

TUGAS AKHIR – TL184834

SINTESIS DAN PENGEMBANGAN *NANOFIBER REDUCED GRAPHENE OXIDE/CuO* SEBAGAI ELEKTRODA BIOSENSOR GLUKOSA DENGAN METODE *ELECTROSPINNING*

RUTH ANGGRISTY SHIVANY
NRP. 0251184000088

Dosen Pembimbing
Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si.
NIP.197410172006042001
Azzah Dyah Pramata, S.T., M.T., M.Eng., Ph.D
NIP.1992202012023

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



TUGAS AKHIR – TL184834

SINTESIS DAN PENGEMBANGAN NANOFIBER *REDUCED GRAPHENE OXIDE*/CuO SEBAGAI ELEKTRODA BIOSENSOR GLUKOSA DENGAN METODE *ELECTROSPINNING*

RUTH ANGGRISTY SHIVANY
NRP. 0251184000088

Dosen Pembimbing
Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si.
NIP. 197410172006042001
Azzah Dyah Pramata, S.T., M.T., M.Eng., Ph.D
NIP. 1992202012023

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

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT – TL184834

**SYNTHESIS AND DEVELOPMENT NANOFIBER OF REDUCED
GRAPHENE OXIDE/CuO AS AN ELECTRODE OF GLUCOSE
BIOSENSOR WITH ELECTROSPINNING METHOD**

RUTH ANGGRISTY SHIVANY
NRP. 0251184000088

Advisor

Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si.
NIP. 197410172006042001

Azzah Dyah Pramata, S.T., M.T., M.Eng., Ph.D
NIP. 1992202012023

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

(This page is intentionally left blank)

LEMBAR PENGESAHAN

SINTESIS DAN PENGEMBANGAN *NANOFIBER REDUCED GRAPHENE OXIDE/CuO* SEBAGAI ELEKTRODA BIOSENSOR GLUKOSA DENGAN METODE *ELECTROSPINNING*

TUGAS AKHIR

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

Oleh : **RUTH ANGGRISTY SHIVANY**
NRP. 0251184000088

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

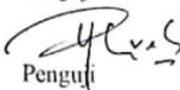
1. Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si
2. Azzah Dyah Pramata, S.T., M.T., M.Eng., Ph.D
3. Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T
4. Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc




Pembimbing


Ko-Pembimbing


Penguji


Penguji

SURABAYA
Juli, 2022

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

APPROVAL SHEET

SYNTHESIS AND DEVELOPMENT OF NANOFIBER REDUCED GRAPHENE OXIDE/CuO AS AN ELECTRODE OF GLUCOSE BIOSENSOR WITH ELECTROSPINNING METHOD

FINAL PROJECT

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

By : RUTH ANGGRISTY SHIVANY
NRP. 0251184000088

Approved by Final Project Examiner Team :

1. Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si
2. Azzah Dyah Pramata, S.T., M.T., M.Eng., Ph.D
3. Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T
4. Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc




Advisor


Co-Advisor


Examiner


Examiner

SURABAYA
July, 2022

(This page is intentionally left blank)

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa/NRP : Ruth Anggristy Shivany/02511840000088
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi
Dosen Pembimbing/NIP : Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si. /197410172006042001

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Sintesis Dan Pengembangan *Nanofiber Reduced Graphene Oxide/CuO* Sebagai Elektroda Biosensor Glukosa Dengan Metode *Electrospinning*” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 21 Juli 2022

Mengetahui
Dosen Pembimbing



(Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si)
NIP. 197410172006042001

Mahasiswa



(Ruth Anggristy Shivany)
NRP. 02511840000088

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student/NRP: Ruth Anggristy Shivany/02511840000088
Departement : Materials and Metallurgical Engineering
Advisor/NIP : Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si. /197410172006042001

Hereby declare that the Final Project with the title of “Synthesis And Development Of Nanofiber Reduced Graphene Oxide/CuO As An Electrode of Glucose Biosensor With Electrospinning Method” is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

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

Surabaya, 21 Juli 2022

Acknowledged
Advisor



(Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si)
NIP. 197410172006042001

Student



(Ruth Anggristy Shivany)
NRP. 02511840000088

(This page is intentionally left blank)

**SINTESIS DAN PENGEMBANGAN NANOFIBER REDUCED GRAPHENE OXIDE/CuO
SEBAGAI ELEKTRODA BIOSENSOR GLUKOSA DENGAN METODE
ELECTROSPINNING**

Nama/NRP : Ruth Anggristy Shivany/0251184000088
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi FT-IRS ITS
Dosen Pembimbing 1 : Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si.
Dosen Pembimbing 2 : Azzah Dyah Pramata, S.T., M.T., M.Eng., Ph.D

Abstrak

Penelitian tentang pengembangan sensor glukosa berbasis non-enzimatik mulai banyak dilakukan. Mayoritas sensor glukosa berbasis elektrokimia nonenzimatik bergantung pada respons arus oksidasi glukosa pada permukaan elektroda. Pengeksplorasi bahan-bahan baru sebagai material sensor glukosa terus berkembang. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis nanofiber campuran rGO/CuO sebagai elektroda biosensor dengan metode electrospinning. rGO didapatkan dari proses sintesis kimia dengan metode Hummer. rGO dipilih karena memiliki sifat memperluas permukaan kontak. Adapun CuO dipilih sebagai situs aktif pada elektroda. Nanopartikel rGO/CuO dengan variasi komposisi massa CuO dilarutkan dalam poly-vinyl alkohol (PVA) sebagai linker nanofiber. Metode electrospinning dilakukan untuk membentuk nanofiber dengan mengarahkan electrospun ke permukaan *fluorine* timah oksida (FTO) sehingga dapat digunakan langsung sebagai elektroda kerja. Hasil dari sintesis kemudian dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)*, *Fourier Transform Infra Red (FTIR)*, *Scanning Electron Microscope (SEM)*, dan pengujian *Cyclic Voltammetry (CV)*. Pengujian sensor juga dilakukan dengan menggunakan *Cyclic Voltammetry* untuk mengetahui performansi dari elektroda nanofiber rGO/CuO- FTO. Hasil XRD menunjukkan ukuran kristal dari rGO dan CuO dalam komposit dengan penambahan CuO 0,2, 0,4, 0,6 gram masing-masing sebesar 23,11 nm, 26,81 nm, dan 28,37 nm. Pengujian FTIR menunjukkan gugus fungsi yang sesuai untuk komposit rGO/CuO. Hasil SEM menunjukkan distribusi rGO dan CuO sebagai komposit dengan CuO menyebar ke setiap permukaan rGO. Nanofiber rGO/CuO telah dihasilkan dengan ukuran diameter 265 nm. Hasil pengujian menunjukkan dengan semakin besarnya komposisi massa CuO terhadap komposit rGO/CuO dapat memperluas kontak untuk kinerja respon yang baik pada elektroda. Selain itu, elektroda nanofiber rGO/CuO dengan komposisi massa yang besar mendapat performansi yang baik terhadap glukosa, sehingga diperoleh nilai sensitivitas sebesar $1,186 \text{ mA/mM}^{-1} \text{ cm}^{-2}$, limit deteksi 0,041 mM dengan rentang linear 1-4 mM.

Kata Kunci: Biosensor glukosa, CuO, Nanofiber, rGO

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

SYNTHESIS AND DEVELOPMENT OF NANOFIBER REDUCED GRAPHENE OXIDE/CuO AS AN ELECTRODE OF GLUCOSE BIOSENSOR WITH ELECTROSPINNING METHOD

Student Name/NRP : Ruth Anggristy Shivany/0251184000088
Department : Material and Metallurgical Engineering
Advisor : Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si.
Co-Advisor : Azzah Dyah Pramata, S.T., M.T., M.Eng., Ph.D

Abstract

The development of a non-enzymatic based glucose sensor has begun in the research. The majority of nonenzymatic electrochemically based glucose sensors rely on the current response of glucose oxidation at the electrode surface. The exploration of new materials as glucose sensor materials continues to grow. This study aims to synthesize nanofiber mixture of rGO/CuO as a biosensor electrode by electrospinning method. rGO was obtained from the chemical synthesis process by the Hummer method. rGO was chosen because it has the property of expanding the contact surface. The CuO was chosen as the active site on the electrode. The rGO/CuO nanoparticles with various mass compositions of CuO were dissolved in poly-vinyl alcohol (PVA) as a nanofiber linker. The electrospinning method is carried out to form nanofibers by directing the electrospun to the surface of fluorine tin oxide (FTO) so that it can be used directly as a working electrode. The results of the synthesis were then characterized using X-Ray Diffraction (XRD), Fourier Transform Infra Red (FTIR), Scanning Electron Microscope (SEM), and Cyclic Voltammetry (CV) testing. Sensor testing was also carried out using CV to determine the performance of the rGO/CuO-FTO nanofiber electrodes. The XRD results showed the crystal sizes of rGO and CuO in the composite with the addition of CuO 0,2, 0,4, 0,6 grams were 23,11 nm, 26,81 nm, and 28,37 nm, respectively. The FTIR test showed a suitable functional group for the rGO/CuO composite. The SEM results show the distribution of rGO and CuO as a composite with CuO spreading to each surface of the rGO. rGO/CuO nanofibers have been produced with a diameter of 265 nm. The test results show that the greater the mass composition of CuO to the rGO/CuO composite can expand the contact for a good response performance at the electrode. In addition, the rGO/CuO nanofiber electrode with a large mass composition got good performance against glucose, so that a sensitivity value of $1.186 \text{ mA/mM}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ was obtained, the detection limit was 0,041 mM with a linear range of 1-4 mM.

Keywords: CuO, Glucose sensor, Nanofiber, rGO

(This page is intentionally left blank)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir dengan judul, “SINTESIS DAN PENGEMBANGAN NANOFIBER REDUCED GRAPHENE OXIDE/CuO SEBAGAI ELEKTRODA BIOSENSOR GLUKOSA DENGAN METODE ELECTROSPINNING”. terselesaikannya laporan tugas akhir ini tidak luput dari dukungan, bantuan, motivasi, serta partisipasi dari semua pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si. dan Ibu Azzah Dyah Pramata, S.T., M.T., M.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing tugas akhir penulis, atas segala ilmu dan bimbingan yang telah diberikan selama pelaksanaan tugas akhir hingga selesainya laporan.
2. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D., selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi FT-IRS ITS.
3. Ibu Dian Mughni Felicia, S.T., M.Sc., selaku dosen wali yang senantiasa memberi arahan dan dukungan selama masa perkuliahan.
4. Bapak/Ibu Dosen Departemen Teknik Material dan Metalurgi FT-IRS ITS yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu kepada penulis selama masa perkuliahan.
5. Orang tua, keluarga, dan teman-teman penulis yang senantiasa mendoakan dan memberikan dukungan kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis dan semua pihak terkait.

Surabaya, 21 Juli 2022
Penulis

Ruth Anggristy Shivany

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

ABSTRAK	xiii
ABSTRACT	xv
KATA PENGANTAR	xvii
DAFTAR ISI	xix
DAFTAR GAMBAR	xxi
DAFTAR TABEL	xxii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 <i>Reduced Graphene Oxide</i>	5
2.2 Sintesis rGO	7
2.2.1 Metode <i>Hummer</i>	7
2.2.2 Ultrasonikasi	8
2.2.3 Hidrotermal	8
2.3 CuO.....	9
2.4 Biosensor	10
2.4.1 Biosensor Glukosa	10
2.4.2 Pengukuran Biosensor	11
2.4.3 Paramater Pengukuran	11
2.5 <i>Electrospinning</i>	12
2.6 Penelitian Sebelumnya	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	17
3.1.1 Diagram Alir Sintesis Reduced Graphene Oxide (rGO).....	17
3.1.2 Diagram Alir Sintesis CuO	19
3.1.3 Diagram Alir Sintesis Komposit rGO/CuO	20
3.1.4 Diagram Alir Sintesis Elektroda <i>Nanofiber</i> rGO/CuO	21
3.2 Bahan Penelitian	22
3.3 Alat Penelitian	22
3.4 Prosedur Penelitian	23
3.4.1 Pembuatan rGO.....	23
3.4.2 Pembuatan Serbuk CuO	23
3.4.3 Pembuatan komposit rGO/CuO	24
3.4.4 Preparasi substrat FTO.....	24
3.4.5 Pembuatan Elektroda <i>Nanofiber</i> rGO/CuO dengan Metode <i>Electrospinning</i> ..	24
3.5 Proses Pengujian.....	24
3.5.1 Pengujian <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	24
3.5.2 Pengujian <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	25
3.5.3 Pengujian <i>Fourier-Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR).....	26
3.5.4 Pengujian <i>Cyclic Voltammetry</i> (CV)	27
3.6 Rancangan Penelitian	27
3.7 Jadwal Penelitian	28

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Hasil Pengujian <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	29
4.2 Hasil Pengujian <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR)	32
4.3 Hasil Pengujian <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM).....	34
4.4 Hasil Pengujian <i>Cyclic Voltammetry</i> (CV)	37
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	43
5.1 Kesimpulan	43
5.2 Saran.....	43
DAFTAR PUSTAKA	45
LAMPIRAN.....	48
UCAPAN TERIMA KASIH	59
BIODATA PENULIS.....	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur (a) graphene dengan atom karbon hibridisasi sp^2 , (b) graphene oxide, dan (c) rGO	5
Gambar 2.2	Pola XRD pada grafit, GO, dan rGO	6
Gambar 2.3	Hasil SEM dari (a)GO dan (b)rGO.....	6
Gambar 2.4	Hasil FTIR dari grafit, GO, dan rGO.....	7
Gambar 2.5	Skema berbagai metode sintesis rGO.....	7
Gambar 2.6	Skema autoclave pada hidrotermal.....	8
Gambar 2.7	(a) Struktur kristal CuO (b) Serbuk CuO	9
Gambar 2.8	Prinsip dari biosensor	10
Gambar 2.9	Kurva siklik voltammogram.....	11
Gambar 2.10	Diagram proses electrospinning	12
Gambar 2.11	Hasil XRD dan FTIR dari (a) GO dan (b) GO/CuO.....	14
Gambar 2.12	Hasil SEM pada GO/CuO.....	14
Gambar 2.13	Hasil pengujian LSV dari GO/CuO NFs/FTO.	15
Gambar 3.1	Diagram alir pembuatan reduced graphene oxide (rGO)	18
Gambar 3.2	Diagram alir pembuatan CuO.....	19
Gambar 3.3	Diagram alir pembuatan komposit rGO/CuO.....	20
Gambar 3.4	Diagram alir pembuatan elektroda nanofiber rGO/CuO	21
Gambar 3.5	Desain substrat FTO untuk electrospinning	24
Gambar 3.6	Instrumen SEM.....	25
Gambar 3.7	X-Ray Diffraction PANalytical	26
Gambar 3.8	Instrumen FTIR	26
Gambar 3.9	Komponen set up CV	27
Gambar 4.1	Hasil pengujian XRD pada reduced graphene oxide (rGO)	29
Gambar 4.2	Hasil pengujian XRD pada CuO	30
Gambar 4.3	Hasil pengujian XRD pada, (a)rGO/CuO 0.2 gram, (b)rGO/CuO 0.4 gram, dan (c)rGO/CuO 0.6 gram	31
Gambar 4.4	Hasil pengujian FTIR reduced graphene oxide (rGO) dan CuO	32
Gambar 4.5	Hasil pengujian FTIR komposit rGO/CuO.....	33
Gambar 4.6	Hasil pengujian SEM pada, (a) rGO dan (b) CuO.....	34
Gambar 4.7	Hasil SEM dari komposit rGO/CuO dengan perbesaran, (a)5000x dan (b) 10000xb).....	35
Gambar 4.8	Hasil pengujian SEM pada (a)NFs rGO/CuO 0.2, (b) NFs rGO/CuO 0.4, (c) NFs rGO/CuO 0.6c)	36
Gambar 4.9	Hasil grafik pengujian CV dengan variasi penambahan glukosa 1mM, 2mM, 4mM pada elektroda, (a) NFs rGO/CuO 0,2-FTO, (b) NFs rGO/CuO 0,4-FTO, (c) NFs rGO/CuO 0,6-FTOc	38
Gambar 4.10	Kurva kalibrasi antara puncak oksidasi dengan penambahan variasi konsentrasi glukosa pada elektroda, (a)NFs-rGO/CuO 0,2-FTO, (b)NFs-rGO/CuO 0,4-FTO, dan (c)NFs-rGO/CuO 0,6-FTOc.....	40

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbedaan sifat graphene, GO, dan rGO	5
Tabel 2.2 Sifat CuO.....	9
Tabel 3.1 Rancangan Penelitian	27
Tabel 3.2 Jadwal Penelitian.....	28
Tabel 4.1 Hasil perhitungan nilai ukuran kristal pada sampel rGO, CuO, dan material komposit rGO/CuO	31
Tabel 4.2 Hasil pengujian FTIR dari sampel rGO, CuO, dan komposit rGO/CuO	33
Tabel 4.3 Hasil perbandingan performa elektroda terhadap biosensor glukosa.....	41

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tingginya kadar gula darah dalam tubuh dapat menimbulkan berbagai masalah kesehatan. Salah satunya adalah diabetes. Diabetes termasuk dalam salah satu penyebab kematian dan disabilitas utama di dunia, dan bertanggung jawab pada kerusakan hati dan ginjal. Diabetes merupakan kondisi dimana tubuh tidak dapat menghasilkan insulin (hormon pengatur gula darah) yang cukup atau tidak bekerja dengan baik. Insulin bekerja dengan mengubah glukosa atau gula darah menjadi glikogen sehingga apabila insulin tidak dapat bekerja dengan baik akan menyebabkan penumpukan glukosa dalam darah (diabetes). Oleh karena itu penting untuk dilakukan pemeriksaan kadar glukosa dalam tubuh secara rutin dalam jangka waktu tertentu untuk mencegah diabetes. Saat ini penentuan glukosa dalam darah dengan menggunakan metode biosensor sering dilakukan dan terus mengalami perkembangan. Keakuratan dan sensitivitas elektroda yang digunakan terus dikembangkan guna memonitoring penyakit diabetes (Hwang et al., 2018). Metode biosensor dilakukan karena memiliki beberapa kelebihan diantaranya tingkat selektif dan sensitifnya yang tinggi, keakuratan yang tinggi, mudah dioperasikan, memiliki respon yang cepat dan dapat digunakan secara berkelanjutan. Dengan mengeksplorasi bahan-bahan baru sebagai material sensor akan memberikan perkembangan ilmu pengetahuan khususnya di bidang sensor (Asnawati et al., 2013).

Dalam keberjalanannya, perangkat sensor glukosa tersedia secara komersial didominasi oleh sensor berbasis enzimatis, namun sensor berbasis enzimatis dinilai kurang efektif dan efisien. Hal ini disebabkan karena banyak faktor yang mempengaruhi kualitas enzim seperti kondisi temperatur, kelembapan, dan pH sehingga menyebabkan enzim tidak tahan lama, harganya relatif mahal, dan reproduisibilitasnya rendah (Hwang et al., 2018). Untuk mengatasi kendala tersebut, penelitian material sensor glukosa berbasis non-enzimatis mulai dikembangkan. Mayoritas sensor glukosa berbasis elektrokimia nonenzimatis bergantung pada respons arus oksidasi glukosa langsung pada permukaan elektroda.

Material *graphene* salah satu jenis alotrop karbon yang terus dikembangkan saat ini. *Graphene* memiliki sifat konduktivitas yang baik, luas area permukaan, kekuatan mekanik tinggi, dan aktivitas elektrokatalitik yang tinggi, serta mobilitas transport elektron cepat. Fungsionalisasi melalui reaksi oksidasi dari material *graphene* menghasilkan senyawa *graphene* oksida (GO) dan setelah melalui proses reduksi baik secara fisika dan kimia akan menghasilkan turunan berupa senyawa reduksi *graphene* oksida (rGO). rGO dapat digunakan sebagai alternatif material sensor karena memiliki area permukaan yang tinggi, mobilitas elektron, dan menawarkan banyak titik modifikasi dan fungsionalisasi yang dapat digunakan sebagai material sensor (Lee et al., 2019). Kombinasi *Graphene* dengan nanopartikel oksida logam memberikan pengembangan baru untuk sensor glukosa dengan sensitivitas yang tinggi dimana oksida logam nanopartikel dapat bertindak sebagai situs aktif elektroda, sedangkan *graphene* menawarkan transfer elektron cepat dalam reaksi elektrokimia.

CuO adalah salah satu senyawa logam oksida semikonduktor tipe-p yang memiliki kinerja baik di bidang sensor glukosa nonenzimatis. Hal ini berkaitan dengan aktivitas elektrokimia dengan kemampuan untuk reaksi transfer elektron. Sampai saat ini, penelitian tentang bahan semikonduktor/*graphene* nanokomposit untuk deteksi glukosa berdasarkan metode elektrokimia masih terus berkembang. Qian et al. dalam penelitiannya mensintesis oksida tembaga pada permukaan *nanosheet graphene* pada suhu rendah menggunakan natrium sitrat sebagai reduktor dan *stabilizer* dalam media basa. Sensitivitas dan selektivitas yang lebih tinggi terhadap glukosa ditunjukkan oleh *nanosheet graphene-copper oxide* dengan rentang

linier yang baik pada konsentrasi glukosa dan batas deteksi 1,2 mM (pada S/N= 3). Li et al. juga mensintesis sensor glukosa nonenzimatik dengan menambahkan nanokomposit pada elektroda karbon kaca (GCE) dengan Nafion. Aktivitas elektrokatalitik yang terjadi terhadap oksidasi glukosa ditunjukkan oleh GCE/*Graphene*/CuO nanokomposit dan menghasilkan sensor glukosa non-enzim dengan rentang linier antara 2,0 mM hingga 0,06mM, serta batas deteksi yang lebih rendah dari 0,29 mM (S/N=3). Arus puncak yang jauh lebih besar ditunjukkan oleh *Graphene*/CuO/Nafion/GCE dibandingkan dengan GCE murni dan CuO/Nafion/GCE (Mohd Yazid et al., 2014). Hal ini menunjukkan bahwa nanokomposit *graphene*/CuO memiliki permukaan elektroaktif yang lebih besar daripada nanopartikel CuO sendiri, dengan demikian dapat bertindak sebagai promotor untuk meningkatkan reaksi elektrokimia untuk deteksi glukosa.

Struktur *nanofiber* menjadi pilihan sebagai material sensor. *Nanofiber* dalam aplikasi biosensor memiliki keunggulan yaitu rasio permukaan-volume tinggi dimana dua kali lipat lebih unggul daripada film tipis dengan komposisi yang sama, porositas tinggi (hingga 90%) dengan rongga yang saling berhubungan (Feeney et al., 2021). Area permukaan yang besar memungkinkan *nanofiber* untuk menggabungkan muatan biomolekul yang tinggi, dan mudah berinteraksi dengan analit. Mekanisme pembuatan *nanofiber* yang biasa dilakukan dengan metode *electrospinning*.

Pada penelitian ini akan dilakukan sintesis *nanofiber* campuran rGO/CuO dengan metode *electrospinning*. rGO didapatkan dari proses sintesis kimia dengan metode *Hummer*. Nanokomposit rGO/CuO yang dilarutkan dalam *poly(vinyl alcohol)* (PVA) secara langsung dielektrospun ke permukaan *fluorine timah oksida* (FTO). Kemudian dihasilkan *nanofiber* rGO/CuO yang dapat digunakan langsung sebagai elektroda kerja. Proses preparasi elektroda dilakukan dengan memastikan transfer elektron yang cepat antara *nanofiber* rGO/CuO dan elektroda FTO. Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan sensitivitas sensor terhadap glukosa sehingga dapat diaplikasikan pada bidang kesehatan sebagai sensor deteksi diabetes.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan hal-hal yang telah diuraikan dalam latar belakang, maka beberapa masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara melakukan sintesis *nanofiber* campuran *reduced Graphene oxide* (rGO)/CuO sebagai elektroda biosensor glukosa?
2. Bagaimana pengaruh distribusi rGO dan CuO terhadap permukaan *nanofiber* rGO/CuO sebagai elektroda biosensor glukosa?
3. Bagaimana pengaruh distribusi rGO dan CuO terhadap performa dari *nanofiber* rGO/CuO sebagai material biosensor glukosa?

