

TESIS - TL142501

ANALISA PENGARUH KOMPOSISI CuO DAN WAKTU ALIR CO₂ PADA KOMPOSIT rGO/CuO TERHADAP REAKSI FOTOKATALITIK UNTUK KONVERSI CO₂ MENJADI METANOL

RETNO DAMASTUTI NRP. 02511550010202

DOSEN PEMBIMBING

Diah Susanti ST., MT., Ph.D

Dr. Eng. Hosta Ardhyananta. ST., M.Sc

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



TESIS - TL142501

COMPOSITION ANALYSIS OF EFFECT CUO AND TIME FLOW CO₂ ON COMPOSITE RGO/CUO TOWARD THE PHOTOCATALYTIC REACTION FOR CONVERSION OF CO₂ INTO METHANOL

RETNO DAMASTUTI NRP. 02511550010202

ADVISOR

Diah Susanti ST., MT., Ph.D

Dr. Eng. Hosta Ardhyananta. ST., M.Sc

MAGISTER PROGRAM
INNOVATIVE MATERIAL
DEPARTEMEN OF MATERIAL AND METALLURGYCAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh

gelar

Magister Teknik

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Retno Damastuti

NRP 02511550010202

Tanggal Ujian : 10 Januari 2018

Periode Wisuda: Maret 2018

Disetujui oleh:

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

NIP. 197701162003122001

2. Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc

NIP. 198012072005011004

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

NIP. 197703132003121001

4. Dr Agung Purniawan, S.T., M.Sc

NIP. 197605282002121003

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

NIP. 197801132002121003

(Pembimbing I)

(Pembimbing II)

w

The st

Penguii)

ogi **Dekam Fakult**as Teknologi Industri - ITS

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

NIP. 196905071995121001

ANALISA PENGARUH KOMPOSISI CUO DAN WAKTU ALIR CO₂ PADA KOMPOSIT RGO/CUO TERHADAP REAKSI FOTOKATALITIK UNTUK KONVERSI CO₂ MENJADI METANOL

Nama Mahasiswa : Retno Damastuti NRP : 02511550010202

Dosen Pembimbing : Diah Susanti, ST., MT., Ph.D

Ko - Pembimbing : Dr. Eng. Hosta Ardhyananta. ST., M.Sc

ABSTRAK

Peningkatan jumlah gas CO₂ menyebabkan terjadinya pemanasan global. Mengkonversi CO₂ menjadi bahan bakar dengan proses fotokatalitik adalah salah satu solusi untuk mengurangi jumlah CO2. 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 komposisi CuO pada komposit rGO/CuO dengan variasi komposisi (1:10, 1:20, 1:30) dan variasi waktu alir CO₂ 5,10 dan 15 menit terhadap reaksi fotokatalitik untuk mengkonversi CO2 menjadi methanol. Hasil uji X-ray diffraction (XRD) dan scanning electron microscopy (SEM) menunjukkan struktur kristal dan morfologi rGO semakin tidak terlihat bertambahnya seiring komposisi CuO. Adanya linker 3aminopropyltrimethoxysilane (APTMS) 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 dengan variasi rasio komposisi berat 1:20 pada waktu alir gas CO₂ selama 10 menit sebesar 37,12 mmol metanol /gram katalis. Selain metanol produk yang juga dihasilkan berupa ethanamine sebanyak 8730 mmol /gram katalis dan aldehyde sebanyak 17,1 mmol /gram katalis.

Kata Kunci: Reduced Graphene Oksida, CuO, fotokatalitik, CO₂ conversion, metanol



Halaman ini sengaja dikosongkan

COMPOSITION ANALYSIS OF EFFECT CUO AND TIME FLOW CO₂ ON COMPOSITE RGO/CUO TOWARD THE PHOTOCATALYTIC REACTION FOR CONVERSION OF CO₂ INTO METHANOL

Name : Retno Damastuti NRP : 02511550010202

Advisor : Diah Susanti, ST., MT., Ph.D

Co – Advisor : Dr. Eng. Hosta Ardhyananta. ST., M.Sc

ABSTRACT

Increasing the amount of CO2 gases causes global warming. Converting CO₂ to fuel by photocatalytic process is one solution to reduce the amount of CO₂ Reduced Graphene Oxide (RGO) combined with Copper (II) Oxide (CuO) has the ability to store and drain electrons through electron transfer processes that play the most important role in photocatalytic reaction activities. The purpose of this study was to analyze the composition of CuO in rGO/CuO composites with variation of composition (1:10, 1:20, 1:30) and variation of flow time CO₂ 5, 10 and 15 minute to photocatalytic reaction convert CO₂ into methanol. The results of X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM) showed that the structure of crystal and morphology of rGO became less visible as the CuO composition grew. The presence of a 3-aminopropyltrimethoxysilane linker (APTMS) that binds rGO and CuO is demonstrated in the FTIR test. The rGO/CuO composite is able to absorb light which is important in the photocatalytic process shown in the UV-Vis test as The GCMS test results shown that the highest amount of methanol was found in a DMF solution containing a catalyst with a ratio 1:20 of weight ratio composition and at time of 10 minutes with yielded 37,12 mmol/gram catalyst. In addition methanol, ethanamine yielded 8730 mmol/gram catalyst and aldehyde yielded 17,1 mmol/gram catalyst.

Keywords: *Reduced Graphene Oxide*, CuO, photocatalytic CO₂ conversion, methanol



Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيْمِ * اَلْحَمْدُ لِلهِ رَبِّ الْعَالَمِيْنَ

Puji syukur atas limpahan rahmat dan karunia Allah (سُبُحَاتُهُ وَ تَعَالَى) sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis serta menyusun laporan tesis yang berjudul : ANALISA PENGARUH KOMPOSISI CUO DAN WAKTU ALIR CO2 PADA KOMPOSIT RGO/CUO TERHADAP REAKSI FOTOKATALITIK UNTUK KONVERSI CO2 MENJADI METANOL

Dalam penulisan laporan Tesis ini penulis melibatkan banyak pihak yang sangat membantu. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

- 1. Semua keluarga atas segala doa, dukungan dan pengertian yang telah diberikan selama ini.
- Dosen Pembimbing Tesis Ibu Diah Susanti, ST., MT., P.hD dan Bapak Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, ST, M.Sc atas waktu, kritik, saran dan kesabarannya dalam memotivasi dan membimbing penulis.
- 3. Bapak Lukman Noerochim, S.T., M.Sc.Eng., Ph.D selaku Ketua Program Studi Pascasarjana Teknik Material dan Metalurgi ITS.
- 4. Bapak Agung Purniawan, S.T., M.Eng, Ph.D selaku Ketua Departemen teknik Material ITS.
- 5. Teman-teman S2, MT 13, *Squad* Lab Kimia Material, yang telah menemani penulis dan menjadi teman perjuangan penulis.
- 6. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
- 7. Dan semua pihak yang tidak mungkin penulis sebut namanya satu persatu yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan tesis ini.

Penulis menyadari adanya keterbatasan di dalam penyusunan laporan ini. Besar harapan penulis akan saran, dan kritik yang sifatnya membangun. Selanjutnya semoga tulisan ini dapat selalu bermanfaat. Aamiin.



Surabaya, Januari 2018

Penyusun

DAFTAR ISI

LEMBAR PEN	GESAHAN	V
ABSTRAK		vii
ABSTRACT		ix
KATA PENGA	NTAR	xi
DAFTAR ISI		xiii
DAFTAR GAM	IBAR	xvi
DAFTAR TABI	EL	xix
BAB 1 PENDA	HULUAN	
1.1 Latar	r Belakang	1
1.2 Peru	musan Masalah	2
1.3 Batas	san Masalah	3
1.4 Tuju	an Penelitian	3
1.5 Mant	faat Penelitian	3
BAB 2 KAJIAN	I PUSTAKA DAN DASAR TEORI	
2.1 Fotol	katalis	5
2.2.1	Definisi Fotokatalis	5
2.2.2	Reaksi Fotokatalis	6
2.2.3	Aplikasi Fotokatalis	10
2.2.4	Jenis-jenis Fotokatalis	12
2.2.5	Fotokatalis Semikonduktor	13
2.2 Graphe	na	14
2.2.1	Struktur dan Morfologi Graphena	14
2.2.2	Sifat Unik dari Graphena	16
2.2.3	Metode Sintesis Graphena	18
2.3 CuO		19
2.4 Metano	ol	22
2.5 Reaksi	pada Alkohol	23



2.6 Pene	elitian	Sebelumnya	25
BAB III ME	TODE	E PENELITIAN	
3.1 Bah	nan		31
3.2 Per	alatan	1	31
3.3 Dia	gram	Alir Penelitian	33
3.	.3.1	Diagram Alir Sintesis CuO	33
3.	.3.2	Diagram Alir Sintesis Grafit Oksida	34
3.	.3.3	Diagram Alir Sintesis Reduced Graphene Oxide (rGO)	35
3.	3.4	Diagram Alir Sintesis Komposit rGO/CuO	36
3.	.3.5	Diagram Alir Pengujian Konversi Metanol	37
3.	3.6	Diagram Alir Pengujian Karakterisasi	38
3.4 Sin	tesis		38
3.	4.1	Sintesis CuO	38
3.	.4.2	Sintesis rGO	38
3.	4.3	Sintesis rGO/CuO	40
3.5 Pen	gujiai	n	40
3.	.5.1	XRD (X-Ray Diffraction)	40
3.	.5.2	FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)	41
3.	.5.3	Scanning Electron Microscope (SEM)	43
3.	5.4	UV-VIS Absorbance	44
3.	.5.5	GCMS (Gas Cromatography Mass Spectroscopy)	47
BAB 4 HAS	IL DA	AN PEMBAHASAN	
4.1 Has	sil Pen	ngujian X-Ray Diffraction (XRD)	49
4.2 Has	sil Pen	ngujian FTIR	55
4.2 Has	sil Pen	ngujian Scenning Electron Microscopy (SEM)	59
4.3 Has	sil Pen	ngujian UV Vis Absorbance	64
4.5 Has	sil Pen	ngujian GCMS	67
BAB 5 KESI	MPU	LAN DAN SARAN	79
5.1	Kesin	npulan	79



5.2 saran	79
DAFTAR PUSTAKA	81
LAMPIRAN	85
BIOGRAFI PENULIS	xxi



Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Reaksi Fotokatalis	6
Gambar 2.2 Proses Degradasi	7
Gambar 2.3 Beberapa Kemungkinan Elektron-Hole Transfer	8
Gambar 2.4 Spektrum cahaya	9
Gambar 2.5 Model Konseptual Struktur Graphene	15
Gambar 2.6 Skema Alotropi Karbon	16
Gambar 2.7 Sintesis rGO	19
Gambar 2.8 CuO	21
Gamabr 2.9 Reaksi pada Alkohol	24
Gambar 3.1 Diagram Alir Pembuatan CuO	33
Gambar 3.2 Diagram Alir Pembuatan Grafit Oksida	34
Gambar 3.3 Diagram Alir Sintesis Reduced Graphene Oxide (rGO)	35
Gambar 3.4 Diagram Alir Sintesis rGO/CuO	36
Gambar 3.5 Diagram Alir Pengujian Konversi Metanol	37
Gambar 3.6 Diagram Alir Pengujian Karakterisasi	38
Gambar 3.7 Alat uji XRD (X-ray Diffraction)	41
Gambar 3.8 Prinsip Kerja FTIR	42
Gambar 3.9 Alat Uji FTIR	42
Gambar 3.10 Alat uji SEM (Scanning Electron Microscopy)	44
Gambar 3.11 Mesin UV-VIS	45
Gambar 3.12 Skema Spektrofotometer	45
Gambar 3.13 Skema alat uji GC (Gas Cromatography)	47
Gambar 4.1 Grafik hasil XRD	49
Gambar 4.2 Grafik hasil XRD pada sampel komposit rGO/CuO	52
Gambar 4.3 Hasil uji FTIR untuk GO dan rGO	55
Gambar 4.4 Hasil uji FTIR komposit rGO/CuO	58
Combor 4.5 Hazil SEM Crafit	50



Gambar 4.6 Hasil SEM GO, rGO dan CuO	60
Gambar 4.7 Hasil SEM komposit rGO/CuO	62
Gambar 4.8 Hasil uji UV Vis rGO dan CuO	64
Gambar 4.9 Hasil uji UV Vis komposit rGO/CuO	66
Gambar 4.10 Grafik hasil methanol	68
Gambar 4.11 Hasil Ethanamine	70
Gambar 4.12 Hasil Aldehyde	72
Gambar 4.13 Performa Katalis Komposit rGO/CuO pada produk metanol	74
Gambar 4.14 Performa Katalis Komposit rGO/CuO pada produk ethanamine	75
Gambar 4.13 Performa Katalis Komposit rGO/CuO pada produk aldehyde	76

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Reaksi konversi CO ₂	11
Tabel 2.2 Karakteristik Graphene	17
Tabel 2.2 Perbandingan Sifat antara <i>Graphene</i> dan Keluarga Karbon yang Lain	18
Tabel 2.3 Sifat CuO	20
Tabel 2.4 Beberapa sifat fisik dari metanol	23
Tabel 2.5 Hasil Reduksi CO ₂ dengan Fotokatalis	27
Tabel 4.1 Perbandingan hasil XRD dari Grafit, GO dan rGO	51
Tabel 4.2 Perbandingan hasil XRD pada sampel komposit rGO/CuO	53
Tabel 4.3 Perhitungan jarak antar layer dari grafit, GO, rGO dan rGO/CuO	54
Tabel 4.4 Jenis ikatan pada GO dan rGO	56
Tabel 4.5 Jenis ikatan komposit rGO/CuO	57
Tabel 4.6 Hasil UV Vis pada sampel CuO dan rGO	65
Tabel 4.7 Hasil uji UV Vis untuk komposit rGO/CuO	66
Tabel 4.8 Hasil perhitungan CO ₂ yang telah terkonversi menjadi methanol	68
Tabel 4.9 Hasil perhitungan CO ₂ yang telah terkonversi menjadi ethanamine	70
Tabel 4.10 Hasil perhitungan CO ₂ yang telah terkonversi menjadi aldehyde	73



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Akumulasi jumlah gas karbon dioksida di lingkungan saat ini semakin meningkat, dan hal itulah yang menjadi penyebab utama terjadinya pemanasan global. Baru-baru ini penggunaan bahan bakar fosil meningkat secara signifikan sehingga menyebabkan emisi CO₂ semakin tinggi. Konversi dengan proses fotokatalitik dari CO₂ menjadi bahan bakar seperti methan, metanol, asam format, dll dibawah radiasi sinar tampak dapat menjadi salah satu solusi untuk mengurangi jumlah gas CO₂ di lingkungan dan memenuhi kebutuhan energi yang semakin meningkat. Dalam penelitiannya Inoue dkk untuk pertama kalinya membuat reduksi fotokatalitik dari CO₂ menjadi bahan kimia yang bernilai dengan menggunakan variasi bahan semikonduktor sebagai material katalis (Inoue, 1979). Hingga saat ini beberapa fotokatalis seperti TiO₂, logam anorganik komplek, metal oksida, metal sulfida, komposit berbasis karbon, bersama dengan co-katalis/fotosensitizer telah diteliti mampu untuk diaplikasikan dalam proses fotoreduksi CO₂ di bawah radiasi sinar tampak (Indrakanti, 2009).

Graphene merupakan material yang berkembang di dekade saat ini. Menurut IUPAC graphene adalah lapisan tunggal karbon dari struktur grafit. Sifat graphene yang memiliki kualitas tinggi seperti luas permukaan spesifik, konduktivitas elektron dan kapasitas adsorpsi yang tinggi, stabilitas elektrokimia dan mobilitas elektron yang baik serta kemudahan modifikasi kimia menjanjikan potensi besar untuk berbagai macam aplikasi termasuk transistor, polimer, komposit, pemberian obat, produksi hidrogen, perangkat penyimpanan energi, sensor, pelumas, katalisis dan baru-baru ini diteliti untuk kegiatan fotokatalitik. Para peneliti telah mengembangkan berbagai cara untuk mencapai sifat graphene. Salah satu caranya adalah dengan mereduksi graphene oksida menjadi rGO (Reduced Graphene Oxide). Meskipun rGO tidak akan punya struktur sesempurna graphene karena masih adanya beberapa cacat dan gugus oksigen yang terkandung, orang sering menyebut rGO sebagai graphene. rGO yang dipadukan



dengan material semikonduktor memiliki kemampuan yang unik untuk menyimpan dan mengalirkan elektron melalui proses transfer elektron yang memegang peranan paling penting dalam aktifitas reaksi fotokatalitik.

Semikonduktor dengan harga yang murah berbasis tembaga seperti CuO atau Cu₂O yang melimpah di alam, telah mendapat perhatian yang besar untuk reaksi fotokatalitik. CuO telah diteliti sebagai metal oksida yang dapat tumbuh baik pada lembaran *graphene*. CuO memiliki sifat fisika dan kimia yang unik seperti memiliki permukaan spesifik yang luas, memiliki kemampuan yang bagus dalam menyerap cahaya matahari, serta celah pita kecil. Karena sifatnya yang demikian CuO banyak dikembangkan untuk berbagai bidang seperti *solar cells*, sensor gas, peralatan elektronik, dan juga katalis heterogen. 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 CO₂ menjadi metanol dan menghasilkan 51,16 μmol h⁻¹ g⁻¹ katalis (Gusain, 2015).

Pada penelitian ini menggunakan rGO dan CuO sebagai material utama, dan disintesis untuk menjadi komposit rGO/CuO sebagai material fotokatalis. Tujuan penelitian ini adalah menganalisa pengaruh variasi komposisi CuO dan waktu alir CO₂ pada komposit rGO/CuO sebagai material fotokatalis untuk mengkonversi CO₂ menjadi metanol dibawah radiasi sinar tampak sebagai alternatif energi untuk mengurangi jumlah gas CO₂ saat ini.

1.2. Perumusan Masalah

Masalah yang terdapat dalam penelitian ini yaitu :

- Bagaimana pengaruh komposisi CuO pada komposit rGO/CuO dengan mengkonversi CO₂ melalui reaksi fotokatalitik agar menghasilkan metanol paling maksimal?
- 2. Bagaimana pengaruh waktu alir CO₂ pada komposit rGO/CuO saat mengkonversi CO₂ menjadi metanol melalui reaksi fotokatalitik agar menghasilkan metanol paling maksimal?



2.3. 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 dan volume gas CO₂ dianggap konstan.
- 7. Tidak ada cahaya lain selain lampu dalam reaktor sebagai sumber cahaya utama.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

- Menganalisa pengaruh komposisi CuO pada komposit rGO/CuO dengan mengkonversi CO₂ melalui reaksi fotokatalitik agar menghasilkan metanol paling maksimal.
- Menganalisa pengaruh waktu alir CO₂ pada komposit rGO/CuO saat mengkonversi CO₂ menjadi metanol melalui reaksi fotokatalitik agar menghasilkan metanol paling maksimal.

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mensintesis komposit rGO/CuO sebagai fotokatalis yang bisa digunakan untuk mengkonversi CO₂ menjadi metanol sehingga bisa mengurangi jumlah CO₂ yang saat ini kian meningkat, serta bisa digunakan untuk rujukan terhadap penelitian-penelitian selanjutnya seperti pengembangan material nanokomposit untuk fotokatalitik, dsb.



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Fotokatalis

2.1.1 Definisi Fotokatalis

Industri berbasis kimia telah memainkan peranan penting dalam peradaban manusia, namun kegiatan antropogenik(sumber pencemaran akibat campur tangan manusia) 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. Ada banyak harapan dari aplikasi ini yang dapat dimanfaatkan dalam berbagai bidang (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 dari sumber cahaya.

