

**SINTESIS LAPISAN TITANIUM DIOXIDE DENGAN DOPING
GANDA COPPER-SILVER UNTUK APLIKASI FOTOANODA
DYE SENSITIZED SOLAR CELL**

Skripsi



diajukan oleh

**Jijim Fadilla Warman
1510442024**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS ANDALAS
PADANG**

2020

**SINTESIS LAPISAN TITANIUM DIOXIDE DENGAN DOPING
GANDA COPPER-SILVER UNTUK APLIKASI FOTOANODA
DYE SENSITIZED SOLAR CELL**

Skripsi

**Karya tulis sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains
dari Universitas Andalas**



diajukan oleh

**Jijim Fadilla Warman
1510442024**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS ANDALAS
PADANG**

2020

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Judul Skripsi

: Sintesis Lapisan Titanium Dioxide Dengan Doping Ganda Copper-Silver Untuk Aplikasi Fotoanoda Dye Sensitized Solar Cell

Nama Mahasiswa

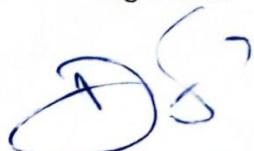
: Jijim Fadilla Warman

Nomor BP

: 1510442024

Telah disetujui untuk diseminarkan pada tanggal Maret 2020 oleh,

Pembimbing Utama



Dr. Dahyunir Dahlia
NIP:196811281995121002

SKRIPSI

**SINTESIS LAPISAN TITANIUM DIOXIDE DENGAN DOPING GANDA
COPPER-SILVER UNTUK APLIKASI FOTOANODA DYE SENSITIZED
SOLAR CELL**

disusun oleh :

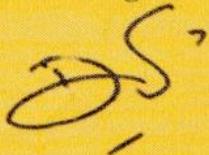
Jijim Fadilla Warman
1510442024

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji

Pada tanggal 13 Maret 2020

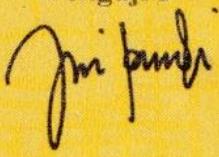
Tim Penguji

Pembimbinga Utama



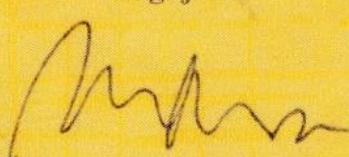
Dr. Dahyunir Dahlan
NIP.196811281995121002

Penguji I



Dr. Dwi Puryanti
NIP. 196904191997022001

Penguji II



Dr. Elvaswer
NIP. 197005121998021001

Penguji III



Ardian Putra, M.Si.
NIP.198304222005011002

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Saya mahasiswa Universitas Andalas yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Jijim Fadilla Warman
No.Bp : 1510442024
Program Studi : S1 Fisika
Fakultas : MIPA
Jenis Tugas Akhir : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Andalas hak atas publikasi *online* Tugas Akhir saya yang berjudul:

Sintesis Lapisan Titanium Dioxide Dengan Doping Ganda Copper-Silver Untuk Aplikasi Fotoanoda Dye Sensitized Solar Cell

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Universitas Andalas juga berhak untuk menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola, merawat, dan mempublikasikan karya saya tersebut di atas selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemiliki Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di Padang pada tanggal, 5 Maret 2020
Yang menyatakan,

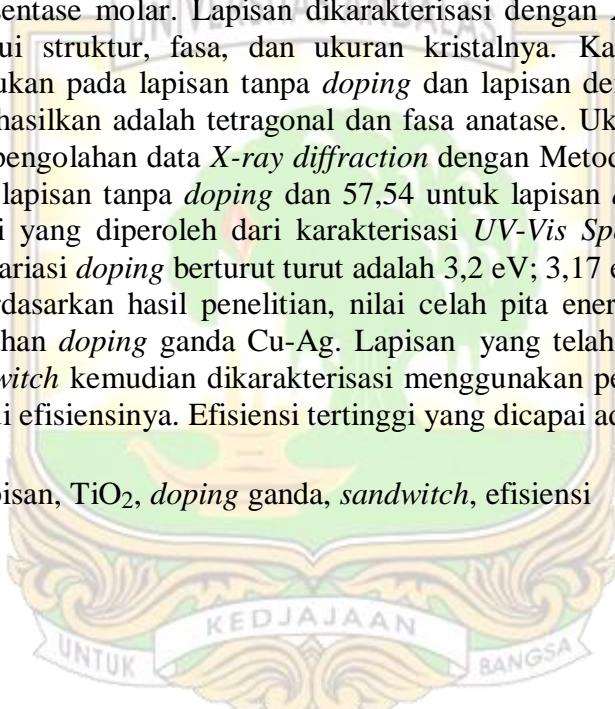

(Jijim Fadilla Warman)
NIM. 1510442024

**SINTESIS LAPISAN TITANIUM DIOXIDE DENGAN DOPING GANDA
COPPER-SILVER UNTUK APLIKASI FOTOANODA DYE SENSITIZED
SOLAR CELL**

ABSTRAK

Lapisan TiO_2 dengan *doping* ganda Cu-Ag untuk aplikasi fotoanoda *Dye Sintized Solar Cell* telah disintesis. Lapisan disintesis dengan metode *Doctor Blade* dengan variasi konsentrasi *doping* Cu-Ag sebesar 0%, 1%, 2%, 3%, dan 4% berdasarkan persentase molar. Lapisan dikarakterisasi dengan *X-ray Diffraction* untuk mengetahui struktur, fasa, dan ukuran kristalnya. Karakterisasi *X-ray diffraction* dilakukan pada lapisan tanpa *doping* dan lapisan dengan *doping* 1%. Struktur yang dihasilkan adalah tetragonal dan fasa anatase. Ukuran kristal yang didapatkan dari pengolahan data *X-ray diffraction* dengan Metode *Scherer* adalah 58,74 nm untuk lapisan tanpa *doping* dan 57,54 untuk lapisan *doping* 1%. Nilai celah pita energi yang diperoleh dari karakterisasi *UV-Vis Spectrometry* untuk masing masing variasi *doping* berturut turut adalah 3,2 eV; 3,17 eV; 3,15 eV; 3,13 eV; 3,1 eV. Berdasarkan hasil penelitian, nilai celah pita energi semakin kecil dengan penambahan *doping* ganda Cu-Ag. Lapisan yang telah disusun menjadi DSSC tipe *sandwitch* kemudian dikarakterisasi menggunakan perangkat *I-V Test* untuk mengetahui efisiensinya. Efisiensi tertinggi yang dicapai adalah 2,46%.

Kata Kunci : Lapisan, TiO_2 , *doping* ganda, *sandwitch*, efisiensi

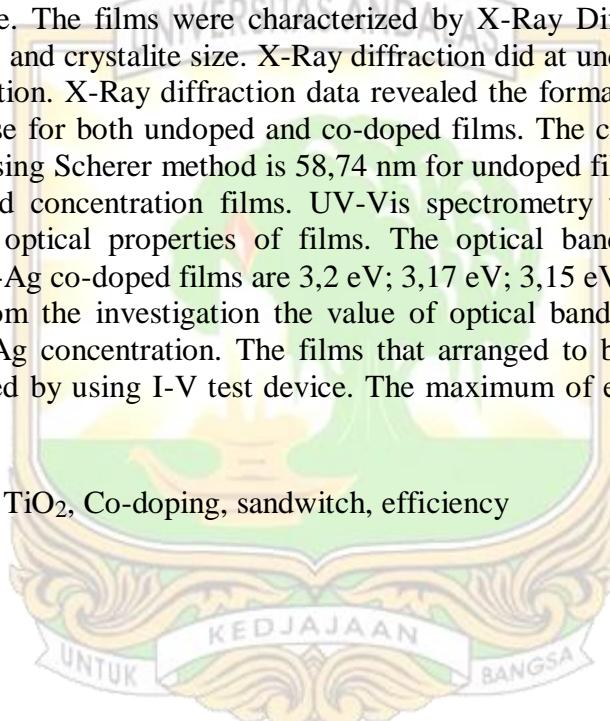


**SYNTHESIS OF COPPER-SILVER CO-DOPED TITANIUM DIOXIDE
FOR PHOTOANODE OF DYE SENTISIZED SOLAR CELL
APPLICATION**

ABSTRACT

Cu-Ag co-doped TiO_2 film for photoanode of Dye Sensitized Solar Cell application have been synthesized. The film were synthetized by using Doctor Blade method with different concentration of Cu-Ag (0, 1, 2, 3, 4)% based on molar percentage. The films were characterized by X-Ray Diffraction for their structural, phase, and crystallite size. X-Ray diffraction did at undoped and 1% co-doped concentration. X-Ray diffraction data revealed the formation of tetragonal and anatase phase for both undoped and co-doped films. The crystallite size that determined by using Scherer method is 58,74 nm for undoped films and 57,54 nm for 1% co-doped concentration films. UV-Vis spectrometry was used for the characterization optical properties of films. The optical band gap values for undoped and Cu-Ag co-doped films are 3,2 eV; 3,17 eV; 3,15 eV; 3,13 eV; 3,1 eV respectively. From the investigation the value of optical band gap decrease by increase of Cu-Ag concentration. The films that arranged to be sandwich type then characterized by using I-V test device. The maximum of efficiency reached 2,46%.

Keyword : Film, TiO_2 , Co-doping, sandwich, efficiency



KATA PENGANTAR

Segala puji hanya bagi Allah Subhana Wa Ta'ala yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi berjudul **“Sintesis Lapisan Titanium Dioxide Dengan Doping Ganda Copper-Silver Untuk Aplikasi Fotoanoda Dye Sensitized Solar Cell”**. Skripsi ini ditulis sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) dari Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas. Selesainya penulisan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada,

1. Kedua orang tua yang telah membesarkan ananda dengan tulus dan kasih sayang mendidik dan memotivasi serta memberikan bantuan materil selama berlangsungnya perkuliahan.
2. Bapak Dr. Dahyunir Dahlan selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktunya dan sabar memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Elvaswer, Ibu Dr. Dwi Puryanti, dan Bapak Ardian Putra, M.Si. selaku dosen penguji yang telah memberikan kritikan, arahan serta saran untuk kebaikan katya ini. Sehingga penulis mendapatkan tambahan ilmu yang sangat berharga, karena tanpa masukan dari Bapak dan Ibu karya ini tidak bisa lebih baik.

4. Bapak Rahmad Rasyid, M.Si. selaku penasehat akademik yang telah meluangkan waktunya memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan pendidikan di bangku perkuliahan.
5. Bapak Dr. rer. Nat. Muldarisnur selaku ketua Jurusan Fisika, serta seluruh dosen dan staf pegawai Jurusan Fisika (Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Universitas Andalas).
6. Rekan-rekan seperjuangan di Jurusan Fisika yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang konstruktif agar skripsi ini bias menjadi lebih baik. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan bagi pembaca.

Padang, 17 Maret 2020

Jijim Fadilla Warman

DAFTAR ISI

	halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan dan manfaat penelitian.....	3
1.3 Ruang lingkup dan batasan masalah	4
BAB II LANDASAN TEORI	5
2.1 <i>Dye sensitized solar cells</i> (DSSC)	5
2.1.1 Komponen	5
2.1.2 Prinsip kerja.....	10
2.2 Titanium dioksida dan lapisan Titanium Dioksida	11
2.3 <i>Doping</i> Titanium Dioksida untuk DSSC.....	12
2.4 Metode <i>Doctor Blade</i>	13
2.5 <i>Copper</i> (Cu)	14
2.6 <i>Silver</i> (Ag)	14
2.7 Karakterisasi arus dan tegangan (I-V).....	15
2.8 <i>X-Ray Difraction</i>	17
2.9 Mikroskop Optik	18
2.10 <i>UV-Vis Spectrometry</i>	19
BAB III METODE PENELITIAN	21
3.1 Waktu dan Tempat	21
3.2 Alat dan Bahan.....	22
3.2.1 Alat.....	22

3.2.2 Bahan.....	23
3.3 Prosedur penelitian.....	26
3.3.1 Persiapan substrat.....	26
3.3.2 Pembersihan botol sampel	27
3.3.3 Pembuatan pasta TiO ₂	28
3.3.4 Persiapan <i>doping</i>	29
3.3.5 Pembuatan pasta sampel.....	29
3.3.6 Pendeposisian pasta sampel pada substrat ITO	32
3.3.7 Pembuatan <i>dye</i> alami.....	32
3.3.8 Pembuatan <i>Device Sel Surya Tipe Sandwich</i>	33
3.4 Karakterisasi	34
3.5 Analisis Data	34
3.5.1 I-V Test.....	34
3.5.2 <i>X-Ray Diffraction</i>	34
3.5.3 <i>UV-Vis Spectrometry</i>	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1 Analisis morfologi permukaan lapisan.....	36
4.2 Analisis nilai absorbansi dan celah pita energi.....	37
4.3 Analisis nilai efisiensi sel surya	39
4.4 Analisis ukuran kristal dan struktur kristal.....	42
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	45
5.1 Kesimpulan	45
5.2 Saran.....	45
DAFTAR PUSTAKA.....	46
LAMPIRAN	50

DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar 2.1 Struktur DSSC.....	5
Gambar 2.2 Struktur Fasa TiO ₂	7
Gambar 2.3 Fotoelektroda nanopartikel tersensitasi zat pewarna (a) gambar karakterisasi SEM lapisan nanopartikel TiO ₂ (b) absorsi dari sebuah molekul <i>dye</i> pada TiO ₂ melewati dua dari empat kelompok <i>carboxylate</i> ...	8
Gambar 2.4 Skema tingkat energi DSSC	9
Gambar 2.5 Deposi lapisan tipis menggunakan teknik <i>Doctor Blade</i>	13
Gambar 2.6 Karakteristik I-V pada sel surya	15
Gambar 2.7 Difraksi sinar-X dalam Kristal	17
Gambar 2.8 Skema SEM.....	18
Gambar 2.9 Spektrometer UV-Vis	19
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	20
Gambar 3.2 Diagram alir persiapan substrat ITO	27
Gambar 3.3 Diagram alir persiapan botol sampel	28
Gambar 3.4 Proses pembuatan pasta TiO ₂	29
Gambar 3.5 (a) <i>Device</i> sel surya tipe <i>sandwich</i> (b) Skema I-V	34
Gambar 4.1 Hasil mikroskop optik (a) <i>Doping</i> 0% (b) <i>Doping</i> 1% (c) <i>Doping</i> 2% (d) <i>Doping</i> 3% (e) <i>Doping</i> 4%	36
Gambar 4.2 Grafik gabungan <i>UV-Vis Spectometry</i> semua variasi sampel.....	38
Gambar 4.3 Hubungan variasi <i>doping</i> dengan celah pita energi TiO ₂	39
Gambar 4.4 Grafik I-V gabungan semua variasi sampel pada intensitas cahaya 300 lux, 700 lux, dan 1100 lux.....	40

Gambar 4.5 Grafik pengaruh *doping* terhadap efisiensi sel surya pada intensitas cahaya 300 lux, 700 lux, dan 1100 lux 42

Gambar 4.6 Hasil uji XRD sampel TiO₂ tanpa *doping* dan *doping* 1% 43

Gambar 4.7 Pola XRD sampel (a) tanpa *doping* (b) *doping* 1% 43



DAFTAR TABEL

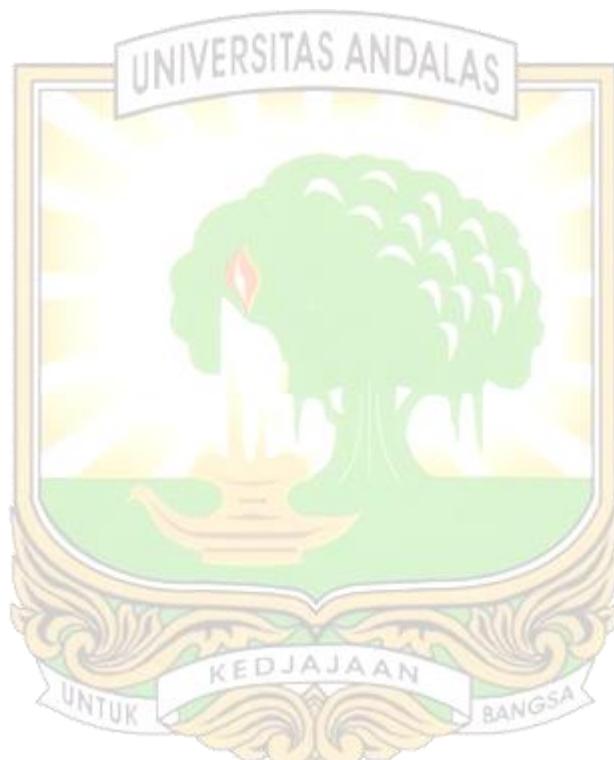
halaman

Tabel 2.1 Sifat sifat unsur tembaga (<i>Copper</i>)	13
Tabel 2.1 Sifat sifat unsur perak (<i>Silver</i>)	14
Tabel 4.1 Ukuran kristal lapisan tanpa <i>doping</i> dan <i>doping</i> 1%	44



DAFTAR LAMPIRAN

	halaman
Lampiran A. Alat dan bahan penelitian	50
Lampiran B. Data hasil karakterisasi <i>X-Ray Diffraction</i>	53
Lampiran C. Grafik hasil karakterisasi <i>UV-Vis Spectometry</i>	63
Lampiran D. Hasil karakterisasi I-V <i>Test</i>	66



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi dan populasi yang pesat menyebabkan kebutuhan energi semakin meningkat. Namun, Menurut Kementerian ESDM RI (2016) Cadangan sumber energi fosil di seluruh dunia sejak tahun 2016 yaitu 18 tahun untuk minyak bumi, 61 tahun untuk gas alam dan 147 tahun untuk batu bara. Energi matahari atau energi surya adalah salah satu solusi masalah energi karena jumlahnya sangat melimpah dan berkelanjutan. Energi matahari yang sampai ke permukaan bumi mencapai 3×10^{24} joule/tahun (Li dkk., 2006) Teknologi mutakhir telah mampu mengubah 10-20 % pancaran sinar matahari menjadi tenaga surya.

Energi matahari dapat dikonversi menjadi energi listrik dibutuhkan piranti yaitu sel surya. Sel surya bekerja berdasarkan prinsip efek fotolistrik. Ketika sel surya disinari dengan cahaya matahari maka foton yang terdapat pada cahaya matahari akan menumbuk elektron dan menyebabkan terbentuknya pasangan *electron-hole* yang akan menimbulkan arus listrik. Besar kecilnya arus yang dihasilkan bergantung pada efisiensi piranti sel surya tersebut

Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) adalah jenis sel surya yang menjadi fokus banyak peneliti karena ramah lingkungan dan biaya produksi yang murah. Saat ini efisiensi dari sel surya DSSC yang sudah ada yaitu 8,12%, 9,90%, 10,10%, dan 10,40% berdasarkan data yang telah diumumkan pada *Energy*

Research Centre of The Netherlands, Sharp Corporation dan Arakawa Group dengan masing-masing luas permukaanya 1-5 cm² (Kong dkk., 2007).

Beberapa cara yang dapat dilakukan. Pertama sel surya dibuat dari silikon kristal tunggal, tetapi biaya yang dikeluarkan sangat mahal sehingga tidak mungkin untuk memasarkan secara massal. Kedua dengan mengubah struktur lapisan, salah satunya mengubahnya menjadi struktur berongga. Struktur berongga dapat memberikan keuntungan pada efek hamburan cahaya. Namun, pembuatan struktur berongga juga membutuhkan biaya yang sangat mahal. Ketiga dengan meningkatkan peforma fotoanoda. Hal ini disebabkan efisiensi DSSC sangat ditentukan oleh proses fotokimia yang berlangsung pada permukaan fotoanoda (Pan dkk., 2013).