1.3 Batasan Masalah

Untuk memperoleh hasil yang baik dan sesuai, serta tidak menyimpang dari permasalahan yang ditinjau, maka diperlukan batasan masalah sebagai berikut:

1. Ukuran serbuk yang digunakan untuk sintesis dianggap homogen.
2. Temperatur dan tekanan udara sekitar dianggap konstan.
3. Pengotor pada prekursor diabaikan dan reaksi dianggap sempurna pada setiap proses sintesis.
4. Tekanan *autoclave* dan kecepatan *stirring* dianggap konstan.
5. Biosensor glukosa berbasis nonenzimatik, yaitu tanpa menggunakan enzim sebagai analit.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini, yaitu:

1. Mensintesis *nanofiber* campuran *reduced Graphene oxide* (rGO)/CuO sebagai elektroda biosensor glukosa.
2. Menganalisis pengaruh distribusi rGO dan CuO terhadap permukaan *nanofiber* rGO/CuO sebagai elektroda biosensor glukosa.
3. Menganalisis pengaruh distribusi rGO dan CuO terhadap performa dari *nanofiber* rGO/CuO sebagai material biosensor glukosa.

1.5 Manfaat Penelitian

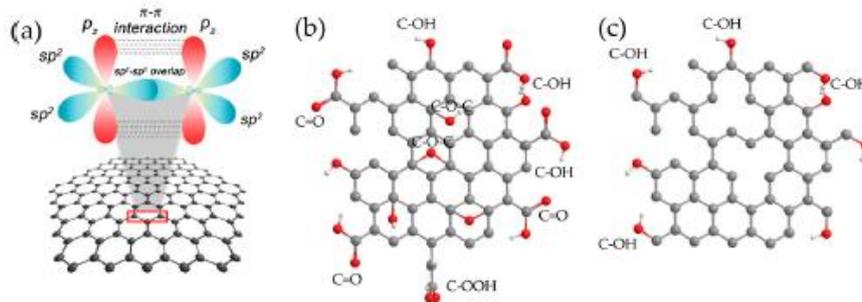
Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi dan referensi terhadap pengembangan aplikasi biosensor glukosa khususnya material elektroda *nanofiber* rGO/CuO untuk mengetahui sensitivitas, *linier range* dan limit deteksi. Sehingga dapat digunakan demi kemajuan riset dan teknologi khususnya dalam penelitian material di bidang sensor.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Reduced Graphene Oxide*

Graphene terdiri dari lapisan beberapa atom karbon monolayer dua dimensi (2D) dengan struktur heksagonal yang memiliki ketebalan satu atom serta menjadi struktur dasar untuk pembuatan material berbasis karbon lainnya, seperti *graphite*, *carbon nanotube*, dan *fullerene* (Atta et al., 2015). *Graphene* mempunyai 3 turunan dalam proses sintesisnya; yaitu grafit, *graphene oxide* (GO), dan *reduced graphene oxide* (rGO). Grafit merupakan material dasar yang bersifat amorf yang memiliki atom karbon dan oksigen. Sedangkan GO adalah hasil oksidasi dari grafit dengan penambahan oksigen dimana ikatan *Van der Waals* akan terlepas sehingga ketebalan dari sampel berkurang. (Smith et al., 2019) Struktur dari GO hampir sama dengan *graphene*, namun dalam atom karbon terdapat gugus fungsi oksigen dalam bentuk hidroksil, epoksi dan karboksil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Struktur (a) *graphene* dengan atom karbon hibridisasi sp^2 , (b) *graphene oxide*, dan (c) rGO (Suvarnaphaet & Pechprasarn, 2017)

Reduced graphene oxide (rGO) adalah hasil reduksi dari *graphene* yang menghilangkan gugus fungsional yaitu oksigen pada bidang GO untuk meningkatkan konduktivitas listrik dari $340 \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$ hingga $550 \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$. (Campbell & Manning, 2018) *rGO* dianggap sebagai struktur antara *graphene* yang ideal (karena sifat yang hampir sama) dan GO yang banyak teroksidasi. Sifat rGO dapat ditunjukkan dalam Tabel 2.1

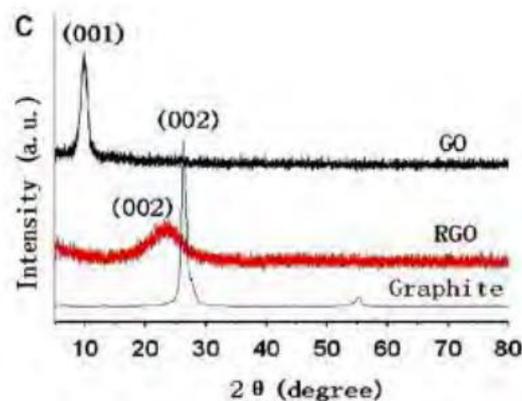
Tabel 2.1 Perbedaan sifat *graphene*, GO, dan rGO (Taha et al., 2020)

Sifat	<i>Graphene</i>	GO	rGO
Mobilitas elektron (Temperatur kamar)	$\sim 200,000 - 250,000 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$	$0.1 - 10 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$	$2 - 200 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$
Luas Permukaan	$2630 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$	$736.6 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$	$466 - 758 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$
Konduktivitas termal	$\sim 5000 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$	$0.5 - 18 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$	$1390 - 2275 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$
Konduktivitas listrik	$\sim 6 \times 10^8 \text{ S m}^{-1}$	$5.7 \times 10^{-6} \text{ S m}^{-1}$	$10^2 - 10^5 \text{ S m}^{-1}$
Resistansi lembaran	$200 \Omega \text{ sq}^{-1}$	$\sim 10^{10} - 10^{12} \Omega \text{ sq}^{-1}$	$\sim 10^2 - 10^6 \Omega \text{ sq}^{-1}$

rGO dapat diperoleh dengan reduksi kimia atau fisika GO dengan metode termal, kimia, dan iradiasi yang merupakan metode untuk membuat lembaran *graphene* sehingga meningkatkan konduktivitas listriknya. Dibandingkan dengan *graphene* dan GO, rGO memiliki sifat fisik dan kimia yang lebih seimbang mengenai permukaan, listrik, mekanik, dispersibilitas pelarut, optik,

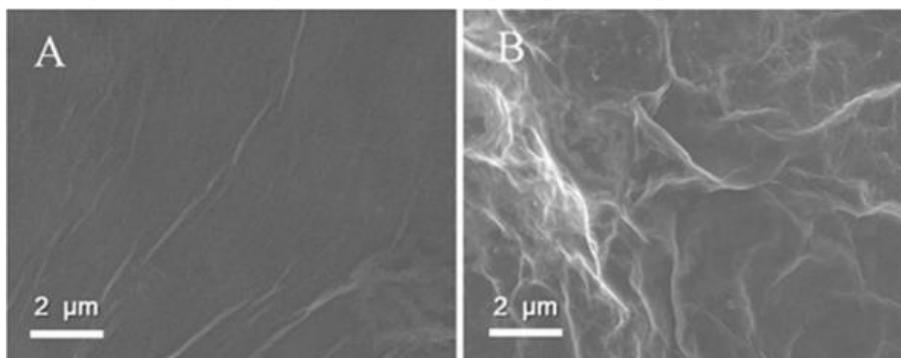
dan kinerja termal. Oleh karena itu, rGO berpotensi untuk aplikasi elektronik, sensor, dan transistor generasi berikutnya (Al-Dhahebi et al., 2020).

Hasil pengujian XRD menunjukkan perbedaan puncak dari grafit, grafit oksida, dan rGO. Perbedaan puncak ini mengindikasikan terjadinya perubahan struktur kristal. Grafit murni memiliki spektra pada $2\theta = 26.7^\circ$ dari puncak difraksi dengan jarak antar layer 3.4 \AA . Setelah proses oksidasi, perubahan terjadi dengan munculnya puncak difraksi (001) yang lebar pada rentang spektra $9.8^\circ - 11.5^\circ$ yang merupakan grafit oksida. Sedangkan pada rGO, pola XRD-nya menunjukkan puncak difraksi (002) yang lebar dengan spektra 23.8° dan jarak antar layer mendekati grafit. Perubahan puncak difraksi pada spektra ini menandakan GO telah tereduksi dengan baik, sehingga jarak antar layer mengecil. Perbedaan kurva XRD antara grafit, grafit oksida, dan rGO dapat dilihat pada Gambar 2.2.



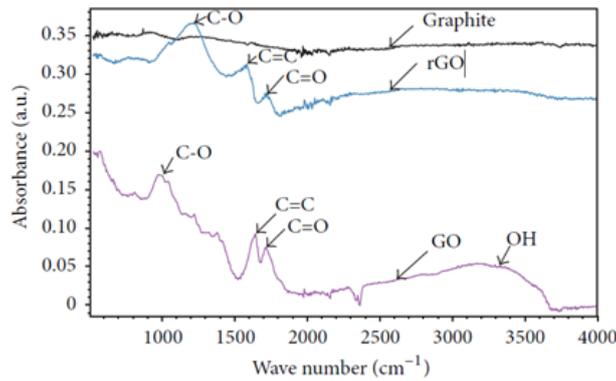
Gambar 2.2 Pola XRD pada grafit, GO, dan rGO (P. Liu et al., 2013)

Pada pengujian SEM, struktur *graphene* menunjukkan morfologi lembaran transparan dimana dapat diketahui bentuk permukaan rGO, secara signifikan membentuk struktur berpori namun dapat dilihat bahwa permukaan butiran GO relatif lebih halus dibandingkan dengan permukaan butiran rGO seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3. Hal ini terjadi karena grafit oksida mempunyai banyak layer, yang kemudian mengelupas satu-persatu.



Gambar 2.3 Hasil SEM dari (a)GO dan (b)rGO (Tite et al., 2019)

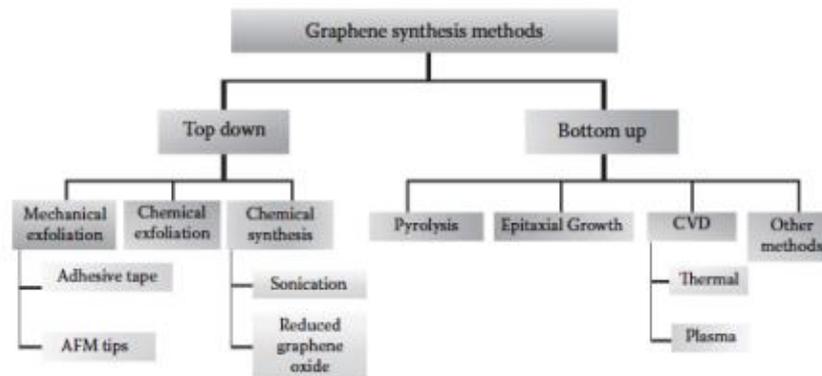
Sedangkan pada pengujian FTIR pada grafena menunjukkan terjadinya penghilangan gugus fungsional OH yang sangat signifikan. Hal inilah yang sangat membedakan antara pola spektrum FTIR GO dan rGO seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.4



Gambar 2.4 Hasil FTIR dari grafit, GO, dan rGO (Tite et al., 2019)

2.2 Sintesis rGO

Ketika mempertimbangkan sintesis *Graphene* dan turunannya, struktur dan sifat yang diinginkan sangat bergantung pada ukuran, bentuk, dan gugus fungsi yang melekat pada permukaan material. Sintesis *graphene* pada dasarnya dapat dibagi menjadi dua kategori utama: metode *bottom-up* di mana molekul karbon sederhana digunakan untuk sintesis *graphene* murni, dan metode "*top-down*" di mana lapisan turunan *graphene* diekstraksi dari sumber karbon, biasanya grafit. Sintesis *bottom-up* (seperti deposisi uap kimia, pertumbuhan epitaxial, dan lain-lain) telah terbukti memakan waktu dan menghadapi tantangan skalabilitas (Smith et al., 2019). Oleh karena itu, metode *top-down*, yang menghasilkan GO dan/atau rGO, lebih dipilih untuk mendapatkan turunan *Graphene*, terutama untuk digunakan dalam bahan nanokomposit. Berbagai metode sintesis rGO dapat diilustrasikan pada Gambar 2.5.



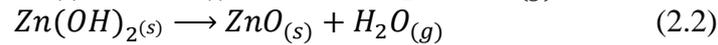
Gambar 2.5 Skema berbagai metode sintesis rGO (Chen et al., 2018)

2.2.1 Metode *Hummer*

Adapun cara untuk melakukan sintesis *graphene* adalah menggunakan prinsip sintesis secara kimia dengan metode *Hummer*, yang melibatkan proses oksidasi dari grafit menjadi grafit oksida, kemudian dilanjutkan dengan proses ultrasonikasi untuk mengubah grafit oksida menjadi *graphene* oksida (GO), dan proses reduksi untuk menghasilkan reduksi *graphene* oksida atau rGO. Sintesis GO secara kimia menggunakan bubuk grafit yang dioksidasi dengan asam kuat H_2SO_4 dan oksidator $KMnO_4$ dan $NaNO_3$. Metode ini dikenal sebagai metode basah untuk memperoleh *graphene*, karena hasil sintesisnya masih mengandung atom-atom pengotor yang berikatan pada struktur karbon penyusun *graphene* (Hummers & Offeman, 1958). Proses oksidasi ini mengakibatkan adanya gugus-gugus fungsional oksigen yang terikat dengan gugus C-C dan C=C. Struktur *graphite oxide* masih mirip dengan struktur grafit. Pada tahap ini terjadi peningkatan jarak interlayer dan menjadikan strukturnya bersifat hidrofilik. Selanjutnya,

lapisan *graphite oxide* dilakukan proses ultrasonikasi untuk memecah layer-nya sehingga diperoleh struktur yang memiliki jumlah layer yang lebih sedikit, dinamakan *graphene oxide*.

Sifat yang menarik dari *Graphene oxide* adalah bisa direduksi (sebagian) sehingga terbentuk struktur reduksi baru yang dinamakan sebagai rGO. Metode reduksi kimia adalah metode yang paling umum digunakan untuk mereduksi. Salah satu jenis logam yang bisa digunakan adalah Zn. Zn memiliki kelebihan sebagai reduktor karena lebih murah, ramah lingkungan, cepat, dan dapat dilakukan dalam skala besar. Proses reduksi *graphene oxide* (GO) menggunakan serbuk Zn akan terjadi sesuai Reaksi 2.1-2.3



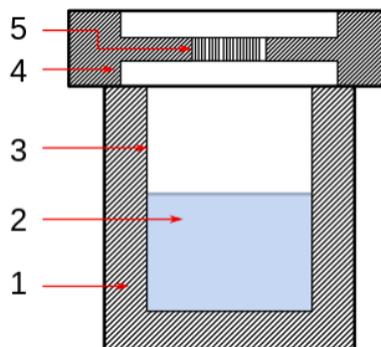
Kelebihan mensintesis *graphene* dengan metode Hummer adalah *graphene* dapat diperoleh dalam jumlah yang banyak. Selain itu, peralatan yang digunakan tergolong mudah dan tidak terlalu sulit dalam aplikasinya. Sedangkan kekurangan dari metode ini, adalah *graphene* yang dihasilkan cenderung mempunyai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

2.2.2 Ultrasonikasi

Grafit oksida memiliki struktur yang berlapis yang sama seperti grafit, namun bidang dari atom karbon pada *graphite oxide* terdapat kelompok gugus oksigen, yang tidak hanya memperlebar jarak antar lapisan tetapi juga membuat lapisan atom hidrofilik (Nurdiansah et al., 2019). Lapisan teroksidasi ini dapat diperlebar jarak antar layer-nya dengan proses ultrasonikasi untuk menghasilkan *graphene oxide* (GO). GO ini yang akan direduksi menjadi *graphene* dengan menghilangkan gugus fungsi oksigen dan memperbaiki strukturnya. Ultrasonikasi / sonikasi merupakan langkah penting yang menyediakan energi untuk mengelupas lembaran *graphene* dari *graphite oxide* (Subash et al., 2020)

2.2.3 Hidrotermal

Hidrotermal dapat digambarkan sebagai metode yang menggunakan air dan panas yang sifatnya mengubah larutan menjadi kristal (Zainul, 2018). Metode hidrotermal selalu menggunakan wadah yang tertutup untuk mencegah hilangnya pelarut saat dipanaskan diatas titik didihnya. Pada praktiknya, prinsip hidrotermal yaitu pemanasan reaktan dilakukan didalam sistem yang tertutup (*autoclave*) dengan menggunakan medium air. Sistem yang tertutup ini memungkinkan tekanan dan temperatur meningkat dengan cepat. Sintesis hidrotermal dilakukan pada temperatur dibawah 300°C. Gambar 2.6 menunjukkan skema dari sebuah *autoclave*.

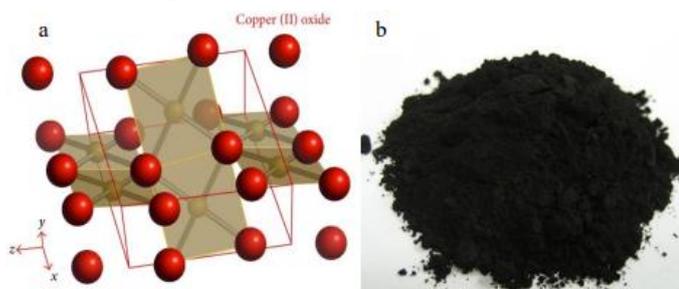


Gambar 2.6 Skema *autoclave* pada hidrotermal (Nurdiansah, 2014)

Keunggulan proses hidrotermal dikemukakan Zhou et al., 2019 diantaranya: pengontrolan bentuk dan ukuran dari serbuk, penggunaan temperatur yang rendah selama proses, tingkat homogenitas yang tinggi, biaya operasional yang rendah dan juga proses sintesis yang mudah. Untuk mendapat sampel berkualitas tinggi dapat menggunakan pelarut dibawah tekanan tinggi dan temperatur meningkatkan kelarutan padatan sehingga laju reaksi meningkat. Dalam penelitiannya, Zhou membuktikan bahwa proses hidrotermal dapat mengubah rGO oksida menjadi larutan rGO yang stabil dengan pemilihan pelarut *Supercritical water* (SC) yang mampu mereduksi gugus fungsi oksigen dari GO dan memperbaiki struktur aromatiknya.

2.3 CuO

Tembaga (II) oksida atau *copper oxide* adalah senyawa anorganik dengan rumus CuO. CuO merupakan oksida basa yang mudah larut dalam asam mineral seperti asam klorida dan asam sulfat sehingga membentuk garam-garam tembaga (II). CuO memiliki struktur kristal monoklinik seperti pada Gambar 2.7. Di alam tersedia dalam bentuk mineral hitam *tenorite* dan *paramelaconite* (Muliastri et al., 2018). Namun, pada umumnya CuO hadir dalam fasa *tenorite*. CuO stabil terhadap udara dan uap air pada temperatur kamar. CuO tidak larut dalam air atau alkohol tetapi larut perlahan dalam amonia dan larut dengan cepat di amonium karbonat. Tabel 2.1 menunjukkan karakteristik senyawa CuO.



Gambar 2.7 (a) Struktur kristal CuO. (b) Serbuk CuO (Muliastri et al., 2018)

Tabel 2.2 Sifat CuO (Muliastri et al., 2018)

Sifat	Nilai
Berat Molekul	79,55
Densitas (g/cm ³)	6,315
Luas permukaan spesifik (m ² g ⁻¹)	122
Sistem Kristal	<i>Monoclinic</i>
Titik Leleh (°C)	1200
Titik Didih (°C)	2000
Kelarutan dalam air	Tidak Larut
Band Gap (eV)	1.2

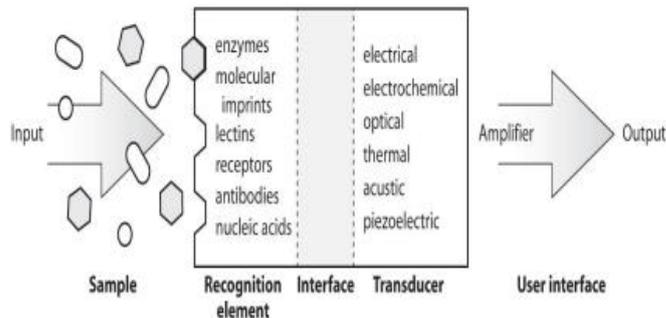
CuO telah menunjukkan kinerja yang sangat baik dalam berbagai aplikasi praktis. CuO telah dieksplorasi di berbagai bidang optoelektronik, elektronik, biosensor, sel surya, media penyimpan magnetik, saklar optik, dan baterai dan katalis heterogen. Misalnya, dengan kapasitas penyimpanan litium teoritis tinggi mengangkat CuO sebagai bahan anoda aktif untuk baterai lithium ion. Selain itu, CuO dapat dijadikan bahan potensial pembuatan sel surya karena memiliki sifat fotokonduktif dan fotokimia yang besar. CuO juga menunjukkan luas permukaan yang lebih tinggi yang relatif terhadap ukuran dan morfologinya, sehingga dapat memberikan keuntungan sebagai katalis dalam pengolahan air untuk menghilangkan zat warna (Muliastri et al., 2018).

Dalam aplikasi sebagai biosensor, CuO memiliki sifat elektrokatalitik yang baik dan dapat dimodifikasi permukaannya menggunakan berbagai bahan berbasis karbon seperti *fullerene*, CNT, blok karbon (CB), serat nano karbon yang difungsikan (f-CNF), dan *graphene*. CuO digunakan sebagai katalis karena sifat katalitik elektrokimia dan konduktivitas listrik yang tinggi. Dalam proses elektrolisis, Cu⁽²⁺⁾ mengoksidasi Cu⁽³⁺⁾ dengan memperoleh elektron dalam reaksi redoks (Gijare et al., 2021).

2.4 Biosensor

Biosensor merupakan metode analisis yang menggunakan komponen biologi aktif yang diintegrasikan dengan peralatan elektronik untuk menentukan kadar suatu senyawa. Teknologi biosensor memberikan beberapa keuntungan dibandingkan teknik analisis konvensional yaitu sederhana dan mudah dalam penggunaan, didapat tingkat sensitivitas yang tinggi, waktu proses untuk memperoleh hasil diagnosis yang cepat, memiliki kemampuan untuk pengukuran yang kontinu dan mampu mengukur berbagai jenis parameter (Szunerits & Boukherroub, 2018).

Pada dasarnya biosensor terdiri dari tiga komponen utama yaitu reseptor (*bioreactor*), transduser, dan detektor (Taha et al., 2020). Reseptor adalah elemen yang bereaksi dengan analit (bakteri, DNA komplementer, antigen, dan lain-lain) dalam bentuk enzim, probe DNA, antibakteri, dan sebagainya. Transduser adalah elemen yang mengubah sinyal biokimia menjadi sinyal listrik yang akan diukur. Sedangkan sistem elektronik (detektor) bertanggung jawab untuk menerima sinyal transduser dan kemudian mengirimkannya untuk diproses oleh komputer. Komputer dapat membaca sinyal yang diperkuat dan mengubahnya menjadi data yang dapat dibaca. Gambar 2.8 menunjukkan prinsip kerja biosensor.



Gambar 2.8 Prinsip dari biosensor (Manurung et al., 2012)

2.4.1 Biosensor Glukosa

Biosensor glukosa pertama kali diperkenalkan oleh Clark dan Lyons pada tahun 1962 menggunakan metode elektrokimia untuk memantau oksigen yang dikonsumsi oleh enzim yang dikatalis. Dengan melibatkan O₂, glukosa dapat dioksidasi menjadi asam glukonat melalui GOx. Dalam perkembangan biosensor mengalami perubahan dari generasi ke generasi. Generasi kedua menjadi lebih spesifik dengan melibatkan mediator buatan (*ferrocene*), yang bereaksi langsung dengan enzim GOx. Generasi ketiga dari sensor glukosa enzimatik dikembangkan untuk mengatasi kebutuhan mediator alami atau buatan dengan memfasilitasi transfer elektron langsung (Lee et al., 2019).

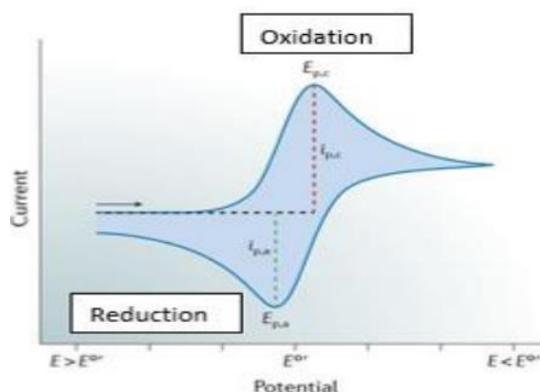
Meskipun sensor glukosa enzimatik selektif dan sensitif terhadap glukosa, enzim yang digunakan cukup mahal dan rentan rusak ketika temperatur atau nilai pH tidak optimal (Hwang et al., 2018). Kelemahan ini telah mengarahkan para peneliti untuk mengembangkan sensor glukosa yang tidak memerlukan penggunaan enzim atau lebih dikenal non-enzimatik. Sensor glukosa non-enzimatik didasarkan pada penggunaan elektroda sebagai elektrokatalis untuk mengukur konsentrasi glukosa. Prinsip deteksi elektrokimia terletak di balik pengukuran sifat fisikokimia bioreaktor dan analit target untuk membuat sinyal yang dapat dibaca, seperti arus

listrik, tegangan, hambatan, dan lain-lain. Jika reaksi kimia antara analit target dan bioreaktor (elektroda) terjadi, arus listrik larutan berubah karena produksi ion atau elektron (Taha et al., 2020).