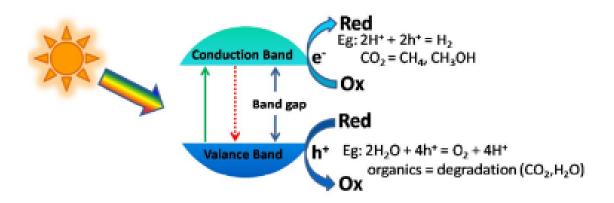
IUPAC mendefinisikan fotokatalitik sebagai "Reaksi katalitik yang melibatkan penyerapan cahaya oleh substrat". Dalam arti sebenarnya, istilah fotokatalitik digunakan untuk reaksi kimia yang terjadi di hadapan cahaya dan fotokatalis. Prinsip fotokatalitik didasarkan pada aktivasi material semikonduktor



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 organic (Ameta, 2017)

2.1.2 Reaksi Fotokatalis

Ketika fotokatalis disinari dengan cahaya dengan panjang gelombang yang sesuai, sebuah elektron akan melompat dari pita konduksi, meninggalkan lubang positif ke pita valensi. Elektron di pita konduksi yang dapat dimanfaatkan untuk mereduksi substrat lain, sedangkan lubang di pita valensi dapat digunakan untuk mengoksidasi beberapa senyawa yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



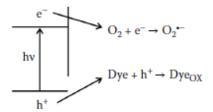
Gambar 2.1 Reaksi Fotokatalis (Kamat, 2012).

Secara umum, mekanisme fotokatalisis adalah pembentukan radikal OH dan pembentukan anion super oksida (O²-) 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 menuju pita konduksi. Setelah elektron tereksitasi, akan dihasilkan suatu hole pada pita valensi.

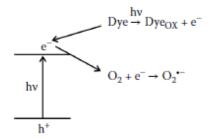
Hole akan memecah air membentuk suatu hidroksi radikal. Hidroksi radikal tersebut kemudian akan bereaksi dengan molekul organik dan memecah senyawa organik tersebut menjadi senyawa intermediet lain yang akan mengalami reaksi lebih lanjut. Elektron yang tereksitasi akan bereaksi dengan oksigen untuk membentuk



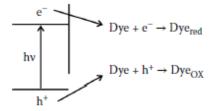
spesi anion super oksida. Anion super oksida akan bereaksi dengan senyawa hasil pemecahan molekul organik membentuk produk. Siklus ini akan terus berulang sampai reaksi selesai. Pada dasarnya ada tiga proses yang terjadi pada degradasi fotokatalis. Mekanismenya dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Oxidation.



Electron injection.



Redox reactions.

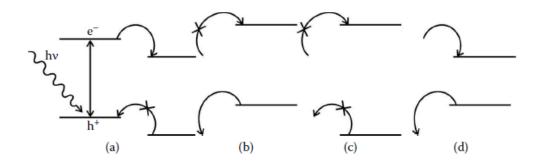
Gambar 2.2 Proses Degradasi (Ameta, 2017)

Ketiga proses tersebut adalah sebagai berikut:

- 1. Oksidasi adalah proses degradasi fotokatalis umum senyawa organik.
- 2. Injeksi Elektron adalah kasus sensitisasi spektral, yang diamati dalam tipe *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)
- 3. Oksidasi dan reduksi satu bagian berfungsi sebagai akseptor elektron yang tereduksi, sehingga menekan rekombinasi antara elektron dan hole positif.



Ada empat kemungkinan kombinasi dari semikonduktor dan substrat (berupa molekul organic, dye, atau yang lainnya), tergantung pada posisi pita relatif dan tingkat redoks. Hal tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Beberapa Kemungkinan Elektron-Hole Transfer (a) Reduksi, (b) Oksidasi, (c) Tidak Terjadi Reaksi, dan (d) Reaksi Redox (Ameta, 2017)

Kombinasi tersebut meliputi:

- Jika tingkat redoks substrat lebih rendah dari pita konduksi semikonduktor, maka reduksi substrat terjadi
- 2. Jika tingkat redoks substrat lebih tinggi dari pita valensi semikonduktor, maka oksidasi substrat berlangsung
- 3. Jika tingkat redoks substrat lebih tinggi dari pita konduksi dan lebih rendah dari pita valensi semikonduktor, maka tidak mungkin terjadi oksidasi atau reduksi
- 4. Jika tingkat redoks substrat lebih rendah dari pita konduksi dan lebih tinggi daripada pita valensi, maka kedua reduksi dan oksidasi substrat terjadi

Cahaya yang digunakan untuk mengaktivasi katalis dalam proses fotokatalitik merupakan bentuk radiasi gelombang elektromagnetik. Gelombang elektromagnetik adalah kombinasi medan listrik dan medan magnet yang berosilasi dan merambat melewati ruang dan membawa energi dari satu tempat ketempat lain. Einstein menerangkan bahwa cahaya terdiri dari partikel-partikel foton yang energinya sebanding dengan frekuensi cahaya. Jika frekuensinya rendah, setiap foton



mempunyai jumlah energi yang sangat sedikit dan tidak mampu memukul elektron agar dapat keluar dari permukaan logam. Jika frekuensi (dan energi) bertambah, maka foton memperoleh energi yang cukup untuk melepaskan elektron (James E. Brady, 1990). Hal ini menyebabkan kuat arus juga akan meningkat. Energi foton bergantung pada frekuensinya. Persamaan 2.1 menunjukkan besar energi yang dapat dipindahkan saat foton berinteraksi dengan sebuah materi tertentu.

$$E = h. f atau E = \frac{c}{\lambda}$$
 (2.1)

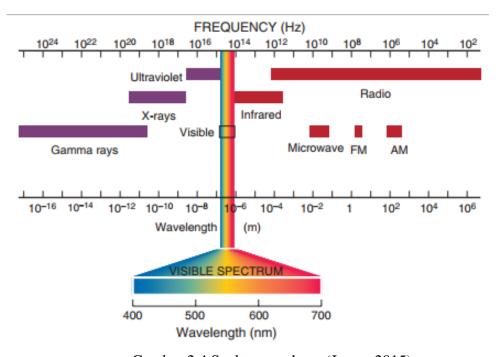
Dimana, $h = \text{tetapan Planck } (6,626 \times 10^{-34} \text{ J. s})$

f= frekuensi (Hz)

 $c = kecepatan cahaya dalam vakum (3 x <math>10^8 m. s^{-1})$

 $\lambda = \text{panjang gelombang (m)}$

Susunan semua bentuk gelombang elektromagnetik berdasarkan panjang gelombang dan frekuensinya disebut spektrum elektromagnetik. Gambar 2.4 merupakan spectrum elektromagnetik yang disusun berdasarkan panjang gelombang mencakup kisaran energi yang sangat tinggi, sampai ke energi yang sangat rendah.



Gambar 2.4 Spektrum cahaya (Jones, 2015)



2.1.3 Aplikasi Fotokatalis

Aplikasi fotokatalis sangat banyak mulai dari aplikasi dibidang lingkungan hingga bidang teknik. Dan beberapa aplikasi telah dibuktikan seperti sebagai pereduksi karbon dioksida, pengolahan dan pemurnian air, mengurangi/menghilangkan logam yang berbahaya, antifogging, aplikasi medis, perawatan kanker dan antibakteria, sterilisasi, dll. Pada penelitian ini akan berfokus pada aplikasi fotokatalis untuk reduksi CO₂.

Gas rumah kaca terdiri dari karbon dioksida (CO₂), metana, chlorofluorocarbon (CFC), dan nitrogen oksida (NOx). Sebanyak 72% dari gas rumah kaca adalah CO₂ dan hal ini dianggap sebagai penyebab utama terjadinya pemanasan global. Selama beberapa dekade terakhir, konsentrasi CO₂ telah mengalami peningkatan di atmosfer. Hal tersebut dikarenakan meningkatnya aktivitas manusia, di sisi lain konsumsi bahan bakar fosil yang semakin pesat dari tahun ke tahun di seluruh dunia, menyebabkan jumlah gas CO₂ semakin tinggi.. Selain penggunaan berlebihan dari bahan bakar fosil, peningkatan jumlah karbon dioksida juga didukung oleh meningkatnya populasi, penggundulan hutan, dan sebagainya. Meningkatnya konsentrasi CO₂ di atmosfer telah menjadi masalah yang paling serius pada lingkungan dan mencapai situasi yang mengkhawatirkan karena dapat mengakibatkan pemanasan global (Liao, 2015).

Salah satu solusi untuk mengatasi masalah ini adalah dengan fotoreduksi gas CO₂ menggunakan fotokatalis. Penguraian CO₂ melalui proses fotokatalitik untuk bahan bakar organik sintetis seperti hidrogen, karbon monoksida, *formic acid*, formaldehyde, metanol, etanol, propanol, metana, etana, ethilen, dll akan menjadi solusi untuk mengatasi krisis energi karena akan menyediakan bahan bakar alternatif, yang dapat digunakan untuk bahan bakar dan menghasilkan listrik serta membantu untuk mengurangi jumlah gas CO₂ di atmosfer (Ola, 2013).

Sistem fotosintesis buatan untuk pemanfaatan CO₂ 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 reduksi CO₂ diperlukan, karena CO₂ merupakan karbon yang sepenuhnya teroksidasi dan sangat stabil (Bignozzi, 2011).

Tabel 2.1 Reaksi konversi CO₂.

		$\Delta G^{ heta}$	$\Delta H^{ heta}$	$\Delta S^{ heta}$
Product	Net reaction	$(kJ \cdot mol^{-1})$	$(kJ \cdot mol^{-1})$	$(J \cdot mol^{-1} \cdot K^1)$
Hydrogen	$H_2O \rightleftharpoons H_2\uparrow + 0.5O_2\uparrow$	237.17	285.83	163.3
Carbon monoxide	$CO_2+H_2O \rightleftharpoons CO\uparrow + H_2O + 0.5O_2\uparrow$	257.38	283.01	86.55
Formic acid	$CO_2+H_2O \rightleftharpoons HCOOH + 0.5O_2\uparrow$	269.86	254.34	-52.15
Formaldehyde	$CO_2+H_2O \rightleftharpoons HCHO + O_2\uparrow$	528.94	570.74	140.25
Methanol	$CO_2 + 2H_2O \rightleftharpoons CH_3OH + 1.5O_2\uparrow$	701.87	725.97	80.85
Ethanol	$2CO_2 + 3H_2O \rightleftharpoons C_2H_5OH + 3O_2\uparrow$	1325.56	1366.9	138.75
Propanol	$3CO_2 + 4H_2O \rightleftharpoons C_3H_7OH + 4.5O_2\uparrow$	1962.94	2021.24	195.65
Methane	$CO_2 + 2H_2O \rightleftharpoons CH_4\uparrow + 2O_2\uparrow$	818.18	890.57	242.9
Ethane	$2\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{C}_2\text{H}_6\uparrow + 3.5\text{O}_2\uparrow$	1468.18	1560.51	309.8
Ethylene	$2\mathrm{CO}_2 + 2\mathrm{H}_2\mathrm{O} \rightleftharpoons \mathrm{C}_2\mathrm{H}_4\uparrow + 3\mathrm{O}_2\uparrow$	1331.42	1411.08	267.3

Sumber: Yun, 2017

Reaksi-reaksi konversi CO₂ dapat ditunjukkan pada Tabel 2.1. Penguraian CO₂ secara fotokataitik membutuhkan energi cahaya. Konversi CO₂ menjadi beberapa hidrokarbon berharga adalah salah satu solusi terbaik untuk mengurangi efek pemanasan global dan mengatasi kelangkaan energi. Reduksi fotokatalitik adalah salah satu proses sehingga dapat menghasilkan bahan bakar berbasis hidrogen dan juga mengurangi kadar CO₂ 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.

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 energi 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 semikonduktor memainkan peranan penting dalam mengkontrol aktifitas fotokatalis dari nanomaterial. Kabanyakan 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 semikonduktor yang kecil menunjukkan fenomena rekombinasi cepat, karenanya pembentukan elektrone-hole dapat bertindak secara efisien untuk konversi pada proses fotokatalitik. 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).

2.1.4 Jenis-jenis Fotokatalis

Reaksi fotoinduksi, yang dipercepat dengan adanya katalis (semikonduktor),disebut fotokatalis. Ada dua jenis fotokatalis:



- Fotokatalis homogen: ketika reaktan dan fotokatalis ada di fase yang sama, reaksi disebut fotokatalis homogen. Senyawa koordinasi, pewarna, pigmen alami, dan sebagainya adalah contoh yang paling umum dari homogen fotokatalis.
- Fotokatalis heterogen Pada tipe ini, reaktan dan fotokatalis ada di fase yang berbeda. Logam transisi chalcogenides adalah contoh yang paling umum dari heterogen fotokatalis, yang memiliki beberapa karakteristik yang unik.

Fotokatalis heterogen adalah proses oksidasi lanjutan yang menawarkan potensi penting untuk dekomposisi polutan organik. Dalam proses ini, energi foton diubah menjadi energi kimia yang mampu untuk dekomposisi kontaminan ini. Salah satu tantangan dalam Fotokatalis heterogen adalah untuk meningkatkan proses pemisahan muatan untuk membuat lebih efisien proses. Dalam hal ini, bahan *graphene* sangat menjanjikan untuk memecahkan proses rekombinasi. Struktur bahan *graphene* dengan atom karbon hibridisasi sp2 dapat memungkinkan transfer elektron cepat meningkatkan proses pemisahan muatan. (Eduargo, 2016)

2.1.5 Fotokatalis Semikonduktor

Semikonduktor adalah bahan yang memiliki daerah energi kososng(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 biner seperti TiO₂, ZnO, Fe₂O₃, CdS, dan 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 adalah 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 (Cu₂O) adalah salah satu semikonduktor yang telah digabung kandengan bahan *graphene* (Eduardo, 2016).

2.2 Graphene

2.2.1 Struktur dan Morfologi Graphene

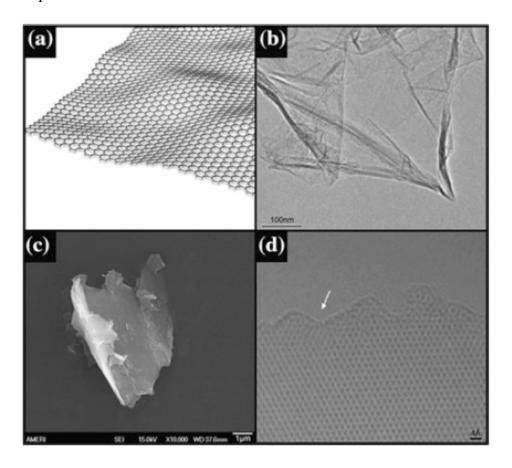
Graphene merupakan alotrop karbon yang berbentuk lembaran datar tipis yang tersusun dari atom karbon yang terhibridisasi sp2 dan dikemas rapat dalam bentuk kisi kristal seperti sarang lebah, yang mempunyai ketebalan satu atom dan bersifat semilogam dengan celah pita nol (Loryuenyong, 2013). Penemuan graphene secara eksperimental dilaporkan oleh Andre Geim dan rekannya Konstantin Novoselov pada tahun 2004 di University of Manchester (Geim.2007).

Graphene murni adalah lapisan dua dimensi yang terdiri dari hibridisasi sp2 yang terikat dalam strukturnano karbon. seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.5

Sel sederhana *graphene* tersusun atas dua atom yang tidak ekivalen, A dan B, dan kedua sublattice ini dipisahkan satu dengan lainnya dengan jarak antar karbon accc = 1,44 Å. Sebuah atom karbon memiliki konfigurasi elektron valensi. Dalam *graphene*, ikatan kimia antar atom karbon disebabkan oleh superpose dari orbital 2s dengan 2px dan 2py. Struktur atom juga dapat digunakan sebagai bentuk dasar untuk



membentuk bahan berbasis karbon lainnya: (1) dapat dilipat menjadi fullerene,(2) digulung menjadi nanotube, atau (3) ditumpuk menjadi grafit seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6.



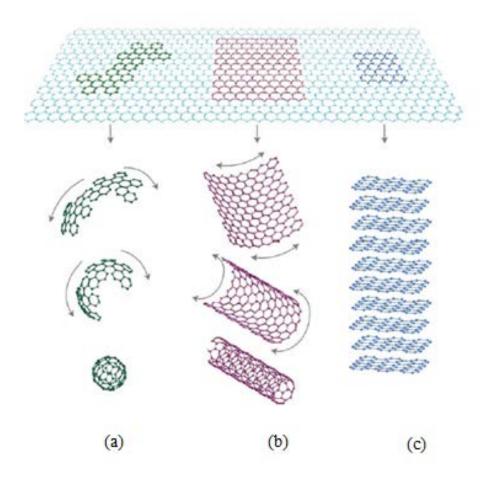
Gambar 2.5 Model Konseptual Struktur

(a) TEM, (b) SEM, (c) Single Atomic Layer Grafit, dan (d) HRTEM (Dale, 2014)

Graphene mempunyai *theoritical specific surface area* yang besar (2630 m²g⁻¹), mobiltas intrisik sekitar 200 000 cm²v⁻¹s⁻¹, modulus young sekitar 1TPa, kondukstivitas thermal sampai 5000 Wm⁻¹K⁻¹, dan transmisi optik sebesar 97,7%, selain itu *graphene* merupakan meterial yang fleksibel sehingga dapat dibentuk sesuai dengan desain yang dinginkan. Mobilitas intrisik yang besar tersebut terjadi karena pada material *graphene* murni, *band gap* antara pita konduksi dan pita valensi hampir tidak ada, sehingga akan memudahkan elektron untuk mengalir dari atom karbon yang satu ke atom karbon yang lain. Dengan *properties* yang



demikian, menjadikan *graphene* merupakan sebuah material yang sangat menarik untuk diteliti dan dikembangkan.



Gambar 2.6 Skema Alotropi Karbon (a) Fullerene (b) *Carbon nano tube* (c) Graphite (Dale, 2014)

2.2.2 Sifat Unik dari Graphene

Sejak isolasi *graphene* dan laporan tentang sifat elektronik yang luar biasa pada tahun 2005, *graphene* terus dikembangkan untuk mengeksplorasi berbagai propertinya. Tabel 2.2 merangkum beberapa sifat yang menakjubkan dari *graphene* yang menjadi material tertipis, paling fleksibel dan kuat (Mao, 2012; Alfonso, 2009).

Bahan karbon telah banyak digunakan baik di bidang analitis ataupun industry elektrokimia. Keberhasilan ini berasal dari struktur karbon yang



polimorfismestabilitas kimia tinggi, biaya rendah, potensi lebar, relative elektrokimia inert, dan untuk kegiatan elektro-katalitik untuk berbagai reaksi redoks (Dale, 2014).

Tabel 2.2 Karakteristik Graphene

Sifat graphene	Detail
Transparansi optic (%)	97,7
Mobilitas elektron (cm ² V ⁻¹ s ⁻¹)	200000
Konduktifitas panas(Wn ⁻¹ K ⁻¹)	5000
Luas permukaan spesifik (m² g ⁻¹)	2630
Breaking strength (nm ⁻¹)	42
Modulus elastisitas (TPa)	0,25
Celah pita	Zero

Sumber: Dale, 2014

Ketika meninjau karakteristik penting dari bahan elektroda untuk penerapan yang luas dengan elektrokimia *graphene* 'keuntungan teoritis' menjadi jelas. Karakteristik penting dari bahan elektroda adalah luas permukaannya, yang penting dalam aplikasi seperti penyimpanan energi, perangkat biokatalitik dan sensor.

