



**STUDI MORFOLOGI ADESIVITAS FILM TIPIS CZTS  
YANG DITUMBUHKAN DENGAN TEKNIK  
*IMMERSE* DAN SULFURISASI**

Skripsi

disajikan sebagai salah satu syarat  
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains  
Program Studi Fisika

oleh

Wening Nurul Amaliyah

4211415005

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG  
2020**

## PERSETUJUAN PEMBIMBING

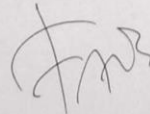
Skripsi dengan judul “**Studi Morfologi Adesivitas Film Tipis CZTS yang Ditumbuhkan dengan Teknik *Immerse* dan Sulfurisasi**” telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang ujian skripsi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.

Hari : Selasa

Tanggal : 28 Januari 2020

Semarang, 20 Januari 2020

Pembimbing



Fianti, S.Si., M.Sc., Ph.D., Eng.

NIP. 197901212005011001

## PERNYATAAN

Dengan ini, saya

nama : Wening Nurul Amaliyah

NIM : 4211415005

program studi : Fisika S1

menyatakan bahwa skripsi berjudul “Studi Morfologi *Adesivitas Film Tipis CZTS yang Ditumbuhkan dengan Teknik Immerse dan Sulfurisasi*” ini benar-benar karya saya sendiri bukan jiplakan dari karya orang lain atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat atau temuan orang atau pihak lain yang terdapat dalam skripsi ini telah dikutip atau dirujuk berdasarkan kode etik ilmiah. Atas pernyataan ini, saya secara pribadi siap menanggung resiko/sanksi hukum yang dijatuhkan apabila ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya ini.

Semarang, 28 Januari 2020



Wening Nurul Amaliyah

NIM 4211415005

## PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul “Studi Morfologi Adesivitas Film Tipis CZTS yang Ditumbuhkan dengan Teknik *Immerse* dan Sulfurisasi” disusun oleh Wening Nurul Amaliyah NIM 4211415005 telah dipertahankan di hadapan sidang Panitia Ujian Skripsi FMIPA UNNES pada tanggal 28 Januari 2020



Dr. Sugianto, M.Si.

NIP 196102191993031001

Sekretaris,

Dr. Suharto Linuwih, M.Si.

NIP 196807141996031005

Penguji I,

Prof. Dr. Putut Marwoto, M.S.

NIP 196308211988031004

Penguji II,

Dr. Sulhadi, M.Si.

NIP 197108161998021001

Penguji III/Dosen Pembimbing,

Fianti, S.Si., M.Sc., Ph.D., Eng.

NIP 197901212005012002

Sebaik-baik manusia adalah yang paling bermanfaat bagi orang lain

- HR. Ahmad,ath-Thabrani, ad-Dharuqutni -

Untuk bapak, ibu dan teman-teman mahasiswa yang membaca.

## PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas berkat rahmat dan karunia-Nya, Tugas Akhir Skripsi dalam rangka untuk memenuhi sebagian persyaratan untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains dengan judul “Studi Morfologi *Adesivitas Film Tipis CZTS yang Ditumbuhkan dengan Teknik Immerse dan Sulfurisasi*” dapat terselesaikan. Tugas Akhir Skripsi ini dapat diselesaikan tidak lepas dari bantuan dan kerja sama dengan pihak lain. Berkenaan dengan hal tersebut, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

- (1) Dr. Sugianto, M.Si. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam yang memberikan persetujuan pelaksanaan Tugas Akhir Skripsi.
- (2) Dr. Suharto Linuwih, M.Si. selaku Ketua Jurusan Fisika yang telah memberikan dukungan dan bantuannya selama penyusunan skripsi ini.
- (3) Mahardika Prasetya Aji, M.Si. selaku Ketua Prodi Fisika beserta dosen dan staf yang telah memberikan bantuan dan fasilitas selama proses penyusunan skripsi.
- (4) Fianti, S.Si, M.Sc. Ph.D. selaku Dosen Wali dan Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan dan arahan selama penyusunan skripsi.
- (5) Prof. Dr Putut Marwoto, M. S. selaku penguji pertama yang telah memberikan bimbingan dan arahan penyusunan skripsi.
- (6) Dr. Sulhadi selaku penguji kedua yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama penyusunan skripsi.
- (7) Bapak dan Ibu yang selalu memberi dukungan dan donator utama selama masa perkuliahan.
- (8) Rosi sebagai teman berjuang semasa skripsi, Azizah, Sifa, Eva, Kukuh dan Zunita yang selalu mengingatkan skripsi cepat selesai dengan motivasi liburan bersama.
- (9) Teman-teman dari Lab Magnetik dan Lab Komposit atas bantuan yang diberikan.

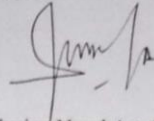
(10) Teman-teman Hima Fisika dan Tim Pandawa yang selalu memberi dukungan dan tempat berbagi saat penulis mengalami kejenuhan.

(11) Semua pihak yang tidak dapat disebutkan di sini atas bantuan, perhatian, serta doanya selama penyusunan Tugas Akhir Skripsi ini.

Semoga segala bantuan yang telah diberikan semua pihak di atas menjadi berkah yang bermanfaat dan mendapatkan balasan dari Tuhan Yang Maha Esa.

Semarang, 28 Januari 2020

Penulis



Wening Nurul Amaliyah

## Abstrak

Amaliyah, W. N. (2020). Studi Morfologi *Adesivitas Film Tipis CZTS yang Ditumbuhkan dengan Teknik Immerse dan Sulfurisasi*. Skripsi, Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Fianti S.Si., M.Sc., Ph.D.