2.4.2 Pengukuran Biosensor

Secara umum, teknik deteksi elektrokimia dapat dikategorikan menjadi berbasis amperometrik, berbasis impedometrik, berbasis potensiometri, atau berbasis konduktometri (Taha et al., 2020). Biosensor elektrokimia berbasis amperometrik paling banyak digunakan untuk sensor glukosa non-enzimatik. Proses pengukuran karakter minimum sensor glukosa dilakukan dengan menggunakan metode voltametri. Voltametri merupakan salah satu metode analisis elektrokimia dengan memberikan informasi mengenai kinetik elektron transfer berdasarkan proses reaksi oksidasi dan reaksi reduksi pada permukaan elektroda (Putri & Setiarso, 2020). Besaran listrik yang dilibatkan berupa arus, potensial dan tegangan.

Pengukuran voltametri dilakukan menggunakan tiga elektroda, yaitu elektroda kerja (*working electrode*), elektroda *reference*, dan elektroda penghitung (*counter electrode*) (Taha et al., 2020). Elektroda-elektroda tersebut dicelupkan ke dalam larutan yang mengandung analit. Pengukuran voltametri dilakukan menggunakan sebuah instrumen yang dinamakan potensiostat. Potensiostat terhubung ke *working electrode* dan elektroda *reference* untuk menerapkan arus yang berbeda. Tegangan yang diberikan menimbulkan potensi terjadinya reaksi kimia pada permukaan elektroda, dimana molekul reaktan bergerak ke permukaan elektroda untuk interaksi massa, kemudian elektroda menerima sinyal kimia untuk menghasilkan aliran arus melalui elektroda yang dapat diukur secara siklik. Hasil pengukuran ini biasanya digambarkan dalam grafik perbandingan arus terhadap potensial yang disebut dengan kurva voltammogram. Gambar 2.9 menunjukkan kurva siklik voltammogram perubahan arus terhadap potensial.



Gambar 2.9 Kurva siklik voltammogram (Taha et al., 2020)

Potensial divariasikan secara sistematis sehingga suatu zat kimia tersebut mengalami oksidasi dan reduksi di permukaan elektroda. Arus diukur selama proses scanning dari potensial awal ke potensial akhir dan kemudian kembali ke potensial awal lagi. Oleh karena itu, arus katodik dan arus anodik dapat jelas terukur. Arus katodik terukur pada saat *scanning* dari potensial yang besar ke potensial yang lebih kecil, begitupun sebaliknya. Pada katoda akan terjadi reaksi reduksi dan pada anoda akan terjadi reaksi oksidasi.

2.4.3 Paramater Pengukuran

Parameter pengukuran pada sensor ditentukan dari limit deteksi (LoD), sensitivitas dan *linier range* (Asnawati et al., 2013). Limit Deteksi (LoD) merupakan nilai yang menunjukkan konsentrasi yang terdeteksi dalam jumlah yang terkecil/terendah dari sampel material sensor. Namun nilai yang dihasilkan tidak terkuantisasi sehingga nilai bukan menunjukkan kriteria akurasi dan presisi. Nilai batas keberterimaan untuk akurasi kurang dari 5%, sedangkan untuk

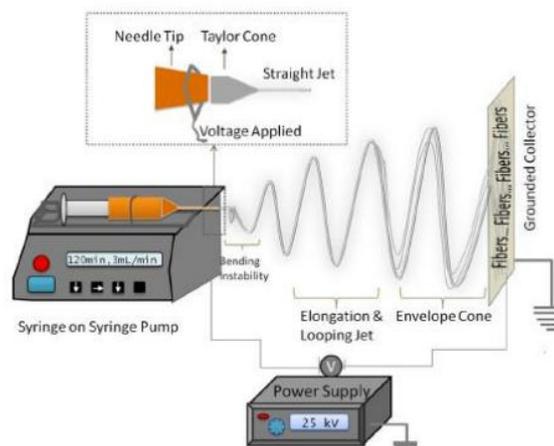
presisi batas keberterimaannya apabila nilai RSD (Standar Deviasi Relatif) lebih kecil dari nilai $2/3$.

Sensitivitas merupakan perbandingan perubahan sinyal untuk setiap penambahan konsentrasi analit. Proses pengukuran sensitivitas diperoleh dari arus reduksi dari elektroda kerja analit yang konsentrasinya sudah ditentukan. Penentuan kualitas sensitivitas didapat dari nilai *scan rate* yang merupakan bagian terpenting untuk melakukan analisis sensitivitas. Variasi dari nilai potensial *scan rate* didapat dari puncak anoda yang terus meningkat secara linear.

Linear range diperoleh dari kurva respon yang linier terhadap *slope* yang didapatkan dari pengukuran voltametri. Hasil pengukuran berupa daerah (*range*) yang didapat dari kurva kalibrasi yang diplot antara sumbu x dan y. Sumbu x pada kurva menunjukkan konsentrasi dari material sensor atau analit, sedangkan sumbu y merupakan nilai arus yang dihasilkan (Asnawati et al., 2013).

2.5 Electrospinning

Electrospinning merupakan metode pembuatan serat melalui *spinneret* dengan gaya dorong listrik. Kelebihan metode ini adalah sederhana, biaya proses rendah, dan mampu mengontrol diameter serat (Putri AN, 2020). Mekanisme metode *electrospinning* didasarkan pada komponen-komponen utama yaitu pompa *syringe* yang dilengkapi dengan jarum berdiameter kecil, *power supply* bertegangan tinggi, dan *collector* (yang dapat berupa piringan atau mandrel). Untuk membuat pancaran (jet) larutan bermuatan listrik agar meleleh keluar jarum diperlukan tegangan listrik tinggi antara dua elektroda yang terhubung ke ujung jarum dan *collector*. Dengan adanya medan listrik yang dikenakan pada ujung jarum, pompa *syringe* akan mendorong larutan material membran sampai terbentuk *Taylor cone* akibat besar tegangan yang semakin meningkat hingga mencapai tegangan kritis. Medan listrik yang dihasilkan akan menyebabkan *surface tension* pada larutan, sehingga pancaran larutan bergerak ke arah elektroda dengan muatan berlawanan disertai proses penguapan larutan sehingga dihasilkan membran *nanofiber* pada permukaan *collector* (Putri AN, 2020). Mekanisme metode *electrospinning* diilustrasikan seperti Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Diagram proses electrospinning (Putri AN, 2020)

Dengan mengontrol parameter proses yaitu tegangan yang diterapkan, jarak antara ujung jarum dan *collector*, laju aliran atau *flow rate*, sifat larutan (viskositas, konsentrasi, konduktivitas, tegangan permukaan), dan kondisi sekitar (kelembaban dan temperatur), maka *nanofiber* dengan diameter dan struktur yang diinginkan dapat diperoleh (Mercante et al., 2021a). Oleh karena itu, *electrospinning* metode yang serbaguna dan efektif untuk memproduksi serat rekayasa dengan beberapa sifat menarik untuk aplikasi sensor.

Electrospun nanofiber dapat difungsikan dengan menggabungkan komposit *Graphene* selama *electrospinning* atau setelah *electrospinning* ke permukaan *nanofiber* yang disiapkan untuk meningkatkan sifat penting (konduktivitas listrik, sifat elektrokimia, transfer elektron, reaksi katalitik) untuk fabrikasi biosensor elektrokimia. Hal ini dikarenakan, luas permukaan yang besar memungkinkan *nanofiber* untuk menggabungkan muatan biomolekul yang tinggi sehingga mudah berinteraksi dengan analit.

Komposisi *nanofiber* juga dapat dimodulasi untuk meningkatkan jumlah situs imobilisasi elemen pengenalan, serta untuk meningkatkan interaksi dengan analit target. Dalam hal ini, sejumlah besar makromolekul sintetis dan alami, serta campurannya, dapat ditambahkan pada proses *electrospinning* untuk desain biosensor seperti polimer sintetis termasuk *poly-amide 6* (PA6), *poly(lactid acid)* (PLA), *poly(vinyl alcohol)* (PVA), *poly(vinylpyrrolidon)* (PVP), dan sebagainya. Selain itu, makromolekul alami seperti *chitosan*, *silk fibroin*, dan *collagen* serta turunannya, dapat diproses secara *electrospinning*, baik sendiri maupun dalam kombinasi dengan polimer sintetis, untuk mengembangkan berbagai aplikasi biosensor (Mercante et al., 2021a).

2.6 Penelitian Sebelumnya

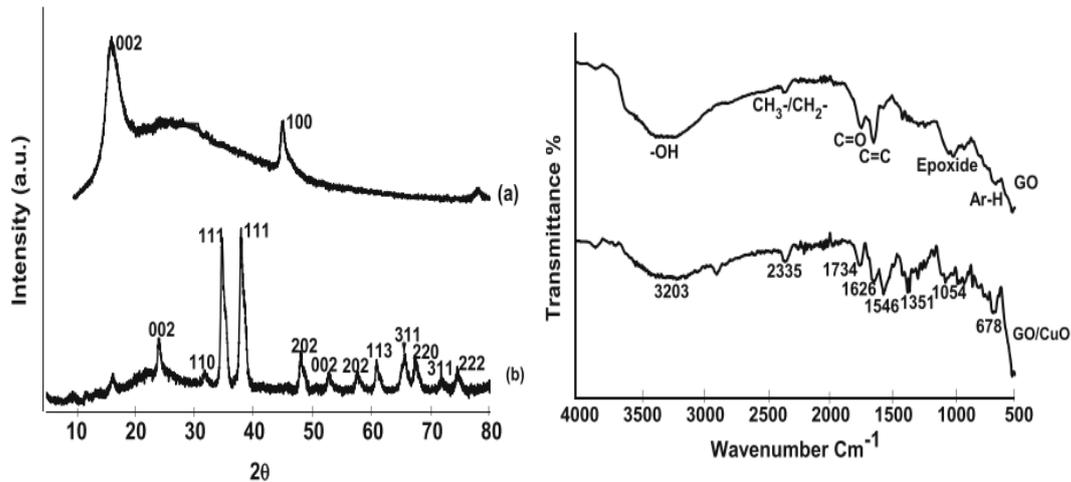
Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mendapatkan elektroda yang baik dalam aplikasi biosensor glukosa. Pada tahun 2012, Guangyue Liu mensintesis CuO *nanofibers* (NFs) dengan metode *electrospinning* dan teknologi kalsinasi, *Nanofiber* komposit Cu(NO₃)₂ dan *polyvinylpyrro-lidone* (PVP) awalnya dielectrospun pada permukaan kaca *indium tin oxide* (ITO), dan kemudian elektroda CuO NFs-ITO dibentuk dengan menghilangkan PVP melalui perlakuan panas. Struktur dan morfologi *nanofibers* CuO dikarakterisasi oleh difraksi sinar-X, pemindaian mikroskop elektron dan analisis termogravimetri. Hasil XRD dari CuO dengan variasi temperature kalsinasi

Oksidasi elektrokatalitik glukosa dalam media basa pada elektroda CuO NFs-ITO juga diselidiki secara rinci dengan voltametri siklik, kronoamperometri dan spektroskopi impedansi elektrokimia. Pengaruh konsentrasi NaOH, waktu *electrospinning*, Cu(NO₃)₂: rasio massa PVP dan temperatur kalsinasi pada respon terhadap glukosa didapat. Di bawah kondisi eksperimental yang dioptimalkan, elektroda CuO NFs-ITO menghasilkan sensitivitas yang tinggi dan dapat direproduksi terhadap glukosa sebesar 873 mA mM. Respons linier diperoleh pada rentang konsentrasi dari 0,20 mM hingga 1,3 mM dengan batas deteksi 40 nM (S/N=3) (G. Liu et al., 2012).

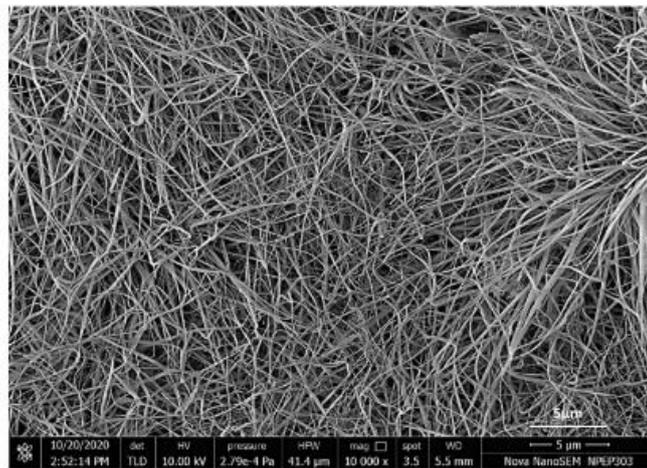
Pada tahun 2018, Baek et al dalam penelitiannya berhasil untuk mendapatkan sebuah biosensor untuk deteksi glukosa berdasarkan *Nanofiber* yang dihasilkan dari campuran *Graphene oxide* (GO) dan PVA. Serat-seratnya di-electrospun langsung ke *chip* emas, dan kemudian ditutup dengan nanopartikel emas. Secara paralel, glukosa oksidase (GOx) dan HRP dirakit menjadi nano berukuran bunga dinamakan *nanoflower*. Untuk membuat NF *Cu-nanoflower-AuNPs-GO* sebagai biosensor elektrokimia, *nanoflower/enzim* dari larutan akan diterapkan ke elektroda yang mengendalikan AuNPs-GO NFs dan dibiarkan kering pada temperatur kamar. Pengukuran elektrokimia mengungkapkan bahwa *Cu-nanoflower-AuNPs-GO NFs* menunjukkan sifat katalitik, dan selektivitas untuk mengkonversi glukosa menjadi *gluconic acid*. Respon dari sensor ditemukan linier terhadap konsentrasi glukosa dalam kisaran 0,5-50 g mL⁻¹ dengan LOD 0,59 g mL⁻¹ (Mercante et al., 2021b).

Tahun 2021, Medha et al menyiapkan komposit tembaga (II) oksida (CuO) dan *graphene oxide* (GO) menggunakan metode sintesis hidrotermal. Sifat struktural dan morfologis *nanofibers* GO/CuO yang terbentuk dianalisis menggunakan difraktometer sinar-X, pemindaian emisi medan, analisis sinar-X dispersif energi, spektroskopi FTIR, spektroskopi Raman, dan spektroskopi fotoelektron sinar-X. Hasilnya menunjukkan GO/CuO memiliki

diameter dan panjang berukuran nano dalam urutan mikrometer. GO/CuO NFs ini digunakan sebagai elektroda biosensor non-enzimatis (GO/CuO NFs/FTO (*fluorine-doped tin oxide*)) untuk deteksi glukosa yang lebih baik. Kinerja biosensor dievaluasi menggunakan *linear sweep voltammetry* (LSV) dan kronoamperometri dalam larutan buffer fosfat (PBS). Biosensor GO/CuO/FTO mencapai sensitivitas tinggi $1274,8 \text{ A mM}^{-1}\text{cm}^{-2}$ yang memiliki rentang deteksi linier dari 0,1 hingga 10 mM dengan batas deteksi yang lebih rendah (0,13 M) (Gijare et al., 2021). Dalam jurnalnya, Gijare, 2021 juga melakukan uji XRD dan SEM. Berikut hasil pengujian XRD, FTIR, dan SEM pada Gambar 2.11 dan 2.12



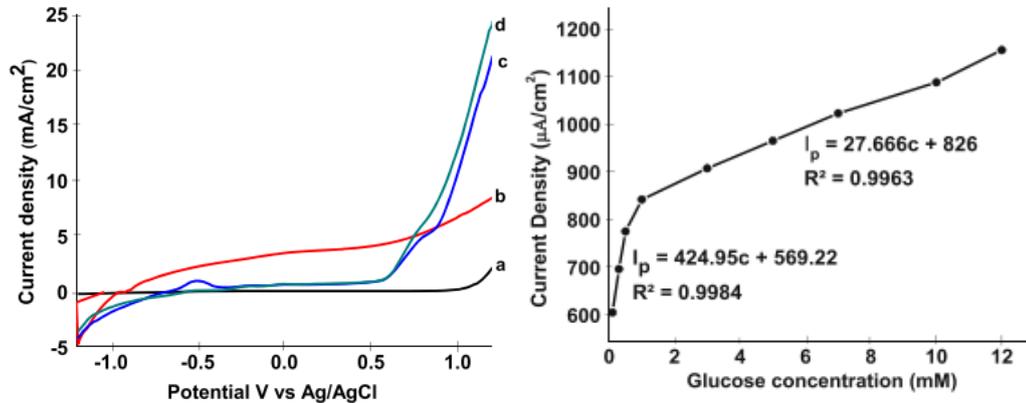
Gambar 2.11 Hasil XRD dan FTIR dari (a) GO dan (b) GO/CuO (Gijare et al., 2021)



Gambar 2.12 Hasil SEM pada GO/CuO (Gijare et al., 2021)

Berdasarkan gambar 2.11 hasil pengujian XRD dari jurnal Gijare, 2021 terdapat puncak (002) pada $11,92^\circ$ menunjukkan terjadinya fungsi oksigen pada permukaan GO dengan jarak antar layer 0,79 nm. Puncak (100) pada $42,56^\circ$ menunjukkan terbentuknya GO. Dalam nanokomposit GO/CuO, puncak difraksi (002) pada $24,04^\circ$ menunjukkan pergeseran dspeacing 0,37 nm. Penurunan jarak antar layer menunjukkan bahwa GO dapat diubah menjadi rGO. Sedangkan puncak CuO sesuai dengan file JCPDS: 48-1548, yang menegaskan tingkat kemurnian dan kristalinitas CuO yang tinggi. Pada gambar 2.11 hasil FTIR dengan regangan gugus O-H terdefinisi sebagai spektrum luas yang ada di sekitar 3203 cm^{-1} dan puncaknya pada 1734 cm^{-1} menunjukkan getaran regangan C=O pada permukaan GO. Getaran peregangan C-O ditetapkan ke puncak pada 1054 cm^{-1} . Gugus fungsi permukaan menunjukkan kemungkinan ikatan CuO

pada permukaan GO. Hasil SEM GO/CuO dalam penelitian ini juga terlihat bahwa nanopartikel CuO yang dikompositkan bersama rGO membentuk struktur seperti serat. Lalu berikutnya elektroda diuji dengan menggunakan LSV untuk melihat respon yang terjadi antara elektroda dengan glukosa.



Gambar 2.13 Hasil pengujian LSV dari GO/CuO NFs/FTO (Gijare et al., 2021).

Hasil pengujian LSV dalam jurnal Gijare, 2021 ditunjukkan pada Gambar 2.13. Elektroda dipindai pada 100 mv/s dengan adanya 5 mM D (+) glukosa. Tidak ada respons sinyal yang terdeteksi untuk FTO sendiri (kurva a). GO/FTO (kurva b) dan CuO/FTO (kurva c) menunjukkan sedikit peningkatan arus latar belakang karena area superfisial GO yang besar dan kemampuan elektrokatalitik masing-masing untuk oksidasi glukosa CuO. Puncak oksidasi glukosa yang terdefinisi dengan baik diamati untuk GO/CuO/FTO (kurva d) dengan adanya glukosa 5 mM pada + 0,6 V. Ini menunjukkan bahwa elektroda komposit GO/CuO/FTO diperlukan untuk mendapatkan sensitivitas tinggi dan lebih baik untuk aktivitas sensor.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

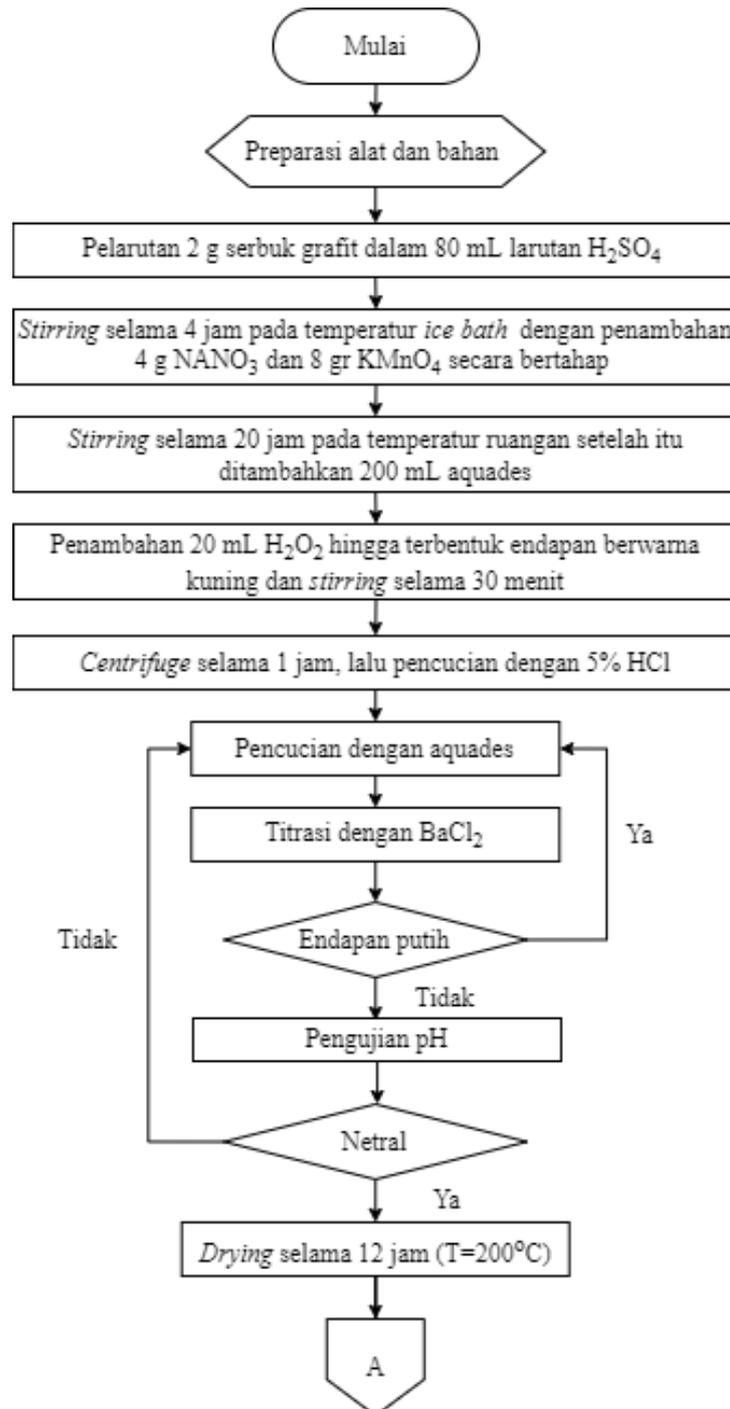
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

