

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI LAPISAN TIPIS $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ SEBAGAI
ABSORBER PADA SEL SURYA MEMANFAATKAN POTENSI
MATERIAL Zn**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Sains
Departemen Pendidikan Fisika Program Studi Fisika
Konsentrasi Fisika Material



Oleh:

Angela Vitadewi

NIM 1702848

**PROGRAM STUDI FISIKA
DEPARTEMEN PENDIDIKAN FISIKA
FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA
2020**

Angela Vitadewi, 2021

*SINTESIS DAN KARAKTERISASI LAPISAN TIPIS $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ SEBAGAI ABSORBER PADA SEL SURYA
MEMANFAATKAN POTENSI MATERIAL Zn*

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

SINTESIS DAN KARAKTERISASI LAPISAN TIPIS $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ SEBAGAI
ABSORBER PADA SEL SURYA MEMANFAATKAN POTENSI MATERIAL Zn

Oleh
Angela Vitadewi

Diajukan untuk memenuhi sebagian syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Sains
Program Studi Fisika Departemen Pendidikan Fisika
Konsentrasi Fisika Material
FPMIPA UPI

© Angela Vitadewi
Universitas Pendidikan Indonesia
Januari 2020

Hak cipta dilindungi Undang-Undang.
Skripsi ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian, dengan dicetak
ulang, difotocopy atau cara lainnya tanpa izin dari penulis.

ANGELA VITADEWI

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI LAPISAN TIPIS $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ SEBAGAI
ABSORBER PADA SEL SURYA MEMANFAATKAN POTENSI
MATERIAL Zn**

Disetujui dan disahkan oleh pembimbing:

Pembimbing I



Dr. Endi Suhendi, M.Si.

NIP. 197905012003121001

Pembimbing II



Dr. Eka Cahya Prima, S.Pd., M.T.

NIP. 199006262014041001

Mengetahui

Ketua Departemen Pendidikan Fisika



Dr. Taufik Ramlan Ramalis, M.Si.

NIP. 195904011986011001

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “**SINTESIS DAN KARAKTERISASI LAPISAN TIPIS $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ SEBAGAI ABSORBER PADA SEL SURYA MEMANFAATKAN POTENSI MATERIAL Zn**” ini beserta seluruh isinya adalah benar-benar karya saya sendiri. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika ilmu yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini, saya siap menanggung resiko/sanksi apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran etika keilmuan atau ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya saya ini.

Bandung, Januari 2020

Yang membuat pernyataan

Angela Vitadewi

NIM 1702848

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kita panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, oleh karena anugerah-Nya akhirnya penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi dengan judul: “Sintesis dan Karakterisasi Lapisan Tipis $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ sebagai *Absorber* pada Sel Surya Memanfaatkan Material Zn” sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Fisika, Departemen Pendidikan Fisika, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Indonesia.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan karena menyadari segala keterbatasan yang ada. Untuk itu demi sempurnanya skripsi ini, penulis sangat membutuhkan dukungan dan sumbangsih pikiran yang berupa kritik dan saran yang bersifat membangun. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat khususnya bagi penulis dan umumnya bagi pembaca serta perkembangan ilmu pengetahuan. Terimakasih.

Bandung, Januari 2020

Angela Vitadewi

NIM 1702848

UCAPAN TERIMAKASIH

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis mendapatkan banyak bantuan dari beberapa pihak yang telah memberikan dukungan moral dan materil, membimbing, meluangkan dan membagi waktu, pemikiran, serta tenaganya untuk penulis dalam menyelesaikan laporan ini. Oleh karena itu, pada kesempatan kali ini izinkan penulis mengucapkan banyak terima kasih, khususnya kepada:

