



TESIS - TL142501  
**APLIKASI KOMPOSIT RGO -CUO SEBAGAI  
FOTOKATALIST UNTUK KONVERSI CO<sub>2</sub> MENJADI  
METANOL DI BAWAH IRRADIASI SINAR TAMPAK**

DESTRI MULIASTRI  
NRP. 02511650012004

DOSEN PEMBIMBING  
Diah Susanti ST., MT., Ph.D  
Dr. Widyastuti, S.Si, M.Si

PROGRAM MAGISTER  
MATERIAL INOVATIF  
DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018



**TESIS - TL142501**

**APPLICATION OF COMPOSITE rGO - CuO AS A  
PHOTOCATALYST TO CONVERSION CARBON DIOXIDE  
INTO METHANOL UNDER VISIBLE LIGHT IRRADIATION**

**DESTRI MULIASTRI**

**NRP. 02511650012004**

**ADVISOR**

**Diah Susanti ST., MT., Ph.D**

**Dr. Widyastuti, S.Si, M.Si**

**MAGISTER PROGRAM**

**INNOVATIVE MATERIAL**

**DEPARTEMEN OF MATERIAL AND METALLURGYCAL ENGINEERING**

**FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY**

**INSTITUTE OF TECHNOLOGY SEPULUH NOPEMBER**

**SURABAYA**

**2018**



TESIS  
Program Studi Magister  
Departement Teknik Material  
FTI-ITS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh  
gelar  
Magister Teknik  
di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Oleh:  
Destri Muliastri  
NRP 02511650012004

Tanggal Ujian : 13 Juli 2018  
Periode Wisuda : September 2018

Disetujui oleh :

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

NIP. 197701162003122007

  
( Pembimbing I)


2. Dr. Widyastuti, S.Si, M.Si

NIP. 197906202006042001

  
( Pembimbing II)

3. Lukman Noerochim, S.T., M.Sc.Eng., Ph.D

NIP. 197703132003121001

  
(Penguji)

4. Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D

NIP. 197801132002121003

  
(Penguji)



Dekan Fakultas Teknologi Industri

  
Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, S.T., M.T.

NIP. 196905071995121001

## **APLIKASI KOMPOSIT RGO –CUO SEBAGAI FOTOKATALIST UNTUK KONVERSI CO<sub>2</sub> MENJADI METANOL DI BAWAH IRRADIASI SINAR TAMPAK**

Nama Mahasiswa : Destri Muliastri  
NRP : 02511650012004  
Dosen Pembimbing : Diah Susanti, ST., MT., Ph.D  
Ko - Pembimbing : Dr. Widyastuti, S.Si, M.Si

### **ABSTRAK**

Peningkatan jumlah gas CO<sub>2</sub> menyebabkan terjadinya pemanasan global. Mengkonversi CO<sub>2</sub> menjadi bahan bakar dengan proses fotokatalitik adalah salah satu solusi untuk mengurangi jumlah CO<sub>2</sub>. *Reduced Graphene Oxide* (rGO) yang dipadukan dengan Tembaga (II) Oksida (CuO) memiliki kemampuan untuk menyimpan dan mengalirkan elektron melalui proses transfer elektron yang memegang peranan paling penting dalam aktifitas reaksi fotokatalitik. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisa variasi waktu penyinaran (120,150,180 menit), waktu alir gas karbon dioksida (1, 3, dan 5 menit) serta komposisi rGO terhadap reaksi fotokatalitik untuk mengkonversi CO<sub>2</sub> menjadi methanol. Hasil uji X-Ray Diffraction (XRD) dan Scanning Electron Microscopy (SEM) menunjukkan struktur kristal dan morfologi rGO. Adanya linker *amonium hidroxide* (NH<sub>4</sub>OH) yang mengikat rGO dan CuO dibuktikan pada uji FTIR. Komposit rGO/CuO mampu menyerap cahaya yang merupakan hal penting dalam proses fotokatalitik seperti yang ditunjukkan pada hasil uji UV-Vis. Hasil uji GCMS menunjukkan jumlah metanol tertinggi terdapat pada larutan DMF yang berisi katalis rGO 5% - CuO dengan variasi waktu penyinaran 150 menit pada waktu alir gas CO<sub>2</sub> selama 5 menit sebesar 8898,491 mmol metanol /gram katalis. Semakin lama waktu alir gas CO<sub>2</sub>, maka methanol yang dihasilkan semakin banyak. Komposisi rGO 5% yang paling baik dikarenakan pada komposisi tersebut CuO dan rGO merupakan komposisi yang tepat, terbukti dari hasil XRD dan SEM. CuO terikat dengan baik pada layer rGO, sehingga CuO mampu mentransfer elektron. Transfer elektron membantu dalam proses konversi CO<sub>2</sub> menjadi methanol, karena dalam proses konversi CO<sub>2</sub> menjadi metanol membutuhkan 6 elektron.

**Kata Kunci** : *Reduced Graphene Oksida*, CuO, fotokatalitik, CO<sub>2</sub> conversion, metanol



*Halaman ini sengaja dikosongkan*



# APPLICATION OF COMPOSITE rGO – CuO AS A PHOTOCATALYST TO CONVERSION CARBON DIOXIDE INTO METHANOL UNDER VISIBLE LIGHT IRRADIATION

Student Name : Destri Muliastri  
NRP : 0251650012004  
Supervisor : Diah Susanti, ST., MT., Ph.D  
Co-Supervisor : Dr. Widyastuti, S.Si,M.Si

## ABSTRACT

Escalation of CO<sub>2</sub> concentration in atmosphere worsens the effect of global warming. CO<sub>2</sub> conversion to fuel using photocatalytic process is one of the solutions to reduce the gasses. *Reduced Graphene Oxide* (rGO) has spesific surface area, high electron conductivity and adsorption capacity so that it's potentially applied in photocatalytic processes. CuO is a semiconductor which has high spesific surface area, high abundance and low cost. rGO which combined with semiconductor has an ability to store and conduct electron through transfer electron process that plays most important role in photocatalytic reaction activity. This study uses rGO/CuO composite to convert CO<sub>2</sub> to methanol by photocatalytic process. The aim of this study are to analyze the influence of irradiation-time variation of rGO/CuO composite photocatalytic conversion of CO<sub>2</sub> which produces maximum methanol. rGO/CuO material is characterized using XRD, SEM, BET and UV-Vis, while the amount of produced CO<sub>2</sub> is examined using GC-MS. The results of the X-ray diffraction test (XRD) and scanning electron microscopy (SEM) show the crystal and morphological structure of rGO, CuO and rGO-CuO composites. The presence of an ammonium hydroxide linker (NH<sub>4</sub>OH) binding to rGO and CuO is demonstrated in the FTIR test. Light-absorbing rGO / CuO composites are important in the photocatalytic process as seen in UV-Vis test results. The GCMS test results show the highest methanol amount contained in DMF containing 5% - CuO rGO catalyst with a variation of irradiation time of 150 minutes at a time of CO<sub>2</sub> gas flow for 5 minutes of 8898.491 mmol methanol / gram catalyst. The best 5% rGO composition due to the composition of CuO and rGO is the right composition, as evidenced by XRD and SEM results. Copper oxide is well bonded to the rGO layer, so CuO is able to transfer electrons.

**Keywords** : *Reduced Graphene Oksida*, CuO, photocatalytic, CO<sub>2</sub> conversion, methanol





*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Alhamdulillahirobbil'alamin, puji syukur kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat, hidayah serta kasih sayang-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan proposal tesis yang berjudul **“Aplikasi Komposit rGO –CuO sebagai fotokatalist Untuk Konversi CO<sub>2</sub> Menjadi Metanol Di Bawah Irradiasi Sinar Tampak”** Tidak lupa pula untaian sholawat dan salam kepada Rosulullah Muhammad SAW, Nabi yang menuntun manusia dari zaman yang biadab menuju zaman yang beradab, yang penuh dengan ilmu pengetahuan luar biasa saat ini.

Dengan ini penulis menyadari bahwa penulis tesis ini tidak akan tersusun dengan baik tanpa adanya bantuan dari pihak-pihak yang terkait. Oleh karena itu, pada kesempatan ini tidak lupa juga penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam kegiatan penelitian maupun dalam penyusunan penulisan tesis ini.

Ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya penulis ucapkan kepada:

1. Orang tua dan keluarga dirumah yang senantiasa memberikan motivasi dan doa kepada penulis agar diberi kemudahan dalam menyelesaikan tesis ini.
2. Ibu Diah Susanti, ST.,M.T.,Ph.D selaku dosen pembimbing yang memberikan banyak kesabaran, waktu dan ilmu dalam membimbing penelitian dan penulis agar tesis ini tersusun dengan baik dan benar.
3. Ibu Dr. Widyastuti, S.Si, M.Si selaku dosen pembimbing kedua yang bersedia meluangkan waktu untuk memberikan masukan dan bimbingannya hingga tesis ini terselesaikan.



4. Bapak Sigit Tri Wicaksono, Ph.D dan Bapak Lukman Nurroechim, S.T, M.Sc.Eng, Ph.D selaku penguji yang bersedia meluangkan waktu untuk memberikan masukan dan bimbingannya hingga tesis ini terselesaikan.
5. Bapak Prof. Ir. Joni Hermana, M.Sc. ES. Ph.D selaku rektor Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
6. Bapak Dr. Agung Purniawan, ST, M.Sc selaku ketua jurusan Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
7. Segenap dosen, Laboran dan admin jurusan Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya yang senantiasa membantu dan memberikan ilmu pengetahuan serta pengarahannya.
8. Teman angkatan Yulia, Rifqi, Ariyok, Mashudi, Marhadi, Alfian yang senantiasa membantu dan memberikan motivasi agar terselesaikannya tesis ini.
9. Mba Yeni W yang senantiasa membantu dan memberikan motivasi agar terselesaikannya tesis ini.
10. Teman-teman Magister Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya yang memberikan motivasi agar terselesaikannya tesis ini.
11. Mba Retno Damastuti, MT yang senantiasa membantu dan memberikan motivasi agar terselesaikannya tesis ini.
12. Teman-teman Laboratorium Kimia Material Renaldi, Boy, Yohan, Mbambang, Samuel, Alif yang senantiasa membantu dan memberikan motivasi agar terselesaikannya tesis ini.
13. Sahabat Diah Windari dan Desi Arwanti yang senantiasa memberikan motivasi agar terselesaikannya tesis ini.
14. Semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung memberikan dukungan dalam penulisan tesis ini.

Dalam Penyusunan tesis ini, penulis sangat menyadari masih ada banyak kekurangan dan kekeliruan dikarenakan keterbatasan kemampuan. Dengan kerendahan hati, segala kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis



TESIS  
Program Studi Magister  
Departement Teknik Material  
FTI-ITS

---

harapkan untuk kesempurnaan tesis ini. Akhir kata, semoga tesis ini dapat menambah khasanah pustaka dan bermanfaat bagi orang lain.

Surabaya, Mei 2018

Penulis



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	i
ABSTRAK .....	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR .....	v
DAFTAR TABEL .....	vi
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	
2.1 Graphene .....	7
2.1.1 Morfologi Graphene.....	9
2.2 Sintesis Graphena.....	11
2.2.1 Ultrasonikasi .....	14
2.2.2 Metode <i>Hydrothermal</i> .....	14
2.3 CuO .....	15
2.3.1 Sintesis CuO.....	18
2.4 Fotokatalis .....	18
2.4.1 Definisi Fotokatalis .....	18
2.4.2 Reaksi Fotokatalis .....	19
2.4.3 Aplikasi Fotokatalis .....	20
2.4.4 Fotokatalis Semikonduktor .....	23
2.5 Methanol .....	24
2.6 Penelitian Sebelumnya .....	26



---

### BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Bahan .....	31
3.2 Peralatan .....	31
3.3 Diagram Alir Penelitian.....	34
3.3.1 Diagram Alir Sintesis Grafit Oksida .....	34
3.3.2 Diagram Alir Sintesis <i>Reduced Graphene Oxide (rGO)</i> .....	35
3.3.3 Diagram Alir Sintesis CuO.....	36
3.3.4 Diagram Alir Sintesis rGO-CuO komposit .....	37
3.3.5 Diagram Alir Pengujian Konversi Metanol.....	38
3.3.6 Diagram Alir Pengujian Karakterisasi.....	39
3.4 Sintesis.....	39
3.4.1 Sintesis CuO .....	39
3.4.2 Sintesis rGO.....	40
3.4.3 Sintesis rGO/CuO .....	42
3.5 Karakterisasi .....	42
3.5.1 Scanning Electron Microscope (SEM) .....	42
3.5.2 XRD (X-Ray Diffraction).....	43
3.5.3 FTIR ( <i>Fourier Transform Infrared</i> ) .....	46
3.5.4 BET( <i>Bruner Emmet Teller</i> ).....	47
3.5.5 GC ( <i>Gas Cromatography</i> ).....	48
3.5.6 Spektrofotometer UV-VIS.....	50
3.5.7 Konversi CO <sub>2</sub> Menjadi Metanol .....	51

### BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian X-Ray Diffraction (XRD) .....	53
4.2 Hasil Pengujian FTIR .....	58
4.3 Hasil Pengujian Scanning Electron Microscopy (SEM) EDS.....	63
4.4 Hasil Pengujian UV Vis .....	71
4.5 Hasil Pengujian BET .....	74



---

4.6 Hasil Pengujian GC-MS.....	74
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>94</b>
5.1 Kesimpulan .....	94
5.2 Saran.....	94
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>97</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>101</b>
<b>BIOGRAFI PENULIS .....</b>	<b>.....</b>



*Halaman ini sengaja dikosongkan*





---

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Permukaan Graphene .....	7
Gambar 2.2 Struktur Kristal pada Material Grafit dan <i>Graphene</i> .....	9
Gambar 2.3 Hasil <i>Scanning Electron Microscoph Graphene</i> .....	10
Gambar 2.4 Kurva XRD dari Grafit, GO, dan rGO .....	11
Gambar 2.5 Grafit dioksidasi menjadi grafit oksida .....	12
Gambar 2.6 Struktur Kristal CuO .....	15
Gambar 2.7 Reaksi Fotokatalis .....	20
Gambar 2.12 Struktur Methanol .....	25
Gambar 3.1 Diagram Alir Pembuatan Grafit Oksida.....	34
Gambar 3.2 Diagram Alir Pembuatan <i>Reduced Graphene Oxide</i> (rGO).....	35
Gambar 3.3 Diagram Alir Pembuatan CuO .....	36
Gambar 3.4 Diagram Alir sintesis rGO/CuO.....	37
Gambar 3.5 Diagram Alir Pengujian Konversi Methanol .....	38
Gambar 3.6 Diagram Alir Pengujian Karakterisasi .....	39
Gambar 3.7 Gambaran Proses Sintesis rGO .....	39
Gambar 3.8 Mekanisme Alat Kerja SEM .....	43
Gambar 3.9 Metode Difraksi X-Rays .....	44
Gambar 3.10 Instrumen XRD PAN Analytical .....	45
Gambar 3.11 Alat Uji FTIR .....	46
Gambar 3.12 Instrumen GC-MS .....	48
Gambar 3.13 Mesin UV-Vis .....	51
Gambar 3.14 Skema Spektrofotometer UV-Vis .....	51
Gambar 4.1 Hasil X- Ray Diffraction Grafit, Grafit oxide , Reduced graphene oxide.....	54
Gambar 4.2 XRD untuk CuO dan rGO – CuO .....	55
Gambar 4.3 Hasil uji FTIR untuk GO , rGO dan CuO .....	59
Gambar 4.4 Hasil uji FTIR untuk rGO – CuO.....	61



---

Gambar 4.5 Perbandingan Hasil SEM perbesaran 10.000x antara Grafit, Grafit Oksida , <i>Reduced Graphene Oxide</i> .....	63
Gambar 4.6 Perbandingan Hasil SEM perbesaran 10.000x antara <i>Copper oxide</i> , Komposit rGO-CuO .....	65
Gambar 4.7 Hasil Kurva EDS <i>Copper oxide</i> .....	66
Gambar 4.8 Hasil Kurva EDS <i>Reduced Graphene Oxide</i> .....	67
Gambar 4.9 Hasil Kurva EDS Komposit rGO 5% - CuO .....	68
Gambar 4.10 Hasil Kurva EDS Komposit rGO 10% - CuO .....	69
Gambar 4.11 Hasil Kurva EDS Komposit rGO 15% - CuO .....	70
Gambar 4.12 Hasil Uji UV-Vis <i>Reduced Graphene Oxide</i> .....	71
Gambar 4.13 Hasil Uji UV-Vis <i>Copper oxide</i> .....	72
Gambar 4.14 Hasil Uji UV-Vis Komposit rGO – CuO.....	73
Gambar 4.15 Hasil Uji GC – MS CuO dengan Variasi penyinaran .....	75
Gambar 4.16 Grafik Uji GC MS pada komposit rGO – CuO dengan waktu penyinaran 120 menit .....	82
Gambar 4.17 Grafik Uji GC MS pada komposit rGO – CuO dengan waktu penyinaran 150 menit .....	84
Gambar 4. 18 Grafik Uji GC MS pada komposit rGO – CuO dengan waktu penyinaran 180 menit .....	86
Gambar 4. 19 Grafik Perbandingan Uji GC MS Methanol pada katalist CuO dan komposit rGO – CuO.....	88
Gambar 4. 20 Diagram Perbandingan Uji GC MS Methanol .....	88
Gambar4.21Diagram Perbandingan Uji GC MS Methanol dengan variasi komposisi.....	91



*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Sifat antara Graphene dan Keluarga Karbon yang Lain .....	6
Tabel 2.2 Sifat CuO .....	14
Tabel 2.3 Hasil Reduksi CO <sub>2</sub> dengan Fotokatalis .....	25
Tabel 3.1 Informasi Pengujian XRD .....	41
Tabel 4.1 Perbedaan jarak antar layer pada masing masing sampel .....	55
Tabel 4.2 Jenis ikatan pada GO dan rGO .....	57
Tabel 4.3 Komposisi unsur Penyusun <i>Copper oxide</i> .....	63
Tabel 4.4 Komposisi unsur Penyusun <i>Reduced Graphene Oxide</i> .....	64
Tabel 4.5 Komposisi unsur Penyusun Komposit rGO 5% – CuO .....	65
Tabel 4.6 Komposisi unsur Penyusun Komposit rGO 10% – CuO .....	66
Tabel 4.7 Komposisi unsur Penyusun Komposit rGO 15% – CuO .....	67
Tabel 4.8 Hasil Uji BET .....	70
Tabel 4.9 Hasil Uji GC- MS dengan waktu penyinaran 120 menit .....	72
Tabel 4.10 Hasil Uji GC- MS dengan waktu penyinaran 150 menit .....	72
Tabel 4.11 Hasil Uji GC- MS dengan waktu penyinaran 180 menit .....	73
Tabel 4.12 Hasil Uji GC –MS variasi waktu penyinaran 120 menit dan waktu alir 1 menit .....	75
Tabel 4.13 Hasil Uji GC –MS variasi waktu penyinaran 120 menit dan waktu alir 3 menit .....	75
Tabel 4.14 Hasil Uji GC -MS variasi waktu penyinaran 120 menit dan waktu alir 5menit .....	77
Tabel 4.15 Hasil Uji GC – MS variasi waktu alir 1 menit dengan waktu penyinaran 150 menit .....	78
Tabel 4.16 Hasil Uji GC – MS variasi waktu alir 3 menit dengan waktu penyinaran 150 menit .....	79
Tabel 4.17 Hasil Uji GC – MS variasi waktu alir 5 menit dengan waktu penyinaran 150 menit .....	79



Tabel 4.18 Hasil Uji GC – MS variasi waktu alir 1 menit dengan waktu penyinaran 180 menit .....	79
Tabel 4.19 Hasil Uji GC – MS variasi waktu alir 3 menit dengan waktu penyinaran 180 menit.....	80
Tabel 4.20 Hasil Uji GC – MS variasi waktu alir 5 menit dengan waktu penyinaran 180 menit .....	81
Tabel 4.21 Akumulasi methanol yang di hasilkan.....	84
Tabel 4.22 Hasil uji GC – MS komposit rGO –CuO dengan variasi komposisi rGO 10 %.....	85
Tabel 4.23 Hasil uji GC – MS komposit rGO –CuO dengan variasi komposisi rGO 15 %.....	85



*Halaman ini sengaja dikosongkan*





# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pencemaran lingkungan dan krisis energi merupakan masalah yang cukup penting pada masa sekarang ini. Salah satunya adalah pelepasan karbon dioksida yang menjadi polutan utama yang menyebabkan rusaknya lingkungan dan pemanasan global. Penggunaan Bahan bakar fosil yang terus meningkat, salah satu faktor penyebab emisi CO<sub>2</sub> yang semakin tinggi. Menurut Yu Jia Fan (2016), emisi gas rumah kaca telah mencapai 30,6 miliar ton pada tahun 2012, karena itu mengurangi emisi karbondioksida sangat penting (Fan,2016). Reduksi fotokatalitik CO<sub>2</sub> menjadi senyawa yang berguna seperti pembuatan bahan bakar metan, metanol, asam format dll menggunakan bahan berbasis semikonduktor telah menarik perhatian.

Metanol adalah hidrokarbon cair yang paling sederhana yang dapat dianggap sebagai bahan bakar, pembawa hidrogen, atau bahan baku untuk memproduksi bahan bakar atau senyawa kimia lainnya. Produksi metanol meningkat dari 32 menjadi 62 juta metrik ton per tahun antara 2006 dan 2012, dan diperkirakan akan meningkat menjadi 94 juta metrik ton setiap tahun di tahun 2016 (Wei,2015).

Mengkonversi CO<sub>2</sub> dengan metoda fotokatalisis, fotosintesis buatan, elektrokimia, kimia, dan biologi tak hanya mengurangi CO<sub>2</sub> di lingkungan tetapi juga sebagai alternative bahan bakar dan bahan kimia yang bernilai (Mikkelsen,2010). Kavil (2017) berhasil mengkonversi CO<sub>2</sub> menjadi methanol menggunakan bahan semikonduktor titanium dioksida dengan metode fotokatalisis di bawah penyinaran lampu UV dan *natural sunlight*. Beberapa fotokatalist berbahan semikonduktor seperti Titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>), Zink Oksida (ZnO), logam anorganik kompleks, komposit berbasis karbon telah mampu diaplikasikan dalam proses fotoreduksi CO<sub>2</sub> di bawah radiasi sinar UV dan sinar tampak (Indrakanti,2009).

Material *graphene* adalah material yang berbasis karbon yang terus dikembangkan saat ini, *graphene* memiliki luas permukaan yang spesifik,



stabilitas elektrokimia yang baik, kapasitas adsorpsi yang tinggi, serta mampu di modifikasi untuk berbagai macam aplikasi seperti transistor, polimer, komposit, perangkat penyimpanan energi, produksi hidrogen dan saat ini di kembangkan dalam proses fotokatalitik (Norazriena,2013). Proses fotokatalist dengan menggunakan graphene terus dikembangkan dengan berbagai cara, salah satunya menggunakan *Reduced Graphene Oksida* (rGO). rGO atau graphene merupakan hasil reduksi dari graphene oksida. rGO mampu menyimpan dan mengalirkan elektron melalui proses transfer elektron yang memegang peranan dalam aktifitas reaksi fotokatalitik. Selain itu reaksi fotokatalitik akan meningkat ketika adanya perpaduan bahan berbasis semikonduktor atau metal oksida seperti CuO (Fang Wu,2016).

*Copper oksida* (CuO) merupakan katalis berbasis tembaga yang menjadi populer dalam dekade ini karena dapat digunakan pada suhu dan tekanan yang relatif tinggi. Selain memiliki permukaan spesifik yang luas, CuO juga memiliki kemampuan menyerap cahaya matahari dengan baik, serta mampu tumbuh dengan baik pada lembaran *graphene*. CuO telah banyak digunakan dalam proses fotokatalist. Kurniati (2015) menggunakan CuO sebagai katalist dalam proses degradasi metanil kuning. Kim fung Li (2014) berhasil mereduksi CuO dalam konversi CO<sub>2</sub> secara fotokatalist. Rashi Gusain dkk dari *Indian Institute of Petroleum* pada tahun 2015 berhasil mensintesa rGO/CuO dengan metode *kovalen grafting* menggunakan radiasi sinar tampak sebagai sumber cahaya untuk mengkonversi CO<sub>2</sub> menjadi methanol dan menghasilkan 1228  $\mu\text{mol h}^{-1} \text{g}^{-1}$  katalis (Gusain, 2015).

Berdasarkan beberapa penelitian sebelumnya, reduksi CO<sub>2</sub> selama ini merupakan proses yang mahal karena menggunakan suhu dan tekanan tinggi, serta memerlukan reduktan H<sub>2</sub> (Gao dan Au,2000). Selain itu reduksi CO<sub>2</sub> selama ini menggunakan fotokatalist yang relatif mahal dan sulit ditemui dialam dan proses sintesis yang sulit dan relatif mahal.

Dalam penelitian ini telah dilakukan, proses reduksi CO<sub>2</sub> dengan biaya yang relatif murah menggunakan fotokatalist CuO dengan doping graphene



dengan reaksi fotokatalitik untuk konversi  $\text{CO}_2$  menjadi methanol. Sehingga proses reduksi  $\text{CO}_2$  dalam penelitian ini dilakukan bertujuan untuk menganalisa variasi waktu alir gas karbon dioksida, variasi waktu penyinaran dalam proses fotokatalis konversi karbon dioksida untuk menghasilkan jumlah metanol yang paling maksimal dibawah radiasi sinar tampak sebagai alternatif energi untuk mengurangi jumlah  $\text{CO}_2$  saat ini.

## 1.2 Perumusan Masalah

Masalah yang terdapat dalam penelitian ini yaitu :

1. Bagaimana pengaruh variasi waktu alir gas karbon dioksida pada komposit rGO/CuO terhadap reaksi fotokatalitik untuk mengkonversi  $\text{CO}_2$  yang menghasilkan metanol paling maksimal?
2. Bagaimana pengaruh variasi waktu penyinaran pada komposit rGO/CuO terhadap reaksi fotokatalitik untuk mengkonversi  $\text{CO}_2$  yang menghasilkan metanol paling maksimal?
3. Bagaimana pengaruh komposisi rGO – CuO terhadap reaksi fotokatalitik untuk mengkonversi  $\text{CO}_2$  yang menghasilkan metanol paling maksimal?

## 1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan pada penelitian ini agar diperoleh hasil akhir yang baik dan sesuai serta tidak menyimpang dari permasalahan yang ditinjau adalah sebagai berikut:

1. Ukuran serbuk Grafit yang digunakan dalam sintesis dianggap homogen.
2. Kecepatan stirring dianggap konstan.
3. Tekanan dari autoclave dianggap konstan.
4. Temperatur dan tekanan udara sekitar dianggap konstan.
5. Dianggap tidak ada material *loss* selama reaksi.
6. Tekanan gas  $\text{CO}_2$  dianggap konstan.



#### **1.4. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Menganalisa variasi waktu alir gas karbon dioksida pada pada komposit rGO/CuO terhadap reaksi fotokatalitik untuk mengkonversi CO<sub>2</sub> yang menghasilkan metanol paling maksimal
2. Menganalisa variasi waktu penyinaran pada komposit rGO/CuO terhadap reaksi fotokatalitik untuk mengkonversi CO<sub>2</sub> yang menghasilkan metanol paling maksimal.
3. Menganalisa pengaruh komposisi rGO – CuO terhadap reaksi fotokatalitik untuk mengkonversi CO<sub>2</sub> yang menghasilkan metanol paling maksimal

#### **1.5. Manfaat Penelitian**

Penelitian ini dilakukan untuk mensintesis komposit rGO/CuO sebagai fotokatalis yang bisa digunakan untuk mengkonversi CO<sub>2</sub> menjadi metanol sehingga bisa mengurangi jumlah CO<sub>2</sub>, serta bisa digunakan untuk rujukan terhadap penelitian-penelitian selanjutnya seperti pengembangan material nanokomposit untuk fotokatalitik, dsb.



*Halaman ini sengaja di kosongkan*



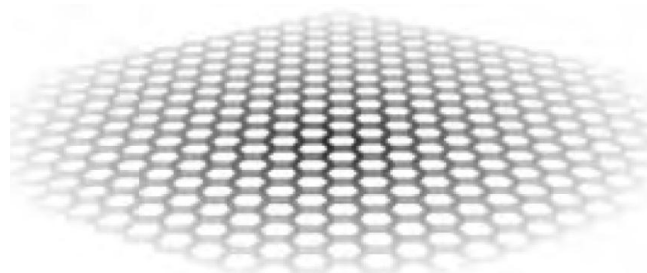
## BAB 2

### KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 *Graphene*

Grafena adalah susunan atom karbon dalam kerangka heksagonal serupa sarang lebah yang membentuk satu lembaran setipis satu atom. Lembaran *graphene* memiliki ketebalan beberapa atom saja, namun stabil pada kondisi kamar, bersifat seperti logam, dan memiliki kualitas yang sangat tinggi. Sejak Novoselov dkk dan Stankovich dkk mendapatkan metode yang bagus dan murah untuk produksi masal *graphene*, kemungkinan penggunaannya dalam berbagai aplikasi mulai meningkat (Alfonso, 2009). Banyak ditemukan fenomena fisik *graphene* yang berkembang sangat pesat sehingga menginspirasi berbagai teknologi baru, antara lain sel bahan bakar, layar fleksibel, dan sel surya (Choi dan Lee, 2012).

Kristal *graphene* adalah sebuah lapisan dua dimensi yang terdiri dari hibridisasi  $sp^2$  atom karbon, yang berasal dari salah satu diantara lima kisi dua dimensi Bravais disebut kisi heksagonal (Gambar 2.1). Jika lembaran *graphene* ditumpuk dengan beraturan maka akan terbentuk grafit tiga dimensi. *Graphene* sering digunakan sebagai bangunan teoritis untuk mendeskripsikan kristal grafit, untuk mempelajari pembentukan *carbon nanotubes* yang merupakan gulungan *graphene*, dan memprediksi sifat elektroniknya yang menakjubkan. Kristal atom karbon dua dimensi ini memiliki struktur elektrik yang unik (Terrones, dkk., 2010).



**Gambar 2.1** Permukaan *Graphene* (Eduargo, dkk., 2016)



Struktur *graphene* yang berbentuk heksagonal, menyebabkan *graphene* memiliki sifat yang baik antara lain mobilitas muatan yang tinggi ( $230,000 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ ) dengan 2.3% kemampuan penyerapan cahaya, konduktivitas termal yang tinggi ( $3000 \text{ W}/\text{m}\cdot\text{K}$ ), kekuatan tarik tertinggi ( $130 \text{ GPa}$ ), dan luas permukaan terbesar ( $2600 \text{ m}^2/\text{g}$ ) (Singh, dkk., 2011).

Selain itu dalam penelitiannya, Chaundhary, Luthra, dan Kumar (2013) membandingkan beberapa sifat-sifat material *graphene* dengan material lainnya seperti yang dilihat pada tabel 2.1

**Tabel 2.1** Perbandingan Sifat Antara Graphene dan Keluarga Karbon lain

Alotrofi Karbon	Grafit	Intan	Fullerene	Carbon Nanotubes	Graphene
Bentuk Hibridisasi	$sp^2$	$sp^2$	$sp^2$	$sp^2$	$sp^2$
Konduktivitas Termal ( $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ )	1500-2000	900-2320	0,4	3500	4840-5300
Sistem Kristal	Heksagonal	Oktahedral	Tetragonal	Ikosahedral	Heksagonal
Sifat Optik	Uniaksial	Isotropik	Non Linear	Tergantung Struktur	Transmitan Optik
Dimensi	3	3	0	1	2
Massa Jenis ( $\text{g cm}^{-3}$ )	2,09-2,23	3,5-3,53	1,72	>1	>1
Luas Permukaan Spesifik ( $\text{m}^2\text{g}^{-1}$ )	10-20	20-160	80-90	1300	1500
Sifat Elektronik	Konduktor	Insulator	Insulator	Semikonduktor	Semikonduktor
Kekerasan	Tinggi	Sangat Tinggi	Tinggi	Tinggi	Tertinggi
Keuletan	Fleksibel, Non elastik	Tidak ada Data	Elastik	Fleksibel elastik, Metalik	Fleksibel, elastik, Semimetal

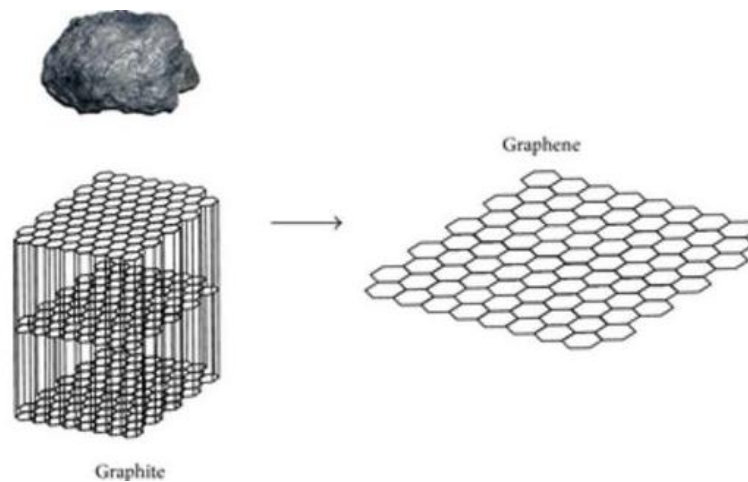




Sumber : ( Wu,2012)

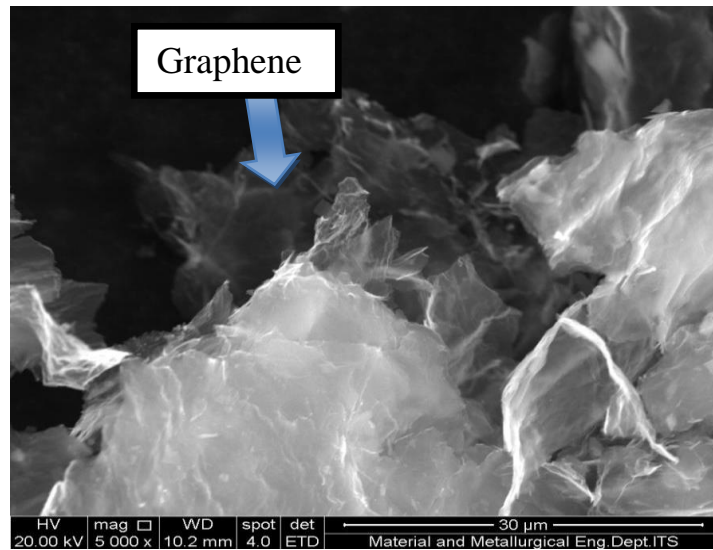
### 2.1.2 Morfologi *Graphene*

Sel sederhana graphene tersusun atas dua atom yang tidak ekuivalen, A dan B, dan kedua *sublattice* ini dipisahkan satu dengan yang lainnya dengan jarak antara karbon-karbon  $\alpha_{c-c} = 1.44 \text{ \AA}$ . Struktur ini dihasilkan oleh pengelupasan lapisan grafit yang merupakan struktur carbon heksagonal *multi-layer* (Choi dan Lee, 2012).