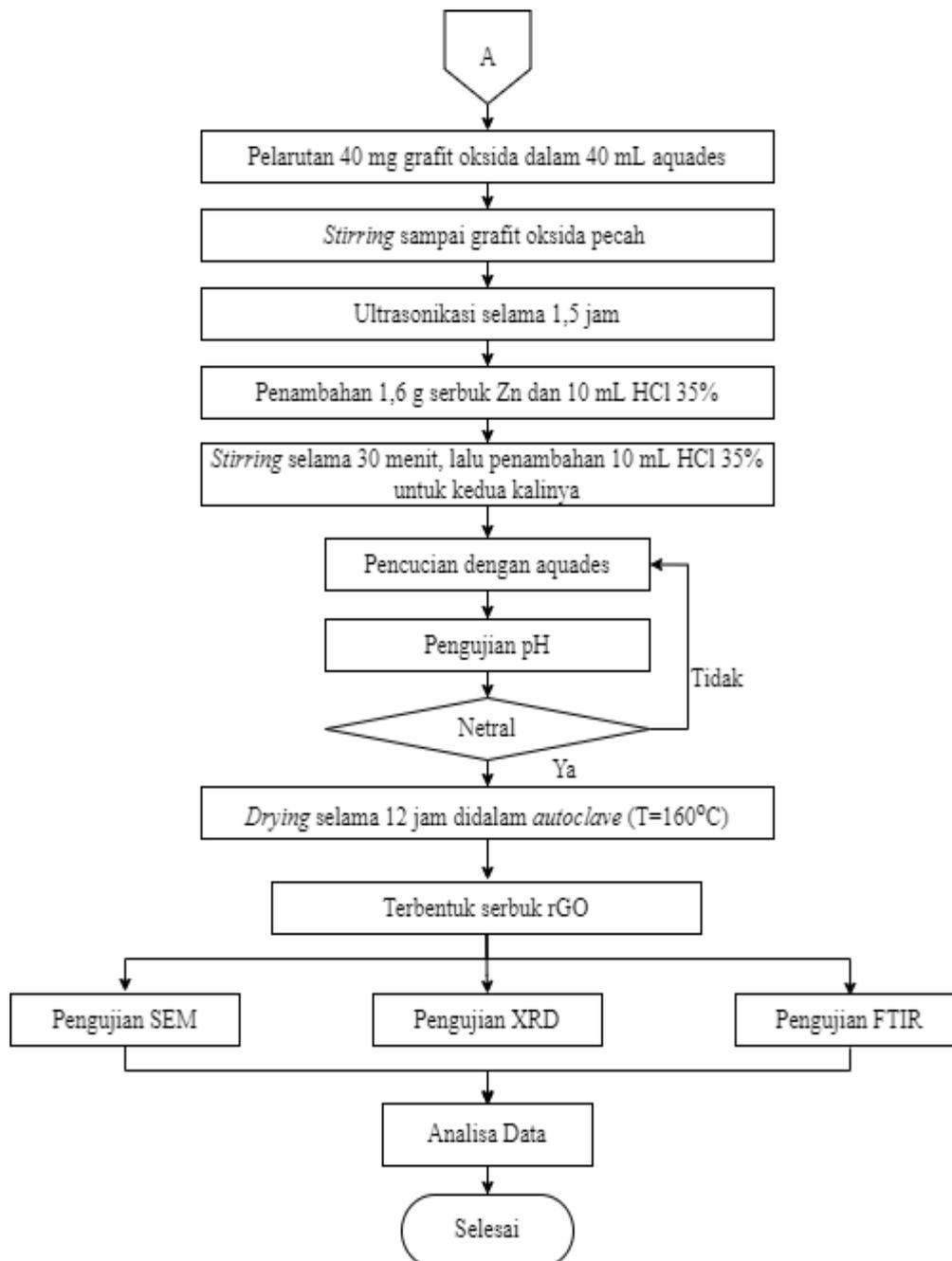
3.1 Diagram Alir Penelitian

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

3.1.1 Diagram Alir Sintesis Reduced Graphene Oxide (rGO)

Gambar 3.1 merupakan diagram alir dari proses sintesis reduced graphene oxide (rGO) yang digambarkan sebagai berikut

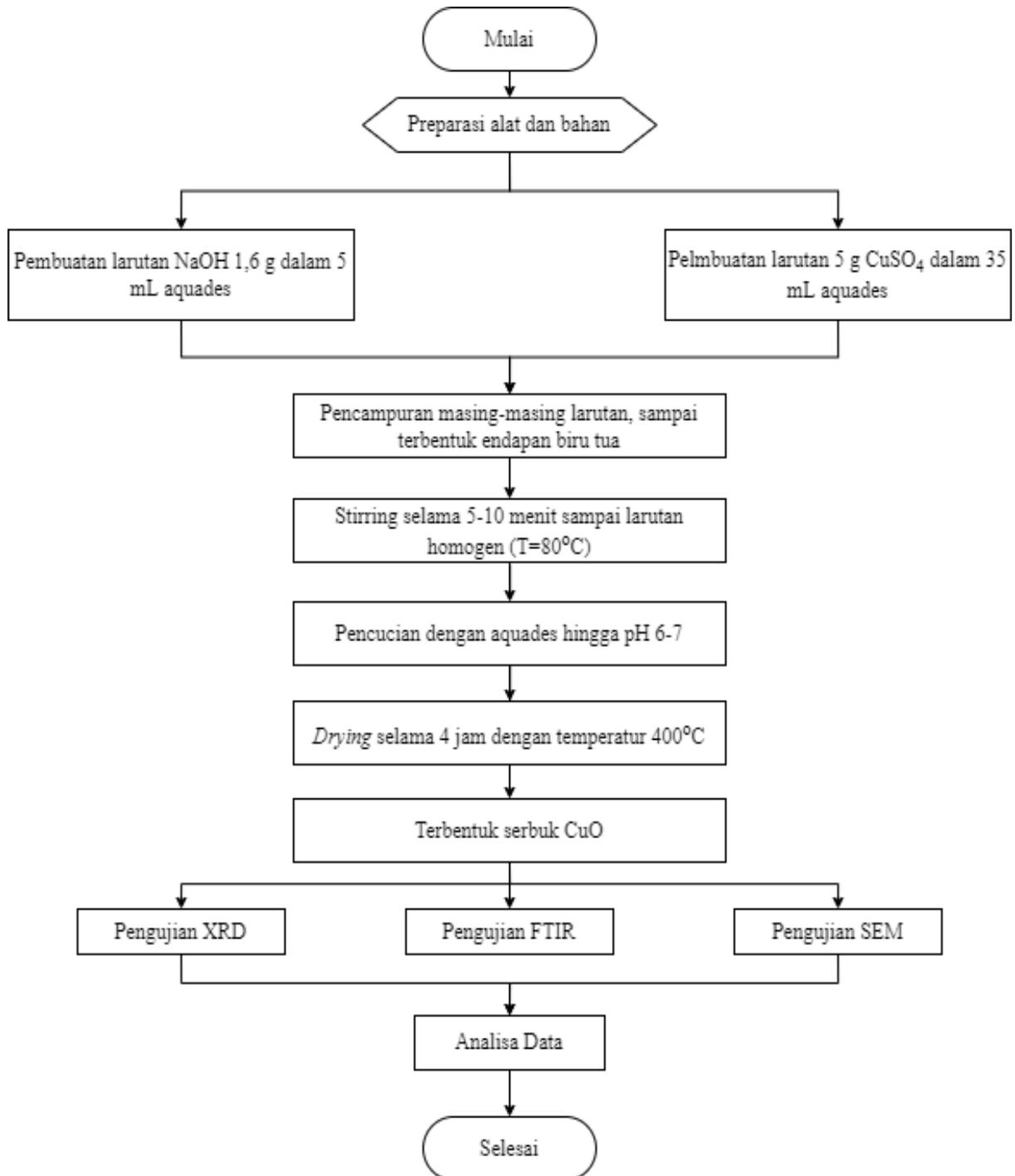




Gambar 3.1 Diagram alir pembuatan *reduced graphene oxide* (rGO)

3.1.2 Diagram Alir Sintesis CuO

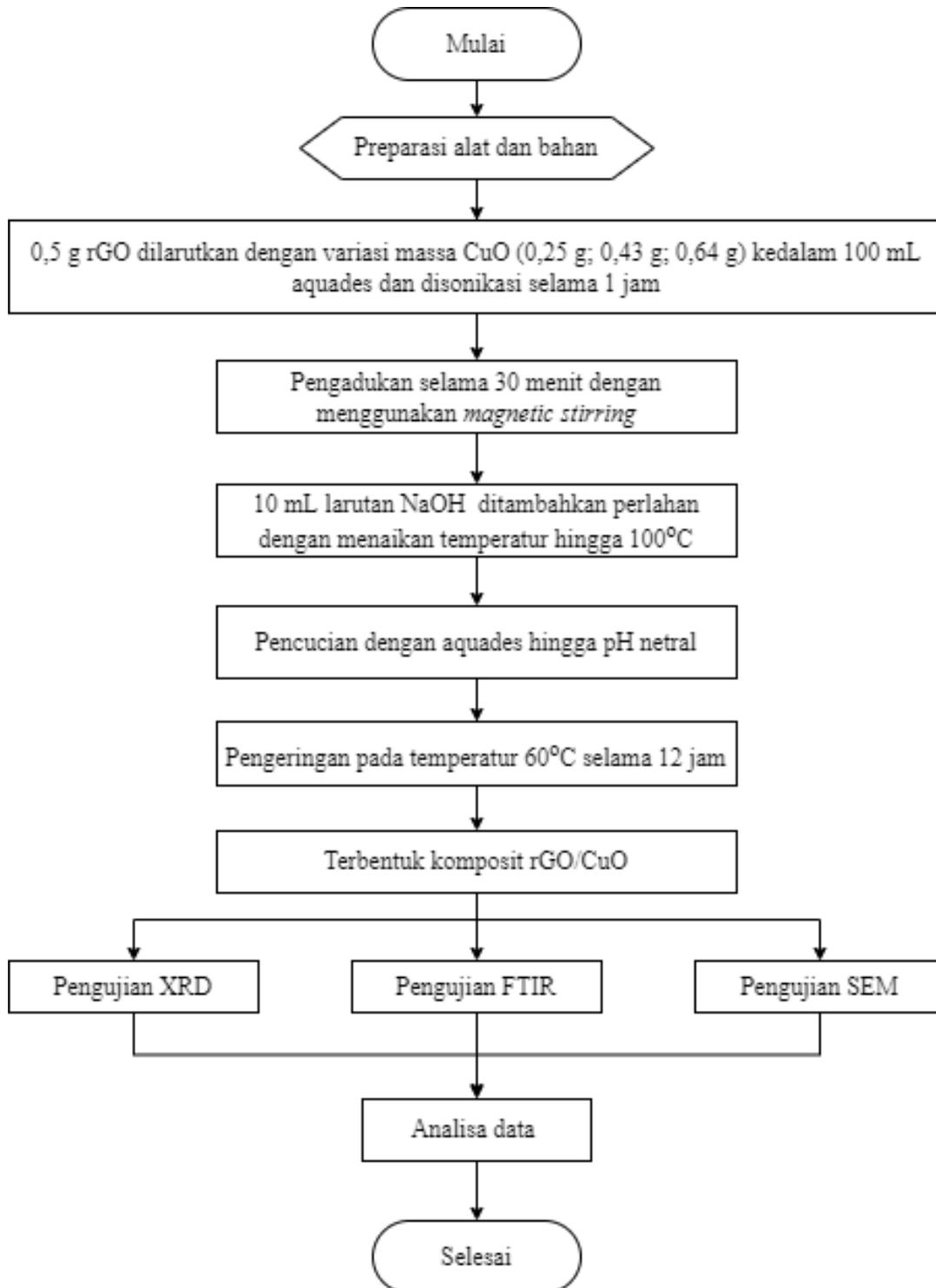
Gambar 3.2 merupakan diagram alir dari proses pembuatan CuO yang digambarkan sebagai berikut



Gambar 3.2 Diagram alir pembuatan CuO

3.1.3 Diagram Alir Sintesis Komposit rGO/CuO

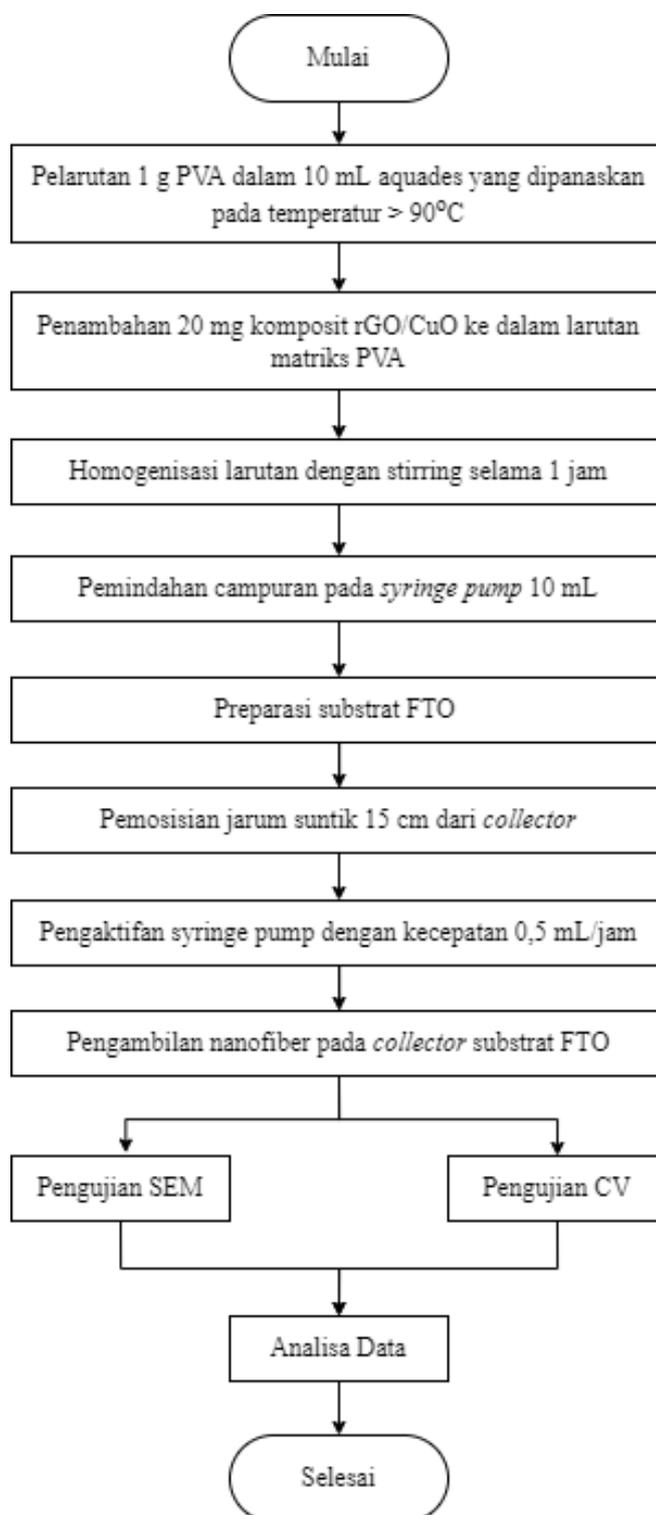
Gambar 3.3 merupakan diagram alir dari proses pembuatan komposit rGO/CuO yang digambarkan sebagai berikut



Gambar 3.3 Diagram alir pembuatan komposit rGO/CuO

3.1.4 Diagram Alir Sintesis Elektroda *Nanofiber* rGO/CuO

Gambar 3.4 merupakan diagram alir dari proses pembuatan elektroda *nanofiber* rGO/CuO yang digambarkan sebagai berikut



Gambar 3.4 Diagram alir pembuatan elektroda nanofiber rGO/CuO

3.2 Bahan Penelitian

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Serbuk grafit dengan ukuran 50 μ m dan purity 99% diperoleh dari Merck.
2. Asam sulfat (H₂SO₄), Natrium nitrat (NaNO₃) dan Potassium permanganat (KMnO₄) didapat dari SAP Chemicals.
3. Hidrogen peroksida (H₂O₂) didapatkan dari SAP Chemicals.
4. Akuades diperoleh dari SAP Chemicals
5. BaCl₂ diperoleh dari SAP Chemicals
6. Larutan asam klorida (HCl) 37% diperoleh dari SAP
7. Serbuk Zn diperoleh dari Merck.
8. Serbuk *copper sulfate pentahydrate* (CuSO₄·5H₂O) (SAP Chemicals)
9. Polivinil alkohol (PVA) purity 99% diperoleh dari SAP Chemicals.
10. Substrat *Fluoride-doped Tin Oxide* (FTO) diperoleh dari Sigma
11. D-Glukosa (+) sebagai analit diperoleh dari SAP Chemicals.

3.3 Alat Penelitian

Adapun beberapa alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Neraca Analitik
Neraca analitik digunakan untuk mengukur massa dari bahan padatan atau serbuk.
2. Spatula
Spatula digunakan untuk mengambil bahan sampel padat
3. Gelas Ukur
Alat ini digunakan sebagai alat ukur bahannya.
4. Gelas Beaker
Alat ini digunakan sebagai tempat aktifitas kimia.
5. Erlenmeyer
Erlenmeyer digunakan sebagai media tempat larutan yang memerlukan perlakuan mengadukan.
6. *Hot-plate magnetic stirrer*
Magnetic stirrer digunakan untuk mencampurkan serta mengaduk agar homogen serta pemberian temperatur pada larutan yang diaduk.
7. Crucible
Crucible digunakan sebagai wadah untuk menyimpan sampel dalam proses *drying*.
8. *Autoclave*
Autoclave pada penelitian ini digunakan dalam proses hidrotermal yaitu sebagai wadah larutan dalam menghomogenisasi kontak panas dan udara *vaccum*.
9. *Muffle Furnace*
Muffle furnace digunakan untuk pemanasan dalam proses *drying* dan hidrotermal.
10. *Centrifuge*
Centrifuge digunakan untuk mendispersi partikel endapan dalam larutan dan memisahkannya.
11. *Ultrasonic Cleaner*
Ultrasonic cleaner digunakan untuk homogenisasi dan pengelupasan lembaran grafit oksida menjadi *Graphene oxide*.
12. Alat *electropinning*
Alat ini digunakan untuk membentuk *nanofiber* rGO/CuO dengan bantuan pelarut polimer. Terdiri dari pompa syringe yang disertai dengan jarum, *power supply*, dan *collector*.
13. Instrumen karakterisasi: SEM, XRD, FTIR, dan *Cyclic Voltametry* (CV)

3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur dari penelitian ini dimulai dari pembuatan *reduced graphene oxide* (rGO), selanjutnya pembuatan serbuk CuO, lalu pembuatan material komposit rGO/CuO, dilanjutkan dengan preparasi substrat FTO, dan yang terakhir proses pembuatan elektroda *nanofiber* rGO/CuO-FTO dengan metode *electrospinning*.

3.4.1 Pembuatan 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. Setiap 1 jam proses *stirring* telah berjalan dilakukan penambahan 4 g NaNO₃ dan 8 g KMnO₄ secara bertahap dan bergantian kedalam larutan. Hasil penambahan KMnO₄ menjadi hitam kehijauan. Selanjutnya larutan dikeluarkan dari *icebath* dan dilanjutkan *stirring* pada temperature ruangan selama 20 jam. Setelah *stirring* selama 20 jam, ditambahkan 200 ml aquades kedalam larutan secara bertahap, lalu di-*stirring* kembali selama 1 jam agar larutan menjadi homogen.

Selanjutnya menambahkan 20 ml H₂O₂ untuk menghilangkan kandungan KMnO₄ sisa dalam larutan sehingga menjadi berwarna kuning cerah, lalu dibiarkan dalam keadaan ter-*stirring* selama 30 menit. Kemudian di-*centrifuge* selama 1 jam, dan diambil padatan berwarna kuning, sedangkan cairan dan padatan berwarna putih tidak digunakan. Selanjutnya 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 dilakukan uji pH. Pencucian dengan aquades 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 200°C selama 12 jam, sehingga terbentuk 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. Kemudian menambahkan 10 ml HCl 35% dalam kondisi non-*stirring* untuk mendapatkan kondisi asam. Lalu dilakukan proses reduksi menggunakan agen pereduksi Zn 1.6 g. Setelah gelembung hasil reaksi Zn habis, ditambahkan kembali 10 ml HCl 35% 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 sehingga didapatkan endapan hitam. Selanjutnya adalah proses pencucian. Pencucian dengan menggunakan aquades beberapa kali hingga pH menjadi netral (pH=6-7). Setelah didapatkan pH yang netral, endapan dimasukkan kedalam *autoclave* untuk dilakukan proses hidrotermal dengan temperatur 160°C selama 12 jam sehingga dihasilkan rGO.

3.4.2 Pembuatan Serbuk CuO

Sintesis serbuk CuO dimulai dengan pembuatan larutan CuSO₄ dan NaOH dengan melarutkan 5 g *copper sulfate pentahydrate* (CuSO₄·5H₂O) dalam 35 ml aquades. Disisi lain, melarutkan 1,6 gr NaOH dalam 5 mL aquades. Lalu NaOH yang telah dibuat dimasukkan perlahan kedalam larutan CuSO₄ dengan kondisi *stirring* pada temperature 80°C hingga terbentuk endapan biru tua. Kemudian, *stirring* selama 5-10 menit sehingga larutan menjadi homogen. Lalu hasil larutan dicuci menggunakan aquades sampai pH netral yaitu antara pH=6-7. Setelah dicuci hingga pH netral, dilakukan pengeringan pada temperatur 400°C selama 4 jam. Pada proses ini didapatkan serbuk CuO. Berikut merupakan reaksi yang terjadi pada proses ini.

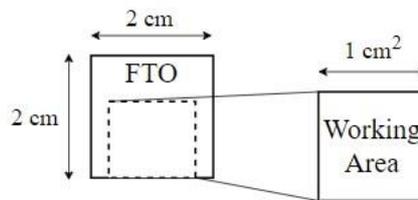


3.4.3 Pembuatan komposit rGO/CuO

Pembuatan komposit rGO/CuO dimulai dari melarutkan 0,5 g rGO dan CuO dengan variasi massa (0,25 g; 0,43 g; 0,64 g) ke dalam 100 ml aquades, lalu disonikasi selama 1 jam agar molekul-molekul dalam larutan berisolasi sehingga mengakibatkan regangan atau rapatan. Selanjutnya dilakukan pencampuran rGO dan CuO yang telah disonikasi dengan menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit. Lalu, 10 ml NaOH ditambahkan secara perlahan ke dalam larutan dengan menaikkan temperatur hingga 100°C untuk mendapatkan pH netral. Selanjutnya pencucian menggunakan aquades hingga pH netral dan pengeringan pada temperatur 60°C selama 12 jam. Pada proses ini terbentuk komposit rGO/CuO.

3.4.4 Preparasi substrat FTO

Preparasi substrat dilakukan dengan cara mencuci FTO-glass yang telah dipotong (ukuran $2 \times 2 \text{ cm}^2$) menggunakan alkohol atau etanol dalam *ultrasonic cleaner* masing-masing selama 20 menit dengan temperatur 50°C. Tujuan pencucian ini adalah agar kaca substrat terbebas dari material yang tidak bisa dihilangkan dengan air. Selanjutnya, dilakukan *masking* pada FTO untuk membentuk *working area* seluas 1 cm^2 dengan cara melekatkan selotip pada bagian luar *working area* yang telah ditentukan seperti yang diilustrasikan oleh Gambar 3.5



Gambar 3.5 Desain substrat FTO untuk *electrospinning*

3.4.5 Pembuatan Elektroda Nanofiber rGO/CuO dengan Metode *Electrospinning*

Komposit rGO/CuO disiapkan. Selanjutnya larutan PVA dibuat dengan konsentrasi 10% dengan melarutkan 1 gr PVA dalam 10 ml aquades yang telah dipanaskan pada temperatur $> 90^\circ\text{C}$. Lalu, 20 mg hasil komposit rGO/CuO dengan masing-masing variasi dimasukkan ke dalam larutan matriks PVA, dan dilakukan *stirring* hingga larutan menjadi homogen. Kemudian larutan dimasukkan ke dalam *syringe* 10 mL.

Selanjutnya melakukan deposisi larutan pada substrat FTO yang telah dipreparasi dengan menggunakan metode *electrospinning*. *Syringe pump* diletakkan dengan jarak nozzle ke *collector* FTO sejauh 15 cm. Lalu, mengaktifkan *syringe pump* dengan kecepatan 0.5 mL/jam dengan arus DC sebesar 15 kV. *Electrospinning* dilakukan selama 30 menit. Kemudian FTO-nanofiber rGO/CuO diambil dan dibiarkan selama 3 jam di temperatur ruangan. Pengujian SEM dan Cyclic Voltammetry dilakukan. Nanofiber rGO/CuO-FTO yang terbentuk dapat digunakan sebagai elektroda kerja.

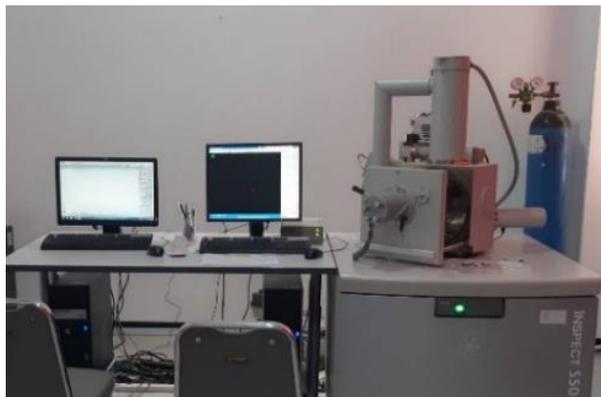
3.5 Proses Pengujian

Hasil dari penelitian ini kemudian dikarakterisasi melalui beberapa pengujian untuk mendukung apakah penelitian dianggap berhasil atau tidak. Berikut ini adalah penjelasan terkait jenis pengujian karakteristik yang dilakukan pada penelitian ini.