Performa fotoanoda dapat ditingkatkan dengan melakukan penambahan *doping*. *Doping* merupakan metode yang efektif untuk mengubah sifat fisis (misalnya sifat optik, magnet dan listrik) dari TiO₂ dan akan memperluas penerapannya dari material tersebut. Li dkk. (2011) melakukan penelitian berupa penambahan *doping* Ag (*Silver*) pada lapisan TiO₂ sebagai fotoanoda menggunakan metode *electrospinning*, dan mendapatkan efisiensi sebesar 9.25 %. Zhou dkk. (2016) Melakukan penambahan *doping* Cu (*Copper*) terhadap lapisan TiO₂ sebagai fotoanoda dengan metode hidrotermal , dan mendapatkan efisiensi sebesar 5,26 %. Wang (2017) melakukan penambahan *doping* ganda Er-Yb dengan metode hidrotermal dan efisiensi yang berhasil dicapai adalah sebesar 13.45 %. Penelitian-penelitian yang dijabarkan diatas menggunakan metode yang memerlukan peralatan canggih dan biaya yang mahal serta menggunakan *dye*

buatan yang tidak ramah lingkungan. Selain itu unsur Er-Yb adalah unsur tanah jarang, sehingga sulit untuk memproduksi DSSC dengan *doping* unsur ini secara masal.

Berdasarkan uraian yang telah disampaikan pada penelitian ini akan dilakukan sintesis lapisan TiO_2 sebagai fotoanoda dengan penambahan *doping* ganda Cu-Ag yang akan diaplikasikan pada *Dye Sensitized Solar Cells*. Karena unsur Cu dan Ag mudah untuk didapatkan, selain itu Cu dan Ag memiliki sifat listrik yang baik , meningkatkan aktivitas fotovoltaik dan dapat menjaga fasa TiO_2 tetap stabil (Behnajady dkk., 2013). Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah metode *Doctor Blade* karena tidak memerlukan teknologi yang canggih dan lebih ekonomis.

1.2 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

- 1) Mensintesis Lapisan TiO_2 dengan *doping* ganda Cu-Ag.
- 2) Mengetahui pengaruh pemberian *doping* ganda Cu-Ag pada lapisan TiO_2 sebagai fotoanoda terhadap efisiensi DSSC.
- 3) Mengetahui konsentrasi *doping* terbaik terhadap efisiensi DSSC.

Manfaat dari penelitian ini adalah ikut serta dalam pengembangan *Dye Sensitized Solar Cell* yang ramah lingkungan, ekonomis, dan bisa diproduksi secara masal tanpa memerlukan teknologi yang canggih dan sebagai informasi tambahan pada penelitian *Dye Sensitized Solar Cell* terutama tentang pengaruh *doping*

1.3 Ruang lingkup dan batasan masalah

Ruang lingkup dan batasan masalah dari penelitian ini adalah :

- 1) Lapisan tipis TiO₂ ditumbuhkan pada permukaan kaca ITO.
- 2) Bahan yang digunakan untuk menumbuhkan lapisan tipis TiO₂ adalah Serbuk *Titanium Dioxide* dan *Polyethylen Glycol 6000*.
- 3) Variasi masing masing persentasi *doping* 0%, 1%, 2%, 3%, dan 4% berdasarkan persentase molar.
- 4) Sampel dikarakterisasi menggunakan I-V Test, Mikroskop Optik, XRD, dan UV-Vis.



BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Dye-Sensitized Solar Cells (DSSC)

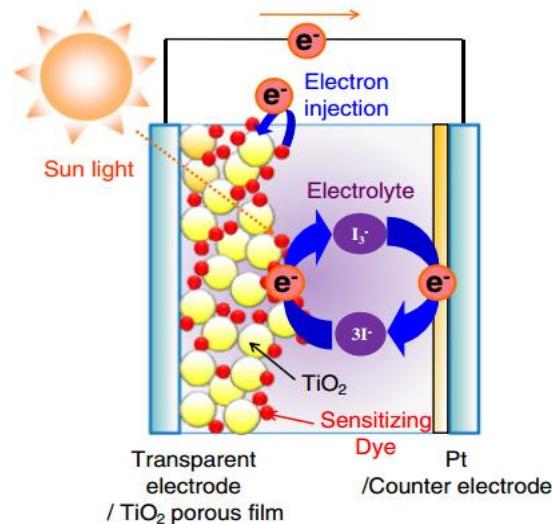
DSSC adalah sel surya yang berbasis fotoelektrokimia. DSSC muncul seiring dengan perkembangan nanoteknologi. Sel surya ini pertama kali ditemukan oleh Michael Grätzel dan Brian O'Regan pada tahun 1991 dan dikenal sebagai Grätzel Cells (Hardeli dkk., 2013).

DSSC memanfaatkan struktur nanokristal dari metal-oksida (dalam hal ini titanium oksida) dan *dye*, yang mengubah energi foton menjadi energi listrik pada tingkat molekuler. Karena prinsipnya menyerupai proses fotosintesis, maka DSSC juga sering disebut sebagai contoh pertama sebagai mesin molekuler (Sahad dan Susanti 2012).

DSSC merupakan salah satu kandidat potensial sel surya generasi mendatang, karena tidak memerlukan material dengan kemurnian tinggi sehingga biaya proses produksinya relatif murah. Berbeda dengan sel surya konvensional dimana semua proses melibatkan material silikon itu sendiri (Sahad dan Susanti 2012).

2.1.1 Komponen DSSC

DSSC, umumnya berstruktur *sandwich* dengan lapisan atas (*superstrat*) berupa kaca transparan konduktif sebagai elektroda yang dideposisi TiO_2 yang mengabsorbsi *dye*. Rongga diantaranya diisi cairan elektrolit, umumnya pasangan iodida dan triiodida. Lapisan bawah (*substrate*) berupa kaca transparan konduktif yang dilapisi material katalis seperti platinum sebagai elektroda lawan.



Gambar 2.1 Struktur DSSC

(Sumber : *Pub.ac.org*, 2016)

a. *Counter* elektroda

Counter elektroda adalah salah satu bagian dari DSSC yang disebut juga sebagai katoda DSSC. *Counter* elektroda berperan sebagai katalis yang dibutuhkan untuk merpercepat kinetika reaksi proses reduksi *Triiodide*(I₃⁻) menjadi *Iodide* (I⁻) pada ITO (*Indium-doped Tin Oxide*). ITO adalah subtract kaca konduktif yang digunakan sebagai tempat penumbuhan lapisan TiO₂. Ada beberapa unsur yang dapat digunakan untuk melapisi *counter* elektroda yaitu: *Carbon*, *Grafit* dan *Platina*. *Platina* adalah material yang umum digunakan sebagai katalis pada berbagai aplikasi, juga sangat efisien dalam aplikasinya pada DSSC. *Platina* didepositikan pada ITO dengan berbagai metoda yaitu elektrokimia, *sputtering*, *spin coating*, atau *pyrolysis* (Shelke dkk., 2015).

b. Elektrolit

Elektrolit yang digunakan pada DSSC terdiri dari *Iodide* (I⁻) dan *Triiodide* (I₃⁻) sebagai pasangan redoks dalam pelarut. Elektrolit merupakan bagian

dari DSSC yang berperan sebagai medium transport elektron. Karakteristik ideal dari pasangan redoks untuk elektrolit DSSC yaitu: potensial redoksnya secara termodinamika berlangsung sesuai dengan potensial redoks dari *dye* untuk tegangan sel yang maksimal. Tingginya kelarutan terhadap pelarut untuk mendukung konsentrasi yang tinggi dari muatan pada elektrolit. Pelarut mempunyai koefisien difusi yang tinggi untuk transportasi massa yang efisien. Tidak adanya karakteristik spektral pada daerah cahaya tampak untuk menghindari absorpsi cahaya datang pada elektrolit. Kestabilan yang tinggi baik dalam bentuk tereduksi maupun teroksidasi. Mempunyai reversibilitas tinggi dan *inert* (zat yang tidak mudah bereaksi) terhadap komponen lain pada DSSC (Janne, 2002).

c. Dye

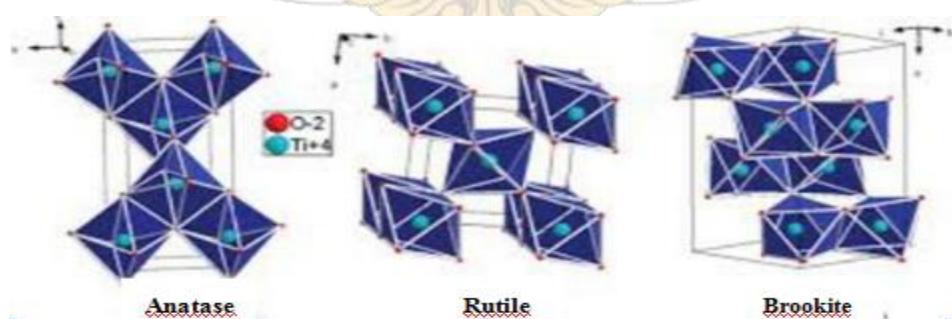
Dye atau zat pewarna adalah zat alami atau zat sintesis yang berfungsi memberikan warna pada suatu materal. *Dye* merupakan bagian terpenting dari material DSSC yang berfungsi untuk absorpsi cahaya yang teradsorpsi pada permukaan TiO_2 dalam bentuk foton. Berdasarkan asalnya, *dye* dibagi atas dua jenis, yaitu: *Dye* anorganik (pewarna buatan) berasal dari senyawa logam komplek seperti *Ruthenium complex* (di-tetrabutilamonium *cis*-bis (isothioocyanato) bis (2,2'-bipyridyl-4,4'-dicarboxilato) dengan tipe N-719 (Dahlan dan Fahyuan, 2018).

Dye organik (pewarna alami), berasal dari tumbuhan yaitu bagian bunga, daun, batang, biji, buah maupun akar. Beberapa jenis *dye* organik yang telah diteliti adalah *dye* yang berasal dari klorofil, antosianin, xantropil, betalain, dan

sebagainya. Antosianin terdapat pada bagian tumbuhan yang memberikan warna merah sampai ungu seperti pada buah, daun, akar, maupun bunga. Sedangkan klorofil berasal dari semua tumbuhan alga dan beberapa jenis alga (Dahlan dan Fahyuan, 2018).

d. Fotoanoda

Fotoanoda yang digunakan pada DSSC adalah sebuah kaca ITO yang dilapisi dengan material semikonduktor TiO_2 . Selain dilapisi dengan TiO_2 , ada beberapa material semikonduktor lainnya yang dapat digunakan untuk fotoanoda DSSC diantaranya adalah *Zinc Oxide* (ZnO), SnO_2 , dan Nb_2O_5 (Dahlan dkk., 2017). Berdasarkan fasa kristalnya, TiO_2 dibagi 3 yaitu *anatase*, *brookite* dan *rutile*. Struktur dari ketiga fasa TiO_2 dapat dilihat pada Gambar 2.2. TiO_2 adalah material yang telah banyak dikembangkan sebagai material semikonduktor fotoanoda DSSC karena harganya yang tidak mahal, tidak beracun, jumlahnya melimpah, dan stabil di bawah cuaca ekstrim serta banyak diaplikasikan ke bidang lainnya (Graetzel, 2003). TiO_2 juga merupakan bahan semikonduktor yang bersifat *inert*, stabil terhadap fotokorosi dan korosi oleh bahan kimia.

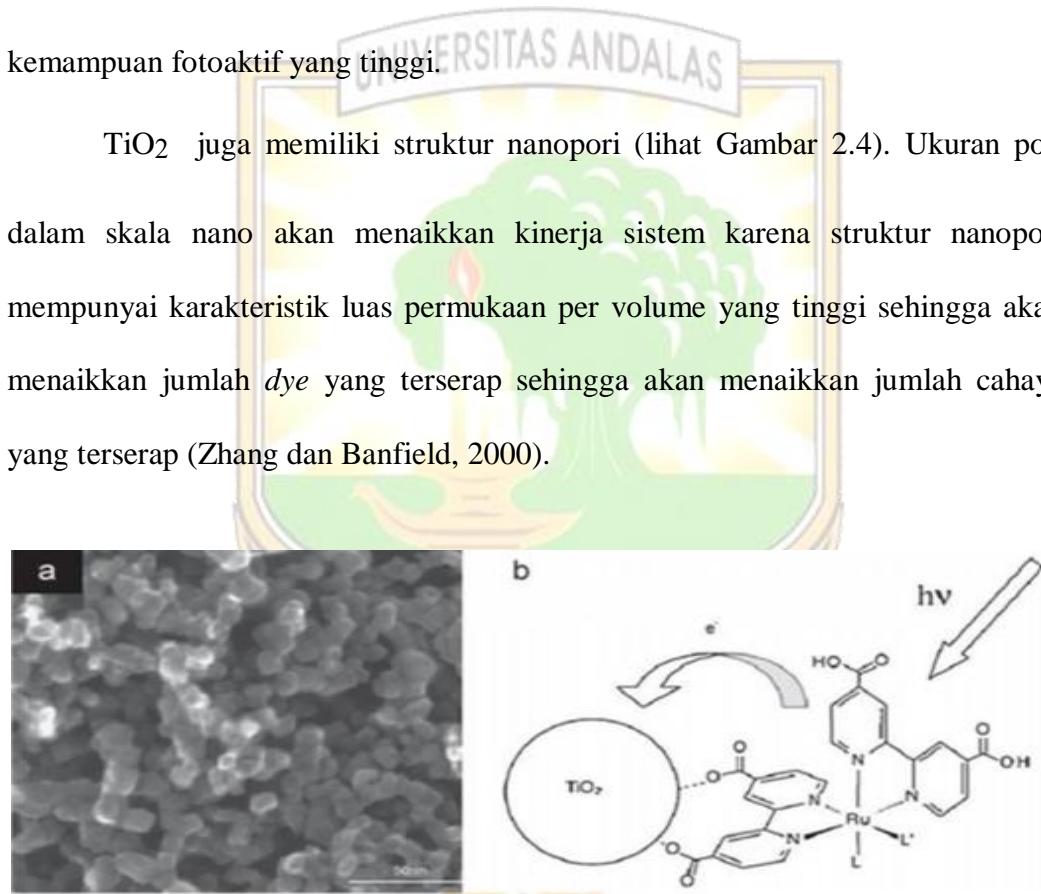


Gambar 2.2. Struktur fasa TiO_2

(Sumber : [Pubs.acs.org](https://pubs.acs.org), 2016)

Anatase dan *rutile* adalah fase dari TiO_2 yang relatif stabil dibandingkan dengan fasa *brookite*. Pada fasa *anatase* TiO_2 umumnya stabil pada ukuran partikel kurang dari 11 nm, fasa *brookite* pada ukuran partikel 11 – 35 nm dan fasa *rutile* diatas 35 nm. Struktur kisi kristal TiO_2 yang berbeda-beda pada setiap fasa kristal menyebabkan sifat fisik dan kimianya berbeda pula. Untuk aplikasi DSSC, TiO_2 yang digunakan umumnya berfasa *anatase* karena memiliki kemampuan fotoaktif yang tinggi.

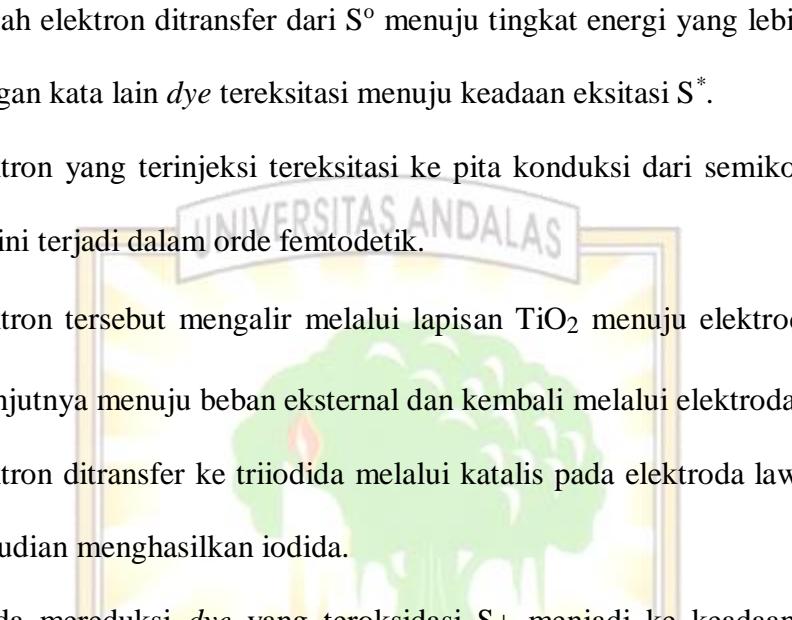
TiO_2 juga memiliki struktur nanopori (lihat Gambar 2.4). Ukuran pori dalam skala nano akan menaikkan kinerja sistem karena struktur nanopori mempunyai karakteristik luas permukaan per volume yang tinggi sehingga akan menaikkan jumlah *dye* yang terserap sehingga akan menaikkan jumlah cahaya yang terserap (Zhang dan Banfield, 2000).

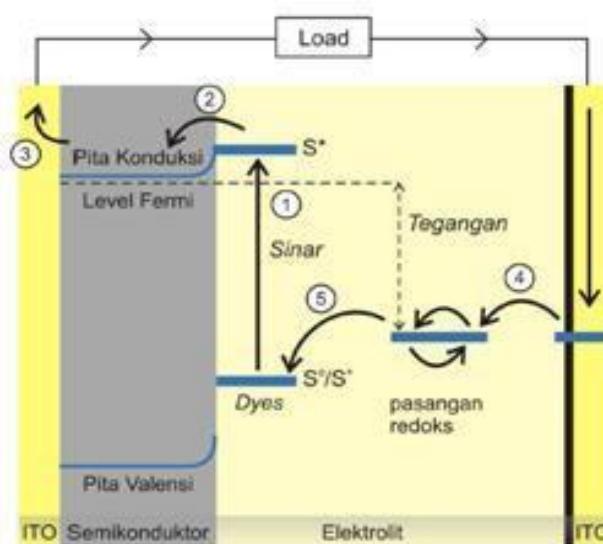
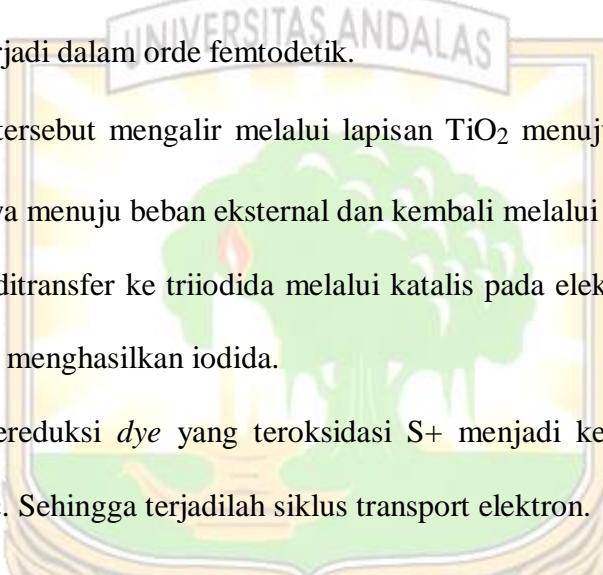


Gambar 2.3. Photoelektroda nanopartikel tersensitasi pewarna (a) gambar karakterisasi SEM film nanopartikel TiO_2 (b) absorpsi dari sebuah molekul *dye* pada TiO_2 melewati dua dari empat kelompok *carboxylate* (Zhang dan Cao, 2011).

