



**STUDI STRUKTUR FILM TIPIS $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ YANG
DITUMBUHKAN DENGAN TEKNIK *IMMERSE* DAN
SULFURISASI**

Skripsi

Disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

Sarjana Sains Program Studi Fisika

Oleh

Aulia Rosi Kusuma Wardani

4211415002

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

2020

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi dengan judul “**Studi Struktur Film Tipis $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ 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 I



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

NIP. 197902162005012001

PERNYATAAN

Dengan ini, saya

nama : Aulia Rosi Kusuma Wardani

NIM : 4211415002

program studi : S1 Fisika

menyatakan bahwa skripsi berjudul *Studi Struktur Film Tipis Cu_2ZnSnS_4 yang Ditumbuhkan dengan Teknik Immerse dan Sulfurisasi* ini benar-benar karya saya sendiri dan bukan dari jiplakan karya orang lain baik sebagian maupun seluruhnya. Pendapat maupun temuan pihak lain yang terdapat dalam skripsi ini dikutip dengan kode etik ilmiah. Atas pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi apabila ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam skripsi ini.

Semarang, 20 Januari 2020



Aulia Rosi Kusuma Wardani
NIM : 4211415002

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul "Studi Struktur Film Tipis $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ yang Ditumbuhkan dengan Teknik *Immerse* dan Sulfurisasi" disusun oleh Aulia Rosi Kusuma Wardani NIM 4211415002 telah dipertahankan di hadapan sidang Panitia Ujian Skripsi FMIPA UNNES pada tanggal 28 Januari 2020



Dr. Sumanto, M.Si.
NIP 196102191993031001

Sekretaris,

Dr. Suharto Limuwih, 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

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO :

- Berani bermimpi berani memperjuangkan

PERSEMBAHAN :

Untuk Alm. Mamah, Papah, Mama dan semua orang yang sudah mendukung saya selama ini.

PRAKATA

Segala puji syukur kehadirat Allah SWT atas semua nikmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Studi Struktur Film Tipis $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ yang Ditumbuhkan dengan Teknik *Immerse* dan Sulfurisasi”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains Program Studi Fisika Universitas Negeri Semarang. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini dapat terselesaikan tidak lepas dari bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum. selaku Rektor Universitas Negeri Semarang
2. Dr. Sugianto, M.Si selaku Dekan FMIPA Universitas Negeri Semarang
3. Dr. Suharto Linuwih, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika
4. Dr. Mahardika Prasetya Aji, M.Si. selaku Ketua Program Studi Fisika
5. Fianti, M.Si., Ph.D. selaku dosen pembimbing dan dosen wali yang telah memberikan bimbingan untuk menyelesaikan skripsi ini dan selalu memberikan dukungan dari awal perkuliahan
6. Alm. Mamah, Papah, dan Mama yang jasanya tidak bisa disebutkan satu-persatu dan selalu memberi dukungan
7. Wening Nurul Amaliyah yang sudah menjadi partner terbaik sejak PKL, penelitian dan penyelesaian skripsi ini
8. Berly dan Ajeng yang sudah menjadi keluarga di perantauan
9. Teman-teman Fisika 2015 (Sughoi) yang sudah saling mendukung dan membantu
10. Semua pihak yang sudah memberi bantuan moral dan spiritual yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih jauh dari sempurna, karena keterbatasan pengetahuan. Oleh karena itu, segala kritik dan saran membangun sangat penulis harapkan.

Semoga skripsi ini dapat menambah pengetahuan dan bermanfaat untuk kita semua.

Semarang, Januari 2020



Penulis

ABSTRAK

Wardani, A.R.K. (2020). Studi Struktur $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ 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 : $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$, *immerse*, sulfurisasi

Film tipis $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ menjadi alternatif absorber sel surya yang dapat dibuat dengan metode yang aman dan biaya rendah. Pada penelitian ini menggunakan teknik *immerse* dan sulfurisasi saat *annealing* pada suhu $540\text{ }^\circ\text{C}$ selama 30 menit. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan menumbuhkan kristal $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ dan mengetahui karakteristik film $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$. Penelitian ini berhasil menumbuhkan kristal $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ pada substrat SLG (*Soda Lime Glass*) dan menghasilkan empat film $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ dengan 3 film diantaranya memiliki rasio komposisi *Cu-poor* dan satu film yang memiliki rasio *Cu-rich*. Film yang dihasilkan, dua diantaranya mempunyai struktur kristal kasiterit yaitu film 1 dan 4, dan dua lainnya adalah amorf yaitu film 2 dan 3. Empat film yang dihasilkan memiliki morfologi permukaan yang berbeda, film 1 menunjukkan permukaan yang rata sedangkan film 2, 3 dan 4 menunjukkan permukaan yang tidak rata dengan bentuk *grain* yang berbeda. Film 1, 2, 3 dan 4 memiliki ketebalan $19,7\text{ }\mu\text{m}$, $7,8\text{ }\mu\text{m}$, $10,5\text{ }\mu\text{m}$ dan $9,3\text{ }\mu\text{m}$.