3.5.1 Pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dilakukan dengan memanfaatkan pancaran elektron berenergi tinggi untuk memeriksa sampel dalam skala yang sangat kecil. Pada saat elektron berinteraksi dengan sampel, maka akan dihasilkan *secondary electron* (SE), elektron akan 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 oleh *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. Sampel yang berupa lembaran dilengketkan pada holder dengan menggunakan selotip karbon double tape. Lalu sampel diamati dengan berbagai perbesaran. Perbesaran yang digunakan adalah 300x, 500x, 1000x, 5000x, 10000x, 15000x. Pada pengujian ini Sampel diamati morfologinya menggunakan mesin SEM Inspect S50 seperti yang terlihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Instrumen SEM (Dokumentasi pribadi)

3.5.2 Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD)

Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) digunakan untuk mengidentifikasi unsur tunggal dan senyawa, penentuan komposisi kimia, dan menentukan ukuran kristal. Hal ini dikarenakan instrument dari XRD menggunakan sinar-X untuk menganalisis material. Panjang gelombang dari sinar-X memiliki orde yang sama dengan jarak antar atom sehingga dapat digunakan sebagai sumber difraksi kristal. Untuk dapat melakukan fungsinya, XRD dilengkapi oleh komponen-komponen penting seperti tabung sinar-X, *monochromator*, detektor dan lain-lain. Agar detektor dapat mendeteksi interferensi konstruktif radiasi sinar-X hasil difraksi struktur kristal, maka posisinya harus berada tepat pada arah sudut pantul radiasi sinar-X tersebut. Setelah dideteksi oleh detektor kemudian akan diperkuat oleh gelombang dengan menggunakan amplifier. Lalu interferensi konstruktif radiasi sinar-X tersebut akan terbaca secara spektroskopi sebagai puncak-puncak grafik yang akan ditampilkan oleh monitor. Dengan menganalisis puncak-puncak grafik tersebut maka struktur kristal suatu material dapat diketahui.

Sampel serbuk atau padatan kristalin memiliki bidang-bidang kisi yang tersusun secara acak dengan berbagai kemungkinan orientasi, begitu pula partikel-partikel kristal yang terdapat di dalamnya. Setiap kumpulan bidang kisi tersebut memilih beberapa sudut orientasi tertentu sehingga difraksi sinar-X harus memenuhi hukum Bragg pada Persamaan 3.1.

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

dimana,

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

λ = Panjang sinar-X

d = jarak kisi

θ = sudut difraksi

Dari hasil keluaran XRD dapat memberikan informasi untuk melihat ukuran kristal sampel. Hal ini dapat didapatkan dengan Persamaan Scherrer pada Persamaan 3.2.

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (3.2)$$

dimana,

D = Ukuran kristal

λ = Panjang gelombang Cu-K α (1.54060 Å)

β = FWHM (rad)

K = Konstanta Scherrer dengan nilai 0.9

Karakterisasi material menggunakan instrumen XRD Malvern PANalytical yang ditunjukkan pada Gambar 3.7



Gambar 3.7 X-Ray Diffraction PANalytical (Dokumentasi pribadi)

3.5.3 Pengujian *Fourier-Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)

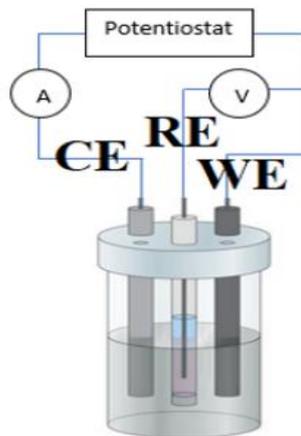
FTIR menggunakan interaksi gelombang elektromagnetik intramolekul dan getaran. Gelombang elektromagnetik yang digunakan adalah sinar inframerah. Saat sebuah molekul terkena gelombang elektromagnetik dalam rentang frekuensi inframerah, frekuensi tertentu mungkin cocok dengan frekuensi getaran molekul. FTIR dapat mengidentifikasi getaran molekul dengan mendeteksi penyerapan cahaya inframerah oleh molekul dan membangkitkan getaran molekul oleh gelombang frekuensi. 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. Untuk dapat menyerap radiasi infra merah (aktif inframerah), vibrasi molekul harus menghasilkan perubahan momen dwikutub. Setiap molekul memiliki penyerapan berbeda sesuai dengan pola vibrasi dan pola ikatan antar atomnya. Gambar 3.8 menunjukkan alat pengujian FTIR.



Gambar 3.8 Instrumen FTIR (Dokumentasi pribadi)

3.5.4 Pengujian *Cyclic Voltammetry* (CV)

Pengujian CV dilakukan untuk mengukur sifat elektrokimia elektroda terhadap glukosa. Sebuah potensiostat terhubung antara elektroda kerja dan elektroda reference untuk menerapkan potensi yang berbeda. Tiga elektroda terintegrasi dari sel CV bekerja sebagai komponen utama dari sel CV seperti yang diilustrasikan pada Gambar 3.9



Gambar 3.9 Komponen set up CV (Taha et al., 2020)

Tegangan yang diberikan menimbulkan potensi terjadinya reaksi kimia pada permukaan elektroda, dimana molekul reaktansi bergerak ke permukaan elektroda untuk interaksi massa, kemudian elektroda menerima sinyal kimia yang mengarah untuk menghasilkan aliran arus melalui elektroda yang dapat diukur secara siklik. Pengujian ini menggunakan larutan elektrolit NaOH 0,01 M dengan melarutkan glukosa untuk diuji menggunakan elektroda kerja rGO/CuO NFs-FTO. Untuk *counter electrode* yang digunakan adalah Pt (Platinum) dan *reference electrode* yang digunakan adalah Ag/AgCl. Nilai potensial yang digunakan adalah 0 hingga 1,4 V untuk menyesuaikan rentang potensial kerjanya. Instrumen CV yang digunakan adalah Ossila yang tersedia di Laboratorium Kimia Material Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS. Pada pengujian ini hasil yang didapat adalah grafik *cyclic voltammogram*.

3.6 Rancangan Penelitian

Adapun rancangan penelitian dan pengujian yang akan dilakukan pada masing-masing sampel ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Rancangan Penelitian

Sampel	Variasi rGO: CuO (g)	Pengujian			
		SEM	XRD	FTIR	CV
rGO	-	√	√	√	-
CuO	-	√	√	√	-
rGO/CuO 0,2	0,5 : 0,25	√	√	√	-
rGO/CuO 0,4	0,5 : 0,43	√	√	√	-
rGO/CuO 0,6	0,5 : 0,64	√	√	√	-
NFs rGO/ CuO 0,2-FTO	0,5 : 0,25	√	-	-	√
NFs rGO/CuO 0,4- FTO	0,5 : 0,43	√	-	-	√
NFs rGO/CuO 0,6-FTO	0,5 : 0,64	√	-	-	√

3.7 Jadwal Penelitian

Berikut merupakan jadwal penelitian yang akan dilakukan pada penelitian ini yang ditunjukkan pada Tabel 3.2

Tabel 3.2 Jadwal Penelitian

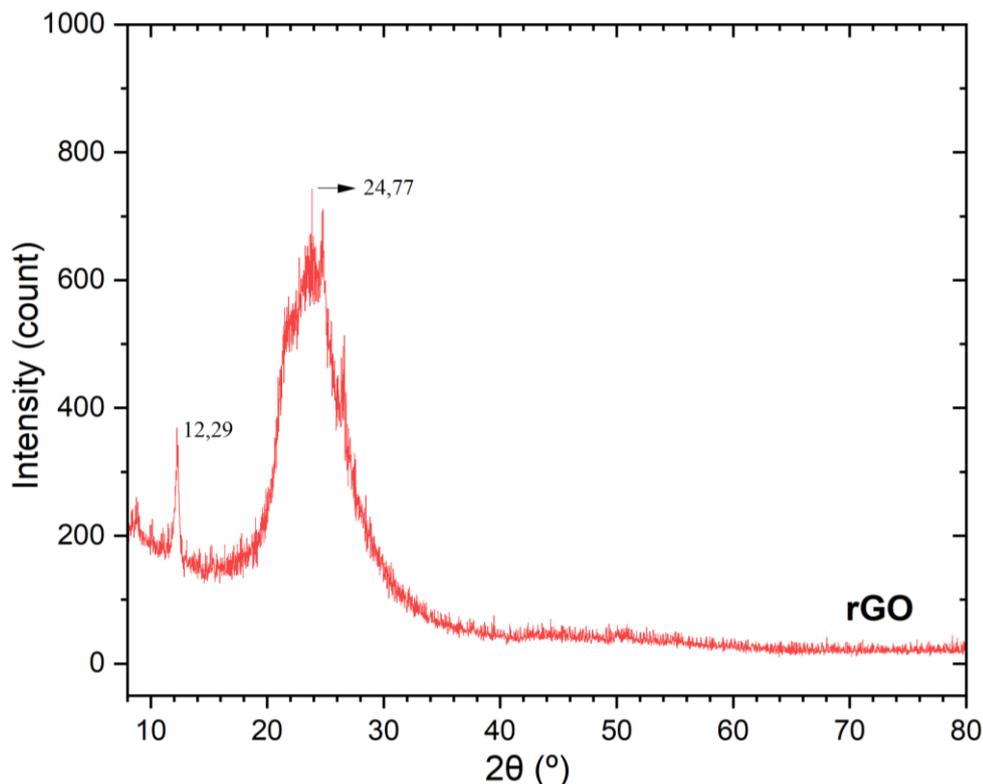
Kegiatan	Bulan															
	Maret				April				Mei				Juni			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Studi Literatur	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Bimbingan	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Persiapan Alat dan Bahan			■	■	■											
Sintesis rGO				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
Sintesis CuO				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
Sintesis <i>nanofiber</i> rGO/CuO					■	■	■	■	■	■	■	■	■			
Pengujian SEM									■	■	■	■	■	■	■	■
Pengujian XRD									■	■	■	■	■	■	■	■
Pengujian FTIR									■	■	■	■	■	■	■	■
Pengujian CV											■	■	■	■	■	■
Penyusunan Laporan Tugas Akhir									■	■	■	■	■	■	■	■

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis *reduced graphene oxide* dari serbuk grafit menggunakan metode Hummer dengan mengoksidasi serbuk grafit menggunakan kalium permanganate (KMnO_4), sodium nitrat (NaNO_3), dan asam sulfat (H_2SO_4). Dengan adanya asam sulfat, KMnO_4 akan bereaksi membentuk ion MnO_4^- yang selanjutnya berubah menjadi Mn_2O_7 yang menyebabkan grafit dapat teroksidasi. Komposit rGO/CuO disintesis dengan menggunakan metode hydrothermal melalui proses kimia antara rGO dan *copper sulfate monohidrate* (CuSO_4). Amonium hydroxide (NaOH) dan H_2O digunakan untuk mengontrol pembentukan komposit rGO/CuO. Selanjutnya komposit rGO/CuO dengan variasi massa dilarutkan ke dalam larutan matriks PVA untuk memperoleh *nanofiber* rGO/CuO. Deposisi larutan pada FTO-glass dilakukan dengan menggunakan metode *electrospinning* yang dapat digunakan langsung sebagai elektroda kerja untuk biosensor glukosa.

4.1 Hasil Pengujian X-Ray Diffraction (XRD)

Analisis XRD dilakukan untuk mengetahui perbedaan posisi puncak (*peak*) dari sampel *reduced graphene oxide* (rGO), CuO dan melihat dimana adanya indikasi perubahan struktur dan perbedaan antara penambahan CuO pada komposit rGO/CuO dengan variasi massa (0,2 g; 0,4 g; dan 0,6 g). Berikut ini adalah hasil sintesis rGO yang berbahan dasar grafit. Kemudian diuji dengan menggunakan alat XRD PANalytical dengan range sudut $2\theta = 10^\circ\text{-}90^\circ$ dan panjang gelombang $\text{Cu-K}\alpha = 1.54060 \text{ \AA}$. Hasil pengujian X-Ray Diffraction (XRD) pada sampel rGO dapat dilihat pada Gambar 4.1

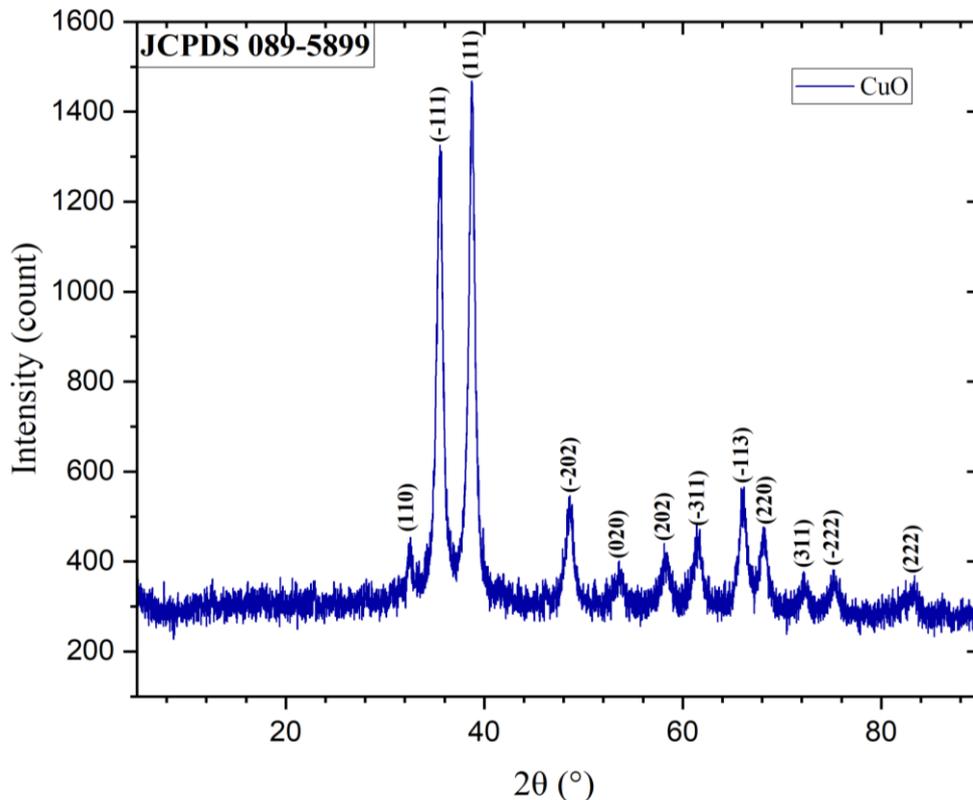


Gambar 4.1 Hasil pengujian XRD pada reduced graphene oxide (rGO)

Berdasarkan gambar diatas diketahui bahwa puncak sampel pada rGO berada pada posisi $2\theta = 24,77^\circ$ yang mewakili bidang [002] dan memiliki d_{spacing} sebesar $3,59122 \text{ \AA}$. Terjadinya

perubahan puncak dari grafit yang memiliki sudut difraksi $26,5^\circ$ dengan intensitas yang tinggi dan d_{spacing} sebesar $3,4 \text{ \AA}$ menandakan adanya proses reduksi yang terjadi (Muliastri et al., 2018). Penurunan d_{spacing} $7,19 \text{ \AA}$ dari GO menjadi $3,59 \text{ \AA}$ juga menunjukkan bahwa GO telah tereduksi menjadi rGO. Namun dalam proses reduksinya belum sepenuhnya sempurna sehingga masih menyisakan *peak* grafit oksida yaitu pada posisi $2\theta = 12,29^\circ$.

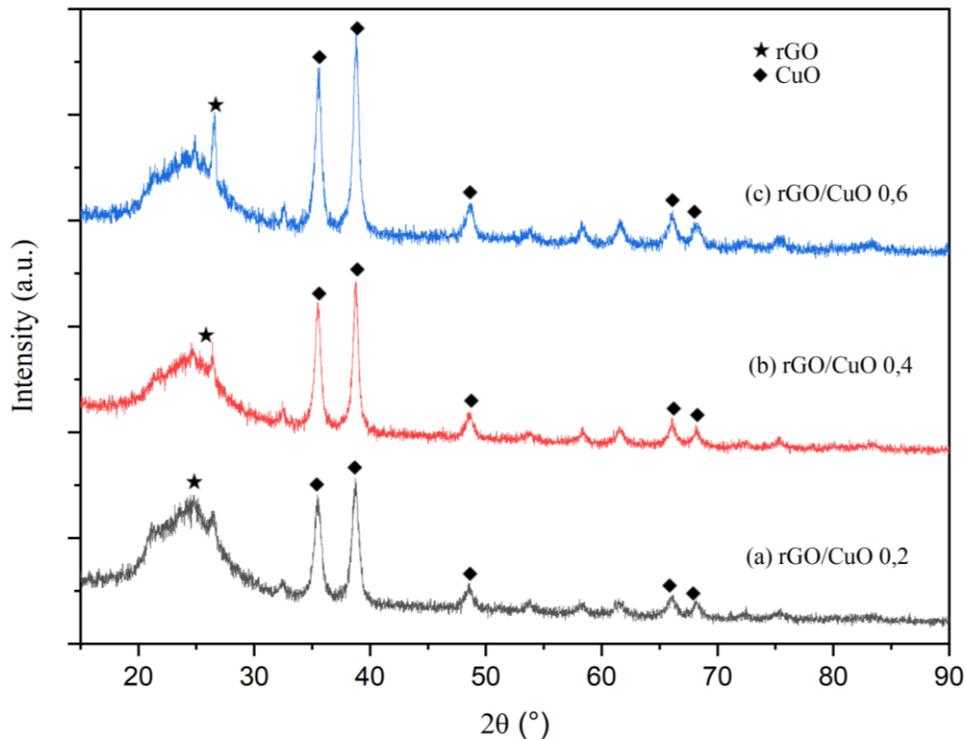
Pengujian XRD kembali dilakukan pada sampel CuO dan komposit rGO/CuO. Hasil pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) pada sampel CuO dapat dilihat pada Gambar 4.2



Gambar 4.2 Hasil pengujian XRD pada CuO

Dari hasil pengujian XRD pada sampel CuO didapatkan hasil puncak (*peak*) tertinggi terletak pada $2\theta = 35,481^\circ$ yang mewakili bidang $[-111]$ dan puncak pada $2\theta = 38,768^\circ$ dengan bidang $[111]$. Selain itu, terdapat *peak* yang lain pada $32,516^\circ$, $48,676^\circ$, $53,62^\circ$, $58,290^\circ$, $61,651^\circ$, $66,060^\circ$, $68,180^\circ$, $72,360^\circ$, dan $75,193^\circ$ yang sesuai dengan bidang $[110]$, $[-202]$, $[020]$, $[202]$, $[-311]$, $[-113]$, $[220]$, $[311]$, $[-222]$. Sesuai dengan JCPDS *card* 089-5899 struktur CuO adalah *monoclinic* yang memiliki *lattice parameter* $a = 4,6890 \text{ \AA}$, $b = 3,4200 \text{ \AA}$, $c = 5,1300 \text{ \AA}$, dan $\beta = 99,5700^\circ$ dengan jarak antarlayer pada material berkisar antara $1,1-2,7 \text{ \AA}$.

Selanjutnya untuk hasil pengujian XRD komposit rGO/CuO dengan variasi penambahan massa CuO 0,2, 0,4, dan 0,6 gram dapat dilihat pada Gambar 4.3. Gambar 4.3 (a) menunjukkan bahwa hasil pengujian XRD pada sampel komposit rGO/CuO dengan rasio berat rGO : CuO adalah 0,5 : 0,2 gram. Terdapat *peak* dengan intensitas yang tinggi di $2\theta = 38,589^\circ$ yang mewakili bidang $[200]$ dan di posisi $2\theta = 35,428^\circ$ yang mewakili bidang $[002]$. *Peak* tersebut teridentifikasi sebagai CuO. Terdapat *peak* di $2\theta = 24,8^\circ$ yang mengindikasikan adanya *reduced graphene oxide* (rGO). Gambar 4.3 (b) adalah sampel komposit rGO/CuO dengan rasio berat rGO : CuO adalah 0,5 : 0,4 gram. Terdapat *peak* dengan intensitas yang tinggi pada $2\theta = 38,739^\circ$ yang mewakili bidang $[200]$ dan di $2\theta = 35,529^\circ$ yang mewakili bidang $[002]$. *Peak* tersebut teridentifikasi sebagai CuO. Sedangkan pada posisi $2\theta = 26,452^\circ$ teridentifikasi sebagai rGO.



Gambar 4.3 Hasil pengujian XRD pada, (a)rGO/CuO 0.2 gram, (b)rGO/CuO 0.4 gram, dan (c)rGO/CuO 0.6 gram

Gambar 4.3 (c) sampel komposit rGO/CuO dengan rasio berat rGO : CuO adalah 0.5 : 0.6 gram. Terdapat peak dengan intensitas yang tinggi pada $2\theta = 38,846^\circ$ yang mewakili bidang [200] dan di $2\theta = 35,508^\circ$ yang mewakili bidang [002]. Peak tersebut teridentifikasi sebagai CuO. Sedangkan pada posisi di $2\theta = 26,625^\circ$ teridentifikasi sebagai rGO.

Pada hasil pengujian XRD komposit rGO/CuO dengan variasi penambahan massa CuO 0.2, 0.4 dan 0.6 gram terlihat adanya perubahan FWHM (*broadening*) akibat dari penambahan variasi massa. Peak *broadening* ini mengindikasikan bahwa adanya perubahan ukuran *crystalline* yang terjadi setelah material *reduced graphene oxide* (rGO) dikompositkan dengan CuO. Hal ini didapatkan dengan persamaan *Scherrer* pada persamaan 3.2. Hasil perhitungan nilai ukuran kristal dari setiap sampel dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil perhitungan nilai ukuran kristal pada sampel rGO, CuO, dan komposit rGO/CuO

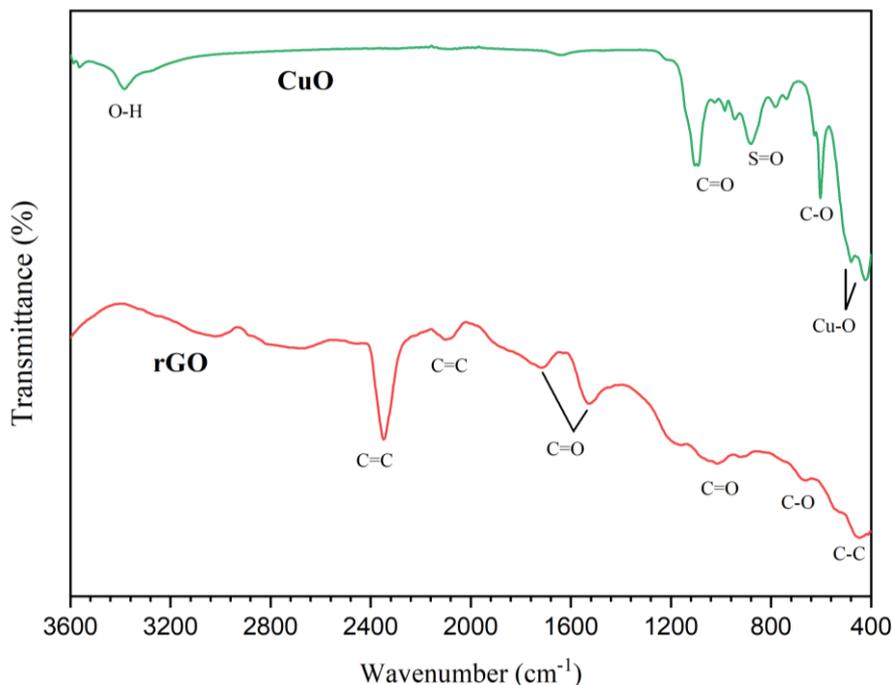
No	Sampel	2θ (°)	FWHM (rad)	<i>dspacing</i> (Å)	Ukuran kristalit (nm)
1	rGO	24.77	0.0070	3.591	20.42
2	CuO	38.768	0.0046	2.322	32.04
3	rGO/CuO 0,2	38.859	0.0064	2.137	23.11
4	rGO/CuO 0,4	38.739	0,0040	2.324	26.81
5	rGO/CuO 0,6	38.864	0.0052	2.318	28.37

Berdasarkan Tabel 4.1 didapatkan ukuran kristal rGO sebesar 20.42 nm dan CuO sebesar 32.04 nm. Perubahan ukuran kristal terjadi dengan penambahan CuO masing-masing sebesar 23,11 nm, 26,81 nm, dan 28,37 nm. Perubahan ukuran kristalit ditandai dengan pelebaran puncak difraksinya. Semakin kecil ukuran kristalit maka semakin lebar puncak

difraksi yang terlihat. 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 hampir sama. Sehingga tidak terlalu mempengaruhi jarak antar layer pada komposit (Muliastri et al., 2018).

