



TUGAS AKHIR - SF 141501

SINTESIS DAN KARAKTERISASI FILM CuO SEBAGAI MATERIAL PENYUSUN SEL SURYA BERBASIS PEROVSKITE

SITI FATIMAH
NRP 0111154000086

Dosen Pembimbing
Dr.Yoyok Cahyono, M.Si

Departemen Fisika
Fakultas Sains
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019



TUGAS AKHIR - SF 141501

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI FILM CuO SEBAGAI
MATERIAL PENYUSUN SEL SURYA BERBASIS
PEROVSKITE**

**SITI FATIMAH
NRP 0111154000086**

**Dosen Pembimbing
Dr. Yoyok Cahyono, M.Si**

**Departemen Fisika
Fakultas Sains
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL PROJECT -SF 141501

**SYNTESIS AND CHARACTERIZATION OF CuO
FILMS AS PEROVSKITE-BASED SOLAR CELL
MATERIAL**

**SITI FATIMAH
NRP 0111154000086**

**Advisor
Dr.Yoyok Cahyono, M.Si**

**Physics Departement
Faculty of Science
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI FILM TIPIS CuO
SEBAGAI MATERIAL PENYUSUN SEL SURYA
BERBASIS PEROVSKITE**

Nama : Siti Fatimah
NRP : 0111154000086
Departemen : Fisika, FS-ITS
Pembimbing : Dr. Yoyok Cahyono, M.Si

Abstrak

Penelitian yang berjudul “sintesis dan karakterisasi film CuO sebagai material penyusun sel surya berbasis perovskite. Penelitian ini bertujuan untuk membuat film CuO dengan metode sol-gel spin coating dan menganalisis absorbansi, ketebalan, energi gap, koefisien absorpsi, ukuran kristal, kristalinitas, dan senyawa yang terbentuk pada film CuO akibat perlakuan pemanasan. Film CuO diberi perlakuan panas annealing dengan variasi suhu 400°C, 500°C, dan 600°C selama satu jam. Karakterisasi dilakukan dengan Uv-Vis, XRD, dan FTIR. Nilai absorbansi yang paling besar adalah sampel tanpa annealing. Ketebalan masing-masing sampel tanpa annealing dan annealing dengan suhu 400°C, 500°C, dan 600°C adalah sebesar 6,26µm, 0,75 µm, 0,32 µm, dan 0,50µm, energi gapnya berkisar antara 1,44 eV - 1,61 eV dan sampel dengan suhu annealing 600°C memiliki koefisien absorpsi paling besar. Sedangkan ukuran kristal dari sampel film CuO dengan suhu annealing 400°C, 500°C, dan 600°C berkisar antara 29,59 nm- 29,3 nm dengan kristalinitas antara 15,50% - 21,54%, dan senyawa yang teramati pada film adalah CuO dan Cu₂O.

Kata kunci : Energi gap, sel surya, sol-gel, spin-coating.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

SYNTESIS AND CHARACTERIZATION OF CuO THIN FILMS AS PEROVSKITE-BASED SOLAR CELL MATERIAL

Name : Siti Fatimah
NRP : 01111540000086
Major : Physics, FS-ITS
Advisor : Dr. Yoyok Cahyono, M.Si

Abstract

The research entitled "synthesis and characterization of CuO films as perovskite-based solar cells material". The research aims to make CuO films with the sol-gel spin coating method and analyze absorbance, thicness, energy gap, absorbance coefficient, crystal size, crystallinity and compound in CuO thin films due to the heating treatment. CuO thin films were then heat treated without annealing and by annealing with a temperature variation 400°C, 500°C dan 600°C for one hour. The annealed CuO films were then characterized using Uv-Vis, XRD, and FTIR. Sample without annealing has the greatest absorbance value, the thickness of each is 6,26 μm , 0,75 μm , 0,32 μm , dan 0,50 μm , the gap energy range between 1,44 eV - 1,61 eV, and sample with annealing temperature 600°C has the highest absorption coefficient value. Crystal size CuO thin films were then heat treated by annealing with a temperature variation of 400°C, 500°C, and 600°C range between 29,59 nm - 29,3 nm, which has crystallinity range between 15,50% - 21,54%, and the compounds observed in CuO thin films are CuO and Cu₂O.

Keywords: Energy gap, sol-gel, solar cell, spin coating.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, serta shalawat dan salam penulis kirimkan kepada Nabi Muhammad SAW, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul “**Sintesis dan Karakterisasi Film Tipis CuO Sebagai Material Penyusun Sel Surya Berbasis Perovskite**”. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di Departemen Fisika, Fakultas Sains, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Penulis menyadari bahwa penelitian dan penyusunan laporan ini tidak mungkin terlaksana dengan baik tanpa adanya bimbingan, dukungan, dan bantuan dari berbagai pihak, diantaranya:

1. Kedua orang tua dan keluarga yang telah memberikan dukungan selama pengerjaan Tugas Akhir.
2. Dr. Yoyok Cahyono, M.Si selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah memberi pengarahan selama proses penelitian dan penulisan laporan.
3. Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng. selaku Kepala Departemen Fisika FS-ITS.
4. Bapak/Ibu dosen dan karyawan Departemen Fisika FS-ITS yang telah memberikan ilmunya dan membantu selama masa perkuliahan.
5. Drs. Hasto Sunarno M.Sc. selaku Dosen Wali
6. Tim riset dan penelitian silikon amorf dan perovskite Novita, Amci, Tia, Kresna, Windar dan Mbak Nely yang telah membantu selama proses penelitian dan penulisan Tugas Akhir ini.

7. Teman-teman POSITRON Fisika angkatan 2015 yang telah menjadi keluarga penulis selama duduk di bangku kuliah.
8. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Semoga semua doa, semangat dan bantuan yang telah diberikan mendapatkan balasan yang terbaik dari Allah SWT.

Penulis berharap tulisan ini dapat bermanfaat dalam pengembangan ilmu pengetahuan di bidang material khususnya pada pengembangan material penyusun sel surya berbasis perovskite. Penulis juga mengharapkan berbagai kritik dan saran yang membangun untuk penulisan karya yang lebih baik kedepannya. Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih.

Surabaya, Mei 2019

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSRTACT	ixx
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
BAB IPENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan Laporan.....	4
BAB IITINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Sel Surya.....	7
2.2 Sel Surya Berbasis Perovskite.....	8
2.3 Tembaga Oksida.....	10
2.4 Metode Sintesis.....	12
2.4.1 Sol-gel.....	12

2.4.2	Deposisi <i>Spin-coating</i>	14
2.5	Karakterisasi.....	15
2.5.1	Spektrofotometer UV-Vis	15
2.5.2	<i>X-ray Diffraction</i> (XRD).....	166
2.5.3	<i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR)	177
2.5	Sifat Optik	158
BAB III METODOLOGI		21
3.1	Peralatan dan Bahan	21
3.1.1	Peralatan.....	22
3.1.2	Bahan	222
3.2	Prosedur Kerja.....	222
3.2.1	Sintesis Larutan CuO	22
3.2.2	Deposisi	223
3.2.3	<i>Annealing</i>	24
3.2.4	Karakterisasi	224
3.3	Diagram Alir Penelitian.....	266
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		27
4.1	Hasil Sintesis CuO.....	27
4.2	Analisis Karakterisasi UV-Vis.....	27
4.3	Perhitungan Tebal Film.....	29
4.4	Penentuan Celah Energi	31
4.5	Koefisien Absorbansi	33
4.6	Hasil Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction</i>	34

4.7	Hasil Karakterisasi <i>Fourier Transform Infra-Red</i>	37
4.8	Analisis Sampel Sebagai Material Penyusun Sel Surya	39
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		41
5.1	Kesimpulan.....	41
5.2	Saran.....	42
DAFTAR PUSTAKA		43
LAMPIRAN		47
BIODATA		69

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur Kristal CuO	11
Gambar 2.2 Metode <i>Spin-coating</i>	14
Gambar 2.3 Interferometer Michelson pada FTIR	18
Gambar 3.1a. <i>Magnetic stirrer</i> b. <i>Spin-coater</i>	22
Gambar 3.2a. Kaca <i>Indium Tin Oxide</i> b. CuO c. Etanol.....	22
Gambar 3.3 Larutan CuO hasil sintesis.....	23
Gambar 3.4 Sampel film CuO hasil <i>annealing</i> suhu 400°C, 500°C dan 600°C	244
Gambar 3.5 Spektrofotometer UV-Vis	255
Gambar 3.6 Diagram alir pembuatan film CuO.....	26
Gambar 3.7 Diagram alir karakterisasi film tipis CuO	26
Gambar 4.1 Absorbansi film CuO	28
Gambar 4.2 Koefisien absorpsi film CuO.....	34
Gambar 4.3 Pola difraksi film CuO	35
Gambar 4.4 Hasil karakterisasi FTIR film CuO	38

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik CuO.....	12
Tabel 4.1 Hasil perhitungan ketebalan sampel film CuO.....	30
Tabel 4.2 Hasil penentuan energi gap sampel film CuO.....	32
Tabel 4.3 Ukuran kristal dan kristalinitas film CuO.....	36

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A	Tabel perhitungan tebal film menggunakan persamaan Swanepoel.....	47
LAMPIRAN B	Tabel perhitungan koefisien absorpsi dan energi <i>gap</i> menggunakan metode Tauc Plot	49
LAMPIRAN C	Grafik penentuan energi <i>gap</i> menggunakan metode Tauc Plot.....	63
LAMPIRAN D	Perhitungan ukuran kristal menggunakan persamaan Scherrer.....	65
LAMPIRAN E	Pencocokan fase hasil karakterisasi XRD.....	67

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sumber energi yang tersedia terbatas. Bahan bakar fosil sebagai salah satu sumber energi yang jumlahnya terbatas layak mendapat perhatian khusus agar nantinya tidak terjadi krisis energi apabila jumlah bahan bakar fosil tidak dapat lagi memenuhi kebutuhan energi. Untuk menghindari hal tersebut harus dilakukan pemanfaatan sumber energi yang lain, yaitu dengan mengembangkan sumber energi terbarukan.

Bahan bakar fosil merupakan sumber energi yang bersifat tak terbarukan (*non renewable energy sources*) yang sudah diketahui bahwa jumlahnya terbatas. Karena jumlahnya yang terbatas harus dilakukan pengembangan energi baru, yaitu dengan mengembangkan sumber energi terbarukan sebagai sumber energi alternatif (Imam, 2015). Energi terbarukan merupakan energi non fosil yang dapat diperbaharui dan jumlahnya tidak terbatas. Beberapa contoh dari sumber energi terbarukan adalah panas bumi, air, cahaya matahari, angin, dan nuklir. Sampai saat ini berbagai sumber energi terbarukan tersebut telah dimanfaatkan sebagai sumber energi dan terus dilakukan pengembangan serta penelitian untuk meningkatkan kualitas dan kuantitas energi yang dihasilkan. Salah satu pengembangan sumber energi terbarukan adalah pemanfaatan cahaya matahari sebagai sumber listrik melalui penggunaan *solar cell* atau sel surya.

Cahaya matahari merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang menjadi salah satu sumber energi yang menjanjikan. Matahari mampu menghasilkan energi sebesar

100.000 TW di bumi. Energi tersebut memiliki nilai yang cukup besar untuk dapat memenuhi kebutuhan energi yang dibutuhkan oleh manusia, yang mana nilai tersebut setara dengan 10.000 kali kebutuhan energi yang dibutuhkan di bumi. Dengan memanfaatkan sel surya dengan efisiensi sebesar 10% sebanyak 0.1% dari permukaan bumi, maka sudah cukup untuk memenuhi kebutuhan energi di bumi (Gratzel, M, 2003).

Teknologi sel surya yang dapat mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik merupakan teknologi energi terbarukan yang ramah lingkungan (Green, 2003). Dengan kelebihan tersebut maka para peneliti melakukan penelitian untuk mengembangkan teknologi sel surya dalam rangka meningkatkan efisiensi serta mengurangi biaya produksi agar lebih murah (Gratzel, M, 2004).

Teknologi sel surya yang telah dikembangkan sampai saat ini telah mencapai generasi ketiga, yang dimulai dengan sel surya berbasis silikon, sel surya berbasis lapisan tipis, dan generasi ketiga yaitu sel surya berbasis perovskite. Pada perkembangan sel surya berbasis perovskite ini digunakan semikonduktor dengan teknologi film tipis pada substrat konduktif. Pada sel surya tersebut tidak menggunakan prinsip pemisahan muatan p-n melainkan berdasarkan rentang serapan energi yang dapat diatur nilainya (Chen P, 2015). Prinsip serapan energi tersebut pertama kali digunakan pada *dye sensitized solar cells* (DSSC) oleh O'Regan dan Gratzel pada tahun 1991 dan kini berkembang menjadi sel surya berbasis perovskite yang dapat mencapai efisiensi sebesar 19% (Zhou, *et al.*, 2014).