1. Bapak Dr. Endi Suhendi, M.Si., selaku Dosen Pembimbing I dan Ketua Prodi Fisika yang telah memberikan bimbingan, fasilitas, motivasi serta dedikasinya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Eka Cahya Prima, S.Pd., M.T., selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, motivasi serta dedikasinya kepada penulis sehingga penulis mendapat masukan dan saran selama proses penyelesaian skripsi ini.
3. Bapak Prof. Brian Yulianto, Ph.D., yang telah memfasilitasi penulis dalam mengkarakterisasi sampel.
4. Ibu Dr. Hj. Wiendartun, M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik dan Dosen Telaah penulis yang senantiasa memotivasi dan mendukung mahasiswa bimbingannya, serta atas saran dan masukan yang telah diberikan untuk menyempurnakan skripsi ini.
5. Ibu Lilik Hasanah, M.Si., selaku Dosen Telaah penulis atas seluruh saran dan masukkan dalam menyempurnakan skripsi ini.
6. Bapak Dr. Taufik Ramlan, M.Si., selaku Ketua Departemen Fisika FPMIPA UPI.
7. Seluruh dosen dan staf administrasi Departemen Pendidikan Fisika FPMIPA UPI yang telah memberikan ilmu selama studi penulis maupun arahan selama pembuatan skripsi.
8. Kedua orangtua penulis yang senantiasa mendoakan dan memberi dukungan baik secara moral maupun materil.
9. Refi Aditya Bayu Putra serta teman-teman penulis yang selalu memotivasi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.

10. Seluruh pihak yang telah membantu penulis yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Rasa hormat dan terimakasih bagi semua pihak atas segala dukungan dan doanya semoga Tuhan membalas segala kebaikan yang telah mereka berikan kepada penulis. Amin.

ABSTRAK

Indonesia memiliki tingkat konsumsi energi listrik yang tinggi dan masih terus meningkat. Sumber energi listrik utama di Indonesia masih didominasi oleh bahan bakar fosil yang terbatas dan menghasilkan polusi tinggi. Energi terbarukan diperlukan untuk dijadikan alternatif dari bahan bakar fosil yang tidak ramah lingkungan. Penggunaan $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ sebagai *absorber* merupakan hal yang menjanjikan karena sifatnya yang tak beracun, ramah lingkungan, murah dan kelimpahan unsumya yang tinggi. CZTS juga memiliki efisiensi teoritis *Shockley Queisser Limit* yang tinggi mencapai 30,9%. Melimpahnya sumber daya mineral Zn di Indonesia melatarbelakangi dilakukannya penelitian ini. Pada penelitian ini CZTS disintesis menggunakan material Zinc dan dikarakterisasi, kemudian hasilnya dibandingkan dengan CZTS yang disintesis menggunakan material standar Zinc Acetate ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Teknik dopisasi yang dilakukan adalah teknik deposisi yang efisien dan efektif menggunakan *solution processed*. Optimasi komposisi juga dilakukan dengan 5 rasio Zn/Sn yang berbeda yakni 1,15; 1,20; 1,25; 1,30; 1,35. Ditemukan bahwa sel surya berbasis CZTS berhasil disintesis memanfaatkan material Zinc. Penggunaan material Zinc meningkatkan presentase fase kesterite yang terbentuk dan meningkatkan ukuran partikel. Penggunaan material Zinc juga tidak terlalu merubah morfologi permukaan *absorber* secara signifikan, baik menggunakan Zinc maupun Zinc Acetate menghasilkan keseragaman ukuran mirip. Hanya saja, penggunaan material Zinc yang berlebih dapat membuat *crack* pada permukaan lapisan tipis *absorber* CZTS. Penggunaan material Zinc juga dapat meningkatkan absorbansi dan *Light Harvesting Efficiency*, tanpa mengubah *bandgap* material. Ditemukan bahwa sampel yang disintesis menggunakan material Zinc menghasilkan performansi tertinggi yakni nilai Voc, Jsc dan efisiensi tertinggi didapatkan oleh Z125, yakni sampel yang disintesis dengan material Zinc dengan rasio Zn/Sn 1,25. Rasio Zn/Sn 1,25 menghasilkan fase kristal, morfologi, sifat optik dan performansi paling baik dibandingkan dengan rasio lainnya.