*Kata Kunci : CZTS, immerse, sulfurisasi, adesivitas.*

CZTS film tipis dikembangkan sebagai alternatif film tipis yang aman dan berbiaya rendah. Penelitian ini bertujuan mengetahui penumbuhan, karakteristik, dan adesivitas CZTS yang ditumbuhkan dengan teknik *immerse* dan sulfurisasi yang diterapkan pada substrat SLG (*Soda Lime Glass*) dan ITO (*Indium Tin Oxide*). Penelitian ini dilakukan dengan pembuatan prekursor CZTS dilanjutkan penumbuhan film tipis dengan teknik *immerse* dan sulfurisasi dalam *furnace* pada suhu 540 °C selama 30 menit. Karakteristik dan adesivitas film tipis CZTS diketahui dengan karakterisasi XRD, SEM-EDX, kamera *Smartphone* dan CCD. Uji EDX menghasilkan film *Cu-poor* dan *Zn-rich*. Struktur kristal kesterite dan amorf film tipis CZTS pada substrat SLG dan ITO diketahui melalui hasil karakterisasi XRD. Ketebalan film berurutan dari film SLG A, film SLG B, film SLG C, film ITO A, film ITO B, film ITO C adalah 11,64  $\mu\text{m}$ , 9,33  $\mu\text{m}$ , 17  $\mu\text{m}$ , 11,96  $\mu\text{m}$ , 3,64  $\mu\text{m}$ , 62,08  $\mu\text{m}$ . Morfogi film tipis CZTS diketahui menggunakan kamera *Smartphone*, CCD, dan SEM, terdapat retak dan *void* sehingga porositas film besar serta adesivitas film kecil. Keretakan film lebih banyak terdapat pada film SLG, film ITO menunjukkan kehomogenan dan adesivitas lebih baik.



## DAFTAR ISI

	Halaman
PERSETUJUAN PEMBIMBING .....	ii
PERNYATAAN.....	iii
PENGESAHAN .....	iv
PRAKATA .....	vi
ABSTRAK .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiii
<b>BAB</b>	
I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	3
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Sel Surya .....	6
2.2 Absorber .....	7
2.3 CZTS.....	8
2.4 Deposisi Film Tipis .....	9
2.5 <i>Immerse</i> .....	10
2.6 Sulfurisasi .....	11
III METODE PENELITIAN .....	14
3.1 Alat dan Bahan .....	15

3.2	Alur Penelitian .....	16
3.3	Pelaksanaan Penelitian .....	16
3.4	Karakterisasi Film Tipis .....	19
IV	PEMBAHASAN .....	22
4.1	Komposisi CZTS .....	22
4.2	Struktur Kristal CZTS .....	25
4.3	Morfologi CZTS .....	27
V	PENUTUP .....	32
5.1	Kesimpulan .....	32
5.2	Saran .....	32
	DAFTAR PUSTAKA .....	33

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
4.1 Komposisi prekursor CZTS .....	22
4.2 Komposisi CZTS setelah <i>annealing</i> .....	22
4.3 Ketebalan film tipis CZTS .....	31

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 <i>p-n junction</i> film tipis sel.....	6
2.2 Skema sel surya film tipis CZTS.....	7
2.3 Representasi skematis dari struktur chalcopyrite, struktur kesterite dan stannite.....	9
3.1 (a) Diagram alir penelitian, (b) Diagram alir pembuatan film tipis...	15
3.2 Proses preparasi substrat .....	16
3.3 Proses pembuatan prekursor .....	16
3.4 Proses deposisi film tipis .....	17
3.5 Proses pengeringan film tipis .....	17
3.6 Proses penumbuhan film tipis .....	18
3.7 XRD Panalytical X'Pert <sup>3</sup> Powder .....	19
3.8 Smartphone Vivo Y71 .....	20
3.9 CCD Moritex MS804 .....	21
3.10 a) Skema instrument SEM yang disederhanakan, b) skema instrumen SEM yang lebih detail.....	22
3.11 SEM Hitachi SU 3500.....	22
4.1 Grafik EDS (a) Film SLG A, (b) Film SLG B, (c) Film SLG C, (d) Film ITO A, (e) Film ITO B, (f) Film ITO C.....	23
4.2 Hasil XRD (a) pada SLG, (b) pada ITO .....	24
4.3 Kamera <i>Smartphone</i> (a) Film SLG A, (b) Film SLG B, (c) Film SLG C, (d) Film ITO A, (e) Film ITO B, (f) Film ITO.....	25
4.4 CCD (a) Film SLG A, (b) Film ITO A, (c) Film SLG B, (d) Film ITO A, (e) Film SLG C, (f) Film ITO C .....	26
4.5 SEM (a) Film SLG A, (b) Film ITO A, (c) Film SLG B, (d) Film ITO A, (e) Film SLG C, (f) Film ITO C .....	28
4.6 <i>Cross section</i> (a) Film SLG A, (b) Film ITO A, (c) Film SLG B, (d) Film ITO A, (e) Film SLG C, (f) Film ITO C .....	30

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran		Halaman
1	Perhitungan Mol Larutan .....	39
2	Proses Penelitian .....	41
3	Data Peak XRD .....	42
4	Unsur yang Terbaca Pada Film .....	46
5	Database COD .....	52
6	Surat Tugas Pembimbing.....	58
7	Surat Tugas Panitia Ujian Sarjana.....	59

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Minyak bumi adalah sumber energi terpenting dalam istilah global. Sekitar 35% dari konsumsi energi utama dunia dipasok oleh minyak (Smil, 2008). Tingginya produksi minyak beresiko pada tumpahan minyak yang menjadi masalah utama terjadinya pencemaran lingkungan, ancaman perubahan iklim, gas rumah kaca, serta masalah pengeboran minyak dapat mengganggu ekosistem darat dan laut (Rose *et al.*, 2019). Selain itu secara alami, setiap tambang minyak yang ditemukan mengurangi peluang menemukan tambang minyak baru, hal ini mengakibatkan pengurangan produksi dari cadangan minyak yang semakin berkurang (Lane, 2019).

Hal ini menjadikan permintaan akan sumber daya energi yang ramah lingkungan terus meningkat. Sumber energi terbarukan sebagai salah satu solusi untuk mengatasi semakin berkurangnya minyak bumi. Sumber energi terbarukan seperti sinar matahari atau energi angin terus menerus diisi ulang, dan kelimpahannya tidak terbatas (Mankins *et al.*, 2002). Analisis pengembangan sumber energi terbarukan menunjukkan bahwa pertumbuhan yang signifikan terjadi selama dekade terakhir. Menurut laporan dari *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) di Amerika Serikat pada 2016, 31% dari semua listrik yang dihasilkan di seluruh dunia dihasilkan dari sumber yang terbarukan. Fraksi terbesar saat ini masih berasal dari tenaga air dan angin sedangkan matahari adalah penyumbang terbesar ketiga. Pembangkit listrik tenaga angin dan matahari telah menunjukkan pertumbuhan tercepat dalam 10 tahun terakhir (Beiter *et al.*, 2016).

