

PENGARUH SUHU SUBSTRAT TERHADAP SIFAT LISTRIK DAN OPTIK BAHAN SEMIKONDUKTOR LAPISAN TIPIS SnSe HASIL PREPARASI TEKNIK EVAPORASI HAMPA

Alvan Umara¹, Tjipto Sujitno², Ariswan³

¹Mahasiswa Program Studi Fisika FMIPA UNY

²Peneliti PSTA-BATAN Yogyakarta

³Dosen Program Studi Fisika FMIPA UNY

e-mail : umaraalvan@gmail.com

ABSTRAK

PENGARUH SUHU SUBSTRAT TERHADAP SIFAT LISTRIK DAN OPTIK BAHAN SEMIKONDUKTOR LAPISAN TIPIS SnSe HASIL PREPARASI TEKNIK EVAPORASI HAMPA. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh suhu substrat terhadap sifat listrik dan sifat optik lapisan tipis Tin Selenide (SnSe) hasil preparasi menggunakan teknik evaporasi hampa. Proses preparasi lapisan tipis SnSe dilakukan pada kondisi; tekanan 2×10^{-5} mbar, berat bahan 0,250 gram, spacer 15 cm dan pada berbagai variasi suhu substrat yaitu pada suhu kamar, 250 °C, 350 °C, dan 500 °C. Karakterisasi sifat listrik dilakukan menggunakan probe empat titik (FPP, four point probe) sedang sifat optik lapisan tipis dikarakterisasi menggunakan spectroscopy UV-Vis. Hasil karakterisasi dari FPP menunjukkan bahwa lapisan tipis Tin Selenide (SnSe) yang terbentuk merupakan semikonduktor tipe P dengan resistivitas dalam orde $\times 10^5 \Omega\text{cm}^2$ atau dalam orde $\times 10^3 \Omega\text{-cm}$. Dari data pengukuran sifat optik (transmittance, absorbance dan reflectance) dan setelah diolah menggunakan metode Taue plot dengan bantuan software Ms. Origin 5.0 diperoleh energi gap 1,38 eV untuk substrat tanpa dipanasi, 1,43 eV untuk substrat yang dipanasi 250°C, 1,47 eV untuk substrat yang dipanasi pada suhu 350°C dan 1,706 eV untuk substrat yang dipanasi pada suhu 500°C.

Kata kunci : suhu substrat, semikonduktor SnSe, metode evaporasi, FPP dan energi gap.

ABSTRACT

THE INFLUENCE OF SUBSTRATE TEMPERATURE ON THE OPTICAL AND ELECTRICAL PROPERTIES OF SnSe THIN FILM SEMICONDUCTOR PREPARED USING VACUUM EVAPORATION TECHNIQUE. The aim of this research is to investigate the influence of substrate temperature on the optical and electrical properties of tin selenide (SnSe) thin film prepared using vacuum evaporation technique. The condition of preparation process was 2×10^{-5} mbar of pressure, 0,250 gram of weight, 15 cm of spacer and for various of substrate temperature such as room temperature, 250 °C, 350 °C, and 500 °C. Characterization of electrical properties was measured using four point probe (fpp), while optical properties was measured using UV Vis spectrofotometer It's found that the formed tin selenide (SnSe) thin films is semiconductor P type with the resistivity in order of $\times 10^5 \Omega\text{cm}^2$ or $\times 10^3 \Omega\text{-cm}$. From optical properties measurement data (transmittance, absorbance dan reflectance, and after having been analyzed using Taue plot methods which is provided with Ms. Origin 5.0 software, it's found the gap energy of the tin selenide (SnSe) thin films which is 1,61 eV for unheated substrate, 1,61 eV for substrate heated for 250°C, 1,67 eV for substrate heated 350°C and 1,72 eV for substrate heated for 500°C.

Keywords: substrate temperature, SnSe thin film semiconductor, evaporation methods, gap energy.