2.1.2 Prinsip Kerja

Proses konversi energi pada DSSC terdiri dari 5 tahap seperti ditunjukkan oleh skema energi pada Gambar 2.4.

- 
 1. TiO_2 yang mengadsorbsi *dye* menyerap sebuah foton dan kemudian sebuah elektron ditransfer dari S^0 menuju tingkat energi yang lebih tinggi. Dengan kata lain *dye* tereksitasi menuju keadaan eksitasi S^* .
 2. Elektron yang terinjeksi tereksitasi ke pita konduksi dari semikonduktor. Hal ini terjadi dalam orde femtodetik.
 3. Elektron tersebut mengalir melalui lapisan TiO_2 menuju elektroda untuk selanjutnya menuju beban eksternal dan kembali melalui elektroda lawan.
 4. Elektron ditransfer ke triiodida melalui katalis pada elektroda lawan yang kemudian menghasilkan iodida.
 5. Iodida mereduksi *dye* yang teroksidasi S^+ menjadi ke keadaan asal S^0 *sandwich*. Sehingga terjadilah siklus transport elektron.



Gambar 2.4 Skema Tingkat Energi DSSC
(Sumber : [Pubs.ac.org](https://pubs.acs.org), 2016)

2.2 Titanium Dioksida dan Lapisan Titanium Dioksida

Titanium ditemukan pada tahun 1791 di Inggris oleh Reverend William Gregor, yang diberi nama sebagai *ilmenite*. Elemen ini ditemukan kembali beberapa tahun kemudian oleh German Chemist Heinrich Klaporth dalam bentuk *rutile*. Logam titanium tidak pernah ditemukan sendirian, keberadaannya selalu berikatan dengan mineral lainnya seperti *rutile*, *ilmenite*, *leucoxene*, *anatase*, *brookite*, *perovskite*, dan *sphene* yang ditemukan dalam titanat dan beberapa besi *ore*. Titanium juga ditemukan dalam batu bara, abu, tanaman, dan dalam tubuh manusia (Carp dkk., 2004).

TiO_2 merupakan nanomaterial yang bersifat semikonduktor yang dapat menghantarkan listrik, sifat logam yang kuat, ringan, dan memiliki kerapatan yang rendah. TiO_2 merupakan senyawa yang tersusun atas ion Ti^{4+} dan O^{2-} dalam konfigurasi oktahedron. Peranan TiO_2 dalam bidang industri adalah sebagai pigmen, adsorben, pendukung katalitik, dan semikonduktor (Setiawati dkk, 2006). Senyawa titanium dioksida dikenal tidak toksik, memiliki stabilitas termal cukup tinggi, dan kemampuannya dipergunakan berulang kali tanpa kehilangan aktivitas katalitiknya (Fatimah dkk., 2009). Beberapa keunggulan yang dimiliki TiO_2 menurut Kesumaningrum dkk. (2011) yakni:

- a. Mempunyai energi terlarang (*band gap*) sebesar 3,2 eV yang sesuai untuk proses fotokatalis sehingga memudahkan terjadinya eksitasi elektron ke pita konduksi dan pembentukan lubang pada pita valensi saat diinduksikan cahaya ultraviolet sekitar 340-390 nm.
- b. Secara umum memiliki aktivitas fotokatalis yang lebih tinggi

dibandingkan dengan fotokatalis lain seperti seng oksida (ZnO), cadmium sulfide (CdS), tungsten trioksida (WO₃), dan timah putih (SnO₂).

- c. Mampu menyerap sinar ultraviolet dengan baik.
- d. Memiliki kestabilan kimia dalam interval pH yang besar (0-14).
- e. Tahan terhadap photodegradasi.
- f. Bersifat inert dan tidak larut dalam reaksi baik secara biologis maupun kimia.

TiO₂ digunakan sebagai *self cleaning* pada cat tembok, sebagai pemurnian air, sebagai fotokatalis karena memiliki sifat fotokatalitik (Fujishima dkk., 2000), sebagai obat kanker, sebagai aplikasi *dye sensitized solar cell* (DSSC) (Phani dkk., 2001), serta digunakan dalam beberapa mesin penukar panas bejana dan pipa-pipa tahan korosi memakai bahan titanium

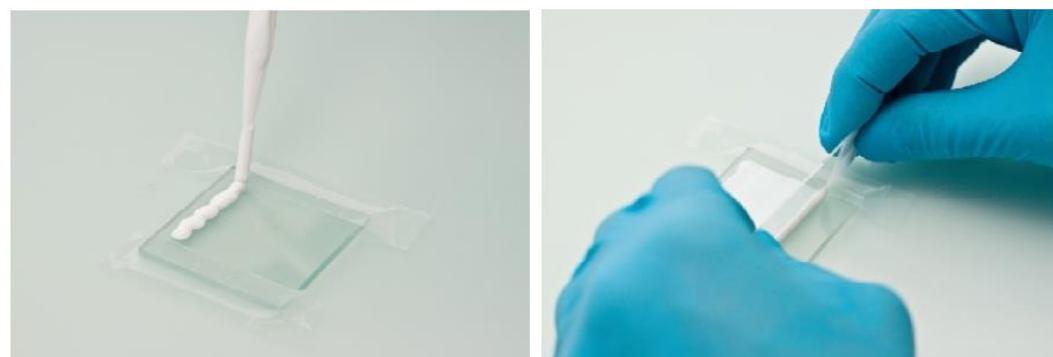
2.3 *Doping* TiO₂ pada DSSC

Doping adalah salah satu cara yang efektif untuk memodifikasi sifat elektronik dari TiO₂ dan juga dapat konduktivitasnya (Roose, dkk., 2015). Bahan yang sering dilakukan *doping* contohnya adalah bahan semikonduktor. Selain bahan semikonduktor juga telah banyak dilakukan penelitian dengan beberapa jenis unsur, diantaranya: logam alkali, metalloid, non-logam, logam transisi, logam pasca-transisi dan lantanida. Logam alkali contohnya: *Lithium, Magnesium, Calcium*. Contoh unsur *doping* dari metalloid adalah: *Boron, Silicon, Germanium, Antimony*. Non-logam seperti: unsur *Carbon, Nitrogen, Flourine, Sulphur, Iodine*. Logam transisi contohnya: *Scandium, Vanadium, Chromium, Manganese, Iron*,

Cobalt. Logam pasca-transisi unsur *doping* seperti: *Alumunium, Gallium, Indium, Tin*. Untuk kategori lantanida contohnya: *Lanthanum, Cerium, Neodymium*(Roose, dkk., 2015). Metoda dalam persiapan *doping* terbagi atas tiga, yaitu: *Wet Chemistry* (Kimia basah), *High Temperature Treatment* (perlakuan dengan suhu tinggi), dan *Ion Implantation* (penanaman ion) pada nanomaterial TiO_2 (Chen dan Mao,2007).

2.4 Metode *Doctor Blade*

Teknik ini adalah teknik yang paling sering digunakan. Pertama kali yang harus dilakukan adalah membentuk bingkai area TiO_2 yang akan didepositiskan pada substrat dengan menggunakan *scotch tape* yang berguna mengontrol ketebalan dari TiO_2 . Kemudian dengan menggunakan *rod glass* untuk meratakan TiO_2 pada substrat, dimulai dari ujung bingkai. Namun, sedikit sulit untuk mengontrol keseragaman ketebalan lapisan TiO_2 . Karena ketebalan dari lapisan TiO_2 bergantung pada banyaknya larutan TiO_2 yang didepositiskan pada substrat dan gerakan *rod glass*. Biasanya lapisan lebih tebal di tempat pertama kali kita mengaplikasikan TiO_2 .



Gambar 2.5 Deposisi lapisan dengan menggunakan teknik *Doctor Blade*
(Sumber : Martineau, 2011)

2.5 Copper (Cu)

Copper adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Cu dan nomor atom 29. Lambangnya berasal dari bahasa latin Cuprum. Tembaga merupakan konduktor panas dan listrik yang baik. Selain itu unsur ini memiliki korosi yang cepat sekali. Tembaga murni sifatnya halus dan lunak, dengan permukaan berwarna jingga kemerahan. Tembaga dicampurkan dengan timah untuk membuat perunggu. Tembaga mempunyai satu elektron orbital-s pada kulit atom d dengan sifat konduktivitas listrik yang baik (Wikipedia, 2019). Sifat-sifat temaga dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Sifat sifat unsur tembaga (Copper)

Entalpi Penguapan	300.5 kJ/mol	Konfigurasi elektron	[Ar] 3d ¹⁰ 4s ¹
Volume atom	7.1 cc/mol	Formasi entalpi	13.14 kJ/mol
Massa atom	63.546	Potensial ionisasi	7.726 V
Titik didih	2840 K	Titik lebur	1356.6 K
Radius kovalensi	1.17 Å	Bilangan oksidasi	2.1
Struktur kristal	FCC	Kalor jenis	390 J/K
Densitas	8.96 g/cc	Elektronegativitas	1.9
Konduktivitas listrik	6.07 x 10 ⁶ Ω/cm	Konduktivitas termal	401/WmK

(Sumber : mastah.org, 2019)

2.6 Silver (Ag)

Silver adalah unsur logam dengan nomor atom 47. Simbolnya adalah Ag, dari bahasa Latin *argentum*. Sebuah logam transisi lunak, putih, dan berkilau, ia memiliki konduktivitas listrik, konduktivitas termal, dan reflektivitas tertinggi di antara semua logam. Logam ini terjadi secara alamiah dalam bentuk murni, bentuk bebas (perak asli), sebagai paduan dengan emas dan logam lainnya, dan

dalam mineral seperti argentit dan klorargirit (Wikipedia, 2019). Sifat-sifat perak dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 3.1 Sifat sifat unsur perak (*Silver*)

Entalpi Penguapan	250.63 kJ/mol	Konfigurasi electron	[Kr] 4d ¹⁰ 5s ¹
Volume atom	10.3 cc/mol	Formasi entalpi	11.3 kJ/mol
Massa atom	107.868	Potensial ionisasi	7.576 V
Titik didih	2436 K	Titik lebur	1235.08 K
Radius kovalensi	1.34 Å	Bilangan oksidasi	1
Struktur kristal	FCC	Kalor jenis	230 J/K
Densitas	10.5 g/cc	Elektronegativitas	1.93
Konduktivitas listrik	6.29×10^6 Ω/cm	Konduktivitas termal	429/WmK

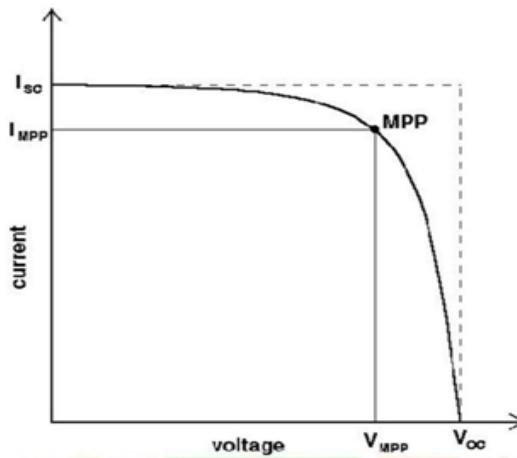
(Sumber : mastah.org, 2019)

2.7 Karakterisasi Arus dan Tegangan (I-V)

Daya listrik yang dihasilkan sel surya ketika mendapat cahaya diperoleh dari kemampuan perangkat sel surya tersebut untuk memproduksi tegangan dan arus.

Kemampuan ini direpresentasikan dalam kurva arus tegangan (I-V) ditunjukkan pada Gambar 2.6. Melalui Gambar 2.6 memperlihatkan tegangan *open-circuit(Voc)*, arus *short-circuit(Isc)*, dan *Maximum Power Point (MPP)*, dan arus tegangan pada *MPP* :

I_{MPP}, V_{MPP}. Ketika sel dalam kondisi *short circuit*, arus maksimum atau arus *short circuit (Isc)* dihasilkan, sedangkan pada kondisi *open circuit* tidak ada arus yang dapat mengalir sehingga tergantannya maksimum, disebut tegangan *open circuit (Voc)*. Titik pada kurva I-V yang menghasilkan arus dan tegangan maksimum disebut titik daya maksimum (*MPP*).



Gambar 2.6. Karakteristik kurva I-V pada sel surya
(Sumber : Janne, 2002)

Karakteristik lain yang penting pada sel surya adalah Field Factor (FF) yang dapat dihitung dengan persamaan (2.1)

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{oc} J_{sc}} \quad (2.1)$$

J_{sc} adalah rapat arus yang dapat dihitung dengan persamaan $J_{sc} = I/A$.

Dari persamaan (2.1) maksimum (P_{max}) dapat dinyatakan seperti persamaan (2.2)

$$P_{max} = V_{oc} J_{sc} FF \quad (2.2)$$

Sehingga efisiensi sel surya dapat dinyatakan sebagai persamaan (2.3)

Berikut

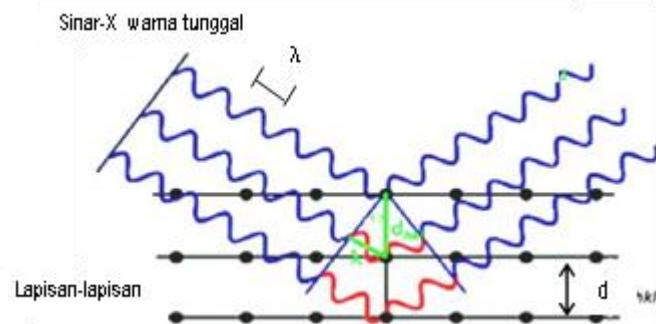
$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{light}} \quad (2.3)$$

Nilai efisiensi (η) ini yang menjadi ukuran global dalam menentukan kualitas performansi sel surya. Efisiensi dari sel surya tergantung pada temperatur dari sel dan yang lebih penting lagi adalah kualitas illuminasi (Janne, 2002)

2.8 X-Ray Diffraction

Sinar-X merupakan salah satu bentuk radiasi elektromagnetik yang mempunyai energi antara 200 eV-1 MeV atau dengan panjang gelombang antara 0,5-2,5 Å (Suryanarayana dan Norton, 1998). Sinar-X dihasilkan oleh tumbukan antara elektron kecepatan tinggi dengan logam target. Secara umum komponen utama pembangkit sinar-X terdiri dari sumber elektron (katoda), tegangan tinggi untuk mempercepat elektron dan logam target (anoda). Difraksi sinar-X merupakan suatu teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi adanya fasa kristalin di dalam material-material benda dan serbuk, dan untuk menganalisis sifat-sifat struktur (seperti ukuran butir, fasa komposisi orientasi kristal, dan cacat kristal) dari tiap fasa. Metode ini sering juga disebut *powder diffraction* (difraksi menggunakan serbuk/bubuk) yang dapat mengidentifikasi unsur yang belum diketahui dengan membandingkan data difraksi dan mencocokkannya dengan database yang dibuat oleh International Center for Diffraction Data.

Radiasi sinar-X yang telah dihasilkan oleh tabung sinar-X akan berinteraksi dengan struktur kristal material yang diuji. Material yang akan dianalisis struktur kristalnya harus berada dalam fasa padat karena dalam kondisi tersebut kedudukan atom-atomnya berada dalam susunan yang sangat teratur sehingga membentuk bidang-bidang kristal. Ketika suatu berkas sinar-X diarahkan pada bidang-bidang kristal tersebut, maka akan timbul pola-pola difraksi ketika sinar-X melewati celah-celah kecil di antara bidang-bidang kristal tersebut. Difraksi radiasi sinar-X dalam struktur kristal ditunjukkan pada gambar 2.7.



Gambar 2.7. Difraksi radiasi sinar-X dalam struktur kristal
(Sumber : Cullity, 1978).

Pada Gambar 2.7 diatas, pola-pola tersebut sebenarnya menyerupai pola gelap dan terang. Pola gelap terbentuk ketika terjadi interferensi destruktif, sedangkan pola terang terbentuk ketika terjadi interferensi konstruktif dari pantulan gelombang-gelombang sinar-X yang saling bertemu. Interferensi konstruktif tersebut terjadi sesuai dengan Hukum Bragg berikut ini:

$$\lambda = 2d \sin \theta \quad (2.4)$$

dengan,

λ = panjang gelombang sinar-X

d = jarak antara bidang Kristal.

θ = sudut difraksi.

2.9 Mikroskop Optik

Bayangan yang dihasilkan oleh lensa objektif pada mikroskop optik bersifat nyata, terbalik, dan diperbesar kemudian dilanjutkan oleh lensa okuler. Bayangan yang dihasilkan lensa objektif merupakan benda bagi lensa okuler sehingga dihasilkan bayangan akhir dengan sifat maya, terbalik dan diperbesar.

Baik lensa objektif maupun lensa okuler keduanya merupakan lensa

cembung. Secara garis besar lensa objektif menghasilkan suatu bayangan sementara yang mempunyai sifat semu, terbalik, dan diperbesar terhadap posisi benda mula-mula, lalu yang menentukan sifat bayangan akhir selanjutnya adalah lensa okuler. Pada mikroskop cahaya, bayangan akhir mempunyai sifat yang sama seperti bayangan sementara, semu, terbalik, dan lebih lagi diperbesar.

2.10 Spektrometer UV-VIS

Spektrometer ultraviolet-visible (UV-Vis) biasanya beroperasi dari panjang gelombang 190 sampai 1100 nm. Semua molekul dapat menyerap radiasi dalam daerah UV-Vis karena molekul mempunyai elektron yang dapat dieksitasikan ke tingkat energi yang lebih tinggi. Panjang gelombang dimana absorpsi terjadi bergantung pada kekuatan elektron yang terikat dalam molekul



Gambar 2.9. Alat spektrometer UV-Vis
(Sumber : Anonim B, 2012).

Spektrometer adalah alat pengukuran yang didasarkan pada interaksi cahaya/sinar monokromatis dengan materi, yaitu pada saat sejumlah cahaya/sinar monokromatis dilewatkan pada sebuah larutan, ada sebagian sinar yang diserap, dihamburkan, dipantulkan, dan sebagian lagi diteruskan. Namun karena jumlah sinar yang dihamburkan dan dipantulkan sangat kecil, maka dianggap tidak ada.

tersebut. Alat spektrometer UV-Vis ditunjukkan pada Gambar 2.9.