Berdasarkan informasi di atas, jelas bahwa energi terbarukan memiliki banyak keunggulan dibandingkan dengan sumber energi konvensional dan potensi yang luar biasa untuk menggantikan minyak. Dari semua sumber terbarukan, energi matahari memiliki potensi tertinggi karena kelimpahan yang tidak terbatas, memiliki potensial setara 23.000 TW dengan potensial energi yang diterima bumi

sebesar 174 PW (Munir *et al.*, 2016; Perez & Perez, 2009; Smil, 2008). Tingginya potensial energi matahari dimanfaatkan sebagai sel surya. Sel surya adalah metode untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik menggunakan bahan semikonduktor yang menunjukkan efek fotovoltaiik (penciptaan perbedaan tegangan pada bahan setelah terpapar cahaya) (Cingoski & Petrevska, 2017).

Saat ini, teknologi sel surya film tipis komersial didominasi oleh cadmium telluride (CdTe) dan  $\text{CuIn}_x\text{Ga}_{(1-x)}\text{Se}_2$  (CIGS) sebagai semikonduktor tipe-*p* (Parida *et al.*, 2011). Sel surya film tipis  $\text{Cu}_2\text{InGaSe}_4$  memiliki efisiensi tertinggi pada sel surya film tipis *chalcogenide* dengan persimpangan tunggal dan efisiensi ini bisa dapat dicapai karena  $\text{Cu}_2\text{InGaSe}_4$  memiliki celah pita langsung (List, 2010). In dan Ga adalah elemen yang sangat langka dan penggunaannya terbatas untuk komersialisasi skala besar tingkat industri, sedangkan Cd dan Te sangat beracun, karena kekurangan ini banyak peneliti untuk menemukan alternatif bahan penyerap In dan Ga sel surya film tipis berbasis CIGS, dengan unsur kelimpahan yang besar dan tidak beracun (Adachi, 2015).

$\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$  (CZTS) semikonduktor telah muncul sebagai tipe baru bahan *absorber* untuk diproduksi sebagai sel surya dalam skala besar. Semikonduktor tipe ini terdiri dari unsur-unsur melimpah yang tidak beracun. Energi optik 1.0 - 1.5 eV dan koefisien penyerapan tinggi  $10^4 \text{ cm}^{-1}$  telah menarik pembuatan sel surya film tipis (Persson, 2010). Sel surya CZTS berperforma tinggi adalah yang terbuat dari suhu annealing tinggi di bawah atmosfer *chalcogen* (sulfurisasi dan selenisasi) dengan prekursor berbasis pelarut hidrazin (Liu *et al.*, 2015). Hidrazin adalah pelarut toksisitas tinggi yang mudah terbakar, selain itu hidrazin membutuhkan metode yang eksklusif dan mahal. Efisiensi tertinggi sel surya berbasis CZTS telah diperoleh dengan menggunakan metodologi hidrazin (Mitzi *et al.*, 2011; Wang *et al.*, 2014). Strategi baru untuk pembuatan semikonduktor CZTS dari pelarut yang tidak beracun adalah etanol (Munir *et al.*, 2016).

Penumbuhan kristal CZTS sel surya film tipis dengan teknik *immerse* dan sulfurisasi dilakukan pada suhu annealing 540 °C, annealing pada suhu di atas titik didih sekitar 440 °C (Setiawan, 2013) agar sulfur menguap dan terjadi reaksi kimia dengan film, dengan mengoptimalkan konsentrasi Cu dalam larutan CZTS untuk

didapatkan prekursor yang paling baik. Peneliti sebelumnya telah berhasil mengembangkan CZTS pada substrat SLG seperti yang dilakukan oleh (Munir *et al.*, 2016) dan pada ITO yang dilakukan oleh (Ashfaq *et al.*, 2019). Akan tetapi masih sedikit yang meneliti perbandingan kedua substrat pada sifat adhesinya. Keberhasilan penelitian sebelumnya memberikan peluang untuk meneliti sifat adesi pada substrat SLG dan ITO. Selain membandingkan kedua substrat, kontrol Cu dilakukan pada substrat SLG dan ITO untuk mendapat film dengan morfologi, kristal dan adesi yang paling bagus.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, diperoleh rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana menumbuhkan kristal CZTS dengan teknik *immerse* dan sulfurisasi?.
2. Bagaimana karakteristik film tipis CZTS dengan teknik *immerse* dan sulfurisasi?.
3. Bagaimana adesi sel surya film tipis CZTS yang ditumbuhkan pada substrat SLG dan ITO?.

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian ini antara lain :

1. Film tipis CZTS dibuat dengan bahan *anorganik* (Cu-Zn-Sn) ditumbuhkan dengan metode *immerse* dan sulfurisasi.
2. Karakteristik morfologi film tipis CZTS diketahui melalui XRD, SEM-EDX, CCD dan kamera Smartphone.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini antara lain :

1. Mempelajari penumbuhan kristal CZTS dengan teknik *immerse* dan sulfurisasi.
2. Mempelajari karakteristik film tipis CZTS dengan teknik *immerse* dan sulfurisasi.