CuO merupakan salah satu tembaga oksida yang dimanfaatkan sebagai material sel surya. CuO dipilih karena memiliki serapan optik yang tinggi pada cahaya tampak, tidak beracun, serta mudah dibuat. Dalam hal ini CuO diaplikasikan sebagai sensitizer yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan kestabilannya. Selain itu, CuO dipilih untuk mengurangi biaya produksi karena fabrikasinya yang mudah. Berdasarkan hal tersebut maka dilakukan penelitian untuk mengetahui karakteristik CuO yang diberi perlakuan panas dengan menggunakan karakterisasi UV-Vis untuk mengetahui absorpsivitas, ketebalan dan energi *gap* dan koefisien absorpsi, *X-ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui ukuran kristal dan kristalinitasnya, dan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) untuk mengetahui senyawa yang terbentuk dari hasil sintesis.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana membuat film tipis CuO dengan metode sol-gel *spin-coating*
2. Bagaimana absorpsivitas, energi *gap*, koefisien absorpsi, ukuran kristal, kristalinitas dan senyawa hasil sintesis dari film tipis CuO akibat perlakuan pemanasan

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai penulis dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat film tipis CuO dengan metode sol-gel *spin-coating*

2. Menganalisa absorbansi, energi *gap*, koefisien absorpsi, ukuran kristal, kristalinitas dan senyawa hasil sintesis dari film tipis CuO akibat perlakuan pemanasan

1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian tugas akhir ini, memiliki batasan masalah sebagai berikut :

1. Sintesis dan deposisi CuO menggunakan metode sol-gel *spin-coating*
2. *Annealing* dilakukan dengan variasi suhu 400°C, 500°C dan 600°C selama satu jam
3. Karakterisasi material film tipis CuO menggunakan UV-Vis, XRD dan FTIR

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat terhadap perkembangan teknologi sel surya berbasis perovskite, sehingga kedepannya cahaya matahari sebagai salah satu energi terbarukan menjadi salah satu energi alternatif pengganti bahan bakar fosil yang dapat diandalkan. Sel surya berbasis perovskite dengan menggunakan bahan film tipis CuO ini juga diharapkan dapat diteliti dan dikembangkan lebih lanjut sehingga dapat meningkatkan efisiensi sel surya, biaya produksi lebih murah dengan bahan yang melimpah jumlahnya dan dengan fabrikasi yang lebih sederhana, serta tetap memperhatikan pemilihan bahan yang ramah lingkungan.

1.6 Sistematika Penulisan Laporan

Sistematika penulisan yang digunakan penulis dalam penulisan laporan Tugas Akhir adalah sebagai berikut:

- BAB I : Pendahuluan**
Bab Pendahuluan dalam laporan Tugas Akhir ini yaitu berisi tentang Latar Belakang penelitian, Rumusan Masalah pada penelitian, Tujuan dari penelitian, Batasan Masalah penelitian dan Sistematika Penulisan.
- BAB II : Tinjauan Pustaka**
Bab Tinjauan Pustaka berisi tentang teori penunjang penelitian.
- BAB II : Metodologi**
Bab Metodologi berisi tentang alat dan bahan, metodologi penelitian, karakteristik dan diagram alir penelitian.
- BAB IV : Analisa dan Pembahasan**
Bab Analisa dan Pembahasan merupakan inti dari penulisan laporan Tugas Akhir yang berisi analisa data dan pembahasan tentang hasil dari penelitian.
- BAB V : Kesimpulan dan Saran**
Bab Kesimpulan dan Saran yaitu berisi kesimpulan dari analisa data dan pembahasan yang berdasarkan pada tujuan penelitian dan disertai saran yang berlaku bagi penelitian selanjutnya

DAFTAR PUSTAKA

Daftar Pustaka merupakan sumber referensi pengambilan bahan atau literatur pada penulisan laporan Tugas Akhir

LAMPIRAN Lampiran merupakan sebagian data data penelitian yang dilakukan serta dapat mencantumkan gambar dokumentasi selama pelaksanaan kegiatan penyusunan laporan Tugas Akhir

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sel Surya

Solar cell atau dikenal sebagai sel surya merupakan peralatan yang dapat mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Sel surya merupakan peralatan yang tersusun dari material semikonduktor yang kemudian dapat menangkap cahaya matahari dan mengkonversi menjadi energi listrik dan disimpan didalam baterai. Kemampuan sel surya untuk mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik didasarkan pada prinsip *photovoltaic* atau fotolistrik. Efek fotolistrik yang terjadi pada sel surya berdasarkan teori Einstein yang menyatakan cahaya merupakan partikel diskrit atau biasa disebut foton, bukan cahaya sebagai gelombang elektromagnetik yang dinyatakan oleh Maxwell (Krane, 2008).

Sel surya terdiri dari material semikonduktor yang dapat menghasilkan energi listrik ketika dikenai cahaya matahari. Cahaya matahari yang mengenai sel surya tersebut akan mengakibatkan elektron yang terdapat pada semikonduktor terlepas menjadi elektron bebas dan menghasilkan arus listrik.

Sel surya yang merupakan salah satu energi alternatif yang menggunakan cahaya matahari sebagai sumber energi merupakan salah satu alat yang berpotensi untuk dikembangkan di Indonesia yang memiliki intensitas cahaya matahari tinggi. Namun, hal itu tidak serta merta menjadikan sel surya dapat dengan mudah dikembangkan di Indonesia. Selain persentase efisiensi dari sel surya yang masih rendah, yaitu sekitar 5 – 16 %, instalasi yang sulit, dan harga sel surya yang mahal menjadikan sel surya masih belum digunakan dan dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif (Saputra, 2008).

Sel surya telah mengalami berbagai perkembangan. Saat ini sel surya yang dikembangkan telah mencapai generasi ketiga. Pada generasi pertama teknologi sel surya dikembangkan menggunakan bahan silikon kristal. Sel surya yang dihasilkan pada generasi pertama ini memiliki nilai efisiensi yang tinggi, namun karena biaya pembuatannya yang tinggi pula menyebabkan sel surya yang dihasilkan memiliki nilai jual yang tinggi dan kurang relevan sebagai energi alternatif. Generasi kedua merupakan sel surya menggunakan teknologi lapisan tipis yang bertujuan untuk mengurangi biaya pembuatan. Hasil dari pembuatan lapisan tipis tersebut menghasilkan silikon dengan arah orientasi kristal yang berbeda-beda, atau disebut dengan lapisan amorf. Pada perkembangan sel surya generasi ketiga sel surya dibuat dari bahan organik maupun elektrokimia. Pada generasi ketiga ini sel surya tidak menggunakan prinsip pembentukan pasangan muatan, melainkan prinsip eksitasi dengan besarnya energi gap yang dapat diubah berdasarkan komposisi material penyusun sel surya yang dibuat.

Pada generasi ketiga ini memiliki metode pembuatan yang sederhana sehingga apabila dikembangkan biaya produksinya lebih murah selain itu efisiensi yang dihasilkan juga tinggi. Namun, sel surya pada generasi ketiga ini masih memiliki berbagai kekurangan seperti generasi sebelumnya. Sel surya tersebut memiliki stabilitas yang rendah dan seringkali material yang digunakan termasuk kedalam bahan berbahaya dan beracun sehingga tidak ramah lingkungan.

2.2 Sel Surya Berbasis Perovskite

Pemanfaatan cahaya matahari sebagai salah satu sumber energi terbarukan telah meningkatkan penggunaan sel surya. Sampai saat ini perkembangan sel surya telah sampai pada

generasi ketiga. Generasi pertama adalah sel surya berbasis silikon, generasi kedua adalah sel surya berbasis material lapisan tipis dan generasi ketiga adalah sel surya organik. Sel surya generasi pertama dan kedua menggunakan efek fotovoltaik yang artinya proses produksi energi listrik bertumpu pada material semikonduktor yang digunakan. Sedangkan sel surya generasi ketiga menggunakan efek fotoelektrokimia. Perbedaannya adalah penggunaan elektrolit pada sel surya generasi ketiga. *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) merupakan awal mula sel surya generasi ketiga yang ditemukan oleh M. Gratzel. Namun, DSSC memiliki nilai efisiensi yang lebih rendah dari generasi sebelumnya sehingga para ilmuwan mulai meninggalkan DSSC dan mencari sel surya organik dengan efisiensi yang lebih tinggi.

Sampai saat ini berbagai sel-surya sudah dibuat dengan menggunakan berbagai material sebagai lapisan aktifnya, seperti silikon, galium arsenida, kadmium telurida, silikon amorf, sel-surya dye, sel-surya organik atau polimer dan sel-surya hibrid organik-inorganik. Namun, diantara material tersebut sel-surya dengan material aktif campuran bahan halida-organik atau anorganik dengan struktur perovskite telah banyak menarik perhatian banyak peneliti, karena mampu menghasilkan efisiensi di atas 15% (W. Nie, 2015). CaTiO_3 merupakan salah satu material dengan struktur perovskite. Para peneliti mencoba untuk mensintesis material dengan struktur perovskite seperti CaTiO_3 sehingga material perovskite mulai banyak diteliti untuk diterapkan di berbagai bidang seperti sel surya, *fuelcell* dan sensor.

Struktur kristal perovskite sintesis terdiri dari kation organik, kation anorganik dan anion anorganik dengan struktur kimia ABX_3 . Bagian A merupakan kation organik Bagian B merupakan kation anorganik, sedangkan bagian C merupakan anion anorganik. Sel surya perovskite merupakan sel surya organik generasi baru yang

mulai dikembangkan oleh para peneliti. Faktor yang perlu diperhatikan dalam pemilihan material sel surya adalah energi *gap*. Energi *gap* merupakan energi minimum diantara ujung pita valensi dan pita konduksi. pada sel surya, energi *band gap* yang ideal adalah 1,1 – 1,55 eV.

Material perovskite pada sel surya bertindak sebagai elektrolit untuk menyerap cahaya matahari yang akan mengeksitasi *hole* dan elektron. Elektron akan menuju *Electron Transport Material* (ETM) yang bertindak sebagai *n-type* semikonduktor. Material ETM yang umumnya digunakan adalah logam oksida, seperti TiO₂ dan ZnO. Sedangkan *hole* akan menuju *Hole Transport Material* (HTM) yang bertindak sebagai *p-type* semikonduktor. Material HTM yang umumnya digunakan adalah material organik seperti Spiro-OMeTAD dan FDA. Dalam sel surya berbasis perovskite terdapat katoda dan anoda, dengan emas dan perak merupakan salah satu katoda yang umumnya digunakan. Sedangkan *Indium Tin Oxide* (ITO) maupun *Fluorine Tin Oxide* (FTO) anoda yang sering digunakan.

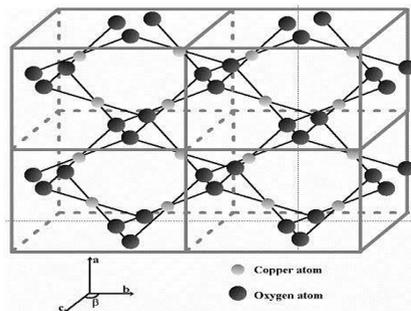
2.3 Tembaga Oksida

Tembaga Oksida merupakan material yang memiliki dua fasa kristal yaitu tembaga oksida (*cuprous oxide*) atau Cu₂O dan tembaga (II) oksida (*cupric oxide*) atau CuO. Cu₂O memiliki warna cokelat kemerahan, struktur kubik, energi *gap* 2,0 – 2,2 eV. CuO memiliki struktur kristal monoklinik, dengan energi *gap* 1,2 – 1,9 eV, berwarna hitam, absorpsivitas tinggi, emisivitas suhu rendah (Akgul FA, 2014). Kedua jenis tembaga oksida tersebut memiliki sifat yang sangat berbeda, baik dari warna, struktur kristal, dan sifat kimiawi.

Kedua jenis tembaga oksida Cu₂O dan CuO dapat diaplikasikan pada sel surya, sensor, *dilute magnetic doping*,

baterai ion lithium, *colossal magnetoresistance*, superkonduktor suhu tinggi, katalis, dan *thermal conducting fields*(VT, 2016; Vikraman D, 2016). Salah satu kelebihan dari tembaga oksida sehingga banyak digunakan adalah sifat bahan yang tidak beracun, metode pembuatannya sederhana dengan biaya yang rendah, jumlahnya melimpah, serta energigapnya dapat diubah dengan mengatur komposisinya(Wang, 2006). Salah satu jenis tembaga oksida, yaitu CuO dipilih sebagai bahan penyusun sel surya karena memiliki konversi energi fotovoltaik yang baik (Johan RM, 2011). CuO sebagai bahan semikonduktor dari senyawa oksida memiliki sifat optik dan listrik yang cocok untuk piranti sel surya.

CuO memiliki struktur kristal monoklinik yang terdiri dari empat molekul CuO. Konstanta Lattice atau parameter kisi dari struktur Kristal CuO adalah $a = 0,47 \text{ nm}$, $b = 0,34 \text{ nm}$, $c = 0,51 \text{ nm}$, dan sudut $\beta = 99,54^\circ$ (Wang, 2006).CuO memiliki susunan atom dengan setiap atom Cu terhubung dengan empat atom O.



Gambar 2.1 Struktur kristal CuO(Wang, 2006).

CuO murni memiliki warna hitam pekat dengan massa jenis $6,4 \text{ g/cm}^3$. CuO memiliki titik lebur 1330° C dan tidak dapat larut dalam air, tetapi CuO yang merupakan oksida basa dapat larut

dengan mudah dalam asam dan mineral. Sama seperti Cu_2O , material CuO merupakan semikonduktor tipe-p (Wang, 2006). Terdapat beberapa metode yang digunakan dalam pembuatan CuO , yaitu *thermal oxidation*, *sintering*, *precipitation*, *sputtering*, *chemical vapour transport*, *electrochemical deposition*, *chemical solution deposition*, *chemical vapour deposition*, dan *molecular beam epitaxy* (Papadimitropoulos G, 2005)

Tabel 2.1 Karakteristik CuO

Karakteristik	
Rumus molekul	CuO
Berat molekul	79,545 g/mol
Warna	Hitam kecoklatan
Kerapatan	6,315 g/cm ³
Titik leleh	1326 °C
Titik didih	2000 °C
Energi <i>gap</i>	1,2 - 1,9 eV

[http://www.chemnet.com/cas/id/1317-38-0/Copper\(II\)-oxide.html](http://www.chemnet.com/cas/id/1317-38-0/Copper(II)-oxide.html).