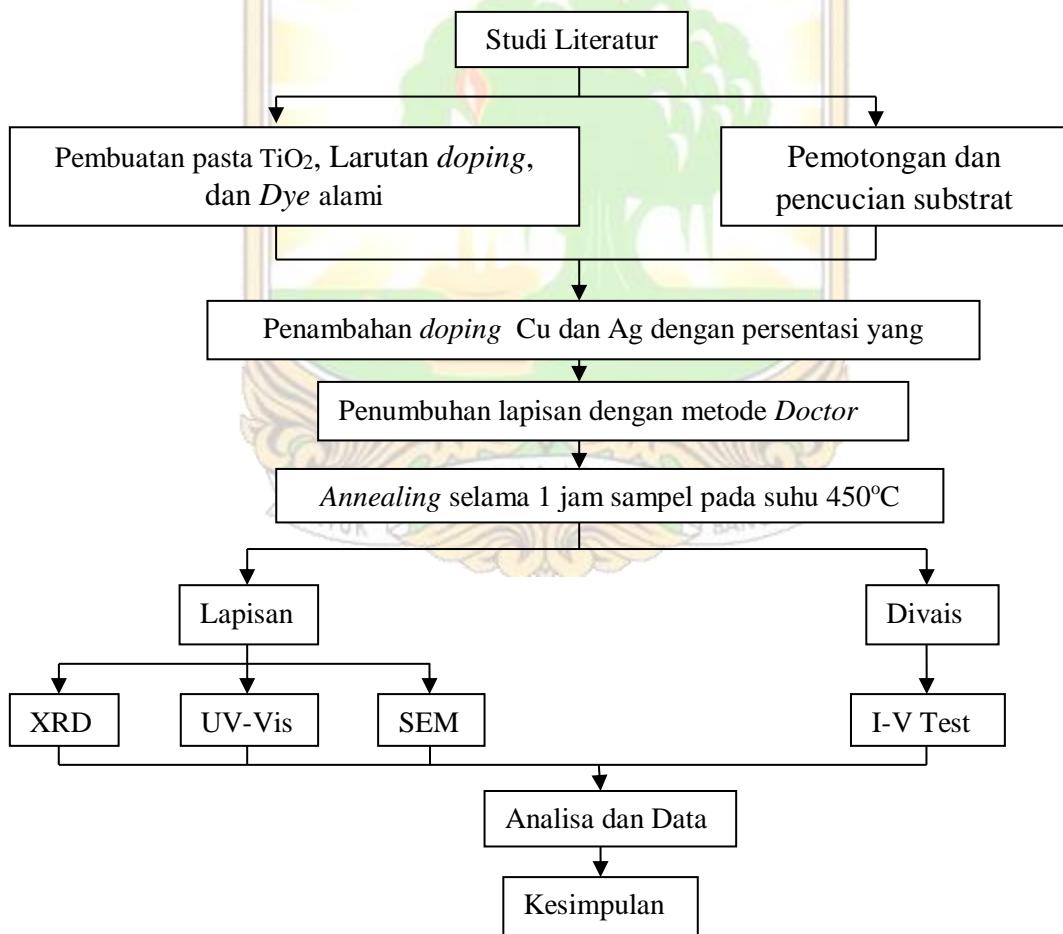
Pada prinsipnya, spektroskopi UV-Vis menggunakan cahaya sebagai tenaga yang mempengaruhi substansi senyawa kimia sehingga menimbulkan cahaya. Cahaya yang digunakan merupakan foton yang bergetar dan menjalar secara lurus dan merupakan tenaga listrik dan magnet yang keduanya saling tagak lurus. Tenaga foton bila mempengaruhi senyawa kimia, maka akan menimbulkan tanggapan (respon), sedangkan respon yang timbul untuk senyawa organik ini hanya respon fisika. Tetapi bila sampai menguraikan senyawa kimia maka dapat terjadi peruraian senyawa tersebut menjadi molekul yang lebih kecil atau hanya menjadi radikal yang dinamakan peristiwa kimia.



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fisika Material UNAND, Laboratorium Kimia Instrumentasi Fakultas Matematika dan ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang, dan laboratorium Fisika Material Universitas Negeri Padang. Lamanya waktu penelitian ini adalah 5 bulan dimulai dari 1 September sampai 18 Februari 2019. Kegiatannya terdiri dari studi literatur dan kegiatan penelitian (lihat Gambar 3.1).



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. *X-Ray Diffraction (XRD)*

Digunakan untuk mengetahui struktur dan kisi kristal TiO_2 . Merk alat XRD yang digunakan adalah PanAnatycal tipe expert pro.

2. *Mikroskop Optik*

Digunakan untuk mengetahui bentuk morfologi permukaan sampel. Merek mikroskop optic yang digunakan pada penelitian ini adalah Olympus.

3. *UV-Vis Spectrophotometer*

Digunakan untuk menentukan lebar celah pita energi dari sampel. Merek UV-Vis Spectrophotometer adalah Thermo Scientific.

4. *Oven*

Digunakan untuk mengeringkan alat dan sampel penelitian. Merk oven yang digunakan adalah Mammert.

5. *Perlatan I-V test*

Digunakan untuk mengukur besaran besaran listrik pada *device* sel surya.

6. *Furnace*

Digunakan untuk proses *annealing* sampel. Merek Furnace yang digunakan apada penelitian ini adalah PayunTech.

7. *Neraca digital*

Neraca digital berfungsi untuk menimbang massa zat yang digunakan.

9. *Ultrasonic cleaner*

Digunakan untuk membersihkan substrat dan botol sampel

10. *Glass cutter*

Digunakan untuk memotong substrat ITO

11. *Petri dish*

Digunakan untuk wadah penyimpanan sampel.

12. Pipet tetes

Digunakan untuk menakar zat pelarut dan *doping*.

13. Multimeter Digital

Multimeter adalah alat yang digunakan untuk menentukan bagian lapisan yang konduktif dari substrat ITO.

14. Gelas Kimia

Digunakan sebagai wadah pembuatan larutan sampel

15. *Rod Glass*

Digunakan untuk meratakan pasta ketika pendeposisian lapisan diatas substrat.

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah :

1. Kaca konduktif jenis ITO (*Indium Tin Oxide*)

Kaca ITO yang digunakan pada penelitian ini dibeli dari CBC Ing. Co., Ltd., Japan, dengan resistansi 9-22 Ω/sq .

2. *Titanium Dioxide* (TiO_2)

Titanium Dioxide digunakan sebagai material dasar, memiliki kemurnian 97% diproduksi Merck, USA dengan massa molekul relatif (MR) = 79,87 g/mol dan diameter partikelnya sebesar 25 nm.

3. *Silver Nitrate* (AgNO_3)

Silver Nitrate dengan massa molekul relative (MR) = 169,87 g/mol digunakan sebagai bahan *doping* pada lapisan TiO_2 . Bahan ini diproduksi Arkitos Chemical dengan kemurnian 99,4 - 100%.

4. *Copper(II) chloride*

Copper(II) chloride dengan massa molekul relatif (Mr) = 134,5 g/mol digunakan sebagai bahan *doping* pada lapisan TiO_2 . Bahan ini diproduksi oleh Merck dengan kemurnian 99%.

5. *Polyethyelene Glycol* (PEG-6000)

Polyethyelene Glycol dengan massa molekul relatif (Mr) = 6000 g/mol memiliki kemurnian 99% yang diproduksi oleh Sigma-Aldrich. Bahan ini digunakan sebagai surfaktan pada larutan pembentuk lapisan, agar tidak terjadi penggumpalan pada saat penumbuhan lapisan.

6. *Dye Alami*

Jenis dye yang digunakan dalam penelitian ini adalah dye alami yang terbuat dari kulit manggis.

7. Amonia (NH_3)

Amonia dengan massa atom relative (MR)=17g/mol digunakan sebagai bahan pelarut pada pembuatan pasta TiO_2 .

8. Asam Nitrat (HNO_3)

Asam Nitrat dengan massa atom relative (MR)=63g/mol digunakan sebagai bahan pelarut pada pembuatan pasta TiO_2 .

8. Karbon

Karbon merupakan bahan kimia yang digunakan sebagai *counter electrode* dalam sel surya jenis DSSC.

9. Elektrolit

Elektrolit yang digunakan pada *device* merupakan sumber dari pasangan redoks iodide (I^-) dan Triiodide (I^+)

10. Aquades (H_2O)

Aquades digunakan untuk membersihkan benda-benda pada saat proses penumbuhan lapisan tipis dan juga sebagai pelarut untuk larutan *precursor*.

11. Etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)

Etanol yang digunakan pada penelitian memiliki kemurnian 99,8 %. Digunakan untuk menghilangkan senyawa lain yang menempel pada substrat dan pelarut *dye*

12. Alkohol

Alkohol digunakan untuk membersihkan *sample holder* pada saat menggunakan *furnace*.

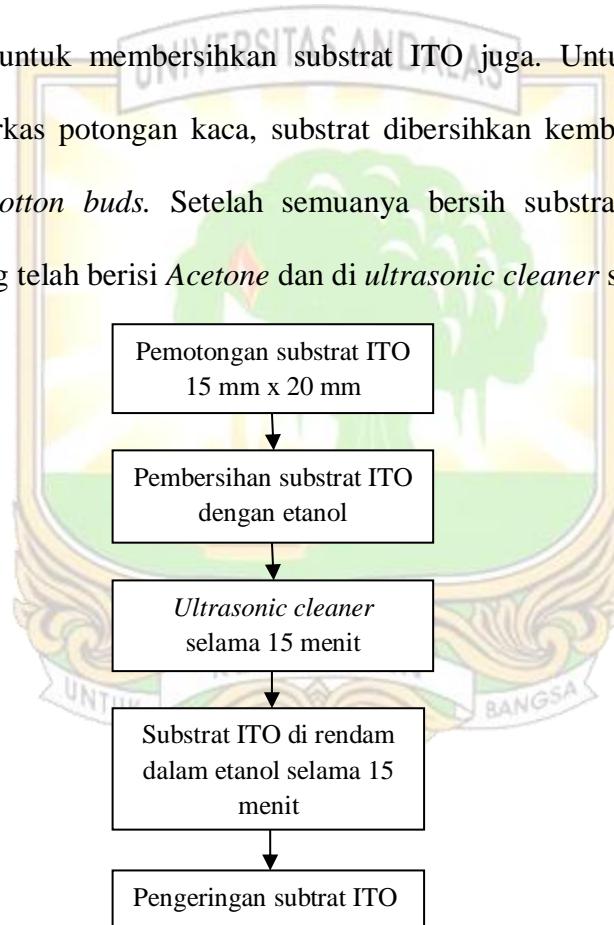
3.3 Prosedur Penelitian

Tahapan penelitian secara keseluruhan dapat dilihat pada Gamabr 3.1.

Berikut penjabaran dari setiap tahapan penelitian.

3.3.1 Persiapan substrat

Langkah pertama yang dilakukan adalah pemotongan substrat ITO dengan ukuran 15 mm x 20 mm menggunakan *glass cutter*. Setelah itu substrat yang telah terpotong dimasukkan kedalam gelas kimia yang telah terisi dengan etanol yang sudah terpakai untuk membersihkan substrat ITO juga. Untuk membersihkan substrat dari berkas potongan kaca, substrat dibersihkan kembali dengan etanol menggunakan *cotton buds*. Setelah semuanya bersih substrat dimasukkan ke dalam botol yang telah berisi *Acetone* dan di *ultrasonic cleaner* selama 15 menit.



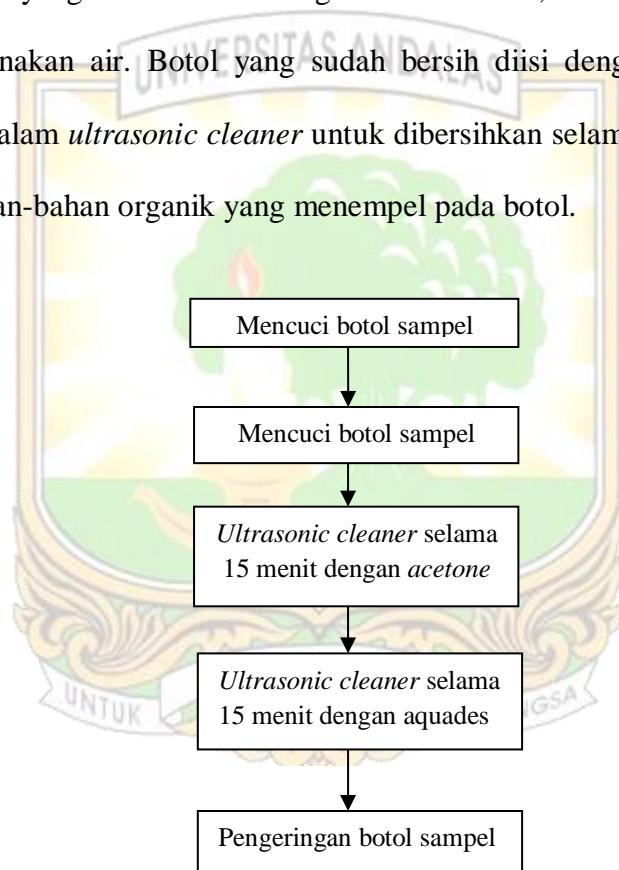
Gambar 3.2 Diagram alir persiapan substrat ITO

Hal ini bertujuan untuk menghilangkan bahan-bahan organik yang melekat pada substrat. Substrat yang sudah diultrasonik direndam kembali ke dalam larutan

etanol selama 15 menit untuk membersihkan permukaan substrat dari *acetone*. Terakhir substrat yang akan dipakai dipindahkan ke dalam *petri dish* untuk dikeringkan dengan menggunakan pengering (*hair drier*) seperti diagram alir Gambar 3.2 (Umar, dkk, 2014).

3.3.2 Pembersihan Botol Sampel

Langkah pertama yang dilakukan adalah mencuci botol dengan menggunakan air yang ditambahkan dengan cairan dekon, setelah itu dibilas lagi dengan menggunakan air. Botol yang sudah bersih diisi dengan *acetone*, lalu dimasukkan kedalam *ultrasonic cleaner* untuk dibersihkan selama 15 menit untuk melepaskan bahan-bahan organik yang menempel pada botol.



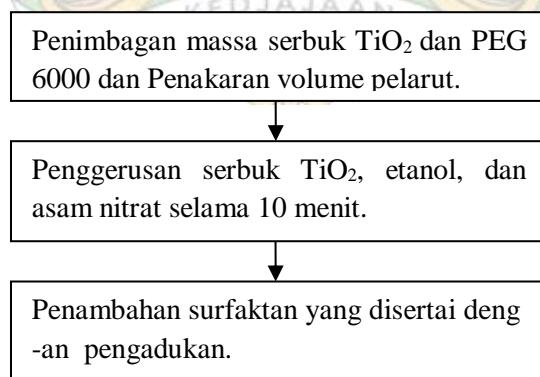
Gambar 3.3 Diagram alir pembersihan botol sampel

Acetone yang sudah digunakan tadi dimasukkan ke dalam tabung khusus *Acetone* yang sudah digunakan agar dapat dipakai kembali untuk pembersihan botol berikutnya. Pembersihan kedua yaitu dengan memasukkan air deionisasi ke

dalam botol dan *ultrasonic cleaner* kembali selama 15 menit untuk menghilangkan partikel-partikel *Acetone* yang melekat pada botol agar tidak terkontaminasi dengan larutan pada saat sintesis. Terakhir, membuang air deionisasi dan keringkan botol sampel dengan oven pada temperatur 80°C sampai botol sampel kering. Diagram alir proses dapat dilihat pada Gambar 3.3 (Umar, dkk, 2014).

3.3.3 Pembuatan pasta TiO₂

Langkah pertama yang dilakukan adalah menentukan massa atau volume bahan utama (serbuk TiO₂), zat pelarut (etanol dan asam nitrat), dan surfaktan (PEG-6000). Dalam penelitian ini massa bahan utama yang digunakan adalah 0,7-g, etanol 2.1 ml, asam nitrat 0,7 ml, dan surfaktan 0,1 g. Selanjutnya serbuk TiO₂, etanol, dan asam nitrat dimasukkan kedalam wadah dan digerus dengan mortar selama 10 menit. Setelah itu 0,1 g surfaktan ditambah kedalam campuran yang sudah digerus lalu diaduk sampai didapatkan pasta yang homogen. Tahapan pembuatan pasta dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.4 Proses pembuatan pasta TiO₂

3.3.4 Persiapan *Doping*

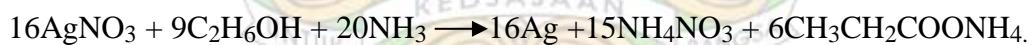
a. *Doping Cu*

Doping Cu dibuat menggunakan larutan CuCl_2 sebagai prekursor, dan etanol sebagai pelarut. *Doping Cu* dibuat dengan cara mencampurkan 1 ml larutan CuCl_2 0.1 M dengan 20 ml etanol 96%. Setelah itu larutan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* sampai didapatkan campuran yang homogen. Reaksi kimia yang terjadi pada campuran adalah sebagai berikut :



b. *Doping Ag*

Prekursor yang digunakan dalam pembuatan *doping Ag* adalah larutan AgNO_3 0,1 M, sedangkan bahan pelarut yang digunakan adalah larutan amoniak 26% dan etanol 96%. *Doping Ag* dibuat dengan cara mencampurkan 1 ml larutan AgNO_3 0,1 M dengan 10 ml etanol 96%, dan 10 ml larutan amoniak 26%. Setelah itu larutan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* sampai didapatkan campuran yang homogen. Reaksi kimia yang terjadi pada campuran adalah sebagai berikut :



3.3.5 Pembuatan pasta sampel

Pembuatan pasta sampel dilakukan dengan mencampurkan pasta TiO_2 dengan *doping* yang telah dipersiapkan. Pada penelitian ini variasi masing masing *doping* yang digunakan adalah 0%, 1%, 2%, 3%, dan 4%. Persentasi *doping* mengacu pada rasio molar logam pada bahan utama (Ti) dengan logam bahan

doping (Cu dan Ag). Untuk menghitung volume *doping* yang digunakan pada setiap variasi *doping* maka dilakukan perhitungan dengan langkah ssebagai berikut

a. Menghitung jumlah mol (n) pasta TiO_2 dengan menggunakan persamaan (3.1)

$$n = \frac{m}{Mr} \quad (3.1)$$

Dengan m adalah massa zat yang digunakan, Mr adalah massa atom relatif, dan n adalah mol. Setelah itu jumlah mol unsur Ti dihitung dengan menggunakan perbandingan jumlah unsur pada TiO_2 . Unsur yang terdapat pada TiO_2 adalah Ti dan O dengan perbandingan 1:2. Maka jumlah mol Ti dapat dihitung dengan persamaan (3.2)

$$nx = \frac{1}{1+2} n \quad (3.2)$$

Dengan nx adalah jumlah mol Ti, dan n adalah jumlah mol TiO_2

b. Menghitung jumlahi mol logam *doping* yang digunakan dengan menggunakan persamaan (3.3)

$$xd = \frac{nd}{nx + nd} \quad (3.3)$$

Dengan xd adalah fraksi *doping*, nd adalah jumlah mol logam *doping*, dan nx adalah jumlah mol Ti. Jumlah mol logam *doping* dihitung dengan fraksi mol 1%, 2%, 3%, dan 4%.

c. Setelah menghitung jumlah mol logam *doping* yang digunakan langkah selanjutnya adalah menghitung jumlah mol larutan *doping* yang digunakan dengan persamaan (3.4) untuk Cu dan persmaan (3.5) untuk Ag.