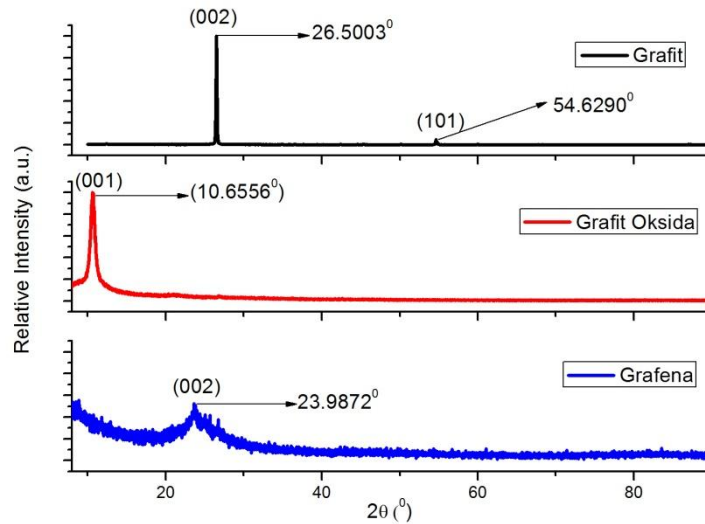
**Gambar 2.2** Struktur Kristal pada Material Grafit dan *Graphene* ( Choi dan Lee, 2012).

Morfologi Graphene dapat dilihat pada Gambar 2.4 , pada daerah tersebut tampak beberapa daerah tipis yang menandakan adanya *single layer graphene*. Daerah yang lebih tebal merupakan morfologi dari *few layer graphene*. Ketebalan *graphene* dapat dilihat dari warna dimana semakin cerah menunjukkan bertambahnya ketebalan struktur *graphene* (Diah, 2017).

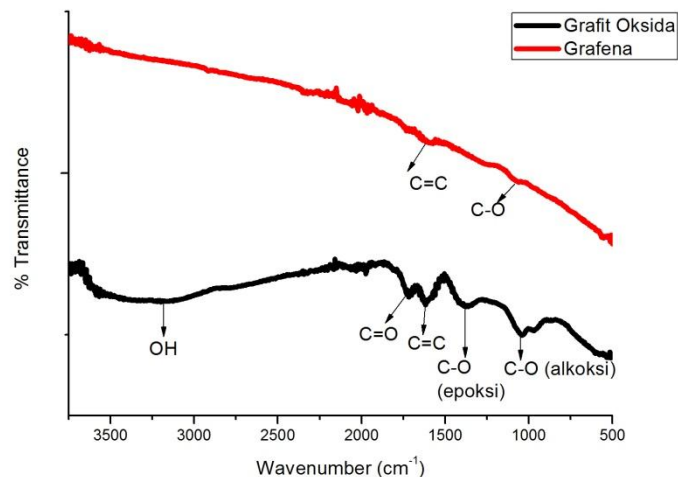


**Gambar 2.3** Hasil *Scanning Electron Microscoph Graphene* (Safitri, dkk., 2017)

Selain SEM , karakterisasi *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) dan *X-Ray Diffraction* (XRD). Perbedaan kurva XRD antara grafit, grafit oksida, dan *graphene*, **Gambar 2.4 (a)** menjelaskan perbedaan kurva XRD tersebut. Tampak bahwa letak peak dari ketiga material tersebut berbeda. Selain XRD, jenis ikatan dari *graphene* dapat digambarkan melalui spektrum FTIR. **Gambar 2.4 (b)** menunjukkan perbedaan spektrum FTIR antara grafit oksida (GO), *Reduced Graphene Oxide* (rGO). (Haniffuddin, 2014)



a



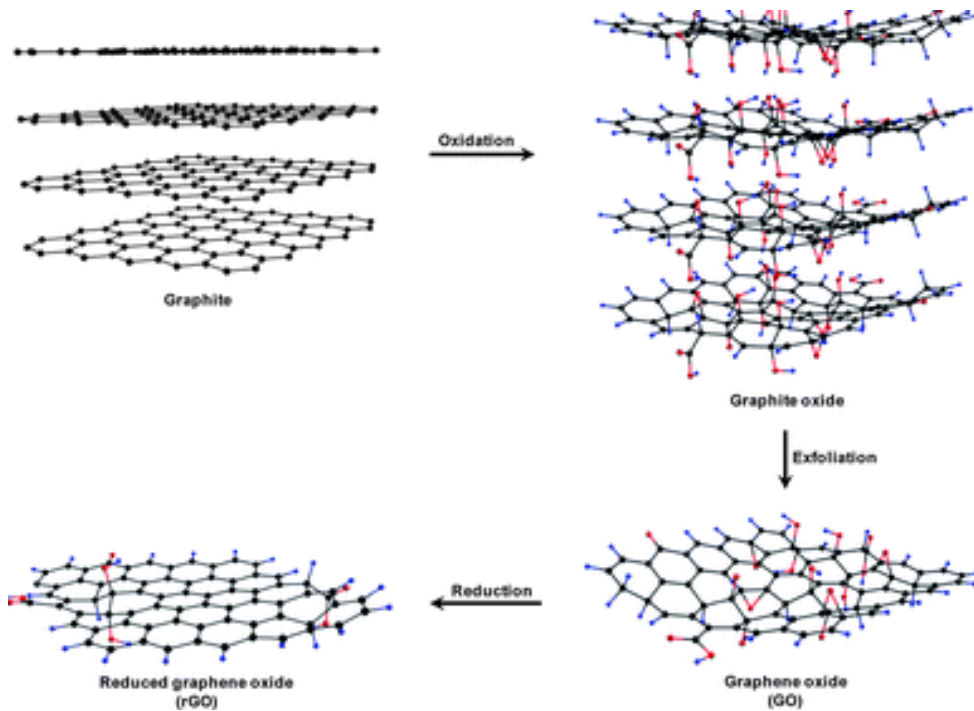
**Gambar 2.4** (a) Kurva XRD dari Grafit, GO, dan rGO, (b) Spektrum FTIR dari GO dan rGO (Haniffuddin, 2014).

## 2.2 Sintesis *Graphene*

*Graphene* diproduksi dari grafit oksida yang dapat diperoleh dari berbagai metode. Metode Hummer merupakan salah satu metode yang mudah dilakukan, cepat, murah dan dapat diproduksi dengan skala besar. Metode ini menggunakan grafit yang direaksikan pada asam sulfat dan kalium permanganate untuk



memperoleh grafit oksida. Kemudian dilakukan stirring dan sonication dari grafit oksida tersebut untuk memperoleh single layer dari grafit oksida seperti model struktur yang ditunjukkan oleh (Mohan, Velram, Reuben, Krishnan, & Debes, 2015) pada **Gambar 2.5**



**Gambar 2.5** Grafit dioksidasi menjadi grafit oksida, kemudian grafit oksida direduksi menjadi *Graphene* (Mohan, Velram, Reuben, Krishnan, & Debes, 2015)

Hal ini diperoleh dari gugus fungsi GO yang bersifat hidrofilik sehingga dapat terdispersi dengan baik pada air. Sebagian besar *Graphene* yang digunakan pada aplikasi elektrokimia yang diproduksi dari grafit oksida (dapat juga disebut *reduced graphite oxide* atau *chemically modified Graphene*) (Brownson & Banks, 2014).

Adapun cara lain untuk melakukan sintesis *graphene* adalah menggunakan metode sintesis secara kimia melalui sintesis grafit oksida (GO) terlebih dahulu kemudian ikatan oksida pada GO direduksi dengan menggunakan suatu senyawa kimia sebagai agen pereduksi. Sintesis GO secara kimia menggunakan bubuk grafit yang dioksidasi dengan asam kuat disebut



dengan metode Hummer. Metode ini dikenal sebagai metode basah untuk memperoleh *graphene*, karena hasil sintesisnya masih mengandung atom-atom pengotor yang berikatan pada struktur karbon penyusun *graphene*. (Hummer, 1959).

Kelebihan mensintesis *graphene* dengan model ini, adalah *graphene* yang diperoleh bisa dalam jumlah yang banyak. Selain itu, peralatan yang digunakan tergolong mudah dan tidak terlalu susah dalam aplikasinya. Sedangkan kekurangan dari metode ini, adalah *graphene* yang dihasilkan cenderung mempunyai tingkat *defect* atau cacat yang tinggi, karena permukaan *graphene* berkali-kali bersentuhan langsung dengan senyawa kimia baik itu oksidator maupun reduktor, sehingga terdapat banyak *impurities* dan struktur yang tidak sempurna pada permukaan *graphene*. Selain itu, konduktivitas material yang dihasilkan juga rendah.

Proses oksidasi grafit menjadi grafit oksida dilakukan dengan menggunakan metode *Hummer*. rGO disintesa dengan proses oksidasi dari grafit menjadi grafit oksida dengan menggunakan  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{KMnO}_4$ , sebagai agen oksidator kemudian dilanjutkan dengan proses ultrasonikasi untuk mengubah grafit oksida menjadi *graphene oxide*, dan terakhir proses reduksi untuk mereduksi *graphene oxide* menjadi *graphene* menggunakan zink.

Produk Hummer biasanya adalah bagian intinya berupa grafit sedangkan bagian luarnya adalah oksida grafit (GO). Untuk mengatasi hal ini, maka perlu dilakukan perlakuan sebelum melakukan proses Hummer untuk meningkatkan derajat oksidasi. Metode pra-oksidasi ini pertama kali diperkenalkan oleh Kovtukhova (1999), Grafit dicampurkan dengan  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$  dan  $\text{P}_2\text{O}_5$  dijaga pada temperatur  $80^\circ\text{C}$  selama 6 jam. Hasil campuran kemudian dicuci dengan air dan dikeringkan. Selain dengan Pra-oksidasi, untuk menghasilkan produk GO yang sempurna metode Hummer juga dapat dimodifikasi dengan menambah jumlah potassium permanganat.



### 2.2.1 Ultrasonikasi

Grafrit oksida memiliki struktur yang berlapis yang sama seperti grafit, namun bidang dari atom karbon pada grafit oksida dihiasi oleh kelompok gugus oksigen, yang tidak hanya memperlebar jarak antar lapisan tetapi juga membuat lapisan atom hidrofilik. Maka lapisan teroksidasi ini dapat diperlebar jarak antar layer-nya dengan proses ultrasonikasi menghasilkan *graphene oxide*. *Graphene oxide* ini yang akan direduksi menjadi *graphene* dengan menghilangkan gugus fungsi oksigen dan memperbaiki strukturnya. Ultrasonikasi / sonikasi merupakan langkah penting yang menyediakan energi untuk mengelupaskan lembaran *graphene* dari grafit oksida. Cara alternatif untuk mengelupaskan lembaran *graphene* adalah dengan memanaskan larutan yang mengandung grafit, tetapi cara ini tidak efektif dibandingkan dengan proses ultrasonikasi. Pada umumnya terdapat dua cara untuk mengaplikasikan ultrasonikasi pada larutan yang mengandung grafit yaitu *sonication bath* dan *tip sonication*. Pada *sonication bath*, daya ultrasonikasi yang ditransfer menuju tabung yang diisi pelarut dan grafit akan dipengaruhi oleh berapa banyak air yang ditempatkan pada wadahnya, apakah tabung menyentuh dasar wadah, dan lokasi tabung dalam wadah.

### 2.2.2 Metode *Hydrothermal*

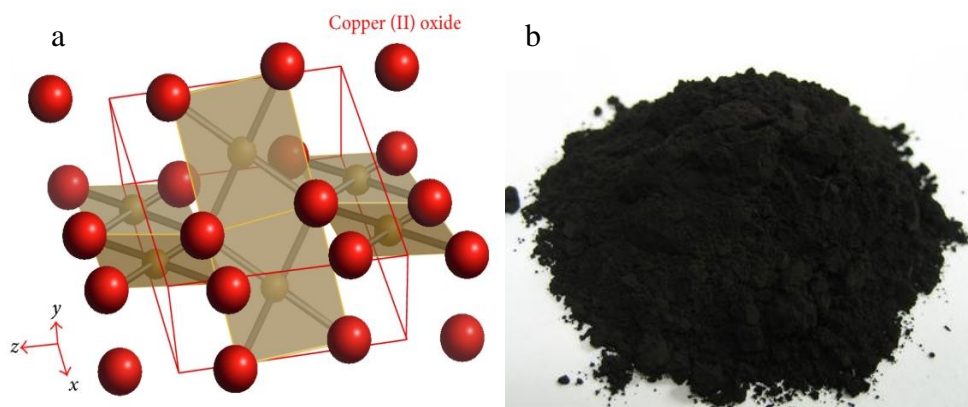
Prinsip dasar dari proses *hydrothermal* adalah menghasilkan temperatur dan tekanan tinggi untuk melarutkan dan merekristalisasi material yang tidak bisa berlangsung pada kondisi normal. Untuk melakukan proses hidrotermal, diperlukan *autoclave* sebagai wadah sampel. Hal yang dapat dicapai dengan proses hidrotermal antara lain sintesis fasa baru atau stabilisasi dari kompleksitas baru; pertumbuhan kristal dari beberapa senyawa kimia; preparasi dari proses penghalusan material dan mikrokatalisis dengan ukuran dan morfologi yang presisi untuk aplikasi tertentu; pencucian bijih dalam ekstraksi logam; dan dekomposisi, alterasi, korosi, dan etsa. Byrappa (2001) . Dalam penelitiannya, Zhou, dkk (2009) menyatakan bahwa dengan metode hidrotermal yang mudah,



bersih, dan terkontrol dapat mengubah *graphene oxide* menjadi larutan *graphene* yang stabil. *Supercritical water* (SC) yang digunakan dalam proses hidrotermal dapat menjadi agen reduktor yang baik dan menjadi alternatif pelarut organik dalam kimia ramah lingkungan. Dalam proses hidrotermal, SC mampu mereduksi gugus fungsi oksigen dari grafit oksida dan memperbaiki struktur aromatiknya. Gugus fungsi oksigen akan larut dalam SC karena tekanan dan juga temperatur yang ada saat proses *hydrothermal* hal ini membuat pelebaran dan melemahnya ikatan gugus oksigen dengan *layer graphene oxide*. Keunggulan proses hidrotermal dikemukakan oleh Ha, Muralidharan, dan Kim (2009) yaitu proses sintesis mudah, pengontrolan bentuk dan ukuran serbuk, temperatur operasi yang rendah, homogenisasi tinggi, dan biaya operasional rendah.

### 2.3 CuO

Tembaga (II) oksida atau cupric oxide adalah senyawa anorganik dengan rumus CuO. Padatan hitam, ini adalah salah satu dari dua oksida tembaga yang stabil, yang lainnya adalah Cu<sub>2</sub>O atau tembaga oksida. Sebagai mineral, ia dikenal sebagai tenorite. Struktur nano oksida logam seperti seng oksida, titanium dioksida, oksida besi dan lain-lain telah menarik banyak perhatian karena sifat luar biasa mereka di berbagai bidang optik, optoelektronik, katalis, bahan sel surya dan sensor.



**Gambar 2.6 a.** Struktur Kristal CuO **b.** Serbuk CuO (Damastuti, 2018)



Tembaga umumnya ditemukan dalam bentuk senyawa yaitu bijih mineral, *chalcopyrite* ( $\text{CuFeS}_2$ ), *copper glance* atau *chalcolite* ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ), *cuprite* ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ), *malachite* ( $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ ) dan *malaconite/tenorite* ( $\text{CuO}$ ). Logam tembaga bereaksi hanya dengan campuran asam sulfat dan asam nitrat pekat panas (*aqua regia*). Bilangan oksidasi tembaga adalah +1 dan +2

Telah diteliti bahwa kinerja nanokristalin CuO lebih unggul dibandingkan *bulk*. Tembaga membentuk dua oksida terkenal yakni: tenorite ( $\text{CuO}$ ) dan cuprite ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) keduanya memiliki tipe-psemikonduktor serta memiliki celah pita energi 1,21 untuk 1,51 eV untuk tenorite dan 2,10-2,60 eV untuk cuprite. Sebagai semikonduktor tipe-p, konduksi muncul dari kehadiran lubang di pita valensi (VB). CuO baik sebagai penyerap surya selektif karena memiliki daya serap matahari tinggi dan daya pancar termal rendah (Johan, 2011). Tabel 2.2 menunjukkan sifat CuO.

**Tabel 2.2** Sifat CuO

Sifat	Nilai
Tembaga (%)	79,87
Oksigen (%)	20,10
Densitas $\text{g/cm}^3$	6,31
Luas permukaan spesifik ( $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ )	122
Massa molar (g/mol)	79,55
Sistem kristal	Monoclinic
Kisi konstan ( $\text{\AA}$ )	$a = 4.68, b = 3.42, c = 5.13$
Titik leleh ( $^{\circ}\text{C}$ )	1201
Titik didih ( $^{\circ}\text{C}$ )	2000
Kapasitas reversible ( $\text{mA h g}^{-1}$ )	630
Mobilitas lubang ( $\text{cm}^2 / \text{V s}$ )	0.1-10
Celah pita (eV)	1,2
Indek bias	1,4





Sumber: Yusoff, 2013

CuO telah menunjukkan kinerja yang sangat baik, sehingga dapat digunakan dalam berbagai aplikasi praktis. CuO telah dieksplorasi di berbagai bidang optoelektronik, elektronik, biosensor, sel surya, media penyimpanan magnetik, saklar optik, dan baterai dan katalis heterogen. Misalnya, dengan kapasitas penyimpanan litium teoritis tinggi mengangkat CuO sebagai bahan anoda aktif untuk baterai lithium ion. Selain itu, CuO memiliki sifat fotokonduktif dan fotokimia yang besar sehingga menjadikannya bahan potensial pembuatan sel surya. Sebagai tambahan, CuO menunjukkan luas permukaan yang lebih tinggi yang relatif terhadap ukuran dan morfologinya, sehingga dapat memberikan keuntungan sebagai katalis dalam pengolahan air untuk menghilangkan zat warna (Norazriena, 2016).

Senyawa CuO memiliki sifat optik dan listrik yang cocok untuk piranti-piranti optoelektronik seperti piranti sel surya dan baterai lithium sebagai elektroda aktif (Wismadi, 2001). Bahan CuO memiliki sifat serapan (absorption) gas yang baik dan berubah stoikiometri bahan bulk CuO oleh serapan gas, sehingga cocok diaplikasikan sebagai sensor gas, di antaranya gas oksigen, karbon monoksida, asam sulfida dan sebagainya. CuO murni memiliki koefisien absorpsi yang tinggi sehingga sebagian besar cahaya dapat diabsorpsi pada CuO dalam bentuk lapisan tipis (Ohya, 2000). CuO banyak digunakan sebagai katalis yang digunakan pada hidrogenasi CO<sub>2</sub> dalam berbagai riset karena cukup aktif dalam sintesis metanol dengan metode kopresipitasi (Nasikin dkk., 2004).

Partikel semikonduktor nanokristalin telah menarik minat yang cukup besar dalam beberapa tahun terakhir karena sifat khusus mereka seperti luas permukaan lebih besar dibanding volume, meningkatkan aktivitas, sifat elektronik dan sifat optik yang unik dibandingkan dengan material *bulk*. Oksida logam transisi merupakan hal penting dari semikonduktor, yang memiliki aplikasi dalam media penyimpanan magnetik, transformasi energi surya, elektronik dan katalisis. Di antara oksida logam transisi, CuO menarik banyak perhatian karena merupakan dasar dari beberapa superkonduktor suhu tinggi. CuO adalah senyawa



semikonduktor dengan celah pita energi yang kecil dan digunakan untuk aplikasi fotokonduktif dan aplikasi *photothermal*. Namun, sampai sekarang, laporan penelitian terkait dengan karakterisasi nanokristalin CuO relatif sedikit dibandingkan dengan sintesis beberapa oksida logam transisi yang lain seperti *zinc oxide*, titanium dioksida, timah dioksida dan oksida besi (Wang, 2013).

### 2.3.1 Sintesis CuO

Sintesis CuO dilakukan dengan metode *sol gel*, Metode *sol gel* merupakan suatu metode yang digunakan untuk pembentukan senyawa-senyawa anorganik melalui suatu reaksi kimia pada temperatur yang relatif rendah. Selain itu, metode *sol gel* merupakan metode yang mudah dan telah banyak digunakan dalam sintesis senyawa organik maupun senyawa anorganik (Yulita *et al.*, 2012).

Metode *sol gel* banyak digunakan karena prosesnya lebih singkat, temperatur yang digunakan lebih rendah, dapat menghasilkan serbuk *metal* oksida dengan ukuran *nano* partikel dan dapat menghasilkan karakteristik yang lebih baik dari pada proses metalurgi serbuk. Selain itu keuntungan menggunakan metode *sol gel* yaitu homogenitasnya lebih baik, temperatur rendah, kemurnian lebih baik, hemat energi pencemaran rendah, menghindari reaksi dengan kontainer dan kemurnian tinggi, fase pemisahan cepat, kristalisasi cepat, padatan non kristalin keluar membentuk gelas pembentukan fase kristal baru dari padatan non kristal baru produk glass lebih baik ditentukan dengan sifat-sifat gel, produk film spesial (Widodo, 2010).

## 2.4 Fotokatalis

### 2.4.1 Definisi Fotokatalis

Industri berbasis kimia telah memainkan peranan penting dalam peradaban manusia, namun kegiatan antropogenik dan industri yang luas telah menghasilkan polutan dalam jumlah besar, hal tersebut dapat menimbulkan potensi bahaya bagi lingkungan dan keberlangsungan ekosistem. Polutan ini menjadi sumber utama pencemaran lingkungan. Banyak studi penelitian telah



---

difokuskan pada pengolahan lingkungan. Namun, karena kompleksitas dan berbagai polutan ini sulit untuk menemukan prosedur perawatan yang tepat untuk mengurangi dan menghilangkan senyawa yang berbahaya. Metode fisik seperti flokulasi (aglomerasi), *reverse osmosis* (penyaringan), dan adsorpsi pada arang aktif dan mentransfer polutan ke media lain, masih menimbulkan polusi sekunder. Fotokatalis memiliki potensi yang signifikan untuk menciptakan sumber daya energi terbarukan dan juga sebagai alternatif metode yang digunakan untuk membersihkan lingkungan (Ameta, 2017).

Fotokatalis berasal dari bahasa Yunani yang merupakan kombinasi dari dua kata: foto ("phos" berarti cahaya) dan katalisis ("katalyo" berarti pecah, terurai). Secara umum Fotokatalis dapat digambarkan sebagai proses di mana cahaya digunakan untuk mengaktifkan zat fotokatalis yang mengubah tingkat bahan kimia yang bereaksi tanpa dirinya terlibat dalam transformasi kimia. Dengan demikian perbedaan utama antara katalis termal konvensional dan fotokatalis adalah bahwa katalis termal konvensional diaktifkan oleh panas sedangkan fotokatalis diaktifkan oleh foton yang memiliki energi.

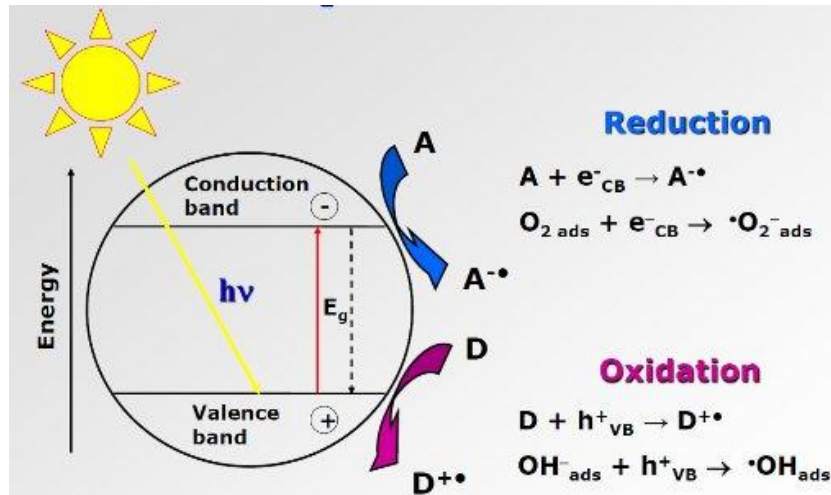
IUPAC mendefinisikan fotokatalitik sebagai "Reaksi katalitik yang melibatkan penyerapan cahaya oleh substrat". Dalam arti sebenarnya, istilah fotokatalitik digunakan untuk reaksi kimia yang terjadi di hadapan cahaya dan fotokatalis. Prinsip fotokatalitik didasarkan pada aktivasi material semikonduktor oleh aksi radiasi dengan panjang gelombang yang tepat. Proses fotokatalitik digunakan untuk penghilangan beberapa polutan (misalnya, alkana, alkena, fenol, aromatik, pestisida) dan mineralisasi lengkap dari senyawa organik (Ameta, 2017).

#### **2.4.2 Reaksi Fotokatalis**

Fotokatalis disinari dengan cahaya dengan panjang gelombang yang sesuai, sebuah elektron melompat dari pita valensi (*valence band*, VB), ke pita konduksi dan meninggalkan lubang positif ke pita valensi (*valence band*, VB). Elektron di CB yang dapat dimanfaatkan untuk mereduksi substrat lain ,



sedangkan lubang di VB dapat digunakan untuk mengoksidasi beberapa senyawa yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.7** Reaksi Fotokatalis (Kamat, 2012)

Secara umum, mekanisme fotokatalisis adalah pembentukan radikal OH $\cdot$  dan pembentukan anion super oksida ( $O_2^{\cdot-}$ ) dari oksigen. Ketika fotokatalis mengabsorpsi cahaya dengan panjang gelombang tertentu, maka fotokatalis akan memperoleh energi. Energi tersebut akan digunakan untuk eksitasi elektron dari pita valensi (VB) menuju pita konduksi (CB). Setelah elektron tereksitasi, akan dihasilkan suatu hole pada pita valensi.

*Hole* akan memecah air membentuk suatu hidroksi radikal, Hidroksi radikal tersebut kemudian akan bereaksi dengan molekul organik dan memecah senyawa organik tersebut menjadi senyawa intermediet lain yang akan mengalami reaksi lebih lanjut. Elektron yang tereksitasi akan bereaksi dengan oksigen untuk membentuk spesi anion super oksida. Anion super oksida akan bereaksi dengan senyawa hasil pemecahan molekul organik membentuk produk.

### 2.4.3 Aplikasi Fotokatalis

Beberapa aplikasi dari fotokatalis adalah untuk reduksi karbon dioksida, pengolahan air, mengurangi/menghilangkan logam yang berbahaya, generasi



---

hidrogen dan pemecahan air, antifogging, aplikasi medis, perawatan kanker dan antibakteria, sterilisasi, dll. Pada penelitian ini akan berfokus pada aplikasi fotokatalis untuk reduksi CO<sub>2</sub>. Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) adalah salah satu gas rumah kaca utama. Gas rumah kaca lainnya adalah metana, chlorofluorocarbon (CFC), dan nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>). Diantaranya 72% dari gas rumah kaca adalah karbon dioksida, hal ini dianggap sebagai penyebab utama pemanasan global.

Selama beberapa dekade terakhir, konsentrasi CO<sub>2</sub> telah meningkat dalam atmosfer karena semakin meningkatnya aktivitas manusia, di sisi lain konsumsi bahan bakar fosil yang semakin pesat dari tahun ke tahun di seluruh dunia karena tuntutan untuk berbagai kegiatan semakin menambah efek rumah kaca. Selain penggunaan berlebihan dari bahan bakar fosil, peningkatan jumlah karbon dioksida juga telah didukung oleh meningkatnya populasi, penggundulan hutan, dan sebagainya. Meningkatnya tingkat konsentrasi CO<sub>2</sub> di atmosfer telah menjadi masalah yang paling serius pada lingkungan dan mencapai situasi yang mengkhawatirkan akibat pemanasan global (Liao, 2015).

Masalah ini dapat diatasi dengan fotoreduksi karbon dioksida, di sini fotokatalis sangat berperan. Penguraian CO<sub>2</sub> melalui proses fotokatalitik untuk bahan bakar organik sintetis seperti formaldehida, metanol, asam format, asam asetat, metana, dan sebagainya, akan menjadi solusi untuk krisis energi karena akan memberi kita bahan bakar alternatif, yang dapat dibakar ke untuk sel bahan bakar dan menghasilkan listrik. Hal ini juga membantu kita dalam mengurangi jumlah karbon dioksida di atmosfer. Penggunaan fotokatalis untuk mereduksi CO<sub>2</sub> menjadi bahan kimia yang berharga seperti metanol menawarkan cara yang menjanjikan, bersih, biaya rendah, dan produksi ramah lingkungan (Ola, 2013). Sistem fotosintesis buatan untuk pemanfaatan CO<sub>2</sub> harus memiliki fitur penting berikut:

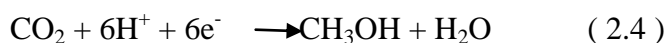
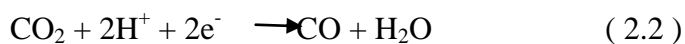
1. Efisien memanfaatkan cahaya tampak karena hanya 5% dari cahaya matahari yang mencapai permukaan bumi berada di kawasan UV.
2. Air yang digunakan sebagai sumber elektron.

Mekanisme yang sangat efisien untuk pengurangan CO<sub>2</sub> diperlukan karena CO<sub>2</sub> merupakan karbon yang sepenuhnya teroksidasi dan sangat stabil



(Bignozzi, 2011). Penguraian CO<sub>2</sub> secara fotokatalitik membutuhkan energi cahaya. Konversi CO<sub>2</sub> menjadi beberapa hidrokarbon berharga adalah salah satu solusi terbaik untuk mengurangi efek pemanasan global dan mengatasi kelangkaan energi. Reaksi fotokatalitik adalah salah satu proses sehingga dapat menghasilkan bahan bakar berbasis hidrogen dan juga mengurangi kadar CO<sub>2</sub> di atmosfer. Di sini, reaksi abstraksi atom hidrogen sangat penting. Atom hydrogen yang dihasilkan dari pemisahan ikatan H-OH pada langkah fotokatalitik dapat digunakan baik untuk membentuk hidrogen atau bereaksi dengan molekul lain seperti karbon dioksida untuk menghasilkan molekul yang kaya energi alternatif, seperti asam format, formaldehida, metanol, dan metana.

Reaksi ini terbukti menjadi cara yang lebih layak menyimpan energi daripada memproduksi molekul hidrogen, dan hal ini akan memberikan pemanfaatan yang lebih baik dari karbon dioksida untuk menghasilkan bahan bakar sintetis. Pengurangan Fotokatalis karbon dioksida dilakukan dalam dua langkah reduksi elektron. Reaksi yang berlangsung dapat ditunjukkan pada Persamaan 2.1 hingga Persamaan 2.5



Aktivitas fotokatalitik bergantung pada kemampuan katalis untuk menghasilkan sepasang elektron-hole pada pita valensinya. Holes ini kemudian akan berfungsi sebagai tempat terjadinya oksidasi. Keberadaan elektron-hole tersebut akan mempercepat proses transfer elektron yang terjadi. Dengan demikian, keberadaan dari pasangan elektron-hole akan mempercepat reaksi redoks (Pharmon.2002). Saat ini, semikonduktor biasa dipilih sebagai fotokatalis karena semikonduktor memiliki energy gap yang relatif kecil antara pita valensi dan pita konduksi. Energi gap adalah perbedaan energi antara pita valensi dan pita konduksi. Untuk berlangsungnya proses



katalisis, semikonduktor memerlukan serapan energi yang sama atau lebih dari energi gap.

Celah pita energi pada *semiconductor* memainkan peranan penting dalam mengontrol aktifitas fotokatalis dari nanomaterial. Kebanyakan semikonduktor metal oksida tidak mampu menyerap cahaya karena celah pita yang besar. Sementara celah pita kecil yang dimiliki semikonduktor mempercepat fenomena rekombinasi.

Celah pita energi semikonduktor memainkan peran penting untuk mengontrol aktivitas Fotokatalis nanomaterial dan itu harus di kisaran yang tepat untuk menyerap cahaya tampak (Cojucaru, 2009). Sebagian besar semikonduktor logam oksida tidak dapat menyerap cahaya karena celah pita energi yang lebar. Sementara, celah pita energi kecil semikonduktor yang kecil menunjukkan fenomena rekombinasi cepat, karenanya pembentukan *elektrone-hole* dapat bertindak secara efisien untuk konversi Fotokatalis. Waktu rekombinasi dapat diperpanjang dengan memperhatikan densitas dalam kisi semikonduktor, menjebak elektron-hole dengan pengenalan co-katalis, doping dari hetero-atom.(Henderson, 2011; Szczepankiewicz, 2000; Kamat, 2012).