2.4 Metode Sintesis

2.4.1 Sol-Gel

Sintesis lapisan tipis merupakan proses pembuatan partikel dengan ketebalan yang kecil yaitu dalam orde nanometer. Sintesis lapisan tipis dapat dilakukan dengan berbagai metode, salah satu metode pembuatan lapisan tipis khususnya CuO adalah dengan menggunakan metode sol-gel. Metode sol-gel merupakan salah satu metode yang digunakan dalam preparasi material oksida logam berukuran nano. Sol merupakan suspensi koloid yang mempunyai fasa terdispersinya padat dan fasa pendispersinya berupa cairan. Suspensi dari partikel padat atau molekul-molekul koloid dalam larutan dibuat dengan metal alkoxi dan dihidrolisis oleh air

menghasilkan partikel padatan metal hidroksida dalam larutan dan reaksinya adalah reaksi hidrolisis(Paveena, 2010).

Gel adalah jaringan partikel atau molekul, baik berupa padatan maupun cairan dengan polimer yang terjadi di dalam larutan digunakan sebagai tempat pertumbuhan zat anorganik. Pertumbuhan zat anorganik terjadi pada *gel point* yang memiliki energi ikat lebih rendah. Reaksinya adalah reaksi kondensasi, baik alkohol maupun air yang menghasilkan *oxygen bridge* (jembatan oksigen) untuk mendapatkan reaksi oksida (Paveena, 2010).

Metode sintesis menggunakan sol-gel untuk material berbasis oksida berbeda-beda tergantung prekursor dan bentuk produk akhir, baik itu berupa *powder*, film, aerogel, atau serat. Struktur dan sifat fisik gel sangat bergantung pada beberapa hal diantaranya adalah pemilihan bahan baku material, laju hidrolisis dan kondensasi, dan modifikasi kimiawi dari sistem sol-gel. Metode sol-gel cocok digunakan untuk preparasi film tipis dan material berbentuk *powder*. Keuntungan dari metode sol-gel diantaranya adalah mudah mengontrol komposisi kimia, temperatur proses rendah, dan biaya murah.

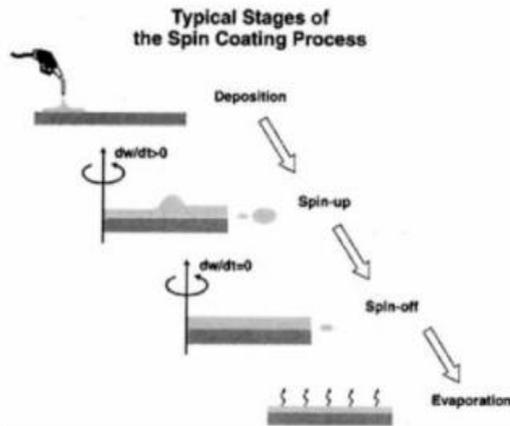
Metode sol-gel merupakan metode sintesis nano partikel yang cukup sederhana dan mudah. Metode ini merupakan salah satu *wet method* atau metode basah karena prosesnya melibatkan larutan sebagai mediana. Pada metode sol-gel, larutan mengalami perubahan fase menjadi sol atau koloid yang mempunyai padatan tersuspensi dalam larutannya dan menjadi gel, yaitu koloid dengan fraksi solid yang lebih besar daripada sol (Phumying, 2010).

Tahapan dalam metode sol-gel meliputi hidrolisis, kondensasi, penuaan, dan pegeringan. Proses hidrolisis merupakan proses pembuatan sol koloid dari pelarutan senyawa prekursor dengan alkohol dan larutan lain pada kondisi asam, basa, maupun netral. Proses kondensasi merupakan proses selanjutnya setelah

hidrolisis, dimana hasil reaksi hidrolisis mengalami pemanjangan membentuk ikatan logam-oksigen-logam sampai membentuk gel. Proses penuaan merupakan proses pematangan gel hasil proses kondensasi melalui pembentukan jaringan gel yang lebih kuat, kaku, dan menyusut dalam larutan. Terakhir yaitu proses penguapan larutan dan cairan yang tidak diinginkan sehingga diperoleh sol-gel dengan kualitas yang tinggi (Ibrahim, 2010).

2.4.2 Deposisi *Spin-Coating*

Spin coating merupakan salah satu teknik pelapisan kimia yang dilakukan dalam pembuatan lapisan tipis pada industri semikonduktor. Teknik ini memanfaatkan gaya sentripetal yang dihasilkan oleh alat untuk meratakan permukaan sol sehingga terbentuk lapisan tipis yang digunakan. Secara umum terdapat empat tahapan proses, yaitu deposisi, pemutaran (*spin-up*), penstabilan (*spin-out*) dan evaporasi.



Gambar 2.2 Metode *spin-coating* (Niranjan S., 2009).

Tahap awal dari *spin coating* adalah proses deposisi prekursor pada sebuah substrat. Selanjutnya dilakukan pemutaran substrat dengan kecepatan konstan sampai waktu tertentu yang telah ditentukan, dimana kecepatan dan lama waktu pemutaran akan berpengaruh pada ketebalan lapisan tipis yang dihasilkan. Tahap ketiga kecepatan putar alat dikurangi sampai berhenti berputar. Tahap terakhir yaitu pendiaman lapisan tipis yang dihasilkan agar pelarut yang ada pada lapisan tipis menguap (Niranjan S., 2009).

2.5 Karakterisasi

2.5.1 Spektrofotometer UV-Vis

Prinsip dasar spektrofotometer UV-Vis adalah jika suatu material diradiasi dengan gelombang elektromagnetik, maka radiasi tersebut sebagian akan diserap dan sebagian lagi diteruskan. Penyerapan radiasi pada daerah cahaya tampak mengakibatkan adanya transisi elektronik atom pada materi tersebut. Transisi elektronik akibat absorpsi cahaya tampak oleh molekul atom ke tingkat energi yang lebih tinggi. Panjang gelombang yang diserap pada materi tergantung pada mudahnya promosi elektron untuk bertransisi. Semakin mudah promosi elektron maka energi yang diserap akan semakin kecil sehingga absorpsinya pada daerah dengan panjang gelombang yang lebih besar dan sebaliknya jika energi yang diserap kecil. Hasil ukur pada spektrofotometer UV-Vis yaitu absorbansi dan transmitansi dari sampel. Absorbansi diperoleh dari intensitas cahaya yang melewati sampel dibandingkan dengan intensitas cahaya sebelum melewati sampel.

Pada penelitian ini karakterisasi UV-Vis ini dilakukan untuk mengetahui nilai absorbansi dan transmitansi dari sampel film tipis CuO yang telah dibuat. Dari nilai absorbansi dan transmitansi tersebut, kemudian dapat dilakukan analisis dan perhitungan terhadap serapan energi, ketebalan sampel, energi *gap* dan

koefisien absorpsi dari sampel yang telah dibuat. Ketebalan dari sampel dapat diperoleh dari perhitungan menggunakan metode Swanepoel yang menggunakan hasil transmitansi sampel, sedangkan energi *gap* dan koefisien absorpsi dihitung menggunakan metode Tauc Plot berdasarkan hasil absorbansi yang diperoleh dari karakterisasi UV-Vis

2.5.2 X-ray Diffraction

Sinar-X merupakan gelombang elektromagnetik yang memiliki panjang gelombang sekitar 1×10^{-10} m. Difraksi sinar-X digunakan untuk mengidentifikasi struktur kristal dengan cara membandingkan jarak bidang kristal dan intensitas puncak difraksi dengan data yang terdapat pada literatur. Hasil dari difraksi sinar-X adalah jarak antar kisi dalam suatu struktur kristal sehingga dapat diketahui kerapatan kristal tersebut. Prinsip dasar dari XRD adalah hamburan elektron yang mengenai permukaan kristal. Bila seberkas sinar dilewatkan pada permukaan kristal dengan sudut tertentu, maka sebagian sinar tersebut akan dihamburkan dan sebagian diteruskan pada lapisan berikutnya. Sinar yang dihamburkan akan berinterferensi konstruktif maupun destruktif yang tercatat pada detektor. Setiap sinar yang tertangkap oleh detektor akan memenuhi Hukum Bragg.

$$2d \sin \theta = n \lambda \quad (2.1)$$

dengan λ panjang gelombang sinar-X, d jarak antar kisi, dan θ sudut datang sinar. Ketika sudut datang sinar diubah-ubah, maka akan menghasilkan intensitas yang berbeda-beda pula (Richardson, 1989).

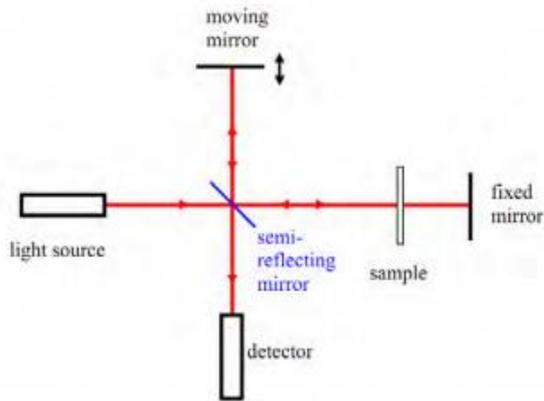
Analisa hasil difraksi yang diperoleh dari karakterisasi XRD dapat menggambarkan kristalinitas dari hasil deposisi film tipis

CuO yang telah dibuat. Dari pola difraksi tersebut dapat diperkirakan adanya fasa kristal maupun amorf yang terbentuk. Fasa kristal dapat terlihat pada pucak tajam yang terbentuk pada pola difraksi, sedangkan amorf akan terlihat sebagai puncak landai atau acak. Hasil yang diperoleh pada karakterisasi XRD, kemudian dapat diidentifikasi dengan mencocokkan hasil yang diperoleh dengan *database* yang sudah ada.

2.5.3 *Fourier Transform Infrared*

Fourier Transform Infrared atau FTIR adalah metode spektroskopi untuk mengetahui ikatan kimia pada sistem molekuler. Pada karakterisasi FTIR ini, puncak absorbansi memiliki korespondensi dengan frekuensi dari ikatan kimia dalam molekul penyusun material. FTIR menggunakan interferometer untuk mengkodekan sinyal yang kemudian ditransformasi Fourier.

Spektroskopi FTIR menggunakan sumber cahaya infra merah dan menggunakan prinsip kerja interferometer Michelson yang memiliki dua buah cermin reflektor, yaitu cermin statis (*fixed mirror*) dan cermin dinamis. Cermin dinamis memindai sampel ketika bergerak, sehingga diperoleh intensitas variabel absorbansi maupun transmitansi terhadap fungsi waktu.



Gambar 2.3 Interferometer Michelson pada FTIR.

Prinsip dasar dari spektroskopi FTIR adalah harus terjadi perubahan momen dipol ketika terjadi getaran pada molekul. Syarat ini dipenuhi oleh ikatan antar atom yang tidak sejenis karena memiliki momen dipol yang berbeda. Pada ikatan atom yang sejenis syarat tersebut tidak dipenuhi karena momen dipolnya sama dan tidak dipengaruhi oleh panjang maupun sudut ikatannya.

2.6 Sifat Optik

Suatu material optik memiliki sifat transmitansi, absorbansi dan reflektansi apabila berinteraksi dengan gelombang elektromagnetik, khususnya cahaya tampak. Spektrum transmisi menunjukkan fungsi transmisi terhadap panjang gelombang. Spektrum absorpsi menunjukkan fungsi koefisien absorpsi terhadap energi foton cahaya. Parameter pengukuran transmitansi dan absorbansi adalah panjang gelombang dan energi foton yang dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut:

$$E = h \frac{c}{\lambda} \quad (2.2)$$

dengan E merupakan energi foton, h konstanta planck yang bernilai $6,63 \times 10^{-34}$ Js, c kecepatan cahaya dalam ruang hampa, dan λ panjang gelombang dari foton (Schroder, 2006).

Transmitansi merupakan perbandingan antara intensitas cahaya setelah dan sebelum melewati material yang dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$T = \frac{I}{I_0} \quad (2.3)$$

dengan T menyatakan besarnya transmitansi material semikonduktor. Intensitas radiasi berkurang secara eksponensial terhadap ketebalan film.

Pengukuran nilai optik sangat penting dalam menentukan struktur pita semikonduktor. Induksi foton pada transisi elektronik dapat terjadi antara pita yang berbeda, yang nantinya akan digunakan untuk mencari nilai energi *gap*. Pada semikonduktor, koefisien absorpsi merupakan fungsi dari panjang gelombang atau energi foton. Koefisien absorpsi dapat ditunjukkan berdasarkan persamaan berikut:

$$\alpha h\nu \propto (h\nu - E_g)^n \quad (2.4)$$

dengan $h\nu$ adalah energi foton dan n merupakan koefisien yang bergantung pada jenis transisi dari bahan.