Logam Cu dihasilkan dari prekursor CuCl_2 yang terdiri dari unsur Cu dan Cl_2 dengan perbandingan 1:2. Maka jumlah mol CuCl_2 yang digunakan adalah :

$$np_1 = nd_1 (1 + 2) \quad (3.4)$$

Dengan np_1 adalah mol CuCl_2 , nd_1 adalah jumlah mol logam Cu.,

Logam Ag dihasilkan dari prekursor AgNO_3 yang terdiri dari unsur Ag, N, dan O dengan perbandingan 1:1:3. Maka jumlah mol AgNO_3 yang digunakan adalah

$$np_2 = nd_2 (1 + 1 + 3) \quad (3.5)$$

Dengan np_2 adalah mol AgNO_3 , nd_2 adalah jumlah mol logam Ag

d. Menghitung molaritas *doping* yang digunakan dari *doping* yang telah disiapkan. Karena prekursor masing masing *doping* yang digunakan telah dicampur bahan pelarut, maka langkah pertama yang dilakukan adalah menghitung molaritas larutan *doping* yang telah ditambahkan bahan pelarut dengan persamaan (3.6)

$$M_1 V_1 = M_2 V_2 \quad (3.6)$$

Dengan M_1 adalah molaritas sebelum dilarutkan, V_1 volume sebelum dilarutkan, M_2 molaritas setelah dilarutkan, dan V_2 volume setelah dilarutkan.. Langkah terakhir adalah menghitung molaritas larutan *doping* yang ditambahkan pada pasta TiO_2 dengan menggunakan persamaan (3.7)

$$V = \frac{np}{M_2} \quad (3.7)$$

Dengan V adalah volume larutan *doping*, np adalah jumlah mol larutan *doping*, dan M_2 adalah molaritas setelah ditambahkan pelarut.

3.3.6 Pendeposisian pasta sampel pada substrat ITO

Pendeposisian pasta TiO_2 pada kaca ITO dengan menggunakan metode *doctor blade*. Kaca ITO berukuran $(1,5 \times 2)$ cm² diberi pembatas menggunakan plastik pada sisi luar sehingga didapatkan area pendeposisian dengan luas $(1 \times 1,5)$ cm². Selain digunakan sebagai pembatas daerah deposisi, plastik yang digunakan juga berfungsi untuk kontrol ketebalan lapisan TiO_2 , pada penelitian ini menggunakan plastik dengan ketebalan $10 \mu\text{m}$, sehingga diharapkan ketebalan lapisan TiO_2 yang terbentuk mempunyai ketebalan sekitar $10 \mu\text{m}$. Gong dkk. (2012) menyebutkan bahwa ketebalan lapisan TiO_2 yang optimum untuk digunakan dalam DSSC sekitar $5-30 \mu\text{m}$. Setelah itu pasta sampel diletakkan pada bagian tengah ITO yang tidak ada pembatas. Selanjutnya pasta diratakan menggunakan *rod glass* sampai pasta tersebar merata dan mencapai ketebalan yang sama dengan ketebalan plastic pembatas. Setelah pasta TiO_2 terdeposisi secara merata, langkah berikutnya adalah memberi perlakuan termal untuk menghilangkan molekul-molekul pelarut dengan dipanaskan pada temperatur 450°C selama 2 jam (Santoso dkk., 2015)

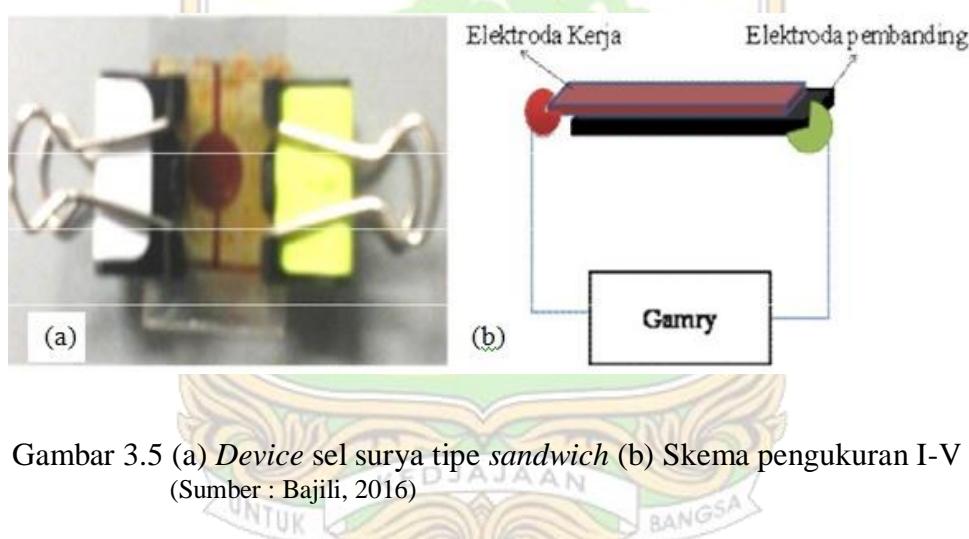
3.3.7 Pembuatan Dye Alami

Pada penelitian ini digunakan *natural dye* berupa ekstrak kulit manggis. Larutan *dye* dibuat dengan mencampurkan 10 gram serbuk ekstrak kulit manggis kedalam 50 ml ethanol kemudian sambil diaduk di atas *magnetic stirrer* selama 30 menit pada temperatur 60°C . Larutan *dye* disaring untuk memisahkan dari endapan yang masih tersisa. Larutan *dye* diharapkan tidak mengandung serbuk

kulit manggis yang berupa endapan karena berpotensi merusak lapisan TiO_2 pada proses perendaman secara ultrasonikasi

3.3.8 Pembuatan *Device* Sel Surya Tipe *Sandwich*

Langkah pertama yang dilakukan dalam pembuatan *device*, yaitu: substrat yang sudah ditumbuhi dengan lapisi dimasukkan kedalam botol yang berisi 10 ml *dye* dengan bagian yang dilapisi menghadap keatas. Untuk melindungi dari cahaya, botol dilapisi dengan aluminium foil. Lima belas jam kemudian sampel di keluarkan dan diletakkan ke dalam *petri dish* yang sudah ditutupi dengan *alumunium* foil juga agar tidak terkena cahaya sampai sampel telah kering.



Gambar 3.5 (a) *Device* sel surya tipe *sandwich* (b) Skema pengukuran I-V
(Sumber : Bajili, 2016)

Sampel yang telah kering, selanjutnya disusun seperti Gambar 3.6a yang terdiri dari elektroda pembanding (*counter electrode*) dan elektroda kerja (*working electrode*). Kedua komponen ditempelkan dengan selotip parafilm berbentuk persegi dan dibuat lingkaran ditengahnya. Ini bertujuan untuk tempat lewatnya elektrolit. Setelah itu jepit kedua elektroda dengan klip dan diberi pembeda agar dapat dibedakan antara elektroda pembanding dan elektroda kerja.

3.4 Karakterisasi

I-V Test digunakan untuk menentukan efisiensi sel surya. Setelah sampel disusun, sampel dihubungkan pada rangkaian peralatan I-V Test untuk diukur besaran-besaran listriknya.

Sampel kemudian dilanjutkan dengan karakterisasi XRD dan *UV-Vis Spectrometry*. Sampel yang digunakan berbentuk padatan. Karakterisasi XRD digunakan untuk mengetahui ukuran dan struktur kristal sampel. Karakterisasi *UV-Vis Spectrometry* digunakan untuk mengetahui celah pita energy sampel.

3.5 Analisis data

3.5.1. I-V Test

Data yang didapatkan dari I-V *Test* adalah besaran-besaran listrik yang digunakan untuk menghitung efisiensi piranti sel surya. Efisiensi sel surya dihitung dengan persamaan 3.8.

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{light}} \quad (3.8)$$

Dengan η adalah efisiensi sel surya, P_{max} adalah daya maksimum sel surya, dan P_{light} adalah daya sumber cahaya.

3.5.2. X-Ray Diffraction

Data keluaran dari XRD disebut juga sebagai difraktogram yang dianalisis dengan membandingkan pola difraksi dasar yang terdapat pada *International Center for Diffraction Database* (ICDD) dalam *Powder Diffraction File* (PDF)'

sedangkan untuk ukuran kristal TiO_2 didapat dengan persamaan *Scherrer* yang dapat dilihat pada persamaan 3.8:

$$D = \frac{K\lambda}{B \cos \theta} \quad (3.9)$$

D adalah ukuran kristal, K adalah konstanta bahan, λ adalah panjang gelombang sinar-X, B adalah lebar penuh garis diraksi pada saat intensitas setengah maksimum dan θ adalah sudut *Bragg*

3.5.3. UV-Vis Spectrometry

Nilai celah pita energy ditentukan dengan metode analisis *touc plot*. Nilai transisi yang dihasilkan dari *UV-Vis Spectrometry* ditentukan dengan menarik ekstrapolasi pada daerah linier dari grafik hubungan $h\nu$ dan $(Ah\nu)^2$ hingga memotong sumbu energy. Variabel h merupakan konstanta *planck*, ν adalah frekuensi dengan nilai yang dapat diperoleh dengan persamaan 3.10

$$\nu = c/\lambda \quad (3.10)$$

A adalah nilai absorbansi. Berdasarkan grafik hubungan tersebut dapat ditarik garis yang bersinggungan dengan titik belok pada kurva, dan nilai $h\nu$ dari sumbu horizontal adalah celah pita energinya. Untuk memperoleh nilai celah pita energi digunakan hubungan antara koefisien absorbs (α) dan energy foton dating ($h\nu$), dapat dilihat pada persamaan 3.11.

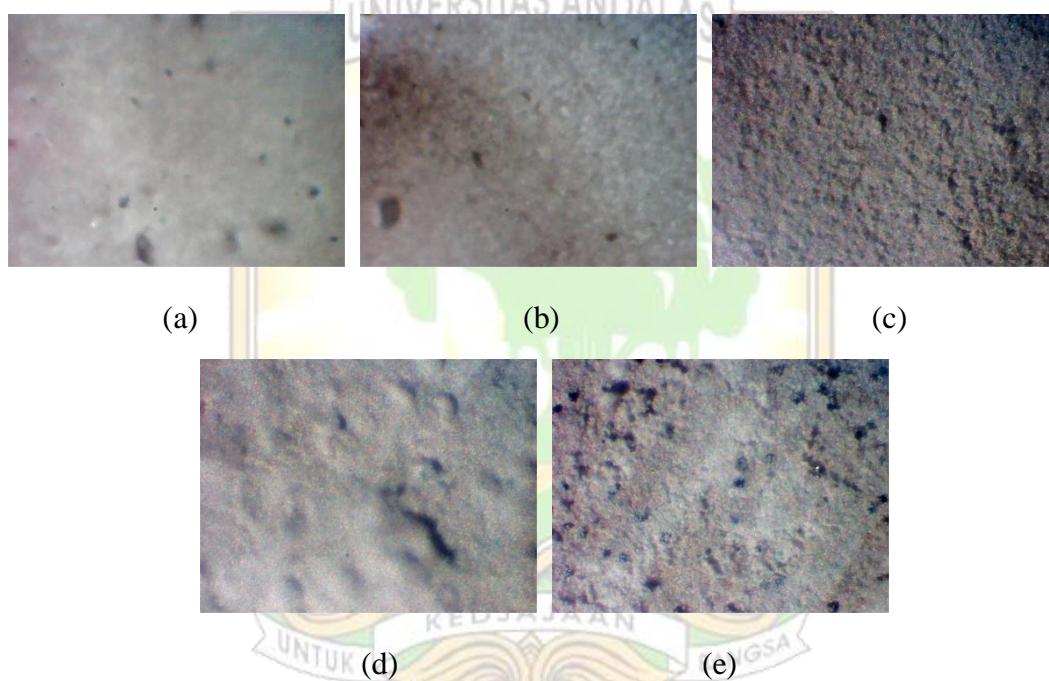
$$(\alpha h\nu) = A (h\nu - Eg)^n \quad (3.11)$$

$h\nu$ adalah energi foton, A adalah nilai absorbansi, n adalah tipe transisi optik dan Eg adalah lebar celah pita optik bahan semikonduktor.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Karakterisasi Morfologi Permukaan

Karakterisasi morfologi permukaan lapisan TiO_2 bertujuan untuk mengamati pengaruh penambahan *doping* terhadap morfologi permukaan yang dihasilkan. Hasil foto dari mikroskop optik dengan perbesaran 400 kali dapat dilihat pada gambar 4.4.



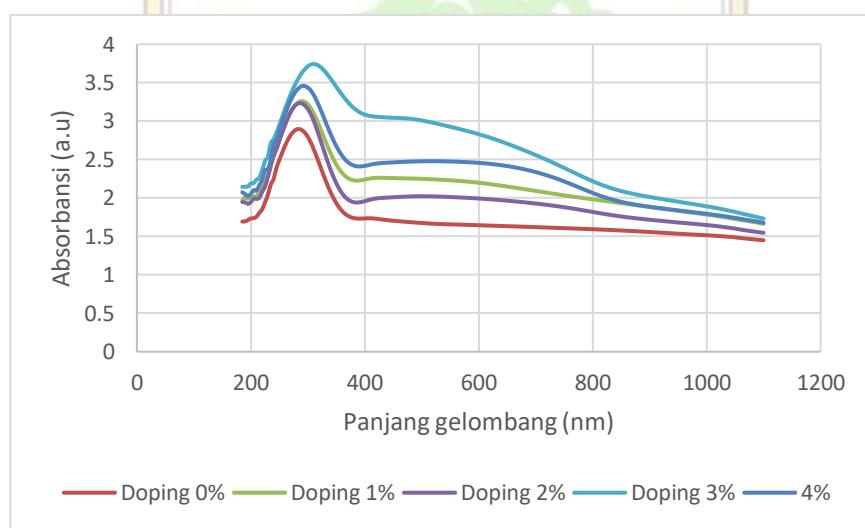
Gambar 4.1 Hasil foto mikroskop optik (a) *Doping* 0% (b) *Doping* 1% (c) *Doping* 2% (d) *Doping* 3% (e) *Doping* 4%

Pada gambar 4.4 dapat diamati morfologi permukaan lapisan TiO_2 yang dihasilkan untuk semua variasi sampel. Permukaan lapisan semakin kasar seiring penambahan *doping*. Hal ini terjadi karena gaya tarik menarik antara ion antara logam *doping* mengakibatkan penggumpalan pada pasta sampel sehingga

permukaan lapisan yang terbentuk tidak merata ketika pasta diaplikasikan pada substrat.

4.2 Analisis Nilai Absorbansi dan Celah Pita Energi

Karakterisasi selanjutnya menggunakan *UV-Vis Spectrometry* untuk menentukan celah pita energi untuk semua variasi *doping*. Data yang diperoleh adalah panjang gelombang (nm) terhadap nilai absorbansi. Data kemudian diolah menggunakan metode *Touc Plot* untuk memperoleh nilai celah pita energi semua sampel. Spektrum *UV-Vis Spectrometry* untuk sampel TiO_2 *doping* 0% dapat dilihat pada Gambar 4.2

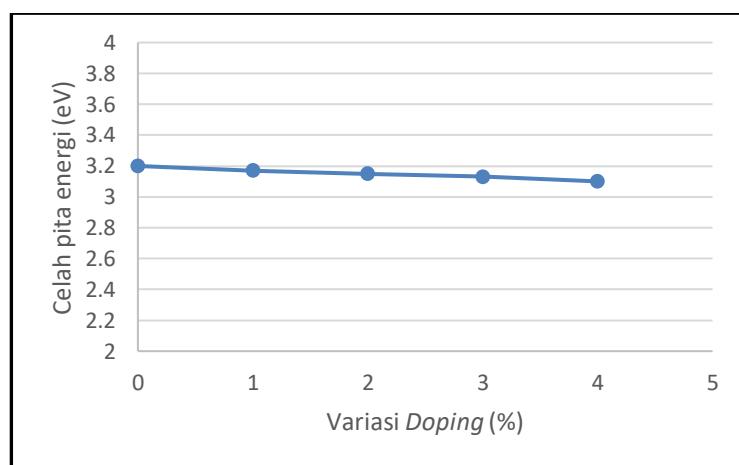


Gambar 4.2 Grafik gabungan *UV-Vis Spectrometry* semua variasi sampel

Pada gambar 4.2 dapat dilihat bahwa rentang absorbansi TiO_2 *doping* 0%, 1%, 2%, 3%, dan 4% berturut-turut adalah (210-380) nm, (207-380) nm, (210-390), nm (195-830), dan (195-810) nm. Nilai absorbansi tertinggi berturut-turut adalah 2,9; 3,26; 3,23; 3,74; dan 3,46. Data ini menunjukkan bahwa penambahan

doping Cu-Ag mengakibatkan peningkatan intensitas absorbansi dan rentang penyerapan semakin lebar.

Nilai celah pita energi dinyatakan dengan hubungan celah pita energi (eV) terhadap $(Ahv)^2$ seperti yang dapat dilihat pada lampiran C. Hasil perhitungan nilai celah pita energi menggunakan metode *touc plot* untuk seluruh variasi *doping* berturut-turut adalah 3,2 eV; 3,17 eV; 3,15 eV; 3,13 eV; dan 3,1 eV.



Gambar 4.3 Hubungan variasi *doping* dengan celah pita energi TiO_2

Pada gambar 4.3 dapat diamati pengaruh penambahan *doping* terhadap celah pita energi TiO_2 , celah pita energi semakin menurun seiring penambahan konsentrasi *doping*. Hasil ini sesuai dengan efek penambahan *doping* secara teoritis. Secara teoritis ketika semikonduktor di-*doping* dengan unsur yang memiliki kelebihan electron maka akan muncul energi donor, sehingga energi yang dibutuhkan elektron untuk pindah dari pita valensi menuju pita konduksi (*band gap*) menurun. Pada gambar 4.2 juga dapat diamati nilai puncak terkecil terjadi pada sampel dengan variasi *doping* 0% dan *doping* 2% yaitu pada panjang gelombang 285 nm dan nilai puncak terbesar terjadi pada *doping* 3% yaitu pada panjang gelombang

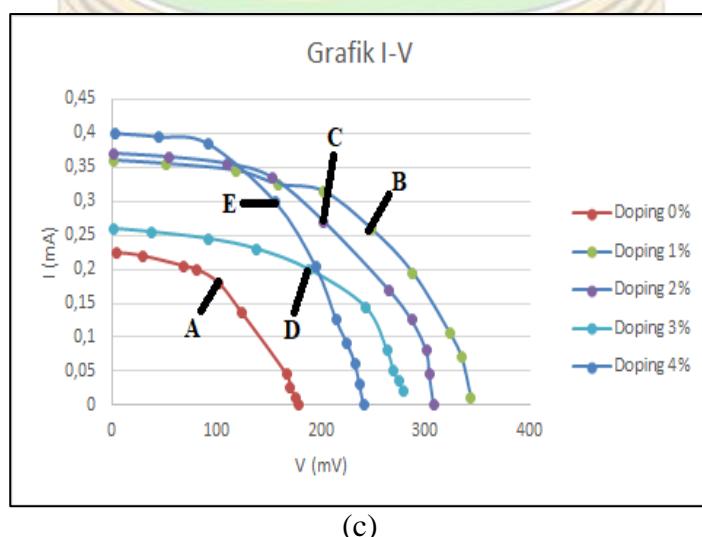
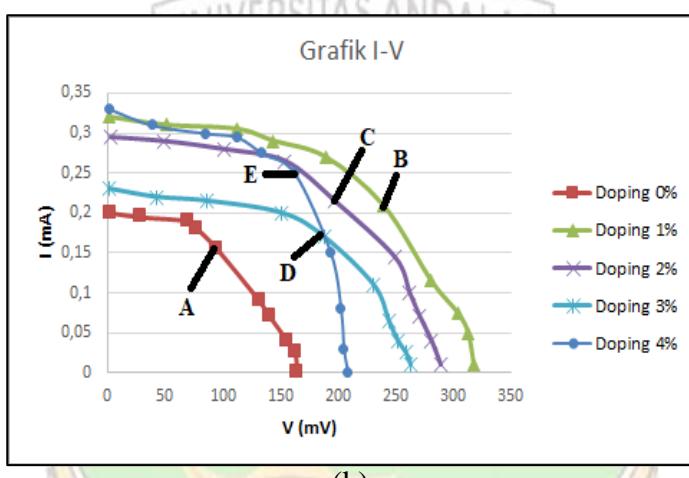
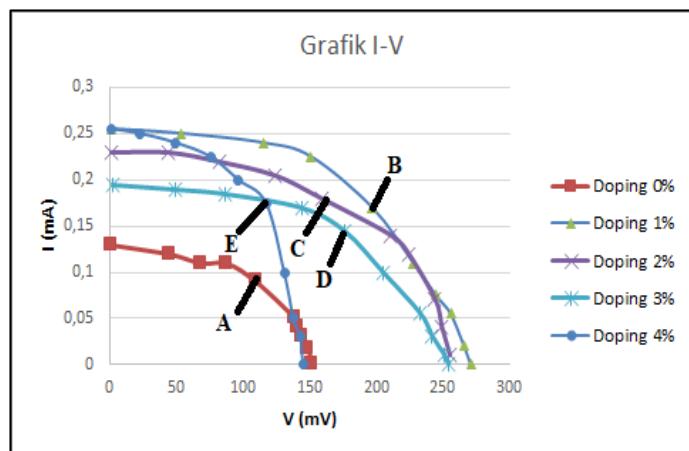
310 nm. Nilai absorbansi terbesar terjadi pada *doping* 3% yaitu sebesar 3,74 dan nilai absorbansi terkecil terjadi pada sampel dengan *doping* 0% yaitu dengan nilai absorbansi 2,9

4.3 Analisis Nilai Efisiensi Sel Surya

Hasil dari karakterisasi I-V Test dapat dilihat pada lampiran 1. Pengukuran menggunakan perangkat I-V Test menghasilkan besaran besaran berupa arus *short circuit* (I_{SC}), tegangan *open circuit* (V_{OC}), arus maksimum (I_{MPP}), dan tegangan maksimum (V_{MPP}). Data yang tersebut kemudian diolah sehingga menghasilkan nilai *Fill Factor* (FF) dengan menggunakan persamaan 2.1 , dan nilai efisiensi (η) dengan menggunakan persamaan 2.3 . Nilai efisiensi dan *Fill Factor* (FF) semua variasi sampel dapat dilihat pada lampiran.