3. Membandingkan adesi film tipis CZTS yang ditumbuhkan pada substrat SLG dan ITO.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini antara lain :

1. Memberi informasi mengenai metode penumbuhan CZTS dan perbedaan film pada substrat yang berbeda.
2. Memberikan informasi karakteristik CZTS berdasarkan karakterisasi yang dilakukan, antara lain X-Ray Diffraction (XRD) untuk mengetahui struktur kristal CZTS, Scanning Electron Microscopic-Energy dispersive X-Ray (SEM-EDX) untuk mengetahui morfologi, distribusi ukuran pori, dan mengetahui komposisi kimia CZTS, CCD dan kamera *smartphone* untuk mengetahui morfologi film tipis dengan perbesaran kecil.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ini terdiri dari tiga bagian yang dapat dirinci sebagai berikut:

- a. Bagian pendahuluan skripsi, bagian ini berisi halaman judul, halaman pengesahan, halaman motto dan persembahan, kata pengantar, abstrak, daftar isi, daftar gambar, daftar tabel, dan daftar lampiran.
- b. Bagian isi skripsi terdiri dari:

### Bab 1: Pendahuluan

Berisi latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, penegasan istilah dan sistematika penulisan skripsi.

### Bab 2: Kajian Pustaka

Berisi tentang teori yang mendukung penelitian ini.

### Bab 3: Metode Penelitian

Metodologi penelitian, berisi tempat pelaksanaan penelitian, alat dan bahan yang digunakan, langkah kerja, pengujian, dan karakterisasi yang dilakukan dalam penelitian.

### Bab 4: Hasil Penelitian dan Pembahasan

Berisi hasil penelitian berupa hasil analisis data, selanjutnya dilakukan pembahasan sesuai dengan teori.

**Bab 5: Simpulan dan Saran**

Berisi tentang simpulan dan saran yang perlu diberikan kepada peneliti selanjutnya terkait dengan penelitian serupa.

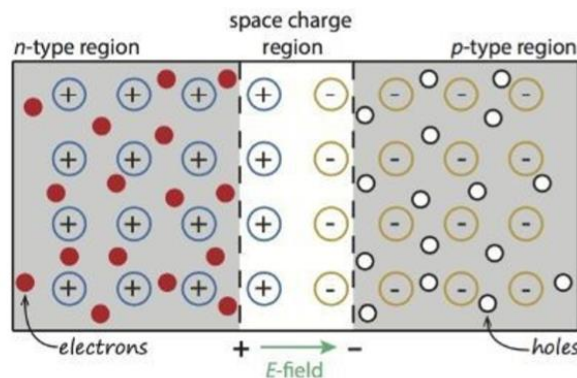
- c. Bagian akhir, bagian ini berisi daftar pustaka, dokumentasi dan lampiran-lampiran yang melengkapi uraian pada bagian isi.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Sel Surya

Sel surya adalah alat konversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Gambar 2.1 mengilustrasikan *junction* semikonduktor tipe-*p* dan tipe-*n*. Dalam semikonduktor tipe-*n*, konsentrasi mayoritas adalah elektron, elektron bebas bermuatan negatif dikompensasi oleh atom donor terionisasi bermuatan positif. Dalam semikonduktor tipe-*p* pembawa mayoritas adalah *hole* dan muatan positif *hole* dikompensasi oleh atom akseptor terionisasi bermuatan negatif (Smets *et al.*, 2015).



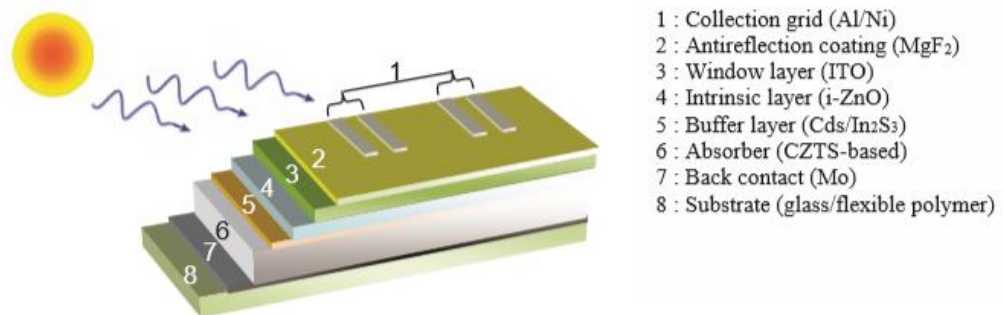
Gambar 2.1 *p-n junction* film tipis sel surya (Smets *et al.*, 2015).

Peran dari *p-n junction* ini adalah untuk membentuk medan listrik sehingga elektron dan *hole* bisa diekstrak oleh material kontak untuk menghasilkan listrik. Ketika semikonduktor tipe-*p* dan tipe-*n* terkontak, maka kelebihan elektron akan bergerak dari semikonduktor tipe-*n* ke tipe-*p* sehingga membentuk kutub positif pada semikonduktor tipe-*n*, dan sebaliknya kutub negatif pada semikonduktor tipe-*p*. Akibat dari aliran elektron dan *hole* ini maka terbentuk medan listrik yang mana ketika cahaya matahari mengenai susunan *p-n junction* ini maka akan mendorong elektron bergerak dari semikonduktor menuju kontak negatif, yang selanjutnya

dimanfaatkan sebagai energi listrik, dan sebaliknya *hole* bergerak menuju kontak positif menunggu elektron datang, seperti diilustrasikan pada Gambar 2.1.

Gambar 2.1 menunjukkan cara kerja panel surya dengan prinsip *p-n junction*. Sel surya konvensional bekerja menggunakan prinsip *p-n junction*, yaitu *junction* antara semikonduktor tipe-*p* dan tipe-*n*. Semikonduktor ini terdiri dari ikatan-ikatan atom yang terdapat elektron sebagai penyusun dasar. Semikonduktor tipe-*n* mempunyai kelebihan elektron (muatan negatif) sedangkan semikonduktor tipe-*p* mempunyai kelebihan *hole* (muatan positif) dalam struktur atomnya (Julisman *et al.*, 2017).

## 2.2 Absorber



Gambar 2.2 Skema sel surya film tipis CZTS (Munir *et al.*, 2017).