DAFTAR ISI

PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN	Error! Bookmark not defined.
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
PRAKATA.....	vi
ABSTRAK.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
BAB	Halaman
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Skripsi.....	4
II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Sel Fotovoltaik.....	6
2.2 Lapisan Absorber	7
2.3 Material $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ (CZTS).....	7
2.4 Metode Deposisi Film Tipis.....	8
2.5 Immerse.....	9
2.6 Sulfurisasi	9
III METODE PENELITIAN.....	11
3.1 Alat dan Bahan.....	11
3.1.1 Alat.....	11
3.1.2 Bahan	11
3.2 Tahap Penelitian.....	12
3.2.1 Preparasi Substrat.....	13
3.2.2 Pembuatan Prekursor.....	13

3.2.3	Deposisi Film Tipis.....	14
3.2.4	Pengeringan Film Tipis.....	15
3.2.5	Penumbuhan Film Tipis.....	15
3.3	Karakterisasi Film Tipis $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$	16
3.3.1	SEM-EDX.....	16
3.3.2	XRD.....	17
IV	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	19
4.1	Komposisi Film Tipis $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$	20
4.2	Struktur Film Tipis $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$	21
4.3	Morfologi Film Tipis $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$	24
V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	27
5.1	Kesimpulan.....	27
5.2	Saran.....	27
	DAFTAR PUSTAKA.....	27

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
4.1 : Tabel komposisi prekursor.....	18
4.2 : Komposisi film tipis $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$	20
4.3 : Perhitungan ukuran kristal film $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ 1-4.....	22

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Struktur $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ Stannite dan Kasterite.....	7
3.1 Diagram alir Proses Penelitian dan Pembuatan Film.....	11
3.2 Skema pencucian substrat.....	12
3.3 Skema pembuatan prekursor.....	13
3.4 Skema deposisi film tipis.....	13
3.5 Skema pengeringan film.....	14
3.6 Skema sulfurisasi.....	14
3.7 Interaksi antara bahan dan elektron pada SEM.....	15
3.8 Cara kerja XRD.....	16
4.1 Spektrum hasil karakterisasi EDX film 1-4.....	19
4.2 Grafik XRD film tipis $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$	21
4.3 Hasil SEM (<i>Surface</i>) film 1-4.....	23
4.4 Hasil SEM (<i>cross section</i>) film 1-4.....	24

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1 Surat tugas pembimbing.....	32
2 Hitungan komposisi prekursor	33
3 Foto penelitian.....	36
4. Tabel hasil uji karakterisai EDX.....	39
5 Tabel hasil uji karakterisasi XRD.....	41
6 Database COD.....	43

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Kebutuhan akan sumber daya energi semakin hari semakin meningkat sedangkan persediaan bahan bakar fosil kita semakin menurun. Energi alternatif diharapkan menjadi solusi dari permasalahan tersebut. Energi matahari adalah energi alternatif yang ramah lingkungan dan relatif tidak terbatas, yaitu dengan teknologi sel surya energi matahari yang dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan listrik.

Untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik dibutuhkan teknologi fotovoltaik. Sel fotovoltaik merupakan sebuah semikonduktor yang terdiri dari diode *p-n junction*, yaitu suatu teknologi ketika sel fotovoltaik terkena cahaya matahari, energi listrik tercipta yang kemudian dapat dimanfaatkan. Perubahan energi ini disebut efek *photoelectric* (Rois *et al.*, 2013). Aliran listrik yang didapat dari panel atau deretan sel *photovoltaic* berupa listrik DC (*direct current*), kemudian disimpan ke *accu*. Listrik DC dapat diubah ke AC (*alternating current*) dengan alat inverter untuk dipakai oleh alat-alat dengan kebutuhan listrik AC. Listrik DC juga dapat dipakai langsung untuk sebagian alat dengan spesifikasi DC (Mintorogo, 2000).

Banyak penelitian telah dilakukan pada pengembangan sel surya film tipis untuk meminimalkan ketebalan semikonduktor agar didapat biaya produksi yang rendah (Munir *et al.*, 2017). Sel surya film tipis adalah perangkat hetero yang terdiri dari seperangkat lapisan tipis dengan ketebalan total satu perangkat lengkap sekitar 6 μm (Green *et al.*, 2017). Salah satu lapisan pada sel fotovoltaik lengkap yaitu lapisan absorber, yang merupakan lapisan utama sel yang berfungsi melakukan penyerapan energi matahari dan mengubahnya menjadi beda potensial listrik sebagai sumber energi listrik untuk konsumsi energi sehari-hari.

Perkembangan teknologi film tipis sel surya diawali dengan Cu(Ga,In)Se₂ (CIGS) dan CdTe sebagai lapisan absorber yang layak dikomersilkan karena memiliki performa yang bagus di tingkat sel dan modul (rangkaiannya beberapa sel), serta memiliki efisiensi yang tinggi namun memiliki biaya yang tinggi karena kelangkaan unsur tersebut di bumi (Adachi, 2015). Namun, penggunaan elemen langka di alam seperti In, Te, dan Ga dan beracun seperti Cd memberikan batasan dalam pengembangan masa depan dan pertumbuhan produksi dalam skala besar (Fianti *et al.*, 2016). Oleh karena itu perkembangan teknologi film tipis dituntut untuk menemukan unsur yang ketersediaannya berlimpah di bumi, tidak berbahaya, dan memiliki biaya produksi yang rendah.