Grafik hubungan I-V seperti pada Gambar 4.5 didapatkan dengan melakukan plot data yang diperoleh dari hasil pengukuran. Daya maksimum didapatkan dari hasil perkalian nilai I_{MPP} dan V_{MPP} yang merupakan nilai pada titik ekstrim setiap grafik yang ada pada setiap grafik I-V.

Pada intensitas cahaya 300 lux titik ekstrim *doping* 0%, 1%, 2%, 3%, dan 4% ditunjukkan oleh titik A, B, C, D, dan E pada Gambar 4.5 (a) secara berurutan. Titik A memiliki I_{MPP} sebesar 0,17 mA dengan V_{MPP} 197. Titik B memiliki I_{MPP} 0,21 mA dengan V_{MPP} 239 mV. Titik C memiliki I_{MPP} 0,18 mA dengan V_{MPP} 159 mV. Titik D memiliki I_{MPP} 0,145 mA dengan V_{MPP} 176 mV. Titik E memiliki I_{MPP} 0,175 dengan V_{MPP} 117,4 mV. Kemudian efisiensi sel surya dihitung dengan menggunakan persamaan 2.3.

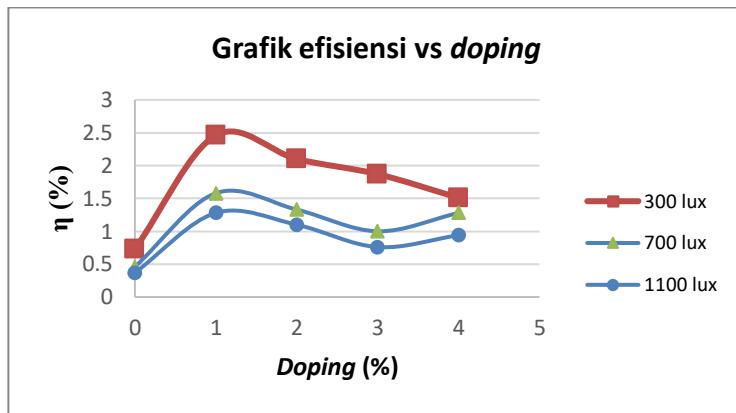


Gambar 4.4 Grafik I-V gabungan semua variasi sampel pada intensitas Cahaya (a) 300 lux (b) 700 lux (c) 1100 lux

Pada intensitas cahaya 700 lux titik ekstrim *doping* 0%, 1%, 2%, 3%, dan 4% ditunjukkan oleh titik A, B, C, D, dan E pada gambar 4.5 (b) secara berurutan. Titik A memiliki I_{MPP} sebesar 0,17 mA dengan V_{MPP} 197. Titik B memiliki I_{MPP} 0,21 mA dengan V_{MPP} 239 mV. Titik C memiliki I_{MPP} 0,18 mA dengan V_{MPP} 159 mV. Titik D memiliki I_{MPP} 0,145 mA dengan V_{MPP} 176 mV. Titik E memiliki I_{MPP} 0,175 dengan V_{MPP} 117,4 mV.

Pada intensitas cahaya 1100 lux titik ekstrim *doping* 0%, 1%, 2%, 3%, dan 4% ditunjukkan oleh titik A, B, C, D, dan E pada gambar 4.5 (c) secara berurutan. Titik A memiliki I_{MPP} sebesar 0,17 mA dengan V_{MPP} 197. Titik B memiliki I_{MPP} 0,21 mA dengan V_{MPP} 239 mV. Titik C memiliki I_{MPP} 0,18 mA dengan V_{MPP} 159 mV. Titik D memiliki I_{MPP} 0,145 mA dengan V_{MPP} 176 mV. Titik E memiliki I_{MPP} 0,175 dengan V_{MPP} 117,4 mV.

Penambahan *doping* menyebabkan perubahan nilai efisiensi. Efisiensi meningkat ketika penambahan *doping* 1%. Ketika porsi *doping* ditingkatkan menjadi 2-4 % efisiensi cenderung menurun seperti yang dapat dilihat Gambar 4.8. Nilai efisiensi terkecil terjadi pada *doping* 0%. Kecilnya nilai efisiensi pada *doping* 0% disebabkan karena nilai celah pita energi (E_g) besar., sehingga jumlah elektron yang dapat berpindah dari pita valensi ke pita konduksi sedikit.



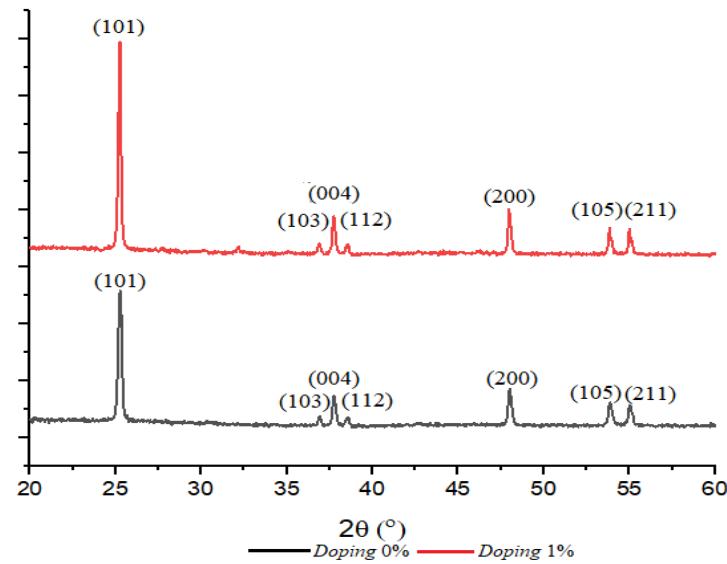
Gambar 4.5 Grafik pengaruh *doping* terhadap efisiensi pada Intensitas cahaya 300 lux, 700 lux, dan 1100 lux

Kendati nilai celah pita energi semakin kecil seiring penambahan porsi *doping* 2-4% (lihat gambar 4.8), nilai efisiensi pada rentang ini cenderung mengalami penurunan. Penyebab turunnya efisiensi pada rentang tersebut diduga karena banyaknya jumlah logam *doping* sehingga sehingga banyak elektron yang terperangkap pada logam logam tersebut.

Efisiensi tertinggi terjadi pada persentase *doping* 1% yaitu sebesar 2,46%. Hal ini terjadi karena pada variasi ini nilai celah pita energi menurun, dan jumlah logam *doping* tidak terlalu banyak. Sehingga banyak elektron yang dapat mengalir pada rangkaian

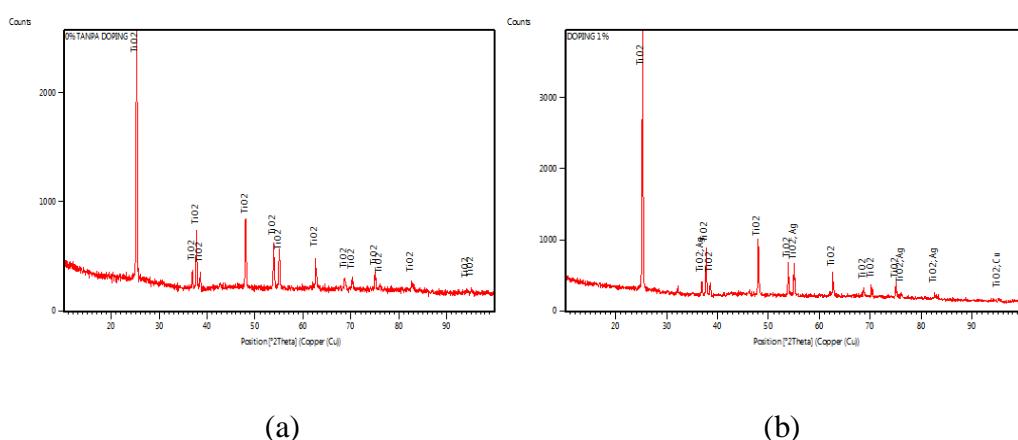
4.4 Analisis Ukuran Kristal Dan Struktur Kristal

Uji XRD dilakukan pada sampel TiO₂ tanpa *doping* dan pada variasi *doping* dengan efisiensi terbesar yaitu *doping* 1% untuk melihat perbedaan kristal lapisan TiO₂ setelah diberi *doping*. Hasil karakterisasi dapat dilihat pada gambar 4.1



Gambar 4.6 Hasil uji XRD pada sampel TiO_2 tanpa *doping* dan *doping* 1%

Berdasarkan informasi dari grafik hasil karakterisasi *XRD* pada Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa pada kedua sampel memiliki 7 puncak hkl (101), (103), (004), (112), (200), (105),(211). Pola hasil *XRD* Pada gambar 4.1 setelah dicocokan dengan data ICDD dengan kode referensi 01-072-7058 untuk material TiO_2 menunjukkan bahwa sampel memiliki struktur kristal *tetragonal* dan fasa anatase.



Gambar 4.7 Pola XRD sampel (a) tanpa *doping* (b) *doping* 1%

Penambahan *doping* Cu-Ag pada lapisan TiO_2 menyebabkan munculnya puncak-puncak baru. Pada gambar 4.2 dapat dilihat pada TiO_2 tanpa *doping* hanya muncul puncak puncak TiO_2 , sedangkan pada TiO_2 *doping* 1% muncul puncak-puncak logam *doping* Cu dan Ag. Dapat disimpulkan bahwa penambahan *doping* berhasil. Selain itu pada Gambar 4.2 menunjukkan proses *annealing* berhasil karena tidak ada puncak senyawa lain pada pola *XRD*.

Diameter kristal TiO_2 dihitung berdasarkan data yang diperoleh dari hasil uji XRD dengan menggunakan persamaan 3.9. ukuran kristal variasi *doping* 0% dan *doping* 1% dapat dilihat pada tabel 4.1

Tabel 4.1 ukuran kristal tanpa *doping* dan *doping* 1%

Variasi <i>doping</i> (%)	Unsur	K	Panjang gelombang sinar X (nm)	D rata-rata (nm)
0	TiO_2	0,9	0,154	58,74
1	TiO_2	0,9	0,154	57,54

Pada tabel 4.1 dapat dilihat ukuran ukuran kristal rata-rata pada *doping* 0% adalah 58,74 nm, sedangkan ukuran diameter kristal rata-rata pada *doping* 1% adalah 57,54 nm. Ukuran diameter kristal menurun ketika ditambahkan *doping* Cu-Ag. Penurunan ukuran diameter kristal terjadi karena penambahan *doping* menyebabkan kristal TiO_2 lebih padat.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai sintesis lapisan TiO_2 dengan *doping* ganda Cu-Ag untuk aplikasi fotoanoda *dye sensitized solar cell*, dapat ditarik kesimpulan berikut :

1. Penambahan *doping* Cu-Ag pada lapisan TiO_2 yang disensitesis dengan metode *doctor blade* untuk aplikasi fotoanoda DSSC dapat meningkatkan efisensi DSSC.
2. Efisensi tertinggi didapatkan pada konsentrasi *doping* 1% yaitu sebesar 2,46%

5.2 Saran

Untuk mendapatkan hasil karakterisasi lapisan TiO_2 dengan *doping* Cu-Ag yang lebih baik maka pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan

1. Menggunakan prekursor *doping* dengan molaritas yang lebih tinggi agar lapisan yang dihasilkan memiliki sifat fisika yang lebih baik.
2. Menggunakan *dye* sintesis seperti ruthenium kompleks, agar efisensi yang dihasilkan dapat dibandingkan dengan penelitian yang mendapatkan DSSC tertinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M., 2009, *Pengantar Nanosains*, ITB, Bandung
- Behnajady, Muhammad, A., Hamed, 2013, Characterization and Photocatalytic of Ag-Cu/ TiO₂ Nanoparticles Prepared by Sol-Gel Method, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, Vol 13, hal. 548-553.
- Bajili, A., 2016, Sintesis Dan Karakterisasi *Nanoplate* Titanium Dioksida Yang Didoping Ruthenium Untuk Aplikasi Sel Surya Tersensitasi Pewarna, *Jurnal Ilmu Fisika*, Vol.8, hal 54-59
- Carp, O., Huisman, C.L., Reller, A., 2004, Photoinduced Reactivity of Titanium Dioxide, *Progress in Solid State Chemistry* 32(1-2), hal. 33-177.
- Chen, X., dan Mao, S.S., 2007, Titanium Dioxide Nanomaterials: Synthesis, Properties, Modifications, and Applications, *Chemical Review*, hal 2891-2959
- Dahlan, D., Fahyuan, H.D., 2018, Pengaruh beberapa Jenis Dye Organik Terhadap Efisiensi Sel Surya Dye Sensitized Solar Cell, *Indonesian Journal of Materials Science* 15 (2), hal 74-79.
- Dahlan, D., Khatijah, S., Ade, U.B, Abdil, B., Akrajas, A.A., 2017, Synthesis of two-dimensional nanowall of Cu-Doped TiO₂ and its application as photoanode in DSSCs , *Physica E*, Vol. 91, hal. 185-189.
- Fatimah, I., Wijaya, K., Narsito, N., Wang, S., 2009, Preparation of TiO₂/Alumunium Pillared Montmorillonite and its Application for methylene Blue Photodegradation under UV Illumination, *World journal of Chemistry*, Vol. 4, hal 21-26.
- Fujishima, A., Rao, T.N., Tryk, D.A., 2000, Titanium Dioxide Photocatalysis, *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews* 1 (1), hal. 1-21.
- Graetzel, M., 2003, Dye-sensitized solar cells, *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews* 4, hal 145–153.
- Hardeli, Suwardani, Ricky, Fernando, T., Maulidis, Sulvia. R., 2013, Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) Berbasis Nanopori TiO₂ Menggunakan Antosianin dari Berbagai Sumber Alami, *Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung*, Bandar Lampung.

- Janne, H., 2002, Dye Sensitized Nanostructured and Organic Photovoltaic Cells: technical review and preliminary tests, *Tesis de Doctorado*, Helsinki University of Technology: Espoo.
- Jiang, C.Y, Sun, X.W, Lo, G.Q, Kwong, D.L, Wang, J.X., 2007, Improved Dye-Sensitized Solar Cells with a ZnO-Nanoflower Photoanode, *Applied Physics Letters*, Vol. 90, hal. 263-501.
- Kesumaningrum, J., Prasetya, N.B.A., Suseno, A., 2011, Absorpsi Fenol dengan TiO_2 /Zeolit Artificial Berbahan Dasar Sekam padi dan Limbah Kertas, *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi* 14 (1), hal. 25-31.
- Kong, F., Dai, S., Wang, K., 2007, Review Article : Review of recent progress in dye sensitized solar cells, *Advance in Optoelectronics*, hal. 1-13.
- Kumara, M.S.W., dan Gontjang P., 2012, Studi Awal Fabrikasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) dengan Menggunakan Ekstraksi Daun Bayam (*Amaranthus Hybridus L.*) Sebagai Dye Sensitizer dengan Variasi Jarak Sumber Cahaya pada DSSC, *Jurnal ilmiah ITS*, Surabaya.
- Li, B., Wang, L., Kang, B., Wang, P., Qiu, Y., 2006, Review of Recent Progress in Solid State Dye-Sensitized Solar Cells, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 90, hal. 549-573.
- Li, J., Chen, X., Ai, N., Hao, J., Chen, Q., Strauf, S., Shi, Y., 2011, Silver Nanoparticle Doped TiO_2 Nanofiber Dye Sensitized Solar Cells, *Chemical Physics letters*, Vol 514, hal 141-145.
- Pan, M., Huang, N., Zhao, X., Fu, J., Zhong, X., 2013, Enhanced Efficiency of Dye-Sensitized Solar Cell by High Surface Area Anatase TiO_2 Modified P25 Paste, *Journal of Nanomaterials*, Vol. 2013, hal. 760-685.
- Phani, G., Tulloch, G., Victorio, D., Skryabin I., 2001, Tania Solar Cells: New Photovoltaic Technology, *Renewable Energy* , Vol 22, hal. 303-309.
- Roose, B., Pathak, S., dan Steiner, U., 2015, Doping TiO_2 for Sensitized Solar Cell, *Chem. Soc. Rev*, 44, 8326.
- Saad, S.K.M., Umar, A.A, Nafisah, S., dan Salleh, M.M., Majlis, B.Y., 2013, Effect of TiO_2 Nanostructure's Shape on the DSSCs Performance, *RSM2013 Proc.*, hal 402-405, Langkawi, Malaysia.
- Sahad, M.R.N. dan Susanti.D., 2012, Variasi Temperatur dan Waktu Tahan Kalsinasi Terhadap Unjuk Kerja Semi Konduktor TiO_2 Sebagai Dye

Sensitized Solar Cell (DSSC) Dengan Dye Dari Ekstrak Buah Naga Merah, Jurnal Teknik ITS, Vol. 1, ISSN. 2301-9271.

Setiawati, T., Amalia, I.S., Wisnu, A.A., 2006, Sintesis Lapisan Tipis TiO₂ dan Analisis Fotokatalisnya, *Jurnal Sains Materi Indonesia*, hal 141-146.

Shelke, R.S., Thombre, S.B., Patrikar, S.R., 2013, Compatarative Performanceof Dye Sensitized Solar Cells Usinf Two Electrolytes, *International Journal for Research in Science and Advance Technologies*, Vol 3, hal 131-136.

