUTE ALCO HOL \$ ABSOLUTE ETHANOL \$ ABSOLUTE ETHYL ALCOHOL \$ AETHANOL \$ AETHANO L [GERMAN] \$ AETHYLALKOHOL \$ AETHY LALKOHOL [GERMAN] \$ AHD 2000 \$ A13 -01706 \$ AIDS-006139 \$ ALCARE HAND DEGERMER \$ ALCOH ETHANOL \$ HYDROXYETHANE \$ 1-HYDROX YETHANE \$ 100C.NPA \$ ABSOLUTE ALCO HOL \$ ABSOLUTE ETHANOL \$ ABSOLUTE ETHYL ALCOHOL \$ AETHANOL \$ AETHANO L [GERMAN] \$ AETHYLALKOHOL \$ AETHY LALKOHOL [GERMAN] \$ AHD 2000 \$ A13 -01706 \$ AIDS-006139 \$ ALCARE HAND DEGERMER \$ ALCOH	5020	000064-17-5	90
				5029	000064-17-5	78
				5030	000064-17-5	78
2	4.536	26.51	C:\Database\W8N05ST.L Formamide, N,N-dimethyl- \$ Dimethyl lformamide \$ DMF \$ DMF (Amide) \$ D MFA \$ N-Formyldimethylamine \$ N,N- Dimethylformamide \$ HCON(CH3)2 \$ F ormyldimethylamine \$ Dimethylformam ide \$ Dimethylformamid \$ Dimethylfo rmamide \$ Dwumetyloformamid \$ N,N- Dimethylmethanami FORMAMIDE, N,N-DIMETHYL- \$ N,N-DIM ETHYLFORMAMIDE \$ A13-03311 \$ AIDS- 000716 \$ CASWELL NO. 366A \$ CCRIS 1638 \$ DIMETHYL FORMAMIDE \$ DIMETH YLAMID KISELINY MRAVENC I \$ DIMETHY LAMID KISELINY MRAVENC I [CZECH] \$ DIMETHYLFORMAMIDE \$ DIMETHYLFORMAMI D \$ DIMETHYLFORMA FORMAMIDE, N,N-DIMETHYL- \$ N,N-DIM ETHYLFORMAMIDE \$ A13-03311 \$ AIDS- 000716 \$ CASWELL NO. 366A \$ CCRIS 1638 \$ DIMETHYL FORMAMIDE \$ DIMETH YLAMID KISELINY MRAVENC I \$ DIMETHY LAMID KISELINY MRAVENC I [CZECH] \$ DIMETHYLFORMAMIDE \$ DIMETHYLFORMAMI D \$ DIMETHYLFORMA	113200	000068-12-2	91
				42178	000068-12-2	91
				106118	000068-12-2	91

### UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam pengerjaan laporan penelitian tugas akhir ini, penulis mendapat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak-pihak yang telah mendukung dan membantu, diantaranya :