Dari pengukuran sifat optik juga dapat diketahui tebal lapisan tipis. Penentuan tebal lapisan tipis ini berdasarkan pada perbedaan nilai indeks bias antara lapisan dengan substrat, yang mengakibatkan adanya puncak-puncak interferensi pada nilai transmitansi. Perhitungan nilai tebal lapisan tipis dapat dilakukan menggunakan persamaan Swanepoel (Bilalodin, 2012). Perhitungan tebal film dapat dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$l = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{2(\lambda_1 n_2 - \lambda_2 n_1)} \quad (2.5)$$

$$n_{1,2} = \sqrt{N + \sqrt{N^2 - n_k^2}} \quad (2.6)$$

$$N_{1,2} = 2n_k \frac{T_M - T_m}{T_M T_m} \quad (2.7)$$

dengan n_k indeks bias kaca, T_M transmitansi maksimum, T_m transmitansi minimum (N. Pimpabute, 2011).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI

3.1 Peralatan dan Bahan

3.1.1 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini merupakan peralatan yang terdapat pada Laboratorium Material Maju dan Laboratorium Optoelektronika dan Elektromagnetika Terapan yang terdapat di Departemen Fisika ITS. Peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut :

a. *Spin-Coater*

Spin-coater adalah alat yang digunakan untuk menghasilkan lapisan atau film tipis dari larutan CuO melalui proses yang disebut *spin-coating*. Dalam proses *spin-coating* tersebut perlu diatur kecepatan putaran dan lamanya putaran pada *spin-coater*.

b. *Furnace*

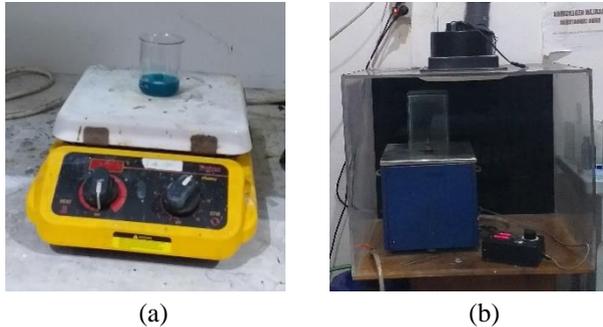
Furnace atau tungku pembakaran adalah alat yang digunakan untuk memberi perlakuan panas *annealing* pada sampel film tipis CuO.

c. *Ultrasonic Cleaner*

Ultrasonic cleaner adalah alat yang menggunakan gelombang ultrasonik untuk membersihkan kotoran pada substrat kaca.

d. *Magnetic Stirrer*

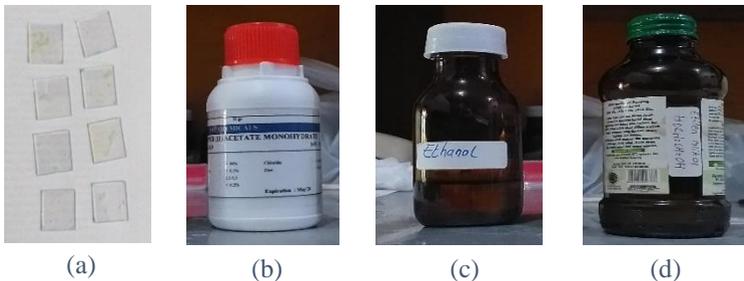
Magnetic stirrer berfungsi untuk menghomogenkan larutan melalui proses pengadukan dan pemanasan.



Gambar 3.1(a)*Magnetic stirrer*(b)*Spin-coater*.

3.1.2 Bahan

Pada penelitian tugas akhir ini, bahan yang digunakan adalah substrat kaca *Indium Tin Oxide* (ITO) ukuran 1,5 cm x 1,5 cm, CuO, etanol (C_2H_5OH), etilena glikol ($C_2H_6O_2$) dan alkohol.



Gambar 3.2(a) Kaca *Indium Tin Oxide*, (b) CuO, (c) Etanol.

3.2 Prosedur Kerja

Prosedur kerja pada penelitian tugas akhir ini dibagi menjadi empat tahap, yaitu sintesis tembaga oksida (CuO), deposisi, *annealing* dan karakterisasi.

3.2.1 Sintesis Larutan CuO

Sintesis CuO dilakukan dengan melarutkan 0,5 gram CuO dalam 10 ml etanol (C_2H_5OH). Kemudian campuran tersebut *distirer* selama satu jam agar terbentuk larutan yang homogen. Setelah itu tambahkan 5 ml etilena glikol ($C_2H_6O_2$) kedalam larutan yang telah terbentuk dan aduk hingga tercampur dan diperoleh larutan CuO yang diinginkan.



Gambar 3.3 Larutan CuO hasil sintesis.

3.2.2 Deposisi

Proses deposisi film tipis CuO dilakukan dengan metode sol-gel *spin coating* yang dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- Substrat yang digunakan yaitu *Indium Tin Oxide* (ITO) yang dipotong dengan ukuran 1,5 cm x 1,5 cm.
- Substrat dibersihkan dengan menggunakan alkohol dan dimasukkan dalam *ultrasonic cleaner* selama tiga puluh menit.
- Substrat yang telah dibersihkan kemudian dicari bagian konduktifnya dengan menggunakan multimeter.
- Substrat yang telah diketahui bagian konduktifnya diletakkan pada *spin-coating* dan pada bagian konduktifnya diberi larutan CuO hasil sintesis sebanyak dua tetes.
- Proses *spin-coating* dilakukan dengan kecepatan putaran 1000 rpm selama 60 detik.

- f. Setelah dilakukan proses *spin-coating*, diperoleh sampel film CuO yang diinginkan.

3.2.3 *Annealing*

Proses *annealing* dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh perlakuan pemanasan terhadap sampel film tipis CuO yang telah dibuat. *Annealing* dilakukan dengan memanaskan substrat yang telah dilapisi film tipis CuO di dalam *furnace*. *Annealing* dilakukan selama satu jam dengan variasi suhu 400°C, 500°C dan 600°C.



Gambar 3.4 Sampel film tipis CuO hasil *annealing* suhu 400°C, 500°C dan 600°C.

3.2.4 Karakterisasi

Karakterisasi dilakukan untuk mengetahui karakteristik sampel hasil deposisi yang telah di *annealing*. Karakterisasi sampel pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis, *X-ray Diffraction* (XRD) dan *Fourier Transform Infrared* (FTIR).

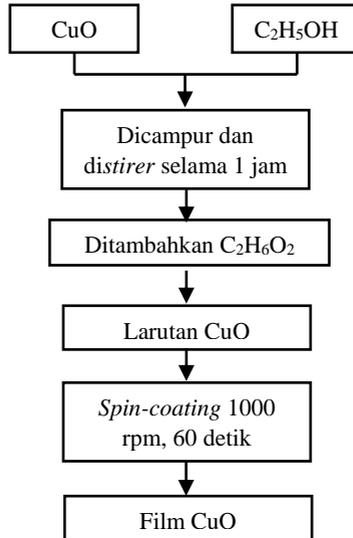


Gambar 3.5Spektrofotometer UV-Vis.

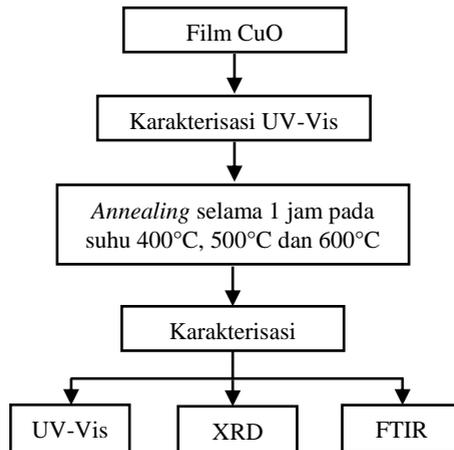
Karakterisasi UV-Vis digunakan untuk mengetahui absorpsivitas, ketebalan film, dan energi *gap* dari film tipis CuO yang telah dibuat. Hasil dari karakterisasi UV-Vis merupakan grafik yang menunjukkan hubungan antara rentang panjang gelombang dan absorpsivitas maupun transmitansinya. FTIR digunakan untuk mengkonfirmasi bahwa film tipis pada substrat hasil deposisi merupakan senyawa CuO dan untuk mengetahui apakah terdapat senyawa lain yang terbentuk dari hasil sintesis. Sedangkan pada karakterisasi XRD akan diperoleh informasi kristalinitas dari sampel hasil deposisi. Kristalinitas tersebut digunakan untuk menganalisa pengaruh perlakuan pemanasan atau *annealing* yang dilakukan pada sampel hasil deposisi yang diberi perlakuan panas berbeda.

3.3 Diagram Alir Penelitian

Berikut diagram alir penelitian yang telah dilakukan



Gambar 3.6Diagram alir pembuatan film CuO.



Gambar 3.7Diagram alir karakterisasi film CuO

BAB IV

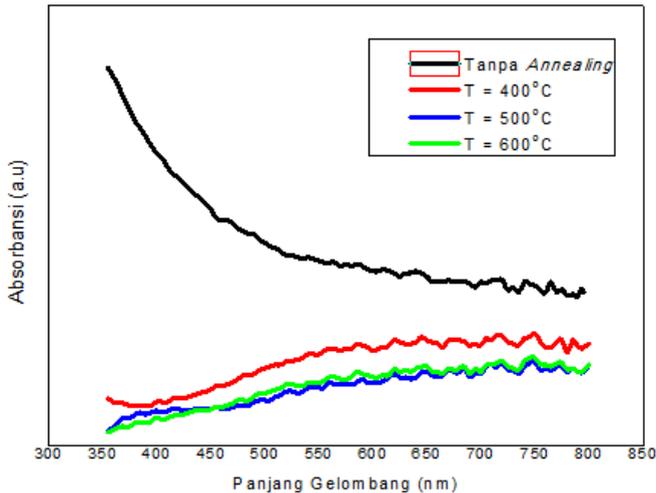
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Sintesis Film Tipis CuO

Pada penelitian ini telah dilakukan sintesis untuk menghasilkan lapisan tipis CuO yang selanjutnya akan dianalisis sebagai material penyusun sel surya. Pada penelitian kali ini, film tipis CuO dihasilkan dengan mensintesis larutan CuO menggunakan metode sol-gel yang selanjutnya dideposisi pada substrat kaca *Indium Tin Oxide* (ITO) dengan menggunakan metode *spin-coating*, sehingga film tipis CuO dihasilkan dengan menggunakan metode yang disebut sol-gel *spin-coating*. Film tipis CuO yang dihasilkan kemudian diberi perlakuan panas *annealing* dengan menggunakan variasi suhu dan dikarakterisasi. Proses *annealing* pada film tipis CuO bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemanasan terhadap sifat optik dan struktur material. Pada penelitian ini sampel yang diamati ada empat yaitu sampel tanpa *annealing* dan sampel dengan *annealing* pada suhu 400°C, 500°C dan 600°C.

4.2 Analisis Karakterisasi UV-Vis

Karakterisasi dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis bertujuan untuk mengetahui besaran optik, yaitu absorbansi dan transmitansi. Alat uji untuk karakterisasi UV-Vis adalah 'GENESYS 10S UV-Vis' dengan pengukuran pada rentang panjang gelombang 350 - 800 nm. Hasil dari karakterisasi UV-Vis ini adalah grafik hubungan antara absorbansi dan panjang gelombang dari film tipis CuO yang telah dibuat dan diberi perlakuan panas *annealing*.



Gambar 4.1 Absorbansi film tipis CuO.

Gambar 4.1 menunjukkan grafik hasil karakterisasi UV-Vis film tipis CuO yang telah diberi perlakuan panas *annealing*. Gambar 4.1 menunjukkan hubungan absorbansi dengan panjang gelombang pada film CuO tanpa *annealing* dan yang *dannealing* pada suhu 0°C, 400°C, 500°C, dan 600°C selama satu jam. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa keempat sampel yang telah dikarakterisasi memiliki daerah absorbansi pada rentang panjang gelombang 350 – 800 nm atau rentang tersebut merupakan daerah kerja dari film tipis CuO.

Berdasarkan Gambar 4.1 dapat diketahui bahwa film tCuO tanpa *annealing* memiliki nilai absorbansi yang paling besar sehingga memiliki serapan foton yang paling besar pula, selanjutnya film tipis CuO yang dianil pada suhu 400°C, 500°C, dan 600°C yang memiliki nilai absorbansi lebih kecil, serta pada

sampel yang di-*annealing* pada suhu 600°C dan 500°C memiliki perbedaan nilai absorpsi yang kecil. Pada penelitian ini sampel tanpa *annealing* memiliki nilai absorpsi yang paling besar. Namun, absorpsi pada sampel dengan suhu 600°C memiliki nilai yang lebih besar jika dibandingkan dengan sampel yang dianil pada suhu 500°C. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat faktor lain yang mempengaruhi nilai absorpsi ketiga sampel tersebut karena ketiganya memiliki nilai absorpsi yang tidak sebanding sehingga tidak bisa dibandingkan nilai absorpsinya secara langsung tanpa memperhatikan faktor lain yang dapat menyebabkan nilai absorpsinya tidak sebanding dengan suhu *annealing* pada sampel.

Nilai absorpsi pada Gambar 4.1 menunjukkan bahwa juga terjadi peningkatan nilai absorpsi ketika panjang gelombang foton bergeser ke panjang gelombang yang lebih tinggi. Hal tersebut menunjukkan bahwa film tipis CuO yang telah dibuat akan semakin besar kemampuan absorpsinya pada panjang gelombang yang lebih tinggi atau pada foton dengan tingkat energi yang lebih rendah. Pada hasil absorpsi yang diperoleh, pada panjang gelombang 750 nm merupakan daerah dengan absorpsi paling besar pada film tipis CuO yang telah dibuat.

4.3 Perhitungan Tebal Film

Perhitungan tebal film CuO dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui apakah film tipis CuO yang dibuat memiliki ketebalan sesuai dengan yang diinginkan agar memiliki tingkat absorpsivitas yang baik sebagai material penyusun sel surya. Perhitungan tebal film dihitung berdasarkan hasil karakterisasi UV-Vis dengan menggunakan metode Swanepoel. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan maka diperoleh nilai ketebalan dari setiap sampel adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1 Hasil perhitungan ketebalan sampel film tipis CuO

Sampel	Tebal (nm)
Tanpa <i>Annealing</i>	6,26
T = 400°C	0,75
T = 500°C	0,32
T = 600°C	0,50

Tabel 4.1 memperlihatkan ketebalan film CuO dengan variasi suhu annealing 0°C, 400°C, 500°C dan 600°C. Hasil perhitungan ketebalan tersebut menunjukkan terjadinya penurunan dan peningkatan ketebalan film CuO, yang mana pada film yang di *annealing* pada suhu 500°C mengalami peningkatan ketebalan ketika dibandingkan dengan sampel lainnya yang mengalami penurunan.