Santoso, H., Zharvan, V., Daniyati, R., Siantang N.I.A., Yudoyono G., Endarko E., 2015 Peningkatan Kinerja Dye Sensitized Solar Cells Menggunakan Metode Ultrasonikasi, *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, Vol. 11, hal 32-35.

Umar, A.A., Nafisah, S., Saad, S.K.M., dan Tan, S.T., 2014, Poriferous Microtablet of Anatase TiO₂ Growth on an ITO Surface for High-Efficiency Dye-Sensitized Solar Cells, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 122, hal 174-182.

Yuwono, A.H., Munir, B., Ferdiansyah, A., Rahman, A., Handini, W., 2011, Dye Sensitized Solar Cell With Conventionally Annealed And Post-Hydrrothermally Treated Nanocrystalline Semiconductor Oxide Of TiO₂ Derived From Sol-Gel Process, *Makara Journal of Technology*, Vol. 12, hal 53-60

Wang, X., Zhang, Z., Qin, J., Shi, W., Liu, Y., Gao, H., Mao, Y., 2017, Enhanced Photovoltaic Performance of Perovskite Solar Cell Based on Er-Yb Co-doped TiO₂ Nanorod Arrays, *Electrochimia Acta*

Zhang, Q., Cao, G., 2011, Nanostructured Photoanodes for Dye Sensitized Solar Cells. *Nano Today*, Vol 6, hal 91-109.

Zhang, H. dan Banfield, J.F., 2000, Understanding Polymorphic Phase Transformation Behavior during Growth of Nanocrystalline Aggregates:Insights from TiO₂. *J Phys Chem B*, vol.104, pp. 3481.

Zheng, H., Tachibana, Y., Zadeh K., 2010, Dye-Sensitized Solar Cells Based on WO₃, *Langmuir*, Vol. 26, hal. 19148-19152.

Zho,u L., Wei, L., Yang, Y., Xia, X., Wang, P., Yu, J., Luan, T., 2016, Improved Performance Of Dye Sensitized Solar Cells Using Cu-Doped TiO₂ as Photoanode Materials: Band Edge Movement Study by Spectroelectrochemistry, *Chemical Physics*, Vol. 475, hal 1-8.

Kementerian ESDM, 2016, Cadangan Minyak Tak Lagi Melimpah,
<http://www.esdm.go.id>, diakses 16 Maret 2019

ACS Publication, Applied Nanomaterials, <http://Pubs.acs.org> diakses tanggal 4 April 2019.

Mastah, Sains, <http://mastah.org> diakses tanggal 4 April 2019

<https://id.wikipedia.org/wiki/Tembaga> diakses pada tanggal 4 April 2019

<https://id.wikipedia.org/wiki/Perak> diakses pada tanggal 4 April 2019

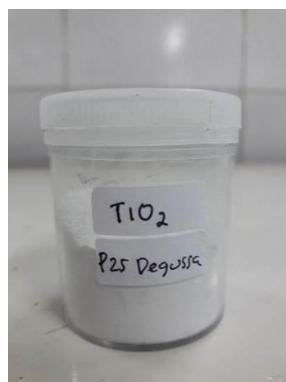


LAMPIRAN

LAMPIRAN A

ALAT DAN BAHAN PENELITIAN

A.1 Bahan penelitian



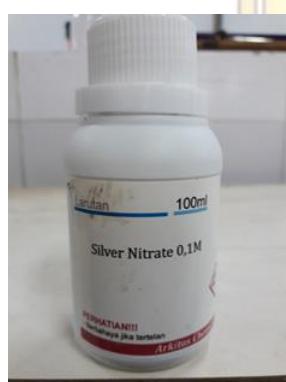
TiO₂ P25 Degussa



PEG 6000



Asam Nitrat



Silver Nitrate



Copper II Chloride



Amonia



Iodin



Dye kulit manggis



Kalium Iodida

A.2 Alat penelitian



Lumpang dan alu



Magnetic bar



Furnace



X-Ray Diffraction



UV-Vis Spectrometry



Mikroskop Optik



Perangkat I-V Test



Ultrasonic Cleaner



Magnetic Stirrer



Neraca Digital



Gelas Kimia



Pipet Tetes



Rod Glass



Oven



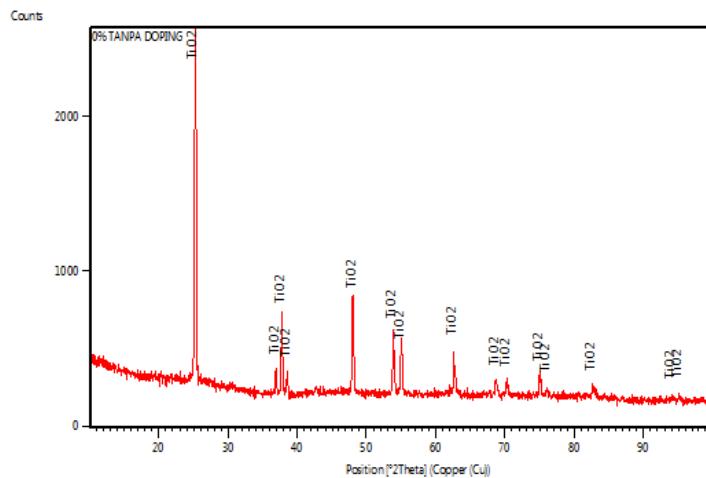
Petry Dish



LAMPIRAN B

DATA HASIL KARAKTERISASI X-RAY DIFFRACTION

B.1 Hasil XRD sampel *doping Cu-Ag 0%*



Peak List

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
25.2551	2148.19	0.3070	3.52650	100.00
36.9210	142.68	0.3070	2.43466	6.64
37.7665	482.77	0.3070	2.38208	22.47
38.5409	135.57	0.3070	2.33598	6.31
48.0266	566.24	0.3070	1.89443	26.36
53.8820	373.78	0.3070	1.70157	17.40
55.0506	246.25	0.6140	1.66819	11.46
62.6382	275.80	0.3070	1.48313	12.84
68.7637	76.94	0.3070	1.36520	3.58
70.2942	74.08	0.3070	1.33918	3.45
75.0846	113.23	0.3070	1.26518	5.27
76.0603	41.61	0.3070	1.25137	1.94
82.6831	60.01	0.3070	1.16712	2.79
94.1284	32.69	0.4093	1.05302	1.52
95.1049	41.60	0.3070	1.04478	1.94

Pattern List

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displ. [°2Th]	Scale Fac.	Chem. Formula
	01-072-7058	88	Titanium Oxide	0.000	0.964	Ti O2

Name and formula

Reference code: 01-072-7058

Mineral name: Anatase, syn

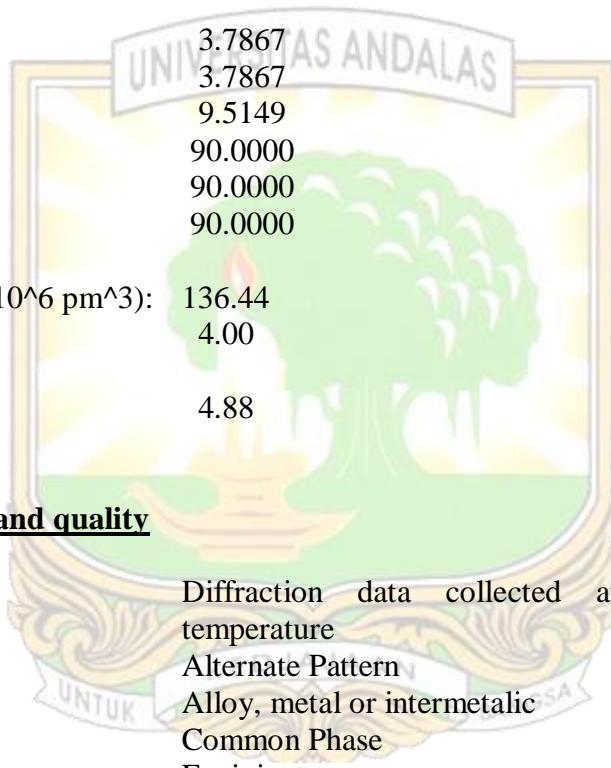
Compound name:	Titanium Oxide
PDF index name:	Titanium Oxide
Empirical formula:	O ₂ Ti
Chemical formula:	TiO ₂

Crystallographic parameters

Crystal system:	Tetragonal
Space group:	I41/amd
Space group number:	141

a (Å):	3.7867
b (Å):	3.7867
c (Å):	9.5149
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	90.0000
Gamma (°):	90.0000

Volume of cell (10 ⁶ pm ³):	136.44
Z:	4.00
RIR:	4.88



Status, subfiles and quality

Status:	Diffraction data collected at non ambient temperature
Subfiles:	Alternate Pattern Alloy, metal or intermetallic Common Phase Excipient Forensic ICSD Pattern Inorganic Mineral Pharmaceutical Pigment/Dye
Quality:	Indexed (I)

Comments

ANX:	AX2
ICSD collection code:	96946

Creation Date: 11/20/2008
 Modification Date: 1/19/2011
 ANX: AX2
 Analysis: O2 Ti1
 Formula from original source: Ti O2
 ICSD Collection Code: 96946
 Calculated Pattern Original Remarks: Stable below 300 K (2nd ref., Tomaszewski), 300-800 K: Pbca. Temperature of Data Collection: 10 K. Minor Warning: No e.s.d reported/abstracted on the cell dimension. Wyckoff Sequence: e a(I41/AMDZ). Unit Cell Data Source: Powder Diffraction.

References

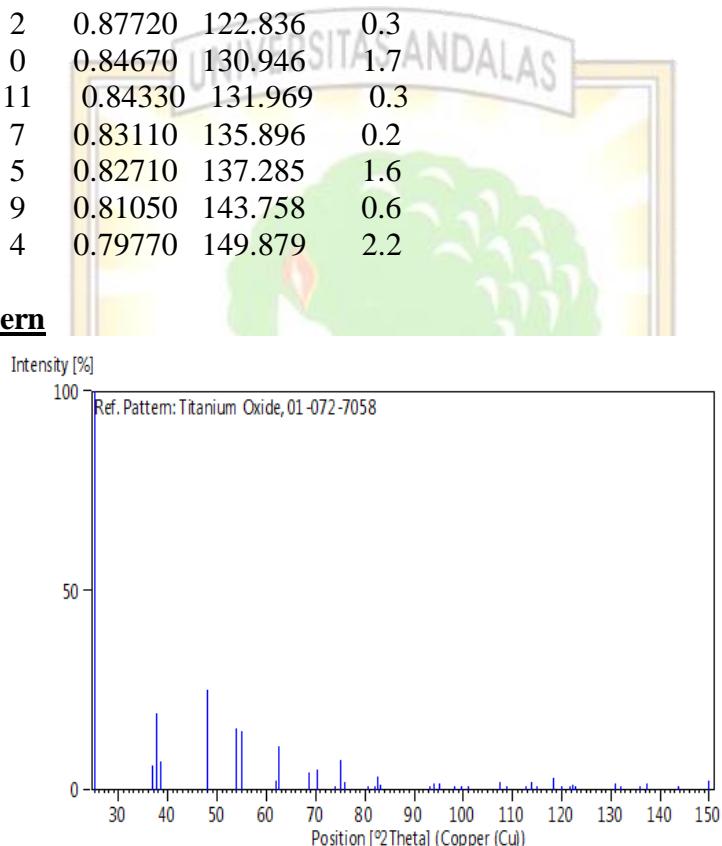
Primary reference: Wagemaker, M., Kearley, G.J., van Well, A.A., Mutka, H., Mulder, F.M., *Golden Book of Phase Transitions, Wroclaw*, **1**, 1, (2002)
 Structure: Mulder, F.M., Mutka, H., van Well, A.A., Kearley, G.J., Wagemaker, M., *J. Am. Chem. Soc.*, **125**, 840, (2003)

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	0	1	3.51830	25.294	100.0
2	1	0	3	2.43140	36.941	6.2
3	0	0	4	2.37870	37.790	19.4
4	1	1	2	2.33340	38.552	7.1
5	2	0	0	1.89340	48.012	25.0
6	1	0	5	1.70030	53.877	15.3
7	2	1	1	1.66730	55.033	14.8
8	2	1	3	1.49390	62.079	2.4
9	2	0	4	1.48140	62.662	11.0
10	1	1	6	1.36450	68.739	4.5
11	2	2	0	1.33880	70.251	5.0
12	1	0	7	1.27940	74.038	0.4
13	2	1	5	1.26510	75.018	7.4
14	3	0	1	1.25130	75.991	2.0
15	0	0	8	1.18940	80.727	0.3
16	3	0	3	1.17280	82.113	0.5
17	2	2	4	1.16670	82.636	3.5
18	3	1	2	1.16120	83.114	1.3
19	2	1	7	1.06000	93.221	0.4
20	3	0	5	1.05190	94.158	1.5
21	3	2	1	1.04390	95.107	1.7

22	1	0	9	1.01830	98.306	1.1
23	2	0	8	1.00710	99.791	0.7
24	3	2	3	0.99700	101.179	0.5
25	3	1	6	0.95560	107.431	2.0
26	4	0	0	0.94670	108.912	1.1
27	3	0	7	0.92490	112.785	0.1
28	3	2	5	0.91950	113.804	1.9
29	4	1	1	0.91420	114.830	1.1
30	1	1	10	0.89660	118.439	2.9
31	2	1	9	0.89660	118.439	2.9
32	2	2	8	0.88920	120.059	0.5
33	4	1	3	0.88220	121.655	0.4
34	4	0	4	0.87960	122.265	1.3
35	3	3	2	0.87720	122.836	0.3
36	4	2	0	0.84670	130.946	1.7
37	1	0	11	0.84330	131.969	0.3
38	3	2	7	0.83110	135.896	0.2
39	4	1	5	0.82710	137.285	1.6
40	3	0	9	0.81050	143.758	0.6
41	4	2	4	0.79770	149.879	2.2

Stick Pattern



Perhitungan ukuran kristal sampel TiO_2 *doping* 0%

Diketahui :

$$K = 0,9$$

$$\lambda = 0,15406 \text{ nm}$$

$$B = \frac{1}{2} FWHM$$

$$= \frac{1}{2} (0,307) = 0,1535$$

$$B_{\text{rad}} = \frac{B_{\text{theta}} \cdot \pi}{180}$$

$$B_{\text{rad}} = \frac{0,1535 \cdot 3,14}{180} = 0,005355 \text{ rad}$$

Sehingga dapat ditentukan ukuran kristal (D) yaitu :

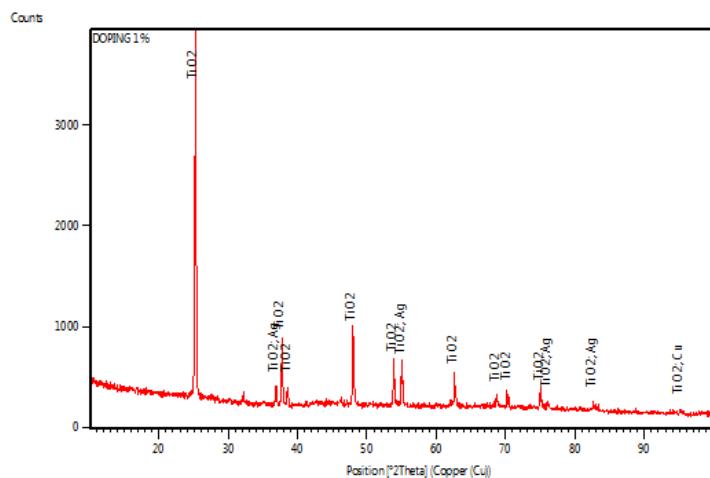
$$D = \frac{0,9 \cdot 0,15406 \text{ nm}}{0,005355 \text{ rad} \cos \frac{25,2551}{2}}$$

$$D = 53,0372 \text{ nm}$$

Tabel : Hasil perhitungan ukuran kristal sampel *doping 0%*

2 Theta	FWHM	1/2 FWHM	1/2 FWHM rad	d (nm)	d average (nm)
25,2551	0,307	0,1535	0,00267908	53,0372	
36,921	0,307	0,1535	0,00267908	54,5610	
37,7665	0,307	0,1535	0,00267908	54,6981	
38,5409	0,307	0,1535	0,00267908	54,8261	
48,0266	0,307	0,1535	0,00267908	56,6580	
53,882	0,307	0,1535	0,00267908	58,0548	
55,0506	0,614	0,307	0,005358161	29,1801	
62,6382	0,307	0,1535	0,00267908	60,5819	
68,7637	0,307	0,1535	0,00267908	62,7102	
70,2942	0,307	0,1535	0,00267908	63,2943	
75,0846	0,307	0,1535	0,00267908	65,2718	
76,0603	0,307	0,1535	0,00267908	65,7042	
82,6831	0,307	0,1535	0,00267908	68,9335	
94,1284	0,4093	0,20465	0,003571816	56,9878	
95,1049	0,307	0,1535	0,00267908	76,6827	
					58,7455

B.2 Hasil XRD sampel *doping* Cu-Ag 11%



Peak List

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
25.2320	2979.96	0.3070	3.52968	100.00
32.2225	58.17	0.6140	2.77812	1.95
36.8828	152.20	0.3070	2.43710	5.11
37.7465	575.48	0.3070	2.38329	19.31
38.5266	161.60	0.3070	2.33681	5.42
48.0046	658.90	0.3070	1.89525	22.11
53.8659	363.73	0.3070	1.70204	12.21
55.0405	345.21	0.3070	1.66847	11.58
62.6748	248.65	0.3070	1.48235	8.34
68.7494	71.16	0.3070	1.36545	2.39
70.2941	90.86	0.3070	1.33918	3.05
75.0679	105.13	0.3070	1.26543	3.53
76.0770	38.47	0.3070	1.25113	1.29
82.6675	51.66	0.4093	1.16730	1.73
95.1812	27.62	0.3070	1.04414	0.93

Pattern List

Ref. Code	Score	Compound Name	Displ. [°2Th]	Scale Fac.	Chem. Formula
01-072-7058	82	Titanium Oxide	0.000	0.705	Ti O ₂
00-041-1402	1	Silver	0.000	0.202	Ag
00-004-0836	0	Copper	0.000	0.190	Cu

Name and formula

Reference code:	01-072-7058
Mineral name:	Anatase, syn
Compound name:	Titanium Oxide
PDF index name:	Titanium Oxide
Empirical formula:	O ₂ Ti
Chemical formula:	TiO ₂

Crystallographic parameters

Crystal system:	Tetragonal
Space group:	I41/amd
Space group number:	141

a (Å):	3.7867
b (Å):	3.7867
c (Å):	9.5149
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	90.0000
Gamma (°):	90.0000

Volume of cell (10 ⁶ pm ³):	136.44
Z:	4.00

RIR:	4.88
------	------

Status, subfiles and quality

Status:	Diffraction data collected at non ambient temperature
Subfiles:	Alternate Pattern Alloy, metal or intermetallic Common Phase Excipient Forensic ICSD Pattern Inorganic Mineral Pharmaceutical Pigment/Dye Indexed (I)
Quality:	

Comments

ANX: AX2
ICSD collection code: 96946
Creation Date: 11/20/2008
Modification Date: 1/19/2011
ANX: AX2
Analysis: O2 Ti1
Formula from original source: Ti O2
ICSD Collection Code: 96946
Calculated Pattern Original Remarks: Stable below 300 K (2nd ref., Tomaszewski), 300-800 K: Pbc_a. Temperature of Data Collection: 10 K. Minor Warning: No e.s.d reported/abstracted on the cell dimension. Wyckoff Sequence: e a(I41/AMDZ). Unit Cell Data Source: Powder Diffraction.