#### 2.4.4 Fotokatalis Semikonduktor

Semikonduktor adalah bahan yang memiliki daerah energi kosong (void energy region) yang disebut celah pita (*band gap*) yang berada diantara konduktor dan isolator. Banyak jenis bahan semikonduktor yang tersedia secara komersial tetapi hanya sedikit yang cocok dipakai sebagai fotokatalis dalam menguraikan berbagai polutan organik. Kriteria yang diperlukan bahan semikonduktor sebagai katalis adalah (Litter, 1999) :

1. Bersifat fotoaktif
2. Mampu memanfaatkan cahaya tampak atau ultraviolet dekat
3. Bersifat inert secara biologis dan kimiawi
4. Bersifat fotostabil (stabil terhadap cahaya)
5. Murah dan mudah didapatkan



6. Tidak larut dalam reaksi

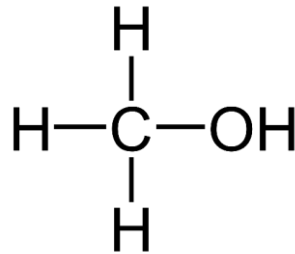
Saat ini, fotokatalis semikonduktor menjadi salah satu penelitian yang aktif dipelajari untuk bidang yang berbeda seperti katalisis, fotokimia, elektrokimia, kimia anorganik dan organik, fisika dan polimer, kimia lingkungan; dan seterusnya. Semikonduktor seperti  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CdS}$ , dan  $\text{ZnS}$  telah digunakan sebagai fotokatalis karena adanya kombinasi yang baik dari struktur elektronik mereka, sifat penyerapan cahaya, dan karakteristik transportasi muatan (Ameta, 2017).

Dengan tujuan untuk meningkatkan kinerja semikonduktor fotokatalitik, beberapa strategi telah digunakan. Salah satunya dengan mengkombinasikan semikonduktor dengan *graphene*. Nanomaterial ini dapat berfungsi sebagai akseptor elektron dan oleh karena itu untuk meningkatkan pemisahan muatan. Meskipun titanium yang didukung oleh *graphene* merupakan semikonduktor yang paling banyak dipelajari untuk penguraian polutan organik ada semikonduktor lainnya yang telah dimasukkan ke lapisan *graphene*, untuk mengamati modifikasi efeknya pada penguraian polutan organik (Nguyen, 2011). Tembaga oksida ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) adalah salah satu semikonduktor yang telah digabungkan dengan bahan *graphene* (Eduardo, 2016)

## 2.5 Methanol

Metanol adalah senyawa Alkohol dengan 1 rantai karbon. Rumus Kimia  $\text{CH}_3\text{OH}$ , dengan berat molekul 32. Titik didih  $64\text{-}65^\circ\text{C}$  (tergantung kemurnian), dan berat jenis  $0,7920\text{-}0,7930$  (juga tergantung kemurnian). Secara fisik metanol merupakan cairan bening, berbau seperti alkohol, dapat bercampur dengan air, etanol, chloroform dalam perbandingan berapapun, hygroskopis, mudah menguap dan mudah terbakar dengan api yang berwarna biru (Spencer, 1988).





**Gambar 2.8** Struktur Methanol

Metanol merupakan salah satu produk petrokimia yang dalam jumlah besar digunakan sebagai bahan baku bermacam-macam industri petrokimia lainnya seperti formaldehida, klorometana, asam asetat. Perkembangan baru di bidang energi yakni konversi metanol menjadi gasoline menambah kebutuhan metanol dalam jumlah yang relatif besar.

Secara teori metanol dapat dibuat dari proses penyulingan kayu, gasifikasi batu bara dan sintesis gas alam, tetapi produksi metanol di Indonesia menggunakan gas alam. Sintesa metanol dari gas alam inilah yang saat ini teknologinya di pakai pada pembuatan metanol skala industri besar.

Metanol digunakan secara terbatas dalam mesin pembakaran dalam, dikarenakan metanol tidak mudah terbakar dibandingkan dengan bensin. Metanol juga digunakan sebagai campuran utama untuk bahan bakar model radio kontrol, jalur kontrol, dan pesawat model. Penggunaan metanol terbanyak adalah sebagai bahan pembuat bahan kimia lainnya. Sekitar 40% metanol yang ada diubah menjadi formaldehid, dan dari sana akan dihasilkan berbagai macam produk seperti plastik, plywood, cat, peledak, dan tekstil.

Senyawa kimia lainnya yang merupakan turunan dari metanol adalah dimetil eter, yang telah menggantikan klorofluorokarbon sebagai bahan campuran pada aerosol, dan asam asetat. Dimetil eter juga dapat dicampur dengan gas alam terkompresi (LPG) untuk memanaskan masakan, dan juga bisa digunakan sebagai bahan bakar pengganti diesel.



## 2.6 Penelitian Sebelumnya

Barreca dkk menunjukkan untuk pertama kalinya bahwa dengan memodifikasi morfologi dengan strategi sintesis yang tepat adalah kunci untuk mencapai kinerja yang belum pernah terjadi sebelumnya dari sistem CuO dalam foto-activated generasi H secara fotokatalitik bahkan tanpa kehadiran TiO<sub>2</sub> (Barreca, 2009). Tian dkk telah berhasil menunjukkan bahwa CuO/Cu<sub>2</sub>O/Cu nanorods yang digabung dengan rGO dengan metode *hydrothermal* dapat meningkatkan aliran cahaya dibawah radiasi sinar tampak, dimana rGO tidak hanya menerima elektron dari CuO/Cu<sub>2</sub>O/Cu nanorods tetapi juga memudahkan perpindahan elektron didalam komposit (Tian, 2012).

Vaseen dkk berhasil mensintesis struktur nano CuO dengan proses pelarutan, tanpa menggunakan alat dan reaktan yang kompleks, menggunakan tembaga nitrat, NaOH dan ethylenetetramine. Karakteristik struktural menunjukkan nanokristalin alami dengan struktur monoklinik untuk sintesis strukturnano CuO bentuk bunga. Degradasi dari metilen biru dilakukan untuk menyelidiki aktivitas fotokatalitik struktur nano. sifat fotokatalis dalam bentuk bunga terjadi karena daur ulang Cu<sup>1+</sup> dari ion Cu di bawah cahaya pada permukaan CuO dan luas permukaan yang besar dari gugus bunga (Vaseen, 2008).

Liu dkk telah menggunakan morfologi yang berbeda dari struktur nano CuO untuk photodecomposition polutan rhodamine B (RhB) dalam air (Liu, 2012). Kegiatan fotokatalitik berkorelasi dengan struktur nano yang berbeda dari CuO. Satu dimensi (1D) CuO nanoribbons menunjukkan kinerja terbaik pada *photodecomposition* RhB karena memiliki energi permukaan yang tinggi bidang kristal {121}. Hasil fotokatalitik menunjukkan bahwa energi permukaan yang tinggi dari struktur nano CuO mempengaruhi aktivitas fotokatalitik lebih baik daripada morfologi struktur nano CuO. metode sintesis juga menunjukkan bahwa, memungkinkan untuk mengontrol morfologi struktur nano dengan cara sederhana. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa Cu<sub>2</sub>O dapat bertindak sebagai fotokatalis untuk degradasi metilen biru. Mekanisme



menunjukkan terjadinya pembentukan spesies radikal hidroksil (OH) (Pan, 2012).

Han dkk menyelidiki kinerja nanokomposit dari (Cu<sub>2</sub>O-rGO) pada fotodegradasi metilen biru di bawah cahaya tampak. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan dari aktivitas fotokatalitik dari Cu<sub>2</sub>O-rGO nanocomposites berhubungan dengan nanopartikel Cu<sub>2</sub>O. Peningkatan ini dikaitkan dengan absorbansi cahaya yang meningkat, rentang penyerapan cahaya lebih panjang dan kemudahan transfer elektron dari Cu<sub>2</sub>O untuk rGO mendapatkan pemisahan muatan yang lebih baik yang dikuatkan oleh fotoluminesen (Han, 2016). Hasil serupa telah ditemukan oleh Zhigang dan Sun pada degradasi rhodamine B di mana aktivitas fotokatalis meningkat disebabkan oleh interaksi yang kuat antara Cu<sub>2</sub>O dan rGO nanosheets (Zhigang, 2014) (Sun, 2015). Zou mensintesis Cu<sub>2</sub>O-rGO komposit untuk degradasi metilen biru di bawah radiasi cahaya tampak dan hasil menunjukkan bahwa aktivitas fotokatalitik komposit dipengaruhi oleh kristal Cu<sub>2</sub>O, menjadi {111} facet yang menunjukkan peningkatan penyerapan cahaya dan mempercepat transfer muatan. Selain itu, aktivitas katalitik dari komposit Cu<sub>2</sub>O-rGO terkait dengan interaksi antar muka dan struktur elektronik yang lebih baik (Zou, 2015). Tabel 2.3 menunjukkan penelitian tentang reduksi CO<sub>2</sub> dengan fotokatalis dengan beberapa material beserta hasil yang didapatkan.

Damastuti, 2018 mensintesis material RGO-CuO dengan variasi komposisi CuO untuk mereduksi CO<sub>2</sub> menjadi *methanol*, metode sintesis RGO-CuO dilakukan dengan mengkompositkan RGO dan CuO. Metode ini dianggap kurang begitu berhasil dilakukan, dikarenakan pelarut CuO yang digunakan tidak sesuai. Metanol yang dihasilkan dalam penelitian ini sebesar 37,12  $\mu\text{mol/g}$ . Sedikitnya methanol yang dihasilkan disebabkan karena waktu penyinaran yang sangat lama serta proses konversi CO<sub>2</sub> menjadi methanol yang tidak efektif, sehingga menyebabkan aktifitas fotokatalitik tidak begitu bereaksi dengan baik. Selain itu dalam penelitian damastuti (2018) banyaknya metanol yang dihasilkan sangat berpengaruh dengan intensitas cahaya dan energi yang diberikan.



**Tabel 2.3** Hasil Reduksi CO<sub>2</sub> dengan Fotokatalis

Fotokatalis	Hasil ( $\mu\text{mol h}^{-1}$ $\text{g}^{-1}$ ) katalis	Sumber cahaya	Produk utama	Keterangan	Tahun dan penulis
0.5 wt % CeO <sub>2</sub> pada TiO <sub>2</sub>	2.75	Cahaya tampak	Hidrogen dan methana	Reaksi terjadi karena fotodekomposisi dari H <sub>2</sub> O diikuti dengan metanasi dari CO <sub>2</sub>	1992 Ogura, dkk
2% Cu/TiO <sub>2</sub> ; sol- gel TiO <sub>2</sub> ;	Masing - masing 19.6 ; 1 0.78 ; 6.36	254 nm 138 $\mu\text{mWcm}^{-2}$ 8W lampu Hg	Metanol	Hasil meningkat signifikan dengan penambahan 0.2 M NaOH	2002 Tseng, dkk
Pt- K <sub>2</sub> Ti <sub>6</sub> O <sub>13</sub>	32.8 H <sub>2</sub> ; 5.6 HCHO; 20.6 HCOOH	Konsentrasi sinar matahari	Hydrogen, asam format, formaldehid, methana, dan metanol	Dengan mengkonsentrasikan cahaya matahari pada temperature rata rata 583K dalam sel fotoreaksi	2003 Guan, dkk
2% Cu/TiO <sub>2</sub>	20	254 nm lampu Hg	Metanol	Memindahkan radiasi dari 254 ke 365 nm menghasilkan 60 kali pengurangan dan menghasilkan metanol	2004 Tseng, dkk
1,2% Cu/TiO <sub>2</sub>	0,45	365 nm 16 W $\text{cm}^{-2}$ lampu Hg	Metanol	Tekanan CO <sub>2</sub> 1,3 bar dan waktu 5000s menghasilkan kenaikan intensitas cahaya.	2005 Wu, dkk



3% Cu/TiO <sub>2</sub>	442	365 nm 6x10 W 2450 μW cm <sup>-2</sup>	Metanol	Penelitian menunjukkan 1M KHCO <sub>3</sub> pada 60°C di temperatur 100°C menghasilkan 70% lebih tinggi	2009 Slamet, dkk
TiO <sub>2</sub> didukung SiO <sub>2</sub>	40 H <sub>2</sub> ; 38 HCOOH; 31 CH <sub>4</sub> ; 24 HCHO; 2 CH <sub>3</sub> OH	365 nm 1000 W lampu Hg	Hidrogen, asam format, methane, formaldehid, metanol	Campuran produk menunjukkan jumlah total 135 μmol h <sup>-1</sup> g <sup>-1</sup> menurut kurva. Dari 0,1 sampai 1% Ru pada TiO <sub>2</sub> memberikan hasil yang sama	2006 Sasirekha, dkk
C didoping TiO <sub>2</sub>	439	Simulasi lampu siang hari	Asam format	Doping karbon menghasilkan celah pita kecil dan meningkatkan daerah absorpsi cahaya	2011 Xue, dkk
rGO -CuO	51,16	Cahaya tampak lampu Led 20 W	Metanol	Luasan CuO nanorods memainkan peranan penting dalam aktivitas fotokatalis	2015 Rashi Gusain, dkk
RGO-CuO [1:10, 1:20, 1:30]	37,12	Cahaya Tampak Lampu LED 19 W	Metanol	Grafene memainkan peranan penting dalam meningkatkan dan mempercepat rekombinasi elektron	2018 Retno Damastuti, 2018



*Halaman ini sengaja di kosongkan*

## **BAB 3**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Bahan**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu :

1. Serbuk Grafit ukuran 150  $\mu\text{m}$  (Purity 99%)
2. Aquades/Air Suling ( $\text{H}_2\text{O}$ )
3. Asam Sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )
4. Es Batu ( $\text{H}_2\text{O}$  Solid)
5. Natrium Nitrat ( $\text{NaNO}_3$ )
6. Potassium Permanganat ( $\text{KMnO}_4$ )
7. Hidrogen Peroksida ( $\text{H}_2\text{O}_2$ )
8. Amonium Hidroksida ( $\text{NH}_4\text{OH}$ )
9. Asam Klorida ( $\text{HCl}$ )
10. Barium Klorida ( $\text{BaCl}_2$ )
11. Serbuk Zn
12. Serbuk NaOH
13.  $\text{Cu}(\text{CO}_2\text{CH}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (copper(II) acetate monohydrate)
14. Etanol
15.  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (Copper (II) Nitrate monohydrate)
16. Dimetyl Formamide (DMF)

#### **3.2 Peralatan**

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Neraca Analitik  
Alat ini digunakan untuk mengukur massa dari bahan padatan.
2. Pipet dan mikropipet  
Alat ini digunakan untuk mengambil larutan kimia.
3. Spatula  
Alat ini digunakan untuk mengambil bahan atau sampel padat.



4. Erlenmeyer  
Alat ini digunakan sebagai media tempat larutan yang memerlukan perlakuan mengadukan.
5. *Hot plate magnetic stirrer*  
Alat ini digunakan untuk mencampurkan serta mengaduk agar homogen serta pemberian temperatur pada larutan yang diaduk.
6. *Crusible*  
Alat ini digunakan sebagai wadah untuk menyimpan sampel dalam proses *drying*.
7. *Autoclave*  
Alat ini digunakan dalam proses *hydrothermal* sebagai wadah larutan dalam menghomogenkan kontak panas dan udara vaccum.
8. *Muffle Furnace*  
Alat ini digunakan untuk pemanasan dalam proses *drying* dan *hydrotermal*.
9. Tabung *Centrifuge*  
Alat ini digunakan untuk menampung larutan yang akan dimasukkan kedalam *centrifuge*.
10. *Centrifuge*  
Digunakan untuk mendispersi partikel endapan dalam larutan dan memisahkannya.
11. *Ultrasonic Cleaner*  
Alat ini digunakan untuk homogenisasi dan pengelupasan (*exfoliated*) lembaran grafit oksida menjadi *graphene oxide*.
12. Gelas Ukur  
Alat ini digunakan sebagai alat ukur bahannya.
13. *Ice Bath*  
Alat ini digunakan untuk tempat peletakan es saat membuat grafit oksida yang bersifat penjaga temperatur.





14. Gelas Beaker

Alat ini digunakan sebagai tempat aktifitas kimia.

15. Wadah Spesimen

Alat ini digunakan sebagai wadah untuk sampel yang telah selesai di sintesis.

16. Lampu LED 27 W *white*

Digunakan sebagai sumber cahaya pada saat berlangsungnya reaksi fotokatalitik.

17. Instrumen Karakterisasi

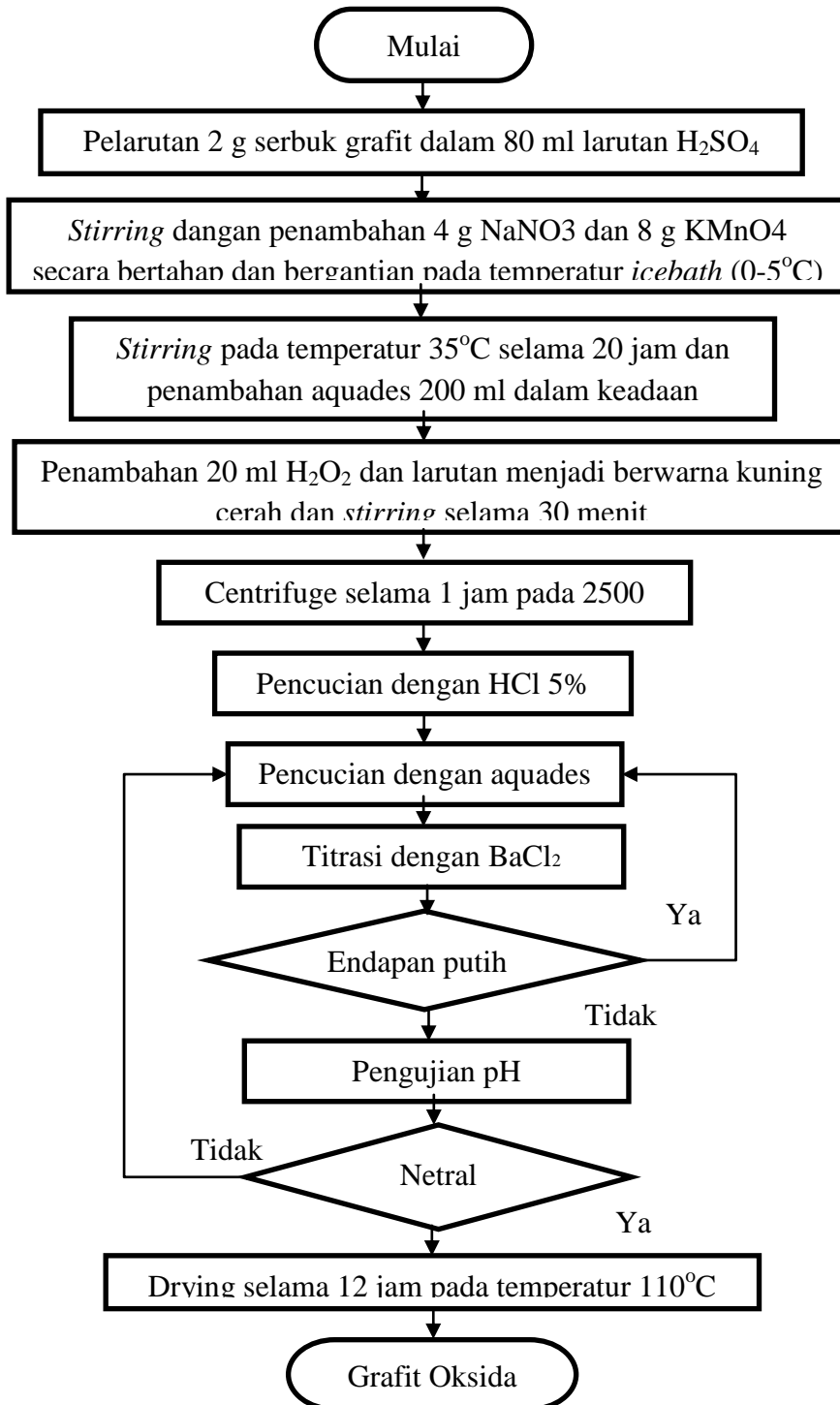
Untuk karakterisasi digunakan beberapa alat yakni :

- a. *X-ray diffraction (XRD)*, Alat karakterisasi ini digunakan untuk mengetahui senyawa yang terkandung serta strukturnya 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. BET, Alat karakterisasi ini digunakan untuk mengetahui *surface area* dari spesimen penelitian.
- e. Spektrofotometer Uv-Vis, Alat instrument ini digunakan untuk mengetahui panjang gelombang spesimen penelitian.
- f. *Gas Chromotography*, Alat instrument ini digunakan untuk mengetahui hasil metanol yang diperoleh.



### 3.3 Diagram Alir Penelitian

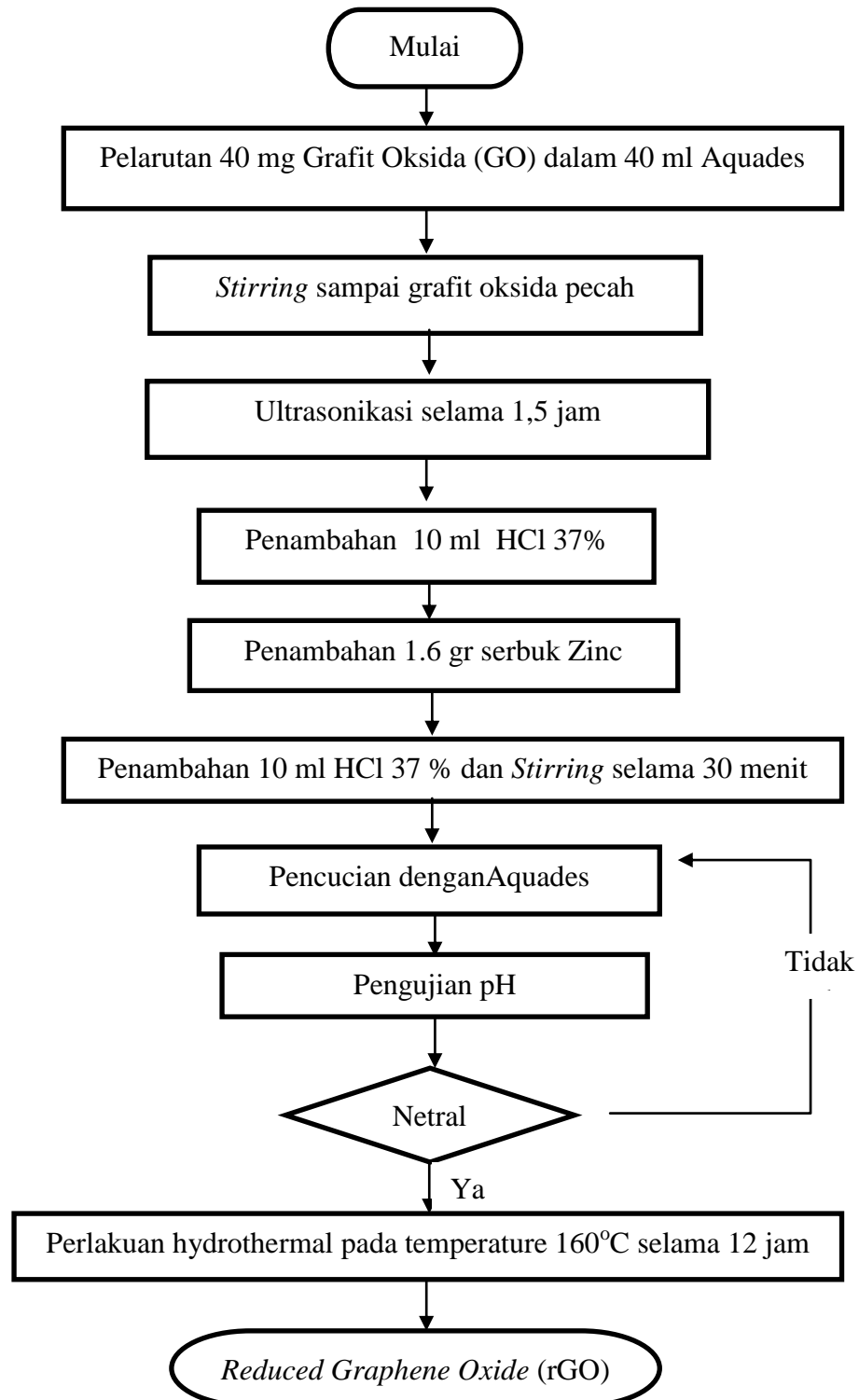
#### 3.3.1 Diagram Alir Sintesis Grafit Oksida



**Gambar 3.1** Diagram Alir Pembuatan Grafit Oksida



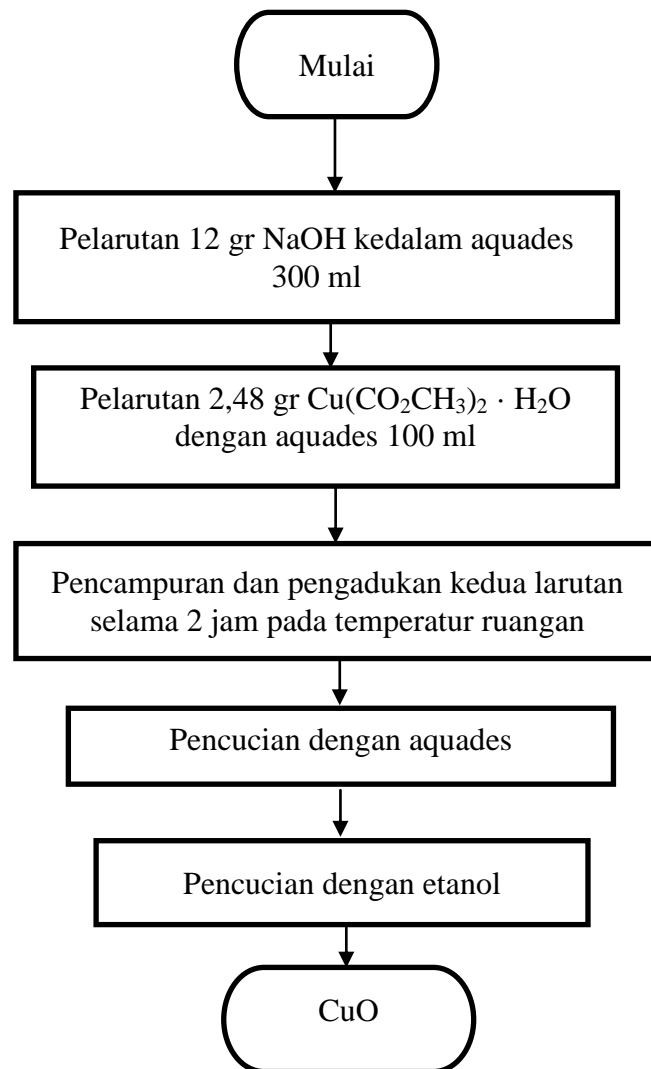
### 3.3.2 Diagram Alir Sintesis *Reduced Graphene Oksida*



Gambar 3.2 Diagram Alir *Reduced Graphene Oxide*



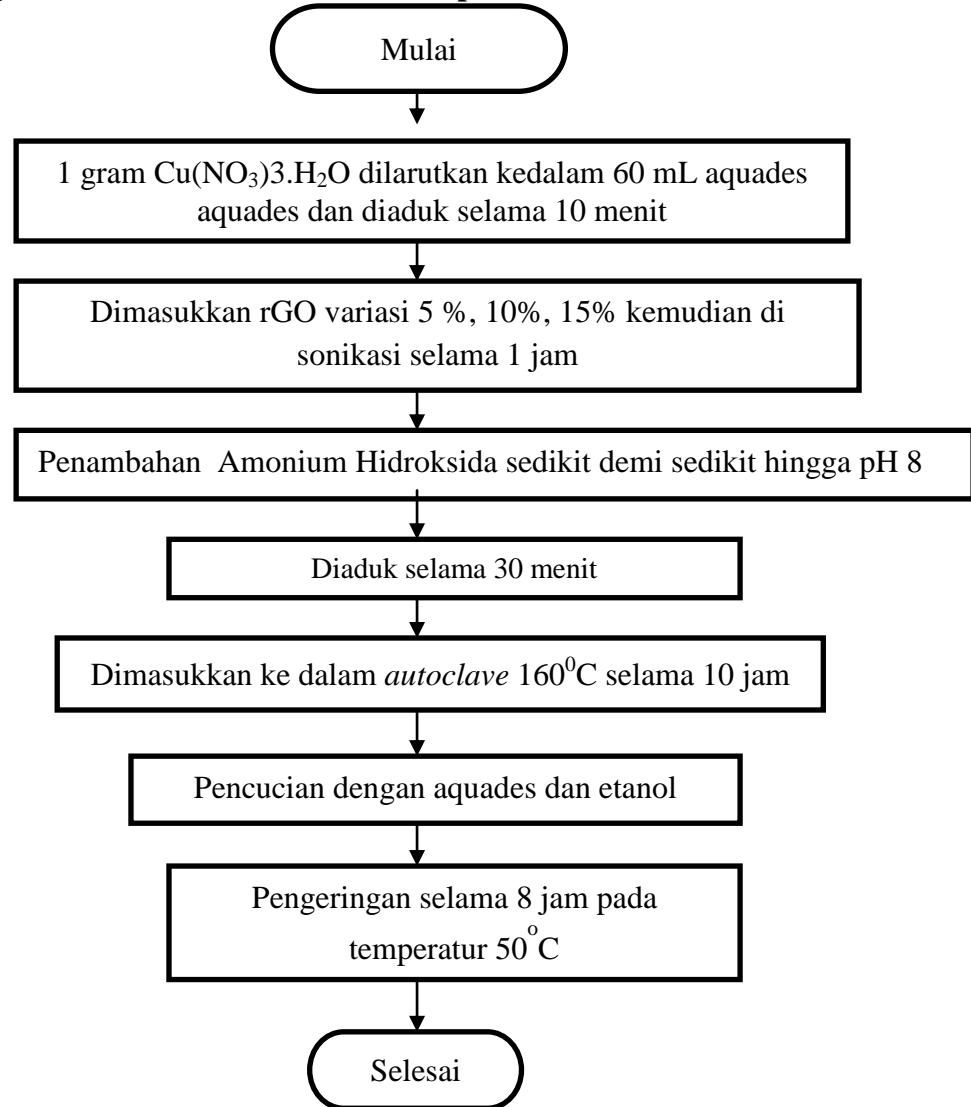
### 3.3.3 Diagram Alir Sintesis CuO



**Gambar 3.3** Diagram Alir Pembuatan CuO



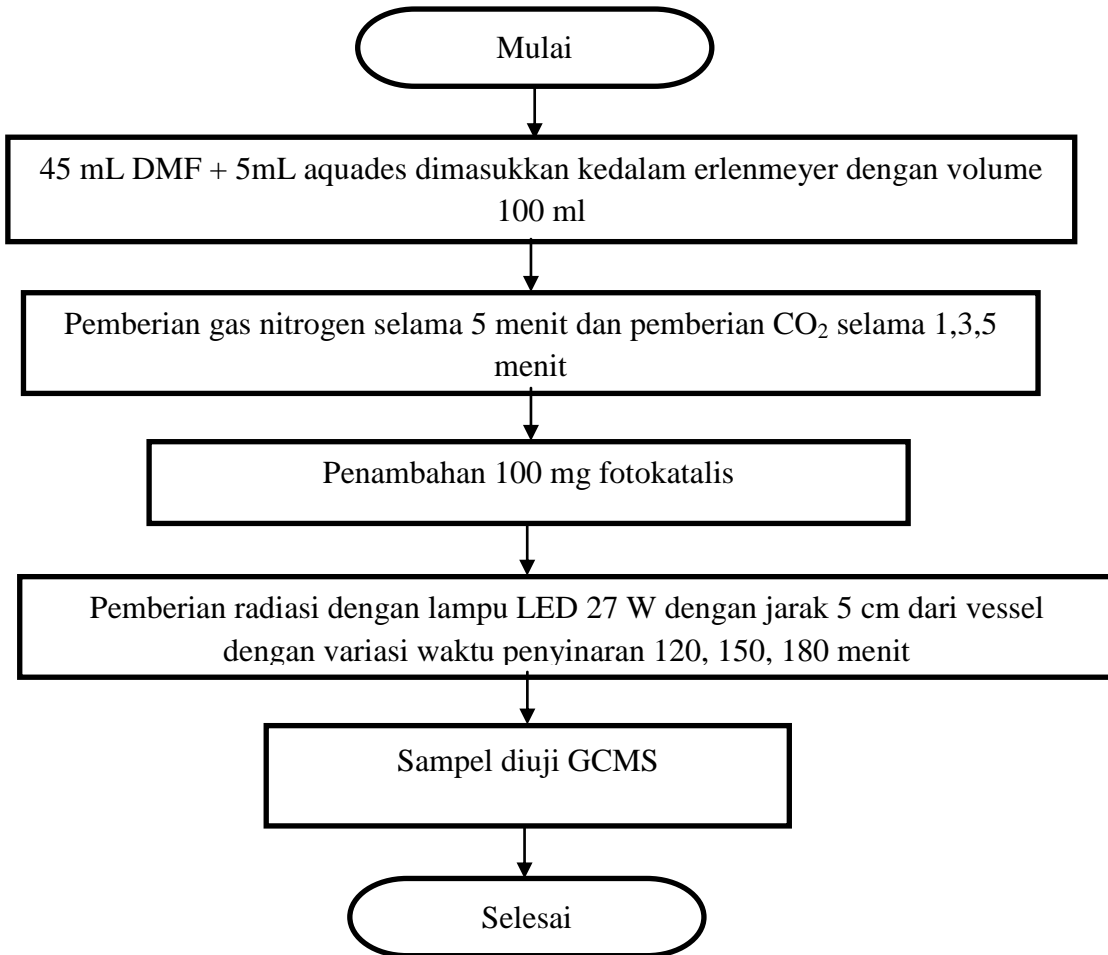
### 3.3.4 Diagram Alir Sintesis rGO/CuO Komposit



**Gambar 3.4** Diagram Alir Sintesis rGO/CuO



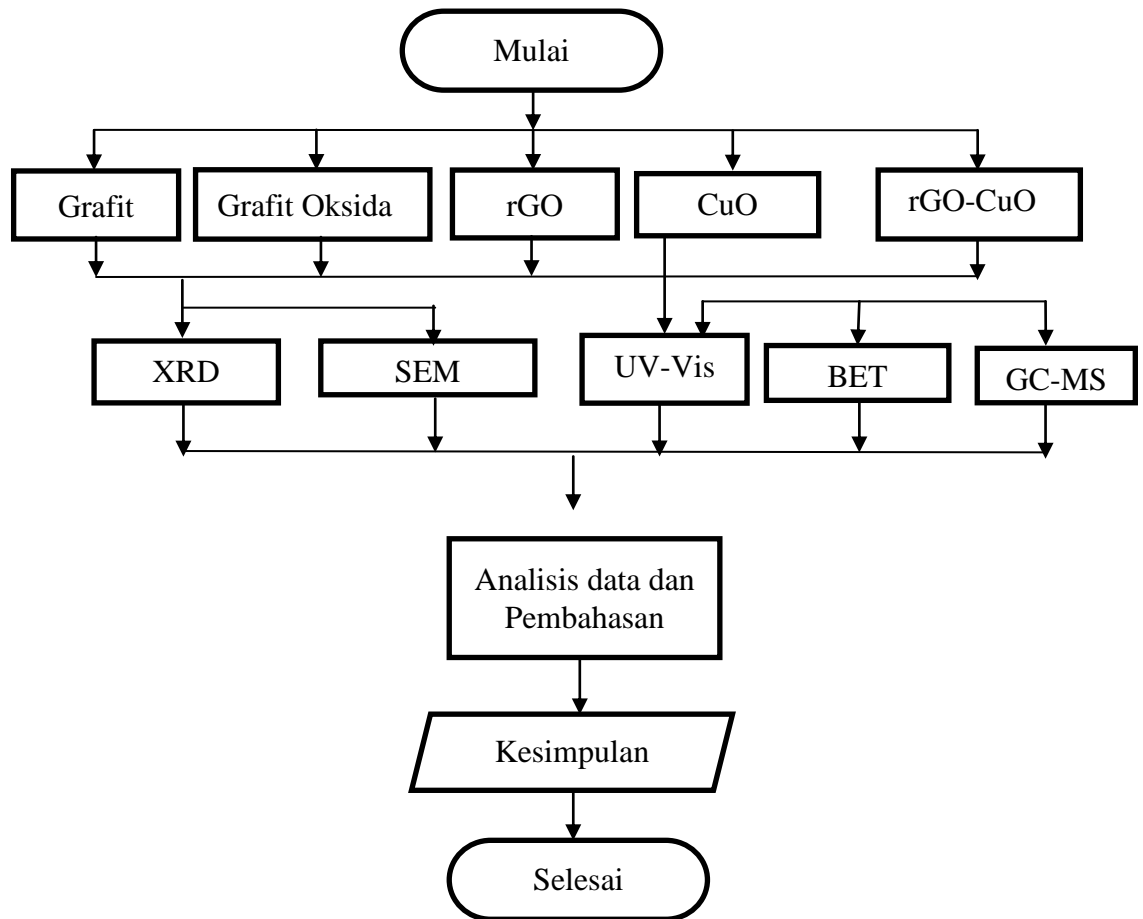
### 3.3.5 Diagram Alir Pengujian Konversi Metanol



**Gambar 3.5** Diagram Alir Pengujian Konversi Metanol



### 3.3.5 Diagram Alir Pengujian Karakterisasi



**Gambar 3.6** Diagram Alir Pengujian Karakterisasi

## 3.4 Sintesis

### 3.4.1 Sintesis CuO

Dalam prosedur sintesis, CuO dilakukan dengan mencampurkan 0,0125 mol  $\text{Cu}(\text{CO}_2\text{CH}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  dengan larutan 0,3 mol NaOH disuhu kamar selama dua jam dengan pengadukan. Selanjutnya disentrifugasi pada 2500 rpm dan dicuci beberapa kali dengan aquades dan terakhir dicuci dengan menggunakan etanol. Setiap batch dari reaksi menghasilkan 950 mg CuO.