Penurunan ketebalan tersebut terjadi akibat perlakuan pemanasan pada sampel akibat keteraturan ukuran kristal dan jarak antar atom yang semakin kecil. Semakin tinggi suhu *annealing* maka tingkat keteraturan kristal semakin tinggi (Jundale D, 2011). Namun, hasil perhitungan juga menunjukkan adanya peningkatan ketebalan pada hasil *annealing* suhu 500°C yang juga terjadi pada absorbansi yang telah diperoleh sebelumnya dimana nilai absorbansi pada sampel tersebut nilainya lebih besar apabila dibandingkan dengan sampel yang dipanaskan dengan suhu yang lebih tinggi, yaitu 600°C. Besarnya ketebalan film CuO yang di *annealing* pada suhu 500°C tidak mengalami penurunan ketika dibandingkan dengan sampel dengan suhu *annealing* yang lebih rendah dapat terjadi ketika dilakukan proses *spin coating* yang ketebalan CuO yang dideposisi memiliki ketebalan yang tidak sama, selain itu larutan

CuO yang di-*spincoating* tidak melapisi substrat secara merata sehingga menghasilkan film CuO yang tebal.

Ketebalan dapat mempengaruhi serapan foton atau absorbansi dari suatu material, semakin tebal material maka absorbansinya akan semakin besar pula dan sebaliknya. Berdasarkan hasil perhitungan ketebalan dari film CuO yang diperoleh apabila dibandingkan dengan nilai absorbansinya maka semakin tebal sampel absorbansinya juga semakin besar atau dengan kata lain foton yang terserap juga semakin besar pula. Hal tersebut dapat dilihat dalam hasil perhitungan ketebalan dari sampel film CuO tanpa annealing dan dengan *annealing* suhu 400°C dan 600°C memiliki kesesuaian dengan hasil absorbansinya, dengan sampel pada tanpa *annealing* memiliki absorbansi terbesar karena memiliki ketebalan yang paling besar.

Pada sampel dengan suhu *annealing* 500°C terdapat ketidaksesuaian atau nilai ketebalan dan absorbansinya berbeda apabila dibandingkan dengan sampel yang lain. Pada sampel tersebut memiliki ketebalan yang lebih besar apabila dibandingkan dengan sampel dengan suhu *annealing* yang lebih besar, tetapi memiliki nilai absorbansi yang kecil. Nilai absorbansi yang kecil tersebut terjadi dimungkinkan akibat adanya faktor lain yaitu adanya perubahan energi *gap*.

4.4 Penentuan Celah Energi

Penentuan celah energi atau energi *gap* pada film CuO dilakukan dengan menggunakan metode Tauc Plot. Metode Tauc Plot untuk menentukan nilai energi *gap* ini menggunakan karakteristik absorbansi yang diperoleh sebelumnya, yaitu dengan melakukan plot $(\alpha h\nu)^n$ dengan $h\nu$. Energi *gap* yang dihasilkan menggunakan transisi tidak langsung (Lim YF, 2014). Hal tersebut menunjukkan bahwa transisi elektron antara pita valensi

dan pita konduksi tidak terjadi langsung melainkan terjadi dengan menyerap dan memancarkan energi fonon. Energi *gap* memisahkan level energi konduksi dengan level energi valensi pada bahan semikonduktor. Hasil penentuan energi *gap* pada film CuO dapat menggambarkan transisi elektron yang berpindah. Energi *gap* ini juga tidak dipengaruhi oleh tebal dari suatu film (Timuda GE, 2010). Ketebalan film hanya mempengaruhi absorbansi film CuO. Berikut merupakan hasil perhitungan dan penentuan energi *gap* film CuO dengan menggunakan metode Tauc Plot

Tabel 4.2
penentuan nilai
gap sampel film

Sampel	Eg (eV)
Tanpa <i>Annealing</i>	1,61
T = 400 ⁰ C	1,57
T = 500 ⁰ C	1,59
T = 600 ⁰ C	1,44

Hasil
energi
CuO

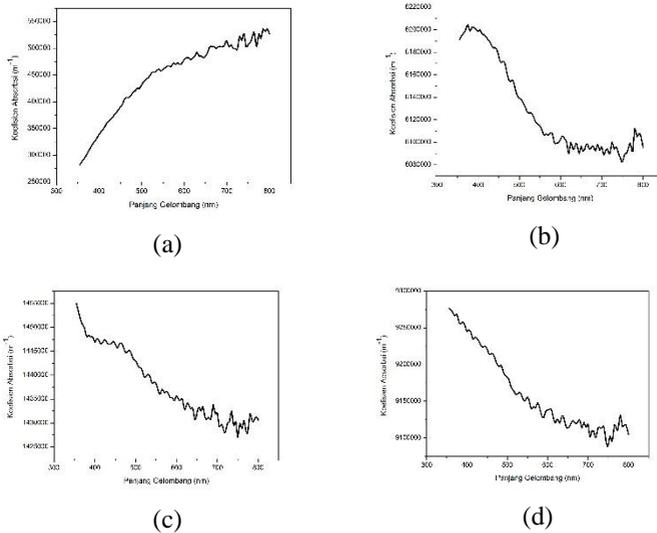
Tabel 4.2 menampilkan nilai energi *gap* dari sampel film CuO yang telah diberi perlakuan panas dengan variasi suhu. Perlakuan pemanasan *annealing* pada film CuO menunjukkan pada sampel tanpa *annealing* dan dengan *annealing* suhu 400⁰C dan 600⁰C menunjukkan perubahan nilai energi *gap* dengan nilai yang semakin berkurang ketika suhu *annealing* meningkat. Hal tersebut menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kualitas keteraturan dari susunan atom atau peningkatan kristalinitasnya. Sedangkan pada sampel pada suhu *annealing* 500⁰C memiliki nilai energi *gap* yang nilainya lebih besar apabila dibandingkan dengan sampel tanpa *annealing* dan dengan *annealing* suhu 400⁰C

dan 600°C tersebut menunjukkan sampel tersebut memiliki absorbansi yang rendah walaupun memiliki ketebalan sampel yang lebih besar. Nilai energi *gap* yang besar dari sampel dengan suhu *annealing* 500°C menyebabkan serapan energinya akan lebih kecil walaupun memiliki ketebalan sampel yang besar.

Berdasarkan hasil penentuan nilai energi *gap* dari masing-masing sampel yang telah diperoleh maka sampel dengan suhu *annealing* 600°C memiliki energi *gap* yang paling kecil yang dipilih dan dapat diaplikasikan pada sel surya karena dengan nilai energi *gap* yang kecil maka rentang serapan energinya akan lebih besar sehingga akan lebih banyak energi dari sinar matahari yang terserap. Dengan jumlah serapan yang lebih tinggi maka efisiensi dari sel surya diharapkan juga meningkat.

4.5 Koefisien Absorpsi

Absorpsi film pada panjang gelombang tertentu bergantung pada ketebalan film. Semakin tebal film yang dibuat maka semakin besar nilai absorbansi yang dihasilkan. Pada film CuO, memungkinkan terjadinya permukaan yang tidak rata sempurna sehingga menghasilkan ketebalan yang tidak sama walaupun perbedaan tersebut sangat kecil. Oleh karena itu diperlukan parameter lain untuk mengetahui tingkat serapan suatu bahan yaitu koefisien absorpsi. Koefisien absorpsi merupakan fungsi dari absorpsi dan ketebalan sehingga faktor ketebalan dapat diperhitungkan. Nilai koefisien absorpsi maksimum menunjukkan panjang gelombang absorpsi maksimum dan memiliki nilai transmisi minimum.

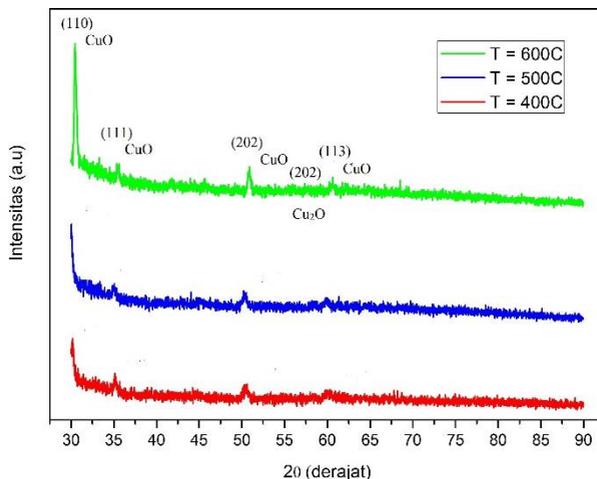


Gambar 4.2 Koefisien absorpsi film CuO(a) Tanpa *Annealing*(b) T = 400°C (c) T = 500°C (d) T = 600°C

Gambar 4.2 memperlihatkan koefisien absorpsi film CuO tanpa *annealing* dan dengan *annealing* suhu 400°C, 500°C, dan 600°C. Gambar tersebut menunjukkan bahwa film CuO dengan suhu *annealing* 600°C memiliki koefisien absorpsi yang paling tinggi dibandingkan dengan yang lain. Hal tersebut menunjukkan bahwa serapan dari sampel dengan *annealing* suhu 600°C akan lebih besar dan lebih baik diaplikasikan pada sel surya berkaitan dengan penyerapan energi matahari berdasarkan nilai dari ketebalan film. Selain itu apabila mempertimbangkan nilai ketebalan film yang lebih maka sampel dengan *annealing* suhu 600°C menjadi film dengan ketebalan yang dapat dipilih sebagai material sel surya karena dapat mengurangi bahan baku dan biaya produksi sel surya.

4.6 Hasil Karakterisasi X-Ray Diffraction (XRD)

Struktur kristal film CuO dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD). Berikut ini merupakan hasil pola difraksi film CuO yang telah di *annealing* pada suhu 400°C, 500°C, dan 600°C



Gambar 4.3 Pola difraksi film CuO.

Berdasarkan Gambar 4.2 yang menampilkan pola difraksi film CuO terlihat bahwa puncak pola difraksinya terlihat pada sudut sekitar 30°, 35°, 50°, dan 60°. Hal tersebut terjadi karena pada bidang kristal tersebut dominan sehingga hasil difraksi mengalami superposisi dengan fase yang sama. Superposisi dengan fase yang sama menghasilkan probabilitas terbentuknya CuO pada orientasi bidang-bidang tersebut semakin besar.

Berdasarkan pola difraksi pada Gambar 4.2 puncak intensitas difraksi meningkat seiring dengan peningkatan suhu *annealing*. Peningkatan suhu *annealing* mengakibatkan sebagian besar puncak-puncak yang terbentuk semakin tinggi (Srivastava S, 2013). Suhu *annealing* adalah suhu tahan yang bertujuan untuk

pembentukan struktur kristal dalam suatu bahan. Selama proses tersebut bahan mengalami deformasi ke struktur yang lebih setimbang dalam suhu tinggi. Proses *annealing* diawali dengan penyusunan kembali letak kristal maupun partikel. Proses selanjutnya adalah rekristalisasi, yaitu tergantikannya kisi oleh kisi baru. Orientasi kristal yang baru berbeda dengan orientasi kristal yang digantikan. Laju rekristalisasi bergantung pada jumlah deformasi sebelumnya, suhu *annealing*, dan kemurnian bahan. Proses akhir adalah pertumbuhan partikel yang ditandai dengan ukuran partikel mendekati ukuran kristal.

Tabel 4.3 Ukuran kristal dan kristalinitas film tipis CuO

Sampel	Ukuran Rata-rata Kristal (nm)	Kristalinitas
T = 400 ⁰ C	35,17	15,50%
T = 500 ⁰ C	36,69	15,56%
T = 600 ⁰ C	59,92	21,35%

Tabel 4.3 menunjukkan bahwa ukuran kristal dari film CuO semakin besar ketika suhu *annealing* meningkat karena tingkat keteraturan dari susunan keteraturan atomnya yang meningkat dan ketiga sampel film CuO dengan suhu *annealing* 400⁰C, 500⁰C dan 600⁰C, selain itu kristalinitasnya juga sebanding dengan meningkatnya ukuran kristal. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu *annealing* dari sampel film CuO maka kristalinitasnya akan semakin meningkat. Ukuran kristal yang semakin besar ketika suhu *annealing* meningkat ini membuktikan bahwa peningkatan ukuran kristal merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi perubahan nilai energi gap yang semakin berkurang ketika suhu *annealing* ditingkatkan.

Berdasarkan hasil karakterisasi XRD yang telah dilakukan pada film CuO yang telah dibuat dapat diketahui pula bahwa fasa CuO yang terbentuk adalah tenorite yang dianalisa menggunakan *software Match!*. Tenorite merupakan mineral oksida tembaga

atau CuO. Dari analisa CuO dari hasil XRD diketahui bahwa struktur dari CuO tersebut monoklinik dengan parameter kisi $a= 4,6927 \text{ \AA}$, $b= 3,4283 \text{ \AA}$, $c= 5,1370 \text{ \AA}$ dan $\beta= 99,546^\circ$. Selain CuO dari hasil analisa dari karakterisasi XRD film CuO yang telah dibuat terdapat pula senyawa Cu_2O yang merupakan fasa lain dari tembaga oksida CuO. Cu_2O yang terbentuk diketahui memiliki fase cuprite dengan struktur kubik dan parameter kisi $a= 4,2696 \text{ \AA}$.

Berdasarkan hasil karakterisasi XRD maka diketahui bahwa film CuO yang telah diberi perlakuan panas *annealing* memiliki dua fase, yaitu CuO dan Cu_2O . Fase Cu_2O yang muncul pada film hasil *annealing* menunjukkan bahwa tembaga oksida mungkin tidak mengalami oksidasi secara sempurna. Pada saat proses *annealing* terjadi perubahan Cu_2O menjadi CuO merupakan hasil difusi oksigen ke dalam film. Reaksi tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut:

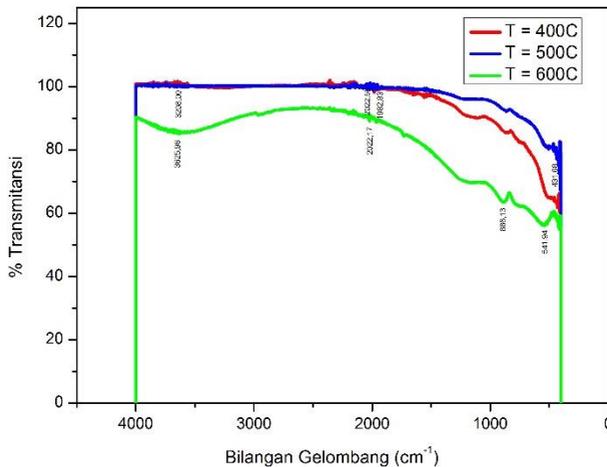


4.7 Hasil Karakterisasi *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

Karakterisasi FTIR film CuO bertujuan untuk mengetahui senyawa yang terbentuk dari hasil sintesis yang telah dilakukan. Berdasarkan karakterisasi FTIR yang telah dilakukan maka diperoleh data hubungan transmitansi dan bilangan gelombang dari sampel yang telah dikarakterisasi. Dari data tersebut kemudian dapat diketahui puncak dari nilai transmitansi dan bilangan gelombangnya yang kemudian dicocokkan dengan data karakteristik vibrasi senyawa yang sudah ada untuk mengetahui senyawa yang terbentuk beserta jenis vibrasi dari ikatan senyawa tersebut.