Tabel 2.3 menunjukkan bahwa *graphene* memiliki sifat-sifat elektronik yang unggul, di antaranya mobilitas pembawa muatan dan konduktivitas yang tinggi. Selain itu *Graphene* memiliki luas permukaan teoritis 2.630 m² g⁻¹ melebihi dari grafit (* 10 m² g⁻¹), dan dua kali lebih besar dari yang CNTs (Carbon Nano Tubes) (1315 m² g⁻¹). Konduktivitas listrik dari *graphene* telah dihitung untuk ~64 mS cm⁻¹, yang kira-kira 60 kali lebih besar dari SWCNTs (Single Walled Carbon Nanotubes) (Liu, 2010). Selanjutnya, konduktivitas *graphene* tetap stabil di berbagai macam temperatur, meliputi stabilitas pada suhu serendah helium cair, di mana stabilitas tersebut penting untuk keandalan dalam banyak aplikasi (Geim, 2007). Lebih menarik, *graphene* berbeda dari rekan-rekan dengan struktur pita yang tidak biasa. Hasil-hasil penelitian, seperti yang ditunjukkan pada



Tabel 2.3 Perbandingan Sifat antara Graphene dan Keluarga Karbon yang Lain

Alotrofi Karbon	Grafit	Intan	Fullerene	Carbon Nanotubes	Graphene
Bentuk Hibridisasi	sp ²	sp ²	sp^2	sp ²	sp ²
Sistem Kristal	Heksagonal	Oktahedral	Tetragonal	Ikosahedral	Heksagonal
Dimensi	3	3	0	1	2
Massa Jenis (g cm ⁻³)	2.09 - 2.23	3.5 - 3.53	1.72	>1	>1
Luas Permukaan Spesifik (m ² g ⁻¹⁾	10 - 20	20 - 160	80 - 90	1300	1500
Sifat Optik	Uniaksial	Isotropik	Non Linear	Tergantung Struktur	Transmitan Optik
Konduktivitas Termal (W m ⁻¹ K ⁻¹)	1500 - 2000	900 - 2320	0.4	3500	4840 – 5300
Kekerasan	Tinggi	Sangat Tinggi	Tinggi	Tinggi	Tertinggi
Keuletan	Fleksibel,	Tidak ada	Elastik	Fleksibel dan	Fleksibel
Keuletali	non elastik	Data	Elastik	Elastis	dan Elastik
				Metalik,	Semimetal,
Sifat Elektronik	Konduktor	Insulator	Insulator	semikondukt	semikondukt
				or	or
Konduktivitas Elektrik (S cm ⁻¹)	3 x 10 ⁴	Tidak ada Data	1 x 10 ⁻¹⁰	Tergantung Struktur	2000

Sumber: Wu, 2012

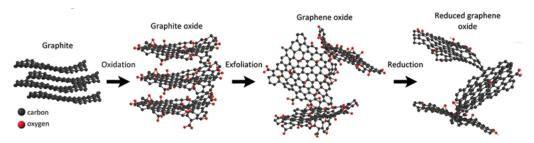
2.2.3 Metode Sintesis Graphene

Lima metode khas yang biasanya digunakan untuk membuat lembaran graphene meliputi (Frenklin.1951).

- 1) chemical vapor deposition (CVD) pada logam
- 2) pengelupasan (exfoliation) mikromekanik dari grafit
- 3) reduction of graphene oxide
- 4) pertumbuhan dari semikonduktor SiC
- 5) pembentukan suspensi koloid.



Metoda *reduction of graphene oxide* yang digunakan dalam penelitian ini menghasilkan produk berupa rGO. Meskipun rGO tidak akan punya struktur sesempurna *graphene* karena masih adanya beberapa cacat dan gugus oksigen yang terkadung, orang sering menyebut rGO sebagai *graphene*. rGO disintesa dengan proses oksidasi dari grafit menjadi grafit oksida dengan menggunakan H₂SO₄, NaNO₃, KMnO₄, 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. Gambar 2.7 menunjukkan sintesis rGO dari grafit.



Gambar 2.7 Sintesis rGO (Edgar, 2016)

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 aplikasi nya. 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 sangat rendah.

2.3 CuO

Tembaga (II) Oksida (CuO) adalah semikonduktor yang telah dipelajari karena beberapa alasan seperti menunjukkan reaktifitas kimia tertentu karena konsentrasinya tinggi dan mempunyai daerah permukaan spesifik yang luas, jumlahnya yang melimpah di alam mulai tembaga (Cu), kemudahan produksi dengan oksidasi Cu, di alam tidak beracun, serta sifat optik dan sifat kelistrikannya yang



baik. Telah diteliti bahwa kinerja nanokristalin CuO lebih unggul dibandingkan *bulk*. Tembaga membentuk dua oksida terkenal yakni: tenorite (CuO) dan cuprite (Cu₂O) keduanya memiliki tipe-psemikonduktor serta memiliki celah pita energi 1,21 untuk1,51 eV untuk tenorite dan 2,10-2,60 eV untuk cuprite. Sebagai semikonduktor tipe-p, konduksi muncul dari kehadiran lubang di pita valensi. CuO baik sebagai penyerap surya selektif karena memiliki daya serap matahari tinggi dan daya pancar termal rendah (Johan, 2011). Tabel 2.4 menunjukkan sifat CuO.

Tabel 2.4 Sifat CuO

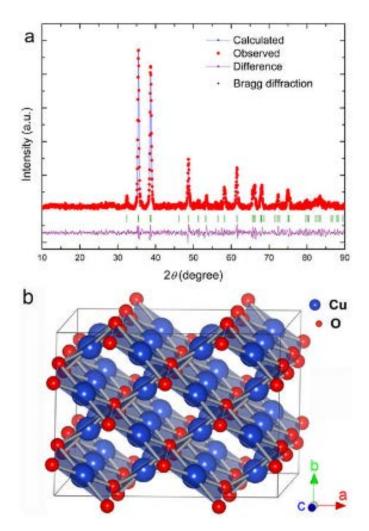
Sifat	Nilai
Tembaga (%)	79,87
Oksigen (%)	20,10
Densitas g/cm ³	6,31
Luas permukaan spesifik (m ² g ⁻¹)	122
Massa molar (g/mol)	79,55
Struktur kristal	monoclinic
Kisi konstan (Å)	a = 4.68, b = 3.42, c = 5.13
Titik leleh (°C)	1201
Titik didih (°C)	2000
Kapasitas reversible (mA h g ⁻¹)	630
Mobilitas lubang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

Sumber: Yusoff, 2013

Semikonduktor tipe-p dari tembaga oksida adalah fungsi penting yang digunakan untuk sensor gas, media penyimpanan magnetik, energi surya transformasi, elektronik, semikonduktor, dan katalisis. Oleh karena itu telah dikaji bersamaan dengan oksida tembaga lainnya,terutama berkenaan dengan aplikasi sebagai senyawa fototermal dan fotokonduktif yang aktif. Dengan demikian, besar



upaya telah dilakukan untuk mempelajari penyiapan ukuran nano CuO selama dua dekade. Metode konvensional untuk penyusunan serbuk CuO termasuk satu-langkah Reaksi solid-state pada suhu kamar, termal dekomposisi garam tembaga dan mekanik penggilingan bubuk komersial. Hal ini juga diketahui bahwa fungsi yang unik dari semikonduktor nanopartikel telah menyebabkan peningkatan photovoltaic dan perangkat pemancar cahaya. Dengan demikian, ada minat baru dalam pemahaman sifat fisik dasar CuO, seperti untuk meningkatkan kinerjanya aplikasi (Vidyasagar, 2011). Gambar 2.8 menunjukkan pola XRD dan struktur kristal CuO.



Gambar 2.8 CuO (a) Pola XRD CuO dan (b) Struktur Kristal CuO

Partikel semikonduktor nanokristalin telah menarik minat yang cukup besar dalam beberapa tahun terakhir karena sifat khusus mereka seperti luas permukaan



lebih besar dibanding volume, meningktkan 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 energy 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).

2.4 Metanol

Metanol, juga dikenal sebagai metil alkohol, *wood alcohol* (karena ia dahulu merupakan produk samping dari destilasi alcohol) atau spiritus, adalah senyawa kimia dengan rumus kimia CH₃OH. Ia merupakan bentuk alkohol paling sederhana. Pada keadaan atmosfer ia berbentuk cairan yang ringan, mudah menguap, tidak berwarna, mudah terbakar, dan beracun dengan bau yang khas (berbau lebih ringan daripada etanol).

Saat ini metanol dihasilkan melalui proses multi tahap. Secara singkat, gas alam dan uap air dibakar dalam tungku untuk membentuk gas hydrogen dan karbon monoksida kemudian gas hydrogen dan karbon monoksida ini bereaksi dalam tekanan tinggi dengan bantuan katalis untuk menghasilkan metanol.

Pada keadaan ruangan biasanya metanol berbentuk cairan yang tidak berwarna., mudah terbakar, larut didalam air dan juga pelarut serta organik beracun. Tabel 2.5 menunjukkan beberapa sifat fisik dari metanol.



Tabel 2.5 Beberapa sifat fisik dari metanol

SIFAT FISIK	DETAIL
Titik lebur (°C)	-97
Titik didih (°C)	64,7
Massa molar (g/mol)	32,04
Densitas (g/cm ³)	0,79
Viskositas (mPA.s)	0.59

Meskipun merupakan senyawa organik, metanol ternyata dapat larut di dalam air. Hal ini dikarenakan adanya gugus (OH) yang menyebabkan metanol menjadi sedikit polar sehingga dapat larut di dalam air dan pelarut organik. Adanya gugus hidroksil ini juga menyebabkan metanol dapat membentuk ikatan hidrogen dengan air sehingga campuran antara metanol dengan air terkadang menjadi sulit untuk dipisahkan.

Metanol dimanfaatkan baik sebagai produk antara maupun produk jadi. Sebagai produk antara, metanol digunakan antara lain sebagai bahan pembuat senyawa lainnya seperti formaldehid, asam asetat, dan juga metil amina. Hampir 40% dari metanol yang diproduksi biasanya dikonversi menjadi formaldehid dan dari formaldehid ini nantinya akan dihasilkan berbagaimacam produk misalnya plastik, plywood, cat, peledak, dan tekstil.

Sebagai produk jadi metanol digunakan antara lain sebagai pelarut terutama pelarut senyawa organik, sebagai zat antibeku pada sistem perpipaan, dan juga sebagai bahan bakar kendaraan serta digunakan juga pada bidang pertanian.

2.5 Reaksi pada Alkohol

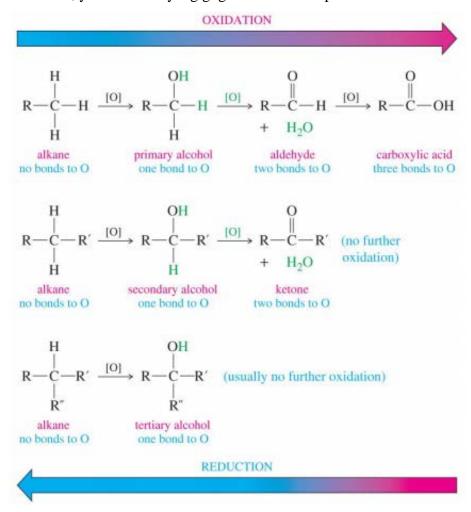
Alkohol merupakan suatu senyawa organik yang tersusun dari atom C, H dan O dengan rumus umum $C_nH_{2n+1}OH$. Ciri khas alkohol yaitu terdapatnya gugus -OH pada rantai karbon. Rantai karbon dapat berupa gugus alkil jenuh maupun tidak jenuh, gugus alkil tersubtitusi dan dapat pula terikat pada rantai siklik. Selain alkohol dengan satu gugus -OH dikenal pula alkohol yang memiliki gugus -OH lebih dari



satu. Alkohol yang memiliki satu gugus –OH disebut alkohol monohodroksi, alkohol dengan dua gugus –OH disebut alkohol dihidroksi dan seterusnya. Sebagai contoh senyawa alcohol adalah metanol yang memiliki rumus kimia CH_3OH dan etanol dengan rumus kimia C_2H_5OH .

Berdasarkan atom karbon yang mengikat gugus -OH alkohol dikelompokan menjadi:

- a. Alkohol primer, yaitu alkohol yang gugus -OH terikat pada C primer
- b. Alkohol sekunder, yairu alkohol yang gugus -OH terikat pada C sekunder
- c. Alkohol tersier, yaitu alkohol yang gugus –OH terikat pada C tersier



Gambar 2.9 Reaksi pada alcohol (rutgers, 2018)

Gugus –OH merupakan gugus fungsi dari alkohol oleh sebab itu sebagian besar reaksi terjadi pada gugus tersebut. Gambar 2.9 merupakan beberapa reaksi yang terjadi pada alkohol: reaksi oksidasi, penggantian gugus –OH, penggantian atom H



pada gugus -OH oleh gugus asam, logam aktif dan gugus alkil. Oksidasi alkohol dengan oksidator kuat seperti $Na_2Cr_2O_7 + H_2SO_4$ dapat mengalami reaksi oksidasi. Hasil yang diperoleh dari reaksi oksidasi berbeda-beda tergantung pada jenis alkoholnya. Alkohol primer jika teroksidasi menghasilkan aldehida apabila jumlah oksidator masih berlebih akan terjadi oksidasi berlanjut memebntuk asam karboksilat, alkohol sekunder menghasilkan keton sedangkan alkohol tersier menghasilkan campuran asam karboksilat dan keton.

Penggantian Gugus –OH pada alkohol dapat digantikan oleh atom-atom halogen apabila direaksikan dengan fosfor halida dan asam halida. Fosfor halida dapat berupa PX_3 dan PX_5 sedangkan asam halogen berupa HX.

Apabila alkohol direaksikan dengan asam-asam anorganik produk yang diperoleh berupa ester anorganik. Produk yang diperoleh dari reaksi antara etanol dengan asam sulfat berupa etil hidrogen sulfat dan air, sedangkan produk yang diperoleh dari reaksi antara etanol dengan asam nitrit berupa etil nitrit dan air.

Atom H pada gugus –OH dapat digantikan oleh logam aktif seperti Na. Reaksi antara alkohol dan Na menghasilkan garam natrium alkoksida dan pembebasan gas hidrogen. Garam yang diperoleh dari reaksi ini apabila dihidrolisis akan diperoleh kembali alkohol asalnya.

Setelah pergantian atom H oleh logam aktif apabila direaksikan lagi dengan alkil halida akan terjadi pergantian logam aktif oleh gugus alkil. Logam aktif yang didesak keluar akan bereaksi dengan halogen dari alkil halida membentuk garam.

2.6 Penelitian Sebelumnya

Beberapa studi tentang fotokatalitik telah dilakukan mulai dari aplikasi di bidang kimia hingga aplikasi di bidang industi. Karena banyaknya manfaat dari proses fotokatalitik ini studi terus dilakukan hingga saat ini, mulai dari memodifikasi material hingga mencari alternatif material yang paling banyak menguntungkan untuk peningkatan kemampuan dari proses fotokatalitik itu sendiri. Berikut penulis merangkum beberapa studi mengenai proses fotokatalitik dari berbagai sumber.

Barreca dkk menunjukkan untuk pertama kalinya bahwa dengan memodifikasi morfologi dengan strategi sintetis 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 TiO₂ (Barreca, 2009).

Tian dkk telah berhasil menunjukan bahwa CuO/Cu₂O/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/Cu₂O/Cu nanorods tetapi juga memudahkan perpindahan elektron didalam komposit (Tian, 2012).

Vaseen dkk berhasil mensintesis strukturnano 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 Cu¹⁺ 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 menunjukkan dimensi (1D)CuO nanoribbons 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 Cu₂O dapat bertindak sebagai fotokatalis untuk degradasi metilen biru. Mekanisme menunjukkan terjadinya pembentukan spesies radikal hidroksil (OH) (Pan, 2012).

Han dkk menyelidiki kinerja nanokomposit dari (Cu₂O-rGO) pada fotodegradasi metilen biru di bawah cahaya tampak. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan dari aktivitas fotokatalitik dari Cu₂O-rGO nanocomposites berhubungan



dengan nanopartikel Cu₂O. Peningkatan ini dikaitkan dengan absorbansi cahaya yang meningkat, rentang penyerapan cahaya lebih panjang dan kemudahan transfer elektron dari Cu₂O 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 Cu₂O dan rGO nanosheets (Zhigang, 2014) (Sun, 2015).

Zou mensintesis Cu_2O -rGO komposit untuk degradasi metilen biru di bawah radiasi cahaya tampak dan hasil menunjukkan bahwa aktivitas fotokatalitik komposit dipengaruhi oleh kristal Cu_2O , menjadi $\{111\}$ facet yang menunjukkan peningkatan penyerapan cahaya dan mempercepat transfer muatan . Selain itu, aktivitas katalitik dari komposit Cu_2O -rGO terkait dengan interaksi antar muka dan struktur elektronik yang lebih baik (Zou, 2015). Tabel 2.6 menunjukkan penelitian tentang reduksi CO_2 dengan fotokatalis dengan beberapa material.beserta hasil yang didapatkan.

Tabel 2.6 Hasil Reduksi CO₂ dengan Fotokatalis

Fotokatalis	Hasil	Sumber	Produk	Keterangan	Tahun
	$(\mu mol h^{-1})$	cahaya	utama		dan
	g^{-1})				penulis
	katalis				
0.5 wt %	2.75	Cahaya	Hidrogen	Reaksi terjadi karena	1992
CeO ₂ pada		tampak	dan methana	fotodekomposisi dari	Ogura,
TiO_2				H ₂ O diikuti dengan	dkk
				metanasi dari CO2	
2% Cu/TiO ₂ ;	Masing -	254 nm 138	Metanol	Hasil meningkat	2002
sol– gel TiO ₂	masing	$\mu mWcm^{-2}$		signifikan dengan	Tseng,
; Degussa	19.6;1	8W lampu		penambahan 0.2 M	dkk
P25	0.78;	Hg		NaOH	
	6.36				



Pt-K ₂ Ti ₆ O ₁₃	32.8 H ₂ ;	Konsentrasi	Hydrogen,	Dengan	2003
	5.6	sinar	asam format,	mengkonsentrasikan	Guan, dkk
	НСНО;	matahari	formaldehid,	cahaya matahari pada	
	20.6		methana, dan	temperature rata rata	
	НСООН		metanol	583K dalam sel	
				fotoreaksi	
2% Cu/TiO ₂	20	254 nm	Metanol	Memindahkan radiasi	2004
		lampu Hg		dari 254 ke 365 nm	Tseng,
				menghasilkan 60 kali	dkk
				pengurangan dan	
				menghasilkan	
				metanol	
1,2%	0,45	365 nm 16	Metanol	Tekanan CO ₂ 1,3 bar	2005 Wu,
Cu/TiO ₂		W cm ⁻²		dan waktu 5000s	dkk
		lampu Hg		menghasilkan	
				kenaikan intensitas	
				cahaya.	
3% Cu/TiO ₂	442	365 nm	Metanol	Penelitian	2009
		6x10 W		menunjukkan 1M	Slamet,
		$2450\mu W$		KHCO ₃ pada 60°C di	dkk
		cm ⁻²		temperatur 100°C	
				menghasilkan 70%	
				lebih tinggi	
TiO ₂	40 H ₂ ; 38	365 nm	Hidrogen,	Campuran produk	2006
didukung	НСООН;	1000 W	asam format,	menunjukkan jumlah	Sasirekha,
SiO_2	31 CH ₄ ;	lampu Hg	methane,	total 135 µmol h ⁻¹ g ⁻¹	dkk
	24		formaldehid,	menurut kurva. Dari	
	НСНО;		metanol	0,1 sampai 1% Ru	
	2			pada TiO ₂	
	CH ₃ OH			memberikan hasil	
				yang sama	



C didoping	439	Simulasi	Asam format	Doping karbon	2011 Xue,
TiO_2		lampu siang		menghasilkan celah	dkk
		hari		pita kecil dan	
				meningkatkan daerah	
				absorpsi cahaya	
rGO -CuO	51,16	Cahaya	Metanol	Luasan CuO	2015
		tampak		nanorods memainkan	Rashi
		lampu Led		peranan penting	Gusain,
		20 W		dalam aktivitas	dkk
				fotokatalis	

Sumber: Renaud, 2012



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3

METODE PENELITIAN

3. 1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

- Serbuk grafit dengan ukuran 150 μm
- Air suling/aquades dan es (H₂O)
- Asam Sulfat (H₂SO₄)
- Natrium Nitrat (NaNO₃)
- Potassium Permanganat (KMnO₄)
- Hidrogen Peroksida (H₂O₂)
- Asam Klorida 37% (HCl)
- Barium Klorida (BaCl₂)
- Dimetilformida (DMF)
- Serbuk Zn
- Sodium Hidroksida (NaOH)
- copper(II) acetate monohydrate (Cu(CO₂CH₃)₂ · H₂O)
- 3-aminopropyltrimethoxysilane (APTMS)
- Etanol absolute
- Toluena

3.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Neraca Analitik

Digunakan untuk mengukur massa serbuk grafit, KMnO₄, NaNO₃, grafit oksida, Na₂SO₄, Li₂SO₄, K₂SO₄, NaOH, Cu(CO₂CH₃)₂ · H₂O dan serbuk Zn.