Saat ini banyak material yang digunakan sebagai absorber sel surya, setelah silikon sebagai generasi pertama dengan efisiensi 26,6% kemudian ada *cassterite* yang merupakan sel surya generasi ketiga. *Cassterite* merupakan material in-organik CIGS yang memiliki efisiensi 20,4 % pada polymer substrate sedangkan pada soda lime glass (SLG) memiliki efisiensi sebesar 22,6%. Kemudian perkembangan teknologi sampai pada penemuan absorber Cu₂SnZnS₄ (CZTS) yang saat ini baru mencapai efisiensi sebesar 12,7% (Li, 2016; Jhuma *et al.*, 2019; Grini *et al.*, 2019). Walaupun memiliki efisiensi yang cukup tinggi, material CIGS merupakan material yang langka dan sulit diperoleh sehingga harganya relatif lebih mahal dibandingkan dengan material Cu₂ZnSn(S,Se)₄ yang keberadaannya melimpah di alam sehingga biaya yang dibutuhkan untuk produksi sel surya relatif lebih rendah dibandingkan dengan yang lain (Mahdavi, 2018). Selain menawarkan biaya produksi yang rendah, material ini juga aman diproduksi (tidak beracun) (Zhang *et al.*, 2019). Absorber Cu₂SnZnS₄ menjadi sangat menarik, karena memiliki celah pita 1,0 -1,5 eV dengan mensubstitusi sebagian sulfur dan selenium, Cu₂(Sn,Zn)(S,Se)₄ untuk mendapatkan band gap optimal pada aplikasi fotovoltaik. Oleh karena itu, absorber Cu₂SnZnS₄ merupakan material absorber menjanjikan untuk diaplikasikan pada sel fotovoltaik dalam penyerapan energi matahari dalam skala besar dan berkelanjutan (Munir *et al.*, 2017).

Sintesis material $\text{Cu}_2\text{SnZnS}_4$ dapat dilakukan dengan banyak cara, antara lain dengan deposisi prekursor melalui *sputtering* dan pengaliran gas H_2S untuk sulfurisasi (Amal & Kim, 2013). Cara lain yaitu dengan deposisi prekursor melalui *dip-coating* yang disertai dengan pengaliran gas H_2S untuk sulfurisasi (Truong *et al.*, 2015). Sintesis ini juga telah dikerjakan dengan deposisi prekursor melalui *spin-coating* tanpa sulfurisasi, karena sulfur telah dicampurkan di larutan prekursor (Munir *et al.*, 2016). Cara sistesis yang pertama adalah metode dengan keadaan vakum yang mahal, cara kedua menghamburkan gas sulfur buangan yang mengganggu kesehatan, dan cara ketiga merupakan metode yang aman tetapi mengkonsumsi material yang mahal.

Dengan berbagai keunggulan absorber $\text{Cu}_2\text{SnZnS}_4$ dan studi tentang sintesis material tersebut, maka perlu dilakukan penelitian penumbuhan kristal $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ sebagai studi awal untuk absorber sel fotovoltaik dengan metode baru yang aman dan murah. Melalui penelitian ini, studi penumbuhan kristal ini akan menjawab tentang toleransi komposisi film untuk menumbuhkannya serta karakteristik film tipis $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ yang terbentuk melalui metode *immerse* dan sulfurisasi oleh sulfur padat yang lebih aman dan ekonomis.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang, diperoleh rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana menumbuhkan film tipis $\text{Cu}_2\text{SnZnS}_4$ dengan metode *immerse* dan sulfurisasi ?
2. Bagaimana karakteristik film tipis $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ yang ditumbuhkan dengan motode *immerse* dan sulfurisasi ?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian ini antara lain :

1. Kristal yang ditumbuhkan pada film tipis dalam penelitian ini adalah $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ dengan menggunakan metode *immerse* dan sulfurisasi
2. Karakteristik film tipis $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ diketahui melalui XRD dan SEM-EDX

1.4 Tujuan Penelitian

1. Menumbuhkan kristal $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ dengan metode *immerse* dan sulfurisasi
2. Mengetahui Karakteristik film tipis $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ yang terbentuk dengan metode *immerse* dan sulfurisasi meliputi toleransi komposisi, struktur dan morfologinya

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Menjelaskan mekanisme penumbuhan film tipis $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ dengan metode *immerse* dan sulfurisasi
2. Mendeskripsikan karakteristik film tipis $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ meliputi toleransi komposisi, struktur dan morfologinya

1.6 Sistematika Skripsi

Penulisan skripsi dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu bagian pendahuluan skripsi, bagian isi skripsi, dan bagian akhir skripsi.