### 3.4.2 Sintesis rGO

rGO dibuat dengan membuat grafit oksida terlebih dahulu, yaitu dengan men-*stirring* 2 g serbuk grafit di dalam 80 ml larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  98% pada temperatur *icebath* ( $0-5^\circ\text{C}$ ) selama 4 jam. Saat proses *stirring* telah berjalan selama 2 jam dilakukan penambahan 4 g  $\text{NaNO}_3$  dan 8 g  $\text{KMnO}_4$  secara bertahap dan bergantian kedalam larutan. (Penambahan ( $\text{KMnO}_4$ ) menjadi hitam kehijauan). Selanjutnya mengeluarkan dari *icebath* dan dilanjutkan *stirring* pada temperatur  $35^\circ\text{C}$  selama 20 jam. Setelah *stirring* selama 20 jam, ditambahkan 200 ml aquades kedalam larutan secara bertahap. Men-*stirring* larutan selama 1 jam agar larutan menjadi homogen.

Ditambahkan 20 ml  $\text{H}_2\text{O}_2$  untuk menghilangkan kandungan  $\text{KMnO}_4$  sisa dalam larutan. (menjadi berwarna kuning cerah). Dibiarkan dalam keadaan ter-*stirring* selama 30 menit. *Centrifuge* selama 1 jam kecepatan 2500 rpm. Diambil padatan berwarna kuning, sedangkan cairan dan padatan berwarna putih tidak digunakan. Pencucian menggunakan HCl 5% (0.01 M) untuk menghilangkan ion-ion logam yang tersisa. Proses pencucian selanjutnya menggunakan aquades secara berkala untuk menetralkan pH Untuk menguji apakah ion sulfat telah hilang dan pH netral dilakukan titrasi dengan  $\text{BaCl}_2$  1M. Bila ada endapan putih dicuci lagi dengan aquades.

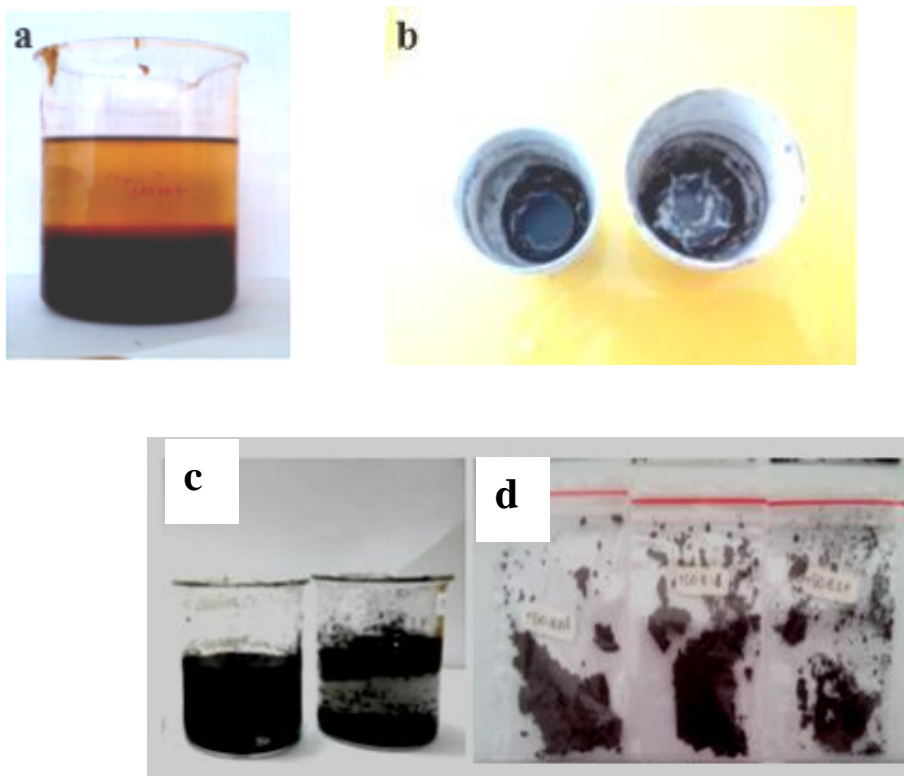
Apabila tidak terdapat endapan putih uji pH. Pencucian dengan aquades dilakukan untuk menghilangkan ion sulfat dan menetralkan pH. Apabila pH telah netral dan tidak terdapat endapan saat titrasi  $\text{BaCl}_2$  maka dilanjutkan proses drying pada temperatur  $110^\circ\text{C}$  selama 12 jam. Dan jadilah Grafit Oksida. Selanjutnya rGO dibuat dengan melarutkan 40 mg grafit oksida di dalam 40 ml aquades dan dilanjutkan dengan *stirring* selama 1 jam agar diperoleh larutan grafit oksida yang homogen. Proses ultrasonikasi pada larutan selama 1.5 jam agar diperoleh *graphene* oksida (GO).

Penambahan 10 ml HCl 37% dalam kondisi non-*stirring* untuk mendapatkan kondisi asam. Dilakukan proses reduksi menggunakan agen pereduksi Zn 1.6 g. Setelah gelembung hasil reaksi Zn habis Kembali





ditambahkan 10 ml HCl 37% yang kedua. Dilanjutkan dengan proses *stirring* selama 30 menit untuk homogenisasi larutan. Proses penambahan ini bertujuan untuk menghilangkan sisa Zinc yang masih tersisa dalam larutan. Hasilnya berupa endapan hitam. Selanjutnya adalah proses pencucian. Pencucian dengan menggunakan aquades beberapa kali hingga pH menjadi netral (mendekati 7). Setelah didapatkan pH yang netral (mendekati 7), Setelah proses pencucian dengan aquades dan pH mencapai kondisi netral, endapan dimasukkan kedalam autoclave untuk dilakukan proses *hydrothermal* dengan temperatur 160°C selama 12 jam sehingga dihasilkan rGO.



**Gambar 3.7** (a) Larutan grafit oksida sebelum *drying* (b) Grafit oksida setelah proses *drying* (c) *Graphene* oksida setelah reduksi oleh Zn (d) *Graphene*



### 3.4.3 Sintesis rGO/CuO

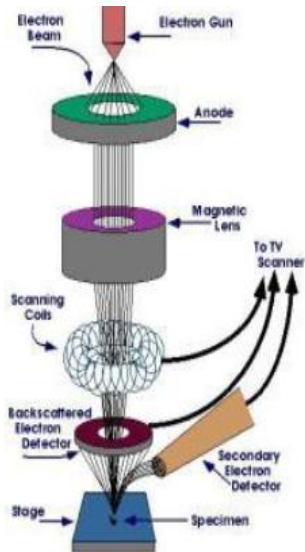
Cu nitrat ditambahkan ke aquades 60 mL dan terus diaduk selama 10 menit, kemudian ditambahkan rGO kemudian disonikasi selama 1 jam. Penambahan amonia dilakukan hingga pH mencapai 8. Kemudian diaduk selama 30 menit. Selanjutnya dimasukkan kedalam *autoclave* selama 10 jam, kemudian dicuci dengan aquades dan etanol dan dikeringkan dalam oven 50<sup>0</sup>C selama 8 jam.

## 3.5 Karakterisasi

### 3.5.1 Scanning Electron Microscopy (SEM) dan EDS

*Scanning Electron Microscopy* (SEM) merupakan mikroskop yang memanfaatkan pancaran elektron berenergi tinggi untuk memeriksa objek dalam skala yang sangat kecil. Pengamatan ini memberikan informasi mengenai topografi (jenis permukaan objek), morfologi (bentuk dan ukuran partikel), komposisi (unsur dan senyawa beserta jumlah relatif masing-masing) menggunakan EDS (*Energy Disspersive X-Ray analysis*). SEM digunakan untuk menguji topografi dan morfologi dari semua sample.

Prinsip kerja SEM yaitu berkas elektron yang dihasilkan oleh electron gun menyapu permukaan sampel. Pada saat elektron berinteraksi dengan sampel, maka akan dihasilkan secondary electron (SE), elektron ini masuk ke dalam detektor dan diubah menjadi sinyal listrik yang menghasilkan gambar pada layar monitor. Sinyal keluaran dari detektor ini berpengaruh terhadap intensitas cahaya di dalam tabung monitor, karena jumlah cahaya yang dipancarkan oleh monitor sebanding dengan jumlah elektron 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. Bahan dengan nomor atom yang besar, akan tampak lebih terang dibanding bahan dengan nomor atom yang lebih kecil.



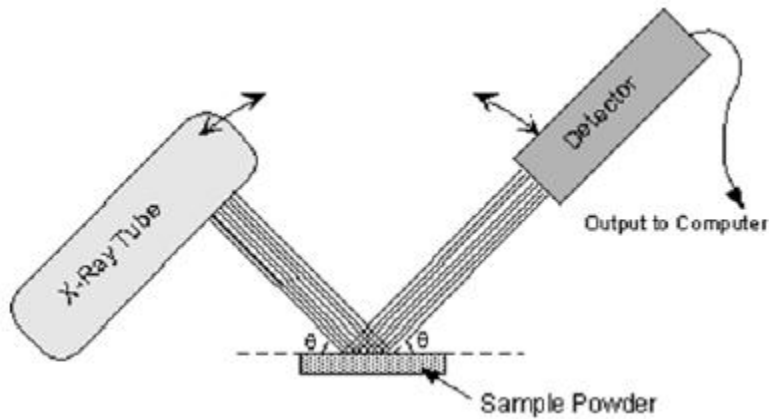
a

b

**Gambar 3.8** a. Mekanisme Alat Kerja SEM b. *Scanning Electron Microscopy* (SEM) Jeol JSM- 7001F Inspect S50

### 3.5.2 X-Ray Diffraction (XRD)

XRD merupakan alat yang digunakan untuk mengkarakterisasi struktur kristal, ukuran kristal dari suatu bahan padat. Semua bahan yang mengandung kristal tertentu ketika dianalisa menggunakan XRD akan memunculkan puncak – puncak yang spesifik. Sehingga kelemahan alat ini tidak dapat untuk mengkarakterisasi bahan yang bersifat amorf. 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*).



**Gambar 3.9** Metode Difraksi X-Rays (Muliastri,2016)

**Gambar 3.8** Menjelaskan Metode XRD dimana Tabung Sinar-X menembak pada sampel padatan kristalin, kemudian mendifraksikan sinar ke segala arah dengan memenuhi Hukum Bragg. 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 memiliki beberapa sudut orientasi tertentu sehingga difraksi sinar-X memenuhi :

$$n \cdot \lambda = 2 d \sin \theta \quad (3.1)$$

dimana,

$n$  = orde difraksi

$\lambda$  = panjang sinar X

$d$  = jarak kisi

$\theta$  = sudut difraksi

Karakterisasi material menggunakan XRD menggunakan alat instrumen XRD PAN Analytical yang ditunjukkan pada **Gambar 3.9**.



Karakterisasi XRD menghasilkan beberapa data baik data kualitatif maupun data kuantitatif seperti pada **Tabel 3.1**



**Gambar 3.10** Instrumen XRD PAN Analytical

**Tabel 3.1** Informasi pengujian XRD

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 grain)</li> </ul>

Pratapa, (2004)

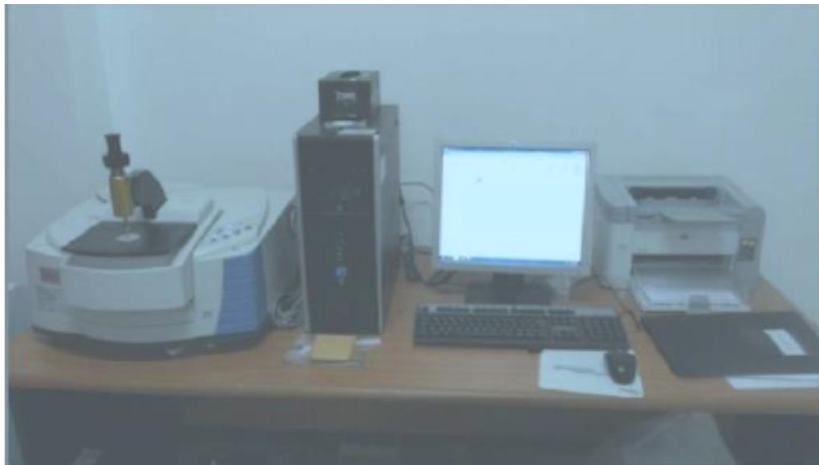
Bentuk keluaran dari difraktometer dapat berupa data analog atau digital. Rekaman data analog berupa grafik garis garis yang terekam per menitnya, dengan detektor dalam sudut  $2\theta$  per menit sehingga sumbu-X setara dengan sudut



2  $\theta$ . Sedangkan rekaman digital menginformasikan intensitas sinar-X terhadap jumlah intensitas cahaya per detik.

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

Spektrofotometri Infra Red atau Infra Merah merupakan suatu metode yang mengamati interaksi molekul dengan radiasi elektromagnetik yang berada pada daerah panjang gelombang 0,75–1.000  $\mu\text{m}$  atau pada bilangan gelombang 13.000 – 10  $\text{cm}^{-1}$  dengan menggunakan suatu alat yaitu Spektrofotometer Infra Merah. Metode ini banyak digunakan pada laboratorium analisis industri dan laboratorium riset karena dapat memberikan informasi yang berguna untuk analisis kualitatif dan kuantitatif, serta membantu penerapan rumus bangun suatu senyawa. Alat Uji FTIR terdapat pada **Gambar 3.10**



**Gambar 3.11** Alat Uji FTIR

Sinar inframerah mempunyai panjang gelombang yang terletak pada daerah 2,5-15,0  $\times 10^{-6}$  meter. Satuan sederhana untuk menyatakan spektrum di daerah ini yaitu mikron ( $\mu$ ). Satu mikron sama dengan  $10^{-6}$ , sehingga selang spektroskopi inframerah ialah 2,5-15,0  $\mu$ . Tetapi biasanya untuk menjelaskan spektrum inframerah digunakan satuan frekuensi berupa jumlah gelombang yang dilambangkan dengan  $\nu$ . Jumlah gelombang merupakan jumlah gelombang per



centimeter atau merupakan kebalikan panjang gelombang yang dinyatakan dalam cm (Hart, 1990).

Selang frekuensi inframerah sama dengan energi sebesar 2-12 kkal/mol. Jumlah energi sebesar ini cukup untuk mengeksitasi ikatan kovalen dari satu keadaan vibrasi ke keadaan vibrasi lain. Sehingga pada alat FTIR (Spektrofotometer *Fourier Transformed Infra Red*) dapat digunakan untuk menentukan jenis ikatan yang ada pada suatu molekul yang pada prinsipnya merupakan interaksi antara energi cahaya dengan materi. Bila suatu molekul menyerap sinar infra merah, maka di dalam molekul tersebut akan terjadi perubahan tingkat energi vibrasi dan perubahan energi rotasi. Jenis vibrasi molekul ada dua yaitu vibrasi ulur dan vibrasi tekuk. Vibrasi ulur merupakan pergerakan sepanjang sumbu ikatan sehingga jarak antar atom menjadi bertambah atau berkurang, sedangkan vibrasi tekuk merupakan pergerakan atom yang mengakibatkan perubahan sudut ikatan (Hart, 1990).

Prinsip FTIR, bila radiasi infra merah dilewatkan melalui suatu cuplikan, maka molekul-molekulnya dapat menyerap (mengabsorpsi) energi sehingga terjadi transisi antara tingkat vibrasi dasar (ground state) dan tingkat vibrasi tereksitasi (exited state). Pengabsorpsian energi pada berbagai frekuensi dapat dideteksi oleh Spektrofotometer Infra Merah, yang memplot jumlah radiasi infra merah yang diteruskan melalui suatu cuplikan sebagai fungsi frekuensi atau panjang gelombang radiasi. Plot tersebut disebut spektrum infra merah, yang akan memberikan informasi penting tentang gugus fungsional suatu molekul. Vibrasi molekul hanya akan terjadi bila suatu molekul terdiri dari dua atom atau lebih. Untuk dapat menyerap radiasi infra merah (aktif inframerah), vibrasi molekul harus menghasilkan perubahan momen dwikutub.

#### 3.5.4 BET (*Bruner Emmet Teller*)

Pengujian BET (*Bruner Emmet Teller*) ini merupakan pengujian untuk mengetahui besar luas permukaan aktif pada sampel ( $m^2/g$ ). Prinsip kerja



pengujian ini adalah dengan memanfaatkan daya serap sampel terhadap gas nitrogen. Sampel grafena diuji BET dengan mesin BET *Quantrachrome AsiQwin* seperti yang terlihat pada gambar 3.18. Sampel yang diuji minimal memiliki massa 0,1 g. Pada pengujian ini sampel akan dipanaskan namun temperatur pemanasannya dibawah perlakuan aktivasi fisiknya agar tidak mempengaruhi hasil sampel grafena.



**Gambar 3.12** Alat Uji BET (*Bruner Emmet Teller*)

### **3.5.5 GC (*Gas Chromatography*)**

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). GC dapat digunakan dalam mengidentifikasi suatu senyawa. Kromatografi gas, berdasarkan fasa gerak dan fasa diamnya merupakan kromatografi gas-cair. Dimana fasa



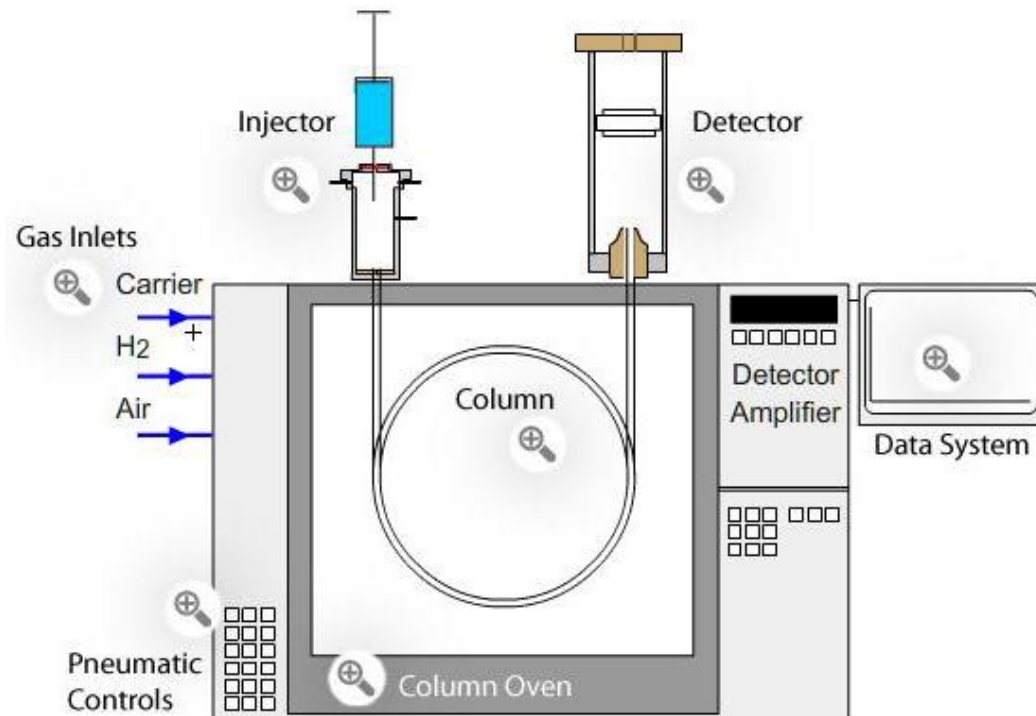


geraknya berupa gas yang bersifat inert, sedangkan fasa diamnya berupa cairan yang inert pula, dapat berupa polimer ataupun larutan.

Detektor berfungsi sebagai pendeteksi komponen-komponen yang telah dipisahkan dari kolom secara terus-menerus, cepat, akurat, dan dapat melakukan pada suhu yang lebih tinggi. Fungsi umumnya mengubah sifat-sifat molekul dari senyawa organik menjadi arus listrik kemudian arus listrik tersebut diteruskan ke rekorder untuk menghasilkan kromatogram. Pada penelitian ini yang digunakan sebagai detector adalah :

- a. Detektor hantaran panas (Thermal Conductivity Detector\_ TCD)
- b. Detektor ionisasi nyala (Flame Ionization Detector\_ FID)

GC FID digunakan untuk menentukan jumlah gas  $\text{CO}_2$  yang terkonversi menjadi metanol, sedangkan pada GC TCD untuk menentukan produk yang dihasilkan dari reaksi selama pengujian berlangsung. Adapun gambaran umum dari GC adalah sebagai berikut :



**Gambar 3.12** Instrument GC-MS



### 3.5.6 Spektrofotometer UV-VIS

Spektrofotometri UV-Vis merupakan pengukuran interaksi antara radiasi elektromagnetik panjang gelombang tertentu yang sempit dan mendekati monokromatik, dengan molekul atau atom dari suatu zat kimia. Hal ini didasarkan pada kenyataan bahwa molekul selalu mengabsorpsi cahaya elektromagnetik jika frekuensi cahaya tersebut sama dengan frekuensi getaran dari molekul tersebut. Elektron yang terikat dan elektron yang tidak terikat akan tereksitasi pada suatu daerah frekuensi, yang sesuai dengan cahaya ultraviolet dan cahaya tampak (UV-Vis). Spektrum absorpsi UV-Vis adalah sekitar 220 nm sampai 800 nm dan dinyatakan sebagai spektrum elektron. Suatu spektrum ultraviolet meliputi daerah bagian ultraviolet (190-380 nm), spektrum Vis (*Vis = Visible*) bagian sinar tampak (380-780 nm).

Pengukuran menggunakan alat spektrofotometri UV-Vis ini didasarkan pada hubungan antara berkas radiasi elektromagnetik yang ditransmisikan (diteruskan) atau yang diabsorpsi dengan tebalnya cuplikan dan konsentrasi dari komponen penyerap. Berdasarkan hal inilah maka untuk dapat mengetahui konsentrasi sampel berdasarkan data serapan ( $A$ ) sampel, perlu dibuat suatu kurva kalibrasi yang menyatakan hubungan antara berkas radiasi yang diabsorpsi ( $A$ ) dengan konsentrasi ( $C$ ) dari serangkaian zat standar yang telah diketahui. Adapun penghitungannya dilakukan dengan menggunakan aplikasi sistem persamaan linier yang merupakan pemodelan atau adaptasi hukum Lambert-Beers (Henry *et al.*, 2002).

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui absorbansi (daya serap) dari larutan fotokatalis komposit rGO/CuO. Alat pengujian spektrofotometer UV-VIS seperti Gambar 3.13 tersedia di Jurusan Kimia FMIPA, ITS. Pengujian UV-VIS bertujuan untuk mengetahui panjang gelombang ( $\lambda$ ) dan nilai absorbansi dengan cara menembakkan sinar ultraviolet (UV) pada larutan.



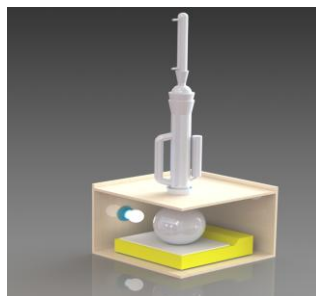
**Gambar 3.13** Mesin UV-VIS *Genesys 10S UV-VIS Spectrometer*

### 3.5.7 Konversi CO<sub>2</sub> Menjadi Methanol

Proses konversi CO<sub>2</sub> menjadi methanol dilakukan dengan menggunakan lampu LED 27 Watt dengan variasi waktu penyinaran selama 2, 4 dan 6 Jam. Larutan DMF yang diberikan katalist dimasukkan kedalam labu leher tiga yang di sambungkan dengan satu set alat soxlet yang terdiri dari kondensor dengan tujuan untuk menjaga temperatur larutan DMF dan katalist agar tidak terjadi pemanasan yang berlebihan.

Energi yang dibutuhkan untuk mengkonversi CO<sub>2</sub> menjadi metanol dapat di hitung dengan menggunakan persamaan :

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad (3.5)$$



**Gambar 3.14.** Gambaran Alat Konversi CO<sub>2</sub> menjadi Methanol



TESIS  
Program Studi Magister  
Departement Teknik Material  
FTI-ITS

---

*Halaman ini Sengaja Dikosongkan*

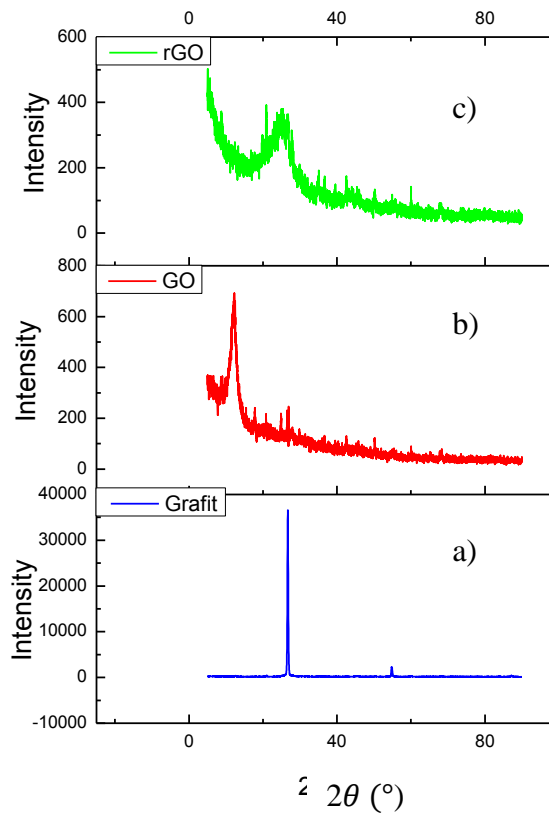
## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposit rGO/CuO dipreparasi dengan menggunakan metode *hydrothermal* melalui proses kimia antara *graphene oxide* (rGO) dan *copper nitrat monohidrat*  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . Penggunaan Amonium Hidroksida dengan konsentrasi yang rendah digunakan sebagai *linker* untuk mencangkokkan CuO pada *Reduced Graphene oxide* (rGO) melalui interaksi kimia. *Amonium Hidroksida* dan  $\text{H}_2\text{O}$  berkontribusi mengontrol pembentukan komposit rGO/CuO, Selain itu *amonium hidroksida* juga berfungsi untuk menghilangkan air dalam proses pembentukan rGO/CuO. Proses ultrasonikasi bertujuan untuk memperoleh komposit rGO/CuO dengan partikel berukuran nano. Komposit rGO/CuO di aplikasikan sebagai material fotokatalis untuk mengkonversi *Carbon Dioxide* ( $\text{CO}_2$ ) menjadi senyawa methanol.

#### 4.1 Hasil Pengujian X-Ray Diffraction

Analisis XRD bertujuan untuk menginterpretasi keberadaan unsur yang terdapat di dalam *Grafit*, *Grafit oksida*, *Reduced graphene oxide*, *Copper oxide*, dan komposit rGO-CuO. Pengujian dilakukan dengan menggunakan instrumen XRD Philip Analytical dengan menggunakan sudut  $2\theta = 5^\circ\text{-}90^\circ$  dengan panjang gelombang  $\text{CuK}\alpha = 1.54 \text{ \AA}$ . Perbandingan hasil XRD antara *Grafit*, *Grafit oksida*, *Reduced graphene oxide* dapat dilihat pada **Gambar 4.1**

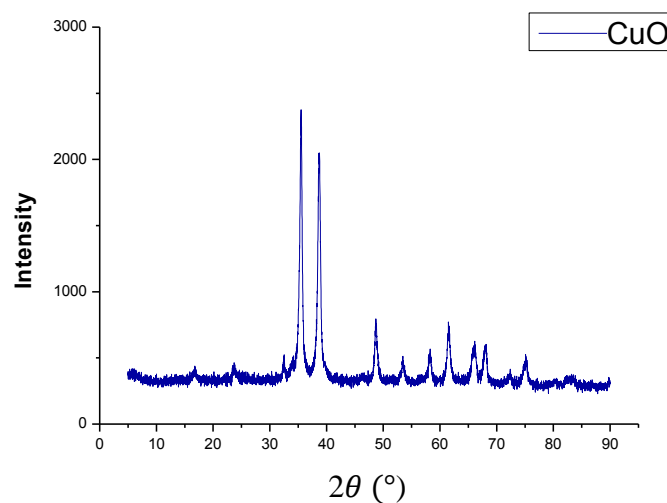


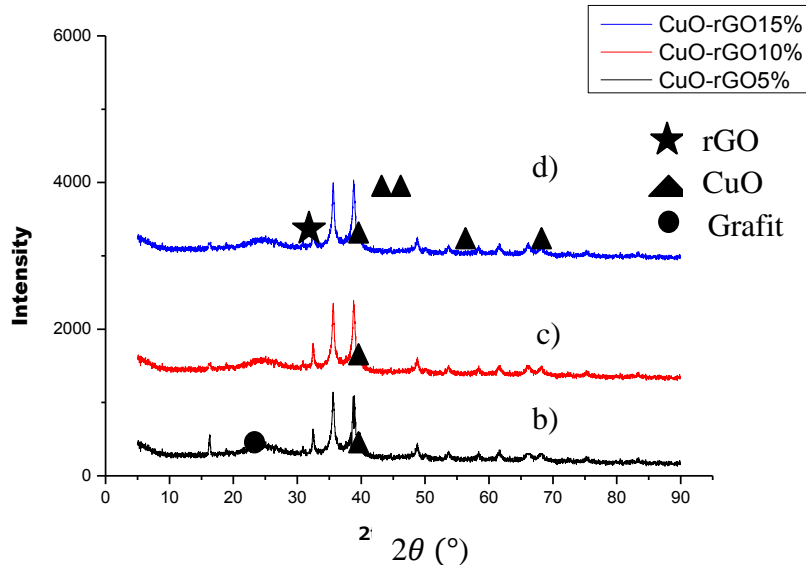
**Gambar 4.1** Hasil X- Ray Diffraction a) Grafit, b) Grafit oxide c) Reduced graphene oxide

**Gambar 4.1** menunjukkan mulanya grafit memiliki puncak (002) yang sangat tajam pada  $2\theta = 26,50^\circ$ . Hal ini menunjukkan kristalinitas grafit yang sangat baik. Grafit memiliki struktur kristal heksagonal (JCPDS 03-065-6212) Puncak tersebut memiliki intensitas yang tinggi sebesar 42421 dan sempit dengan  $d_{\text{spacing}} 3,34725$  yang menandakan kristalinitas tinggi dari fasa grafit. Selain itu juga terdapat *peak* (004) pada  $2\theta = 54,66^\circ$  yang merupakan *peak* kedua grafit (JCPDS 03-065-6212). Kemudian pada grafit oksida terjadi penurunan intensitas dan terbentuk *peak* (001) cukup tajam pada  $2\theta = 11,67^\circ$  yang menunjukkan grafit telah teroksidasi sempurna menjadi grafit oksida.