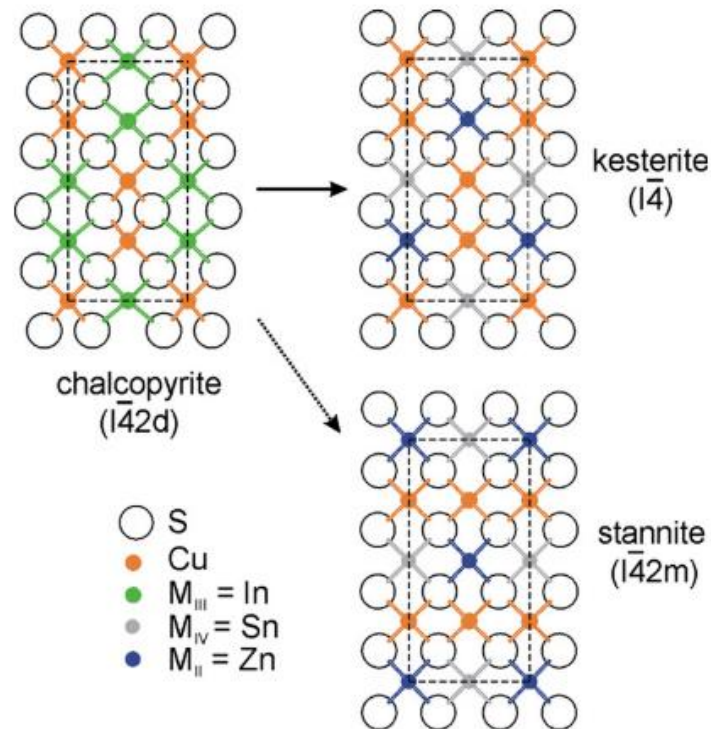
Saat ini, absorber sel surya dapat diklasifikasikan menjadi empat generasi. Generasi pertama adalah sel surya berdasar silikon (poli kristal dan kristal tunggal). Generasi kedua seperti pada Gambar 2.2 adalah generasi film tipis (CuInSe<sub>2</sub>, Cu<sub>2</sub>InGaSe<sub>4</sub>, CdTe, Cu<sub>2</sub>ZnSnS<sub>4</sub> / Se<sub>4</sub>, dll.) generasi ketiga adalah sel surya organik (DSSC). Sel surya generasi keempat adalah sel surya hibrida (gabungan antara bahan anorganik dan organik (Abermann, 2013).

Menurut Vasekar & Dhakal (2011), lapisan sel surya lengkap dengan susunan sebagai berikut: ZnO: Al / CdS / CZTS / Mo / SLG. Secara konvensional, bahan fotovoltaik menggunakan semikonduktor anorganik. Semikonduktor yang menarik memungkinkan pembentukan persimpangan pemisah muatan-pembawa.

Persimpangan dapat berupa *homojunction* (seperti dalam Si) atau *heterojunction* dengan bahan lain untuk mengumpulkan kelebihan pembawa saat terpapar cahaya. Pada prinsipnya, sejumlah besar bahan semikonduktor memenuhi syarat, tetapi hanya beberapa di antaranya yang cukup memenuhi. Idealnya, bahan penyerap dari polimer hemat energi yang optimal harus memenuhi kriteria : menjadi konduktor yang kondusif dengan energi gap 1 - 1,5 eV dan penyerapan optik surya yang tinggi ( $10^4 - 10^5 \text{ cm}^{-1}$ ) di daerah panjang gelombang 350 - 1000 nm (Poortmans & Arkhipov, 2006). Selain sifat optiknya, film tipis yang baik memiliki kriteria Cu-poor dan Zn-rich (Alee *et al.*, 2020), karakterisasi XRD menunjukkan peak  $2\theta = 28,4^\circ, 47,3^\circ, \text{ dan } 56^\circ$  pada difraksi (112), (220), (312) dengan struktur kristal kesterite atau stannite (Raza *et al.*, 2020; Hernández *et al.*, 2020). Selain itu film memiliki permukaan homogen dan tidak ada porositas (Aydin & Akyuz, 2020; Munir *et al.*, 2017).

### 2.3 CZTS

CZTS adalah senyawa kuater I<sub>2</sub>-II-IV-VI<sub>4</sub> yang dapat diperoleh dengan mengganti satu setengah atom indium konstituen dengan seng dan setengah lainnya dengan timah dalam senyawa terner Cu<sub>2</sub>InS<sub>2</sub>. Hal ini harus dilakukan untuk menemukan alternatif berdasarkan unsur-unsur yang berlimpah di bumi dan tidak beracun karena indium di CuInS<sub>2</sub> adalah elemen yang tidak berlimpah di kerak bumi, sehingga membuat CuInS<sub>2</sub> sel surya memiliki produksi berbiaya tinggi dibandingkan CZTS. Meskipun diadopsi unsur kristal yang sama, yaitu kalkopirit, tetapi karena perubahan posisi atom yang disubstitusi, maka senyawa quartener memiliki struktur kristal sendiri yaitu kesterit atau stannite, di mana perbedaannya ada pada organisasi atom unsur I dalam kristal sub kisi. Struktur kesterite dan stannite, hanya struktur kesterite yang biasanya muncul karena struktur kesterite lebih stabil secara termodinamik dibandingkan dengan struktur stannite (Fianti *et al.*, 2017; Vasekar & Dhakal, 2011). Perbedaan energi struktur stannite hanya sedikit lebih besar, dan karena celah pita yang stannite lebih kecil dari kesterite. Untuk membedakan ketiga jenis struktur bisa dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Representasi skematis dari struktur chalcopyrite, struktur kesterite dan stannite. (Mitzi *et al.*, 2011).

## 2.4 Deposisi Film Tipis

Pengertian deposisi secara umum adalah suatu proses perubahan dari gas berubah menjadi padat dikenal sebagai (*desublimation*). Banyak orang menyebut deposisi dengan pengendapan atau pertumbuhan, sebenarnya ketiga istilah itu sama dalam pengertian proses yang dimaksud. Secara umum metode deposisi film tipis dibedakan menjadi dua kelompok yaitu *Physical Vapor Deposition* (PVD) dan *Chemical Vapor Deposition* (CVD).