1. Bagian pendahuluan skripsi, terdiri dari halaman judul, abstrak, halaman pengesahan, motto dan persembahan, kata pengantar, daftar isi, daftar gambar, daftar tabel, dan daftar lampiran.
2. Bagian isi skripsi, terdiri atas lima bab yang meliputi :
 - BAB 1. Pendahuluan, berisi latar belakang, rumusan permasalahan, batasan permasalahan, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika skripsi.
 - BAB 2. Kajian pustaka, berisi teori-teori pendukung penelitian.
 - BAB 3. 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, dalam bab ini dibahas tentang hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan.
 - BAB 5. Penutup, yang berisi tentang simpulan hasil penelitian yang telah dilakukan serta saran-saran yang berkaitan dengan hasil penelitian.

3. Bagian akhir skripsi memuat referensi yang digunakan sebagai acuan dari penulisan skripsi dan lampiran-lampiran penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sel Fotovoltaik

Energi terbarukan adalah energi yang dihasilkan dari sumber daya alami salah satu contohnya adalah energi matahari (Hossain, 2015). Untuk memanfaatkan potensi energi surya ada dua macam teknologi yang sudah diterapkan, yaitu energi surya fotovoltaik dan energi surya termal (Nurlaila, 2016). Fotovoltaik adalah alat konversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Sel surya pertama kali ditemukan pada tahun 1883 oleh Charles Fritts yang menggunakan *junction* yang terbuat dari *coating* selenium dengan lapisan emas yang sangat tipis (Thakur *et al.*, 2016). Dalam proses konversi fotovoltaik yang efektif, ada empat langkah mendasar yaitu:

1. Penyerapan foton menggunakan material yang sesuai
2. Pembuatan pembawa muatan (*hole*-elektron) terutama dengan memutus ikatan antar atom
3. Pemisahan pembawa bebas yang bermuatan berlawanan sebelum rekombinasi
4. Pengumpulan pembawa muatan yang dihasilkan cahaya melalui kontak listrik dan jalurnya melalui sirkuit eksternal untuk menciptakan arus listrik yang dapat dimanfaatkan

Jika salah satu dari keempat proses ini terhambat atau tidak terjadi, perangkat akan menunjukkan konversi efisiensi yang buruk (Dharmadasa, 2012).

Sel fotovoltaik konvensional bekerja menggunakan prinsip *p-n junction*. Semikonduktor ini terdiri dari elektron sebagai pembawa muatan utama. Semikonduktor tipe-n mempunyai kelebihan muatan negatif (elektron) sedangkan semikonduktor tipe-p memiliki kelebihan muatan positif (*hole*) dalam struktur atomnya (Julisman *et al.*, 2017). Pada umumnya sel surya dapat dikategorikan menjadi 3 macam yaitu sel fotovoltaik *monocrystalline*, *polycrystalline* dan film tipis (Sharma *et al.*, 2015). Efisiensi sel fotovoltaik *monocrystalline* dan

polysrystalline memiliki efisiensi mencapai 30% sedangkan sel fotovoltaik film tipis hanya 20%. Sisa energi lainnya terbuang dalam bentuk panas dan panas ini bisa meningkatkan temperatur sistem fotovoltaik yang bisa mempengaruhi produksi daya listrik modul surya (Koteswararao *et al.*, 2016).

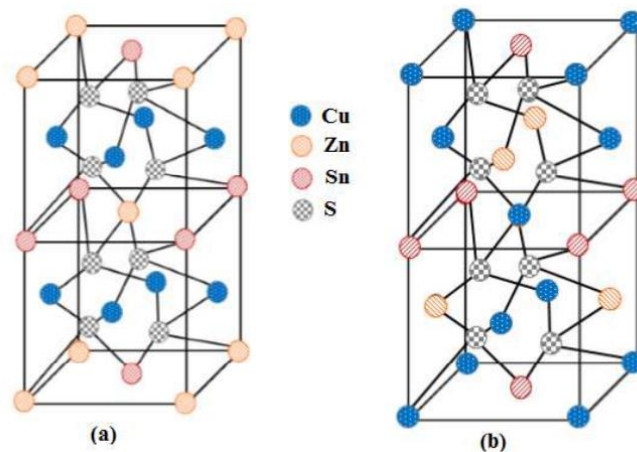
2.2 Lapisan Absorber

Salah satu lapisan pada sel fotovoltaik lengkap yaitu lapisan absorber, lapisan utama sel yang berfungsi melakukan penyerapan energi matahari dan mengubahnya menjadi beda potensial listrik sebagai sumber energi listrik untuk konsumsi energi sehari-hari. Ketika foton dengan energi lebih tinggi dari celah pita penyerap menghantam sel fotovoltaik, pasangan *elektron-hole* dibuat di lapisan absorber dan kemudian terpisah oleh medan listrik di daerah *interface* p-n. Jika energi foton kurang dari *band-gap* energi absorber, foton akan ditransmisikan di absorber. Dengan meningkatnya konsentrasi pembawa muatan (*carrier concentration*) yang dihasilkan, tegangan sirkuit terbuka (Kodigala, 2014). Material sebagai absorber memiliki struktur kristal dan band gap 1 – 1,5 eV (Munir *et al.*, 2017) dan memiliki koefisien absorpsi ($10^4 - 10^5 / \text{cm}$) pada panjang gelombang 350 – 1000 nm (Poortsmans & Arkhipov, 2006)