4.2 Hasil Pengujian Fourier Transform Infrared (FTIR)

Pengujian FTIR dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material, Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan menggunakan mesin Nicolet IS10 dan di Balai Laboratorium Bea dan Cukai Kota Surabaya dengan panjang gelombang 400-4000 cm^{-1} . Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi yang terbentuk selama proses sintesis. Pengujian dilakukan pada sampel rGO, CuO, dan komposit rGO/CuO. Hasil uji FTIR pada sintesis rGO dan CuO dapat dilihat pada Gambar 4.4



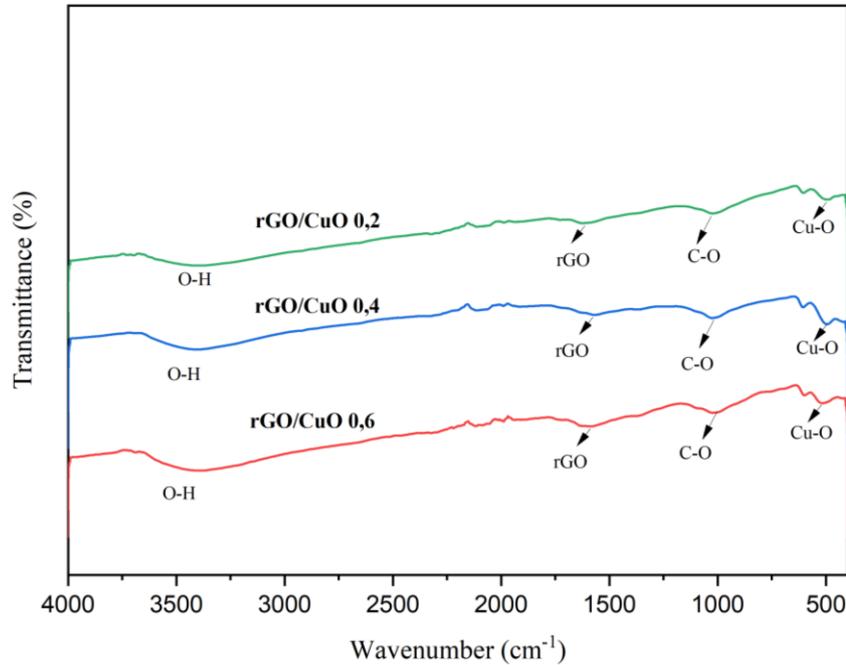
Gambar 4.4 Hasil pengujian FTIR *reduced graphene oxide* (rGO) dan CuO

Pada gambar 4.4 dapat dilihat beberapa puncak yang teridentifikasi selama proses reduksi menjadi rGO memunculkan beberapa bilangan gelombang yang memiliki ikatan C-C pada wavenumber 456 cm^{-1} , ikatan C-O pada bilangan gelombang 1002 cm^{-1} , dan ikatan C-H pada bilangan gelombang 1521 cm^{-1} . Selanjutnya puncak pada bilangan gelombang 2103 cm^{-1} dan 1704 cm^{-1} memiliki gugus fungsi C=O. Puncak yang terlihat pada bilangan gelombang 2351 cm^{-1} dimiliki oleh gugus fungsi C=C dimana ikatan yang terbentuk aromatic, menunjukkan terbentuknya rGO.

Selanjutnya adalah pengujian FTIR dari sampel CuO. Pada hasil peak sampel CuO terbentuk ikatan Cu-O pada bilangan gelombang 421 cm^{-1} , lalu pada bilangan gelombang 662 cm^{-1} adalah milik gugus fungsi C-O. Selanjutnya muncul ikatan S=O pada peak 880-1000 cm^{-1} . Munculnya ikatan S=O pada puncak sampel CuO menandakan proses sintesis menggunakan prekursor $\text{Cu}(\text{SO}_4) \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ sehingga masih terdapat senyawa sulfat yang belum teroksidasi secara sempurna dan masih terdapat ikatan O-H pada peak 3384 cm^{-1} yang menandakan CuO yang terbentuk belum teroksidasi secara sempurna diakarenakan masih banyak kandungan air.

Pada Gambar 4.5 merupakan hasil pengujian FTIR dari material komposit rGO/CuO dengan variasi penambahan massa CuO sebanyak 0,2 gram, 0,4 gram, dan 0,6 gram. Perbedaan

puncak sampel komposit rGO/CuO hampir sama. Pada puncak sampel CuO telah terbentuk ikatan Cu-O pada rentang bilangan gelombang 400-550 cm^{-1} . Selanjutnya ikatan C-O terbentuk pada bilangan gelombang 1042 cm^{-1} . Terdapat ikatan O-H pada bilangan gelombang 3400 cm^{-1} menandakan sintesis CuO belum teroksidasi secara sempurna. Selain itu adanya ikatan C=C menunjukkan kehadiran rGO pada komposit. Tabel 4.3 berikut ini menunjukkan jenis ikatan dengan posisi peak pada tiap sampel yang teruji.



Gambar 4.5 Hasil pengujian FTIR komposit rGO/CuO

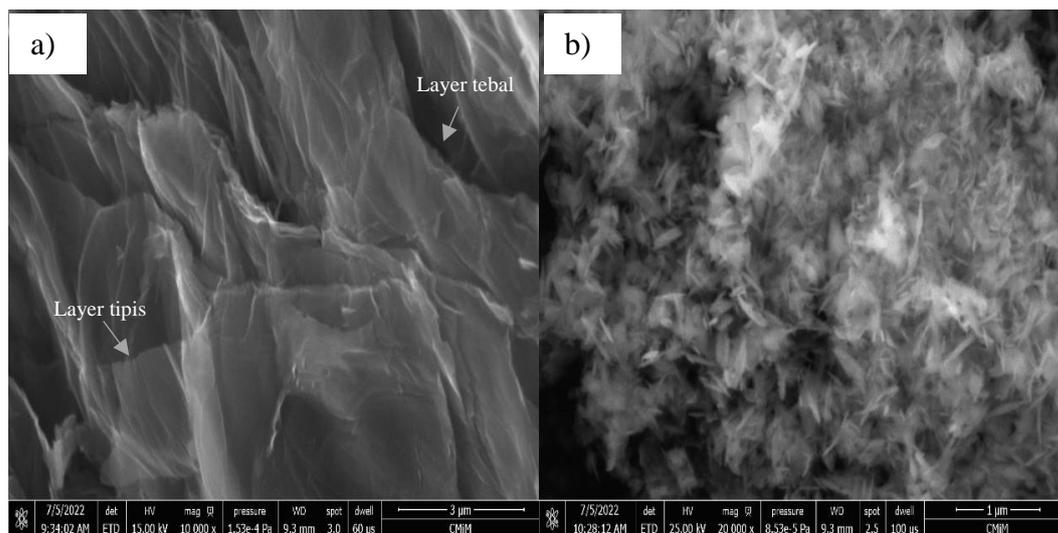
Tabel 4.2 Hasil pengujian FTIR dari sampel rGO, CuO, dan komposit rGO/CuO

Sampel	Posisi peak (cm^{-1})	Ikatan
rGO	3022	O – H
	2351	C = C
	2103	C = O
	1704	C = O
	1521	C – H
	1010	C – O
	1002	C – O
	456	C – C
CuO	3384	O – H
	1040	S – O
	880	S = O
	662	C – O
	421	Cu – O
rGO/CuO 0,2	3384	O – H
	2213	C = C
	1583	C – H
	1028	C – O
	519	Cu – O

Sampel	Posisi peak (cm ⁻¹)	Ikatan
rGO/CuO 0,4	3400	O – H
	2114	C = C
	1568	C – H
	1027	C – O
	436	Cu – O
rGO/CuO 0,6	3400	O – H
	2114	C = C
	1517	C – H
	1022	C – O
	493	Cu – O

4.3 Hasil Pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

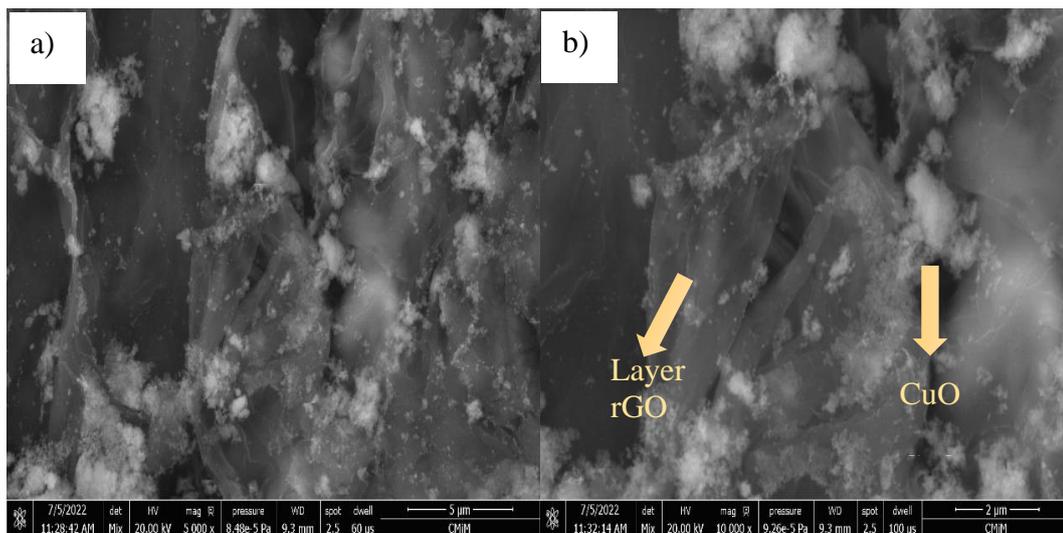
Pengujian SEM dilakukan pada sampel rGO, CuO, komposit rGO/CuO, dan elektroda nanofiber rGO/CuO. Pengujian SEM dilakukan dengan perbesaran 5000x, dan 10000x. Pengujian dilakukan bertujuan untuk mengetahui morfologi dari permukaan sampel serta mengetahui distribusi sampel pada elektroda yang dibuat. Gambar 4.6 berikut merupakan hasil pengujian SEM dari rGO dan CuO.



Gambar 4.6 Hasil pengujian SEM pada, (a) rGO dan (b) CuO

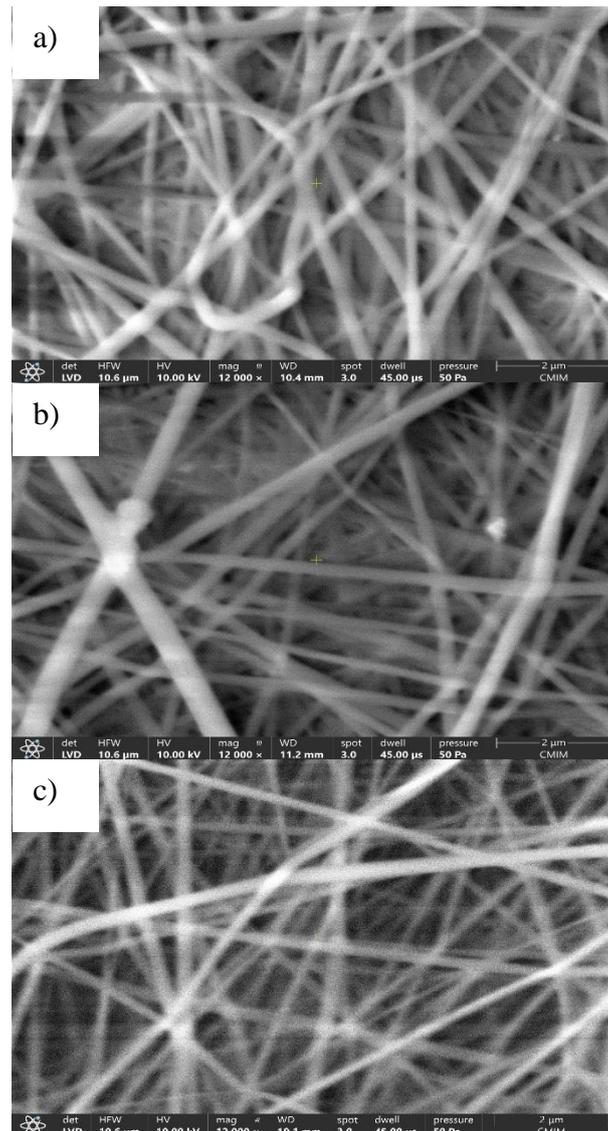
Pada Gambar 4.6 (a) pengujian SEM dilakukan pada sampel rGO. Hasil menunjukkan morfologi lembaran tipis transparan dan terlihat beberapa layer. Bentuk morfologi dari grafit sendiri seperti flakes yang tidak beraturan. Setelah proses oksidasi, maka terjadi perubahan morfologi menjadi lembaran berlapis yang tebal kemudian mengalami proses reduksi menjadi rGO lembaran tipis ber-layer dikarenakan adanya pengelupasan dari grafit oksida (Tite et al., 2019).

Pada Gambar 4.6 (b) Pengujian SEM dilakukan pada sampel rGO dan CuO yang berasal dari prekursor $\text{Cu}(\text{SO}_4) \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dan NaOH. Berdasarkan Gambar 4.6 (b) terlihat bahwa CuO berbentuk abstrak dan tidak beraturan serta terlihat struktur CuO berbentuk gumpalan. Terjadinya aglomerasi atau gumpalan disebabkan oleh adanya pemanasan larutan yang cepat pada waktu proses sintesis. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa nanopartikel yang disintesis dari prekursor tembaga sulfat berukuran kecil dan berbentuk abstrak (Muliastri et al., 2018). Selanjutnya pengujian SEM juga dilakukan pada komposit rGO/CuO.



Gambar 4.7 Hasil pengujian SEM pada rGO/CuO dengan perbesaran, (a)5000x dan (b)10000x

Pada Gambar 4.7 terlihat hasil pengujian SEM dari komposit rGO/CuO. Dari hasil pengujian sampel komposit terlihat bahwa morfologi CuO ditandai dengan adanya gumpalan berwarna putih berbentuk *nanorods* dengan persebaran yang terjadi secara acak ke seluruh permukaan rGO yang berbentuk lembaran. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Muliastri pada tahun 2018. Adanya rGO dan CuO berperan sebagai penyusun utama komposit dan saling mengikat satu sama lain sehingga dapat diketahui bahwa komposit rGO/CuO telah berhasil terbentuk.

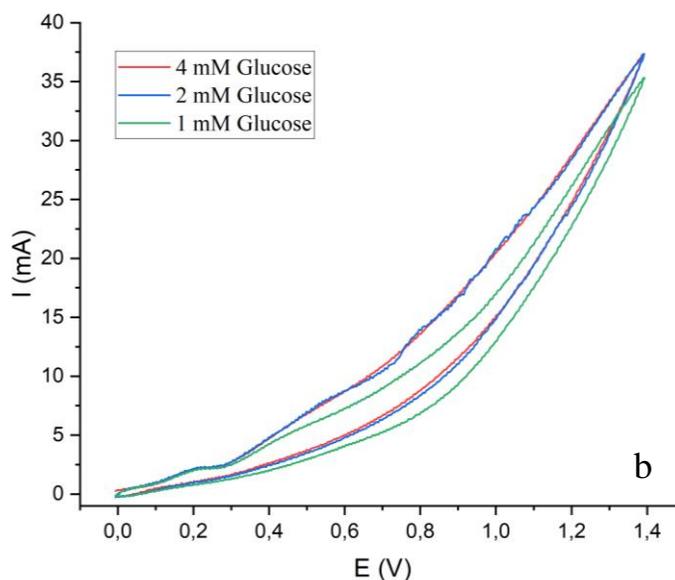
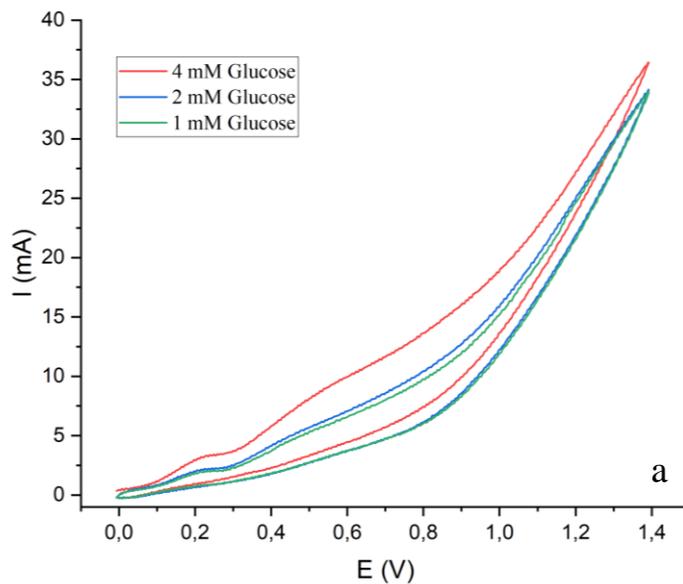


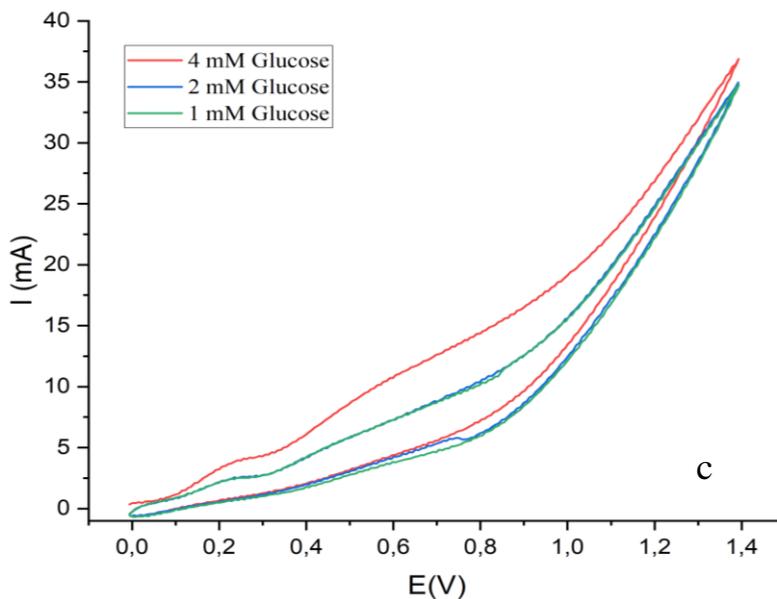
Gambar 4.8 Hasil pengujian SEM pada
(a)NFs rGO/CuO 0,2, (b) NFs rGO/CuO 0,4,
(c) NFs rGO/CuO 0,6

Setelah sampel komposit terbentuk, sampel di deposit ke permukaan FTO untuk digunakan sebagai elektroda. Dari Gambar 4.8 terlihat pengujian SEM pada NFs rGO/CuO 0.2-FTO, NFs rGO/CuO 0.4-FTO, dan NFs rGO/CuO 0.6-FTO. Berdasarkan hasil pengukuran diameter pada Nanofiber dengan menggunakan aplikasi *software* Fiji-ImageJ, diameter rata-rata pada sampel secara berurutan sebesar 302 nm; 347 nm; 265 nm. Didapatkan bahwa pengaruh penambahan CuO memperkecil ukuran partikel, hal ini bisa disebabkan adanya pengaruh tingkat konduktivitas selama *electrospinning* dari nanopartikel CuO sendiri sehingga ukuran diameter semakin kecil. Adanya kenaikan tingkat konduktivitas menyebabkan kenaikan kerapatan muatan pada permukaan nanofiber yang dihasilkan selama proses *electrospinning* (Mercante et al., 2021). Hal ini sesuai dengan yang dikatakan oleh Zhang, 2018 bahwa nanopartikel dengan ukuran yang lebih kecil memiliki aktivitas katalitik yang lebih tinggi karena luasan permukaan aktif yang lebih besar mampu berinteraksi dengan analit.

4.4 Hasil Pengujian *Cyclic Voltammetry* (CV)

Analisis CV dilakukan untuk mengukur sifat elektrokimia elektroda terhadap glukosa. Pada pengujian CV digunakan tiga elektroda, yaitu *counter electrode* berupa Platina (Pt), elektroda referensi yaitu Ag/AgCl, dan elektroda kerja berupa sampel elektroda yang dibuat pada penelitian ini. Parameter rentang potensial yang digunakan pada pengujian ini adalah 0 V – 1,4 V, dan *scan rate* yang digunakan pada pengujian ini adalah 50 mV/s. Untuk larutan elektrolit yang digunakan adalah larutan NaOH 0,1 M dengan penambahan variasi konsentrasi glukosa 1mM, 2mM, 4mM. Larutan elektrolit NaOH merupakan larutan netral dan yang merupakan paling optimal dalam berinteraksi dengan glukosa. Gambar 4.9 berikut hasil pengujian CV dari elektroda dengan *scan rate* 50 mV/s-1 dan rentang potensial 0-1,4V.

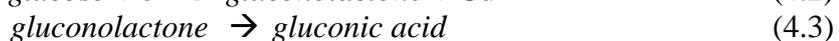
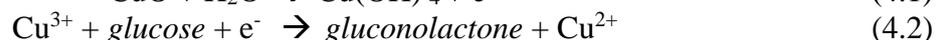




Gambar 4.9 Hasil grafik pengujian CV dengan variasi penambahan glukosa 1mM, 2mM, 4mM pada elektroda, (a) NFs rGO/CuO 0,2-FTO, (b) NFs rGO/CuO 0,4-FTO, (c) NFs rGO/CuO 0,6-FTO

Hasil pengujian CV didapatkan grafik voltammogram siklik dari elektroda kerja yang diuji dengan variasi penambahan glukosa seperti yang terlihat pada Gambar 4.9. Dapat dilihat adanya respon arus yang terus meningkat dengan meningkatnya konsentrasi glukosa. Pemberian potensial antara 0-1,4 V juga menyebabkan terjadinya kenaikan arus, hal ini disebabkan karena proses oksidasi dari larutan elektrolit dengan glukosa akan melepas elektron sehingga penambahan elektron dari proses ini akan terukur sebagai arus yang naik.

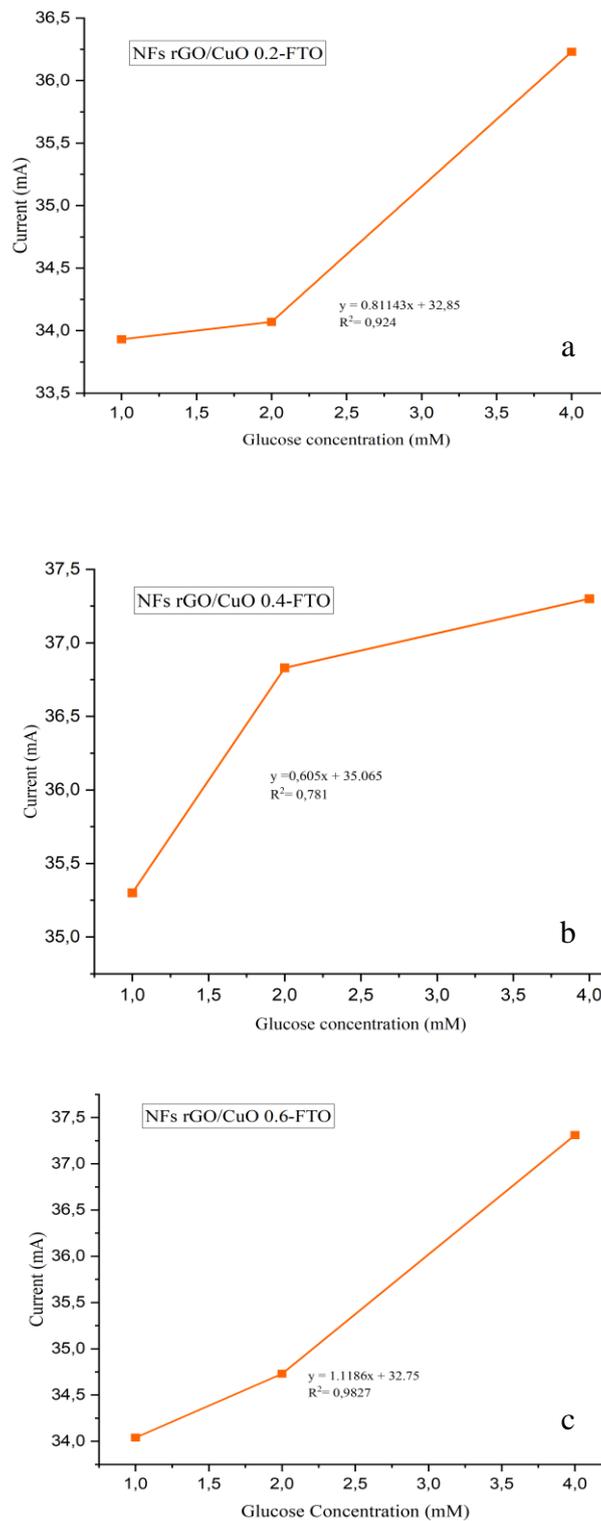
Pada gambar 4.9 (a) puncak oksidasi glukosa yang terdefinisi untuk NFs rGO/CuO 0,2-FTO, dengan penambahan glukosa 1mM, 2mM, dan 4 mM masing-masing adalah sebesar 33,93 mA, 34,07 mA, dan 36,23 mA. Peningkatan arus puncak oksidasi dengan peningkatan laju pemindaian juga terjadi pada Gambar 4.9 (b). Puncak oksidasi yang terdefinisi untuk NFs rGO/CuO 0,4-FTO masing-masing dengan penambahan glukosa 1mM, 2mM, dan 4 mM adalah sebesar 35,3 mA, 36,83 mA, dan 37,83 mA. Begitu juga yang terjadi pada Gambar 4.9 (c), puncak oksidasi yang terdefinisi untuk NFs rGO/CuO 0,6-FTO dengan masing-masing penambahan glukosa 1mM, 2mM, dan 4 mM adalah sebesar 34,04 mA, 34,73 mA, dan 37,31 mA. Hal ini menunjukkan bahwa reaksi elektrokimia yang terjadi pada puncak arus tiap elektroda meningkat secara linear menunjukkan bahwa adanya elektrooksidasi glukosa menjadi glukanolakton sehingga menunjukkan bahwa respon dari elektroda dapat diterima oleh glukosa (Gijare et al., 2021). Berikut reaksi yang terjadi pada tiap kenaikan arus yang terjadi selama proses oksidasi elektrokatalitik glukosa pada elektroda rGO/CuO dalam larutan NaOH



Menurut laporan (Zhang et al., 2018) mekanisme elektrooksidasi glukosa yang diterima secara umum dalam larutan NaOH dapat digambarkan sebagai proses berikut. Pertama, Cu dioksidasi secara elektrokimia menjadi Cu(II) dalam media basa. Selanjutnya, Cu(II) dioksidasi menjadi zat pengoksidasi tinggi dari Cu(III) (Persamaan 4.2). Kemudian, glukosa

dioksidasi secara katalitik oleh Cu(III) untuk menghasilkan glukonolakton dan kemudian dihidrolisis menjadi asam glukonat (Persamaan 4.3) sedangkan senyawa Cu (III) kembali menjadi senyawa Cu(II). Oleh karena itu, glukonolakton adalah produk utama yang bertanggung jawab untuk oksidasi dalam menghidrolisis asam glukonat. Ion H⁺ mengurangi oksigen yang diserap sebelumnya dengan melepaskan electron, sehingga mengurangi ukuran batas butir dengan meningkatnya konduktivitas listrik pada permukaan elektroda (Gijare et al., 2021).