Metoda PVD merupakan deposisi yang bergantung pada transfer material terkondensasi atau menggerogoti sumber target, sebagai contoh *Sputtering* (DC atau RF), *Pulsed Laser Deposition*. Metoda CVD merupakan proses reaksi kimia reaktan gas disekitar permukaan substrat, sebagai contoh *Metal Organic Chemical Vapor Deposition* (MOCVD), *Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition* (PECVD), Metode *Low Pressure Chemical Vapor* (LPCVD). Metode MOCVD berkembang lebih pesat karena dapat memproduksi lapisan tipis yang mudah

dikontrol ketebalan film tipis, komposisi dan konsentrasi dopingnya. MOCVD dibagi menjadi *Plasma Assited Metal Organic Chemical Vapor Deposition* (PA-MOCVD), metode *Sol gel* (*spin coating, immerse, spray gun*), Metode *dc magnetron sputtering*, metode *Glow Discharge-Induced Sublimation* (GDS) (Sujarwata & Marwoto, 2014; Choy, 2003; Kamarrudin, 2010).

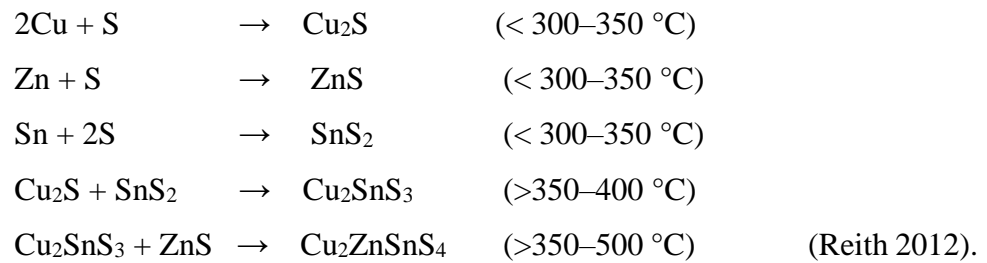
## **2.5 Immerse**

Teknik *immerse* merupakan metode perendaman substrat kedalam larutan dalam beberapa waktu. Waktu perendaman mempengaruhi morfologi, struktur dan sifat optik film tipis. Pengurangan waktu perendaman mengakibatkan berkurangnya FWHM, sehingga waktu perendaman substrat yang lebih sedikit disarankan dalam deposisi film tipis CZTS untuk mendapatkan ukuran kristal CZTS yang baik (Suryawashi, 2014; Kamarrudin, 2010).

## **2.6 Sulfurisasi**

Sulfurisasi adalah proses yang penting untuk menumbuhkan film tipis CZTS berkualitas tinggi karena sifat morfologi, komposisi dan struktural dari film tipis CZTS dan parameter perangkat sel surya sangat dipengaruhi oleh tekanan parsial sulfur selama proses sulfurisasi. Sulfurisasi dimulai ketika *furnace* memanans, dan uap-uap sulfur memenuhi ruang. Prekursor CZTS akan bereaksi dengan molekul sulfur (Zhang *et al.*, 2019). Sulfurisasi diimplementasikan di bawah vakum tinggi atau atmosfer inert. Mekanisme sulfurisasi dipelajari dengan hati-hati melalui memvariasikan jumlah bubuk sulfur selama proses *annealing* dengan parameter sulfurisasi (tingkat pemanasan, lama waktu sulfurisasi dll.) (Cai *et al.*, 2019; Olgar, 2020).

Berikut merupakan mekanisme pembentukan senyawa  $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$  disertai suhu pembentukannya :





## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

CZTS film tipis dikembangkan sebagai alternatif yang aman dan berbiaya rendah. Penelitian ini bertujuan untuk menumbuhkan, mengetahui karakteristik serta membandingkan adesi film tipis CZTS yang ditumbuhkan dengan teknik *immerse* dan sulfurisasi yang diterapkan pada substrat SLG dan ITO. Penelitian ini berhasil dilakukan dengan kesimpulan :

1. Penumbuhan film CZTS dengan teknik *immerse* dan sulfurisasi berhasil dilakukan pada substrat SLG dan ITO yang bersifat *Cu-poor* dan *Zn-rich*.
2. Struktur CZTS yang terbentuk adalah kesterite dan amorf.
3. Morfologi film tipis CZTS yang dilihat dari gambar foto kamera *Smartphone*, CCD dan SEM memperlihatkan retak dan *void* sehingga porositas film besar serta adhesivitas film kecil. Keretakan film lebih banyak terdapat pada film SLG, film pada ITO menunjukkan kehomogenan dan adhesivitas lebih baik.

Penyiapan CZTS dengan substrat ITO lebih disarankan untuk menghasilkan film yang baik.

#### **5.2 Saran**

Saran yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan film tipis CZTS tanpa retak dan *void*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abermann, S. (2013). Non-Vacuum Processed Next Generation Thin Film Photovoltaics: Towards Marketable Efficiency and Production of CZTS Based Solar Cells. *Solar Energy*, *94*, 37–70.
- Adachi, S. (2015). *Earth-Abundant Materials for Solar Cells: Cu<sub>2</sub>-II-IV-VI<sub>4</sub> Semiconductors* (first). West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd.
- Alee, S., Ahmadi, M., Soltanmohammadi, M., Asemi, M., & Cells, S. (2020). Preparation of Quaternary Cu<sub>2</sub>ZnSnS<sub>4</sub> (CZTS) Absorber Layer Through DC Sputtering of Cu, Zn, and Sn Metallic Targets and Post-deposition Sulfurization, (2), 14–17.
- Ashfaq, A., Jacob, J., Bano, N., Nabi, M. A. U., Ali, A., Ahmad, W., Mahmood, K., Arshad, M. I., Ikram, S., Rehman, U., Amin, N., & Hussain, S. (2019). A Two Step Technique to Remove the Secondary Phases in CZTS Thin Films Grown by Sol - Gel Method. *Ceramics International*, *45*(8), 10876–10881.
- Atwee, T., Gadallah, A. S., Salim, M. A., & Ghander, A. M. (2019). Effect of Film Thickness on Structural, Morphological, and Optical Properties of Cu<sub>2</sub>ZnSnS<sub>4</sub> Thin Films Prepared by Sol–Gel Spin Coating. *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, *125*(4), 1–10.
- Aydin, R., & Akyuz, I. (2020). Two-stage production and characterization of Cu-poor kesterite CZTS absorber layers. *Optik*, *200*(6), 163407.
- Beiter, P., Elchinger, M., & Tian, T. (2016). 2016 Renewable Energy Data Book. Diambil dari <https://www.nrel.gov/docs/fy18osti/70231.pdf>
- Cai, H., Xia, Y., Dao, C., Li, J., Lin, L., Kong, X., Chen, S., Huang, Z., & Chen, G. (2019). Ambient-Air Sulfurization Process for Cu<sub>2</sub>ZnSnS<sub>4</sub> Thin Film Solar Cells: Self-Creating Inert Atmosphere Using Sulfur Vapor. *ACS Applied Energy Materials*, *2*(10), 7279–7287.
- Cingoski, V., & Petrevska, B. (2017). Flexible Textile Photovoltaics: Application of New Generation in Tourism. *Journal of Applied Economics and Business*, *5*(4), 1–103.
- Fianti, F., Munir, B., Kim, K. H., & Amal, M. I. (2017). Current State: The