2.3 Material $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ (CZTS)

Sel fotovoltaik film tipis berbasis $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ adalah perangkat fotovoltaik yang memiliki potensi untuk menyediakan sejumlah besar listrik dengan biaya yang rendah. $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ bertindak sebagai absorber sel surya film tipis yang elemennya melimpah di bumi sehingga memiliki biaya produksi yang murah (Kodigala, 2014). $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ memiliki koefisien absorpsi yang cukup tinggi yaitu $10^5 / \text{cm}$ (Ricardo *et al.*, 2013). Rekor dunia untuk absorber ini telah dicapai oleh kelompok IBM dengan PCE sebesar 12,6%, mendekati sel surya berbasis (CIGSe). $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ adalah bahan semikonduktor tipe-p potensial untuk aplikasi fotovoltaik karena memiliki celah pita 1,5 eV (Ito, 2015). $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ dianggap salah satu yang paling mengeksplorasi materi dalam beberapa tahun terakhir, oleh eksperimental dan metode komputasi. Misalnya penelitian (Reshak *et al.*, 2014) telah menyelidiki

sifat elektronik dan optik dari kesterit $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ dengan menggunakan *density functional theory* (DFT) dan mereka telah menunjukkan bahwa material ini dapat digunakan sebagai material absorber karena nilai celah pitanya. Film $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ bersifat polikristalin, oleh karena itu, semua butiran mikro terdiri dari kristal struktur kesterit dan sebagian fase sekunder (Ataollahi *et al.*, 2019; Sayed *et al.*, 2016). $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ umumnya memiliki dua jenis stuktur kristal yaitu kesterit dan stannite. Struktur kesterit menunjukkan stabilitas lebih dari struktur stannit (Maeda *et al.*, 2010). Sel surya yang dibuat dengan semikonduktor $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ adalah perangkat yang menjanjikan untuk pemanenan energi surya skala besar dan berkelanjutan (Munir *et al.*, 2017)



Gambar 2.1 Struktur $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ (a) Stannite (b) Kesterite (Patel dan Gohel, 2018)

2.4 Metode Deposisi Film Tipis

Metode deposisi film tipis adalah cara atau proses yang digunakan untuk menumbuhkan film tipis. Seiring perkembangan teknologi, semakin banyak metode yang dapat digunakan untuk deposisi film tipis. Dalam teknonlgi fabrikasi lapisan tipis secara global metode deposisi film tipis dapat dibagi menjadi dua (Ohring, 2002) yaitu *Physical Vapor Deposition* (PVD) dan *Chemical Vapor Deposition* (CVD). Metode PVD adalah metode deposisi menggunakan uap dan proses fisika sedangkan metode CVD menggunakan reaksi kimia pada *phase* uap yang mengandung bahan yang diperlukan. CVD terbagi lagi menjadi tiga yaitu *Metal Organic Chemical Vapor Deposition* (MOCVD), *Plasma Enhanced*

Chemical Vapor Deposition (PECVD), dan *Low Pressure Chemical Vapor* (LPCVD). Dari ketiga metode tersebut MOCVD menjadi metode yang berkembang pesat karena dapat memproduksi *thin film* yang mudah dikontrol ketebalannya, komposisi dan konsentrasi dopingnya. Ada beberapa metode yang biasa digunakan untuk menumbuhkan film tipis yang masuk dalam kategori MOCVD antara lain Sol-gel *spin coating*, *dc magnetron sputtering*, dan *dip-coating* (Sujarwata & Marwoto, 2014; Ohring, 2002). $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ dapat dibuat menggunakan proses yang berbeda seperti *sputtering*, *evaporation*, *spray pyrolysis*, *electrodeposition*, teknik sol-gel, dll (Suryawanshi *et al.*, 2013).

2.5 Immerse

Immerse merupakan metode berbasis sol gel dengan cara perendaman. Metode sol-gel memiliki kelebihan karena suhu kristalisasi yang lebih rendah, kemampuan untuk menyempurnakan struktur mikro melalui kimia sol-gel, kemampuan deposisi konformal, kontrol komposisi dan kemampuan pelapisan area permukaan yang besar (Bae *et al.*, 2006). Teknik perendaman menawarkan fleksibilitas lapisan struktur yang berguna untuk berbagai aplikasi (Sahdan *et al.*, 2015).