Selanjutnya perhitungan amperometry dilakukan untuk mendapatkan kemampuan dari biosensor NFs rGO/CuO-FTO dalam mendeteksi glukosa berdasarkan kelinieran kurva, limit deteksi, dan sensitivitas pada kondisi optimum biosensor. Nilai peak yang telah didapat dimasukkan ke dalam persamaan regresi linear untuk mendapatkan nilai regresi dan koefisien regresi. Dengan mendapatkan grafik hubungan linier antara penambahan konsentrasi glukosa dengan arus, menunjukkan proses elektrokimia yang dikendalikan di permukaan elektroda dengan perilaku transfer elektron yang cepat, ideal dalam respon sensor (G. Liu et al., 2012).



Gambar 4.10 Kurva kalibrasi antara puncak oksidasi dengan penambahan variasi konsentrasi glukosa pada elektroda, (a)NFs-rGO/CuO 0,2-FTO, (b)NFs-rGO/CuO 0,4-FTO, dan (c)NFs-rGO/CuO 0,6-FTO

Pengaruh variasi CuO dalam komposit mempengaruhi sifat elektron dari elektroda yang diuji. Berdasarkan kurva kalibrasi pada Gambar 4.10 Elektroda NFs rGO/CuO 0,6-FTO memiliki nilai koefisien regresi terbesar yaitu 0,9827 yang berarti $\pm 98,3\%$ perubahan arus dipengaruhi oleh perubahan konsentrasi glukosa. Hubungan linear ini menunjukkan bahwa konsentrasi sebanding dengan kenaikan arus yang terukur. Semakin tinggi konsentrasi glukosa maka semakin tinggi kenaikan arus yang dihasilkan karena glukosa yang dioksidasi semakin banyak, dan elektron yang ditransfer selama pengukuran menjadi semakin besar. Nilai koefisien regresi selanjutnya diikuti oleh elektroda NFs rGO/CuO 0,2-FTO sebesar 0,926 dan elektroda NFs rGO/CuO 0,4-FTO sebesar 0,781. Tabel 4.1 berikut menyajikan rangkuman nilai hasil perhitungan regresi linear, sensitivitas, dan limit deteksi dari tiap elektroda yang diuji.

Tabel 4.3 Hasil perbandingan performa elektroda terhadap biosensor glukosa

Elektroda	Sensitivitas (mA/mM ⁻¹ cm ⁻²)	Rentang linear (mM)	Limit deteksi
NFs rGO/CuO 0,2-FTO	0,811	1-4	0,056
NFs rGO/CuO 0,4-FTO	0,605	1-4	0,075
NFs rGO/CuO 0,6-FTO	1,186	1-4	0,041

Berdasarkan Tabel 4.2 dan kurva kalibrasi elektroda NFs rGO/CuO 0,6-FTO memiliki performa yang baik sebagai sensor glukosa dengan diperoleh limit deteksi pada 0,041 mM. Hal ini menunjukkan konsentrasi terkecil yang bisa diukur oleh biosensor adalah 0,041 mM. Nilai sensitivitas sebesar 1,186 mA/mM⁻¹ cm⁻², nilai tersebut menyatakan bahwa dengan pemberian konsentrasi analit 2 mM, biosensor dapat menghasilkan arus sebesar 34,07 mA. Nilai sensitivitas yang semakin besar menunjukkan semakin sensitif respon elektroda terhadap glukosa.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

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

1. Komposit rGO/CuO berhasil disintesis dengan dibuktikan pada hasil pengujian XRD dengan munculnya peak pada sudut $2\theta=24,77^\circ$ yang mengindikasikan peak rGO dan peak tertinggi yaitu $35,481^\circ$ dan $38,768^\circ$ yang menunjukkan peak dari CuO. Pada hasil uji FTIR menunjukkan adanya gugus fungsi yang sesuai pada masing-masing material yaitu gugus fungsi C, O, dan Cu. Kemudian nanofiber terdeposisi pada permukaan FTO melalui metode *electrospinning* untuk mendapat elektroda sebagai biosensor glukosa.
2. Telah dihasilkan NFs rGO/CuO-FTO dengan morfologi CuO ditandai dengan adanya gumpalan berwarna putih berbentuk nanorods dengan persebaran yang terjadi secara acak ke seluruh permukaan rGO yang berbentuk lembaran pada komposit. Penambahan CuO juga menyebabkan ukuran partikel pada nanofiber semakin kecil dengan nilai NFs rGO/CuO penambahan 0,2, 0,4, dan 0,6 gram berturut-turut sebesar 302 nm, 347 nm, dan 265 nm.
3. Elektroda NFs rGO/CuO 0,6-FTO memiliki performa yang baik sebagai sensor glukosa dengan diperoleh nilai sensitivitas sebesar $1,186 \text{ mA/mM}^{-1} \text{ cm}^{-2}$, limit deteksi 0,041 mM dengan rentang linear 1-4 mM.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian berikutnya adalah sebagai berikut

1. Melakukan pengujian lainnya seperti EDX untuk mendapatkan hasil distribusi dan mapping line pada nanofiber.
2. Memperhatikan berbagai parameter pada proses *electrospinning* karena memiliki pengaruh terhadap morfologi *nanofiber*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Dhahebi, A. M., Gopinath, S. C. B., & Saheed, M. S. M. (2020). Graphene impregnated electrospun nanofiber sensing materials: a comprehensive overview on bridging laboratory set-up to industry. *Nano Convergence*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s40580-020-00237-4>
- Asnawati, Indarti, D., Mulyono, T., & Kesuma B, G. (2013). Biosensor Amperometri Untuk Deteksi Glukosa Berbasis Immobilisasi Glukosa Oksidase Dalam Membran Selulosa Asetat Dengan Ferrocene Sebagai Mediator. *Jurnal ILMU DASAR*, 14(1), 45–51.
- Atta, N. F., Galal, A., & El-Ads, E. H. (2015). Graphene — A Platform for Sensor and Biosensor Applications. *Biosensors - Micro and Nanoscale Applications*. <https://doi.org/10.5772/60676>
- Campbell, B., & Manning, J. (2018). The rise of victimhood culture: Microaggressions, safe spaces, and the new culture wars. *The Rise of Victimhood Culture: Microaggressions, Safe Spaces, and the New Culture Wars*, 1–265. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-70329-9>
- Chen, X. Y., Romero, A., Paton-Carrero, A., Lavin-Lopez, M. P., Sanchez-Silva, L., Valverde, J. L., Kaliaguine, S., & Rodrigue, D. (2018). Functionalized Graphene-Reinforced Foams Based on Polymer Matrices: Processing and Applications. In *Functionalized Graphene Nanocomposites and Their Derivatives: Synthesis, Processing and Applications* (Issue m). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814548-7.00007-6>
- Feeney, S. G., Lafreniere, J. M. J., & Halpern, J. M. (2021). Perspective on nanofiber electrochemical sensors: Design of relative selectivity experiments. *Polymers*, 13(21), 1–19. <https://doi.org/10.3390/polym13213706>
- Gijare, M., Chaudhari, S., Ekar, S., & Garje, A. (2021). A facile synthesis of GO/CuO-blended nanofiber sensor electrode for efficient enzyme-free amperometric determination of glucose. *Journal of Analytical Science and Technology*, 12(1). <https://doi.org/10.1186/s40543-021-00289-z>
- Hummers, W. S., & Offeman, R. E. (1958). Preparation of Graphitic Oxide. *Journal of the American Chemical Society*, 80(6), 1339. <https://doi.org/10.1021/ja01539a017>
- Hwang, D. W., Lee, S., Seo, M., & Chung, T. D. (2018). Recent advances in electrochemical non-enzymatic glucose sensors – A review. *Analytica Chimica Acta*, 1033, 1–34. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2018.05.051>
- Lee, K., Yoo, Y. K., Chae, M. S., Hwang, K. S., Lee, J., Kim, H., Hur, D., & Lee, J. H. (2019). Highly selective reduced graphene oxide (rGO) sensor based on a peptide aptamer receptor for detecting explosives. *Scientific Reports*, 9(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45936-z>
- Liu, G., Zheng, B., Jiang, Y., Cai, Y., Du, J., Yuan, H., & Xiao, D. (2012). Improvement of sensitive CuO NFs-ITO nonenzymatic glucose sensor based on in situ electrospun fiber. *Talanta*, 101, 24–31. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2012.08.040>
- Liu, P., Huang, Y., & Wang, L. (2013). A facile synthesis of reduced graphene oxide with Zn powder under acidic condition. *Materials Letters*, 91, 125–128. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2012.09.085>
- Manurung, R. V., Kurniawan, E. D., Hidayat, J., Risdian, C., Elektro, J. T., & Jakarta, P. N. (2012). *Desain dan Fabrikasi Elektroda Biosensor : Metode Teknologi Film Tebal*. 3(1), 65–70.
- Mercante, L. A., Pavinatto, A., Pereira, T. S., Migliorini, F. L., dos Santos, D. M., & Correa, D. S. (2021a). Nanofibers interfaces for biosensing: Design and applications. *Sensors and Actuators Reports*, 3, 100048. <https://doi.org/10.1016/j.snr.2021.100048>
- Mercante, L. A., Pavinatto, A., Pereira, T. S., Migliorini, F. L., dos Santos, D. M., & Correa, D. S. (2021b). Nanofibers interfaces for biosensing: Design and applications. *Sensors and*

-
- Actuators Reports*, 3, 100048. <https://doi.org/10.1016/J.SNR.2021.100048>
- Mohd Yazid, S. N. A., Md Isa, I., Abu Bakar, S., Hashim, N., & Ab Ghani, S. (2014). A Review of Glucose Biosensors Based on Graphene/Metal Oxide Nanomaterials. *Analytical Letters*, 47(11), 1821–1834. <https://doi.org/10.1080/00032719.2014.888731>
- Muliastri, D., Pembimbing, D., Magister, P., Inovatif, M., Material, D. T., & Industri, F. T. (2018). *Aplikasi Komposit Rgo – Cuo Sebagai Fotokatalist Untuk Konversi Co 2 Menjadi Methylene Blue*.
- Nurdiansah, H. (2014). *Pengaruh Temperatur Hidrotermal Dan Waktu Ultrasonikasi Terhadap Nilai Kapasitansi Elektroda Electric Double Layer Capacitor (EDLC) Dari Material Grafena*. 169. <http://repository.its.ac.id/48872/>
- Nurdiansah, H., Susanti, D., Purwaningsih, H., Tsai, D. S., & Noerochiem, L. (2019). Pengaruh Waktu Ultrasonikasi terhadap Sifat Kapasitif Material Reduced Graphene Oxide sebagai Elektroda Superkapasitor. *Jurnal IPTEK*, 23(1), 9–16. <https://doi.org/10.31284/j.iptek.2019.v23i1.425>
- Putri AN, M. (2020). Review : Fabrikasi Membran Berbasis Nanofiber Dengan Metode. *Inovasi Fisika Indonesia*, 09, 47–55.
- Putri, E., & Setiarso, P. (2020). Sintesis Dan Karakterisasi Graphene Oxide-Nanozeolit Sebagai Elektroda Kerja Dalam Siklik Voltametri Synthesis and Characterization of Graphene Oxide-Nanozeolite As a Work Electrode By Cyclic Voltammetry. *UNESA Journal of Chemistry*, 9(1).
- Smith, A. T., LaChance, A. M., Zeng, S., Liu, B., & Sun, L. (2019). Synthesis, properties, and applications of graphene oxide/reduced graphene oxide and their nanocomposites. *Nano Materials Science*, 1(1), 31–47. <https://doi.org/10.1016/j.nanoms.2019.02.004>
- Subash, V. S., Alagumalai, K., Chen, S. M., Shanmugam, R., & Shiuan, H. J. (2020). Ultrasonication assisted synthesis of NiO nanoparticles anchored on graphene oxide: an enzyme-free glucose sensor with ultrahigh sensitivity. *New Journal of Chemistry*, 44(35), 15071–15080. <https://doi.org/10.1039/d0nj02127j>
- Suvarnaphaet, P., & Pechprasarn, S. (2017). Graphene-based materials for biosensors: A review. *Sensors (Switzerland)*, 17(10). <https://doi.org/10.3390/s17102161>
- Szunerits, S., & Boukherroub, R. (2018). *Graphene-based biosensors*.
- Taha, M. H. F., Ashraf, H., & Caesarendra, W. (2020). A brief description of cyclic voltammetry transducer-based non-enzymatic glucose biosensor using synthesized graphene electrodes. *Applied System Innovation*, 3(3), 1–33. <https://doi.org/10.3390/asi3030032>
- Tite, T., Chiticaru, E. A., Burns, J. S., & Ioniță, M. (2019). Impact of nano-morphology, lattice defects and conductivity on the performance of graphene based electrochemical biosensors. *Journal of Nanobiotechnology*, 17(1), 1–22. <https://doi.org/10.1186/s12951-019-0535-6>
- Zainul, R. (2018). *Prinsip Dasar dan Aspek Rekayasa*.
- Zhang, Q., Luo, Q., Qin, Z., Liu, L., Wu, Z., Shen, B., & Hu, W. (2018). Self-Assembly of Graphene-Encapsulated Cu Composites for Nonenzymatic Glucose Sensing. *ACS Omega*, 3(3), 3420–3428. <https://doi.org/10.1021/acsomega.7b01197>
-

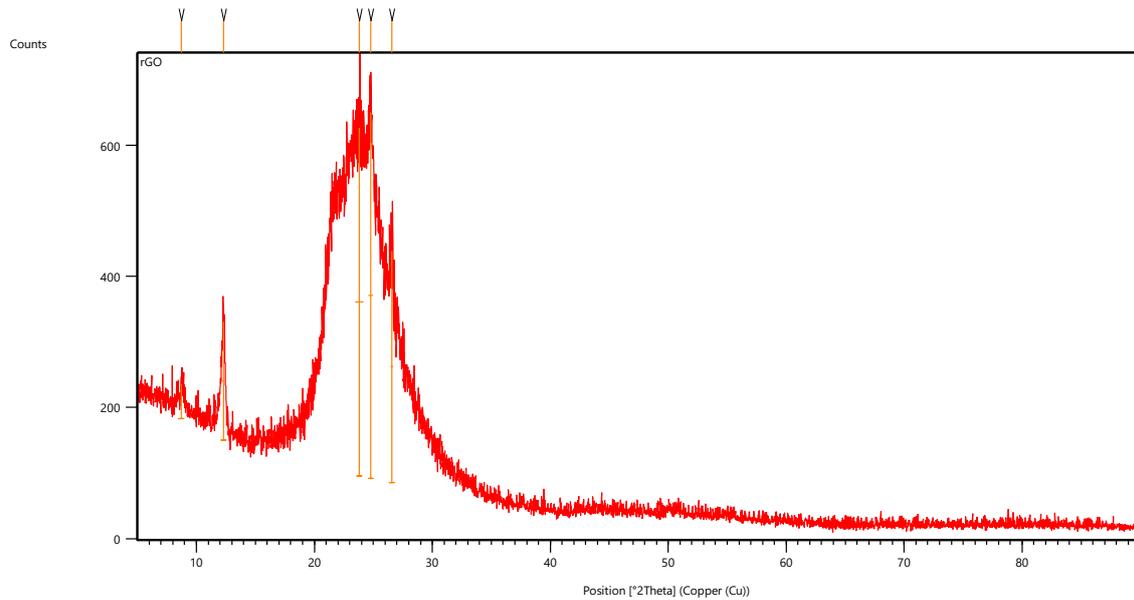
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

Lampiran 1 : Hasil Pengujian XRD Data Grafik

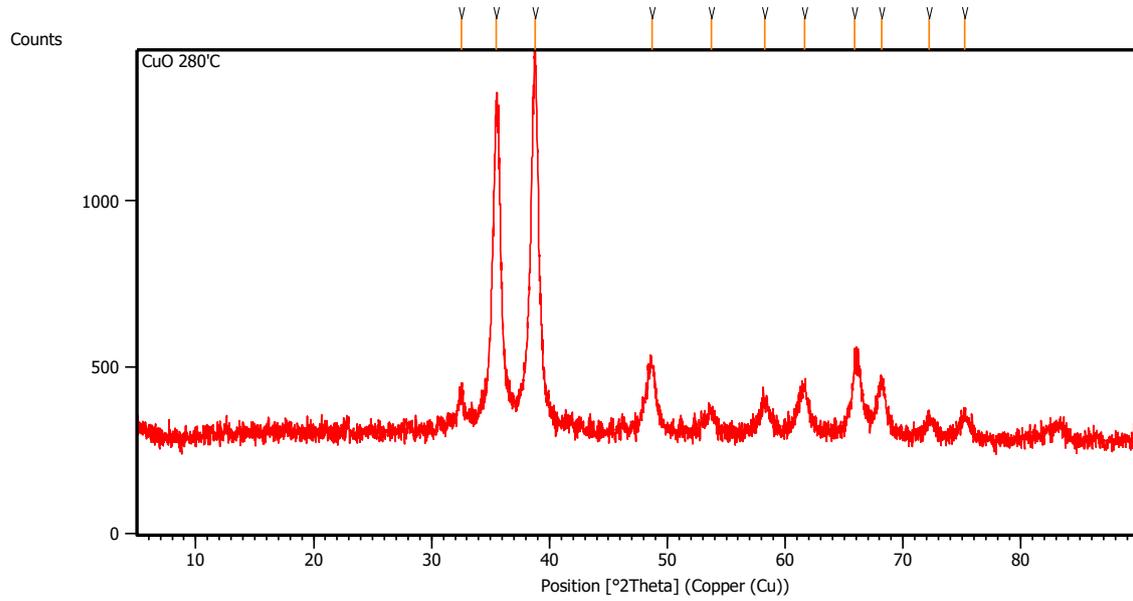
Raw Data Origin	PHILIPS-binary (scan) (.RD)
Scan Axis	Gonio
Start Position [$^{\circ}2\text{Th.}$]	5.0084
End Position [$^{\circ}2\text{Th.}$]	89.9744
Step Size [$^{\circ}2\text{Th.}$]	0.0170
Scan Step Time [s]	10.1500
Scan Type	Continuous
Offset [$^{\circ}2\text{Th.}$]	0.0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [$^{\circ}$]	1.0000
Specimen Length [mm]	10.00
Receiving Slit Size [mm]	12.7500
Measurement Temperature [$^{\circ}\text{C}$]	-273.15
Anode Material	Cu
K-Alpha1 [\AA]	1.54060
K-Alpha2 [\AA]	1.54443
K-Beta [\AA]	1.39225
K-A2 / K-A1 Ratio	0.50000
Generator Settings	30 mA, 40 kV
Diffractometer Type	XPert MPD
Diffractometer Number	1
Goniometer Radius [mm]	200.00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]	91.00
Incident Beam Monochromator	No
Spinning	Yes

a) Sampel rGO



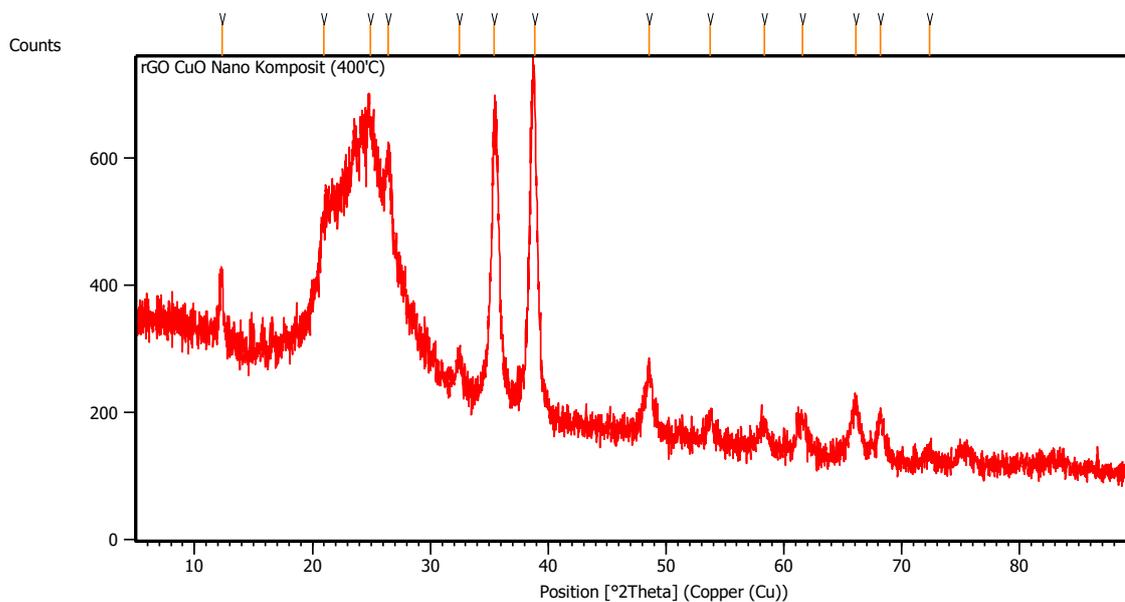
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
8,7383	52,43	0,2342	10,11125	9,40
12,2954	180,46	0,2342	7,19287	32,36
23,8050	530,45	0,6691	3,73485	95,11
24,7718	557,72	0,4015	3,59122	100,00
26,5585	352,95	0,2007	3,35353	63,28

b) Sampel CuO



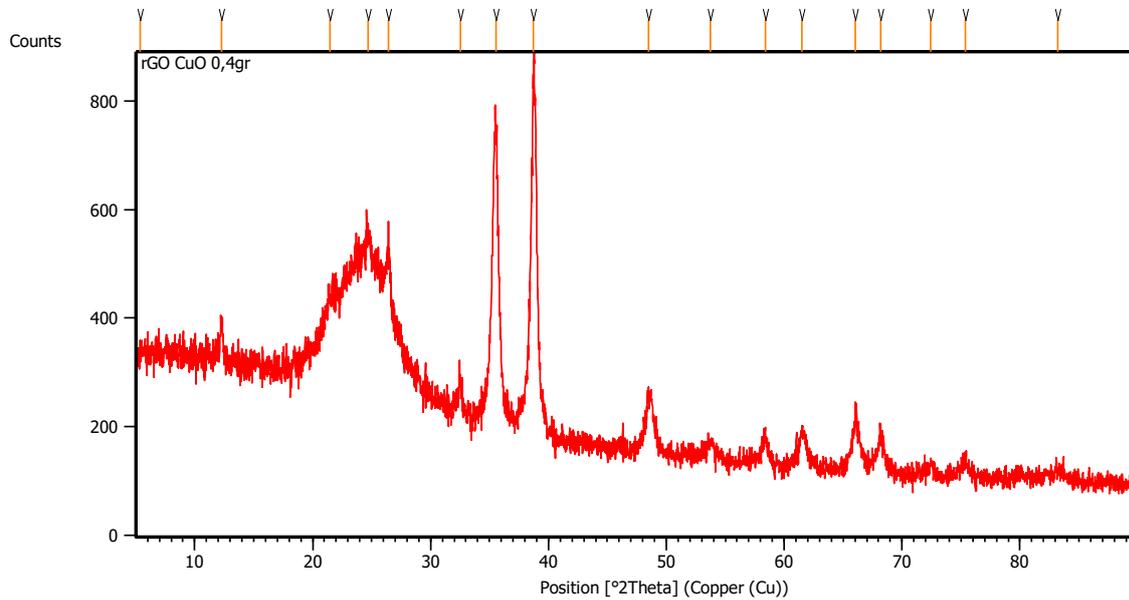
Pos. [$^{\circ}2\text{Th.}$]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}2\text{Th.}$]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
32.5163	86.16	0.4015	2.75368	8.05
35.4852	892.88	0.4349	2.52981	83.41
38.7675	1070.52	0.2676	2.32285	100.00
48.6777	191.94	0.7360	1.87060	17.93
53.7561	61.76	0.5353	1.70526	5.77
58.2880	86.55	0.6691	1.58301	8.08
61.6520	128.96	0.5353	1.50446	12.05
65.8786	203.33	0.2676	1.41782	18.99
68.1798	153.02	0.6022	1.37546	14.29
72.2403	52.00	0.6691	1.30783	4.86
75.1968	63.22	0.9368	1.26358	5.91