2. Pipet dan spatula

Digunakan untuk mengambil dan mengaduk larutan.



3. Gelas kimia dan *Erlenmeyer*

Digunakan untuk tempat larutan dan tempat aktivitas kimia.

4. Hot plate with magnetic stirrer

Digunakan untuk mencampur dan mengaduk larutan agar homogen.

5. Crusible

Digunakan untuk proses drying.

6. Autoclave

Digunakan pada proses hydrothermal.

7. Muffle Furnace (Thermolyne)

Digunakan untuk proses pemanasan.

8. Centrifuge

Digunakan untuk memisahkan partikel terdispersi.

9. Ultrasonic Cleaner

Digunakan untuk homogenisasi dan pengelupasan lembaran GO menjadi rGO.

10. Lampu LED 19 W white

Digunakan sebagai sumber cahaya pada saat berlangsungnya reaksi fotokatalitik.

11. Ice bath

Digunakan sebagai wadah untuk meletakkan es dan pengkondisian lingkungan temperatur ice.

12. Reaktor

Terbuat dari *sterofoam* sebagai tempat untuk proses fotokatalitik berlangsung.

13. Instrumen Karakterisasi Material

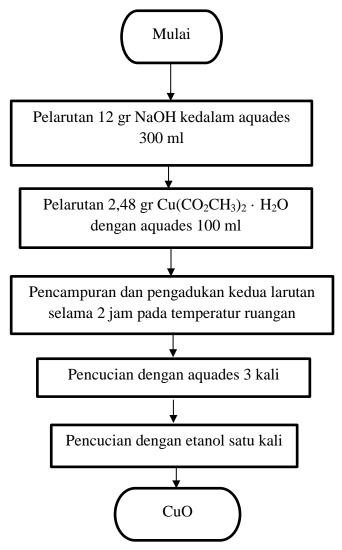
X-ray difraction (XRD) untuk mengetahui senyawa yang terkandung dalam suatu sampel dan struktur kristalnya, Scanning Electron Microscope (SEM) untuk menganalisis morfologi dan ukuran partikel, Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) untuk mengetahui gugus fungsi material, UV Vis untuk mengetahui tingkat absorbansi serta panjang



gelombang material, serta Gas Cromatography Mass Spectroscopy (GCMS) untuk mengukur secara kualitatif produk hasil konversi CO₂.

3.3 Diagram Alir Penelitian

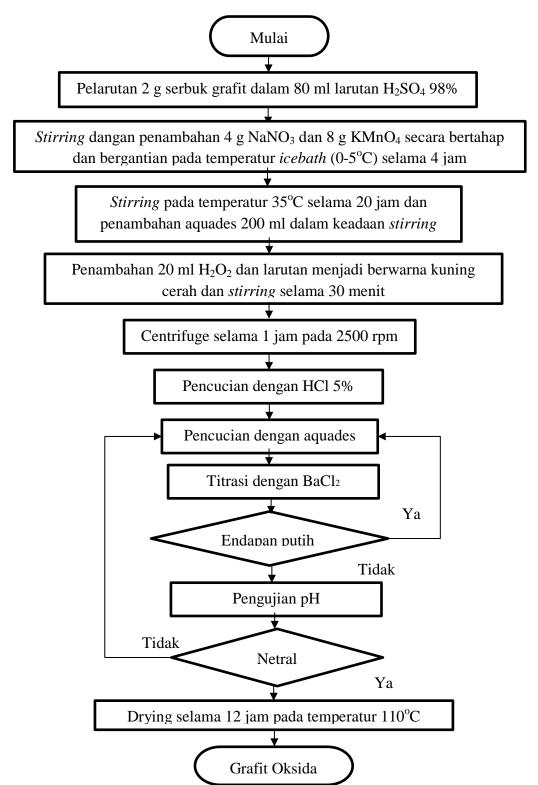
3.3.1 Diagram Alir Sintesis CuO



Gambar 3.1 Diagram Alir Pembuatan CuO



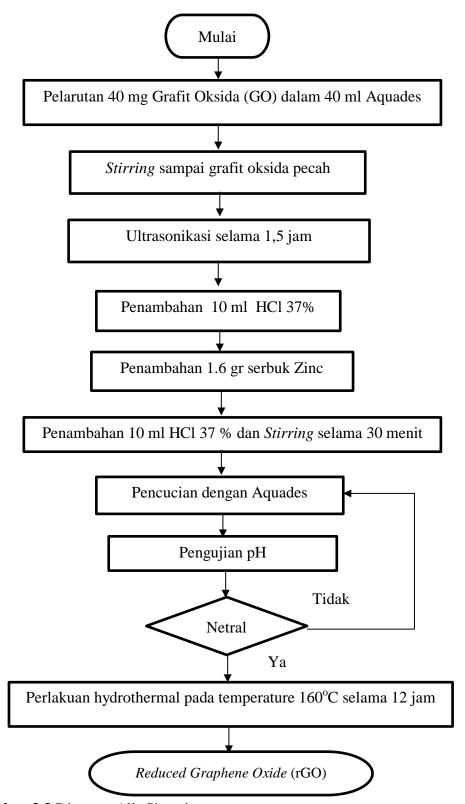
3.3.2 Diagram Alir Sintesis Grafit Oksida



Gambar 3.2 Diagram Alir Pembuatan Grafit Oksida



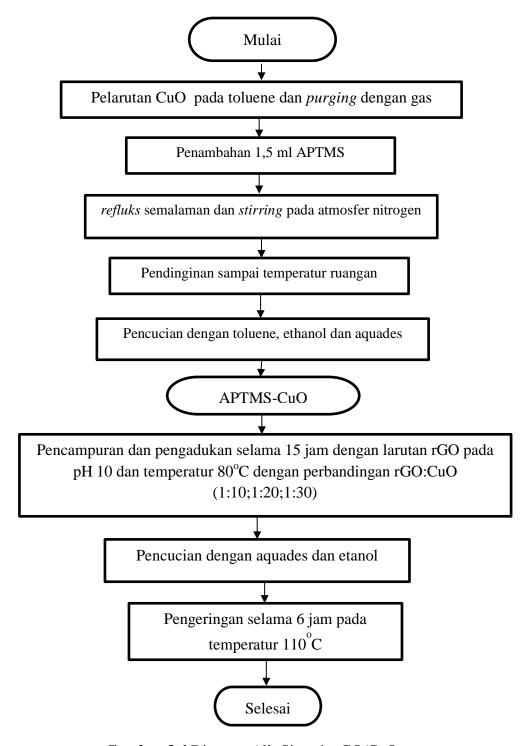
3.3.3 Diagram Alir Sintesis Reduced Graphene Oxide (rGO)



Gambar 3.3 Diagram Alir Sintesis Reduced Graphene Oxide (rGO)



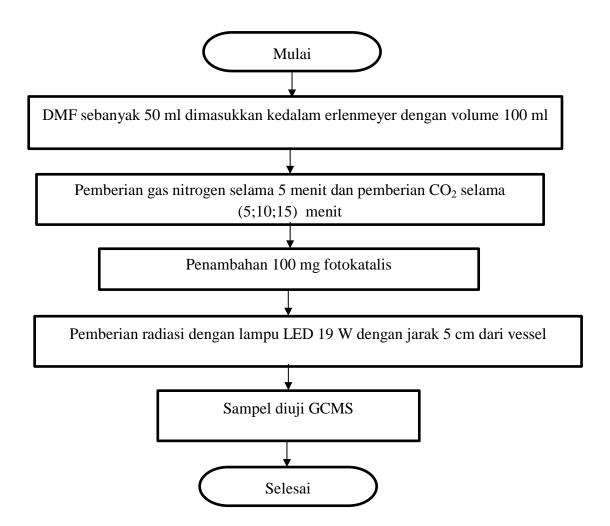
3.3.4 Diagram Alir Sintesis komposit rGO/CuO



Gambar 3.4 Diagram Alir Sintesis rGO/CuO

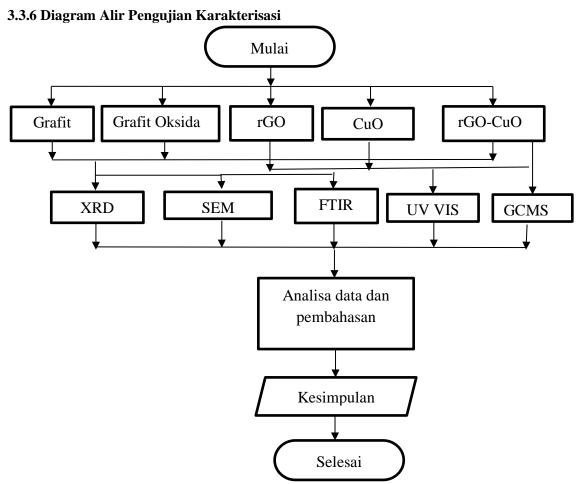


3.3.5 Diagram Alir Pengujian Konversi Metanol



Gambar 3.5 Diagram Alir Pengujian Konversi Metanol





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 Cu(CO₂CH₃)₂ · H₂O dengan larutan 0,3 mol NaOH ditemperatur kamar selama dua jam dengan pengadukan. Larutan Cu(CO₂CH₃)₂ · H₂O yang berwarna hijau akan berubah menjadi biru saat dicamputkan dengan larutan NaOH. Selanjutnya dilakukan pencucian dengan aquades sebanyak tiga kali dan terakhir dicuci menggunakan etanol.

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 H₂SO₄ 98% pada temperatur



icebath (0-5°C) selama 4 jam. Saat proses stirring telah berjalan selama 2 jam dilakukan penambahan 4 g NaNO3 dan 8 g KMnO4 secara bertahap dan bergantian kedalam larutan. (Penambahan (KMnO₄) menjadi hitam kehijauan). Selanjutnya mengeluarkan dari icebath dan dilanjutkan stirring pada temperatur 35°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 H₂O₂ untuk menghilangkan kandungan KMnO₄ 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 BaCl₂ 1M. Bila ada endapan putih dicuci lagi dengan aquades. Apabila tidak terdapat endapan putih uji pH.Pencucian dengan aruades dilakukan untuk menghilangkan ion sulfat dan menetralkan pH. Apabila pH telah netral dan tidak terdapat endapan saat titrasi BaCl₂ maka dilanjutkan proses drying pada temperatur 110°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.

3.4.3 Sintesis rGO/CuO

CuO didispersi dalam toluene dan dibersihkan dengan nitrogen. 1,5 ml APTMS ditambahkan pada CuO dispersi dan menghasilkan campuran yang direfluks sepanjang malam dengan pengadukan dibawah atmosfer nitrogen. Setelah itu dibiarkan dingin. Campuran dicuci beberapa kali dengan toluene dan dibilas dengan etanol dan aquades. Campuran APTMS dan CuO memiliki gugus fungsi amino yang mampu berikatan dengan rGO. Selanjutnya CuO-APTMS ditambah dengan rGO dan pH dijaga agar tetap 10. Temperatur reaksi ditingkatkan sampai 80°C dan distiring selama 15 jam. Rasio perbandingan rGO/CuO nanokomposit adalah 1:10;1:20 dan 1:30. Selanjutnya campuran dicuci beberapa kali dengan air dan etanol dan dikeringkan pada 110°C selama 6 jam di furnace.

3.5 Pengujian

3.5.1 XRD (X-Ray Diffraction)

Pengujian XRD ini adalah sebuah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui senyawa/unsur yang terbentuk pada sampel. Pengujian ini memanfaatkan difraksi dari sinar-X. Secara umum prinsip kerja XRD dapat dilihat pada gambar 3.16 yaitu generator tegangan tinggi yang berfungsi sebagai pembangkit daya sumber sinar-X pada bagian *x-ray tube*. Sampel berbentuk serbuk yang telah dimampatkan diletakkan diatas wadah yang dapat diatur posisinya. Lalu berkas sinar-X ditembak ke sampel dan sinar-x didifraksikan oleh sampel, kemudian berkas sinar-x masuk ke alat pencacah. Intensitas difraksi sinar-X ditangkap oleh detector dan diterjemahkan dalam bentuk kurva. Semua sampel grafena dianalisis menggunakan XRD dengan mesin PANalytcal seperti yang terlihat pada gambar 3.17. Dalam pengujian ini sampel harus dihaluskan terlebih dahulu menggunakan mortar agar serbuk grafena lebih halus lagi. Karena jika serbuk tidak halus maka permukaan yang didapat tidak rata dan dapat



mempengaruhi hasil difraksi sinar-x yang didapat. Untuk menganalisa hasil XRD digunakan *Joint Committee of Powder Difraction Standart* (JCPDS) atau dengan hanawalt.

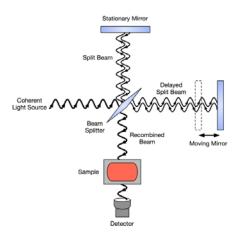


Gambar 3.7 Alat uji XRD (*X-ray Diffraction*)

3.5.2 FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)

Prinsip kerja FTIR adalah berdasarkan penyerapan radiasi infra merah. Infra merah dipancarkan melalui interferometer kemudian dipancarkan melalui sampel, sebagian radiasi infrared diserap sampel dan sebagian lain dipancarkan kembali dan tertangkap oleh *detector*. Besarnya radiasi infra merah yang tertangkap oleh detektor kemudian diubah menjadi spektrum oleh Interferogram. Mekanisme kerja FTIR ini diperlihatkan pada Gambar 3.20





Gambar 3.8 Skema Prinsip Kerja FTIR (Steven Voughan, 2009)

FTIR merupakan salah satu instrumen spektroskopi. Pada spektroskopi infra merah, radiasi inframerah dipancarkan mengenai sampel. Sebagian radiasi infra merah diserap oleh sampel sebagian yang lain ditransmisikan. Hasil spektrum infra merah menggambarkan penyerapan molekul dan transmisi, menggambarkan ciri khas sampel. Setiap molekul memiliki penyerapan berbeda sesuai dengan pola vibrasi dan pola ikatan antar atomnya. Tidak ada dua molekul yang menghasilkan spektrum infra merah yang sama. Oleh karena itu spektroskopi infra merah sangat berguna untuk berbagai analisis. FTIR dapat memberian informasi mengenai material yang belum diketahui (teridentifikasi), mengenai kualitas sampel, dan mengetahui jumlah komponen dalam suatu campuran. Gambar 3.19 memperlihatkan instrumen uji FTIR.



Gambar 3.9 Alat Uji FTIR



3.5.3 SEM (Scanning Electron Microscopy)

Mikroskop elektron yang menghasilkan gambar dari suatu sampel dengan memindainya menggunakan pancaran elektron. Elektron berinteraksi dengan atom di dalam sampel sehingga menghasilkan berbagai sinyal yang meghasilkan informasi tentang topografi permukan dan komposisi dari sampel. Sampel yang digunakan merupakan material konduktor, jika tidak konduktor maka akan dikonduktifkan dengan lembaran karbon. SEM dapat memperbesar gambar hingga perbesaran 100.000 kali karena memiliki resolusi mencapai 1,5 nm pada 30 kV. 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.





Gambar 3.10 Alat uji SEM (Scanning Electron Microscopy)

3.5.4 UV-VIS Absorbance

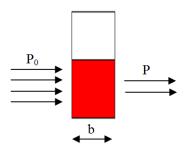
Pengujian UV-VIS dilakukan dengan menggunakan sinar tampak atau sinar ultraviolet yang dapat mengakibatkan eksitasi elektron dalam orbital molekul larutan dari tingkat energi dasar ke tingkat energi yang lebih tinggi. Cahaya yang mengenai larutan pada pengujian spektrofotometer UV-VIS akan diteruskan (transmisi) dan akan diserap (absorbsi). Pengujian ini dimaksudakn untuk mengetahui absorbansi (daya serap) dari larutan fotokatalis komposit rGO/CuO .. Alat pengujian spektrofotometer UV-VIS seperti Gambar 3.12 tersedia di Jurusan Kimia FMIPA, ITS.

Pengujian UV-VIS bertujuan untuk mengetahui panjang gelombang (λ) dan nilai absorbansi dengan cara menembakkan sinar ultraviolet (UV) pada larutan.





Gambar 3.11 Mesin UV-VIS Genesys 10S UV-VIS Spectrometer



Gambar 3.12 Skema Spektrofotometer UV-VIS

Secara umum radiasi energi input yang ditembakkan (P_0) akan semakin berkurang ketika ditembakkan ke larutan yang mempunyai konsentrasi untuk mengabsorb radiasi tersebut menjadi radiasi energi output dengan kadar yang lebih rendah dari nilai P_0 . Semakin tebal larutan (b) yang dilalui radiasi energi, akan membuat hasil output semakin rendah pula. Persentase transmisi larutan merupakan bagian dari cahaya yang diteruskan melalui larutan tersebut.

$$\%T = \frac{P}{P_0} \tag{3.1}$$

dengan:

P : Radiasi energi *output* (nm)



P₀ : Radiasi energi *input* (nm)

%T : Transmisi

Persentase nilai transmisi yang dihasilkan akan berbanding terbalik dengan nilai absorbansi yang dimiliki suatu larutan. Nilai persentase transmisi yang rendah akan menghasilkan nilai absorbansi yang tinggi. Hal ini dikarenakan radiasi energi yang ditembakkan akan diserap oleh larutan yang kemudian diabsorbsi dan mengakibatkan perubahan di dalam molekul larutan tersebut. Nilai absorbansi suatu larutan akan bertambah apabila terjadi pengurangan radiasi energi yang dihasilkan, dengan kata lain nilai absorbansi berbanding lurus terhadap ketebalan konsentrasi larutan.