- Development of Thin Film Solar Cells Based on Kesterite Compound. *Journal Of Natural Sciences And Mathematics Research*, 2(1), 99.
- Garza-Hernández, R., Lugo-Loredo, S., & Aguirre-Tostado, F. S. (2020). The role of copper during the growth of stoichiometric  $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$  by successive ionic layer adsorption and reaction method. *Ceramics International*, 46(4), 5185–5192.
- Jamaludin, J., Rahim, R. A., Rahim, H. A., Rahiman, H. F., Muji, S. Z. M., Fadzil, N. S. M., Ling, L. P., Jumaah, F., Ayob, N. M. N., & Hong, L. E. (2015). Introducing an Application of a Charged Coupled Device (CCD) in an Optical Tomography System. *Jurnal Teknologi*, 73(3), 97–102.
- Jeong, A. R., Jo, W., Park, D. Y., Cheong, H., Seo, Y. K., Park, J. H., Chung, J. S., Lee, Y. S., & Kwark, Y. J. (2013). Effects of Substrates on Structural and Optical Properties of Cu-poor  $\text{CuGaSe}_2$  Thin Films Prepared by in-situ Co-evaporation. *Current Applied Physics*, 13(5), 907–912.
- Jhuma, F. A., Shaily, M. Z., & Rashid, M. J. (2019). Towards High-Efficiency CZTS Solar Cell Through Buffer Layer Optimization. *Materials for Renewable and Sustainable Energy*, 8(1), 1–7.
- Julisman, A., Sara, I. D., & Siregar, R. H. (2017). Prototipe Pemanfaatan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Pada Sistem Otomasi Atap Stadion Bola. *Jurusan Teknik Elektro dan Komputer, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala*, 2(1), 35–42.
- Kamaruddin, S.A., Sahdan, M. Z., Chan, K. Y., Rusop, M & Saim. H. 2010. Zinc oxide microrods prepared by sol-gel immerse technique. *Microelectronics International*, 27(3), 166–169.
- Kumar, S., Kasubosula, B., Looirits, M., Raudoja, J., Mikli, V., Altosaar, M., & Grossberg, M. (2016). Synthesis of  $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$  Solar Cell Absorber Material by Sol-gel Method. *Energy Procedia*, 102(5), 102–109.
- Kurniawan, R. (2018). Evaluasi Pengaruh Kadar  $\text{Na}_2\text{O}$  dan  $\text{K}_2\text{O}$  terhadap Kualitas Bubble pada Kaca Soda Lime Silica. *Konversi*, 7(1).
- Lane, R. (2019). The American anthropocene: Economic Scarcity and Growth During the Great Acceleration. *Geoforum*, 99(1), 11–21.

- Lesser, M. (2015). A Summary of Charge-Coupled Devices for Astronomy. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 127(957), 1097–1104.
- List, G. (2010). 2008 Solar Technologies Market Report. *Lipid Technology*, 26(8), 192–192.
- Liu, F., Hao, X., Jiang, L., Han, Z., Zeng, F., Liu, Y., Wen, X., Yan, C., & Su, Z. (2015). Kesterite  $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S},\text{Se})_4$  Solar Cells with Beyond 8% Efficiency by a Sol–Gel and Selenization Process. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 7(26), 14376–14383.
- Maurya, D. K., Sirkawar, S., Chaundhary, P., Angaiah. S., & Yadav, B. C. (2019). Synthesis Characterization of Nanostructured Copper Zinc Tin Sulphide (CZTS) for Humidity Sensing Application. *IEEE Sensor Journal*, 19(4), 2837–2846.
- Mankins, J. C., Hoffert, M. I., Manheimer, W., Kheshgi, H. S., Criswell, D. R., Benford, G., Jain, A. K., Volk, T., Lightfoot, H. D., Mauel, M. E., Wigley, T. M. L., Herzog, H., Caldeira, K., Schlesinger, M. E., Perkins, L. J., Green, C. Lewis, J. S., & Lackner, K. S. (2002). Advanced Technology Paths to Global Climate Stability: Energy for a Greenhouse Planet. *Science*, 298(5595), 981–987.
- McGonigle, A. J. S., Wilkes, T. C., Pering, T. D., Willmott, J. R., Cook, J. M., Mims, F. M., & Parisi, A. V. (2018). Smartphone Spectrometers. *Sensors (Switzerland)*, 18(1), 1–15.
- Mitzi, D. B., Gunawan, O., Todorov, T. K., Wang, K., & Guha, S. (2011). The path towards a high-performance solution-processed kesterite solar cell. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 95(6), 1421–1436.
- Munir, B., Prastyo, B. E., Muslih, E. Y., & Nurjaya, D. M. (2016). Non-Sulfurization Single Solution Approach to Synthesize CZTS Thin Film. *International Journal of Technology*, 8, 1326–1334.
- Munir, B., Prastyo, B. E., Nurjaya, D. M., Muslih, E. Y., & Alfauzan, S. K. (2017). High Crystalline  $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$  Semiconductor Prepared from Low Toxicity Ethanol-Based Precursors. *AIP Conference Proceedings*, 1788. New York : American Institute of Physics.