*Peak* grafit oksida yang dihasilkan ini tidak berbeda jauh dengan hasil pengujian XRD oleh Januardana (2015) yang menghasilkan *peak* (001) pada  $2\theta = 11,28^\circ$ . Hal ini mengindikasikan adanya gugus-gugus fungsional oksigen serta peningkatan kadar air diantara lapisan grafit oksida. Selanjutnya dilakukan proses reduksi dengan menggunakan agen pereduksi Zn untuk memperoleh *graphene*. Pada pola hasil XRD terlihat bahwa *peak* (001) pada  $2\theta = 11,67^\circ$  tidak terbentuk lagi, melainkan terbentuk *peak* (002) baru pada  $2\theta = 23,49^\circ$  dengan intensitas menurun dari *grafit oksida*. Selain itu juga didapatkan nilai FWHM pada grafit, grafit oksida, dan *graphene*. Nilai FWHM meningkat dari grafit menjadi *graphene*, dimana hal ini menunjukkan perubahan struktur dari kristalin menjadi amorf. Pengujian XRD juga dilakukan pada sampel CuO dan rGO, hasil pengujian CuO ditunjukkan oleh **Gambar 4.2**





**Gambar 4.2** Hasil XRD untuk (a) CuO, (b) rGO – CuO 5% (c) rGO – CuO 10% (d) rGO – CuO 15%

**Gambar 4.2** Menunjukkan bahwa CuO memiliki dua peak dengan intensitas yang tinggi terdapat pada  $2\theta = 35, 49^\circ$  yang mewakili bidang (002) dan  $2\theta = 38,7975^\circ$  yang mewakili bidang (200). Selain itu, terdapat peak CuO lain dengan intensitas yang lebih rendah pada  $2\theta = 47,72^\circ$  yang mewakili bidang (202) selanjutnya pada  $2\theta = 66, 19^\circ$  dan  $2\theta = 68,12^\circ$  yang masing-masing mewakili bidang (022) dan (113). Sesuai dengan JCPDS no. 00-044-0706 CuO memiliki struktur monoclinic dengan lattice paramaters  $a = 4.653 \text{ \AA}$ ,  $b = 3.410 \text{ \AA}$ ,  $c = 5.108 \text{ \AA}$  dan  $\beta=99,65^\circ$  dengan jarak interlayer berada di kisaran  $2,33 - 2,53 \text{ \AA}$ .

Sampel komposit rGO/CuO dengan tiga variasi komposisi pada komposit rGO/CuO dengan rasio berat komposisi CuO : rGO adalah 15%. Terdapat peak dengan intensitas yang tinggi di  $2\theta = 38,86^\circ$  yang mewakili bidang (200) dan di  $2\theta = 35,71^\circ$  yang mewakili bidang (002). Peak tersebut teridentifikasi sebagai CuO. Terdapat peak di  $2\theta = 24,87^\circ$  yang mengindikasikan adanya *reduced graphene oxide*. Gambar 4.2 (b)





menunjukkan hasil uji XRD pada komposit rGO/CuO dengan rasio berat komposisi CuO : rGO adalah 10%. Terdapat peak dengan intensitas yang tinggi di  $2\theta=38,86^\circ$  yang mewakili bidang (200) dan di  $2\theta=35,71^\circ$  yang mewakili bidang (002). Peak tersebut teridentifikasi sebagai CuO hal ini sama dengan komposisi CuO-rGO 15%. rGO terlihat pada sampel komposit rGO/CuO dengan komposisi 10% di  $2\theta = 24,59^\circ$ . Intensitas rGO pada komposisi 10% terlihat kecil karena pola difraksi yang kuat dari CuO dan konsentrasi rGO yang rendah. Gambar 4.2 (c) menunjukkan hasil uji XRD pada komposit rGO/CuO dengan rasio berat komposisi rGO : CuO adalah 5%. Terdapat peak dengan intensitas yang tinggi di  $2\theta=38,80^\circ$  yang mewakili bidang (200) dan di  $2\theta=35,59^\circ$  yang mewakili bidang (002). Peak yang lebih rendah terdapat pada  $2\theta=24,98^\circ$  yang mewakili bidang (002) yang menunjukkan adanya rGO dengan intensitas yang rendah.

Perhitungan jarak antar layer (*interlayer distance*) dari grafit, grafit oksida, *reduced grafen oxide*, Copper oxide, dan rGO - CuO dapat dilakukan dengan menggunakan Hukum Bragg pada **Persamaan 3.1** Setelah dilakukan analisa, perbedaan jarak antar layer pada masing masing sampel dapat ditunjukkan pada **Tabel 4.1**

**Tabel 4.1** Perbedaan jarak antar layer pada masing masing sampel

Sampel	$2\theta$ ( $^\circ$ )	$d_{\text{spacing}}$ ( $\text{\AA}$ )	FWHM ( $^\circ$ )	Intensitas
Grafit	26.50	3.36	0.20	23408
Grafit Oksida	11.67	7.57	0.30	1513
Graphene	23.49	3.78	1.11	222
Copper oxide	35,49	2.31487	0.0836	1939
rGO 5% - CuO	38,80	2.32057	0,2342	811
rGO 10% - CuO	38,7401	2,32443	0,1171	1082,61
rGO 15% - CuO	38,8605	2,31750	0,1840	1992,19

**Tabel 4.1** terlihat bahwa terjadi peningkatan jarak antar layer dari grafit ke grafit oksida. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, hal ini



disebabkan karena terbentuknya gugus fungsional oksigen akibat proses oksidasi dalam struktur grafit. Selanjutnya pada graphene, terjadi penurunan jarak antar layer yang nilainya mendekati grafit. Hal ini mengindikasikan bahwa proses reduksi telah berhasil dengan menghilangkan gugus fungsional oksigen sehingga diperoleh struktur rGO, yang hanya berisi atom karbon, sebagaimana halnya grafit. Namun demikian, nilai dari jarak interlayer hasil pengujian masih lebih besar dibandingkan dengan grafit, yang mengindikasikan bahwa masih ada sedikit gugus fungsional yang tersisa. Sedangkan jarak antar layer antara CuO dan komposit rGO/CuO tidak terlalu berubah signifikan. Hal ini terjadi karena komposisi dari CuO pada komposit rGO/CuO lebih banyak. Sehingga tidak terlalu mempengaruhi jarak antar layer pada komposit.

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

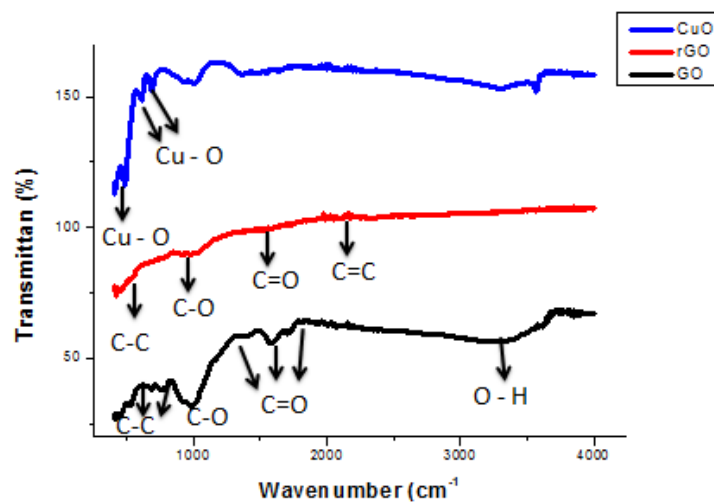
Pengujian *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi yang terbentuk selama proses sintesa. Pengujian ini menggunakan mesin Nicolet IS10 dengan range panjang gelombang sebesar 500 – 4000  $\text{cm}^{-1}$ . Pengujian FTIR dilakukan terhadap grafit oksida, rGO dan CuO. Gambar 4.3 menunjukkan spektrum IR dari sampel grafit oksida dan *reduced graphene oxide*. Dari gambar menunjukkan bahwa spektrum IR pada grafit oksida memunculkan beberapa peak gelombang yang diidentifikasi sebagai ikatan O – H dengan bilangan gelombang 3239  $\text{cm}^{-1}$ , ikatan C – O yang merupakan *Stretch Alkoxy* dengan bilangan gelombang 980,57  $\text{cm}^{-1}$ , ikatan C= O pada bilangan gelombang 1577  $\text{cm}^{-1}$ , dan ikatan C – C dengan bilangan gelombang 749  $\text{cm}^{-1}$ .

Proses reduksi grafit oksida menjadi *reduced graphene oxide* memunculkan beberapa peak dengan *wavenumber* yang diidentifikasi sebagai ikatan C –C dengan *wavenumber* 437  $\text{cm}^{-1}$ , selanjutnay ikatan` C- O pada bilangan gelombang 998  $\text{cm}^{-1}$ , ikatan C = O (*stretch alkoxy*) dengan bilangan gelombang 1988  $\text{cm}^{-1}$  dan 2050  $\text{cm}^{-1}$ , dan ikatan C = C pada bilangan gelombang



2323  $\text{cm}^{-1}$ . Hasil analisa FTIR antara Grafit oksida dan *reduced graphene oxide* menunjukkan adanya perbedaan, grafit oksida mempunyai ikatan O – H sedangkan pada *reduced graphene oxide* tidak terdapat ikatan O – H, hal ini dikarenakan proses reduksi yang terjadi serta proses *exfoliated* sehingga menghilangkan ikatan O – H. Sehingga memiliki tingkat kemurnian yang baik .

Spektrum *Fourier Transform Infrared* (FTIR) CuO pada bilangan gelombang 483  $\text{cm}^{-1}$  dan 610  $\text{cm}^{-1}$  berasal dari getaran CuO, bilangan gelombang 684  $\text{cm}^{-1}$  berasal dari  $\text{Cu}_2\text{O}$  yang merupakan sisa reaksi dari CuO, pita serapan pada 1006  $\text{cm}^{-1}$   $\text{NO}_3$  yang *bending* dan *stretching*, Band di 1372  $\text{cm}^{-1}$  dianggap berasal dari C = O, penyerapan pada 3301  $\text{cm}^{-1}$  dan 3565  $\text{cm}^{-1}$  dianggap berasal dari H – O – H dan O – H.



**Gambar 4.3** Hasil uji FTIR untuk (a) GO , (b) rGO dan (c) CuO

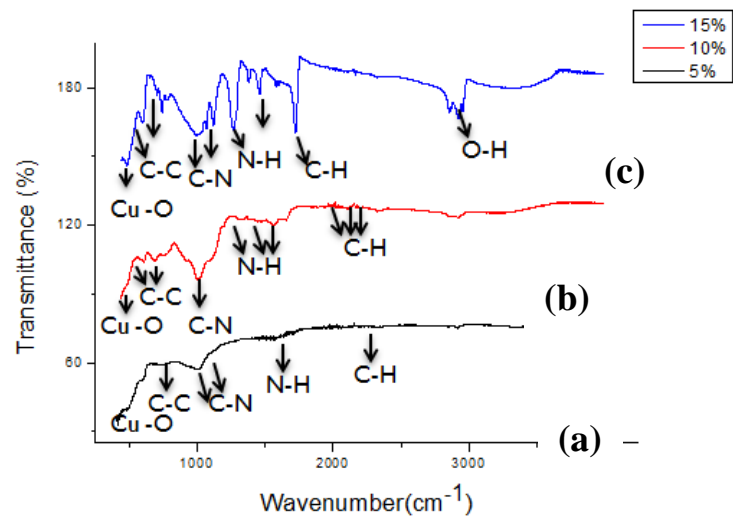


**Tabel 4.2** Jenis ikatan pada GO, rGO dan rGO -CuO

Sampel	Posisi peak (cm <sup>-1</sup> )	Jenis ikatan
GO	3239	O-H
	1577	C=O
	980,57	C-O
	749	C-C
rGO	2323	C=C
	1988	C=O
	998	C-O
	437,38	C-C
rGO – CuO 5%	1598,73	N-H
	1578,42	N-H
	1266,59	C-N
	1068,67	C-N
	996,05	C-C
	771,34	C-C
	740,45	C-C
	704,18	C-C
rGO – CuO 10%	482,94	C-C
	1598,73	N-H
	1578,42	N-H
	1266,59	C-N
	1068,67	C-N
996,05	C-C	



	771,34	C-C
	740,45	C-C
	704,18	C-C
	482,94	C-C
rGO 15% –	1598,73	N-H
CuO	1578,42	N-H
	1266,59	C-N
	1068,67	C-N
	996,05	C-C
	771,34	C-C
	740,45	C-C
	704,18	C-C
	482,94	C-C
	3239	O-H



**Gambar 4.4** Hasil uji FTIR untuk a) CuO - rGO 5%, b) CuO - rGO 10%, c) CuO - rGO 15%,



CuO berhasil dikompositkan pada kerangka rGO dengan menggunakan Amonium Hidroksida sebagai *linker*, komposit rGO – CuO dikarakterisasi menggunakan FTIR, spektrum komposit rGO 5%, 10%, dan 15% – CuO ditunjukkan pada **Gambar 4.4** (a) menunjukkan jenis ikatan pada sampel komposit rGO/CuO dengan komposisi rGO 5%. Spektrum dengan bilangan gelombang  $423\text{ cm}^{-1}$  diidentifikasi sebagai ikatan Cu – O. Pada panjang gelombang  $1119,68\text{ cm}^{-1}$  terdapat ikatan C-N. Pada  $1557,26\text{ cm}^{-1}$  terdapat ikatan N-H. Pada panjang gelombang  $992,97\text{ cm}^{-1}$  terdapat ikatan C-C. Komposit rGO/CuO teridentifikasi ikatan C-H dan N-H yang menunjukkan adanya linker  $\text{NH}_4\text{OH}$  didalam rGO/CuO. Selain itu adanya ikatan C-C menunjukkan kehadiran rGO pada komposit rGO – CuO.

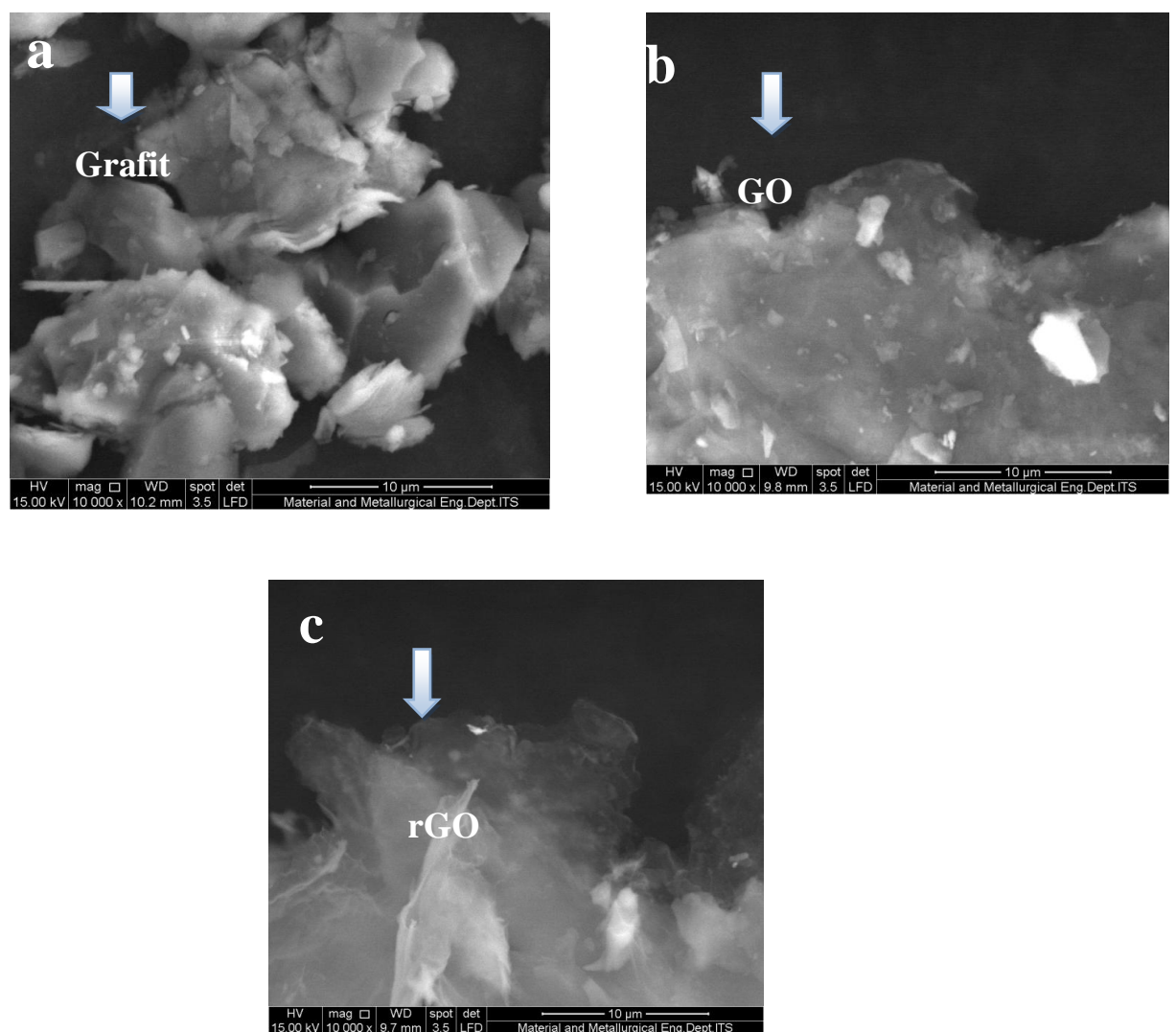
Gambar 4.4 (b) menunjukkan jenis ikatan pada sampel komposit rGO/CuO dengan komposisi rGO 10%, bilangan gelombang  $423\text{ cm}^{-1}$  diidentifikasi sebagai ikatan Cu – O. Pada panjang gelombang  $2919,68\text{ cm}^{-1}$  terdapat ikatan C-N. Pada  $1557,26\text{ cm}^{-1}$  terdapat , ikatan N-H Pada panjang gelombang  $992,97\text{ cm}^{-1}$  terdapat ikatan C-C. . Komposit rGO/CuO teridentifikasi ikatan C-H dan N-H yang menunjukkan adanya linker  $\text{NH}_4\text{OH}$  didalam rGO/CuO.

Gambar 4.4 (c) menunjukkan jenis ikatan pada sampel komposit rGO/CuO dengan komposisi rGO 15% Pada panjang gelombang  $3331,93\text{ cm}^{-1}$  terdapat ikatan O-H. Pada panjang gelombang  $2919,68\text{ cm}^{-1}$  terdapat ikatan C-N. Pada  $1557,26\text{ cm}^{-1}$  terdapat ikatan N-H. Pada panjang gelombang  $992,97\text{ cm}^{-1}$  terdapat ikatan C-C, pada semua komposit rGO/CuO teridentifikasi ikatan C-H dan N-H yang merupakan *asymmetric dan symmetric stretches* yang menunjukkan adanya linker  $\text{NH}_4\text{OH}$  didalam rGO/CuO. Selain itu adanya ikatan C-C menunjukkan kehadiran rGO pada komposit.



#### 4.3 Hasil Pengujian SEM-EDS

Pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan dari grafit, grafit oksida, *reduced graphene oxide*, *copper oxide* serta komposit rGO-CuO dengan menggunakan instrumen SEM Inspect S50.



**Gambar 4.5** Perbandingan Hasil SEM perbesaran 10.000x antara (a) Grafit (b) Grafit Oksida (c) *Reduced Graphene Oxide*



Berdasarkan **Gambar 4.5** (a) terlihat bahwa grafit memiliki morfologi berbentuk *flakes*, grafit memiliki bentuk yang tidak teratur, grafit mengalami proses oksidasi menjadi grafit oksida. Setelah proses oksidasi, maka terjadi perubahan morfologi menjadi lembaran-lembaran berlapis yang tebal seperti yang di tunjukkan pada gambar 4.(b), kemudian grafit oksida mengalami proses reduksi dengan menggunakan serbuk zink menjadi *reduced graphene oxide* (rGO), Pada **Gambar 4.5** (c) menunjukkan bahwa morfologi *graphene* berbentuk lembaran yang lebih tipis dikarenakan adanya pengelupasan dari grafit oksida. **Gambar 4.6** (a) menunjukkan morfologi CuO, Morfologi CuO didapatkan dengan pencampuran secara kimia dari *copper (II) acetate monohydrate* ( $\text{Cu}(\text{CO}_2\text{CH}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) dan *sodium hydroxide* (NaOH) menunjukkan bentuk seperti bola bola bunga yang mempunyai jarum jarum yang tajam pada ujungnya. Hal tersebut terjadi karena selama proses reaksi pembentukan terjadi reaksi eksoterm (Damastuti,2018)

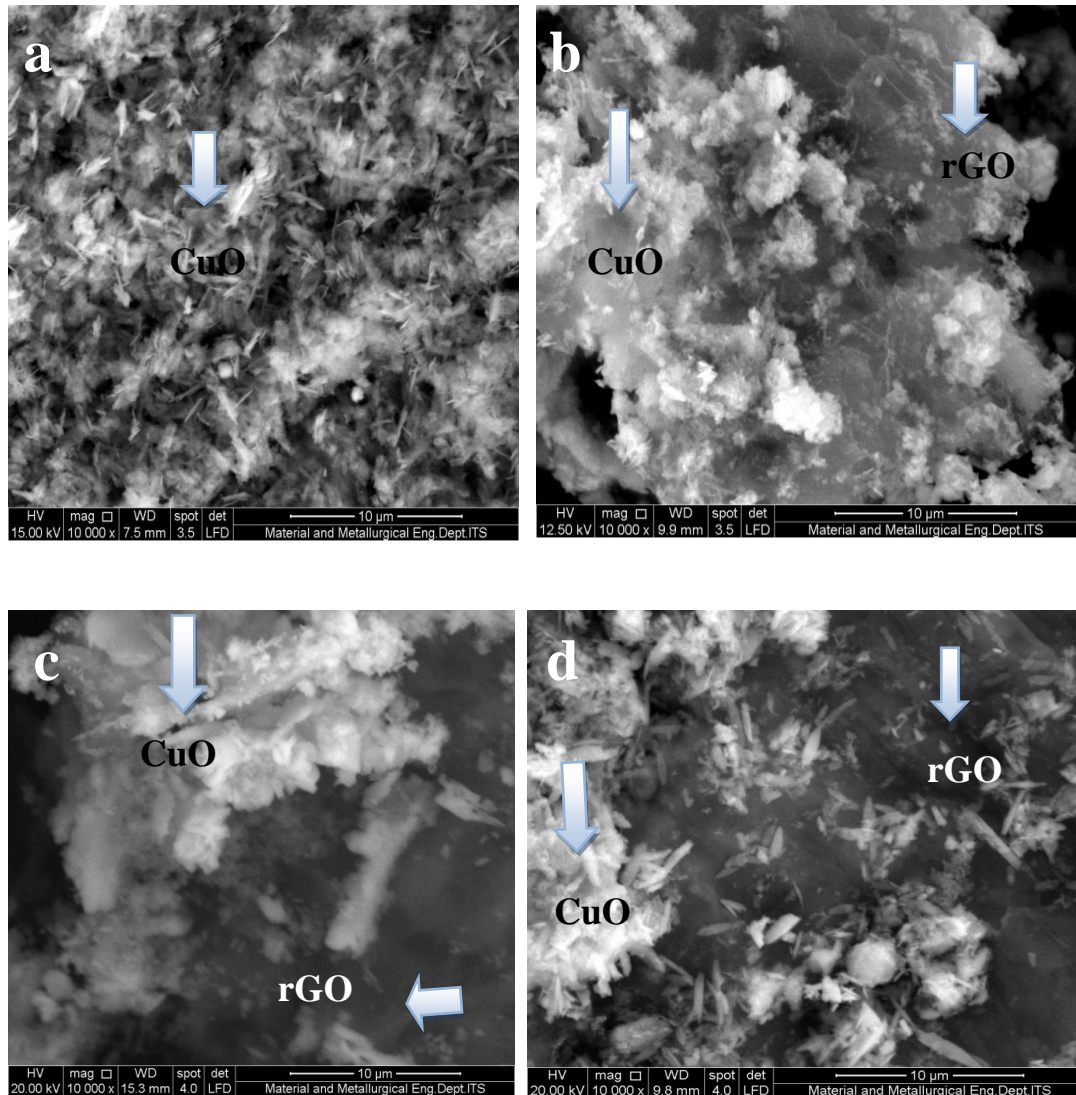
Setelah proses sintesis *reduced graphene oxide* (rGO), graphene kemudian dikompositkan dengan *copper oxide* (CuO) menjadi rGO-CuO. **Gambar 4.6** Menunjukkan morfologi dari komposit rGO-CuO dengan variasi komposisi rGO 5%,10%, dan 15%. Gambar 4(b) menunjukkan morfologi permukaan dari rGO –CuO 5 %, terlihat bahwa morfologi CuO yang berbentuk *nanorod* terikat pada lembaran *reduced graphene oxide* (rGO), menunjukkan adanya rGO dan CuO sebagai penyusun utama komposit dan saling mengikat satu sama lain. rGO yang berbentuk lembaran terbentang luas dengan adanya CuO berbentuk partikel berbentuk *nanorod* yang tersebar dipermukaannya. Gambar 4.6 (c) merupakan morfologi permukaan dari rGO 10% -CuO, terlihat partikel CuO tersebar secara homogen diseluruh permukaan rGO. Gambar 4.6 (d) menunjukkan morfologi permukaan dari komposit rGO 15%-CuO, Hasil menunjukkan partikel CuO lebih besar dan lebih banyak terikat pada rGO.

Secara keseluruhan hasil uji SEM menunjukkan adanya rGO dan CuO sebagai penyusun utama komposit dan saling mengikat satu sama lain. rGO yang



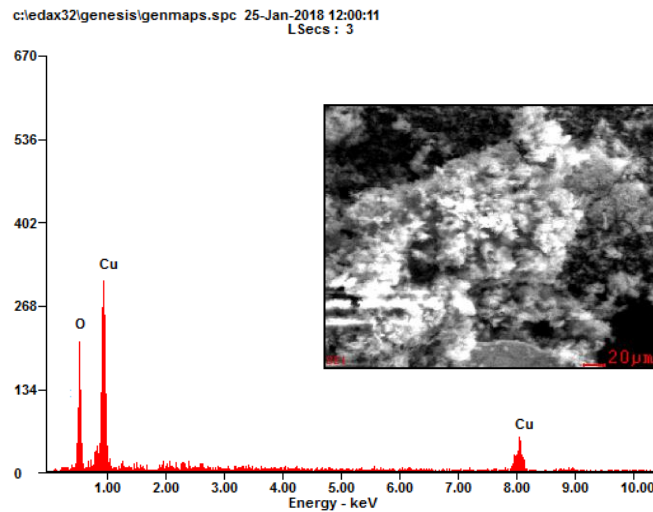


berbentuk lembaran terbentang luas dengan adanya CuO berbentuk partikel menyerupai bunga yang tersebar dipermukaannya.



**Gambar 4.6** Perbandingan Hasil SEM perbesaran 10.000x antara (a) *Copper oxide* (b) Komposit rGO 5%-CuO (c) Komposit rGO 10%-CuO (d) Komposit rGO 15%-CuO

Pengujian SEM EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) dilakukan untuk mengetahui kadar unsur-unsur yang berada pada sampel rGO, CuO, dan rGO-CuO. Hasil pengujian SEM-EDS dari *Copper oxide* ditunjukkan pada **Gambar 4.7** (a)



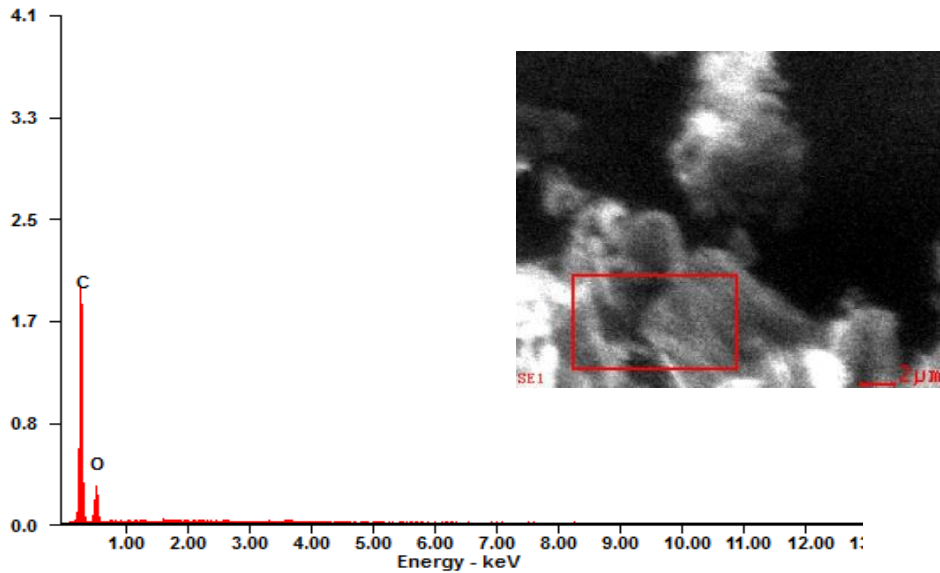
**Gambar 4.7** Hasil Kurva EDS *Copper oxide*

**Tabel 4.3** Komposisi unsur Penyusun *Copper oxide*

Element	%Wt	%At
OK	38.17	47.01
CuK	61.83	52.99

Berdasarkan hasil spektrum EDS dan Tabel 4.3 diatas, dapat diketahui bahwa CuO yang telah berhasil disintesis tersusun atas unsur dominan copper dan oksigen, dengan presentase atom Cu sebesar 52,99 % dan atom Oksigen sebesar 47,01 %.

Hasil spektrum EDS ditunjukkan pada **Gambar 4.8** dan Tabel 4.4berdasarkan data dapat diketahui bahwa rGO yang telah berhasil disintesis tersusun atas unsur dominan karbon dan Oksigen. Dengan persentase atom karbon sebesar 70,33% dan atom Oksigen sebesar 29,67 %.

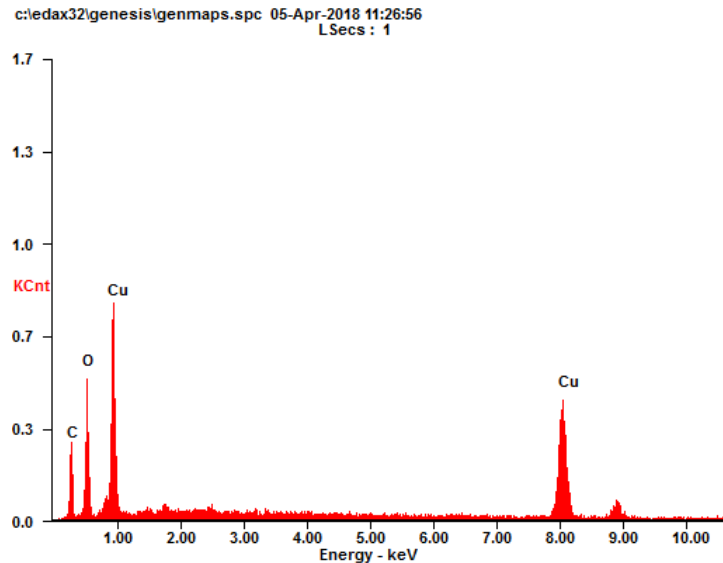


**Gambar 4.8** Hasil Kurva EDS *Reduced Graphene Oxide*

**Tabel 4.4** Komposisi unsur Penyusun *Reduced Graphene Oxide*

Element	Wt%	At%
CK	64,02	70,33
OK	35,98	29,67

Hasil spektrum *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS) dan komposisi unsur penyusun komposit rGO 5% -CuO ditunjukkan pada **Gambar 4.9**



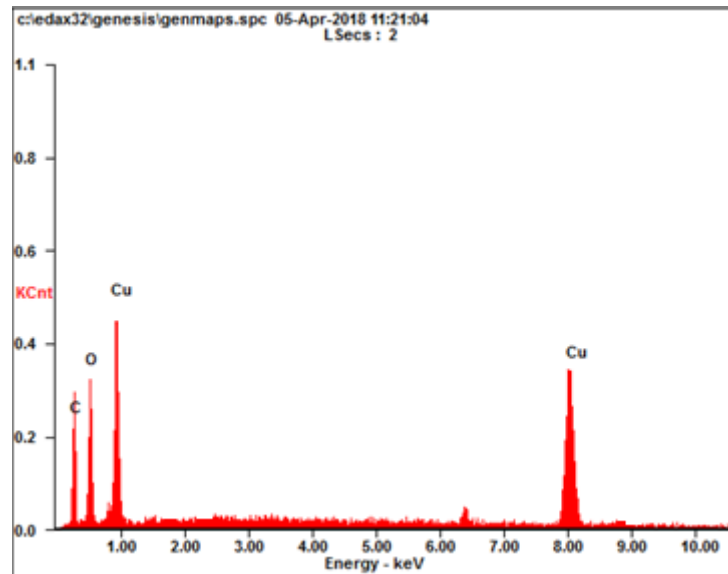
**Gambar 4.9** Hasil Kurva EDS Komposit rGO 5% - CuO

**Tabel 4.5** Komposisi unsur Penyusun Komposit rGO 5% - CuO

Element	Wt %	At %
CK	16,74	40,35
OK	15,11	30,02
CuK	65,29	29,74

Pengujian SEM – EDS pada **Gambar 4.9** Menunjukkan bahwa pada komposit rGO 5% – CuO terdapat unsur C sebesar 16,74 %, O sebesar 15,11 %, dan Cu sebesar 65,29 %. Adanya unsur O mengindikasikan adanya gugus oksigen yang masih terjebak di dalam *graphene* akibat adanya *grafit oksida* yang masih belum tereduksi secara sempurna, selain itu adanya O dan Cu mengindikasikan terbentuknya senyawa CuO.