Kata Kunci: $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$, Lapisan Tipis, Sel Surya, Zinc

ABSTRACT

Indonesia has a high electrical energy consumption and still increasing. The essential electrical stockpile in Indonesia is overwhelmed by the restricted and high contamination petroleum derivative. Sustainable power is required as an option in contrast to non-renewable energy source that isn't ecologically well disposed. $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ has the potential as an absorber layer due to its non-toxic property, environmentally friendly, low cost, and elemental abundance. CZTS also has potential Shockley Queisser Limit up to 30.9% (for 1.0 eV bandgap). The abundance of mineral resources in Indonesia (especially Zinc) is the background for this research. In this work, Cu-poor Zn-rich CZTS was synthesized and characterized using Zinc, then the results obtained were compared with CZTS synthesized using Zinc Acetate ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). The fabrication technique is carried out with an easy low-cost fabrication technique, using the non-vacuum sol-gel method and spin-coating deposition. Compositional optimization will also be carried out on five different Zn to Sn ratios namely, 1.15, 1.20, 1.25, 1.30, 1.35. It was discovered that the CZTS-based solar cells were synthesized successfully using Zinc. The use of Zinc material increases the percentage of kesterite phase formed and increases the grain size. Also, the use of Zinc does not alter the surface morphology of the absorber substantially, with the use of either Zinc or Zinc acetate providing similar uniformity in size. However, cracks on the surface of the CZTS thin absorber layer can be formed by the use of excess Zinc. The use of Zinc can also increase the absorbance and Light Harvesting Efficiency without changing material's bandgap. Zinc synthesized samples were found to achieve the highest performance, namely the V_{oc} , J_{sc} value, and the highest efficiency was obtained by Z125, namely Zinc samples with a Zn/Sn ratio of 1.25. Compared to other ratios, the Zn/Sn ratio of 1.25 resulted in the best crystal phase, morphology, optical properties and performance.

Keywords: $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$, Thin Film, Solar Cell, Zinc

DAFTAR ISI

PERNYATAAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
UCAPAN TERIMAKASIH.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Penelitian.....	1
1.2 Rumusan Masalah Penelitian	4
1.3 Batasan Masalah Penelitian.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
1.6 Struktur Penulisan Skripsi	6
BAB II KAJIAN PUSTAKA	7
2.1 Sel Surya.....	7
2.1.1 Sejarah Sel Surya.....	7
2.1.2 Generasi Sel Surya.....	9
2.1.3 Prinsip Kerja Sel Surya.....	10
2.2 $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ (CZTS)	20
2.2.1 Perkembangan CZTS.....	20
2.2.2 Struktur Kristal CZTS.....	24

2.2.3	Struktur Pita dan <i>Bandgap</i> CZTS	28
2.2.4	Karakteristik CZTS.....	29
2.2.5	Struktur Devais Sel Surya Berbasis CZTS	32
2.3	Penyebab Rendahnya Efisiensi Sel Surya Berbasis CZTS.....	33
2.3.1	Stabilitas Termodinamika dan Fase Sekunder.....	33
2.3.2	Defek.....	34
2.3.3	Permukaan CZTS (<i>Surface</i>).....	37
2.4	Efek Distribusi Ukuran Partikel pada Absorpsi	38
2.5	Sintesis CZTS	38
2.5.1	Metode <i>Sol-Gel Sulfurization</i>	39
2.5.1.1	Bahan Prekursor.....	39
2.5.1.2	Reaksi Kimia CZTS	40
2.5.1.3	<i>Coating Solution</i>	41
2.5.1.4	Tahap Sintesis Non-Vakum	41
BAB III METODE PENELITIAN.....		43
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	43
3.2	Desain Penelitian.....	43
3.3	Alat dan Bahan	47
3.4	Prosedur Deposisi.....	47
3.4.1	Deposisi Lapisan Tipis <i>Absorber</i> CZTS.....	47
3.4.2	Deposisi Lapisan Penyangga Tipe-n CdS.....	51
3.5	Karakterisasi.....	52
3.5.1	Karakterisasi Fasa Kristal	52
3.5.2	Karakterisasi Morfologi.....	53
3.5.3	Karakterisasi Sifat Optik.....	54
3.5.4	Karakterisasi Performansi Sel Surya	54