Radiasi maksimal yang diserap oleh larutan tersebut akan ditunjukkan pada panjang gelombang tertinggi dari nilai absorbansi maksimum dan persentase nilai transmisi minimum yang dihasilkan larutan tersebut. Untuk perhitungan nilai absorbansi digunakan Hukum Lambert-Beer yang dirumuskan seperti pada Persamaan (3.2), Persamaan (3.3), dan Persamaan (3.4).

$$A = a x b x c (3.2)$$

$$A = -\log T \tag{3.3}$$

$$A = \log\left(\frac{1}{T}\right) \tag{3.4}$$

dengan:

A : Absorbansi

T : Transmisi

a : Absorbtivitas

b : Ketebalan larutan

c : Konsentrasi larutan

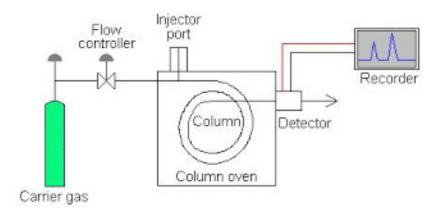


3.5.5 GCMS (Gas Cromatography Mass Spectroscopy)

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 detektor hantaran panas (Thermal Conductivity Detector_TCD) dan detektor ionisasi nyala (Flame Ionization Detector_FID)

Pada GC FID digunakan untuk menentukan jumlah gas CO2 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 3.13 Skema alat uji GC (Gas Cromatography)



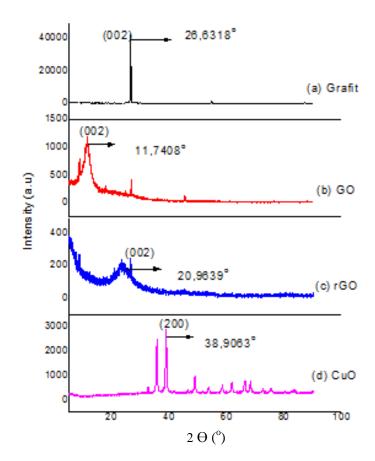
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Copper (II) Oxide (CuO) telah disintesis dengan proses kimia dari larutan tembaga asetat monohidrat (Cu(CO₂CH₃)₂ · H₂O) dan sodium hydroxide (NaOH) pada temperatur ruangan. 3-aminopropyltrimethoxysilane (APTMS) digunakan sebagai bi-functional linker untuk mencangkokkan CuO pada kerangka Reduced Graphene Oxide (rGO) melalui interaksi kimia. Sehingga terbentuk komposit rGO/CuO sebagai material fotokatalis untuk mengkonversi Carbon Dioxide (CO₂).

4.1 Hasil Pengujian X-Ray Diffraction (XRD)

Sampel grafit, GO, rGO, CuO serta komposit rGO-CuO dikarakterisasi menggunakan X-Ray Diffractometer Philips Analytical.



Gambar 4.1 Grafik hasil XRD pada sampel (a)Grafit, (b)GO, (c)rGO, dan (d)CuO



Gambar 4.1 menunjukkan hasil pengujian XRD menggunakan gelombang Cu-Kα 1,54 Å dengan sudut parameter 2θ= 5°-90° untuk sampel grafit, GO, rGO dan CuO. Gambar 4.1 (a) menunjukkan hasil uji XRD untuk sampel grafit. Berdasarkan gambar tersebut terdapat puncak difraksi tertinggi pada 2θ=26,6318° dan puncak difraksi yang lemah di 2θ=54,7° yang mewakili bidang (002). Puncak ini teridentifikasi sebagai fasa grafit sesuai JCPDS no 03-065-6212. Puncak tersebut memiliki intensitas yang tinggi sebesar 422421 dan sempit dengan d_{spacing} 3,34725 yang menandakan kristalinitas tinggi dari fasa grafit.

Gambar 4.1 (b) menunjukkan hasil XRD untuk sampel GO. Berdasarkan gambar tersebut terdapat puncak difraksi tertinggi di 2θ=11,7408° yang mewakili bidang (002), puncak ini teridentifikasi sebagai fasa grafit oksida. Intensitas puncak tersebut rendah sebesar 763,8 dan berbentuk lebih lebar dibandingkan puncak fasa grafit dengan d_{spacing} 7,53760 seperti yang terlihat pada Gambar 4.1 (a) yang menandakan fasa grafit oksida bersifat amorfus. Hal ini serupa dengan hasil oksidasi grafit menjadi GO yang telah dilakukan oleh Vu dkk dimana puncak 002 dengan sudut refleksi yang lebih rendah pada 2θ=11,1° d_{spacing} 0,794 nm (Vu, 2015). Selain itu terdapat puncak difraksi yang lemah di 2θ=26,8° yang mewakili bidang (002) yang menunjukkan sisa reaktan grafit belum teroksidasi.

Gambar 4.1 (c) menunjukkan pola XRD pada sampel rGO. Hasil XRD rGO memiliki profil peak yang lebar pada rentang 2θ=20,9° - 30,0° dengan bidang (002). Diantara rentang tersebut terdapat peak yang tinggi pada 2θ=26,6° yang menunjukkan masih adanya grafit yang belum sempurna teroksidasi dan tereduksi. Pola XRD rGO menunjukkan struktur material amorfus (Vu, 2015).

Gambar 4.1 (d) menunjukkan hasil XRD dari sampel CuO. Sampel CuO memiliki dua peak yang tajam terdapat pada 2Θ =35,81° dengan bidang (002) dan 2Θ =38,9° dengan bidang (200). Terdapat pula peak lain dengan intensitas yang lebih rendah di 2Θ =35,71° yang mewakili bidang (002), 2Θ =46,41° yang mewakili bidang (112), 2Θ =48,93° yang mewakili bidang (202). Sesuai JCPDS no 801917 CuO memiliki struktur kristal monoklinik dengan lattice parameters a=4,68Å, b=3,412Å, c=5,13Å, β =99,65° dan intensitas peak yang tinggi sebesar 2399 serta d_{spacing} yang rendah menunjukkan tingkat kristalinitas CuO tinggi.



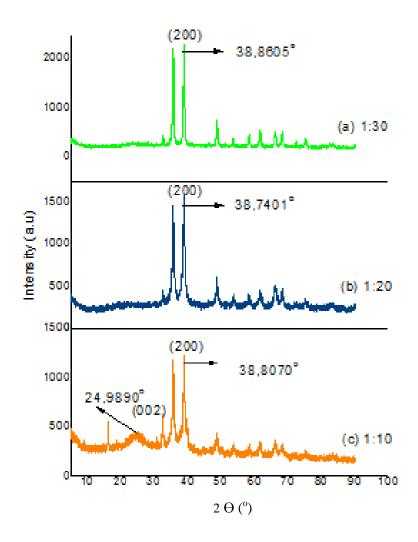
rGO telah berhasil disintesis dengan metode modifikasi Hummer. rGO dibuat dengan melarutkan grafit pada asam sulfat agar terjadi oksidasi. Natrium Nitrat dan Potassium Permanganat ditambahkan sebagai agen pereduksi agar semakin mempercepat proses oksidasi. Terjadinya proses oksidasi ditandakan dengan pergeseran peak grafit kearah kiri dan berbentuk lebih lebar. Hal tersebut menunjukkan adanya gugus oksida yang berikatan dengan atom karbon dan proses oksidasi ini menghasilkan produk berupa GO. Selanjutnya GO direduksi menjadi rGO dengan menggunakan serbuk zink. Hasil XRD pada rGO menunjukkan profil peak yang amorfus. Adanya proses pengelupasan yang ditunjukkan dengan semakin sempitnya jarak antar layer menandakan tingkat kemurnian rGO semakin tinggi. Tabel 4.1 menunjukkan perbedaan karakteristik pada sampel grafit, GO, rGO dan CuO. Grafit dan CuO memiliki nilai FWHM kecil yang mengindikasikan kedua material ini bersifat kristalin. Sedangkan GO dan rGO memiliki nilai FWHM yang lebih besar, hal ini mengindikasikan bahwa GO dan rGO bersifat amorfus

Tabel 4.1 Perbandingan hasil XRD dari Grafit, GO, dan rGO

Material	Angle 2 Θ (°)	FWHM (°)	d-spacing (Å)	Intensity
Grafit	26,6318	0,184	3,34725	42241,08
GO	11,7408	0,3346	7,5376	763,8
rGO	20,9639	0,4015	4,23764	16,71
CuO	38,9063	0,1171	2,31487	2399,22

Pengujian XRD juga dilakukan pada sampel komposit rGO/CuO dengan variasi 1:10, 1:20, dan 1:30. Hasil pengujian ditunjukkan oleh Gambar 4.2.





Gambar 4.2 Grafik hasil XRD pada sampel komposit rGO/CuO dengan komposisi
(a) 1:30, (b) 1:20 dan (c) 1:10

Gambar 4.2 menunjukkan hasil pengujian XRD pada sampel komposit rGO/CuO dengan tiga variasi komposisi. Gambar 4.2 (a) menunjukkan hasil uji XRD pada komposit rGO/CuO dengan rasio berat komposisi rGO : CuO adalah 1:30. Terdapat peak dengan intensitas yang tinggi di 2Θ =38,86° yang mewakili bidang (200) dan di 2Θ =35,71° yang mewakili bidang (002). Peak tersebut teridentifikasi sebagai CuO. Gambar 4.2 (b) menunjukkan hasil uji XRD pada komposit rGO/CuO dengan rasio berat komposisi rGO : CuO adalah 1:20. Terdapat peak dengan intensitas yang tinggi di 2Θ =38,74° yang mewakili bidang (200) dan di 2Θ =35,62° yang mewakili bidang (002). Peak tersebut teridentifikasi



sebagai CuO namun dengan intensitas peak yang lebih rendah dibandingkan dengan komposit rGO/CuO dengan variasi komposisi 1:30. rGO tidak terlihat pada sampel komposit rGO/CuO dengan komposisi 1:30 dan 1:20 karena pola difraksi yang kuat dari CuO dan konsentrasi rGO yang sangat rendah. Gambar 4.2 (c) menunjukkan hasil uji XRD pada komposit rGO/CuO dengan rasio berat komposisi rGO: CuO adalah 1:10. 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.

Tabel 4.2 Perbandingan hasil XRD dari komposit rGO/CuO

Variasi	Angle 2 Θ (°)	FWHM (°)	d-spacing (Å)	Intensity
rGO/CuO				
1:10	38,8070	0,2342	2,32057	811,33
1:20	38,7401	0,1171	2,32443	1082,61
1:30	38,8605	0,1840	2,31750	1992,19

Perbedaan peak pada sampel komposit rGO/CuO dengan variasi komposisi 1:10, 1:20 dan 1:30 ditunjukkan pada Tabel 4.2 berdasarkan peak tertinggi. Pola XRD untuk komposit rGO/CuO dengan perbandingan komposisi 1:10 menunjukkan pola difraksi yang kuat untuk CuO dan masih memperlihatkan adanya peak yang menunjukkan rGO, namun hal tersebut berkurang seiring bertambahnya komposisi CuO untuk variasi yang lain. rGO tidak terlalu terlihat pada pola XRD komposit rGO/CuO dengan perbandingan 1:30 karena pola difraksi yang kuat dari CuO dan konsentrasi rGO yang sangat rendah.

Perhitungan jarak antar layer (*interlayer distance*) dari grafit, grafit oksida, dan grafena dapat dilakukan dengan menggunakan Hukum Bragg pada **Persamaan 4.1.**

$$d_{002} = \frac{\lambda}{2\sin\theta} \tag{4.1}$$

Dimana:

$$d_{002}$$
 = Jarak antar layer (Å)



 λ = Panjang gelombang (1.54 Å)

 θ = Sudut difraksi (0)

Setelah dilakukan analisa, perbedaan jarak anter layer pada masing masing sampel dapat ditunjukkan pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Perhitungan jarak antar layer dari grafit, GO, rGO, CuO dan komposit rGO/CuO.

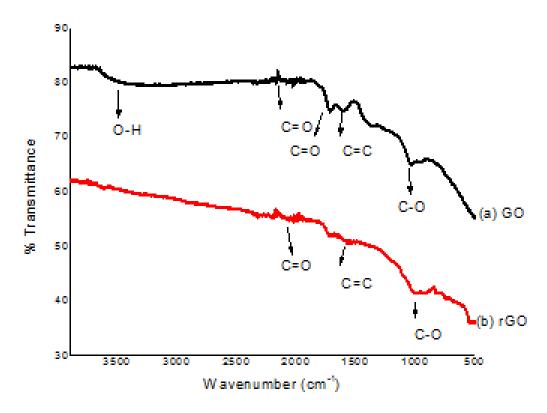
No	Sampel	Jarak antar Layer (Å)
1	G	3.34725
2	GO	7.5376
3	rGO	4.23764
4	CuO	2.31487
5	rGO/CuO 1:10	2.32057
6	rGO/CuO 1:20	2.32443
7	rGO/CuO 1:10	2.31750

Dari Tabel 4.3, dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan jarak antar layer dari grafit ke GO. Hal ini terjadi akibat terbentuknya gugus fungsional oksigen dan peningkatan kadar air di antara lapisan GO karena adanya proses oksidasi. Kemudian, pada rGO, nilai jarak antar layer menurun lagi mendekati nilai dari grafit, yang mengindikasikan adanya proses reduksi yang telah menghilangkan gugus fungsional oksigen dan air, 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 FTIR

Pengujian FTIR dilakukan terhadap sampel GO, rGO, serta komposit rGO/CuO dengan variasi komposisi 1:10, 1:20 dan 1:30 untuk mengetahui jenis ikatan apa saja yang terdapat pada masing-masing sampel, dan juga untuk mengetahui perbedaan dari masing-masing sampel. Pengujian ini menggunakan mesin Nicolet IS10 dengan *range* panjang gelombang sebesar 500-4000 cm⁻¹.



Gambar 4.3 Hasil uji FTIR untuk (a) GO dan (b) rGO

Gambar 4.3 menunjukkan hasil uji FTIR pada sampel GO dan rGO. Gambar 4.3 (a) menunjukkan spectrum IR dari sampel GO. Proses oksidasi grafit menjadi GO akan memunculkan beberapa peak. Pada panjang gelombang 3168,61 cm⁻¹ terdapat ikatan O-H. Spectra serapan pada panjang gelombang 2030,86 cm⁻¹ dan 1716,45 cm⁻¹ menunjukkan C=O yang merupakan gugus *Carbonyl*. Pada panjang gelombang 1615,58 terdapat ikatan C=C yang merupakan gugus *aromatic*. Pada panjang gelombang 1030,08 cm⁻¹ menunjukkan ikatan C-O yang merupakan *Strech Alkoxy* dan pada panjang



gelombang 433,94 cm-¹ menunjukkan ikatan C-C. Gambar 4.3 (b) menunjukkan spectrum IR dari sampel rGO. Proses reduksi GO menjadi rGO menghilangkan beberapa peak. Spectra serapan pada sampel rGO terdapat pada panjang gelombang 2195,05 cm-¹ yang menunjukkan ikatan C=C berupa gugus *aromatic*. Pada panjang gelombang 2024,23 cm-¹ terdapat C=O yang merupakan gugus *Carbonyl*. Pada panjang gelombang 1013,09 cm-¹ terdapat C-O yang merupakan *Strech Alkoxy*. Pada panjang gelombang 437,38 cm-¹ dan 420,98 cm-¹ terdapat ikatan C-C.

Setelah mendapatkan peak hasil uji FTIR, wavenumber dicocokkan dengan handbook FTIR. Analisa jenis gugus fungsi yang terdapat pada GO dan rGO dapat dilihat pada Tabel 4.4

Tabel 4.4 Jenis ikatan pada GO dan rGO

Sampel	Posisi peak (cm ⁻¹)	Jenis ikatan
	3168,61	О-Н
	2030,86	C=O
GO	1716,45	C=O
GO	1615,58	C=C
	1030,08	C-O
	433,94	C-C
	2195,05	C=C
	2024,23	C=O
rGO	1013,09	C-O
	437,38	C-C
	420,98	C-C

Hasil analisa FTIR menunjukkan bahwa GO mempunyai gugus yang berisi O dan H sementara rGO tidak mempunyai ikatan O-H, hal tersebut menunjukkan adanya kandungan oksigen dan air di dalamnya. Hal yang paling nampak jelas membedakan antara rGO dan GO adalah ikatan O-H yang awalnya ada pada GO tidak muncul pada rGO hal tersebut mengindikasikan pengurangan



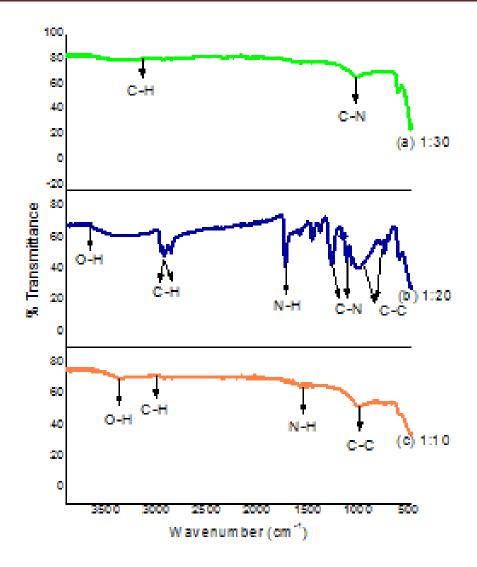
jumlah atom O dan H di dalamnya selain itu juga bertambahnya ikatan C-C pada rGO yang berarti reduksi telah terjadi sehingga rGO meningkat kemurniaanya.

Selain GO dan rGO pengujian FTIR juga dilakukan pada komposit rGO/CuO untuk variasi 1:10, 1:20 dan 1:30. Pada Tabel 4.5 memperlihatkan gugus fungsi yang terdapat pada komposit rGO/CuO dengan variasi rasio komposisi berat 1:10, 1:20 dan 1:30.

Tabel 4.5 Jenis ikatan komposit rGO/CuO

Sampel	Posisi peak (cm ⁻¹)	Jenis ikatan	
	2924,20	С-Н	
1:30	1015,13	C-N	
	482,41	C-C	
	3324,68	О-Н	
	2955,41	С-Н	
	2923,91	С-Н	
	2856,55	С-Н	
	1598,73	N-H	
	1578,42	N-H	
1:20	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	
	3331,93	О-Н	
1,10	2919,68	С-Н	
1:10	1557,26	N-H	
	992,97	C-C	





Gambar 4.4 Hasil uji FTIR komposit rGO/CuO (a) 1:30 (b) 1:20 dan (c) 1:30

Setelah CuO berhasil dicangkokkan pada kerangka rGO dengan APTMS linker, komposit dikarakterisasi menggunakan FTIR. Masing masing komposit menunjukkan karakteristik yang berbeda. Gambar 4.4 (a) menunjukkan jenis ikatan pada sampel komposit rGO/CuO dengan rasio berat komposisi 1:30. Pada panjang gelombang 2924,20 cm⁻¹ terdapat ikatan C-H yang merupakan gugus fungsi *aliphatic*. Pada 1015,13 cm⁻¹ terdapat ikatan C-N yang merupakan *amine*. Pada panjang gelombang 2924,20 cm⁻¹ terdapat ikatan C-C. Pada gambar 4.4 (b) menunjukkan jenis ikatan pada sampel komposit rGO/CuO dengan rasio berat komposisi 1:20. Ikaran pada sampel ini terbagi menjadi lima jenis. Ikatan O-H

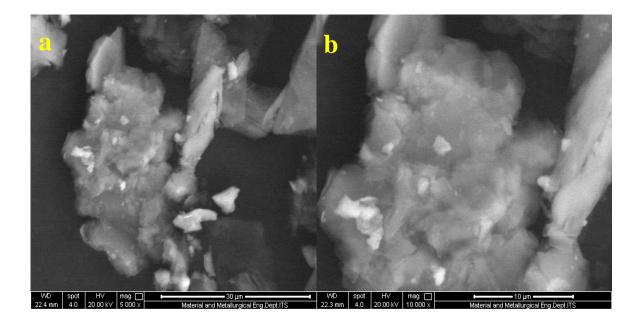


terdapat pada panjang gelombang 3324,68 cm⁻¹ selanjutnya ikatan C-H yang menunjukkan gugus fungsi *aliphatic* terdapat pada panjang gelombang 2923,91 cm⁻¹ dan 2856,55 cm⁻¹. Ikatan N-H dan C-N yang menunjukkan gugus fungsi *amine* berturut turut berada pada panjang gelombang 1598,73 cm⁻¹ dan 1266,59 cm⁻¹.Ikatan C-C terdapat pada panjang gelombang 996,05 cm⁻¹ hingga 704,18 cm⁻¹. Gambar 4.4 (c) menunjukkan jenis ikatan pada sampel komposit rGO/CuO dengan rasio berat komposisi 1:10. Pada panjang gelombang 3331,93cm⁻¹ terdapat ikatan O-H. Pada panjang gelombang 2919,68 cm⁻¹ terdapat ikatan C-N. Pada 1557,26 cm⁻¹ terdapat ikatan N-H. Pada panjang gelombang 992,97cm⁻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 APTMS didalam rGO/CuO. Selain itu adanya ikatan C-C menunjukkan kehadiran rGO pada komposit.