2.6 Sulfurisasi

Untuk meningkatkan efisiensi $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$, teknologi sintesis harus di optimalkan. Langkah yang dapat dilakukan adalah sulfurisasi. Film $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ diselidiki secara ekstensif untuk menguji pengaruh variasi sumber sulfur (Pawar *et al.*, 2014). Sel surya film tipis $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ dengan efisiensi lebih dari 8%, dibuat dengan metode dua langkah yang banyak digunakan yaitu deposisi prekursor terlebih dahulu kemudian dilakukan sulfurisasi (Sun *et al.*, 2016). Sulfurisasi adalah proses penambahan sulfur yang dilakukan pada proses *annealing*. Proses sulfurisasi memainkan peran penting dalam kinerja perangkat sel surya. Telah banyak dilakukan penelitian pada proses sulfurisasi untuk meningkatkan efisiensi perangkat (Emrani *et al.*, 2013; Jiang *et al.*, 2014). Proses sulfurisasi statis memberikan tekanan parsial sulfur yang lebih tinggi yang dapat menekan

kehilangan Sn, generasi fase sekunder (Liu *et al.*, 2016) serbuk sulfur sering digunakan sebagai sumber sulfur dalam proses sulfurisasi (Zhang *et al.*, 2019)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Film tipis $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ menjadi alternatif absorber sel surya yang dapat dibuat dengan metode yang aman dan murah. Pada penelitian ini digunakan metode *immerse* dan sulfurisasi dengan tujuan menumbuhkan kristal $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ dan mengetahui karakterisasi film $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ yang dihasilkan. Penelitian ini berhasil dilakukan dan menghasilkan empat film $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ dengan kesimpulan :

1. Kristal $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ berhasil ditumbuhkan pada film 1 dan 4 dengan metode *immerse* dan sulfurisasi saat *annealing*. Dari empat film $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ yang dihasilkan tiga diantaranya memiliki rasio komposisi *Cu-poor* dan satu film lainnya memiliki rasio komposisi *Cu-rich*
2. Dari empat film $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ yang dihasilkan dua diantaranya mempunyai struktur kristal kasiterit yaitu film 1 dengan komposisi prekursor Cu 16,1 mmol dan film 4 dengan komposisi prekursor Cu 5,9 mmol dan dua film lainnya mempunyai struktur kristal stannit yaitu film 2 dengan komposisi prekursor Cu 13,2 mmol dan film 3 dengan komposisi prekursor Cu 8,8 mmol. Ketebalan film 1-4 adalah 19,7 μm , 7,8 μm , 10,5 μm dan 9,3 μm .

5.2 Saran

Untuk penelitian film $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ dengan metode *immerse* dan sulfurisasi selanjutnya diharapkan hasil yang lebih baik dengan saran :

1. Menambahkan *solvent* agar pada saat deposisi prekursor tidak menggumpal yang menyebabkan permukaan film menjadi tidak rata dan adanya pengotor pada saat uji komposisi
2. Melakukan variasi waktu perendaman dan pengeringan untuk mendapatkan film dengan ketebalan yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Adachi, S. (2015). *Earth-Abundant Materials for Solar: Cells $Cu_2-II-IV-VI_4$ Semiconductors* (1st ed.). Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.
- Amal, M. I., & Kim, K. H. (2013). Structural and Optical Properties of Sulfurized Cu_2ZnSnS_4 Thin Films from Cu-Zn-Sn Alloy Precursors. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 24(2), 559–566.
- Amna, M., Syukri, M., Siregar, R. H., Syahrizal & Gapy, M. (2015). Rancang Bangun Prototipe Pengatur Suplai Daya Beban Listrik Rumah Cerdas Untuk Meningkatkan Keandalan Listrik. *Seminar Nasional dan Expo Teknik Elektro 2015*. 78-84.
- Bae, C.H., Park, S.M., Ahn, S.-E., Oh, D.-J., Kim, G.T. & Ha, J.S. (2006), Sol-gel synthesis of sub-50nm ZnO nanowires on pulse laser deposited ZnO thin films, *Applied Surface Science*, 253.
- Ar, R., Gunawan, N., & Chayun, B. (2013). Analisa Performansi dan Monitoring Solar Photovoltaic System (SPS) Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Tuban Jawa Timur. *Jurnal Teknik Pomits*, 1–8.
- Ataollahi, N., Malerba, C., Cappelletto, E., Ciancio, R., Edla, R., Di Maggio, R., & Scardi, P. (2019). Control of Composition and Grain Growth in Cu_2ZnSnS_4 Thin Films from Nanoparticle Inks. *Thin Solid Films*, 674, 12–21.
- Bunaciu, A. A., Udriștioiu, E. G., Aboul-Enein, H.Y (2015). X-Ray Diffraction : Instrumentation and Applications. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 45(4), 289-299.
- Cahyana, A., Marzuki, A., & Cari. (2014). Analisa SEM (Scanning Electron Microscope) Pada Kaca TZN Yang Dikristalkan Sebagian. *Prosiding Mathematics and Science Forum 2014*. 23-26
- Dharmadasa, I. M. (2012). *Thin-film solar cells*. Boca Raton : Pan stanford publishing.
- Emrani, A., Vasekar, P., & Westgate, C. R. (2013). Effects of Sulfurization Temperature on CZTS Thin Film Solar Cell Performances. *Solar Energy*, 98, 335–340
- Fianti, Munir, B., Kim, K. H., & Amal, M. I. (2016). Current State: The Development of Thin Film Solar Cells Based on Kesterite Compound. *Journal of Natural Sciences and Mathematic Research*, 2(1), 99-108.
- Green, M. A., Emery, K., Hishikawa, Y., Warta, W., Dunlop, E. D., Levi, D. H., & Ho-Baillie, A. W. Y. (2017). Solar cell efficiency tables (version 49). *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 25(1), 3–13.
- Grini, S., Sopiha, K. V., Ross, N., Liu, X., Bjørheim, T. S., Platzer-Björkman, C., Persson, C., & Vines, L. (2019). Strong Interplay between Sodium and