1. Kedua orang tua penulis yaitu almarhum bapak Musa dan almarhum ibu Sumarlik yang senantiasa mendoakan dimanapun berada.
2. Pak Hanifudin Nurdiansa dan Bu Diah Susanti selaku dosen pembimbing penulis yang senantiasa membimbing dan membantu penulis dalam proses pengerjaan Tugas Akhir.
3. Anggota Laboratorium Kimia Material khususnya Mbak Yenny yang senantiasa membantu penulis dalam melakukan pengujian UV-Vis dan teman teman lain keluarga besar Kimia Material: Chrisna Juli, Lehonnita, Putri Safa, Shafira Marelia. I Made Krisna, Yusuf Bukhori, Ega Oktraliardi, Aldiansah Wahfiudin.
4. Wanda Islamiyanto yang senantiasa memberikan dukungan dan semangat kepada penulis dalam menjalani hari-hari perkuliahan.
5. Sahabat-sahabat “Tari Piring Aceh” yang masih bertahan menjadi nomer satu dihati penulis.
6. Sahabat-sahabat “Cangtip ITS” Shefina Yusmana, Reggy, Virly Shafira, Icha, Amelia Rosana yang senantiasa memberikan motivasi bagi penulis untuk terus belajar dan berambisi untuk menjadi orang sukses di masa depan.
7. Rifki Arga, Chrisna Juli dan Lehonnita yang telah menjadi tempat berdiskusi masalah perkuliahan baik akademik, non akademik, pekerjaan, masa depan dan lain sebagainya.
8. Teman-teman SC-PSDM tahun 2019/2020 yang telah membantu penulis belajar banyak dalam menjalani proses perkuliahan
9. Teman-teman SC-ASRD tahun 2020/2021 yang telah membantu penulis belajar banyak dalam menjalani proses perkuliahan.
10. Keluarga besar MT 20 yang senantiasa menjadi keluarga dan berproses bersama selama penulis menjalankan kehidupan kuliah
11. Diri saya sendiri yang telah menjadi perempuan kuat dan bisa bertahan berdiri sendiri dalam menjalani hidup.
12. Serta semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu

Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat untuk pengembangan penelitian lebih lanjut dan siapapun yang membutuhkan dimasa mendatang.

## BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Sidoarjo, Jawa Timur pada tanggal 27 Mei 2000 sebagai anak kedua dari bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal dari MINU Durung Bedug 2006-2012, SMP Negeri 1 Candi pada 2012-2015 dan SMA Negeri 1 Sidoarjo pada 2015-2018. Kemudian pada tahun 2018 penulis melanjutkan pendidikan kuliah di Institut Teknologi Sepuluh Nopember di Departemen Teknik Material dan Metalurgi melalui jalur SBMPTN. Selama perkuliahan, penulis aktif dalam organisasi, yaitu menjadi Staff KPU HMMT FT-IRS ITS 2019, Wakil Kepala Divisi Internal Indonesian Corrosion Association ITS *Student Chapter* 2019/2020, *Organizing Comitee Indonesian Corrosion Certification Project* 2020, Ketua Pelaksana LKMM TD XXIX HMMT ITS 2020, Staff Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa HMMT 2019/2020, Kepala Biro Pelatihan *Advanced Student Resource Development Training* 2020/2021. Dalam bidang akademik, penulis tercatat sebagai Mentor Mata Kuliah Agama Islam 2019, Asisten dosen Mata Kuliah Matematika Rekayasa 2020, dan Grader/Asisten Laboratorium Perlakuan Panas 2021. Beberapa prestasih yang diraih oleh penulis adalah juara 2 futsal putri ROG FT-IRS ITS 2020, Top 10 star-up terbaik Inkubator ILBI ITS didanai Kementerian Koperasi dan UKM Republik Indonesia 202, Penerima Beasiswa PT Hutchison 3 Indonesia 2020, Penerima Penghargaan Beasiswa Badan Amil Zakat Nasional (BAZNAS) 2021. Penulis memiliki pengalaman kerja praktik di PT Perta Arun Gas selama 2 bulan pada tahun 2021, serta pengalaman mengikuti program Kredensial Mikro Mahasiswa Indonesia Kampus Merdeka di Universitas Indonesia mata kuliah K3 selama 3 bulan. Untuk menyelesaikan pendidikan S1, penulis melakukan penelitian dalam bidang degradasi limbah dengan tugas akhir berjudul “Analisis Pengaruh Penambahan Massa *S-Doped Porous Carbon* dari Limbah Masker Medis terhadap Sifat Fotokatalisis Komposit *S-Doped Porous Carbon/CuO* untuk Degradasi *Methylene Blue*”. Penulis dapat dihubungi melalui email: [rifaulamelia@gmail.com](mailto:rifaulamelia@gmail.com) dan instagram: [@rifaulamelia](https://www.instagram.com/rifaulamelia)