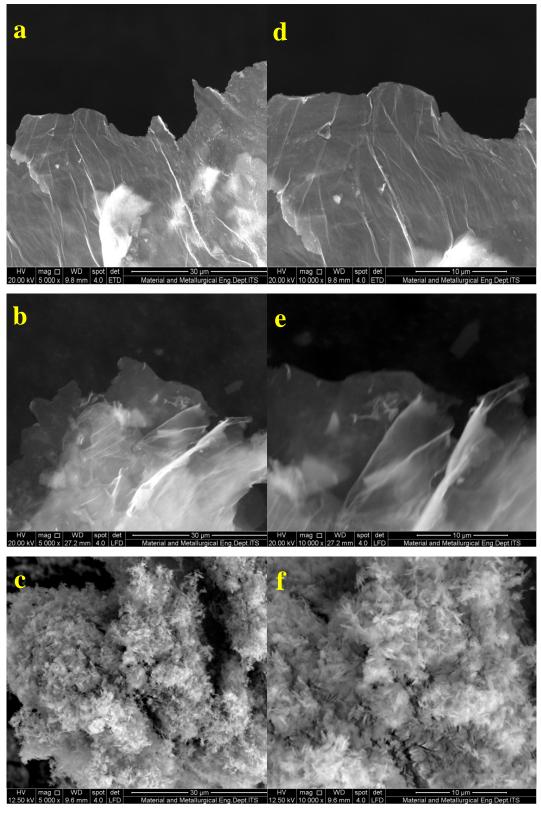
4.3 Hasil Pengujian Scenning Electron Microscopy (SEM)

Pengujian SEM dilakukan pada sampel grafit, GO, rGO, CuO.



Gambar 4.5 Hasil SEM dari grafit pada (a) 5000x dan (b) 10000x





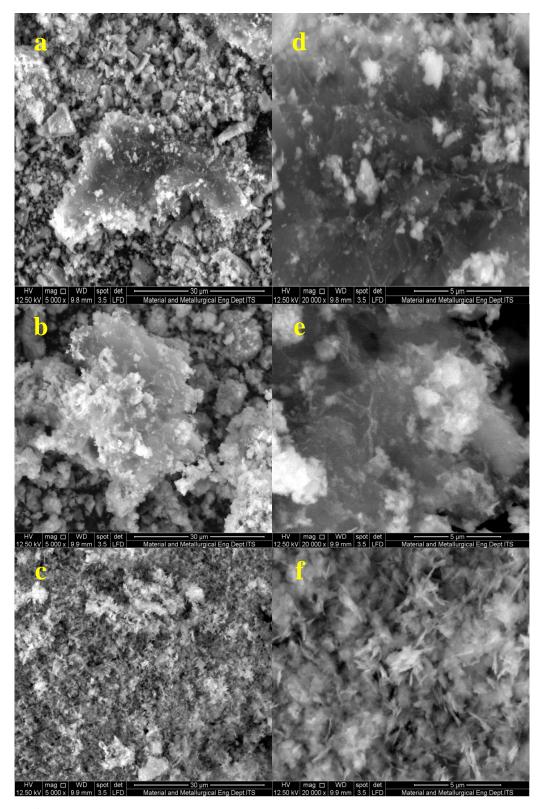
Gambar 4.6 Hasil SEM pada GO, rGO, CuO pada perbesaran (a,b.c) 5000x dan (d,e,f) 10000x



Alat yang digunakan pada pengujian ini adalah INSPECT S50. Pengujian dilakukan untuk mengetahui morfologi dan perbedaan struktur dari masingmasing sampel. Gambar 4.5 (a) menunjukkan hasil SEM pada sampel grafit dengan perbesaran 5000x. Sedangkan Gambar 4.5 (b) menunjukkan hasil SEM pada sampel grafit dengan perbesaran 10000x. Serbuk grafit memiliki partikel yang kecil dan tidak teratur. Morfologinya berbentuk seperti flakes. Setelah grafit mengalami oksidasi menjadi GO maka morfologi yang terjadi menjadi lembaranlembaran berlapis sehingga terlihat tebal, ketebalan dapat ditunjukkan dari gradasi warna yang terlihat.seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.6 (a) yang merupakan morfologi GO pada perbesaran 5000x dan Gambar 4.6 ()d yang merupakan morfologi GO pada perbesaran 10000x. Kemudian grafit oksida mengalami reduksi menjadi rGO. Pada Gambar 4.6 (b) memperlihatkan morfologi rGO pada perbesaran 5000x dan Gambar 4.6 (e) memperlihatkan morfologi rGO pada perbesaran 10000x. Morfologi memperlihatkan bentuk rGO berupa lembaran yang lebih tipis dibandingkan GO. Ukurannya mencapai 20-30 mikron. Hal tersebut terjadi akibat adanya proses pengelupasan (chemical exfoliation) pada GO.

Hasil pengujian SEM menunjukkan struktur morfologi dari grafit berupa serpihan (flakes) yang tersebar tidak merata. Setelah grafit dioksidasi menjadi GO dengan menggunakan asam sulfat (H₂SO₄), Sodium nitrat (NaNO₃) dan Pottasium Permanganate (KMnO₄) struktur morfologinya berubah menjadi lembaran yang bertumpuk dan tipis. Untuk mendapatkan rGO, GO direduksi dengan melakukan ultrasonifikasi dan menambahkan serbuk zink. Hal tersebut membuat struktur morfologi dari GO yang berupa lembaran bertumpuk menjadi lembaran yang terpisah dan lebih tipis. Morfologi CuO yang didapatkan dengan pencampuran secara kimia dari *copper (II) acetate monohydrate* (Cu(CO₂CH₃)₂· H₂O) 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.





Gambar 4.7 Hasil SEM pada komposit rGO/CuO dengan (a,b,c) Perbesaran 5000x dan (d,e,f) Perbesaran 20000x



Setelah rGO berhasil disintesis, rGO dikompositkan menjadi komposit rGO/CuO. Pengujian SEM juga dilakukan pada sampel komposit rGO/CuO dengan variasi komposisi rasio berat 1:10, 1:20 dan 1:30 untuk megetahui perbedaan struktur morfologi akibat penambahan CuO. Gambar 4.7 menunjukkan hasil pengujian SEM dari komposit rGO/CuO dengan variasi komposisi CuO.Gambar 4.7 (a) merupakan hasil uji SEM pada sampel komposit rGO/CuO dengan rasio komposisi berat 1:10. CuO terlihat seperti partikel kecil yang terikat pada lembaran rGO. Tidak semua partikel CuO terikat dengan rGO karena konsentrasi rGO yang rendah. Gambar 4.7 (b) memperlihatkan morfologi CuO yang lebih jelas terikat pada lembaran rGO pada komposit rGO/CuO dengan komposisi berat 1:10. Gambar 4.7 (c) menunjukkan perbesaran 5000x untuk komposit rGO/CuO dengan rasio komposisi berat 1:20. Hasil menunjukkan partikel CuO lebih besar dan lebih banyak terikat pada lembaran rGO. Perbesaran 20000x memperlihatkan morfologi yang lebih jelas yang ditunjukkan pada Gambar 4.7 (e). Gambar 4.7 (c) menunjukkan morfologi komposit rGO/CuO dengan variasi komposisi berat 1:30 pada perbesaran 5000x. Terlihat partiket CuO tersebar secara homogen diseluruh permukaan rGO. Namun rGO tidak terlihat karena konsentrasinya yang rendah dan tertutup oleh kehadiran partikel CuO. Pada perbesaran 20000x terlihat bahwa partikel CuO terdispersi pada rGO dan berbentuk seperti jarum-jarum.

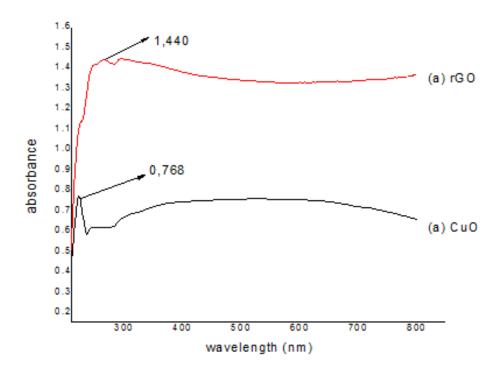
Secara keseluruhan hasil uji SEM menunjukkan adanya rGO dan CuO sebagai penyusun utama komposit dan saling mengikat satu sama lain. rGO yang berbentuk lembaran terbentang luas dengan adanya CuO berbentuk partikel menyerupai bunga yang tersebar dipermukaannya. Seiring dengan penambahan komposisi CuO, partikel yang menyerupai bunga mempunyai ukuran yang lebih besar. Pada komposit rGO/CuO dengan variasi komposisi berat 1:20, rGO mengikat CuO dengan komposisi yang lebih banyak, sehingga partikel CuO menunjukkan morfologi seperti jarum-jarum apabila dilihat dengan perbesaran 20000x dan menunjukkan diameter yang lebih besar. Hal ini serupa dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Wang dkk (Wang, 2016). Pada komposit rGO/CuO dengan komposisi 1:30, lembaran rGO hampir tidak terlihat karena



sedikitnya presentase dari rGO, sehingga yang terlihat hanya CuO yang tersebar secara homogen berbentuk jarum jarum.

4.4 Hasil pengujian UV-Vis Absorbance

Sampel rGO, CuO serta komposit rGO/CuO dengan variasi rasio komposisi berat 1:10, 1;20 dan 1:30 diuji dengan menggunakan spectrofotometri UV Vis Thermo Genesys 10S Uv-Vis Spectrometer . Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai absorbansi terhadap cahaya serta panjang gelombang pada suatu material. Sebelum dilkukan pengujian sampel dipreparasi dengan cara melautkan serbuk rGO, serbuk CuO serta serbuk komposit rGO/CuO kedalam etanol dengan konsentrasi rendah untuk menghasilkan larutan yang homogen. Selanjutnya pengujian dilakukan pada rentang panjang gelombang 200-800 nm. Gambar 4.8 menunjukkan grafik hasil uji UV-Vis pada sampel (a)rGO dan (b) CuO.



Gambar 4.8 hasil uji UV-Vis pada (a) rGO dan (b) CuO.



Tabel 4.6 Hasil uji UV Vis pada sampel CuO dan rGO

No	Sampel	Absorbance	wavelength (nm)
1	CuO	0,768	222
2	rGO	1,440	266

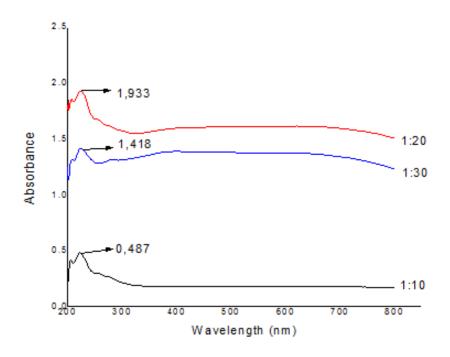
Daerah penyerapan cahaya pada panjang gelombang UV-Vis dibagi menjadi dua. Yang pertama daerah UV yang berarti material banyak menyerap energy dari sinar UV pada rentang 200-400 nm, dan yang kedua adalah daerah Visible yang berarti material banyak menyerap energy dari sinar tampak yang berapa pada panjang gelombang 400-800 nm.

Dari hasil uji UV-Vis Absorbance seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.6 sampel CuO sebagai material semikonduktor memiliki nilai absorbansi tertinggi dengan intensitas 0.768 pada panjang gelombang 222 nm. Intensitas tertinggi 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 gelompang 334 nm hingga 739 nm dimana daerah tersebut adalah daerah sinar tampak. Sampel CuO menunjukkan penyerapaan cahaya maksimal berada pada daerah sinar UV dan menyerap cahaya dengan intensitas yang lebih kecil pada daerah sinar tampak.

Pada sampel rGO menunjukkan nilai intensitas absorbansi yang lebih tinggi dibandingkan pada sampel CuO yakni sebesar 1.440 pada panjang gelombang 266. Sampel rGO memiliki penyerapan dengan intensitas yang lebih konstan dari daerah sinar UV hingga daerah sinar tampak.

Untuk mengetahui nilai absorbansi terhadap cahaya pada komposit rGO/CuO, sampel dilarutkan dengan pelarut etanol agar hasil serapan memiliki nilai maksimal. Selanjutnya sampel dimasukkan dengan kedalam cuvet. Terdapat dua cuvet yang dimasukkan pada alat. Yang pertama sebagai blangko yang berisi pelarut, dan cuvet kedua berisi larutan sampel yang akan diidentifikasi. Gambar 4.9 menunjukkan hasil uji UV-Vis terhadap komposit rGO/CuO dengan variasi komposisi.





Gambar 4.9 Hasil uji UV-Vis komposit rGO/CuO

Tabel 4.7 Hasil uji UV Vis untuk komposit rGO/CuO

No	Sampel	Absorbance	wavelength (nm)
1	rGO/CuO 1:10	0,487	222
2	rGO/CuO 1:20	1,933	223
3	rGO/CuO 1:30	1,418	223

Berdasarkan pada Tabel 4.7 hasil uji UV-Vis komposit rGO/CuO menunjukkan perilaku yang berbeda terhadap penyerapan cahaya untuk masing-masing sampel komposit dengan variasi CuO. Sampel komposit rGO/CuO dengan komposisi 1:20 menunjukkan intensitas penyerapan cahaya yang paling tinggi dibandingkan dengan komposit rGO/CuO yang lain. Nilai intensitas absorbansi pada komposit rGO/CuO dengan variasi komposisi berat 1:20 tersebut berturut turut 1.933 pada wavelength 223 nm. Pada komposit rGO/CuO dengan variasi rasio komposisi berat 1:30 memiliki intensitas absorbansi sebesar 1.418 pada wavelength 223. Pada komposit rGO/CuO dengan variasi komposisi berat 1:10 memiliki intensitas absorbansi tertinggi pada 0.487 dengan wavelength 222 nm.



Dari keseluruhan komposit dengan variasi rasio komposisi berat 1:10, 1:20 dan 1:30 memiliki intensitas absorbansi tertinggi yang terdapat pada daerah sinar UV dan menurun pada daerah sinar tampak. Hal tersebut menunjukkan penyerapan cahaya paling maksimal terdapat pada daerah sinar UV dan masih terjadi penyerapan cahaya namun dengan intensitas yang lebih kecil pada daerah sinar tampak.

Intensitas penyerapan cahaya menjadi hal yang penting pada proses fotokatalitis. Karena semakin banyak cahaya yang dapat diserap maka energi untuk mengkonversi CO₂ 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).

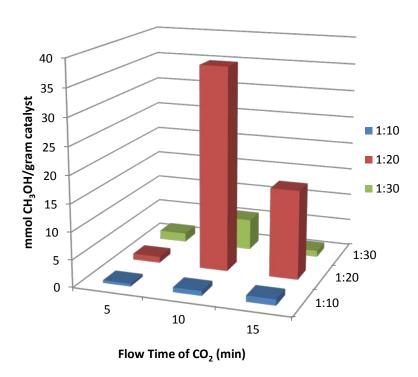
4.5 Hasil Pengujian GCMS

Sebanyak 50 ml DMF (Dimetilformamida) dimasukkan kedalam erlenmeyer dengan volume 100 ml. Komposit rGO/CuO didispersikan kedalam DMF (dimetilformamide) yang sebelumnya telah di*purging* menggunakan gas nitrogen untuk menghilangkan gas-gas lain dan diikuti dengan dialiri gas CO₂ dengan variasi waktu untuk masing-masing sampel. Kemudian sampel disinari dengan lampu LED 19 W selama 24 jam yang berjarak 5 cm dari sumber cahaya. Sampel sebanyak 1µl diinjeksikan kedalam alat GCMS untuk diidentifikasi. Pengujian dilakukan dengan alat GCMS Agilent 6980N Network GC System dengan autosampler dan detector menggunakan Agilent 5973 inert MSD.

Hasil dari uji GCMS menunjukkan bahwa karbon dioksida (CO₂) dapat terkonversi menjadi beberapa fuel. Hal tersebut terjadi karena untuk melangsungkan reaksi kimia membutuhkan waktu dan kondisi tertentu. Hasil konversi CO₂ dengan proses fotokatalitik menggunakan katalis komposit rGO/CuO dengan variasi komposisi menghasilkan metanol, ethanamine serta aldehyde sebagai produk.



Pada Gambar 4.10 menunjukkan presentase jumlah metanol sebagai hasil konversi dari gas ${\rm CO}_2$.



Gambar 4.10 Grafik hasil metanol

Tabel 4.8 Hasil perhitungan CO_2 yang telah terkonversi menjadi metanol

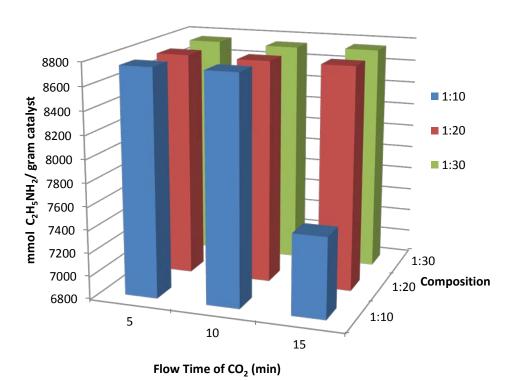
Komposit	Waktu alir	%	Hasil total	Hasil total
rGO/CuO	CO ₂ (menit)	normalisasi	μmol/gr catalyst	mmol/gr catalyst
1:10	5	0.004	495	0.49
	10	0.007	866	0.86
	15	0.009	1114	1.11
1:20	5	0.009	1114	1.11
	10	0.3	37125	37.12
	15	0.131	16211	16.21
1:30	5	0.013	1609	1.60
	10	0.046	5693	5.69
	15	0.009	1114	1.11



Berdasarkan Gambar 4.10 dan Tabel 4.8 menunjukkan jumlah metanol sebagai produk hasil konversi gas CO₂ dengan variasi katalis komposit rGO/CuO serta waktu alir gas CO₂. Pada Katalis komposit rGO/CuO dengan rasio komposisi berat 1:10 pada waktu alir gas CO₂ selama 5 menit menghasilkan metanol sebanyak 0,004%. Sedangkan pada waktu 10 menit menghasilkan metanol sebanyak 0,007%. Pada waktu alir gas CO₂ selama 15 menit menghasilkan metanol sebanyak 0,009%. Katalis komposit rGO/CuO dengan rasio komposisi berat 1:20 menunjukkan jumlah metanol yang berbeda. Pada waktu alir gas CO₂ selama 5 menit menghasilkan metanol sebanyak 0,009%. Pada waktu alir gas CO₂ selama 10 menit menghasilkan metanol sebanyak 0,3%. Sedangkan pada waktu alir gas CO₂ selama 15 menit menghasilkan metanol sebanyak 0,131%. Katalis komposit rGO/CuO dengan rasio komposisi berat 1:30 menunjukkan jumlah metanol yang berbeda. Pada waktu alir gas CO2 selama 5 menit menghasilkan metanol sebanyak 0,013%. Pada waktu alir gas CO₂ selama 10 menit menghasilkan metanol sebanyak 0,046%. Sedangkan pada waktu alir gas CO₂ selama 15 menit menghasilkan metanol sebanyak 0,0009%.