- Oxygen in Kesterite Absorbers: Complex Formation, Incorporation, and Tailoring Depth Distributions. *Advanced Energy Materials*, 9(27), 1–9.
- Haghighi, M., Minbashi, M., Taghavinia, N., Kim, D. H., Mahdavi, S. M., & Kordbacheh, A. A. (2018). A modeling study on utilizing SnS₂ as the buffer layer of CZT(S, Se) solar cells. *Solar Energy*, 167, 165-171.
- Hossain, K. A. (2015). Present and Future of Global Energy Sources. *Journal of Fundamentals of Renewable Energy and Applications*, 5(4), 1-7.
- Indubala, E., Sarveshvaran, S., Sudha, V., Mamajiwala, A. Y., & Harinipriya, S. (2018). Secondary Phases and Temperature Effect on The Synthesis and Sulfurization of CZTS. *Solar Energy*, 173(April), 215–224.
- Ito, K. (2015). Copper Zinc Tin Sulfide-Based Thin Film Solar Cells. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.
- 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.
- Jiang, F., Ikeda, S., Harada, T., & Matsumura, M. (2014). Pure Sulfide Cu₂ZnSnS₄ Thin Film Solar Cells Fabricated by Preheating an Electrodeposited Metallic Stack. *Advanced Energy Materials*, 4(7), 2–5.
- Julinawati, Marlina, Nasution, R., & Sheilatina. (2015). Applying Sem-Edx Techniques To Identifying the Types of Mineral of Jades (Giok) Takengon, Aceh. *Jurnal Natural*, 15(2). 44-48.
- Julisman, A., Sara, I. D., & Siregar, R. H. (2017). Prototipe Pemanfaatan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Pada Sistem Otomasi Atap Stadion Bola. *KITEKTRO: Jurnal Online Teknik Elektro*, 2(1), 35–42.
- Kodigala, S. R. (2014). *Thin Film Solar Cells from Earth Abundant Materials Growth and Characterization of Cu₂ZnSn(SSe)₄ Thin Films and Their Solar Cells*. London: Elsevier.
- Koteswararao, B., Krishna, K.R., Vijay, P., & Surya, N. R. (2016). Experimental Analysis of solar panel efficiency with different modes of cooling. *International Journal of Engineering and Technology*, 8 (3), 1451–1456.
- Kurniawan, R. (2018). Evaluasi Pengaruh Kadar Na₂O dan K₂O terhadap Kualitas Bubble pada Kaca Soda Lime Silica. *Jurnal Konversi Universitas Muhamadiyah Jakarta*, 7(1). 11-17.
- Li, S. (2016). Optimization of Buffer Layer for Copper-Zinc-Tin-Sulfide-based Solar Cells. Master Thesis Tallinn University of Technology.

- Liu, R., Tan, M., Xu, L., Zhang, X., Chen, J., & Tang, X. (2016). Preparation of high-quality $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ thin films for solar cells via the improvement of sulfur partial pressure using a static annealing sulfurization approach. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 157, 221–228.
- Maeda, T., Nakamura, S., & Wada, T. (2010). Phase stability and electronic structure of in-free photovoltaic semiconductors, $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$ and $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ by first-principles calculation. *Materials Research Society Symposium Proceedings*, 1165, 137–143.
- Masruroh, Manggara, B., A., Papolaka, T., & Trinadi, T. (2013). Penentuan Ukuran Kristal (crystallite size) Lapisan Tipis PZT dengan Metode XRD melalui Pendekatan Persamaan Debye Scherrer. *Erudio Journal of Educational Innovation*. 1(2), 24-28.
- Mintorogo, D. S. (2000). Strategi Aplikasi Sel Surya (Photovoltaic Cells) Pada Perumahan Dan Bangunan Komersial. *Dimensi Teknik Arsitektur*, 28(2), 129–141.
- Mkawi, E. M., Ibrahim, K., Ali, M. K. M., & Mohamed, A. S. (2013). Dependence of copper concentration on the properties of $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ thin films prepared by electrochemical method. *International Journal of Electrochemical Science*, 8(1), 359–368.
- Munir, B., Prastyo, B. E., Muslih, E. Y., & Nurjaya, D. M. (2016). Non-Sulfurization Single Solution Approach To Synthesize CZTS Thin Films. *International Journal of Technology*, 7(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.
- Ohring, M. (2002). *Materials Science of Thin Films Deposition & Structure*. Elsevier Science & Technology Books.
- Patel, S. B., & Gohel, J. V. (2018). Recent Development in $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ (CZTS) Preparation, Optimization and its Application in Solar Cell Development and Photocatalytic Applications. *Photocatalytic Nanomaterials for Environmental Applications*. Vol. 27, Chapter 14.. (Materials Research Foundations).
- Pawar, S. M., Inamdar, A. I., Pawar, B. S., Gurav, K. V., Shin, S. W., Yanjun, X., Kolekar, S. S., Lee, J. H., Kim, J. H., & Im, H. (2014). Synthesis of $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ (CZTS) absorber by rapid thermal processing (RTP) sulfurization of stacked metallic precursor films for solar cell applications. *Materials Letters*, 118, 76–79.
- Poortsman, J., & Arkhipov, V. (2006). *Thin Film Solar Cell Fabrication, Characterization and Applications*. England: John Wiley & Sons, Ltd.
- Rahman, S., & Toifur, M. (2018). Rancangan Eksperimen Analisis Struktur Mikro