Hasil spektrum *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS) dan komposisi unsur penyusun komposit rGO 10% -CuO ditunjukkan pada **Gambar 4.10**



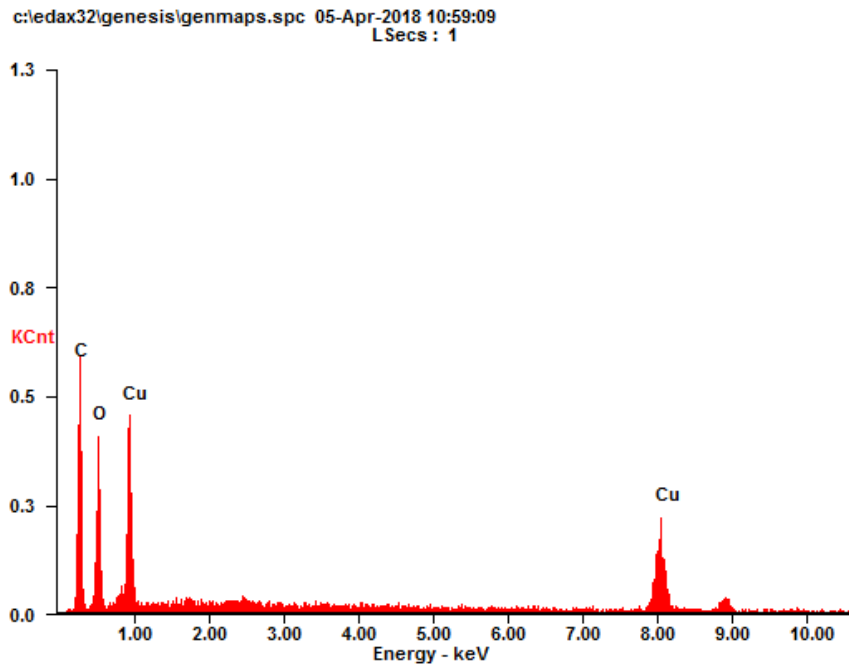
**Gambar 4.10** Hasil Kurva EDS Komposit rGO 10% - CuO

**Tabel 4.6** Komposisi unsur Penyusun Komposit rGO 10% - CuO

Element	Wt %	At %
CK	22,32	37,15
OK	24,09	33,09
CuK	53,76	29,87

Pengujian SEM – EDS pada **Gambar 4.10** Menunjukkan bahwa pada komposit rGO 10% – CuO terdapat unsur C sebesar 22,32 %, O sebesar 24,09 %, dan Cu sebesar 53,76%. Adanya unsur O mengindikasikan adanya gugus oksigen yang masih terjebak di dalam *graphene* akibat adanya *grafit oksida* yang masih belum tereduksi secara sempurna, selain itu adanya O dan Cu mengindikasikan terbentuknya senyawa CuO.

Hasil spektrum *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS) dan komposisi unsur penyusun komposit rGO 15% -CuO ditunjukkan pada **Gambar 4.11**



**Gambar 4.11** Hasil Kurva EDS Komposit rGO 15% - CuO

**Tabel 4.7** Komposisi unsur Penyusun Komposit rGO 15% - CuO

Element	Wt %	At %
CK	24,61	55,54
OK	21,29	30,11
CuK	54,76	14,35

Pengujian SEM – EDS pada **Gambar 4.11** Menunjukkan bahwa pada komposit rGO 15% – CuO terdapat unsur C sebesar 24,61 %, O sebesar 21,29 %, dan Cu sebesar 54,76%. Adanya unsur O mengindikasikan adanya gugus oksigen yang masih terjebak di dalam rGO akibat adanya *grafit oksida* yang masih belum tereduksi secara sempurna, selain itu adanya O dan Cu mengindikasikan terbentuknya senyawa CuO.

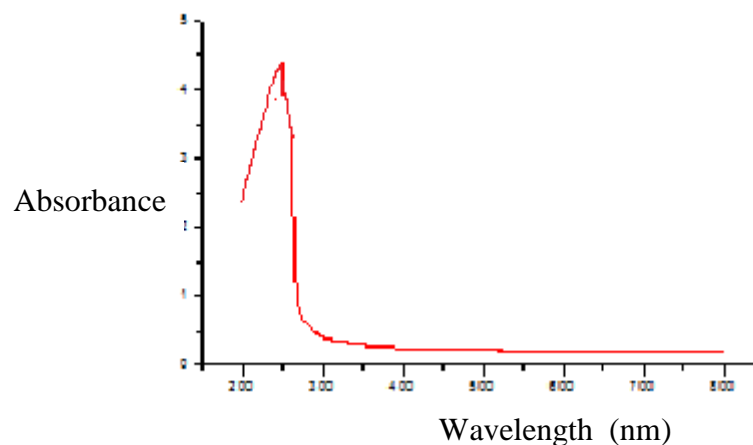
Secara umum, dengan kenaikan % rGO maka presentase unsur karbon semakin banyak, adanya unsur karbon membantu dalam meningkatkan luas permukaan sehingga membantu dalam proses fotokatalisis.



#### 4.4 Pengujian Ultraviolet –Visible (UV-Vis)

Sampel rGO, CuO serta komposit rGO/CuO diuji dengan menggunakan spektrofotometri UV Vis Thermo Genesys 10S Spectrometer . Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai absorbans terhadap cahaya serta panjang gelombang pada suatu material. Sebelum dilakukan pengujian sampel dipreparasi dengan cara melarutkan serbuk rGO, serbuk CuO serta serbuk komposit rGO/CuO kedalam etanol dengan konsentrasi rendah untuk menghasilkan larutan yang homogen.

Daerah penyerapan cahaya pada panjang gelombang UV-Vis dibagi menjadi dua. Daerah UV adalah daerah yang banyak menyerap energy dari sinar UV pada rentang 200-400 nm, dan yang kedua adalah daerah Visible yang berarti material banyak menyerap energy dari sinar tampak yang berapa pada panjang gelombang 400-800 nm. Pengujian dilakukan pada rentang panjang gelombang 200-800 nm. **Gambar 4.12** menunjukkan grafik hasil uji UV-Vis pada sampel rGO



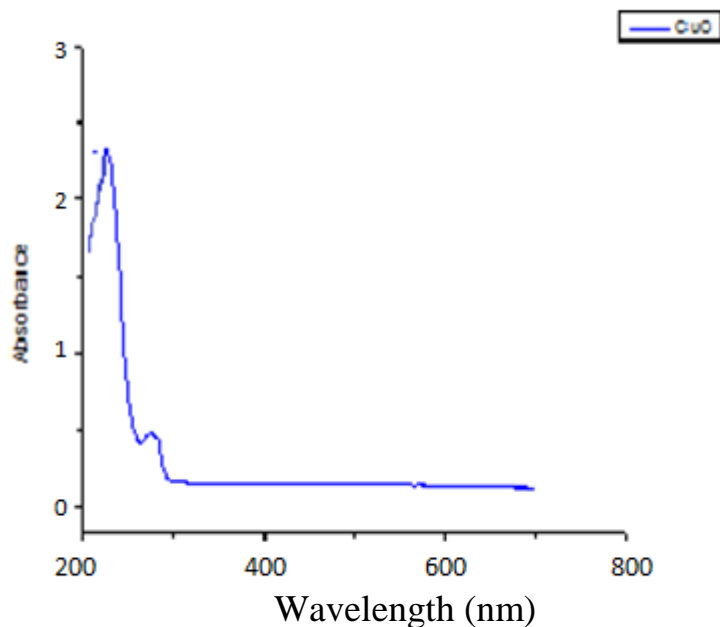
**Gambar 4.12** Hasil Uji UV-Vis *Reduced Graphene Oxide*

Berdasarkan **Gambar 4.12** Panjang gelombang maksimum dari *reduced graphene oxide* adalah 254 nm dengan absorbans sebesar 2,1 yang mengindikasikan bahwa daerah penyerapan dari *graphene* yaitu berada didaerah



*Ultra-violet*, hal ini membuktikan bahwa telah terjadi transisi elektron yang melibatkan elektron-elektron  $\pi$  yang berkonjugasi. Sampel rGO memiliki penyerapan dengan intensitas yang lebih konstan dari daerah sinar UV hingga daerah sinar tampak.

**Gambar 4.13** merupakan hasil uji UV- Vis dari *Copper oxide*, Dari hasil uji UV-Vis Absorbans, sampel CuO sebagai material semikonduktor memiliki nilai absorbans dengan intensitas 0.768 pada panjang gelombang 222 nm. Intensitas tersebut berada pada daerah sinar UV. Intensitas tersebut berkurang seiring dengan bertambahnya nilai panjang gelombang dan naik kembali secara perlahan serta konstan pada rentang panjang gelombang 334 nm hingga 739 nm dimana daerah tersebut adalah daerah sinar tampak. Sampel CuO menunjukkan penyerapan cahaya maksimal berada pada daerah sinar UV dan menyerap cahaya dengan intensitas yang lebih kecil pada daerah sinar tampak.

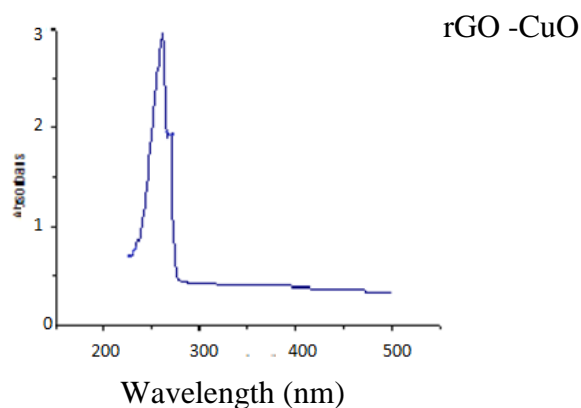


**Gambar 4.13** Hasil Uji UV-Vis *Copper oxide*





**Gambar 4.14** menunjukkan hasil uji UV-Vis terhadap komposit rGO/CuO, berdasarkan gambar terlihat bahwa komposit rGO – CuO memiliki absorbans sebesar 3,12 dengan intensitas penyerapan berada pada panjang gelombang 268 - 450 nm. Hal tersebut menunjukkan penyerapan cahaya paling maksimal terdapat pada daerah sinar UV dan melebar ke daerah sinar tampak.



**Gambar 4.14** Hasil Uji UV-Vis Komposit rGO – CuO

Intensitas penyerapan cahaya menjadi hal yang penting pada proses fotokatalitis. Karena semakin banyak cahaya yang dapat diserap maka energi untuk mengkonversi CO<sub>2</sub> menjadi GO semakin besar. Adanya foton pada penyinaran dengan sumber energi tertentu menyebabkan elektron pada semikonduktor tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi. Elektron yang berpindah ke pita konduksi meninggalkan lubang positif pada pita valensi dan hal inilah yang menjadi proses penting dalam reaksi fotokatalitik (Attia, 2008).

#### 4.5 Hasil Pengujian BET Surface Analysis

*BET Surface Analysis* digunakan untuk menentukan luas permukaan material, distribusi pori material dari CuO dan komposit rGO – CuO . Hasil uji BET dari *Copper oxide* dengan surface area sebesar 62,7 m<sup>2</sup>/g.. Hasil *surface area* yang besar membantu dalam proses reaksi fotokatalitik dalam konversi CO<sub>2</sub>



menjadi methanol. *Surface area analysis* pada komposit rGO – CuO sebesar 98,496 m<sup>2</sup>/g dengan Berdasarkan data tersebut mengindikasikan bahwa rGO mampu meningkatkan luas permukaan *Copper oxide*, sehingga membantu dalam proses fotokatalitik.

**Tabel 4.8** Hasil Pengujian BET Surface Analysis

Sampel	Surface Area
CuO	62,7 m <sup>2</sup> /g
rGO - CuO	98,496 m <sup>2</sup> /g

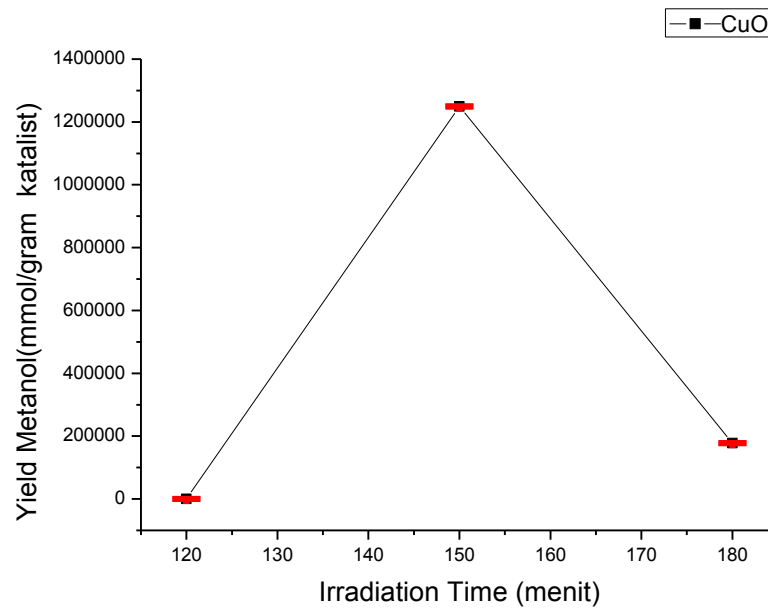
#### 4.6 Hasil Uji *Gas Chromatograph – Mass Spectroscopy* (GC – MS)

Uji GC – MS dilakukan untuk mengidentifikasi senyawa methanol, Pengujian dilakukan dengan alat GCMS Agilent 6980N Network GC System dengan *autosampler* dan detector menggunakan Agilent 5973 inert MSD, Sampel sebanyak 1µl diinjeksikan kedalam alat GCMS untuk diidentifikasi. Uji fotokatalitik dilakukan terlebih dahulu sebelum dilakukan uji GC-MS. Reaksi fotokatalitik adalah proses reaksi kimia dengan menggunakan bantuan cahaya dan katalist, Cahaya yang digunakan menggunakan lampu LED 27 W dengan komposit rGO – CuO sebagai katalis.

Hasil dari uji GCMS menunjukkan bahwa karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dapat terkonversi menjadi methanol dan beberapa fuel. Hal tersebut terjadi karena untuk melangsungkan reaksi kimia membutuhkan waktu dan kondisi tertentu. Hasil konversi CO<sub>2</sub> dengan proses fotokatalitik menggunakan katalis CuO dan komposit rGO/CuO dengan variasi waktu alir CO<sub>2</sub> dan variasi waktu penyinaran menghasilkan metanol. Variasi waktu alir yang digunakan adalah 1 menit, 3 menit, dan 5 menit dengan variasi waktu penyinaran selama 120, 150, dan 180 menit. Sampel CuO juga digunakan sebagai katalist dan kontrol untuk membandingkan pengaruh penambahan rGO dalam penelitian ini. **Gambar**



4.15 dan Tabel 4.6 – 4.8 merupakan hasil uji GC-MS CuO sebagai katalis dalam proses fotokatalitik konversi CO<sub>2</sub> menjadi methanol.



**Gambar 4.15** Hasil Uji GC – MS CuO dengan Variasi penyinaran

**Tabel 4.9** Hasil Uji GC- MS dengan waktu penyinaran 120 menit

Kode Sampel	Retention Time	Nama Senyawa	% Normalisasi
CuO (120 menit)	1,17	Methanol	3,563 %
CuO (120 menit)	2,99	Ethanol	0,9318 %
CuO (120 menit)	2,987	Propanol	2,509 %
CuO (120 menit)	0,51	Asam format	2,167 %
CuO (120 menit)	1,308	2-Propan Amine	32,54 %
CuO (120 menit)	3,340	DMF	35,06 %



---

CuO (120 menit)	0,61	Formaldehyde	25,31 %
-----------------	------	--------------	---------

---

**Tabel 4.10** Hasil Uji GC- MS dengan waktu penyinaran 150 menit

Kode Sampel	Retention Time	Nama Senyawa	% Normalisasi
CuO (150 menit)	1,17	Methanol	10,097%
CuO (150 menit)	2,99	Ethanol	2,5613 %
CuO (150 menit)	4,087	Butanol	4,901 %
CuO (150 menit)	0,51	Asam format	1,954 %
CuO (150 menit)	1,308	1-Propanol	21,5 4 %
CuO (150 menit)	3,340	DMF	25,06 %
CuO (150 menit)	0,61	Formaldehyde	15,63%
CuO (150 menit)	1,083	Carbon Dioxide	10,53 %

---

**Tabel 4.11** Hasil Uji GC- MS dengan waktu penyinaran 180 menit

Kode Sampel	Retention Time	Nama Senyawa	% Normalisasi
CuO (180 menit)	1,18	Methanol	1,439%
CuO (180 menit)	2,99	Ethanol	5,613 %
CuO (180 menit)	4,087	Butanol	7,941 %
CuO (180 menit)	0,51	Asam Format	23,954 %

---



---

CuO (180 menit)	1,308	1-Propanol	15,74 %
CuO (180 menit)	3,340	DMF	12,06 %
CuO (180 menit)	0,61	Formaldehyde	13,63%
CuO (180 menit)	1,083	Carbon Dioxide	2,53 %

---

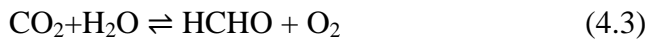
**Gambar 4.15** dan **Tabel. 4.9** hingga **Tabel 4.11** terlihat bahwa katalist CuO mampu mengkonversi CO<sub>2</sub> menjadi methanol dalam jumlah yang kecil, variasi waktu penyinaran mempengaruhi banyaknya methanol yang di hasilkan. Variasi waktu penyinaran 120 menit dengan waktu alir CO<sub>2</sub> selama 1 menit menghasilkan methanol sebanyak 3,563 %, berdasarkan perhitungan diperoleh 440,9213 mmol/gr katalist methanol yang dihasilkan. Selain methanol di peroleh *fuel* yang lain seperti ethanol sebanyak 0,9813 %. Etanol merupakan salah satu produk hasil konversi CO<sub>2</sub> dengan menggunakan  $\geq 8$  elektron. Reaksi konversi CO<sub>2</sub> menjadi etanol seperti membutuhkan energi sebesar 1325.56 kJ·mol<sup>-1</sup> (You, 2017). Propanol sebanyak 2,509 % produk konversi CO<sub>2</sub> yang membutuhkan energi sebesar 1962,94 kJ·mol<sup>-1</sup>, sedangkan asam format yang diperoleh dalam jumlah yang sedikit merupakan sisa dari hasil reaksi sebelum terbentuknya methanol, dimana dalam prosesnya elektron yang dihasilkan sebanyak 2 elektron.



Konversi Karbon dioksida menjadi methanol dengan menggunakan katalist *Copper oxide* dengan variasi waktu penyinaran 120 menit belum mampu mengkonversi Karbon dioksida menjadi methanol secara maksimal, hal ini terlihat dari masih adanya pelarut DMF sebanyak 32,54% dan adanya propan amine yang merupakan bagian dari pelarut DMF. Sedangkan Formaldehyde merupakan senyawa aldehyde, Aldehyde merupakan senyawa organik yang memiliki gugus fungsional karbonil yang terikat pada rantai karbon di satu sisi dan atom hidrogen



di sisi yang lain. Aldehyde didapatkan dari oksidasi alkohol. Dalam industri, aldehyde jenis formaldehyde diproduksi dengan mengoksidasi metanol, reaksi konversi CO<sub>2</sub> menjadi aldehyde dapat dilihat pada Persamaan 4.3



Variasi waktu penyinaran 150 menit menghasilkan methanol sebanyak 10,097 % berdasarkan perhitungan jumlah methanol yang dihasilkan sebanyak 1249,504 mmol/gr katalist, hasil methanol yang diperoleh lebih besar di bandingkan dengan variasi waktu penyinaran 120 menit. Selain methanol di peroleh senyawa alkohol lain seperti etanol, butanol dan propanol. Sedangkan variasi waktu penyinaran 180 menit menghasilkan methanol dalam jumlah sedikit yaitu sebanyak 1,439 % atau setara dengan 178,0763 mmol/gr katalist. Hasil konversi karbon dioksida selain methanol diperoleh senyawa alkohol seperti ethanol, butanol, propanol. Selain itu masih adanya pelarut DMF dan propan amine sehingga konversi karbon dioksida menjadi methanol dengan variasi waktu penyinaran 180 menit belum mampu mengkonversi karbon dioksida secara maksimal.

Dari keseluruhan hasil uji GCMS menunjukkan reaksi fotokatalitik dengan katalis CuO yang diaktivasi menggunakan cahaya telah terjadi, karena semua tabung erlenmeyer yang berisi sampel larutan DMF menghasilkan metanol dengan jumlah tertentu. Jumlah metanol paling banyak terdapat pada variasi waktu penyinaran 150 menit. Selanjutnya diikuti dengan waktu penyinaran 120 menit dan 180 menit. Perbedaan hasil yang signifikan tersebut terjadi karena adanya perbedaan waktu penyinaran selama pengujian. Sedikitnya jumlah methanol yang di peroleh pada variasi waktu penyinaran 180 menit disebabkan proses transfer elektron semakin melambat, transfer elektron yang melambat disebabkan pelarut yang mulai jenuh, sehingga tidak mampu mentransfer elektron untuk mengkonversi karbon dioksida menjadi methanol. Sehingga Variasi waktu penyinaran optimum dalam konversi karbon dioksida menjadi methanol dengan menggunakan katalist *Copper oxide* yaitu 150 menit.



Penggunaan Katalist *copper oxide* belum mampu menghasilkan methanol secara maksimal dikarenakan *surface area* dari *copper oxide* yang kecil, sehingga belum mampu menampung elektron yang lebih banyak, selain itu *copper oxide* memiliki intensitas penyerapan di daerah UV sehingga ketika disinari menggunakan lampu *visible*, tidak mampu mengkonversi karbon dioksida secara maksimal.

Hasil Konversi karbon dioksida menjadi methanol dengan menggunakan katalist komposit rGO – CuO dengan variasi waktu alir karbon dioksida 1 menit, 3 menit, hingga 5 menit dan variasi waktu penyinaran 120, 150, dan 180 menit. **Tabel 4.12** merupakan hasil uji GC – MS komposit rGO 5% – CuO dengan variasi waktu penyinaran 120 menit dan waktu alir karbon dioksida selama 1 menit.

**Tabel 4. 12** Hasil Uji GC –MS variasi waktu penyinaran 120 menit dan waktu alir 1menit

Kode Sampel	Retention Time (menit)	Nama Senyawa	% Normalisasi
rGO-CuO ( 1:120 menit)	1,16	Methanol	41,467%
rGO-CuO (1 :120 menit)	4,051	Butanol	0,1478 %
rGO-CuO (1 :120 menit)	0,51	Asam format	34,63%
rGO-CuO (1 :120 menit)	1,308	1-Propanol	17,85
rGO-CuO (1 :120 menit)	0,61	Formaldehyde	9,67%
rGO-CuO (1 :120 menit)	3,340	DMF	21,63%
rGO-CuO (1 :120 menit)	1,308	2-propanamine	12,73 %

Berdasarkan **Tabel 4.12** methanol yang dihasilkan dengan menggunakan katalist rGO 5% – CuO dengan variasi waktu penyinaran 120 menit dan waktu alir karbon dioksida 1 menit sebanyak 41, 467 %, setara



dengan 5131,541 mmol/gram katalist, selain methanol diperoleh *fuel* yang lain seperti senyawa alkohol seperti butanol dan propanol, senyawa aldehyd seperti formaldehyde, serta pelarut DMF yang terdiri dari propan amine. Asam format didapatkan dari sisa reaksi sebelum terbentuknya methanol seperti yang ditunjukkan pada persamaan 4.2. Adanya karbon dioksida menunjukkan bahwa masih adanya karbon dioksida yang belum larut sempurna. Menurut Aspasia (2016), karbon dioksida akan larut di dalam pelarut organik seperti DMF, akan tetapi tidak larut secara menyeluruh.

Hasil Uji GC – MS proses fotokatalist dengan waktu penyinaran 120 menit dengan waktu alir gas karbon dioksida 3 menit di tunjukkan pada **Tabel 4.13**. Berdasarkan **Tabel 4.13** jumlah methanol yang diperoleh sebesar 45,543 % (5635,946 mmol/gr katalist) terjadi kenaikan jumlah methanol seiring dengan meningkatnya waktu alir gas karbon dioksida, hal ini dikarenakan jumlah methanol yang di masukkan lebih banyak, sehingga yang akan terkonversi menjadi methanol jumlahnya lebih besar.

**Tabel 4. 13** Hasil Uji GC –MS variasi waktu penyinaran 120 menit dan waktu alir 3 menit

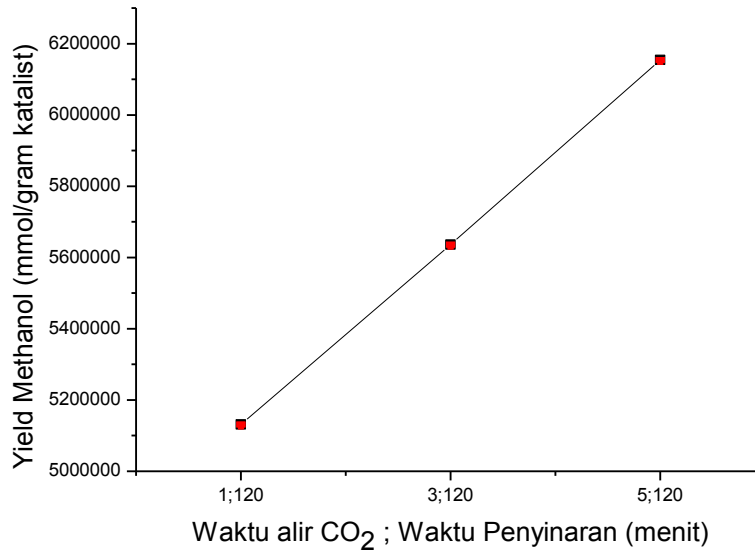
Kode Sampel	Retention Time (menit)	Nama Senyawa	% Normalisasi
rGO-CuO (3:120 menit)	1,16	Methanol	45,543%
rGO-CuO (3 :120 menit)	0,51	Asam format	9,63%
rGO-CuO (3 :120 menit)	0,61	Formaldehyde	9,67%
rGO-CuO (3:120 menit)	3,340	DMF	21,63%





**Tabel 4. 14** Hasil Uji GC –MS variasi waktu penyinaran 120 menit dan waktu alir 5 menit

Kode Sampel	Retention Time (menit)	Nama Senyawa	% Normalisasi
rGO-CuO ( 5:120 menit)	1,16	Methanol	49,730%
rGO-Cu ( 5 :120 menit)	4,051	Butanol	0,1478 %
rGO-CuO (5:120 menit)	0,51	Asam format	9,63%
rGO-CuO ( 5 :120 menit)	1,308	1-Propanol	17,85
rGO-CuO ( 5 :120 menit)	0,61	Formaldehyde	9,67%
rGO-CuO ( 5 :120 menit)	3,340	DMF	21,63%



**Gambar 4. 16** Grafik Uji GC MS pada komposit rGO – CuO dengan waktu penyinaran 120 menit dan variasi waktu alir gas CO<sub>2</sub>

Konversi karbon dioksida menjadi methanol pada komposit rGO – CuO dengan menggunakan reaksi fotokatalitik pada variasi waktu penyinaran 150 menit dengan waktu alir CO<sub>2</sub> 1 menit, 3 menit, dan 5 menit di tunjukkan pada **Tabel 4.15 – 4.17** dan **Gambar 4.16**

**Tabel 4.15** Hasil Uji GC – MS variasi waktu alir 1 menit dengan waktu penyinaran 150 menit

Kode Sampel	Retention Time (menit)	Nama Senyawa	% Normalisasi
rGO-CuO ( 1:150 menit)	1,16	Methanol	65,961%
rGO-CuO (1 :150 menit)	4,051	Butanol	0,1478 %
rGO-CuO (1:150 menit)	0,51	Asam Format	9,63%
rGO-CuO (1 :150 menit)	0,61	Formaldehyde	9,67%
rGO-CuO	3,340	DMF	21,63%



---

(1 :150 menit)

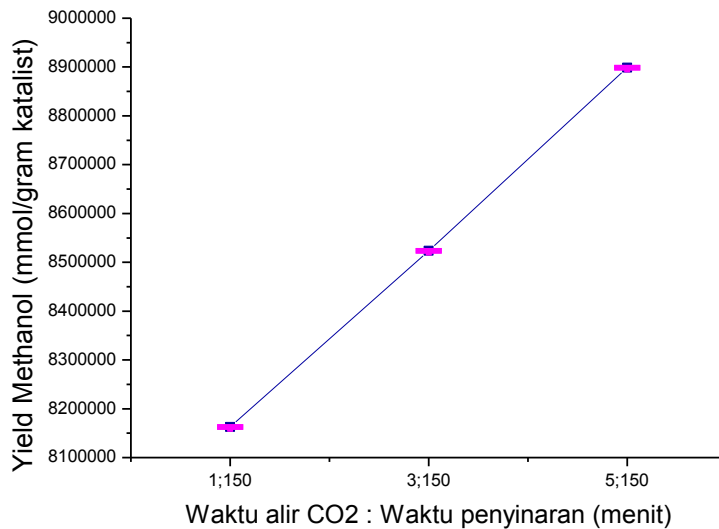
---

**Tabel 4.16** Hasil Uji GC – MS variasi waktu alir 3 menit dengan waktu penyinaran 150 menit

Kode Sampel	Retention Time (menit)	Nama Senyawa	% Normalisasi
rGO-CuO ( 3:150 menit)	1,16	Methanol	68,878%
rGO-CuO (3 :150 menit)	0,51	Asam Format	9,63%
rGO-CuO (3 :150 menit)	0,61	Formaldehyde	9,67%
rGO-CuO (3 :150 menit)	3,340	DMF	21,63%

**Tabel 4.17** Hasil Uji GC – MS variasi waktu alir 5 menit dengan waktu penyinaran 150 menit

Kode Sampel	Retention Time (menit)	Nama Senyawa	% Normalisasi
rGO-CuO ( 5:150 menit)	1,16	Methanol	71,907%
rGO-CuO (5 :150 menit)	0,51	Asam Format	9,63%
rGO-CuO (5 :150 menit)	0,61	Formaldehyde	9,67%
rGO-CuO (5 :150 menit)	3,340	DMF	8,63%



**Gambar 4. 17** Grafik Uji GC MS pada komposit rGO – CuO dengan waktu penyinaran 150 menit dan variasi waktu alir gas CO<sub>2</sub>

Berdasarkan **Tabel 4.15 – 4.17** dan **Gambar 4.17** terlihat bahwa semakin banyak aliran gas Karbon dioksida maka semakin banyak pula methanol yang di peroleh, dari grafik dapat di lihat jumlah methanol yang di peroleh dalam jumlah yang besar yaitu pada waktu alir 5 menit sebanyak 71,907 %, kemudian diikuti waktu alir 3 menit sebanyak 68, 878 % dan waktu alir CO<sub>2</sub> 1 menit sebanyak 65,961 %. Dari masing – masing tabel terlihat masih adanya pelarut DMF yang merupakan pelarut dari karbon dioksida, serta masih adanya sisa reaksi dari asam format (Persamaan 4.2)

Konversi CO<sub>2</sub> menjadi methanol dengan variasi waktu penyinaran 180 menit dan waktu alir Gas Karbon dioksida 1 menit, 3 menit, serta 5 menit ditunjukkan pada **Gambar 4. 18** dan **Tabel 4.18 – 4.20**



**Tabel 4.18** Hasil Uji GC – MS variasi waktu alir 1 menit dengan waktu penyinaran 180 menit

Kode Sampel	Retention Time (menit)	Nama Senyawa	% Normalisasi
rGO-CuO (1 : 180 menit)	1,16	Methanol	1,668%
rGO-CuO (1 : 180 menit)	4,051	Butanol	0,1478 %
rGO-CuO (1 : 180 menit)	0,51	Asam format	9,63%
rGO-CuO (1 : 180 menit)	1,308	1-Propanol	17,85
rGO-CuO (1 : 180 menit)	0,61	Formaldehyde	9,67%
rGO-CuO (1 :180 menit)	3,340	DMF	21,63%

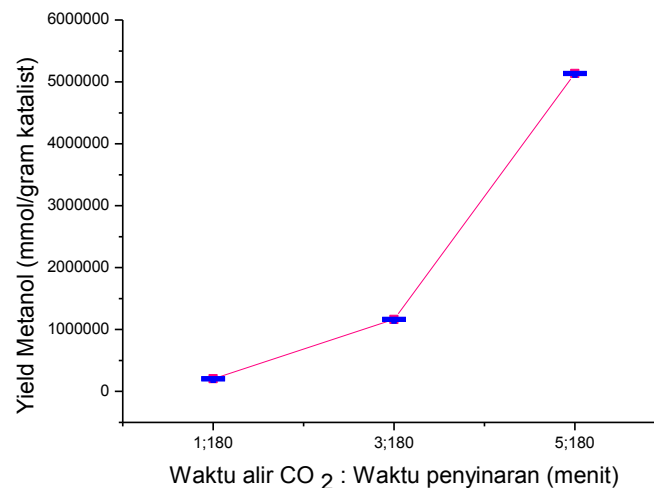
**Tabel 4.19** Hasil Uji GC – MS variasi waktu alir 3 menit dengan waktu penyinaran 180 menit

Kode Sampel	Retention Time (menit)	Nama Senyawa	% Normalisasi
rGO-CuO (3:180 menit)	1,16	Methanol	9,415%
rGO-CuO (3 :180 menit)	4,051	Butanol	0,1478 %
rGO-CuO (3 :180 menit)	0,51	Asam format	9,63%
rGO-CuO (3 :180 menit)	1,308	1-Propanol	17,85
rGO-CuO (3:180 menit)	0,61	Formaldehyde	9,67%
rGO-CuO (3 :180 menit)	3,340	DMF	21,63%
RGO-CuO (3 :180 menit)	1,308	2-propanamine	12,73 %
RGO-CuO (3 :180 menit)	1,083	Carbondioxide	15,4212 %



**Tabel 4.20** Hasil Uji GC – MS variasi waktu alir 5 menit dengan waktu penyinaran 180 menit

Kode Sampel	Retention Time (menit)	Nama Senyawa	% Normalisasi
rGO-CuO (5:180 menit)	1,16	Methanol	1,439%
rGO-CuO (5 :180 menit)	1,308	1-Propanol	17,85
rGO-CuO (5:180 menit)	0,61	Formaldehyde	9,67%
rGO-CuO (5 :180 menit)	3,340	DMF	21,63%
rGO-CuO (5 :180 menit)	1,083	Carbondioxide	15,4212 %



**Gambar 4. 18** Grafik Uji GC MS pada komposit rGO – CuO dengan waktu penyinaran 180 menit dan variasi waktu alir gas CO<sub>2</sub>

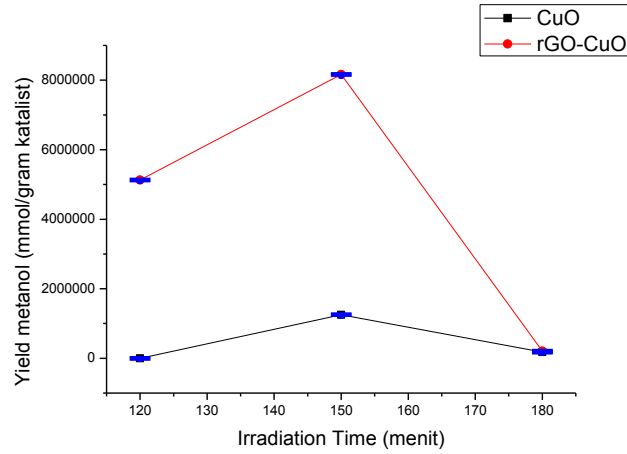
Berdasarkan **Gambar 4.18** dapat dilihat perubahan yang signifikan seiring dengan bertambahnya waktu alir gas Karbon dioksida. Terlihat waktu alir 1 menit dengan waktu penyinaran selama 180 menit menghasilkan methanol yang paling sedikit hanya sekitar 1,668%, lebih sedikit dibandingkan dengan menggunakan variasi waktu penyinaran 120, dan 150 menit. Selain methanol masih adanya fuel yang lain, seperti senyawa alkohol dan senyawa aldehyde.