Karakterisasi FTIR pada film CuO dilakukan pada rentang bilangan gelombang 400 cm^{-1} sampai 4000 cm^{-1} . Dan dari hasil

yang diperoleh diketahui terdapat puncak yang terbentuk pada bilangan gelombang tertentu. Pada Gambar 4.4 terdapat beberapa puncak yang terbentuk pada bilangan gelombang $541,94\text{ cm}^{-1}$ dan $431,68\text{ cm}^{-1}$. Pada nilai bilangan gelombang tersebut merupakan daerah dengan bilangan gelombang yang sesuai dengan karakteristik vibrasi-*stretching* dari ikatan Cu-O pada CuO (M.A. Dar, 2008; B. Balamurugan, 2001). Sehingga dapat diketahui bahwa dari hasil sintesis telah terbentuk film CuO yang terlihat pada hasil karakterisasi FTIR.



Gambar 4.4 Hasil karakterisasi FTIR film CuO

Telah diketahui sebelumnya bahwa selain senyawa CuO, pada hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa terdapat senyawa Cu₂O yang terbentuk pada film CuO yang telah dibuat. Apabila dianalisa kembali mengenai senyawa Cu₂O tersebut pada hasil karakterisasi FTIR terdapat pada puncak bilangan gelombang $885,13\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan bahwa selain CuO

terdapat senyawa lain yang terbentuk dari sintesis dan deposisi film CuO yang telah dibuat. Sedangkan luasan daerah absorpsi pada bilangan gelombang sekitar $3625,96 \text{ cm}^{-1}$ terbentuk disebabkan adanya serapan molekul air karena pada permukaan nano kristal memiliki daya serap yang tinggi sehingga dapat menyerap air yang diakibatkan oleh kelembaban udara (Ashokan S., 2015).

4.8 Analisa Sampel Sebagai Material Penyusun Sel Surya

Analisa sampel film CuO yang telah dikarakterisasi dan dianalisa hasilnya, maka berdasarkan karakterisasi UV-Vis, XRD dan FTIR yang telah dilakukan diperoleh berbagai hasil analisa dengan berdasarkan parameter yang berkaitan dengan karakteristik CuO sebagai material penyusun sel surya. Parameter yang telah dianalisa yaitu absorpsi, ketebalan, energi *gap*, koefisien absorpsi, ukuran kristal dan kristalinitas. Dari berbagai parameter tersebut maka dapat ditentukan dari keempat sampel yang telah dibuat, sampel dengan kualitas paling baik yang dapat diterapkan dalam sel surya.

Berdasarkan absorpsi maka sampel tanpa *annealing* merupakan sampel yang paling bagus karena memiliki nilai absorpsi yang paling tinggi sehingga apabila diterapkan dalam sel surya diharapkan dapat menyerap lebih banyak cahaya matahari yang selanjutnya akan diubah sebagai energi listrik. Ketebalan dari material sel surya yang telah berkembang sebelumnya adalah sel surya berbasis film, dengan menggunakan film ini diharapkan dapat mengurangi banyaknya bahan baku pembuat sel surya sehingga dapat mengurangi biaya produksi dengan tanpa mengabaikan aspek absorpsivitas film tersebut terhadap cahaya matahari. Berdasarkan uraian tersebut maka dari

sampel $T = 600^{\circ}\text{C}$ dapat dipilih sebagai material sel surya karena memiliki ketebalan yang paling kecil.

Energi *gap* merupakan celah energi yang nantinya menjadi salah satu faktor penting pada pemilihan material sel surya. Maka berdasarkan hasil penentuan nilai energi *gap* dari film CuO yang telah dilakukan maka sampel $T = 600^{\circ}\text{C}$ dipilih karena memiliki nilai energi *gap* yang paling kecil sehingga diharapkan dapat memiliki rentang serapan energi dari cahaya matahari yang lebih besar pula. Sedangkan berdasarkan koefisien absorpsi maka sampel $T = 600^{\circ}\text{C}$ dipilih karena memiliki nilai yang paling besar sehingga diharapkan ketika digunakan sebagai material penyusun sel surya maka akan memiliki absorptivitas yang tinggi pula.

Parameter yang terakhir yaitu ukuran kristal dan kristalinitas dari film CuO yang telah dibuat. Berdasarkan analisa yang telah dilakukan maka dipilih material dengan ukuran kristal dan kristalinitas paling tinggi, yaitu sampel $T = 600^{\circ}\text{C}$. Dengan memilih material dengan ukuran kristal dan kristalinitas paling tinggi, cacat atau *defect* yang terdapat pada film yang telah dibuat akan lebih kecil dan diharapkan akan lebih banyak cahaya matahari yang terkonversi menjadi arus listrik sehingga efisiensi sel surya juga dapat meningkat.

Berdasarkan parameter absorptansi, ketebalan, energi *gap*, koefisien absorptansi, ukuran kristal dan kristalinitas yang telah dianalisis sesuai dengan kriteria sebagai material penyusun sel surya maka sampel 600°C merupakan sampel yang paling baik yang dapat diterapkan sebagai material penyusun sel surya

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dengan tahapan akuisisi data, pengolahan data dan interpretasi data, maka dapat disimpulkan:

1. Telah dilakukan sintesis film CuO dengan metode sol-gel *spin-coating*.
2. Absorbansi sampel film CuO yang dari yang terbesar adalah sampel tanpa *annealing*, *annealing* dengan suhu 400°C, 600°C, dan 500°C.
3. Ketebalan dari masing-masing sampel tanpa *annealing* dan dengan *annealing* suhu 400°C, 500°C, dan 600°C adalah sebesar 6,2 µm, 0,75 µm, 0,32 µm dan 0,50 µm.
4. Nilai energi *gap* dari masing-masing sampel tanpa *annealing* dan dengan *annealing* suhu 400°C, 500°C, dan 600°C adalah sebesar 1,61 eV, 1,57 eV, 1,59 eV, dan 1,44 eV.
5. Koefisiensi absorpsi terbesar dimiliki oleh sampel dengan *annealing* suhu 600°C.
6. Ukuran rata-rata kristal dari masing-masing sampel dengan *annealing* suhu 400°C, 500°C, dan 600°C adalah 36,16 nm, 36,68 nm, dan 59,92 nm.
7. Kristalinitas dari masing-masing sampel dengan *annealing* suhu 400°C, 500°C, dan 600°C adalah 15,50%, 15,56% dan 21,54%.
8. Senyawa yang terdapat pada film CuO yang telah dibuat adalah CuO dan Cu₂O.

Berdasarkan berbagai parameter yang telah ditinjau berdasarkan hasil karakterisasi sampel film CuO yang telah

dilakukan, maka sampel yang paling baik yang dapat digunakan sebagai material penyusun sel surya adalah sampel dengan suhu *annealing* 600°C.

5.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan, untuk kepentingan penelitian yang lebih baik kedepannya, penulis memberikan saran sebagai berikut:

1. Terdapat metode deposisi lain seperti *dip coating*, *spin casting* dan *casting* yang dapat digunakan membuat lapisan tipis, sebab seringkali film yang terbentuk menggunakan metode *spin coating* tidak rata dan ketebalan film yang dibuat tidak sama.
2. Penentuan nilai energi gap menggunakan Tauc Plot dapat dibandingkan dengan penentuan atau penghitungan nilai energi gap menggunakan metode lain untuk mengetahui tingkat keakuratan nilai energi gap yang diperoleh.
3. Perhitungan ketebalan lapisan menggunakan metode Swanepoel perlu dikonfirmasi dengan pengukuran ketebalan lapisan untuk mengetahui apakah hasil perhitungan dengan metode tersebut benar dan seberapa besar tingkat keakuratannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Akgul FA, A. G. (2014). Influence of Thermal Annealing on Microstructural, Morphological, Optical Properties and Surface Electronic Structure of Copper Oxide Thin Film. *Materials Chemistry and Physics*, 987-995.
- Ashokan S., P. V. (2015). Fabrication and Characterization of CuO Nanoparticles : Its Humidity Sensor Application. *South Asian Journal of Engineering and Technology*, 11-23.
- B. Balamurugan, B. M. (2001). Thin Solid Films. 90.
- Bilalodin. (2012). Pembuatan dan Penentuan Celah Pita Optik Film Tipis TiO₂. *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVI HFI Jateng & DIY*, (pp. ISSN 0853-0823). Purworejo.
- Chen P, H. G. (2015). Combining Randomly Textured Surfaces and One-dimensional Photonic Crystals as Efficient Light-Trapping Structures in Hydrogenated Amorphous Silicon Solar Cells. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 435-441.
- Gratzel, M. (2003). Dye-Sensitised Solar Cells. *Photochemistry and Photobiology*, 145-153.
- Gratzel, M. (2004). Conversion of Sunlight to Electric Power by Nanocrystalline Dye-Sensitized Solar Cells. *Photochemistry and Photobiologi A, Chemistry, Vol. 164*, 1-3.
- Ibrahim, I. A. (2010). Preparation of Silica Nanoparticles: Stober Silica. *Journal of American Science Vol. 6 (11)*, 985-989.
- Johan RM, S. M. (2011). Annealing Effects on the Properties of Copper Oxide Thin Films Prepared by Chemical Deposition. *International of Journal Electrochemical Science*, 6094-6104.
- Jundale D, P. S. (2011). Nanocrystalline CuO thin films for H₂S monitoring: microstructural and optoelectronic characterization. *Journal of Sensor Technology*, 36-46.
- Krane, K. (2008). *Fisika Modern*. Jakarta: Universitas Indonesia - Press.

- Lim YF, Chua CS, Lee CJJ, Chi D. (2014). Sol-gel Deposited Cu_2O Thin Film for Photoeatalytic Water Splitting. *Physics Chemistry*, 241-250.
- M.A. Dar, Y. K. (2008). Appl. Surf. Sci. 7477.
- N. Pimpabute, T. B. (2011). Determination of Optical Constan and Thicness of Amorphous GaP Thin Film. *Opt Appl. Vol XLI no 1*, 257-268.
- Niranjan S., P. B. (2009). Fundamental Understanding And Modeling of Spin-coating Process. *National Institute of Technology*.
- Papadimitropoulos G, V. N. (2005). Deposition and Characterization of Copper Oxide Thin Film. *Conference Series 10 dalam Second Conference on Microelectronics, Microsystem and Nanotechnology* (pp. 182-185). Journal of Physics.
- Paveena, L. A. (2010). Characterization and Magnetic Properties of Nanocrystalline CuFe_2O_4 , ZnFe_2O_4 Powder Prepared by Aloe Vera Extract Solution. *Current Applied Physics*, 101-108.
- Phumying, S. (2010). Nanocrystalline Spinel Ferrite (MFe_2O_4 , $\text{M}=\text{Ni, Co, Mn, Mg, Zn}$) Powder Prepared by Simple Aloe Vera Plan Extracted Solution Hydrothermal Route. *Materials Research Bulletine*, 2060-2065.
- Richardson, J. T. (1989). *Principles of Catalys Development*. New York: Plenum Press.
- Saputra, W. (2008). *Rancang Bangun Solar Cell Tracking System Mengoptimalkan Penyerapan Energi Matahari Pada Solar Cell*. Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Schroder, K. (2006). *Semiconductor Material and Device Characterization*. Canada: John Wiley & Sons.
- Srivastava S, K. M. (2013). Syntesis and Characterization of Copper Oxide Nanoparticles. *IOSR Journal of Applied Physics*, 61-65.