- Muslih, E. Y., & Kim, K. H. (2015). Characteristics of  $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$  Thin Film Prepared by Calcination and Sulfurizing of Metal (Cu,Zn,Sn)-Ethanolamine Precursor Complexed from Metal (Cu,Zn,Sn)-Hydrate. *Chalcogenide Letters*, *12*(7), 349–355.
- Mejia, O. O., Bulnes, R. C., Ortega, C. M. Z., Luckie, R. A. Morales., Castañares, L., & Cardoso, O. O. (2014). Scanning Electron Microscopy and Energy Dispersive Spectroscopy microanalysis applied to human dental specimens under laser irradiation for caries prevention. Diambil dari <https://www.repositorionacionalcti.mx/autor/OSCAR+OLEA+CARDOSO>.
- Olgar, M. (2020). Improvement in the structural and optical properties of  $\text{Cu}_2\text{SnS}_3$  (CTS) thin films through soft-annealing treatment. *Superlattices and Microstructures*, *138*(2),106366.
- Parida, B., Iniyar, S., & Goic, R. (2011). A Review of Solar Photovoltaic Technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *15*(3), 1625–1636.
- Perez, R., & Perez, M. (2009). SHC Solar Update 50. *The IEA SHC Solar Update*, *50*(April), 1–12.
- Persson, C. (2010). Electronic and Optical Properties of  $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$  and  $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$ . *Journal of Applied Physics*, *107*(5), 053710.
- Poortmans, J., & Arkhipov, V. (2006). *Thin Film Solar Cells Fabrication, Characterization and Applications*. England: John Wiley & Sons,Ltd.
- Raza, A., Shen, H., Haidry, A. A., Sun, L., Liu, R., & Cui, S. (2020). Studies of Z-scheme  $\text{WO}_3\text{-TiO}_2/\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$  ternary nanocomposite with enhanced  $\text{CO}_2$  photoreduction under visible light irradiation. *Journal of CO2 Utilization*, *37*(12), 260–271.
- Reith P, Gerben H. 2012. Investigating electrodeposition to grow CATS thin film for solar cell applicatipons [disertasi]. Twin Cities: University of Minnesota.
- Rose, R., Tegelberg, A., Singleterry, A., & Jillian, R. (2019). Energy and Climate Change: Nonpartisan Policies for the Next US President Evaluator. *US Energy Outlook 14*. Diambil dari [https://jsis.washington.edu/wordpress/wp-content/uploads/2020/01/TF\\_H\\_2019\\_Montgomery.pdf](https://jsis.washington.edu/wordpress/wp-content/uploads/2020/01/TF_H_2019_Montgomery.pdf).
- Sendari, S., Rudi, A., Handayani, A. N., & Dewi, A. K. (2017). Integrasi

- Smartphone Dan Motor Servo Sebagai Prototype Home Security System. *Hacking and Digital Forensics Exposed*, 1(1), 12–18.
- Setiabudi, A., Hardian, R., & Mudzakir, A. (2012). *Karakterisasi Material; Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia*. Bandung: Upi Press.
- Setiawan, A. (2013). Pengaruh Sulfur terhadap Karakteristik Marshall Asphaltic Concrete Wearing Course (AC-WC). *Rekayasa dan Manajemen Transportasi*, 2(1), 22–33.
- Smets, A., Jager, K., Isabella, O., Swaaij, R. Van, & Zeman, M. (2015). Solar energy. Diambil dari [https://op.lib.kobeu.ac.jp/opac/opac\\_link/bibid/3000026383](https://op.lib.kobeu.ac.jp/opac/opac_link/bibid/3000026383)
- Smil, V. (2008). *Energy in Nature and Society: General Energetics of Complex Systems*. London: MIT Press.
- Sujarwata, & Marwoto, P. (2014). *Karakterisasi Film Tipis : Teori, Penerapan dan Analisis Hasil Deposisi film Tipis*. Yogyakarta: Deepublish.
- Suryawanshi, M. P., Ghorpade, U. V., Suryawanshi, U. P., He, M., Kim, J., Gang, M. G., & Kim, J. H. (2017). Aqueous-Solution-Processed  $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S},\text{Se})_4$  Thin-Film Solar Cells via an Improved Successive Ion-Layer-Adsorption Reaction Sequence. *ACS Omega*, 2(12), 9211–9220.
- Suryawanshi, M. P., Patil, P. S., Shin, S.W., Gurav, K. V., Agawane, G. L., Gang, M. G., Kim, J. H & Moholkar, A. V. 2014. The Synergistic Influence of anionic Bath Immersion Time on the Photoelectrochemical Performance of CZTS Thin Films Prepared by a Modified SILAR Sequence. *RSC Adv*, 4, 18537-18540.
- Vasekar, P. S., & Dhakal, T. P. (2011). *Solar Cells: Research and Application Perspective*. Croatia: InTech.
- Wang, W., Winkler, M. T., Gunawan, O., Gokmen, T., Todorov, T. K., Zhu, Y., & Mitzi, D. B. (2014). Device Characteristics of CZTSSe Thin-Film Solar Cells with 12.6% efficiency. *Advanced Energy Materials*, 4(7), 1–5.
- Yang, C. L., Chen, Y. H., Lin, M., Wu, S. L., Li, L., Liu, W. C., Wu.X.S., & Zhang, F. M. (2016). Structural, optical and magnetic properties of  $\text{Cu}_2\text{NiSnS}_4$  thin

films deposited by facile one-step electrodeposition. *Materials Letters*, *166*(12), 101–104.

Zhang, Y., Wang, S., Huang, M., Ou, K., Bai, L., Zhang, K., & Yi, L. (2019). Non-Uniform Distribution of Sulfur Vapor and its Influence on  $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$  Thin Film Solar Cells. *Solar Energy*, *193*(9), 6–11.

Ziti, A., Hartiti, B., Labrim, H., Fadili, S., Batan, A., Tahri, M., Ridah, M., Mounkachi, O., Benyoussef, A., & Thevenin, P. (2019). Characteristics of kesterite CZTS thin films deposited by dip-coating technique for solar cells applications. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, *30*(14), 13134–13143.