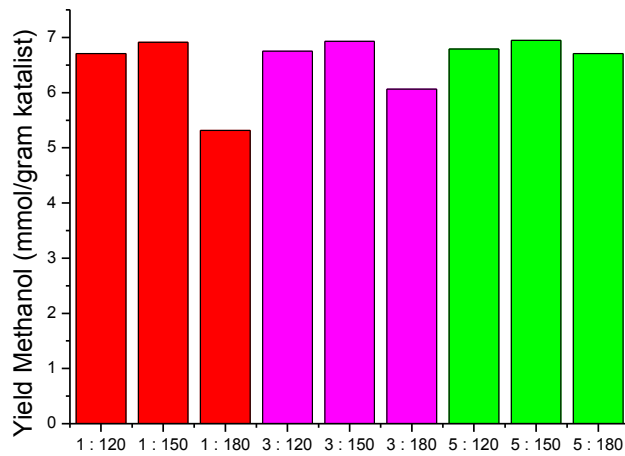
Secara keseluruhan hasil uji GCMS dengan katalis rGO/CuO dengan variasi waktu penyinaran 120, 150, dan 180 menit serta waktu alir gas CO<sub>2</sub> 1 menit, 3 menit dan 5 menit menghasilkan methanol dalam jumlah yang kecil maupun besar. Berdasarkan Data dapat dilihat bahwa methanol yang dihasilkan paling maksimal yaitu komposit rGO – CuO dengan variasi waktu penyinaran 150 menit dengan waktu alir gas Karbon dioksida 5 menit, jumlah methanol yang di hasilkan sebanyak 8898,491 mmol/gram katalist. Selanjutnya diikuti dengan waktu alir 3 menit dengan variasi waktu penyinaran 150 menit dengan jumlah methanol yang di peroleh sebesar 8523,653 mmol/gram katalist dan waktu alir 1 menit dengan waktu penyinaran 150 menit methanol yang di hasilkan sebesar 8162,674 mmol/gram katalist.

Variasi waktu penyinaran 150 menit merupakan waktu optimum penyinaran dalam mengkonversi karbon dioksida menjadi methanol, adanya penambahan graphene membantu dalam proses reaksi fotokatalitik untuk mengkonversi karbon dioksida menjadi methanol. *Graphene* memberikan luas permukaan yang besar sehingga performa dari katalist semikonduktor copper oxide untuk metransfer elektron akan menjadi lebih cepat sehingga mampu mengkonversi karbon dioksida secara maksimal.

**Gambar 4.19** merupakan diagram yang menunjukkan secara signifikan perbedaan hasil methanol yang di peroleh dengan menggunakan CuO sebagai kontrol tanpa adanya graphene dan hasil methanol yang di peroleh dengan menggunakan komposit rGO - CuO dari masing – masing variasi waktu penyinaran dan waktu alir gas karbon dioksida.



**Gambar 4. 19** Grafik Perbandingan Uji GC MS Methanol pada katalist CuO dan komposit rGO – CuO



**Gambar 4. 20** Diagram Perbandingan Uji GC MS Methanol pada komposit rGO – CuO dengan variasi waktu alir CO<sub>2</sub> dan waktu penyinaran





**Tabel 4. 21** Akumulasi methanol yang di hasilkan dengan menggunakan katalist komposit rGO – CuO dengan variasi waktu penyinaran dan waktu alir karbon dioksida

Variasi waktu alir : Waktu penyinaran	Yield methanol (mmol/gr katalist )
1 : 120	5131,541
1 : 150	8162,674
1 : 180	206,415
3 : 120	5635,946
3 : 150	8523,653
3 : 180	1165,106
5 : 120	6154,088
5 : 150	8898,491
5 : 180	5137,358

Berdasarkan **Gambar 4.21** terlihat peningkatan jumlah methanol seiring dengan meningkatnya waktu alir karbon dioksida dan waktu penyinaran, waktu penyinaran 180 menit menghasilkan methanol paling kecil di bandingkan dengan waktu penyinaran 120 dan 150 menit. Penurunan jumlah methanol yang di hasilkan pada waktu penyinaran 180 menit disebabkan metanol teroksidasi sehingga kandungan metanol berkurang, semakin lama waktu penyinaran akan membuat methanol akan teroksidasi, serta membuat katalist serta pelarut menjadi jenuh sehingga tidak mampu metransfer elektron. Sehingga dalam proses fotokatalitik di perlukan waktu optimum penyinaran untuk mengkonversi fuel. Dalam proses konversi karbon dioksida menjadi methanol, waktu optimum yang di



butuhkan untuk mengkonversi karbon dioksida secara maksimal yaitu 150 menit.

Semakin lama waktu alir maka semakin banyak pula gas karbon dioksida yang masuk ke dalam tabung erlenmeyer, sehingga semakin banyak methanol yang akan terkonversi menjadi methanol, dari diagram membuktikan bahwa semakin lama waktu alir gas karbon dioksida, jumlah methanol yang di hasilkan semakin besar, sehingga waktu alir gas karbon dioksida selama 5 menit menghasilkan methanol dalam jumlah yang besar. Konversi karbon dioksida produknya dapat berupa metana, metanol, formaldehida, karbon monoksida atau asam format. reaksi konversi karbon dioksida menjadi methanol dapat dilihat pada persamaan 2.1 hingga Persamaan 2.5

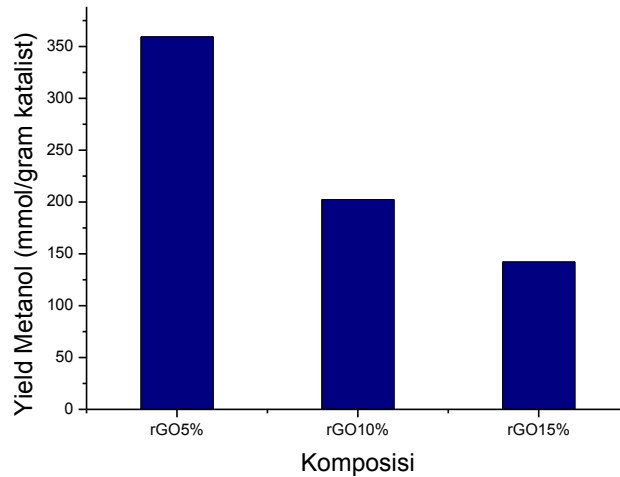
Kinerja komposit rGO – CuO dengan variasi komposisi 10 %, dan 15 % dengan waktu penyinaran 150 menit dan waktu alir karbon dioksida 5 menit, dapat di lihat pada Tabel 4.20 – 4.21.

**Tabel 4.22** Hasil uji GC – MS komposit rGO –CuO dengan variasi komposisi rGO 10 %

Kode Sampel	Retention Time (menit)	Nama Senyawa	% Normalisasi
rGO 10 %	1,16	Methanol	40,513%
	0,51	Asam format	11,53%
	1,308	1-Propanol	21,67
	0,61	Formaldehyde	10,73%
	3,340	DMF	10,13%

**Tabel 4.23** Hasil uji GC – MS komposit rGO – CuO dengan variasi komposisi rGO 15 %

Kode Sampel	Retention Time (menit)	Nama Senyawa	% Normalisasi
rGO 15 %	1,73	Methanol	28,45 %
	1,308	1-Propanol	21,15
	0,61	Formaldehyde	10,61%
	3,340	DMF	32,09%



**Gambar 4.21** Diagram Perbandingan Uji GC MS Methanol pada komposit rGO – CuO dengan variasi komposisi rGO

Berdasarkan Gambar 4.22 terlihat bahwa methanol yang dihasilkan dengan menggunakan komposit rGO – CuO dengan variasi komposisi rGO 5 %, rGO 10 % serta rGO 15 %. Jumlah methanol yang dihasilkan masing - masing sebesar 71,907 %, 40,513 %, dan untuk komposit rGO – CuO dengan variasi rGO 15 % menghasilkan methanol paling sedikit. Jumlah methanol yang dihasilkan paling banyak adalah komposisi rGO 5 %, hal ini dikarenakan jumlah *Copper oxide* dan *reduced graphene oxide* sesuai, sehingga reaksi fotokatalis dapat berlangsung dan transfer elektron berlangsung cepat untuk menghasilkan 6 elektron menjadi methanol. Dalam penelitian Nurdin, 2016 melaporkan bahwa material semikonduktor seperti CuO membantu dalam terjadinya proses fotokatalis seperti proses degradasi, maupun proses konversi karbon dioksida menjadi methanol atau bahan bakar lainnya. Ketika komposisi rGO semakin besar, proses fotokatalis tidak berlangsung secara efisien, proses transfer elektron melambat, sehingga karbon dioksida tidak dapat terkonversi menjadi methanol secara maksimal.



Dalam proses konversi karbon dioksida menjadi methanol, komposisi rGO – CuO perlu di perhatikan, ketepatan komposisi antara rGO dan CuO sangat penting dalam proses reaksi fotokatalist karena ketika komposisi rGO sangat besar, maka methanol yang dihasilkan sangat kecil, begitu pun sebaliknya.

Aplikasi komposit rGO – CuO dengan reaksi fotokatalitik untuk konversi karbon dioksida menjadi methanol telah dilakukan oleh beberapa peneliti (Tabel. 2.3) Penelitian Rashi Gusain (2016) mereduksi CO<sub>2</sub> menjadi metanol dengan menggunakan katalist rGO-CuO, methanol yang dihasilkan belum maksimal sebesar 51,16  $\mu\text{mol/jam/gram}$  katalist. Retno (2018) juga telah melakukan konversi CO<sub>2</sub> menjadi metanol dengan variasi komposisi CuO, metanol yang dihasilkan sebanyak 37,12  $\mu\text{mol/jam/gram}$  katalist, metanol yang dihasilkan belum maksimal. Sehingga dalam penelitian ini dilakukan beberapa modifikasi untuk mendapatkan metanol dengan maksimal, modifikasi variasi yang dilakukan adalah variasi waktu penyinaran, waktu alir gas karbon dioksida dan komposisi rGO. Beberapa variasi tersebut merupakan hal yang pertama kali dilakukan dalam penelitian ini, peneliti-peneliti sebelumnya hanya mengkomposisikan rGO dan CuO. Sehingga dalam penelitian ini Proses pengaplikasian rGO – CuO dilakukan dengan reaksi fotokatalitik dengan variasi waktu penyinaran (120,150,180 menit), waktu alir gas karbon dioksida (1,3,5 menit) dan komposisi rGO 5%,10 %, dan 15% diperoleh hasil metanol sebesar 3559396,5  $\mu\text{mol/jam/gram}$  katalist, Hasil ini lebih besar jika dibandingkan dengan penelitian Rashi (2016) dan Retno (2018). Sehingga sejauh ini penelitian terkait konversi karbon dioksida menjadi metanol dengan reaksi fotokatalitik, penelitian ini merupakan penelitian yang menghasilkan metanol paling maksimal.



*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

1. Komposit rGO – CuO dengan komposisi rGO 5%, 10%, dan 15 % telah berhasil disintesa dengan metode modifikasi Hummer dan hidrothermal. Komposit tersebut telah berhasil di aplikasikan sebagai material untuk mengkonversi karbon dioksida menjadi methanol.
2. Secara umum, dengan meningkatnya laju alir karbon dioksida semakin banyak karbon dioksida yang terkonversi menjadi methanol
3. Waktu yang optimum untuk menghasilkan metanol adalah variasi waktu penyinaran 150 menit. Berdasarkan hasil uji GC MS, komposisi rGO – CuO 5 % menghasilkan methanol yang paling optimal yaitu sebesar 8898,491 mmol/gr katalist. Komposisi rGO 5% yang paling baik dikarenakan pada komposisi tersebut CuO dan rGO merupakan komposisi yang tepat, terbukti dari hasil XRD dan SEM. Copper oxide terikat dengan baik pada layer rGO, sehingga CuO mampu mentransfer elektron. Komposisi yang tepat, membantu dalam meningkatkan efisiensi terkonversi CO<sub>2</sub> menjadi methanol, Adanya penambahan rGO membantu meningkatkan luas permukaan, sehingga proses transfer elektron menjadi lebih cepat, ketika proses transfer elektron cepat, maka methanol yang dihasilkan pun semakin banyak. Dalam proses konversi karbon dioksida menjadi methanol membutuhkan 6 elektron.

#### 5.2 Saran

Pada penelitian ini ada beberapa saran yang ingin penulis sampaikan bahwa:

1. Untuk mendapatkan hasil UV Vis dengan hasil absorbans tinggi, sebaiknya digunakan pelarut yang dapat melarutkan sampel secara homogen dan terlarut sempurna.



2. Sebaiknya dilakukan perancangan alat untuk mengaplikasikan proses konversi karbon dioksida menjadi methanol dalam skala lapangan.
3. Sebaiknya dilakukan pengujian fotokatalist dengan menggunakan lampu UV, untuk mendapatkan methanol yang maksimal.



*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## DAFTAR PUSTAKA

- Alfonso Reina, Thiele S., Jia X., Bhaviripudi S., Dresselhaus M.S., Schaefer J.A., Kong Jing, (2009), "[Growth of Large-Area Single-and Bi-Layer Graphene by Controlled Carbon Precipitation on Polycrystalline Ni Surfaces](#)", *Nano Research*, Vol 2, 216–509.
- Ameta Rakshit dan Ameta Suresh C, (2017), *Photocatalysis: Principles and Applications*, CRC Press Taylor&Francis Group, Francis.
- Attia AJ, Kadhim SH, Hussen FH. (2008) Photocatalytic degradation of textile dyeing wastewater using titanium dioxide and zinc oxide. E-. *Journal of Chemistry*, 5(2), 219-23.
- Bignozzi Carlo Alberto, (2011), *Photocatalysis*, Springer, Heidelberg Dordrecht London New York.
- Byrappa, K., dan M. Yoshimura. (2001). *Handbook of Hydrothermal Technology: A Technology for Crystal Growth and Materials Processing*. **Norwich: William Andrew Publishing**, LLC.
- Brady, James E., (1990), *General Chemistry*, 5th edition, John Woley&Sons, New York, 705.
- Choi, W., dan J. Lee. (2012). *Graphene: Synthesis and Applications*. Boca Ranton: Taylor & Francis Group.
- Dale A.C. Brownson, Craig E.Banks, (2014), *The Handbook of Graphene Electrochemistry*, Springer, London.
- Damastuti.R (2018), "Analisis Pengaruh Komposisi Copper oxide dan waktu alir gas CO<sub>2</sub> Terhadap reaksi fotokatalitik pada komposit rGO –CuO untuk Konversi CO<sub>2</sub> menjadi Methanol. Tesis Fakultas Teknik Industri, ITS
- Eduardo E., Pérez-Ramírez, Miguel de la Luz-Asunción, Ana L. Martínez-Hernández and Carlos Velasco-Santo, (2016), "Graphene Materials to Remove Organic Pollutants and Heavy Metals from Water", *Photocatalysis and Adsorption*, Intech, Mexico.
- Franklin RE, (1951), "The Structure of Graphitic Carbons", *Acta Cryst*, Vol 4, 253–261



- 
- Geim, A.K. and K.S. Novoselov, (2007), “The Rise of Graphene”, *Nat Mater*, Vol 6(3), 183-191.
- Gusain Rashi, Kumar Pawan, Sharma Om P., Jain Suman L., Khatri Om P., (2015) “Reduced Graphene Oxide–CuO Nanocomposites for Photocatalytic Conversion of CO<sub>2</sub> into Methanol Under Visible Light Irradiation”, *Applied Catalysis B: Environmental*, Vol 181, 352–362.
- Han F, Li F, Yang J, Cai X, Fu L, (2016), “One-Pot Synthesis of Coprous Oxide-Reduced Graphene Oxide Nanocomposite with Enhanced Photocatalytic and Electrocatalytic Performance”, *Physica E: Low Dimensional Systems and Nanostructures*, Vol 77, 122–126.
- Henderson A. Michael, (2011), “A Surface Science Perspective on TiO<sub>2</sub> Photocatalysis”, *Surface Science Reports*, Vol 66, 185–297.
- Hummer, W.S., Offerman, R.E., (1958). Preparation Of Graphitic Oxide. **J Am Chem Soc.** 80(6), 1339
- Indrakanti Venkata Pradeep, Kubicki J.D., Schobert H.H., (2009), “Photoinduced Activation of CO<sub>2</sub> on Ti-Based Heterogeneous Catalysts: Current State, Chemical Physics-Based insights and Outlook”, *Energy Environ Sci*, Vol 2, 745–758.
- Inoue, A. Fujishima, S. Konishi, K. Honda, (1979), “Photoelectrocatalytic reduction of carbon dioxide in aqueous suspensions of semiconductor powders”, *Nature*, Vol 277, 637–638.
- Johan M. R., Mohd Suan M. S., Hawari N. L., Ching H. A., (2011), “Annealing Effects on the Properties of Copper Oxide Thin Films Prepared by Chemical Deposition”, *Int. J. Electrochem. Sci*, Vol 6, 6094 -6104.
- Jones & Bartlett Learning, 2015, *Light and the Electromagnetic Spectrum*, United States.
- K. S. Novoselov, Dkk. (2005). —*Proceedings Of The National Academy Of Sciences Of The United States Of America*”.USA



- Kamat P.V, (2012), “Manipulation of Charge Transfer Across Semiconductor Interface. A criterion that Cannot be Ignored in Photocatalyst Design”, *Journal of Physical Chemistry Letters*, Vol 3, 663–672.
- Liao, Y., Z. Hu, Q. Gu, and C. Xue, (2015), “Amine-Functionalized ZnO Nanosheets for Efficient CO<sub>2</sub> Capture and Photoreduction”, *Molecules*, Vol 20, 18847–18855.
- Litter M. I., (1999), “Heterogenous Photocatalysis Transition Metal Ion in Photocatalytic System”, *Applied Catalysis B : Environmental*, 89-114.
- Liu C., S.Alwarappan, Z.Chen, X.Kong, Z.C.Li, (2010) “Membraneless enzymatic biofuel cells based on graphene nanosheets”, *Biosens Bioelectron.* 25, 1829–1833.
- Loryuenyong V, Totepvimarn Krit, Eimburanaprat Passakorn, Boonchompoo Wanchai, and Buasri Achanai, (2013), “Preparation and Characterization of Reduced Graphene Oxide Sheets Via Water-Based Exfoliation and Reduction Methods”, *Advances in Materials Science and Engineering*.
- Mao Shun, Pu Haihui, Chen Junhong, (2012), “Graphene Oxide and its Reduction: Modeling and Experimental Progress”, *RSC Advances*, Vol 2, 2643–2662.
- Mikkelsen Mette, Jorgensen Mikkel, Krebs F.C., (2010), “The Teraton Challenge: A Review Offixation and Transformation of Carbon Dioxide”, *Energy Environmental Science*, Vol 3, 43–81.
- Nguyen-Phan T-D, Pham VH, Shin EW, Pham H-D, Kim S, Chung J S, Kim EJ, Hur S H., (2011), “The Role of Graphene Oxide Content on the Adsorption-Enhanced Photocatalysis of Titanium Dioxide/Graphene Oxide Composites”, *Chemical Engineering Journal*, Vol 170, 226–232.
- Ola, O., M. M. Maroto-Valer, and S. Mackintosh, (2013). “Turning CO<sub>2</sub> into Valuable Chemicals”, *Energy Procedia*, Vol 37, 6704–6709.
- Pei, S., Dan H.M. Cheng. (2012). —The Reduction Of *Graphene* Oxide. **Carbon**, Hal : 3210-3228.



- Renaud Kiesgen de Richter, Ming Tingzhen, Caillo Sylvain, (2012), "Fighting Global Warming by Photocatalytic Reduction of CO<sub>2</sub> Using Giant Photocatalytic Reactors", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier.
- Safitri, D. dan Susanti, D. 2017. " Analisa Pengaruh Doping Nitrogen Terhadap Sifat Kapasitif Superkapasitor Berbahan Graphene". **Tugas Akhir S1 Teknik Material DanMetalurgi ITS**. Surabaya
- Sun L, Wang G, Hao R, Han D, Cao S., (2015), "Solvothermal Fabrication and Enhanced Visible Light Photocatalytic Activity of Cu<sub>2</sub>O-Reduced Graphene Oxide Composite Microspheres for Photodegradation of Rhodamine B", *Applied Surface Science*, Vol 358, 91–99.
- Szczepankiewicz, A.J. Colussi, M.R. Hoffmann, (2000), "Infrared Spectra of Photoinduced Species on Hydroxylated Titania Surfaces", *J. Phys. Chem. B* Vol 104, 9842–9850.
- Tian, H. Li, Z. Xing, L. Wang, Y. Luo, A.M. Asiri, A.O. Al-Youbi, X. Sun, (2012), "One-Potgreen Hydrothermal Synthesis of Cu<sub>2</sub>O–Cu<sub>2</sub>O–Cu Nanorod-Decorated Reducedgraphene Oxide Composites and Their Application in Photocurrent Generation" ,*Catalysis Science and Technology*, Vol 2, 2227–2230.
- Vu THT, Tran TTT, Le HNT, Nguyen PHT, Bui NQ, Essayem N (2015), "A new green approach for the reduction of graphene oxide nanosheets using caffeine", *Researchgate*.
- Wang Dan, Yan Wei, Vijapur Santosh H., Botte G.G., (2013) "Electrochemically Reduced Graphene Oxide–Nickel Nanocomposites for Urea Electrolysis", *Electrochimica. Acta*, Vol 89, 732-736.
- Wang Yan, Wen Z, Zhang H, Cao G, Sun Q, Cao J., (2016), CuO Nanorods-Decorated Reduced Graphene Oxide Nanocatalysts for Catslytic Oxidation of CO", *Catalysts*.



- Widodo, S. 2010. Teknologi Sol Gel Pada Pembuatan Nano Kristalin Metal Oksida Untuk Aplikasi Sensor Gas. *Seminar Rekayasa Kimia Dan Proses*. ISSN: 1411-4216 : 21.
- Wu Zhong- Shuai, Zhou G., Yin Li-Chang, Ren W., Li F., Cheng Hui-Ming, (2012), “Graphene/Metal Oxide Composite Electrode Materials for Energy Storage”, *Nano Energy*, Vol 1, 107-131.
- Yulita. R., Upita, S., Yetria, R. 2012. Optimasi Proses Kalsinasi Pada Sintesis Komposit TiO<sub>2</sub>/Kitosan. *Jurnal Kimia Unand*. 1 (1): 59-66.
- Yusoff Norazriena Binti, (2013), Synthesis Of Functionalized Graphene/ Copper Oxide (CuO) Nanocomposites and Their Catalytic Activity, Dissertation Ph. D., University of Malaya, Kuala Lumpur.
- Zhang, X. W., Yang, G. W. (2012). "Novel Band Structures and Transport Properties from Graphene Nanoribbons with Armchair Edges". **J. Phys, Chem. C** 113, 4662–4668.
- Zhigang N, (2014), “Reduced Graphene Oxide-Cuprous Oxide Hybrid Nanopowders: Hydrothermal Synthesis and Enhanced Photocatalytic Performance Under Visible Light Irradiation”, *Materials Science in Semiconductor Processing*, Vol 23, 78–84.
- Zhou, Yong. Qiaoliang Bao. Lena Ai Ling Tang. Yulin Zhong. Kian Ping Loh (2009). —Hydrothermal Dehydration For The Green Reduction Of Exfoliated *Graphene* Oxide To *Graphene* And Demonstration Of Tunable Optical Limiting Properties. **Department Of Chemistry, National University Of Singapore (NUS)**. Singapore
- Zou W, Zhang L, Liu L, Wang X, Sun J, Wu S, Deng Y, Tang C, Gao F, Dong L., (2015), “Engineering the Cu<sub>2</sub>-Reduced Graphene Oxide Interface to Enhance Photocatalytic Degradation of Organic Pollutants Under Visible Light”, *Applied Catalysis B, Environmental*, Vol 181, 495–5



---

## LAMPIRAN

### 1. Grafik XRD

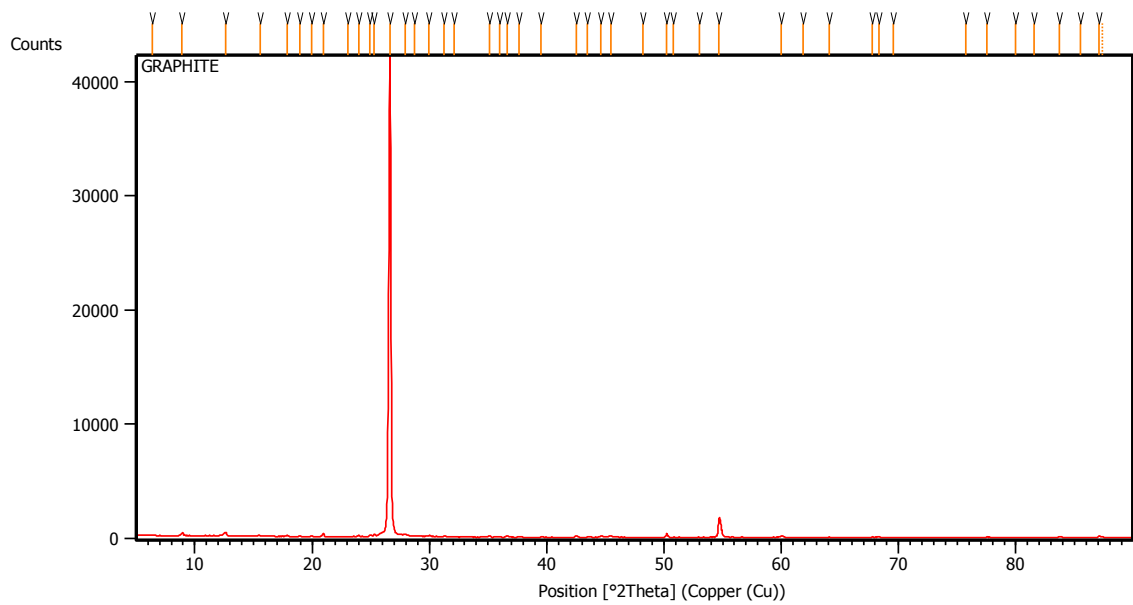
#### Measurement Conditions:

Raw Data Origin	PHILIPS-binary (scan) (RD)
Scan Axis	Gonio
Start Position [ $^{\circ}2\theta$ .]	5.0084
End Position [ $^{\circ}2\theta$ .]	89.9744
Step Size [ $^{\circ}2\theta$ .]	0.0170
Scan Step Time [s]	10.1500
Scan Type	Continuous
Offset [ $^{\circ}2\theta$ .]	0.0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [ $^{\circ}$ ]	0.2500
Specimen Length [mm]	10.00
Receiving Slit Size [mm]	12.7500
Measurement Temperature [ $^{\circ}\text{C}$ ]	-273.15
Anode Material	Cu
K-Alpha1 [ $\text{\AA}$ ]	1.54060
K-Alpha2 [ $\text{\AA}$ ]	1.54443
K-Beta [ $\text{\AA}$ ]	1.39225
K-A2 / K-A1 Ratio	0.50000
Generator Settings	30 mA, 40 kV
Diffractometer Type	XPert MPD
Diffractometer Number	1
Goniometer Radius [mm]	200.00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]	91.00
Incident Beam Monochromator	No
Spinning	Yes



**a. Grafit**

**Main Graphics, Analyze View:**



**Peak List:**

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
6.3491	57.24	0.2676	13.92130	0.14
8.9272	282.52	0.0669	9.90591	0.67
12.6635	284.36	0.1171	6.99039	0.67
15.5930	50.93	0.9368	5.68306	0.12
17.8681	119.16	0.1338	4.96427	0.28
18.9265	78.80	0.1338	4.68898	0.19
19.9395	65.63	0.1673	4.45298	0.16
20.9316	320.56	0.1171	4.24411	0.76
23.0162	33.80	0.2676	3.86423	0.08



TESIS  
Program Studi Magister  
Departement Teknik Material  
FTI-ITS

---

---

23.9826	130.11	0.1673	3.71065	0.31
24.9384	174.08	0.1673	3.57056	0.41
25.2989	297.95	0.0669	3.52050	0.71
26.6318	42241.08	0.1840	3.34725	100.00
27.9237	239.27	0.2676	3.19525	0.57
28.7059	122.39	0.2342	3.10994	0.29
29.9345	143.58	0.1338	2.98504	0.34
31.2784	92.49	0.2007	2.85978	0.22
32.1313	53.39	0.1338	2.78580	0.13
35.1217	92.82	0.2342	2.55515	0.22
36.0163	35.71	0.2007	2.49371	0.08
36.6090	133.40	0.1171	2.45469	0.32
37.6747	41.31	0.2676	2.38767	0.10
39.5211	82.47	0.1673	2.28027	0.20
42.5046	129.17	0.2007	2.12687	0.31
43.4777	35.07	0.2676	2.08149	0.08
44.6381	181.74	0.2007	2.03005	0.43
45.4549	161.98	0.2007	1.99545	0.38
48.2306	15.99	0.4015	1.88690	0.04
50.2368	367.18	0.0612	1.81465	0.87
50.7849	33.69	0.2007	1.79783	0.08
52.9957	20.82	0.4015	1.72792	0.05
54.7040	1703.59	0.1840	1.67793	4.03
59.9868	164.13	0.1673	1.54218	0.39
61.8636	24.76	0.4015	1.49983	0.06
64.1007	20.73	0.4015	1.45278	0.05
67.7571	62.22	0.1004	1.38301	0.15
68.3506	41.22	0.2342	1.37244	0.10
69.5417	22.93	0.3346	1.35182	0.05

---





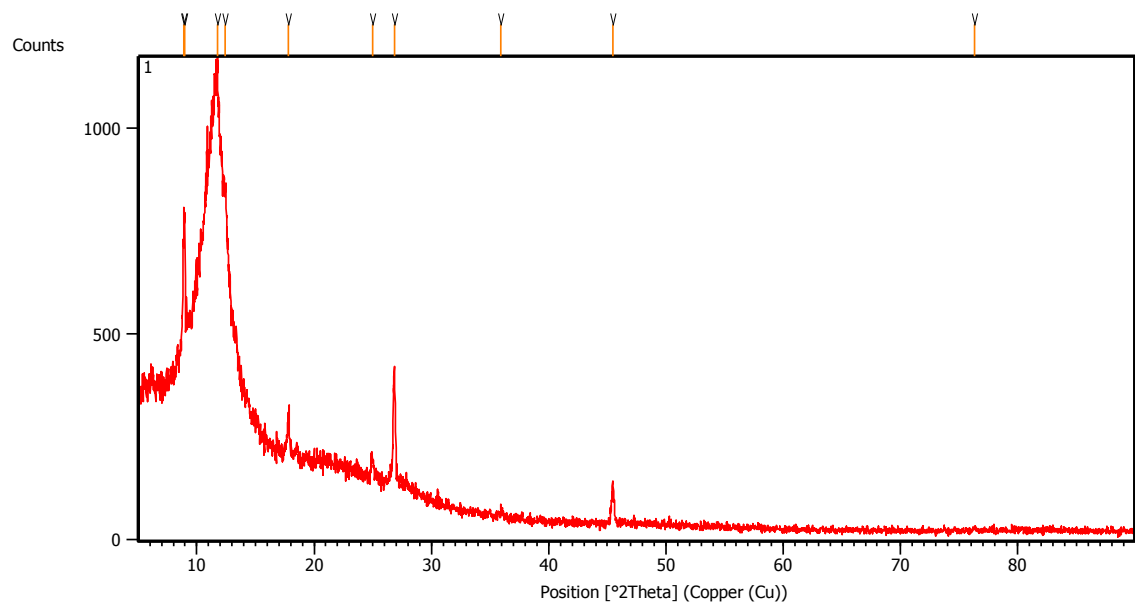
---

75.7598	19.31	0.4015	1.25558	0.05
77.5233	64.89	0.1224	1.23035	0.15
79.9975	19.87	0.4015	1.19940	0.05
81.5429	27.17	0.4015	1.18053	0.06
83.7027	71.21	0.3346	1.15548	0.17
85.4870	24.92	0.4015	1.13587	0.06
87.0809	211.33	0.1224	1.11821	0.50
87.3940	127.28	0.1224	1.11778	0.30