Dari keseluruhan hasil uji GCMS menunjukkan reaksi fotokatalitik dengan katalis rGO/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 komposit rGO/CuO dengan komposisi 1:20 dengan waktu alir gas CO₂ selama 10 menit sebesar 0,45%. Selanjutnya diikuti dengan waktu alir gas CO₂ selama 15 menit sebesar 0,131%. Perbedaan hasil yang signifikan tersebut terjadi karena adanya perbedaan waktu selama pengujian. Adanya perbedaan waktu menyebabkan metanol teroksidasi sehingga kandungan metanol berkurang. Begitu juga dengan larutan DMF dengan katalis rGO/CuO dengan komposisi 1:30 yang memiliki hasil maksimal pada waktu alir gas CO₂ pada menit ke 10 yaitu sebesar 0,046% dan menurun pada menit ke 15 sebesar 0,009%. Sedangkan pada komposit dengan komposisi rGO/CuO 1:10 secara umum menunjukkan semakin meningkatnya jumlah waktu alir CO₂, semakin memperbanyak CO₂ yang terkonversi. Selain terkonversi menjadi metanol, CO₂ juga terkonversi menjadi ethanamine.





Gambar 4.11 Hasil Ethanamine

Tabel 4.9 Hasil perhitungan CO_2 yang telah terkonversi menjadi ethanamine

Komposit	Waktu alir	%	Hasil total	Hasil total
•	waktu aiii	/0	Hasii totai	Hasii totai
rGO/CuO	CO ₂ (menit)	normalisasi	µmol/gr catalyst	mmol/gr catalyst
1:10	5	99.859	8754306	8754
	10	99.894	8757374	8757
	15	85.568	7501461	7501
1:20	5	99.704	8740717	8740
	10	99.591	8730811	8730
	15	99.589	8730636	8730
1:30	5	99.827	8751500	8751
	10	99.683	8738876	8738
	15	99.823	8751150	8751



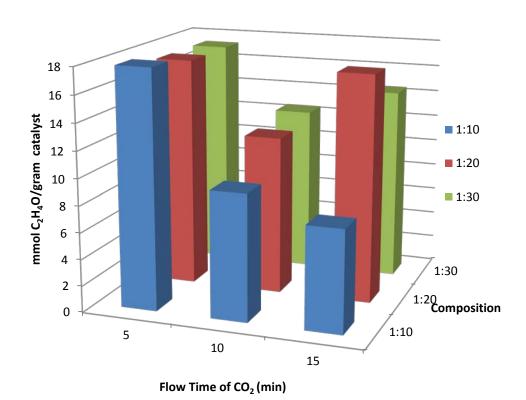
Ethanamine merupakan paduan kimia yang biasa digunakan pada industri kimia dan sintesis organik. Ethanamine dsintesis menggunakan etanol dan amonia. Etanol sendiri merupakan salah satu produk hasil konversi CO2 dengan menggunakan ≥ 8 elektron. Reaksi konversi CO₂ menjadi etanol seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.1 yang membutuhkan energi sebesar 1325.56 kJ·mol⁻¹ (You, 2017). Jumlah ethanamine seperti yang terdapat pada Gambar 4.11 dan Tabel 4.9. Larutan DMF dengan katalis rGO/CuO dengan variasi rasio komposisi berat 1:10 pada waktu alir gas CO₂ selama 5 menit menghasilkan ethanamine sebanyak 99,859%. Pada waktu alir gas CO₂ selama 10 menit menghasilkan etahnamine sebanyak 99,89%. Serta pada waktu alir gas CO₂ selama 15 menit menghasilkan ethanamune sebanyak 85,568%. Hasil tersebut berbeda dengan katalis komposit rGO/CuO dengan variasi rasio berat komposisi 1:20 pada waktu alir gas CO₂ selama 5 menit menghasilkan ethanamine sebanyak 99,704%. Pada waktu alir gas CO₂ selama 10 menit sebesar 99,591% dan pada waktu alir gas CO₂ selama 15 menit sebanyak 99,827%. Katalis komposit rGO/CuO dengan variasi rasio komposisi berat 1:30 menghasilkan ethanamine sebanyak 99,827% pada waktu dialiri gas CO₂ selama 5 menit, 99,683% pada waktu alir gas CO₂ selama 10 menit dan 99,823% pada waktu alir gas CO₂ selama 15 menit.

Secara keseluruhan hasil uji GCMS menunjukkan jumlah ethanamine tertinggi terjadi pada larutan DMF dengan katalis rGO/CuO dengan komposisi 1:10 pada waktu alir CO₂ selama 10 menit sebesar 99,894. Hasil ethanamine menurun seiring dengan bertambahnya waktu alir CO₂ untuk larutan DMF dengan katalis komposit rGO/CuO dengan variasi rasio komposisi berat 1:10 dan 1:20. Sedangkan untuk katalis rGO/CuO dengan komposisi 1:30 hasil ethanamine meningkat seiring bertambahnya waktu alir CO₂ dan menurun kembali pada waktu alir CO₂ selama 15 menit.

Reaksi konversi CO₂ menjadi fuel pada penelitian ini menghasilkan produk berupa metanol dan ethanamine serta aldehyde. Ethanamine dapat dilakukan proses yang lebih lanjut untuk memisahkan etanol dan amine. Reaksi pembentukan etanol.



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 CO₂ menjadi aldehyde seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.1. Senyawa aldehyde biasa digunakan sebagai bahan sintesis kimia untuk pembuatan formalin, plastik melamin, bakelit, dll.Jumlah aldehyde ditunjukkan pada Gambar 4.12



Gambar 4.12 Hasil Aldehyde



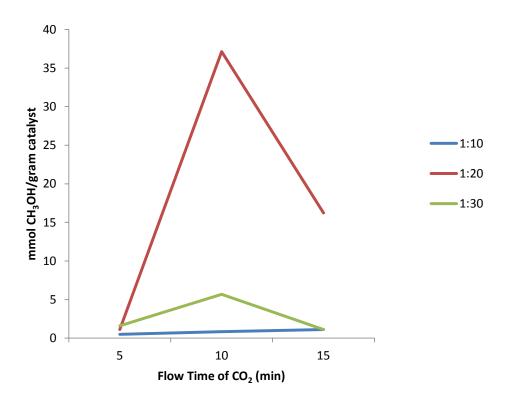
Tabel 4.10 Hasil perhitungan CO₂ yang telah terkonversi menjadi ethanamine

Komposit	Waktu alir	%	Hasil total	Hasil total
rGO/CuO	CO ₂ (menit)	normalisasi	µmol/gr catalyst	mmol/gr catalyst
1:10	5	0.2	17909	17.9
	10	0.107	9581	9.5
	15	0.087	7790	7.7
1:20	5	0.194	17372	17.3
	10	0.133	11910	11.9
	15	0.192	17193	17.1
1:30	5	0.194	17372	17.3
	10	0.14	12536	12.5
	15	0.163	14596	14.5
-				

Gambar 4.12 dan Tabel 4.10 menunjukkan hasil aldehyde sebagai produk konversi gas CO₂. Pada Komposit rGO/CuO dengan variasi rasio berat komposisi 1:10 pada waktu alir gas CO₂ selama 5 menit menghasilkan aldehyde sebanyak 0,2%. Pada waktu alir gas CO₂ selama 10 menit menghasilkan aldehyde sebanyak 0,107% dan pada waktu alir 15 menit menghasilkan aldehyde sebanyak 0,087%. Pada Komposit rGO/CuO dengan variasi rasio berat komposisi 1:20 pada waktu alir gas CO₂ selama 5 menit menghasilkan aldehyde sebanyak 0,194%. Pada waktu alir gas CO₂ selama 10 menit menghasilkan aldehyde sebanyak 0,192%. Pada Komposit rGO/CuO dengan variasi rasio berat komposisi 1:10 pada waktu alir gas CO₂ selama 5 menit menghasilkan aldehyde sebanyak 0,194%. Pada waktu alir gas CO₂ selama 5 menit menghasilkan aldehyde sebanyak 0,194%. Pada waktu alir gas CO₂ selama 10 menit menghasilkan aldehyde sebanyak 0,194% dan pada waktu alir 15 menit menghasilkan aldehyde sebanyak 0,14% dan pada waktu alir 15 menit menghasilkan aldehyde sebanyak 0,14% dan pada waktu alir 15 menit menghasilkan aldehyde sebanyak 0,163%.

Perbedaan kinerja komposit rGO/CuO dengan variasi komposisi CuO sebagai katalis pada proses fotokatalitik konversi CO₂ ditunjukkan pada Gambar 4.13 sampai 4.15

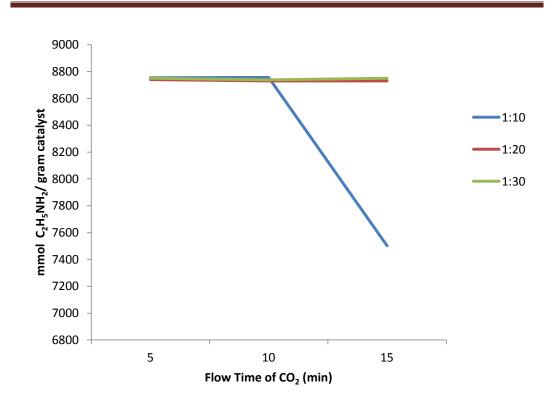




Gambar 4.13 Performa katalis komposit rGO/CuO pada produk metanol

Berdasarkan Gambar 4.13 jumlah metanol sebagai produk hasil konversi gas CO₂ semakin meningkat saat waktu alir gas CO₂ bertambah dari 5 menit ke 10 menit, dan menurun kembali saat menit ke 15. Performa katalis terbaik dimana dapat menghasilkan produk metanol paling besar yaitu komposit rGO/CuO dengan variasi komposisi berat 1:20 diikuti 1:30 dan 1:10.

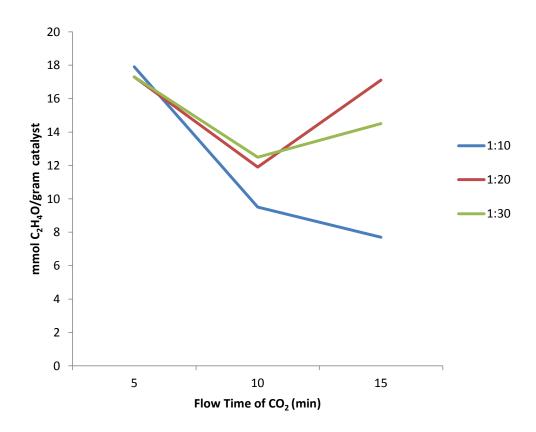




Gambar 4.14 Performa katalis komposit rGO/CuO pada produk Ethanamine

Berdasarkan Gambar 4.14 jumlah ethanamine sebagai produk hasil konversi gas CO₂ relatif konstan seiring meningkatnya waktu alir gas CO₂. Namun terjadi penurunan hasil ethanamine pada komposit rGO/CuO dengan variasi rasio komposisi bert 1:10 setelah menit ke 10. Performa katalis terbaik dimana dapat menghasilkan produk metanol paling besar yaitu komposit rGO/CuO dengan variasi komposisi berat 1:20 diikuti 1:30 dan 1:10.





Gambar 4.15 Performa katalis komposit rGO/CuO pada produk Aldehyde

Berdasarkan Gambar 4.15 jumlah aldehyde sebagai produk hasil konversi gas CO₂ semakin meningkat saat waktu alir gas CO₂ bertambah dari 10 menit ke 15 menit. Performa katalis terbaik dimana dapat menghasilkan produk aldehyde paling besar yaitu komposit rGO/CuO dengan variasi komposisi berat 1:20 diikuti 1:30 dan 1:10.

Gas CO₂ yang direaksikan dengan dimetilformamide (DMF) yang selanjutnya diberi katalis komposit rGO/CuO dengan bantuan sumber cahaya dapat menghasilkan produk produk senyawa kimia melalui reaksi fotokatalitik. Produk hasil konversi tersebut teridentifikasi berdasarkan hasil uji GCMS berupa metanol, ethanamine dan aldehyde. Berdasarkan Gambar 4.13 hingga Gambar 4.15 menunjukkan pengaruh waktu alir gas CO₂ terhadap jumlah produk hasil konversi. Secara umum seiring bertambahnya jumlah waktu alir semakin memperbanyak jumlah produk hasil konversi. Namun pernyataan tersebut berbeda



untuk masing-masing produk hasil konversi, karena adanya perubahan reaksi kimia menjadi senyawa kimia yang lain selama waktu berjalan seiring dengan terpenuhinya energi untuk terjadinya proses konversi. Pada Gambar 4.13 hingga Gambar 4.15 juga menunjukkan kinerja terbaik untuk mengkonversi CO₂ menjadi senyawa kimia terdapat pada komposit rGO/CuO dengan komposisi 1:20 diikuti dengan komposisi 1:30 dan terakhir 1:10. Hal ini menunjukkan adanya penambahan jumlah CuO pada komposit rGO/CuO dapat meningkatkan performa dari material katalis rGO/CuO. Karena CuO berperan sebagai material yang membantu meningkatkan daya absorbansi komposit terhadap cahaya. Dimana cahaya merupakan sumber energi agar fotokatalis dapat berfungsi (Gusain, 2015).



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Copper (II) Oxide (CuO) telah disintesis dengan proses kimia dari larutan tembaga asetat monohidrat (Cu(CO₂CH₃)₂ · H₂O) dan sodium hydroxide (NaOH) pada temperatur ruangan. 3-aminopropyltrimethoxysilane (APTMS) digunakan sebagai bi-functional linker untuk mencangkokkan CuO pada kerangka Reduced Graphene Oxide (rGO) melalui interaksi kimia. Sehingga terbentuk komposit rGO/CuO sebagai material fotokatalis untuk mengkonversi Carbon Dioxide (CO₂). Hasil uji GCMS menunjukkan pada komposit rGO/CuO 1:20 pada waktu alir gas CO₂ selama 10 menit dihasilkan 37,12 mmol metanol /gram katalis. Selain metanol produk yang juga dihasilkan berupa ethanamine sebanyak 8730 mmol /gram katalis dan aldehyde sebanyak 17,1 mmol /gram katalis. Hasil uji GCMS menunjukkan kinerja terbaik untuk mengkonversi CO₂ menjadi senyawa kimia terdapat pada komposit rGO/CuO dengan komposisi 1:20 diikuti dengan komposisi 1:30 dan terakhir 1:10. Hal ini menunjukkan adanya penambahan jumlah CuO pada komposit rGO/CuO dapat meningkatkan performa dari material katalis rGO/CuO. Karena CuO berperan sebagai material yang membantu meningkatkan daya absorbansi komposit terhadap cahaya.

5.2 Saran

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

- Untuk mendapatkan hasil UV Vis dengan hasil absorbansi tinggi, sebaiknya digunakan pelarut yang dapat melarutkan sampel secara homogen dan terlarut sempurna.
- 2. Pada pengujian SEM sebaiknya ditambah untuk melakukan pengujian EDX.
- 3. Pada pengujian GCMS sebaiknya waktu penginjeksian sampel dilakukan berulang dengan sampel yang sama dalam rentang waktu yang konstan.



- 4. Sumber cahaya yang digunakan pada saat proses fotokatalitik sebaiknya memiliki daya yang lebih besar.
- 5. Melakukan pengujian BET untuk mendukung hasil pengujian yang lain.

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.
- Brady, James E., (1990), General Chemistry, 5th edition, John Woley&Sons, New York, 705.
- Crab.rutgers.edu/~alroche/Ch11.pdf, (2018).
- Dale A.C. Brownson, Craig E.Banks, (2014), The Handbook of Graphene Electrochemistry, Springer, London.
- Eduargo 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 CO2 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 TiO2 Photocatalysis", Surface Science Reports, Vol 66, 185–297.
- Indrakanti Venkata Pradeep, Kubicki J.D., Schobert H.H., (2009), "Photoinduced Activation of CO2 on Ti-Based Heterogeneous Catalysts: Current State, Chemical Physics-Basedinsights 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.
- Kamat P.V, (2012), "Manipulation of Charge Transfer Across Semiconductor Interface. Acriterion 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 CO2 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, Eimburanapravat 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 CO2 into Valuable Chemicals", Energy Procedia, Vol 37, 6704–6709.
- Renaud Kiesgen de Richter, Ming Tingzhen, Caillol Sylvain, (2012), "Fighting Global Warming by Photocatalytic Reduction of CO2 Using Giant Photocatalytic Reactors", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier.
- Sun L, Wang G, Hao R, Han D, Cao S., (2015), "Solvothermal Fabrication and Enhanced Visible Light Photocatalytic Activity of Cu2O-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 Cuo-Cu2O-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 Catalytic Oxidation of CO", Catalysts.
- Wu Zhong- Shuai, Zhou G., Yin Li-Chang, Ren W., Li F., Cheng Hui-Ming, (2011), "Graphene/Metal Oxide Composite Electrode Materials for Energy Storage", Nano Energy, Vol 1, 107-131.
- Yusoff Norazriena Binti, (2013), Synthesis Of Functionalized Graphene/ Copper Oxide (Cuo) Nanocomposites and Their Catalytic Activity, Dissertation Ph. D., University of Malaya, Kuala lumpur.
- 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.
- Zou W, Zhang L, Liu L, Wang X, Sun J, Wu S, Deng Y, Tang C, Gao F, Dong L., (2015), "Engineering the Cu2-Reduced Graphene Oxide Interface to Enhance Photocatalytic Degradation of Organic Pollutants Under Visible Light", Applied Catalysis B, Environmental, Vol 181, 495–503.