3.6	Analisis Data	55
3.6.1	Analisis Data Fasa Kristal.....	55
3.6.2	Analisis Data Morfologi	55
3.6.3	Analisis Data Sifat Optik.....	56
3.6.4	Analisis Data Performansi Sel Surya.....	57
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		58
4.1	Fasa Kristal.....	58
4.2	Morfologi.....	61
4.3	Sifat Optik	65
4.3.1	Absorbansi	65
4.3.2	<i>Light Harvesting Efficiency</i>	66
4.3.3	<i>Bandgap</i>	67
4.4	Performansi.....	69
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		73
5.1	Kesimpulan.....	73
5.2	Saran.....	74
DAFTAR PUSTAKA		75
LAMPIRAN		78

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Parameter kisi yang dihitung, perbedaan energi relatif dan Bandgap untuk CZTS	29
Tabel 2.2 Bandgap CZTS dan Fase Sekunder CZTS.....	33
Tabel 3.1 Komposisi Larutan Prekursor Tiap Sampel.....	44
Tabel 3.2 Daftar Alat dan Bahan.....	47
Tabel 4.1 Presentase massa fase kesterit dan fase sekunder pada keenam Sampel	59
Tabel 4.2 FWHM Gaussian, Ukuran Partikel hasil SEM dibandingkan dengan Ukuran Kristalit hasil XRD.....	63
Tabel 4.3 Sifat Optik : LHE, Efisiensi Absorbansi dan Bandgap.....	68
Tabel 4.4 Performansi dan Bandgap dari keenam sampel	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Prinsip Kerja Sel Surya (Jager, Isabella, Smets, Swaaij, & Zeman, 2014)	11
Gambar 2.2 (a) Pembentukan pasangan elektron-hole akibat penyerapan foton dengan $E_{ph} = E_g$ (b) Foton dengan $E_{ph} > E_g$, sebagian energinya akan diserap dan sebagian lainnya berubah menjadi energi panas. (Jager, Isabella, Smets, Swaaij, & Zeman, 2014)	11
Gambar 2.3 Spektrum Daya Penyinaran Matahari (Suhandi & Tayubi, 2016)	14
Gambar 2.4 Proses Pembangkitan Elektron-Hole pada Sel Surya yang disinari serta Mekanisme Difusi Pembawa Muatan (Suhandi & Tayubi, 2016).....	15
Gambar 2.5 Grafik Efisiensi Konversi Sel Surya sebagai Fungsi Celah Pita Energi (Byrnes, 2016).....	18
Gambar 2.6 Karakteristik J-V Sebuah Sel Surya (Suhandi & Tayubi, 2016).....	19
Gambar 2.7 Keberlimpahan Elemen dan Harganya (Paranthaman, Wong-Ng, & Bhattacharya, 2016)	21
Gambar 2.8 Mutasi Semikonduktor Binary Menjadi Semikonduktor Quaternary (Paranthaman, Wong-Ng, & Bhattacharya, 2016).....	22
Gambar 2.9 Evolusi efisiensi yang telah dicapai oleh CZTS berdasarkan tahun dan metode deposisinya (Paranthaman, Wong-Ng, & Bhattacharya, 2016)	23
Gambar 2.10 Efisiensi CZTS, CZTSe dan CZTSSe berdasarkan metode deposisinya (Paranthaman, Wong-Ng, & Bhattacharya, 2016).....	23
Gambar 2.11 Kemungkinan Mutasi Struktur Kristal dari Struktur Zinblend ZnS (Paranthaman, Wong-Ng, & Bhattacharya, 2016).....	25
Gambar 2.12 Kemungkinan Mutasi Struktur Kristal dari Struktur Wurtzite ZnS (Paranthaman, Wong-Ng, & Bhattacharya, 2016).....	26
Gambar 2.13 Struktur Kristal a) Chalcopyrite. b) Kesterit dan c) Stannite (Paranthaman, Wong-Ng, & Bhattacharya, 2016).....	27
Gambar 2.14 Struktur pita, densitas total dan densitas parsial dari fase kesterit CZTS (Paranthaman, Wong-Ng, & Bhattacharya, 2016)	28
Gambar 2.15 Perbandingan band alignment dari semikonduktor binary, ternary dan quaternary. (Paranthaman, Wong-Ng, & Bhattacharya, 2016).....	29