- Timuda GE, M. A. (2010). Pengaruh Ketebalan Terhadap Sifat Optik Lapisan Semikonduktor Cu₂O yang Dideposisikan dengan Metode Chemical Bath Deposition. *Jurnal Ilmu Pengetahuan dan telaah*, 1-5.
- Vikraman D, P. H. (2016). Magnetic, Structural and Optical Behavior of Cupric Oxide Layers for Solar Cells. *Journal of Alloys and Compounds*, 616-627.
- VT, T. T. (2016). Phase Transition of Cu₂O to CuO Nanocrystals by Selective Laser Heating. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 6-9.
- W. Nie, H. T.-C.-L. (2015). *Science*, 522-525.
- Wang, L. (2006). *Preparation and Characterization of Properties of Electrodeposited Copper Oxide Films*. Texas (US): The University of Texas At Arlington.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN A
TABEL PERHITUNGAN TEBAL FILM MENGGUNAKAN
PERSAMAAN SWANEPOEL

Tabel 1. Perhitungan ketebalan film tipis CuO

Sampel	T = 0°C	T = 400°C	T = 500°C	T = 600°C
TM ₁	92,118	106,352	107,131	108,947
TM ₂	92,065	99,236	106,978	103,739
Tm ₁	88,193	97,031	100,281	100,096
Tm ₂	89,632	97,499	100,65	100,592
λ_1 (nm)	760	780	445	530
λ_2 (nm)	730	575	425	390
N_1	1,56668	1,56829	1,56756	1,56803
N_2	1,56719	1,56647	1,56762	1,56682
n_1	1,46113	1,4632	1,46226	1,46286
n_2	1,46179	1,46086	1,46234	1,46132
n_k	1,46	1,46	1,46	1,46
l (μm)	6,25	0,75	0,32	0,50

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN B

TABEL PERHITUNGAN KOEFISIEN ABSORPSI DAN ENERGI GAP MENGGUNAKAN METODE TAUC PLOT

Tabel 1. Perhitungan metode Tauc Plot sampel tanpa *annealing*

T = 0°C				
λ (nm)	T	α	Eg (eV)	$(\alpha h\nu)^2$ ($10^{11} \text{ m}^{-1}\text{eV}$)²
355	0,171	282263,1	3,49	9,72
360	0,164	288943,2	3,44	9,91
365	0,159	293891,7	3,40	9,97
370	0,153	300039,5	3,35	10,11
375	0,146	307524,3	3,31	10,34
380	0,14	314231,1	3,26	10,51
385	0,134	321231,8	3,22	10,70
390	0,13	326075,3	3,18	10,75
395	0,125	332343,7	3,14	10,88
400	0,12	338868,1	3,10	11,04
405	0,116	344286,3	3,06	11,11
410	0,113	348474,1	3,02	11,11
415	0,108	355707,1	2,99	11,30
420	0,104	361738,9	2,95	11,41
425	0,102	364842,4	2,92	11,33
430	0,099	369613,6	2,88	11,36
435	0,096	374531,7	2,85	11,40
440	0,093	379605,8	2,82	11,44
445	0,09	384846,4	2,79	11,50
450	0,087	390264,7	2,76	11,56
455	0,084	395873,1	2,73	11,64
460	0,079	405681,3	2,70	11,96

465	0,078	407717,3	2,67	11,82
470	0,078	407717,3	2,64	11,57
475	0,076	411868,8	2,61	11,56
480	0,073	418305,5	2,58	11,68
485	0,072	420510	2,56	11,56
490	0,07	425012,4	2,53	11,57
495	0,07	425012,4	2,51	11,34
500	0,067	432013,1	2,48	11,48
505	0,065	436856,6	2,46	11,51
510	0,063	441851,5	2,43	11,54
515	0,062	444408,7	2,41	11,45
520	0,06	449649,3	2,38	11,50
525	0,058	455067,6	2,36	11,55
530	0,058	455067,6	2,34	11,34
535	0,057	457847,2	2,32	11,26
540	0,056	460676	2,30	11,19
545	0,057	457847,2	2,28	10,85
550	0,056	460676	2,25	10,79
555	0,055	463555,8	2,23	10,73
560	0,054	466488,4	2,21	10,67
565	0,054	466488,4	2,19	10,48
570	0,054	466488,4	2,18	10,30
575	0,052	472520,2	2,16	10,38
580	0,053	469475,8	2,14	10,07
585	0,052	472520,2	2,12	10,03
590	0,053	469475,8	2,10	9,74
595	0,052	472520,2	2,08	9,70
600	0,05	478788,6	2,07	9,79
605	0,049	482017,4	2,05	9,76

610	0,049	482017,4	2,03	9,60
615	0,05	478788,6	2,02	9,32
620	0,049	482017,4	2,00	9,29
625	0,048	485312,9	1,98	9,27
630	0,046	492114,9	1,97	9,38
635	0,048	485312,9	1,95	8,98
640	0,048	485312,9	1,94	8,84
645	0,049	482017,4	1,92	8,59
650	0,048	485312,9	1,91	8,57
655	0,046	492114,9	1,89	8,68
660	0,043	502893,6	1,88	8,93
665	0,043	502893,6	1,86	8,79
670	0,043	502893,6	1,85	8,66
675	0,044	499219,4	1,84	8,41
680	0,043	502893,6	1,82	8,41
685	0,043	502893,6	1,81	8,29
690	0,043	502893,6	1,80	8,17
695	0,042	506654,4	1,78	8,17
700	0,04	514452,2	1,77	8,30
705	0,043	502893,6	1,76	7,82
710	0,042	506654,4	1,75	7,83
715	0,044	499219,4	1,73	7,50
720	0,044	499219,4	1,72	7,39
725	0,044	499219,4	1,71	7,29
730	0,038	522650,1	1,70	7,88
735	0,04	514452,2	1,69	7,53
740	0,037	526912,3	1,68	7,80
745	0,043	502893,6	1,66	7,01
750	0,042	506654,4	1,65	7,02

755	0,041	510505,7	1,64	7,03
760	0,038	522650,1	1,63	7,27
765	0,037	526912,3	1,62	7,29
770	0,043	502893,6	1,61	6,56
775	0,037	526912,3	1,60	7,11
780	0,039	518498,6	1,59	6,79
785	0,035	535793,6	1,58	7,16
790	0,036	531291,3	1,57	6,95
795	0,035	535793,6	1,56	6,98
800	0,037	526912,3	1,55	6,67

Tabel 2. Perhitungan metode Tauc Plot sampel dengan *annealing* suhu 400°C

T = 400°C				
λ (nm)	T	α	Eg (eV)	$(\alpha h\nu)^2$ ($10^{11} \text{ m}^{-1}\text{eV}$)²
355	105,324	6191392	3,49	4676,96
360	105,579	6194607	3,44	4552,67
365	105,779	6197123	3,40	4432,39
370	106,039	6200387	3,35	4317,95
375	106,352	6204305	3,31	4208,89
380	105,928	6198994	3,26	4091,84
385	106,179	6202141	3,22	3990,30
390	106,147	6201740	3,18	3888,13
395	106,014	6200073	3,14	3788,29
400	105,891	6198530	3,10	3692,33
405	105,981	6199659	3,06	3603,04
410	105,689	6195991	3,02	3511,54
415	105,661	6195639	2,99	3427,04
420	105,468	6193209	2,95	3343,31

425	105,3	6191089	2,92	3262,87
430	105,057	6188018	2,88	3184,27
435	104,768	6184355	2,85	3107,80
440	104,751	6184140	2,82	3037,36
445	104,615	6182412	2,79	2967,83
450	104,133	6176273	2,76	2896,49
455	103,708	6170836	2,73	2828,19
460	103,793	6171925	2,70	2768,02
465	103,627	6169797	2,67	2706,94
470	102,962	6161238	2,64	2642,31
475	102,478	6154974	2,61	2581,72
480	102,445	6154546	2,58	2527,86
485	102,452	6154636	2,56	2476,08
490	101,891	6147337	2,53	2420,05
495	101,45	6141570	2,51	2366,96
500	101,267	6139170	2,48	2318,05
505	101,153	6137672	2,46	2271,27
510	100,899	6134330	2,43	2224,52
515	100,615	6130582	2,41	2178,88
520	100,305	6126480	2,38	2134,32
525	100,291	6126294	2,36	2093,73
530	100,228	6125459	2,34	2053,85
535	99,988	6122272	2,32	2013,54
540	99,628	6117476	2,30	1973,33
545	99,537	6116261	2,28	1936,52
550	99,395	6114363	2,25	1900,29
555	99,126	6110760	2,23	1864,01
560	98,789	6106233	2,21	1828,16
565	98,869	6107309	2,19	1796,58

570	98,794	6106300	2,18	1764,61
575	98,928	6108102	2,16	1735,08
580	98,871	6107336	2,14	1704,87
585	98,309	6099757	2,12	1671,69
590	98,264	6099149	2,10	1643,15
595	98,315	6099839	2,08	1616,02
600	98,542	6102905	2,07	1590,79
605	98,722	6105331	2,05	1565,85
610	98,563	6103188	2,03	1539,21
615	98,286	6099446	2,02	1512,43
620	97,599	6090121	2,00	1483,58
625	98,306	6099717	1,98	1464,54
630	97,866	6093753	1,97	1438,57
635	98,068	6096494	1,95	1417,28
640	98,197	6098242	1,94	1396,02
645	97,602	6090162	1,92	1370,82
650	98,065	6096454	1,91	1352,61
655	97,731	6091918	1,89	1330,05
660	98,017	6095803	1,88	1311,65
665	98,214	6098472	1,86	1293,13
670	97,873	6093848	1,85	1271,97
675	98,006	6095654	1,84	1253,94
680	98,055	6096318	1,82	1235,84
685	97,765	6092380	1,81	1216,29
690	98,196	6098228	1,80	1201,03
695	97,815	6093060	1,78	1181,80
700	98,043	6096155	1,77	1166,16
705	97,499	6088758	1,76	1146,89
710	97,837	6093359	1,75	1132,51

715	97,773	6092489	1,73	1116,40
720	97,611	6090284	1,72	1100,15
725	98,336	6100123	1,71	1088,54
730	97,87	6093807	1,70	1071,46
735	98,047	6096210	1,69	1057,76
740	97,632	6090570	1,68	1041,59
745	97,31	6086179	1,66	1026,17
750	97,031	6082361	1,65	1011,27
755	97,526	6089126	1,64	1000,14
760	97,616	6090353	1,63	987,42
765	98,011	6095721	1,62	976,27
770	98,217	6098513	1,61	964,52
775	97,754	6092231	1,60	950,15
780	99,236	6112235	1,59	944,18
785	98,701	6105048	1,58	930,00
790	98,909	6107847	1,57	919,11
795	98,688	6104873	1,56	906,70
800	97,999	6095559	1,55	892,67

Tabel 3. Perhitungan metode Tauc Plot sampel dengan *annealing* suhu 500°C

T = 500°C				
λ (nm)	T	α	Eg (eV)	$(\alpha h\nu)^2 (10^{11} \text{ m}^{-1} \text{ eV})^2$
355	109,752	1454928	3,49	258,27
360	109,149	1453222	3,44	250,55
365	108,565	1451560	3,40	243,18
370	108,205	1450532	3,35	236,32
375	107,938	1449767	3,31	229,81
380	107,344	1448058	3,26	223,28

385	107,422	1448283	3,22	217,58
390	107,33	1448017	3,18	211,96
395	107,314	1447971	3,14	206,62
400	106,945	1446904	3,10	201,19
405	107,197	1447633	3,06	196,45
410	107,086	1447312	3,02	191,60
415	106,827	1446563	2,99	186,82
420	106,96	1446948	2,95	182,49
425	107,131	1447443	2,92	178,35
430	106,894	1446757	2,88	174,06
435	106,794	1446467	2,85	170,01
440	106,862	1446664	2,82	166,22
445	106,978	1447000	2,79	162,58
450	106,789	1446452	2,76	158,86
455	106,512	1445648	2,73	155,22
460	106,79	1446455	2,70	152,03
465	106,865	1446673	2,67	148,83
470	106,556	1445776	2,64	145,50
475	106,199	1444737	2,61	142,24
480	106,282	1444979	2,58	139,34
485	106,345	1445162	2,56	136,52
490	106,038	1444267	2,53	133,58
495	105,684	1443231	2,51	130,71
500	105,585	1442941	2,48	128,06
505	105,276	1442033	2,46	125,38
510	105,129	1441601	2,43	122,86
515	105,011	1441253	2,41	120,42
520	104,487	1439704	2,38	117,86
525	104,471	1439656	2,36	115,62

530	104,638	1440151	2,34	113,53
535	104,467	1439645	2,32	111,34
540	104,029	1438343	2,30	109,09
545	104,086	1438513	2,28	107,12
550	103,976	1438186	2,25	105,14
555	103,512	1436801	2,23	103,05
560	103,24	1435986	2,21	101,10
565	103,598	1437058	2,19	99,47
570	103,343	1436295	2,18	97,63
575	103,449	1436612	2,16	95,98
580	103,281	1436109	2,14	94,27
585	103,009	1435292	2,12	92,56
590	102,99	1435235	2,10	90,99
595	102,808	1434687	2,08	89,40
600	103,135	1435671	2,07	88,03
605	102,877	1434895	2,05	86,49
610	102,862	1434850	2,03	85,07
615	102,848	1434808	2,02	83,69
620	102,165	1432744	2,00	82,11
625	102,58	1434000	1,98	80,94
630	102,518	1433812	1,97	79,64
635	102,26	1433032	1,95	78,31
640	102,236	1432959	1,94	77,08
645	101,47	1430630	1,92	75,64
650	101,916	1431989	1,91	74,63
655	102,348	1433298	1,89	73,63
660	102,101	1432550	1,88	72,44
665	102,394	1433438	1,86	71,44
670	101,601	1431030	1,85	70,14

675	101,577	1430957	1,84	69,10
680	101,593	1431006	1,82	68,09
685	101,592	1431003	1,81	67,10
690	102,51	1433788	1,80	66,39
695	101,88	1431879	1,78	65,27
700	101,955	1432107	1,77	64,36
705	101,005	1429208	1,76	63,19
710	101,19	1429775	1,75	62,35
715	100,779	1428514	1,73	61,38
720	100,65	1428118	1,72	60,49
725	101,289	1430078	1,71	59,83
730	101,4	1430417	1,70	59,04
735	102,075	1432471	1,69	58,40
740	101,069	1429404	1,68	57,37
745	101,35	1430264	1,66	56,67
750	100,281	1426980	1,65	55,66
755	101,248	1429952	1,64	55,16
760	100,873	1428803	1,63	54,35
765	101,446	1430557	1,62	53,77
770	100,701	1428275	1,61	52,90
775	100,785	1428533	1,60	52,24
780	101,892	1431916	1,59	51,82
785	101,419	1430475	1,58	51,06
790	101,443	1430548	1,57	50,42
795	101,698	1431325	1,56	49,84
800	101,46	1430600	1,55	49,17