LAMPIRAN

1. Grafik XRD

Measurement Conditions:

Raw Data Origin PHILIPS-binary (scan) (.RD)

Scan Axis Gonio

Start Position [°2Th.] 5.0084

End Position [°2Th.] 89.9744

Step Size [°2Th.] 0.0170

Scan Step Time [s] 10.1500

Scan Type Continuous

Offset [°2Th.] 0.0000

Divergence Slit Type Fixed

Divergence Slit Size [°] 0.2500

Specimen Length [mm] 10.00

Receiving Slit Size [mm] 12.7500

Measurement Temperature [°C]-273.15

Anode Material Cu

K-Alpha1 [Å] 1.54060

K-Alpha2 [Å] 1.54443

K-Beta [Å] 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

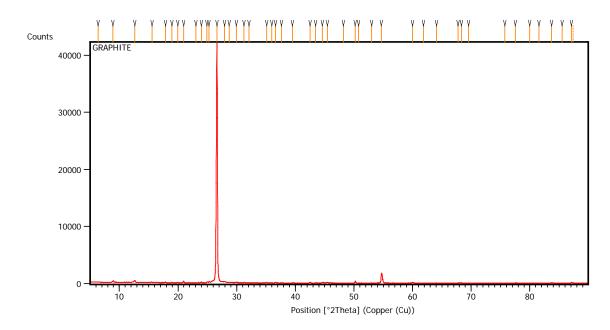
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm] 91.00

Incident Beam MonochromatorNo

Spinning Yes



a. GrafitMain Graphics, Analyze View:



Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left	d-spacing	Rel. Int. [%]
		[°2Th.]	[Å]	
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
23.9826	130.11	0.1673	3.71065	0.31



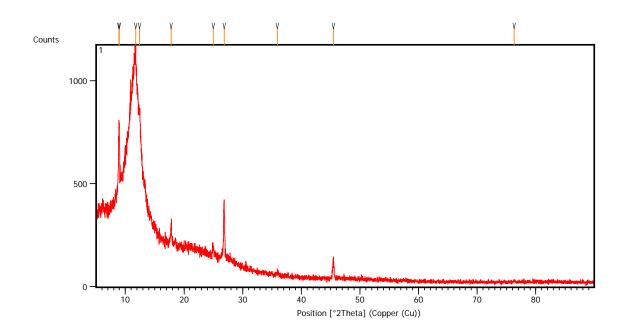
24.9384	174.08	0.1673	3.57056	0.41
25.2989	297.95	0.0669	3.52050	0.71
26.6318	42241.08	0.1840	3.34725	100.00
27.9237	239.27	0.2676	3.19525	0.57
28.7059	122.39	0.2342	3.10994	0.29
29.9345	143.58	0.1338	2.98504	0.34
31.2784	92.49	0.2007	2.85978	0.22
32.1313	53.39	0.1338	2.78580	0.13
35.1217	92.82	0.2342	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:

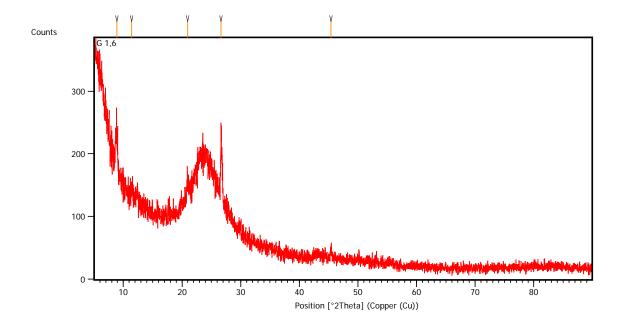
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left	d-spacing	Rel. Int. [%]
		[°2Th.]	[Å]	
8.8639	322.52	0.1004	9.97648	42.23
8.9779	413.14	0.0502	9.85014	54.09



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 Grafit Oxide (rGO)

Main Graphics, Analyze View:



Peak List:

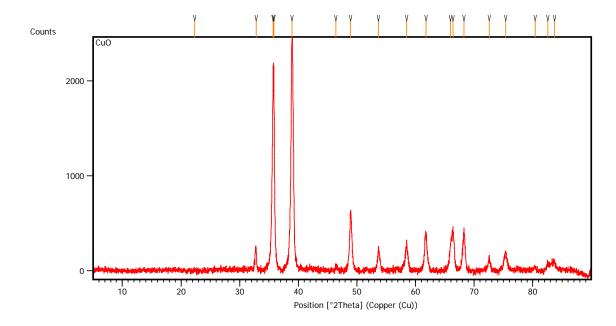
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left	d-spacing	Rel. Int. [%]
		[°2Th.]	[Å]	
8.8807	56.46	0.4015	9.95771	61.54



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:

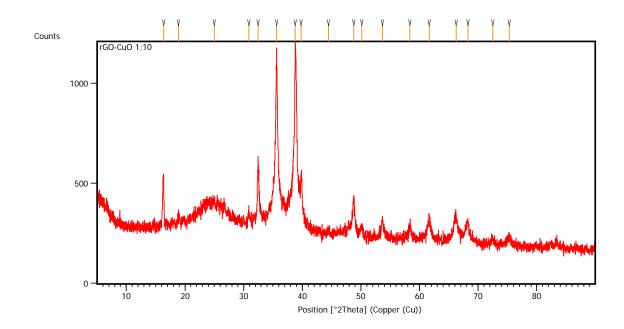
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left	d-spacing	Rel. Int. [%]
		[°2Th.]	[Å]	
22.3578	9.97	0.4684	3.97650	0.42
32.8158	204.26	0.2676	2.72923	8.51
35.7154	2070.31	0.1020	2.51195	86.29
35.8146	2141.62	0.0836	2.50729	89.26
38.9063	2399.22	0.1171	2.31487	100.00



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/CuO dengan komposisi 1:10

Main Graphics, Analyze View:





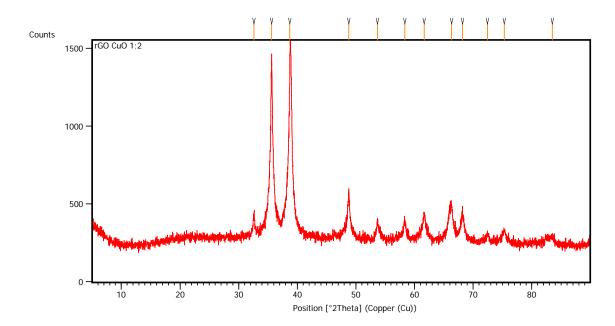
Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left	d-spacing	Rel. Int. [%]
		[°2Th.]	[Å]	
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/CuO dengan komposisi 1:20

Main Graphics, Analyze View:



Peak List:

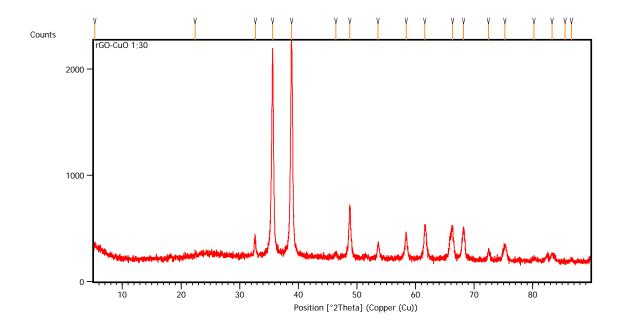
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left	d-spacing	Rel. Int. [%]
		[°2Th.]	[Å]	
32.6383	132.10	0.2007	2.74367	12.20
35.6283	1044.03	0.1004	2.51997	96.44
38.7401	1082.61	0.1171	2.32443	100.00
48.7553	286.56	0.1673	1.86781	26.47
53.6748	125.57	0.1673	1.70765	11.60
58.3305	110.39	0.3346	1.58196	10.20
61.6483	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/CuO dengan komposisi 1:20

Main Graphics, Analyze View:



Peak List:

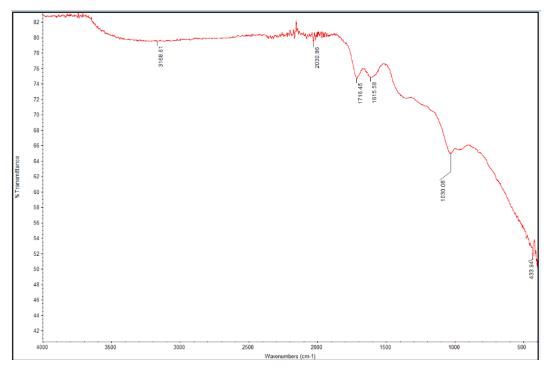
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left	d-spacing	Rel. Int. [%]
		[°2Th.]	[Å]	
5.3164	71.84	0.4015	16.62316	3.61
22.4040	37.52	0.1004	3.96841	1.88
32.6508	170.53	0.2007	2.74265	8.56
35.6597	1854.39	0.1338	2.51783	93.08
38.8605	1992.19	0.1840	2.31750	100.00
46.4399	46.00	0.4015	1.95539	2.31
48.7574	462.04	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

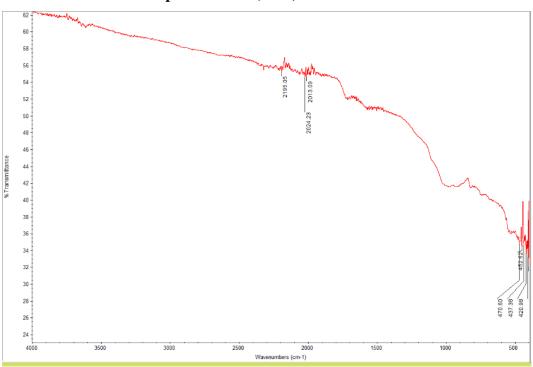
2. Grafik FTIR

a. Grafit Oksida (GO)

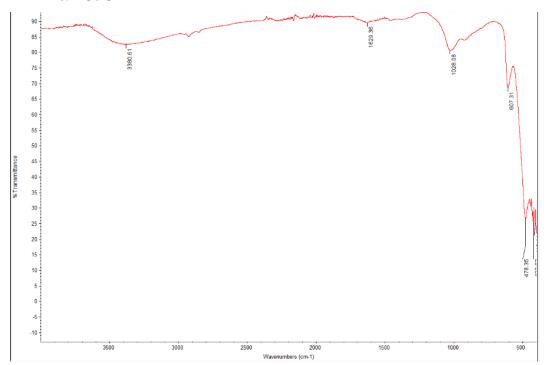




b. Reduced Graphene Oxide (rGO)

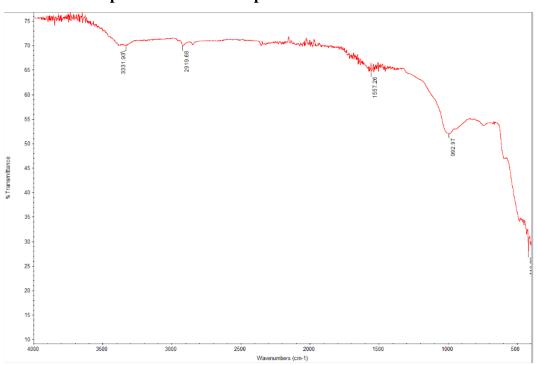


c. CuO

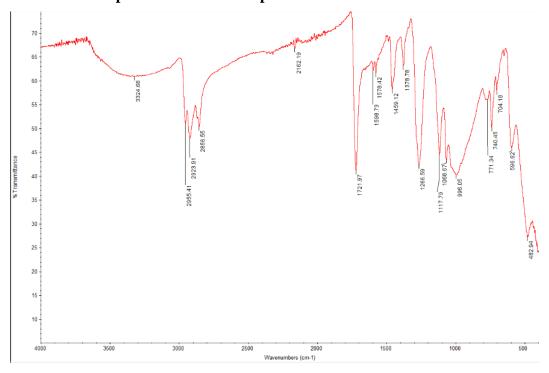




d. Komposit rGO/CuO Komposisi 1:10

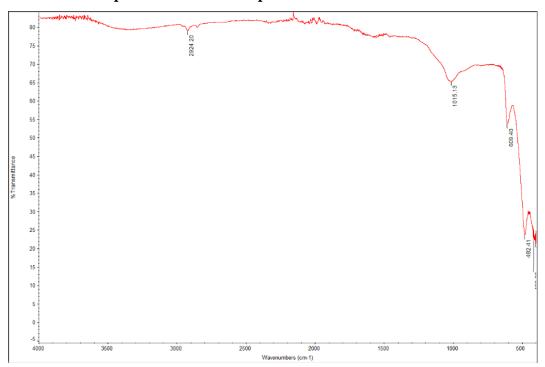


e. Komposit rGO/CuO Komposisi 1:20





f. Komposit rGO/CuO Komposisi 1:30





3. Perhitungan Konversi CO₂

Contoh perhitungan pada komposit rGO/CuO 1:20 pada 10 menit saat menghasilkan metanol

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

 $CH_3OH = 0.3\%$ volume
 $\rho CH_3OH = 0.792 \frac{gr}{cm^3}$
 $Mr \ CH_3OH = 32$
 $CH_3OH = \frac{0.3}{100} \times 1\mu L = 0.003 \mu L$
 $= 0.003 \times 10^{-6} L = 0.003 \times 10^{-3} cm^3$

$$massa~CH_3OH = 0.792 \frac{gr}{cm^3} \times 0.003 \times 10^{-3} cm^3 = 2.376 \times 10^{-6} gr$$

$$mol\ CH_3OH = \frac{2,376\times 10^{-6}gr}{32} = 7,425\times 10^{-8}mol = 0,7425\ \mu mol$$

Karena total volume sampel 50 ml makatotal mol CH_3OH adalah:

$$0.07425 \ \mu mol \times \frac{50 \ ml}{volume \ injeksi} = 3712.5 \ \mu mol$$

$$0.07425 \ \mu mol \times \frac{50 \ ml}{1 \times 10^{-3} ml} = 3712.5 \ \mu mol$$

Hasil total CH₃OH dalam 50 ml larutan DMF =
$$\frac{3712.5 \ \mu mol}{0.1 \ gr \ catalyst}$$
$$= 37125 \ \frac{\mu mol}{gr \ catalyst}$$



Tabel 1. Perhitungan hasil konversi CO₂ menjadi metanol

Komposit	Waktu alir	%	Hasil total	Hasil total
rGO/CuO	CO ₂ (menit)	normalisasi	µmol/gr catalyst	mmol/gr catalyst
1:10	5	0.004	495	0.49
	10	0.007	866	0.86
	15	0.009	1114	1.11
1:20	5	0.009	1114	1.11
	10	0.3	37125	37.12
	15	0.131	16211	16.21
1:30	5	0.013	1609	1.60
	10	0.046	5693	5.69
	15	0.009	1114	1.11

Contoh perhitungan pada komposit rGO/CuO 1:20 pada 10 menit saat mmenghasilkan ethanamine

Diketahui: Volume injeksi = 1µL
$$c_2H_5NH_2 = 99,591 \% \ volume$$

$$\mathbf{p}c_2H_5NH_2 = 0,789 \frac{gr}{cm^3}$$

$$Mr \ c_2H_5NH_2 = 45$$

$$c_2H_5NH_2 = \frac{99,591}{100} \times 1µL = 0,99591 \mu L$$

$$= 0,99591 \times 10^{-6}L = 0,99591 \times 10^{-3}cm^3$$

$$massa \ c_2H_5NH_2 = 0,789 \frac{gr}{cm^3} \times 0,99591 \times 10^{-3}cm^3 = 785,773 \times 10^{-6}gr$$

$$mol \ c_2H_5NH_2 = \frac{785,773 \times 10^{-6}gr}{45} = 17,46162 \times 10^{-5}mol = 17,46 \ \mu mol$$
 Karena total volume sampel 50 ml makatotal mol $c_2H_5NH_2$ adalah :

17,46 μmol
$$\times \frac{50 \, ml}{volume \, in \, jeksi} = 873081,1 \, μmol$$



17,46
$$\mu mol \times \frac{50 \, ml}{1 \times 10^{-3} ml} = 873081,1 \, \mu mol$$

Hasil total
$$C_2H_5NH_2$$
 dalam 50 ml larutan DMF = $\frac{873081,1 \ \mu mol}{0,1 \ gr \ catalyst}$ = $8730811 \ \frac{\mu mol}{gr \ catalyst}$

Tabel 2. Perhitungan hasil konversi CO₂ menjadi ethanamine

Komposit	Waktu alir	%	Hasil total	Hasil total
rGO/CuO	CO ₂ (menit)	normalisasi	μmol/gr catalyst	mmol/gr catalyst
1:10	5	99.859	8754306	8754
	10	99.894	8757374	8757
	15	85.568	7501461	7501
1:20	5	99.704	8740717	8740
	10	99.591	8730811	8730
	15	99.589	8730636	8730
1:30	5	99.827	8751500	8751
	10	99.683	8738876	8738
	15	99.823	8751150	8751

Contoh perhitungan pada komposit rGO/CuO 1:20 pada 10 menit saat menghasilkan aldehyde

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

$$C_2H_4O = 0,133\% \ volume$$

$$\rho C_2H_4O = 0,788 \frac{gr}{cm^3}$$

$$Mr \ C_2H_4O = 44$$

$$C_2H_4O = \frac{0,133}{100} \times 1\mu L = 0,00133\mu L$$

$$= 0,00133 \times 10^{-6}L = 0,00133 \times 10^{-3}cm^3$$



$$\begin{split} massa \ C_2H_4O &= 0.788 \frac{gr}{cm^3} \times 0.00133 \times 10^{-3} cm^3 = 1.0480 \times 10^{-6} gr \\ mol \ C_2H_4O &= \frac{1.0480 \times 10^{-6} gr}{44} = 2.382 \times 10^{-8} mol = 0.023819 \ \mu mol \\ Karena \ total \ volume \ sampel \ 50 \ ml \ makatotal \ mol \ C_2H_4O \ adalah : \\ 0.023819 \ \mu mol \ \times \frac{50 \ ml}{volume \ injeksi} = 1190.95 \ \mu mol \\ 0.023819 \ \mu mol \ \times \frac{50 \ ml}{1 \times 10^{-3} ml} = 1190.95 \ \mu mol \\ Hasil \ total \ C_2H_4O \ dalam \ 50 \ ml \ larutan \ DMF = \frac{1190.95 \ \mu mol}{0.1 \ gr \ catalyst} \\ &= 11910 \ \frac{\mu mol}{gr \ catalyst} \end{split}$$

Tabel 1. Perhitungan hasil konversi CO₂ menjadi aldehyde

Waktu alir	%	Hasil total	Hasil total
CO ₂ (menit)	normalisasi	µmol/gr catalyst	mmol/gr catalyst
5	0.2	17909	17.9
10	0.107	9581	9.5
15	0.087	7790	7.7
5	0.194	17372	17.3
10	0.133	11910	11.9
15	0.192	17193	17.1
5	0.194	17372	17.3
10	0.14	12536	12.5
15	0.163	14596	14.5
	5 10 15 5 10 15 5 10	CO2 (menit) normalisasi 5 0.2 10 0.107 15 0.087 5 0.194 10 0.133 15 0.192 5 0.194 10 0.14	$\begin{array}{c cccc} CO_2 (menit) & normalisasi & \mu mol/gr catalyst \\ \hline 5 & 0.2 & 17909 \\ 10 & 0.107 & 9581 \\ 15 & 0.087 & 7790 \\ 5 & 0.194 & 17372 \\ 10 & 0.133 & 11910 \\ 15 & 0.192 & 17193 \\ 5 & 0.194 & 17372 \\ 10 & 0.14 & 12536 \\ \hline \end{array}$

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Retno Damastuti, merupakan anak pertama dari pasangan Margiono dan Sri Utami yang lahir di Sidoarjo 19 September 1992. Penulis menyelesaikan studi formalnya di SDN 1 Banarankulon, SMP Negeri 1 Bagor dan di SMA Negeri 1 Nganjuk. Kemudian melanjutkan pendidikan sarjana dan pascasarjana di Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri (FTI)– ITS.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Material (HMMT) FTI-ITS sebagai Staff Departemen Kesejahteraan Mahasiswa (PROKESMA) HMMT FTI-ITS (2012-2013), Bendahara Umum HMMT FTI-ITS (2013-2014), Koordinator Keputrian Syiar Ash-Habul Kahfi Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS (2013-2014) dan Staff Forum Keluarga Mahasiswa Magister Teknik Material (FKMM ITS). Penulis pernah mengikuti *On the Job Training* di PT Badak NGL Bontang Kalimantan Timur. Di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ini penulis mengambil Tesis dalam Bidang Studi Material Inovatif dengan judul "Analisa Pengaruh Komposisi CuO dan Waktu Alir CO₂ pada Komposit rGO/CuO terhadap Reaksi Fotokatalitik untuk Konversi CO₂ menjadi Metanol"

Nomor telepon selular yang dapat dihubungi 089610224599 atau bisa hubungi di alamat email <u>retno.damastuti31@gmail.com</u>