References

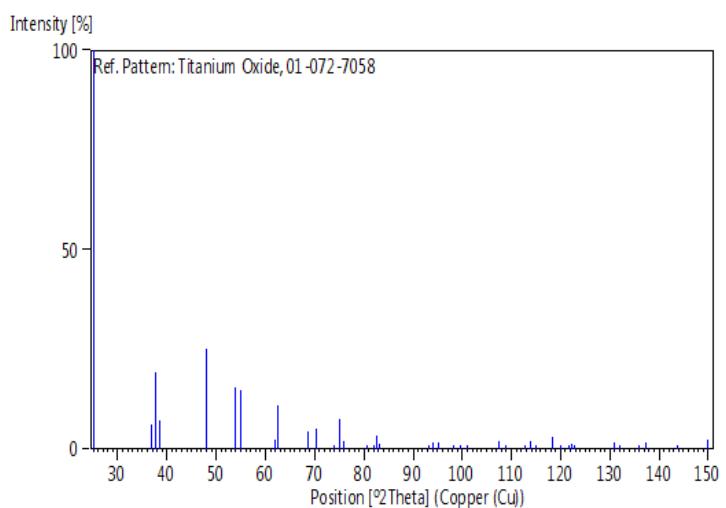
Primary reference: Wagemaker, M., Kearley, G.J., van Well, A.A., Mutka, H., Mulder, F.M., *Golden Book of Phase Transitions*, Wroclaw, **1**, 1, (2002)
Structure: Mulder, F.M., Mutka, H., van Well, A.A., Kearley, G.J., Wagemaker, M., *J. Am. Chem. Soc.*, **125**, 840, (2003)

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	0	1	3.51830	25.294	100.0
2	1	0	3	2.43140	36.941	6.2
3	0	0	4	2.37870	37.790	19.4
4	1	1	2	2.33340	38.552	7.1
5	2	0	0	1.89340	48.012	25.0
6	1	0	5	1.70030	53.877	15.3
7	2	1	1	1.66730	55.033	14.8
8	2	1	3	1.49390	62.079	2.4
9	2	0	4	1.48140	62.662	11.0
10	1	1	6	1.36450	68.739	4.5
11	2	2	0	1.33880	70.251	5.0
12	1	0	7	1.27940	74.038	0.4
13	2	1	5	1.26510	75.018	7.4
14	3	0	1	1.25130	75.991	2.0
15	0	0	8	1.18940	80.727	0.3
16	3	0	3	1.17280	82.113	0.5
17	2	2	4	1.16670	82.636	3.5

18	3	1	2	1.16120	83.114	1.3
19	2	1	7	1.06000	93.221	0.4
20	3	0	5	1.05190	94.158	1.5
21	3	2	1	1.04390	95.107	1.7
22	1	0	9	1.01830	98.306	1.1
23	2	0	8	1.00710	99.791	0.7
24	3	2	3	0.99700	101.179	0.5
25	3	1	6	0.95560	107.431	2.0
26	4	0	0	0.94670	108.912	1.1
27	3	0	7	0.92490	112.785	0.1
28	3	2	5	0.91950	113.804	1.9
29	4	1	1	0.91420	114.830	1.1
30	1	1	10	0.89660	118.439	2.9
31	2	1	9	0.89660	118.439	2.9
32	2	2	8	0.88920	120.059	0.5
33	4	1	3	0.88220	121.655	0.4
34	4	0	4	0.87960	122.265	1.3
35	3	3	2	0.87720	122.836	0.3
36	4	2	0	0.84670	130.946	1.7
37	1	0	11	0.84330	131.969	0.3
38	3	2	7	0.83110	135.896	0.2
39	4	1	5	0.82710	137.285	1.6
40	3	0	9	0.81050	143.758	0.6
41	4	2	4	0.79770	149.879	2.2

Stick Pattern



Perhitungan ukuran kristal sampel TiO_2 *doping* 0%

Diketahui :

$$K = 0,9$$

$$\lambda = 0,15406 \text{ nm}$$

$$B = \frac{1}{2} FWHM$$

$$= \frac{1}{2} (0,307) = 0,1535$$

$$B_{\text{rad}} = \frac{B_{\text{theta}} \cdot \pi}{180}$$

$$B_{\text{rad}} = \frac{0,1535 \cdot 3,14}{180} = 0,005355 \text{ rad}$$

Sehingga dapat ditentukan ukuran kristal (D) yaitu :

$$D = \frac{0,9 \cdot 0,15406 \text{ nm}}{0,005355 \text{ rad} \cos \frac{25,232}{2}}$$

$$D = 53,0348 \text{ nm}$$

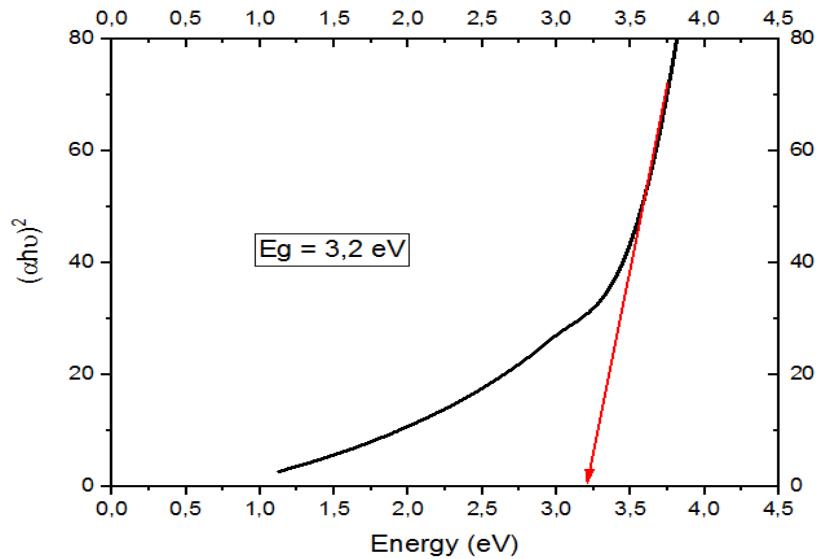
Tabel : Hasil perhitungan ukuran kristal sampel *doping 1%*

2 Theta	FWHM	1/2 FWHM	1/2 FWHM rad	d (nm)	d average (nm)
25,232	0,307	0,1535	0,00267908	53,0348	
32,2225	0,614	0,307	0,005358161	26,9350	
36,8828	0,307	0,1535	0,00267908	54,5558	
37,7465	0,307	0,1535	0,00267908	54,6949	
38,5266	0,307	0,1535	0,00267908	54,8237	
48,0046	0,307	0,1535	0,00267908	56,6531	
53,8659	0,307	0,1535	0,00267908	58,0506	
55,0405	0,307	0,1535	0,00267908	58,3576	
62,6748	0,307	0,1535	0,00267908	60,5937	
68,7494	0,307	0,1535	0,00267908	62,7049	
70,2941	0,307	0,1535	0,00267908	63,2943	
75,0679	0,307	0,1535	0,00267908	65,2645	
76,077	0,307	0,1535	0,00267908	65,7116	
82,6675	0,4093	0,20465	0,003571816	51,6982	
95,1812	0,307	0,1535	0,00267908	76,7386	
					57,5408

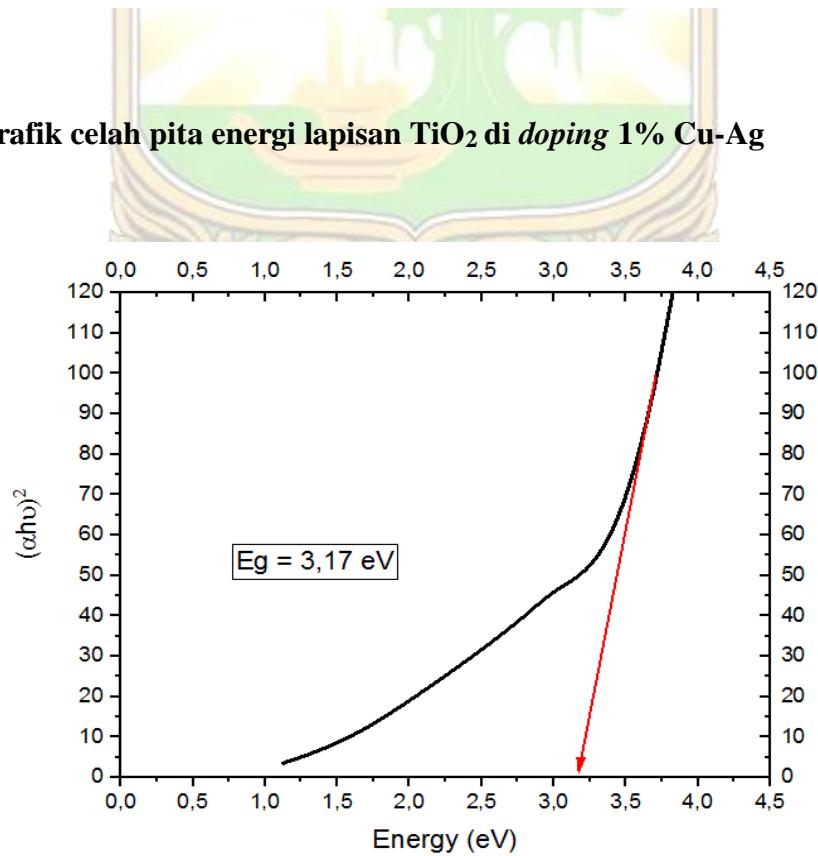
LAMPIRAN C

GRAFIK HASIL KARAKTERISASI UV-VIS SPECTROMETRY

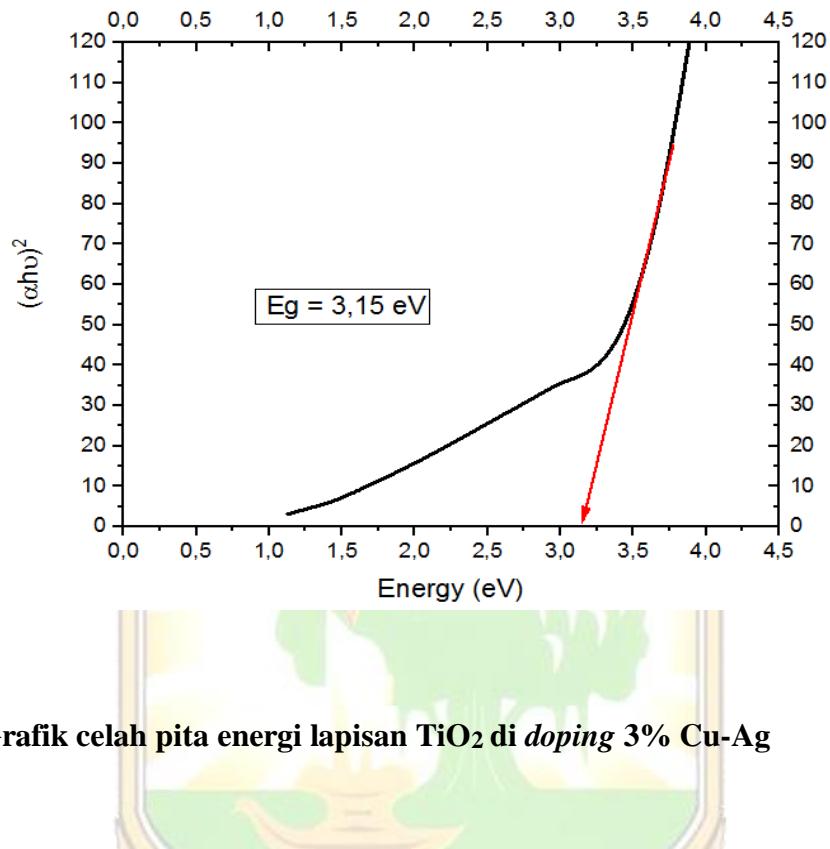
C.1 Grafik celah pita energi lapisan TiO_2 di *doping 0% Cu-Ag*



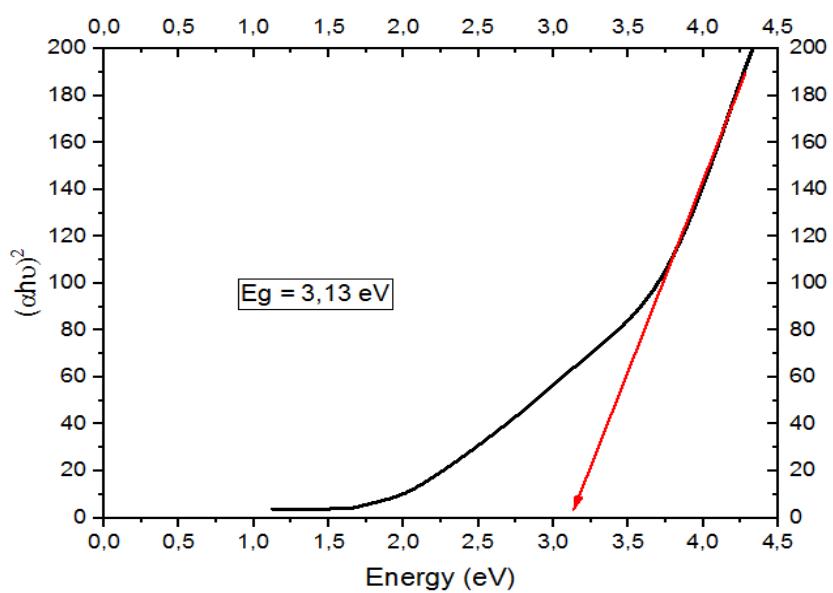
C.2 Grafik celah pita energi lapisan TiO_2 di *doping 1% Cu-Ag*



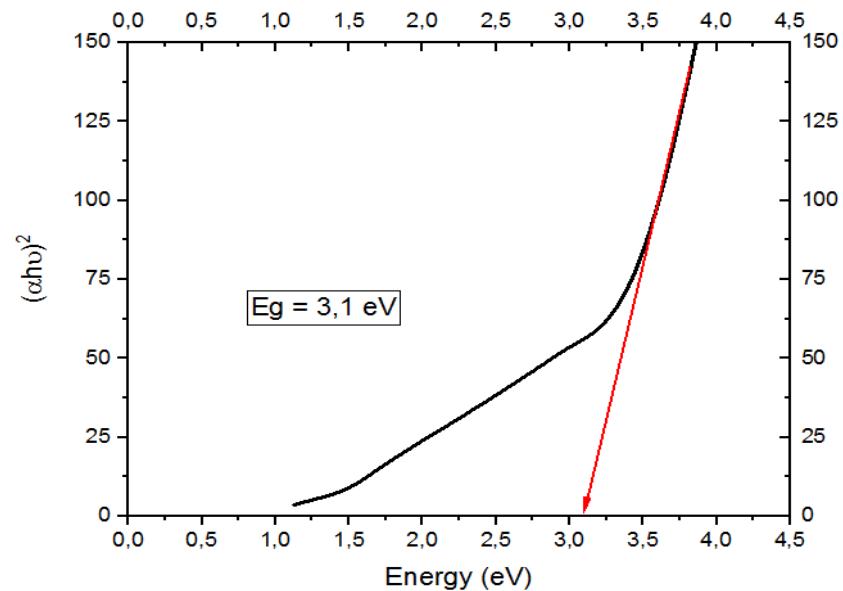
C.3 Grafik celah pita energi lapisan TiO₂ di *doping* 2% Cu-Ag



C.3 Grafik celah pita energi lapisan TiO₂ di *doping* 3% Cu-Ag



C.3 Grafik celah pita energi lapisan TiO₂ di *doping* 4% Cu-Ag



LAMPIRAN D

HASIL KARAKTERISASI I-V TEST

Perhitungan efisiensi DSSC

Diketahui :

Intensitas cahaya = 300 lux

Luas permukaan lapisan = 1 cm² = 0,0001 m²

Luminous effacy lampu pijar = 22 lm/W

$$\phi_v \text{ lm} = E_v \text{ lux} A$$

$$\phi_v \text{ lm} = 300 \text{ lux} \cdot 0,0001 \text{ m}^2 = 0,03 \text{ lm}$$

Keterangan :

$\phi_v \text{ lm}$ = luminous flux dalam lumen (lm)

$E_v \text{ lux}$ = illuminance E_v dalam lux (lux)

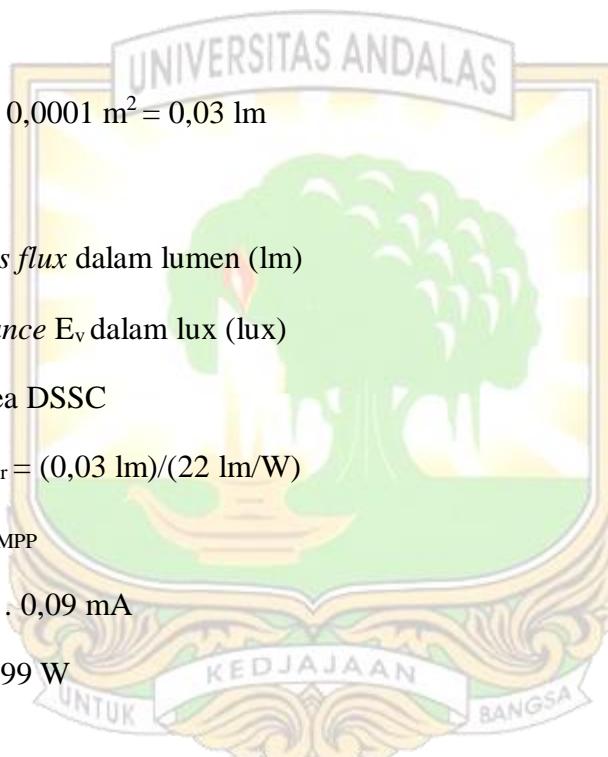
A = Luas area DSSC

$P_{\text{cahaya}} = P_{\text{lampu pijar}} = (0,03 \text{ lm}) / (22 \text{ lm/W})$

$P_{\text{max}} = I_{\text{MPP}} \cdot V_{\text{MPP}}$

$$= 110 \text{ mV} \cdot 0,09 \text{ mA}$$

$$= 0,0000099 \text{ W}$$



Efisiensi

$$\text{Efisiensi} (\eta) = \frac{P_{\text{max}}}{P_{\text{cahaya}}} \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi} (\eta) = \frac{0,0000099 \text{ watt}}{\frac{0,03}{22} \text{ watt}} \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi} (\eta) = 0,73\%$$

Tabel : Pengolahan data I-V Test

No	Intensitas cahaya (lux)	Doping (%)	η (%)	V _{OC} (mV)	I _{SC} (mA)	V _{MPP} (mV)	I _{MPP} (mA)	FF
1	300	0	0,73	152	0,13	110	0,09	0,50
		1	2,46	271	0,225	197	0,17	0,48
		2	2,1	255	0,23	159	0,18	0,5
		3	1,87	254	0,195	176	0,145	0,52
		4	1,51	145	0,255	117,4	0,175	0,56
2	700	0	0,46	165	0,2	95	0,155	0,45
		1	1,58	318	0,32	239	0,21	0,49
		2	1,33	289	0,295	197	0,215	0,49
		3	1	263	0,23	188	0,17	0,53
		4	1,28	208,6	0,33	162,3	0,25	0,59
3	1100	0	0,37	179	0,225	124,6	0,135	0,46
		1	1,28	344	0,36	248	0,26	0,52
		2	1,1	308	0,37	203	0,27	0,48
		3	0,76	279	0,26	189	0,2	0,52
		4	0,94	241	0,4	156	0,3	0,49