---

**b. Grafit Oksida (GO)**

**Main Graphics, Analyze View:**





---

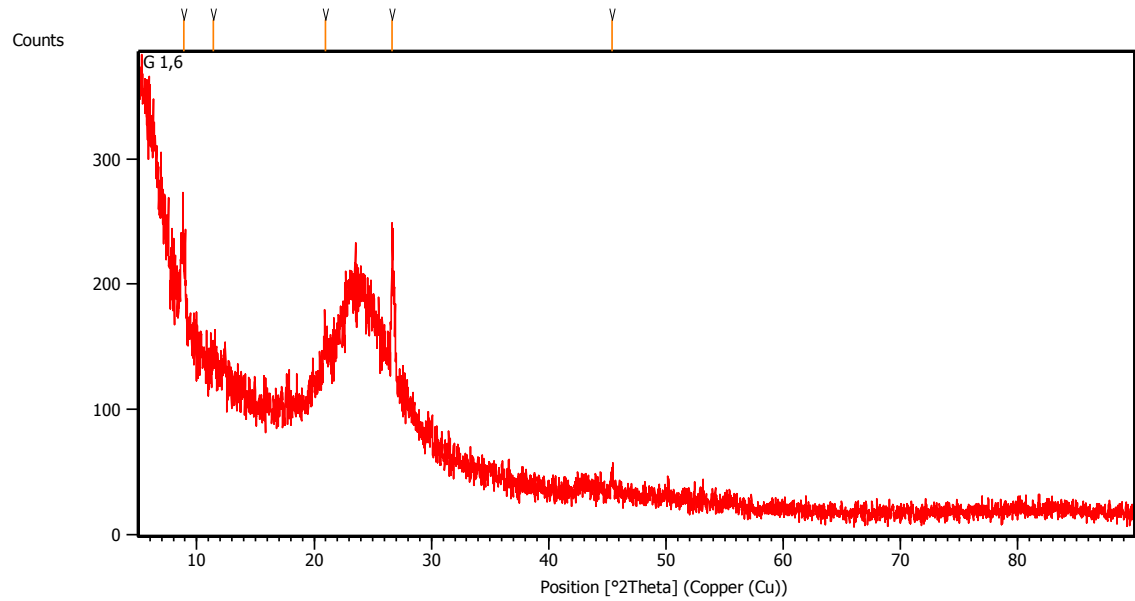
**Peak List:**

Pos. [ $^{\circ}2\theta$ .]	Height [cts]	FWHM Left [ $^{\circ}2\theta$ .]	d-spacing [ $\text{\AA}$ ]	Rel. Int. [%]
8.8639	322.52	0.1004	9.97648	42.23
8.9779	413.14	0.0502	9.85014	54.09
11.7408	763.80	0.3346	7.53760	100.00
12.4328	470.25	0.2007	7.11957	61.57
17.8291	100.47	0.1338	4.97503	13.15
24.9578	51.54	0.2342	3.56783	6.75
26.8509	276.16	0.0836	3.32043	36.16
35.8985	9.50	0.4015	2.50162	1.24
45.4667	105.13	0.1673	1.99496	13.76
76.3187	7.12	0.4015	1.24777	0.93



### c. Reduced Graphene Oxide (rGO)

#### Main Graphics, Analyze View:



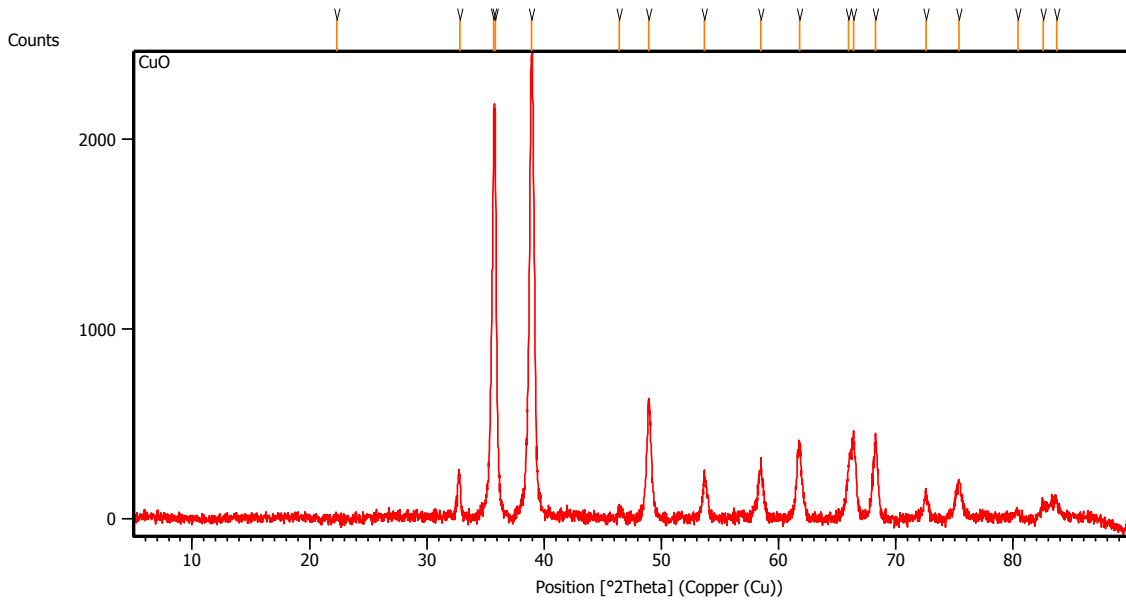
#### Peak List:

Pos. [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	Height [cts]	FWHM Left [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	d-spacing [ $\text{\AA}$ ]	Rel. Int. [%]
8.8807	56.46	0.4015	9.95771	61.54
11.4264	15.52	0.4015	7.74432	16.91
20.9639	16.71	0.4015	4.23764	18.21
26.6665	91.75	0.2007	3.34297	100.00
45.4358	14.94	0.2342	1.99624	16.28



#### d. Tembaga (II) Oksida

#### Main Graphics, Analyze View:



#### Peak List:

Pos. [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	Height [cts]	FWHM Left [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	d-spacing [ $\text{\AA}$ ]	Rel. Int. [%]
22.3578	9.97	0.4684	3.97650	0.42
32.8158	204.26	0.2676	2.72923	8.51
35.7154	2070.31	0.1020	2.51195	86.29
35.8146	2141.62	0.0836	2.50729	89.26
38.9063	2399.22	0.1171	2.31487	100.00
46.4168	56.09	0.2676	1.95631	2.34
48.9337	644.13	0.1171	1.86142	26.85
53.6680	241.46	0.1673	1.70785	10.06
58.4983	287.91	0.1338	1.57782	12.00



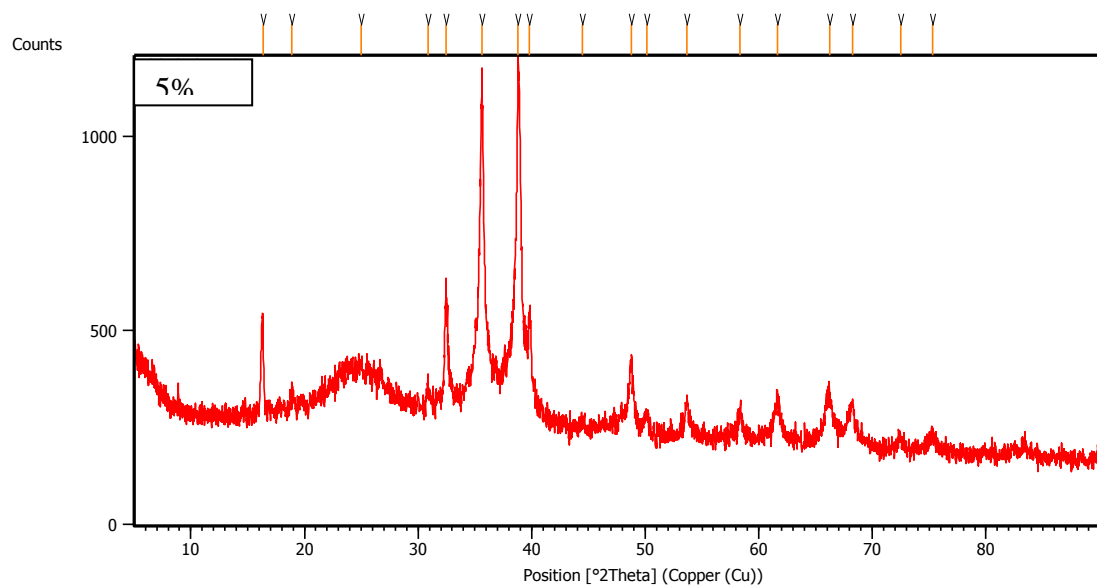
---

61.7831	395.32	0.1673	1.50159	16.48
65.9882	310.95	0.2676	1.41572	12.96
66.3796	440.34	0.1171	1.40832	18.35
68.2442	429.13	0.2007	1.37432	17.89
72.5451	151.13	0.1171	1.30308	6.30
75.3862	197.30	0.1673	1.26087	8.22
80.4050	38.91	0.3346	1.19434	1.62
82.5263	86.28	0.2007	1.16894	3.60
83.7060	93.14	0.2676	1.15544	3.88

---

**e. Komposit rGO 5%/CuO**

Main Graphics, Analyze View:





---

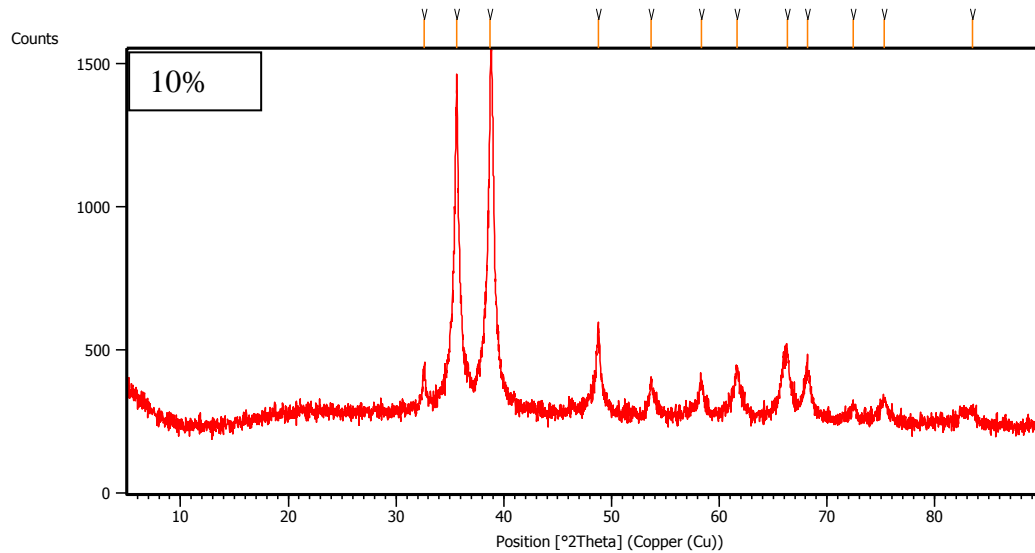
**Peak List:**

Pos. [ $^{\circ}2\theta$ .]	Height [cts]	FWHM Left [ $^{\circ}2\theta$ .]	d-spacing [ $\text{\AA}$ ]	Rel. Int. [%]
16.3321	260.15	0.0836	5.42752	32.06
18.9150	33.30	0.3346	4.69179	4.10
24.9890	19.44	0.4015	3.56345	2.40
30.8629	44.71	0.2007	2.89733	5.51
32.4462	277.66	0.2342	2.75948	34.22
35.5942	764.72	0.2342	2.52231	94.25
38.8070	811.33	0.2342	2.32057	100.00
39.7931	214.39	0.2342	2.26531	26.42
44.4875	24.15	0.4015	2.03656	2.98
48.7874	186.36	0.2007	1.86666	22.97
50.1510	48.09	0.5353	1.81905	5.93
53.6400	86.26	0.2007	1.70868	10.63
58.3381	62.69	0.3346	1.58177	7.73
61.6474	109.15	0.2007	1.50457	13.45
66.2507	106.24	0.5353	1.41075	13.09
68.2365	97.09	0.2676	1.37446	11.97
72.4813	36.05	0.2676	1.30407	4.44
75.3246	39.87	0.6691	1.26175	4.91



**f. Komposit rGO 10%/ CuO**

Main Graphics, Analyze View:

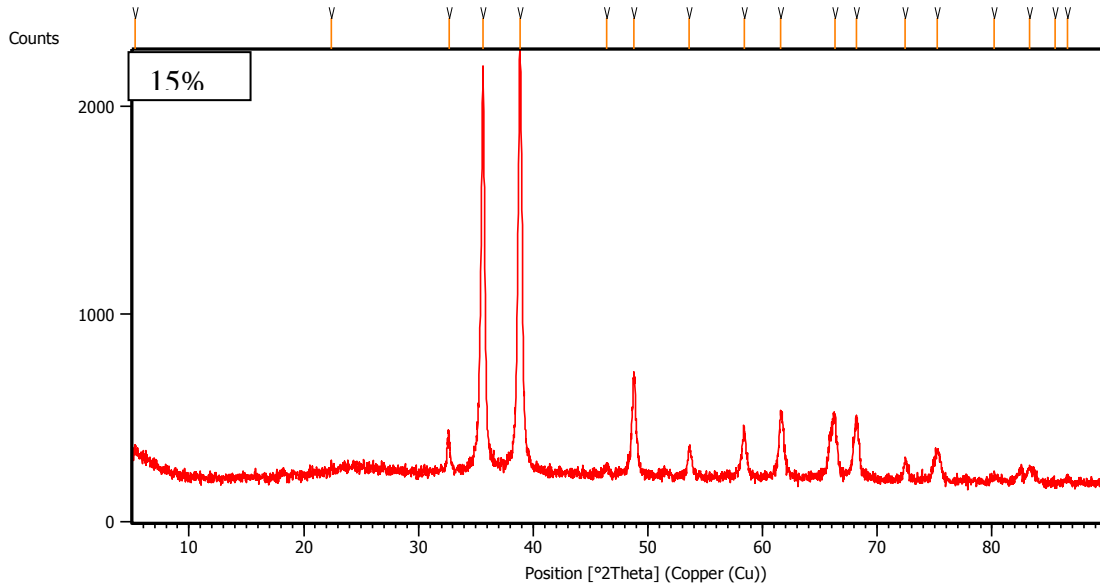


**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	Height [cts]	FWHM Left [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	d-spacing [ $\text{\AA}$ ]	Rel. Int. [%]
32.6383	132.10	0.2007	2.74367	12.20
35.6283	1044.03	0.1004	2.51997	96.44
38.7401	1082.61	0.1171	2.32443	100.00
48.7553	286.56	0.1673	1.86781	26.47
53.6748	125.57	0.1673	1.70765	11.60
58.3305	110.39	0.3346	1.58196	10.20
61.6483	160.92	0.2676	1.50455	14.86
66.2947	221.57	0.2676	1.40992	20.47
68.1468	178.91	0.3346	1.37605	16.53
72.4441	51.99	0.3346	1.30465	4.80
75.3224	78.83	0.6022	1.26178	7.28
83.5130	40.96	0.5353	1.15762	3.78



**g. Komposit rGO 15%/ CuO**



**Peak List:** (Bookmark 3)

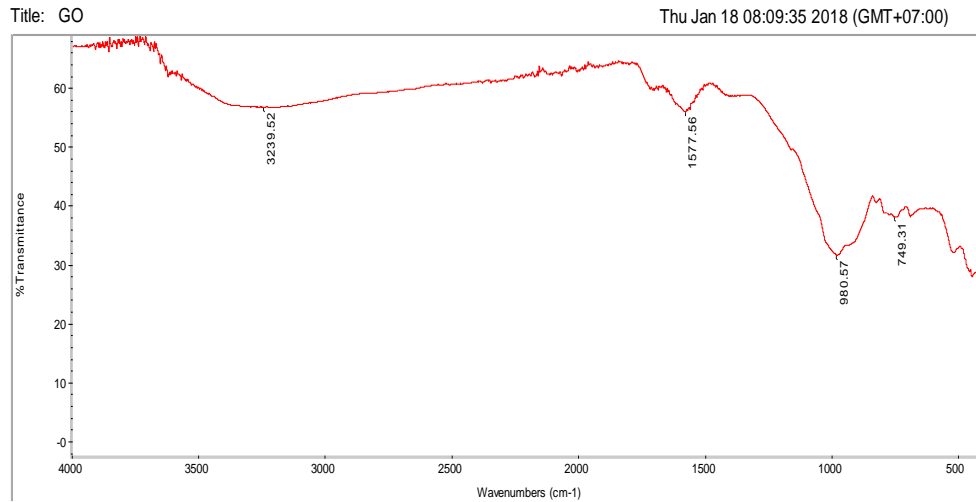
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
5.3164	71.84	0.4015	16.62316	3.61
22.4040	37.52	0.1004	3.96841	1.88
32.6508	170.53	0.2007	2.74265	8.56
35.6597	1854.39	0.1338	2.51783	93.08
38.8605	1992.19	0.1840	2.31750	100.00
46.4399	46.00	0.4015	1.95539	2.31
48.7574	462.04	0.0836	1.86773	23.19
53.6030	136.03	0.2676	1.70977	6.83
58.3902	232.15	0.3011	1.58048	11.65
61.5629	299.73	0.2342	1.50643	15.05
66.3091	299.13	0.2007	1.40965	15.02
68.1723	289.10	0.2676	1.37560	14.51
72.4273	91.36	0.3346	1.30491	4.59
75.2332	143.16	0.5353	1.26305	7.19
80.1809	27.29	0.5353	1.19711	1.37
83.2617	64.72	0.2007	1.16048	3.25
85.4672	4.22	0.1428	1.13515	0.21
86.5716	18.59	0.4015	1.12441	0.93



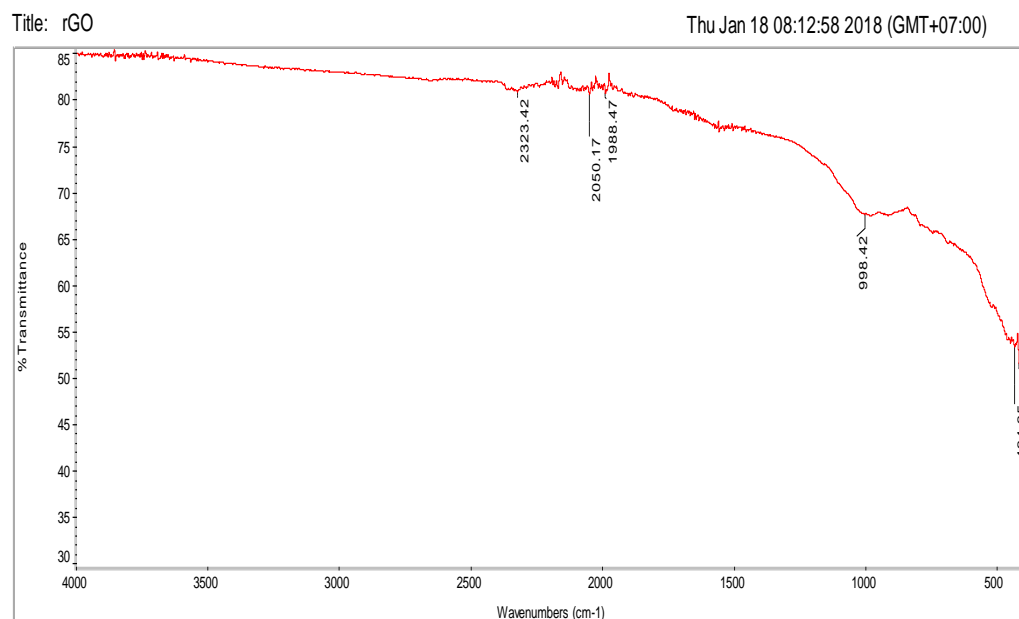


## 2. Grafik FTIR

### a. Grafit Oksida (GO)

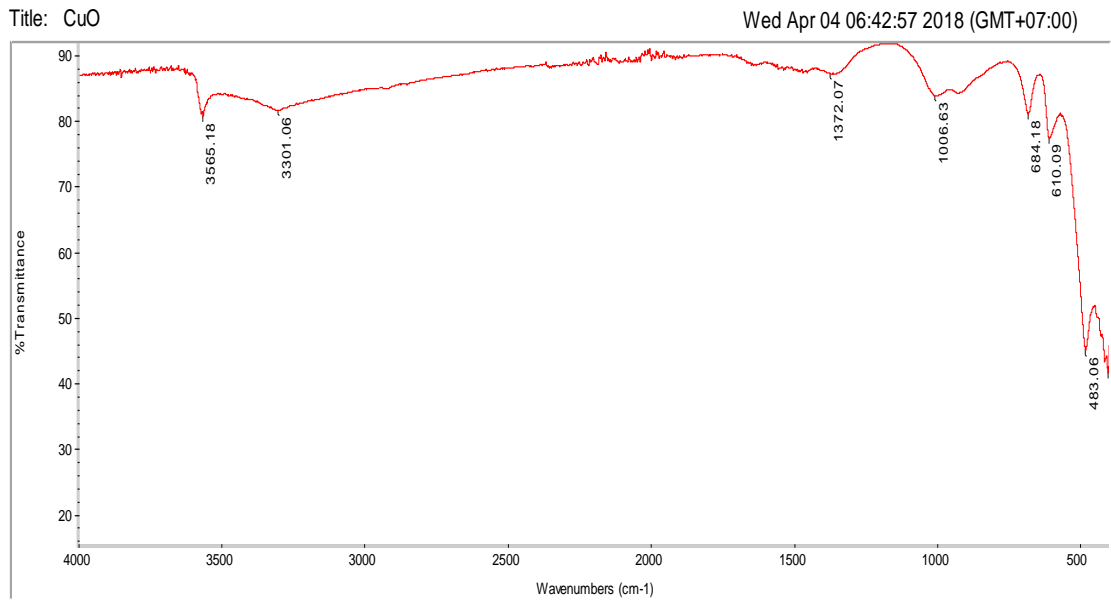


### b. Reduced Graphene Oxide (rGO)

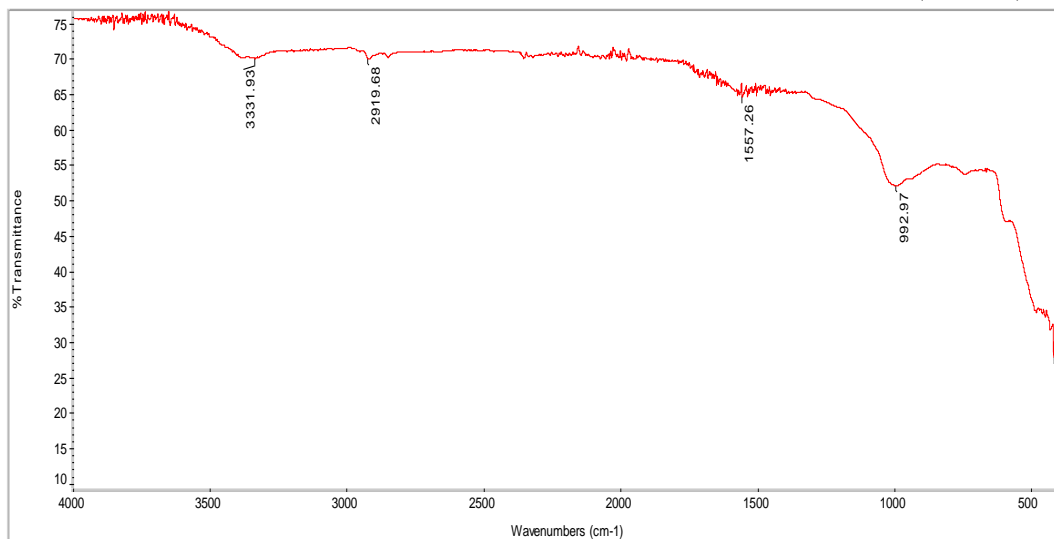




**c. CuO**



**d. Komposit rGO/CuO 5%**

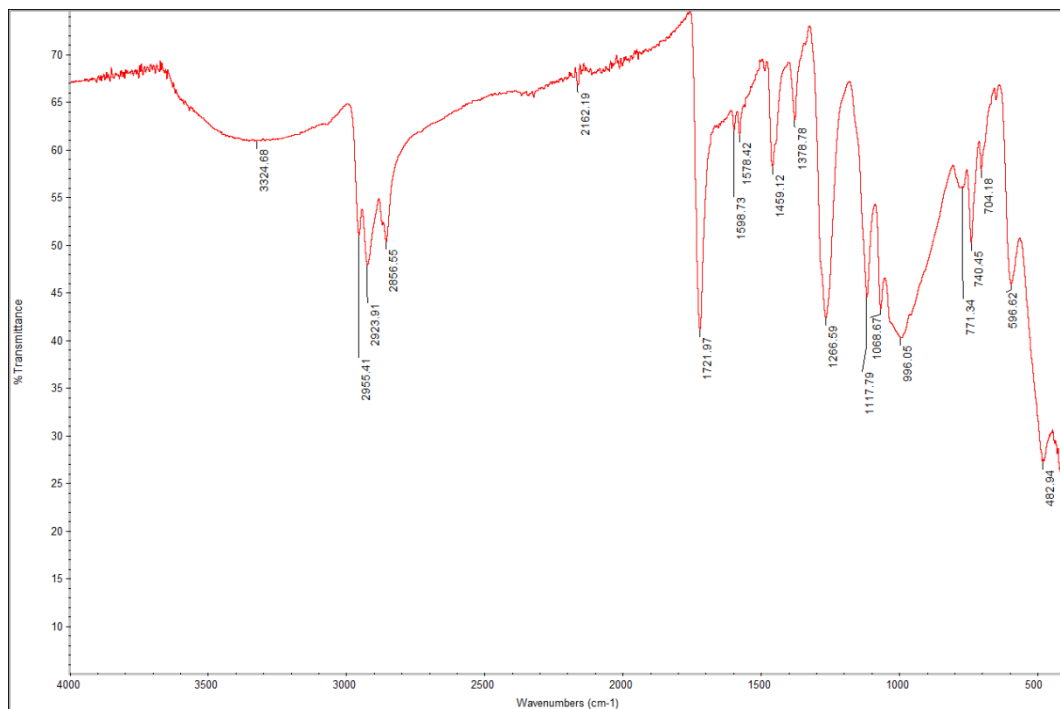




**e. Komposit rGO –CuO 10 %**

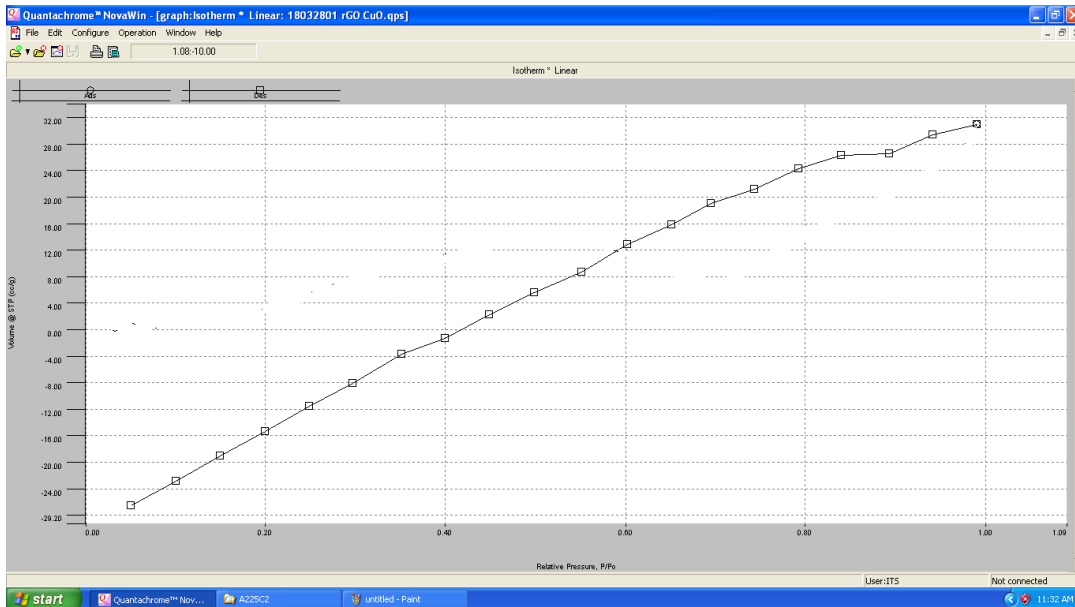


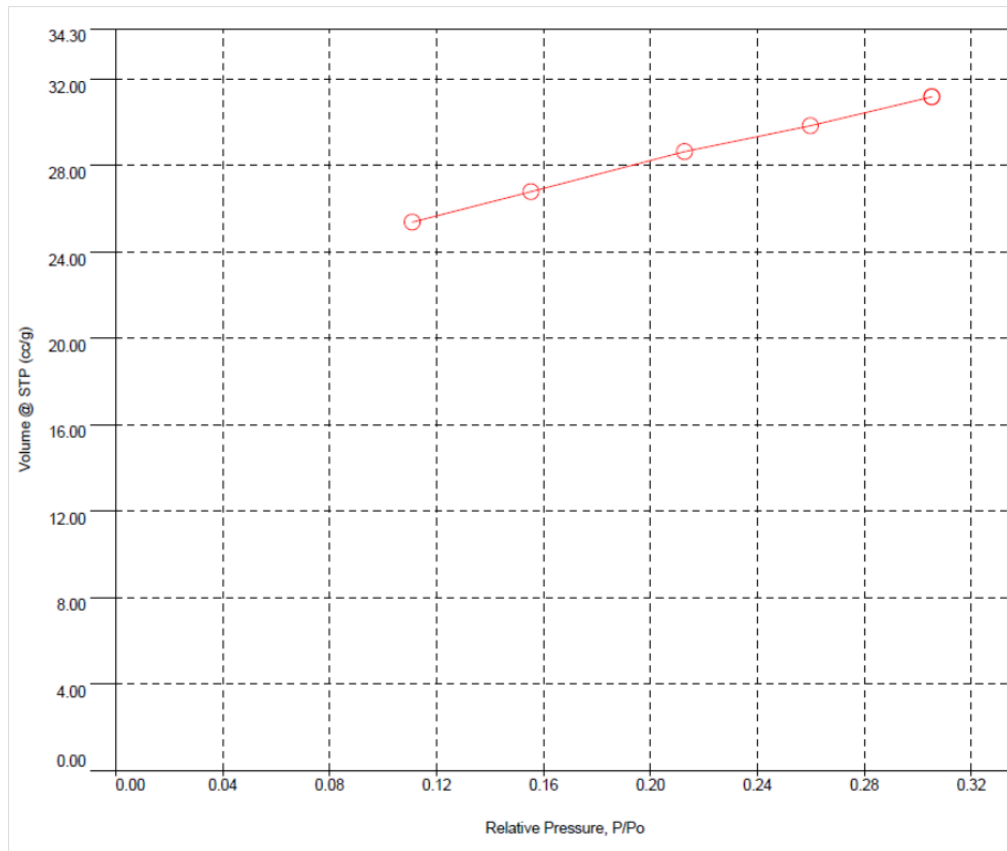
**f. Komposit rGO –CuO 15 %**





### 3. Grafik BET





#### 4. Perhitungan Konversi CO<sub>2</sub>

Contoh perhitungan pada komposit rGO/CuO pada waktu alir : waktu penyinaran 5 : 150 menit saat menghasilkan metanol

Diketahui :  $Volume\ injeksi = 1\mu L$

$$CH_3OH = 71,907\% \text{ volume}$$

$$\rho_{CH_3OH} = 0,792 \frac{gr}{cm^3}$$

$$Mr\ CH_3OH = 32$$

$$CH_3OH = \frac{71,907}{100} \times 1\mu L = 0,71907\mu L$$

$$= 0,71907 \times 10^{-6} L = 0,71907 \times 10^{-3} cm^3$$

$$massa\ CH_3OH = 0,792 \frac{gr}{cm^3} \times 0,71907 \times 10^{-3} cm^3 = 0,000569503gr$$

$$mol\ CH_3OH = \frac{0,000569503gr}{32} = 1,78 \times 10^{-5} mol = 17,79698\ \mu mol$$

Karena total volume sampel 50 ml maka total mol CH<sub>3</sub>OH adalah :



$$17,79698 \mu\text{mol} \times \frac{50 \text{ ml}}{\text{volume injeksi}}$$

$$17,79698 \mu\text{mol} \times \frac{50 \text{ ml}}{1 \times 10^{-3} \text{ ml}} = 889849, \mu\text{mol}$$

$$\begin{aligned} \text{Hasil total } \text{CH}_3\text{OH} \text{ dalam } 50 \text{ ml larutan DMF} &= \frac{889849,1 \mu\text{mol}}{0,1 \text{ gr catalyst}} \\ &= 889849 \frac{\mu\text{mol}}{\text{gr catalyst}} \\ &= 8898,49 \text{ mmol/grkatalist} \end{aligned}$$

**Tabel 1.** Perhitungan hasil konversi CO<sub>2</sub> menjadi metanol

rGO-CuO	mmol/gr katalist
1 : 120	5131,541
1 : 150	8162,674
1 : 180	206,415
3 : 120	5635,946
3 : 150	8523,653
3 : 180	1165,106
5 : 120	6154,088
5 : 150	8898,491
5 : 180	5137,358



---

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Destri Muliastri, merupakan anak kedua dari pasangan Muhammad Natsir Naping, BA dan Asnawati, B.Sc yang lahir di Kolaka 18 Desember 1994. Penulis menyelesaikan studi formalnya di SDN 3 Laloeha, MTS Negeri 1 Kolaka dan di SMA Negeri 1 Kolaka. Kemudian melanjutkan pendidikan sarjana di Jurusan Kimia Universitas Halu Oleo Kendari, Sulawesi Tenggara.

Selama menjadi mahasiswi Jurusan kimia, penulis aktif di organisasi Himpunan Mahasiswa Jurusan Kimia (HMJ) FMIPA -UHO sebagai Staff Departemen Kesejahteraan Mahasiswa, serta aktif menjadi asisten laboratorium di laboratorium Kimia Fisika, penulis aktif mengikuti Program Kreativitas Mahasiswa, Hingga Penulis pernah mengikuti Pekan Ilmiah Mahasiswa Nasionak Ke-28 dan berhasil mendapatkan medali perunggu kategori presentase.

Tahun 2016 penulis melanjutkan studi Magister di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS. Di jurusan ini penulis mengambil Tesis dalam Bidang Studi Material Inovatif dengan judul “Aplikasi komposit rGO –CuO sebagai fotokatalist Untuk Konversi CO<sub>2</sub> Menjadi Metanol Di Bawah Irradiasi Sinar Tampak”

Nomor telepon selular yang dapat dihubungi 085340825441 atau bisa hubungi di alamat email [destrimuliastridm@gmail.com](mailto:destrimuliastridm@gmail.com)