- Sampel dengan Prinsip XRD Menggunakan Metode Kristal Berputar. *Jurnal Riset Dan Kajian Pendidikan Fisika*, 3(1), 5-9.
- Reith P, Gerben H. (2012). Investigating electroposition to grow CZTS thin film for solar cell application [disertasi]. Twin Cities: University of Minnesota
- Reshak A. H., Nouneh. K., Kityk, I.V., Bila, J., Auluck, S., & Kamarudin, H. Sekkat, Z. (2014). Structural, electronic and optica. Properties in earth-abundant photovoltaic absorber $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ and CuZnSnS_4 from DFT Calculation. *International Journal of Electrochemical Science*, 9, 955–974.
- Ricardo, C.L.A, Su'ait, M.S., Muller, M., & Scardi, P. (2013). Production of $\text{Cu}_2(\text{Zn,Fe})\text{SnS}_4$ powders for thin solar cell by high energy ball milling. *Journal of Power Sources*, 230, 70–75.
- Sahdana, M.Z., Nurfazliana, M.F., Kamaruddina, S.A., Embonga, Z., Ahmadb, Z., & Saima, H.(2015). Fabrication and characterization of crystalline cupric oxide (CuO) films by simple immersion method. *Procedia Manufacturing*, 2, 379 – 384
- Sayed, M. H., Brandl, M., Chory, C., Hammer-Riedel, I., Parisi, J., Gütay, L., & Hock, R. (2016). In-situ XRD investigation of re-crystallization and selenization of CZTS nanoparticles. *Journal of Alloys and Compounds*, 686, 24–29.
- Sharma, S. Jain, K. K., & Sharma, A. (2015). Solar Cells: In Research and Applications—A Review. *Materials Sciences and Applications*. 6(12), 1145-1155.
- Sitorus, M. (2009). *Spektroskopi (Elusidasi Struktur Molekul Organik)*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Sujarwata, & Marwoto, P. (2014). *Karakterisasi Film Tipis Teori, Penerapan dan Analisis Hasil Deposisi Film Tipis*. Yogyakarta: Deepublish.
- Sujatno, A., Salam, R., Bandriyana, & Dimiyati, A. (2015). Studi Scanning Electron Microscopy (SEM) untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium. *Jurnal Forum Nuklir (JFN)*, 9(2), 44-50.
- Sun, K., Yan, C., Liu, F., Huang, J., Zhou, F., Stride, J. A., Green, M., & Hao, X. (2016). Over 9% Efficient Kesterite $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ Solar Cell Fabricated by Using $\text{Zn}_{1-x}\text{Cd}_x\text{S}$ Buffer Layer. *Advanced Energy Materials*, 6(12), 4–9.
- Suryawanshi, M. P., Agawane, G. L., Bhosale, S. M., Shin, S. W., Patil, P. S., Kim, J. H., & Moholkar, A. V. (2013). CZTS based thin film solar cells: a status review. *Materials Technology*, 28(1–2), 98–109.
- Thakur, D., Arnav, A., Datta, A., & Ramanamurthy, E. V. V. (2016). A Review on Immersion System to increase the efficiency of Solar Panels. *International Journal of Advanced Research*, 4(4)312-325.
- Truong, M. T., Muslih, E. Y., & Kim, K. H. (2015). Properties of a $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$

absorber layer fabricated by dip coating with a sulfurized Cu, Zn, Sn precursor and annealing. *Journal of the Korean Physical Society*, 67(6), 1028–1032.

Wahab, Z. A., Zaibon, S., Matori, K. A., Edros, N. H., Yeow, T. M., Mayzan, M. Z. H., Ghazali, M. S. M., & Daud, M. N. M. (2010). Preparation and Characterization of Glass-Ceramic Synthesized from Soda Lime Glass and Wastewater Sludge. *Pertanika Journal of Science and Technology*, 18(2), 223–229.

Wiyatmo, Y. (2003). *Fisika Modern*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.

Zhang, X., Fu, E., Wang, Y., & Zhang, C. (2019). Fabrication of $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ (CZTS) nanoparticle inks for growth of CZTS films for solar cells. *Nanomaterials*, 9(3), 1–10.

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(August), 6–11.