Gambar 2.16 Diagram Fase Cu ₂ S-ZnS-SnS ₂ (Paranthaman, Wong-Ng, & Bhattacharya, 2016)	30
Gambar 2.17 Peta Persebaran Rasio Terhadap Efisiensi Sel Surya berbasis CZTS (Paranthaman, Wong-Ng, & Bhattacharya, 2016).....	31
Gambar 2.18 Skema Struktur Devais Sel Surya berbasis CZTS (Paranthaman, Wong-Ng, & Bhattacharya, 2016)	32
Gambar 2.19 Hasil XRD dari CZTS, Cu ₂ SnS ₃ dan ZnS (Paranthaman, Wong-Ng, & Bhattacharya, 2016)	34
Gambar 2.20 Daerah Stabil Polihedron CZTS (Paranthaman, Wong-Ng, & Bhattacharya, 2016)	35
Gambar 2.21 Perubahan Energi Formasi Akibat Defek (Paranthaman, Wong-Ng, & Bhattacharya, 2016)	35
Gambar 2.22 Level Energi Transisi pada Defek CZTS (Paranthaman, Wong-Ng, & Bhattacharya, 2016)	36
Gambar 2.23 Densitas Partial (PDOS) pada bilayer berbeda dari surface dengan energi terendah (Paranthaman, Wong-Ng, & Bhattacharya, 2016).....	37
Gambar 2.24 Prekursor CZTS (Tanaka K. , CZTS Thin Films Prepared by a Non Vacuum Process, 2015).....	41
Gambar 3.1 Struktur Device Sel Surya berbasis CZTS	44
Gambar 3.2 Diagram Alur Penelitian.....	46
Gambar 3.3 Material Prekursor yang digunakan: (a) Zn (b) Copper Acetate Monohydrate, Zinc Acetate Dihydrate, Tin Chloride, Thiourea.....	48
Gambar 3.4 (a) Prekursor CZTS; (b) Timbangan Analitik.....	49
Gambar 3.5 (a) Ultrasonic Cleaner; (b) Substrat ITO setelah dicuci dan dilapisi conducting sealer.....	49
Gambar 3.6 (a) Sampel sebelum disulfurisasi (b) Sampel setelah disulfurisasi	51
Gambar 3.7 (a)Magnetic Stirrer; (b)Pembuatan Prekursor CdS	52
Gambar 3.8 X-Ray Diffraction	53
Gambar 3.9 Set Alat Scanning Electron Microscopy	53
Gambar 3.10 UV Visual Spektroskopi.....	54
Gambar 3.11 ADCMT 6242 Multimeter	54

Gambar 4.1 Perbandingan pola difraksi keenam sampel dengan pola difraksi fase kesterit dan fase sekunder referensi (COD)	58
Gambar 4.2 Pengaruh Rasio Zn/Sn terhadap Ukuran Kristalit.....	60
Gambar 4.3 Morfologi permukaan lapisan tipis absorber CZTS.....	62
Gambar 4.4 Kurva Distribusi Ukuran Partikel.....	63
Gambar 4.5 Spektrum Absorbansi	65
Gambar 4.6 Light Harvesting Efficiency.....	66
Gambar 4.7 (a) Tauc's Plot untuk keenam sampel (b) Grafik rasio Zn/Sn terhadap Bandgap.....	67
Gambar 4.8 Kurva Karakteristik J-V	69
Gambar 4.9 Pengaruh rasio Zn/Sn terhadap efisiensi	71

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan Prekursor CdS	78
Lampiran 2 Hasil Perangkat Lunak Match!.....	78