c) Sampel Komposit rGO/CuO 0,2



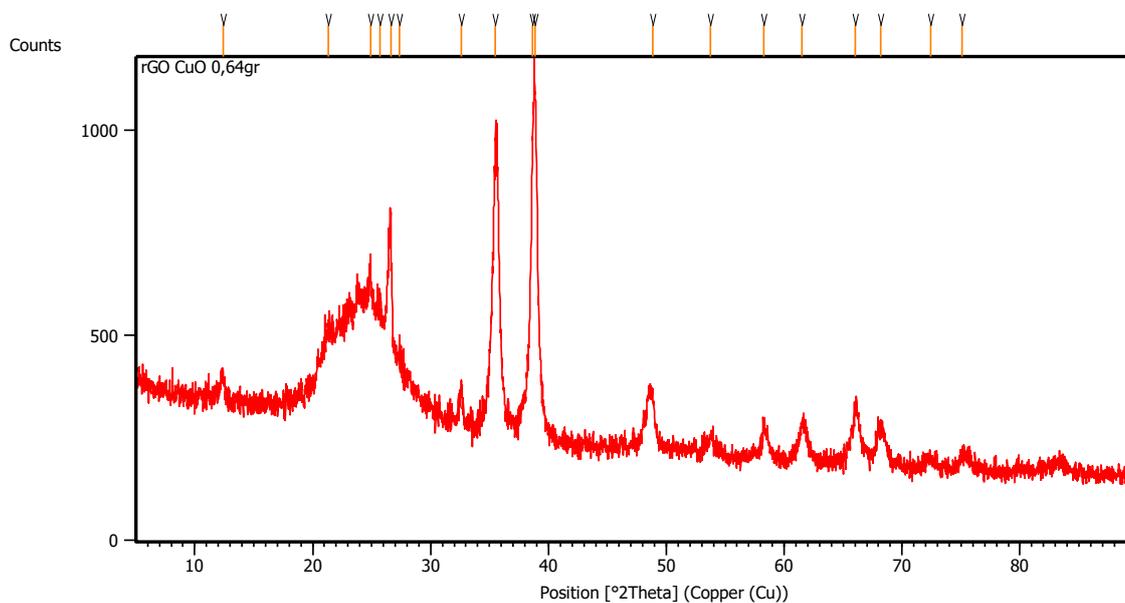
Pos. [$^{\circ}2\text{Th.}$]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}2\text{Th.}$]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
12.3489	96.80	0.2007	7.16776	19.97
20.9640	61.61	0.6691	4.23763	12.71
24.8868	156.37	0.5353	3.57785	32.26
26.4539	162.06	0.3346	3.36935	33.43
32.4428	43.45	0.5353	2.75976	8.96
35.4286	422.58	0.5353	2.53372	87.17
38.8594	484.77	0.3680	2.31756	100.00
48.5300	99.38	0.4015	1.87595	20.50
53.7264	35.02	0.4015	1.70613	7.22
58.3082	33.38	0.6691	1.58251	6.89
61.5899	47.97	0.8029	1.50583	9.90
66.0916	77.12	0.3346	1.41376	15.91
68.1679	64.39	0.5353	1.37567	13.28
72.3394	17.65	0.6691	1.30628	3.64

d) Sampel Komposit rGO/CuO 0,4



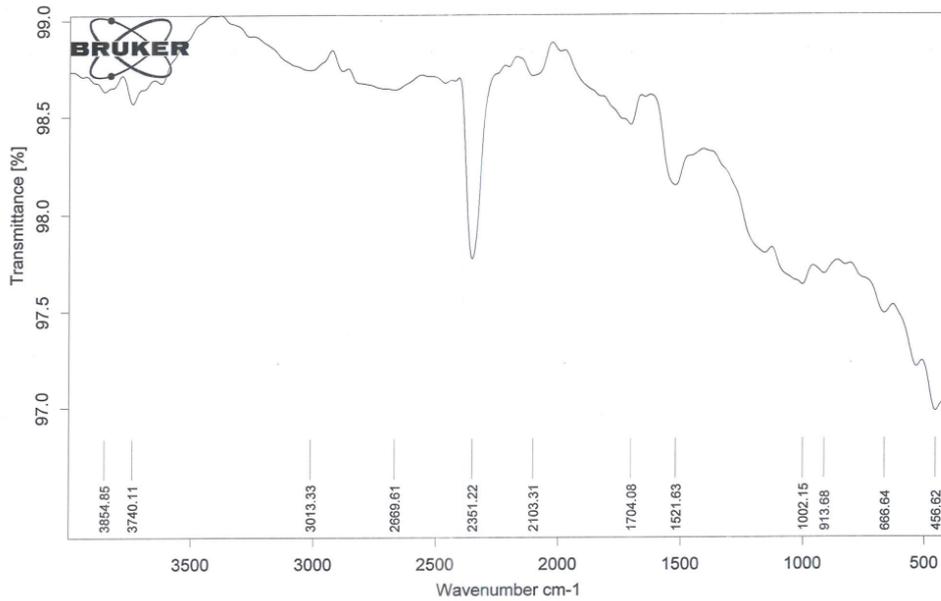
Pos. [$^{\circ}2\text{Th.}$]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}2\text{Th.}$]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
5.4054	9.52	0.6691	16.34940	1.47
12.2845	74.28	0.2676	7.20519	11.45
21.4426	29.89	0.8029	4.14411	4.61
24.6787	119.69	0.2676	3.60754	18.46
26.4528	153.99	0.2676	3.36949	23.75
32.5022	67.84	0.2007	2.75485	10.46
35.5296	530.89	0.4015	2.52675	81.87
38.7397	648.44	0.2342	2.32445	100.00
48.4636	103.21	0.2007	1.87837	15.92
53.7424	28.22	0.4015	1.70566	4.35
58.3731	55.38	0.2007	1.58091	8.54
61.4858	66.84	0.3346	1.50813	10.31
66.0605	103.86	0.2676	1.41435	16.02
68.1547	65.12	0.2007	1.37591	10.04
72.4267	20.16	0.8029	1.30492	3.11
75.3382	34.43	0.5353	1.26156	5.31
83.2217	16.01	0.6691	1.16093	2.47

e) Sampel Komposit rGO/CuO 0,6



Pos. [$^{\circ}$ 2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}$ 2Th.]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
12.3891	70.51	0.2676	7.14462	8.42
21.3209	60.30	0.5353	4.16750	7.20
24.9014	155.81	0.2007	3.57579	18.60
25.7442	108.15	0.4015	3.46061	12.91
26.6258	322.91	0.1004	3.34799	38.54
27.3836	49.08	0.4015	3.25703	5.86
32.5964	86.46	0.2007	2.74710	10.32
35.5088	702.81	0.2676	2.52818	83.89
38.6406	695.13	0.1004	2.33018	82.97
38.8468	837.79	0.3011	2.31829	100.00
48.8514	123.90	0.5353	1.86436	14.79
53.7465	46.39	0.4015	1.70554	5.54
58.2781	82.74	0.2676	1.58326	9.88
61.5233	90.58	0.2676	1.50730	10.81
66.0434	125.61	0.3346	1.41468	14.99
68.1463	87.79	0.8029	1.37606	10.48
72.4140	24.60	0.8029	1.30511	2.94
75.1154	33.99	0.8029	1.26474	4.06

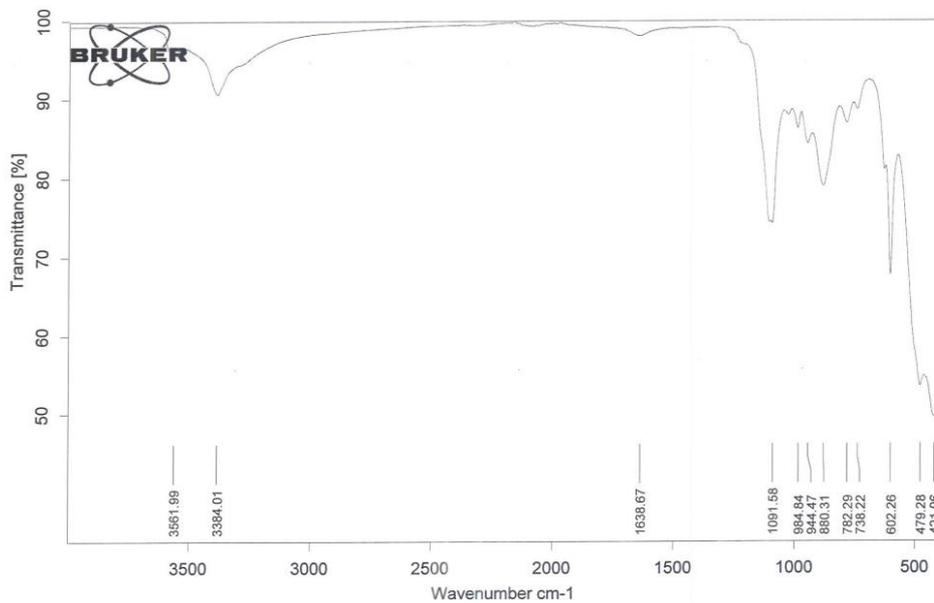
Lampiran 2 : Hasil Pengujian FTIR
a) Sampel rGO



C:\Users\Public\Documents\Bruker\OPUS_7.5.18\MEAS\ANALIS\2022\6. Juni\S 1664 REDUCED GRAPHENE.1 S 1664 REDUCED GRAPHE 28/06/2022

Page 1/1

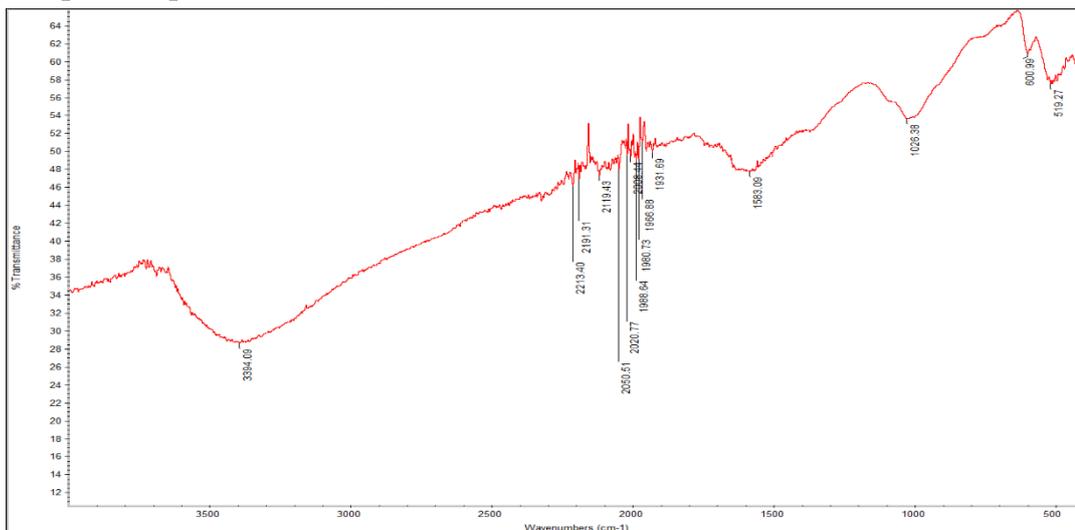
b) Sampel CuO



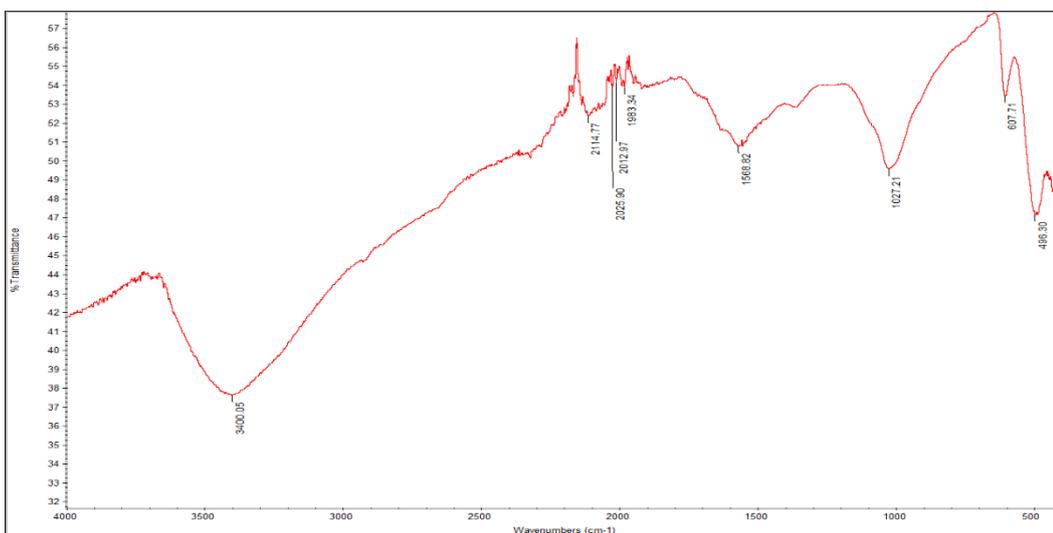
C:\Users\Public\Documents\Bruker\OPUS_7.5.18\MEAS\ANALIS\2022\6. Juni\S-1664 CUO 400 C.0 S-1664 CUO 400 C T II_SN.822 ; A 28/06/2022

Page 1/1

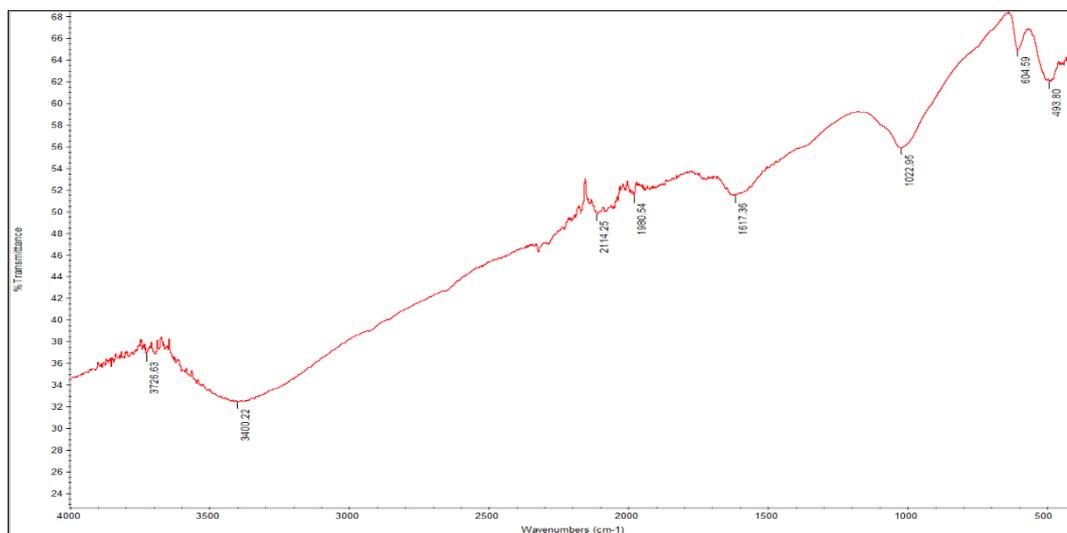
c) Sampel Komposit rGO/CuO 0,2



d) Sampel Komposit rGO/CuO 0,4

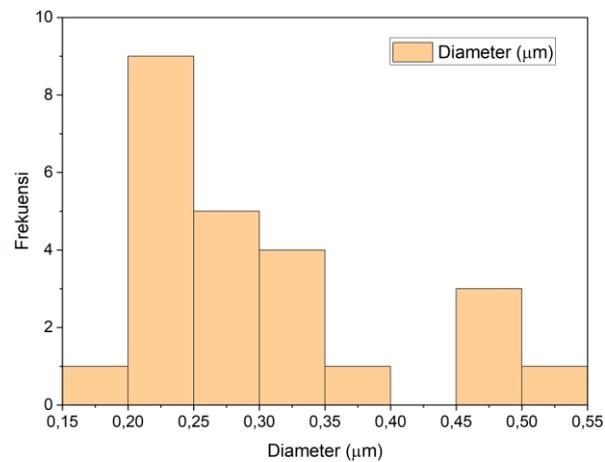
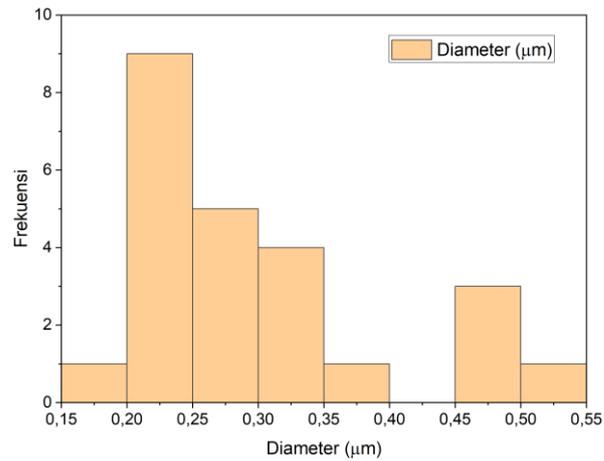
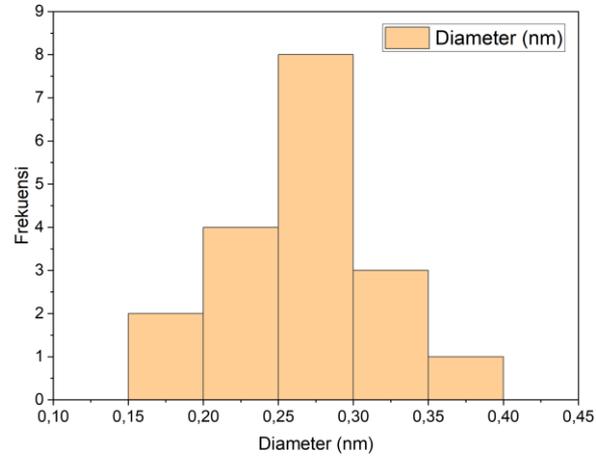


e) Sampel Komposit rGO/CuO 0,6



Lampiran 2 : Hasil Perhitungan ImageJ

a) Nanofiber variasi CuO 0,2 0,4 0,6



Lampiran 3 : Hasil Perhitungan Regresi Linier

a) Elektroda 0,2

Glucose Concentration (mg/dl)	Current (mA)
1	33,93
2	34,07
4	36,23

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,96128797
R Square	0,924074562
Adjusted R Square	0,848149124
Standard Error	0,502451135
Observations	3

<i>Coefficients</i>	
Intercept	32,85
Glucose concentratic	0,811428571

b) Elektroda 0,4

Glucose Concentration (mg/dl)	Current (mA)
1	35,3
2	36,83
4	37,3

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,883706192
R Square	0,780936633
Adjusted R Square	0,561873266
Standard Error	0,692206617
Observations	3

<i>Coefficients</i>	
Intercept	35,065
X Variable 1	0,605

c) Elektroda 0,6

Glucose Concentration (mg/dl)	Current (mA)
1	34,04
2	34,73
4	37,31

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,991306829
R Square	0,982689228
Adjusted R Square	0,965378457
Standard Error	0,32071349
Observations	3

<i>Coefficients</i>	
Intercept	32,75
X Variable 1	1,118571429

$$I_p = 268600 n^{(3/2)} A D^{(1/2)} C v^{(1/2)}$$

Elektroda 0.2	Ip (regresi linear)	n^{3/2}	D^{1/2}	v^{1/2}
	16,38239821	2,828427125	3,04959E-05	7,071067812
	LOD			
	0,056566802			
Elektroda 0.4	Ip (regresi linear)	n^{3/2}	D^{1/2}	v^{1/2}
	16,38239821	2,828427125	3,04959E-05	7,071067812
	LOD			
	0,075867769			
Elektroda 0.6	Ip (regresi linear)	n^{3/2}	D^{1/2}	v^{1/2}
	16,38239821	2,828427125	3,04959E-05	7,071067812
	LOD			
	0,041033435			

Regresi Linear	
Elektroda 0,2	y = 0.81143x + 32,85
Elektroda 0,4	y = 0,605x + 35.065
Elektroda 0,6	y = 1.1186x + 32.75

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam pengerjaan laporan tugas akhir ini, penulis mendapatkan banyak bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, besar rasa terima kasih, penulis ucapkan untuk pihak-pihak terkait yang telah mendukung serta membantu, diantaranya:

1. Kedua orang tua penulis yaitu Bapak Anggiat Pardede dan Ibu Damris Tripena yang senantiasa mendukung baik moral maupun materi dan senantiasa mendoakan penulis dimanapun berada.
2. Ibu Hariyati Purwaningsih dan Ibu Azzah Dyah Pramata selaku dosen pembimbing penulis yang senantiasa membimbing dan membantu penulis dalam proses pengerjaan tugas akhir ini.
3. Anggota Laboratorium Kimia Material dan Mbak Yeny yang mendukung dan membantu penulis dalam pengujian CV serta teman-teman anggota laboratorium lainnya.
4. Kedua saudara penulis Erika Anggreni dan Christika Angel yang senantiasa memberi semangat dan menjadi penghibur di tengah proses pengerjaan tugas akhir.
5. Rekan seperjuangan penulis, Afifah Nursyahidah yang senantiasa mendukung dan menemani penulis menjalani hari-hari dari awal perkuliahan sampai menghadapi tugas akhir ini.
6. Keluarga besar MT 20 yang menjadi tempat penulis berproses bersama dalam menjalankan kehidupan perkuliahan.
7. Serta semua pihak yang penulis tidak dapat sebutkan satu persatu

Akhir kata, semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat untuk pengembangan penelitian lebih lanjut dan semua pihak yang membutuhkan dimasa mendatang.

Surabaya, 21 Juli 2022
Penulis,

Ruth Anggristy Shivany

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Jakarta pada tanggal 11 Agustus 2000 sebagai anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis berasal dari Depok, Jawa Barat yang menempuh pendidikan formal SD Mardi Yuana Depok dan lulus pada tahun 2012, kemudian melanjutkan pendidikan di SMP HFO Depok dan lulus pada tahun 2015, lalu melanjutkan pendidikan ke SMA Negeri 3 Depok dan lulus pada tahun 2018. Kemudian penulis melanjutkan studi Strata-1 (S1) di Institut Teknologi Sepuluh Nopember di Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem melalui jalur SBMPTN. Selama perkuliahan penulis aktif dalam beberapa organisasi, yaitu menjadi Staff PSDM UKM ITS Muaythai Association 2018/2019, Staff Kestari GERIGI ITS 2019, Staff BSO Minat Bakat HMMT 2019/2020 dan Sekretaris Umum BSO Minat Bakat HMMT 2020/2021. Penulis memiliki pengalaman kerja praktik di PT Perusahaan Gas Negara Solution selama 1,5 bulan pada tahun 2021. Untuk menyelesaikan Pendidikan S1, penulis melakukan penelitian dalam bidang material inovatif tentang biosensor material nano dengan judul tugas akhir “SINTESIS DAN PENGEMBANGAN *NANOFIBER REDUCED GRAPHENE OXIDE/CUO* SEBAGAI ELEKTRODA BIOSENSOR GLUKOSA DENGAN METODE *ELECTROSPINNING*”. Penulis dapat dihubungi melalui email: ruthaggrst@gmail.com dan instagram: [@ruthshivany](https://www.instagram.com/ruthshivany).

(Halaman ini sengaja dikosongkan)