Tabel 4. Perhitungan metode Tauc Plot sampel dengan
annealing suhu 600°C

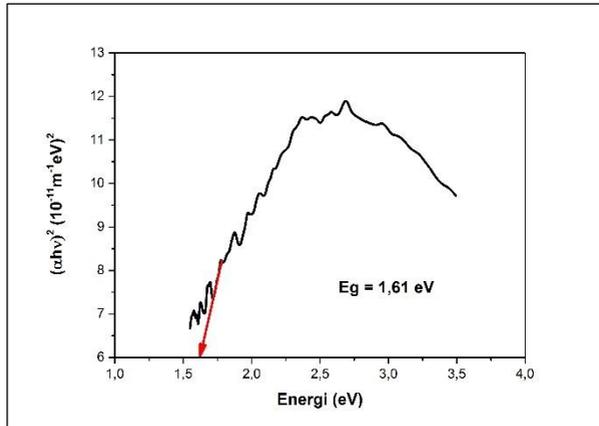
T = 600°C				
λ (nm)	T	α	Eg (eV)	$(\alpha h\nu)^2 (10^{11} \text{ m}^{-1} \text{ eV})^2$
355	109,945	9276399	3,49	10498,94
360	109,839	9274495	3,44	10205,14
365	109,603	9270250	3,40	9918,37
370	109,387	9266356	3,35	9644,02
375	109,53	9268935	3,31	9393,78
380	108,911	9257749	3,26	9126,14
385	108,812	9255954	3,22	8887,19
390	108,947	9258401	3,18	8665,35
395	108,631	9252668	3,14	8436,90
400	108,23	9245369	3,10	8214,32
405	108,345	9247465	3,06	8016,39
410	108,102	9243033	3,02	7814,56
415	107,641	9234598	2,99	7613,48
420	107,785	9237237	2,95	7437,53
425	107,67	9235130	2,92	7260,25
430	107,447	9231038	2,88	7086,10
435	107,143	9225446	2,85	6915,75
440	107,049	9223713	2,82	6756,93
445	107,119	9225004	2,79	6607,79
450	106,891	9220798	2,76	6455,88
455	106,539	9214288	2,73	6305,86
460	106,551	9214510	2,70	6169,82
465	106,526	9214047	2,67	6037,24
470	106,147	9207012	2,64	5900,45
475	105,777	9200121	2,61	5768,24

480	105,636	9197488	2,58	5645,46
485	105,693	9198553	2,56	5530,94
490	105,231	9189906	2,53	5408,46
495	104,951	9184648	2,51	5293,68
500	104,857	9182879	2,48	5186,34
505	104,584	9177734	2,46	5078,45
510	104,079	9168180	2,43	4969,00
515	103,908	9164935	2,41	4869,54
520	103,63	9159647	2,38	4770,83
525	103,656	9160142	2,36	4680,90
530	103,739	9161722	2,34	4594,58
535	103,576	9158618	2,32	4506,05
540	103,202	9151479	2,30	4416,09
545	103,204	9151517	2,28	4335,47
550	103,432	9155873	2,25	4261,06
555	103,043	9148436	2,23	4177,83
560	102,554	9139047	2,21	4095,14
565	102,736	9142546	2,19	4026,07
570	102,647	9140836	2,18	3954,26
575	103,033	9148244	2,16	3892,09
580	102,638	9140663	2,14	3818,94
585	102,103	9130348	2,12	3745,47
590	101,97	9127775	2,10	3680,18
595	102,404	9136158	2,08	3625,24
600	102,505	9138104	2,07	3566,59
605	102,575	9139451	2,05	3508,91
610	102,47	9137430	2,03	3450,10
615	101,813	9124734	2,02	3384,80
620	101,641	9121397	2,00	3328,00

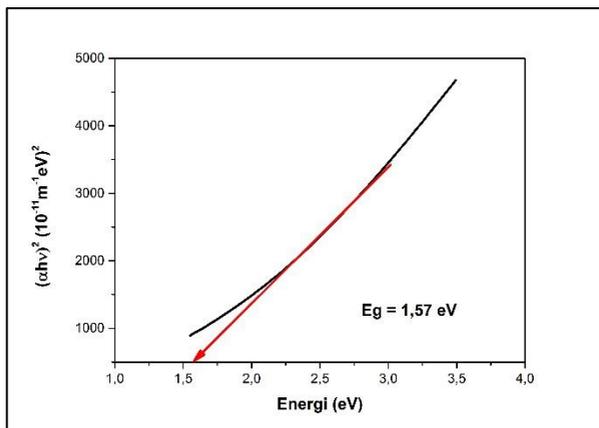
625	101,866	9125761	1,98	3278,10
630	101,575	9120115	1,97	3222,28
635	102,07	9129710	1,95	3178,41
640	101,943	9127253	1,94	3127,26
645	101,364	9116011	1,92	3071,38
650	101,251	9113809	1,91	3022,85
655	101,383	9116381	1,89	2978,56
660	101,686	9122271	1,88	2937,39
665	101,695	9122445	1,86	2893,49
670	101,529	9119221	1,85	2848,45
675	101,695	9122445	1,84	2808,40
680	101,759	9123687	1,82	2768,00
685	101,258	9113946	1,81	2721,92
690	101,628	9121145	1,80	2686,85
695	101,28	9114374	1,78	2644,40
700	101,5	9118657	1,77	2609,21
705	100,621	9101490	1,76	2562,65
710	101,054	9109965	1,75	2531,40
715	100,867	9106310	1,73	2494,11
720	100,592	9100921	1,72	2456,68
725	101,281	9114394	1,71	2430,09
730	101,228	9113361	1,70	2396,38
735	101,312	9114998	1,69	2364,73
740	101,24	9113595	1,68	2332,17
745	100,187	9092959	1,66	2290,56
750	100,096	9091165	1,65	2259,23
755	100,676	9102569	1,64	2235,00
760	100,309	9095361	1,63	2202,20
765	101,461	9117899	1,62	2184,29

770	101,189	9112600	1,61	2153,51
775	101,268	9114141	1,60	2126,53
780	102,136	9130986	1,59	2107,12
785	101,329	9115329	1,58	2073,24
790	101,474	9118151	1,57	2048,34
795	101,348	9115699	1,56	2021,57
800	100,792	9104841	1,55	1991,63

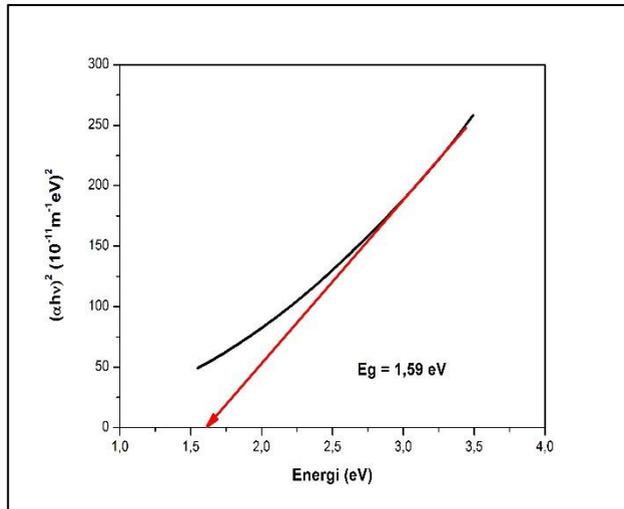
LAMPIRAN C
GRAFIK PENENTUAN ENERGI GAP MENGGUNAKAN
METODE TAUC PLOT



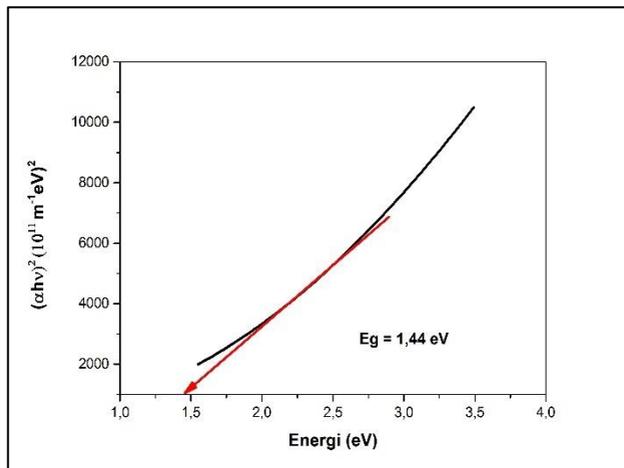
Gambar 1. Penentuan energi *gap* sampel tanpa *annealing*.



Gambar 2. Penentuan energi *gap* sampel dengan *annealing* suhu 400°C .



Gambar 3. Penentuan energi *gap* sampel dengan *annealing* suhu 500°C.



Gambar 4. Penentuan energi *gap* sampel dengan *annealing* suhu 600°C.

LAMPIRAN D
PERHITUNGAN UKURAN KRISTAL MENGGUNAKAN
PERSAMAAN SCHERER

Tabel 1. Perhitungan ukuran kristal sampel dengan *annealing*suhu 400°C

T = 0°C		
2θ	FWHM	Ukuran Kristal (nm)
30 ⁰	0,2007	45,80
35 ⁰	0,2007	48,37
51 ⁰	0,4684	26,69
60 ⁰	0,8029	19,81
Rata-rata		35,17

Tabel 2. Perhitungan ukuran kristal sampel dengan *annealing*suhu 500°C

T = 500°C		
2θ	FWHM	Ukuran Kristal (nm)
30 ⁰	0,1171	78,43
35 ⁰	0,4015	24,15
45 ⁰	0,8029	14,03
50 ⁰	0,3346	37,15
60 ⁰	0,5353	29,69
Rata-rata		36,69

Tabel 3. Perhitungan ukuran kristal sampel dengan *annealing*suhu 600°C

T = 600°C		
2θ	FWHM	Ukuran Kristal (nm)
30 ⁰	0,1338	68,88
35 ⁰	0,2676	36,45
51 ⁰	0,3346	37,58

61 ⁰	0,1673	96,75
Rata-rata		59,92

LAMPIRAN E

PENCOCOKAN FASE HASIL KARAKTERISASI XRD

Matched Phases

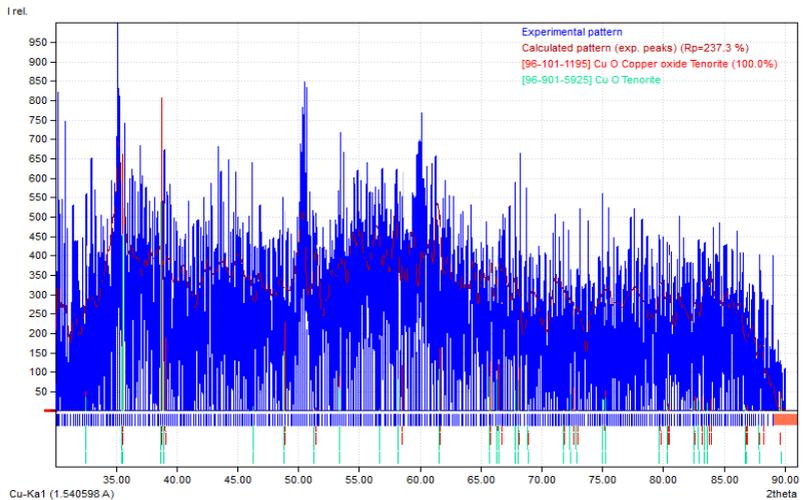
Index	Amount (%)	Name	Formula sum
A	70.0	Tenorite	Cu ₂ O
B	30.0	Cuprite	Cu ₂ O
	90.9	Unidentified peak area	

A: Tenorite (70.0 %)

Formula sum Cu₂O
 Entry number 96-901-6327
 Figure-of-Merit (FoM) 0.773477
 Total number of peaks 42
 Peaks in range 34
 Peaks matched 33
 Intensity scale factor 0.76
 Space group C 1 c 1
 Crystal system monodinic
 Unit cell a= 4.6927 Å b= 3.4283 Å c= 5.1370 Å β= 99.546 °
 I/lor 4.90
 Calc. density 6.482 g/cm³
 Reference Asbrink S., Waskowska A., "Cu₂O: x-rays single-crystal structure determination at 196 K and room temperature Note: T = room temperature", Journal of Physics: Condensed Matter 3, 8173-8180 (1991)

B: Cuprite (30.0 %)

Formula sum Cu₂O
 Entry number 96-900-5770
 Figure-of-Merit (FoM) 0.734936
 Total number of peaks 11
 Peaks in range 8
 Peaks matched 8
 Intensity scale factor 0.73
 Space group P n -3
 Crystal system cubic
 Unit cell a= 4.2696 Å
 I/lor 11.02
 Calc. density 6.105 g/cm³
 Reference Hafner S. S., Nagel S., "The electric field gradient at the position of copper in Cu₂O and electronic charge density analysis by means of K-factors", Physics and Chemistry of Minerals 9, 19-22 (1983)



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Nama lengkap penulis yaitu Siti Fatimah, dengan nama panggilan Ima. Penulis dilahirkan di Kediri, 11 April 1997, merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Ayah penulis bernama Muh. Ibrahim dan Ibu bernama Nur Laili. Saat ini penulis tinggal di RT 003 RW 003Dsn. Budi Mulya Desa Branggahan Kecamatan Ngadiluwih Kabupaten Kediri. Penulis telah menempuh pendidikan formal di RA

Raudatul Athfal, MI An-Nidhom, MTsN 2 Kota Kediri, dan Man 3 Kota Kediri. Setelah lulus dari SMA pada tahun 2015 penulis diterima di Departemen Fisika Fakultas Sains ITS dan terdaftar sebagai mahasiswa dengan NRP 01111540000086.

Selama duduk di bangku kuliah penulis aktif mengikuti kegiatan perkuliahan dan organisasi. Di departemen Fisika ini penulis mengambil bidang studi Material. Penulis pernah menjadi asisten laboratorium Elektronika Dasar 1 dan 2, dan menjadi asisten dosen Fisika Dasar 1 dan 2. Penulis pernah aktif dalam organisasi di Kesejahteraan Mahasiswa (KESMA) dan *Physics Summit* Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMASIKA) ITS serta Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa (PSDM) Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) ITS.

E-mail : stefatimah@gmail.com

“Halaman ini sengaja dikosongkan”