PENDAHULUAN

Masalah krusial yang dihadapi dunia saat ini adalah mengenai masalah energi dunia, ketidakseimbangan permintaan (*demand*) dan penawaran serta akses terhadap sumber daya energi. Pemanfaatan energi yang tidak dapat diperbaharui secara berlebihan dapat menimbulkan masalah krisis energi. Tin Selenide (SnSe) merupakan senyawa kimia yang berupa padatan kristal dengan warna abu-abu.

SnSe merupakan paduan dari dua unsur kimia yaitu tin (Sn) dan selenium (Se) dengan presentase masing-masing adalah 39,95% Se dan 60,05% Sn. SnSe mempunyai struktur kristal *orthorombik* dengan lebar pita terlarang (Eg, *band gap*) secara tidak langsung (*indirect*) sekitar (0.9 eV) dan secara langsung (*direct*) sekitar (1.30 eV), tetapi untuk lapisan tipis dan *nanocrystals* dari SnSe mempunyai energi gap sebesar 1.9 eV, titik lebur sebesar 861 °C, dan massa atom relatif sebesar 197,67gram/mol (Enue Barrios-Salgado dkk,2014) serta resistivitas listrik sebesar 17,9 Ωm .

Pada makalah ini disajikan hasil pembuatan lapisan tipis SnSe yang dideposisikan pada substrat kaca dengan teknik evaporasi hampa. Kemudian lapisan tipis SnSe dikarakterisasi sifat listrik dan optiknya masing masing menggunakan probe empat titik (FPP, *four point probe*) dan spektroskopi UV-Vis.

Dalam pembuatan lapisan tipis SnSe, jarak sumber ke substrat dibuat tetap sedang suhu substrat divariasikan, hal ini dimaksudkan agar diperoleh karakteristik lapisan tipis yang optimum.

Karakterisasi Lapisan Tipis

Oleh karena lapisan tipis yang dibuat ini, kedepannya akan digunakan sebagai transduser dari cahaya menjadi elektrik (sel surya), maka karakterisasi yang paling tepat adalah karakterisasi sifat listrik maupun sifat optiknya.

Dalam penelitian ini, karakterisasi elektrik lapisan tipis dilakukan menggunakan probe 4 titik (*Four Point Probe* (FPP)), sedang sifat optis dianalisa menggunakan spektroskopi UV-Vis.

Dari pengukuran sifat listrik diperoleh informasi mengenai resistivitas, resistansi maupun tipe konduksinya dari lapisan tipis yang terbentuk. Sedang dari data pengamatan sifat optik menggunakan UV Vis diperoleh informasi tentang sifat absorbansi, reflektansi maupun transmitansi dari lapisan. Kemudian dari data ini dan setelah diolah menggunakan metode *Taue plot* dengan bantuan software Ms. Origin 5.0 diperoleh energi gap dari lapisan.

METODE PENELITIAN

Preparasi lapisan tipis SnSe menggunakan teknik evaporasi hampa merupakan metode pembuatan lapisan tipis dengan menguapkan bahan dalam ruang hampa. Pada sistem evaporasi hampa terdapat sumber pemanas yang akan mengevaporasi bahan yang akan dilapiskan. Pemanas tersebut dialiri oleh arus yang cukup tinggi hal ini dimaksudkan untuk mendapatkan suhu yang tekanan uapnya mampu mendesak keluar uap-uap dari bahan sumber. Bahan sumber yang telah dievaporasi kemudian bergerak meninggalkan sumber panas dalam bentuk uap/gas. Kemudian terjadi proses pelapisan melalui proses kondensasi pada permukaan substrat

Sebagai langkah awal dari penelitian adalah serbuk SnSe seberat 0,250 gram diletakkan pada mangkok/wadah/cawan/boat, jarak substrat ke bahan dibuat tetap sekitar 15 cm. Setelah itu, tabung dihampakan hingga 2×10^{-5} mbar, mangkok molebdenum dialiri listrik dalam orde 40 A. Proses

pendeposisian lapisan tipis SnSe dilakukan untuk berbagai variasi suhu substrat yaitu tanpa pemanasan substrat, pada suhu kamar, 250 °C, 350 °C, dan 500 °C. Proses karakterisasi sifat listrik lapisan tipis dilakukan menggunakan probe empat titik (FPP), sedang karakterisasi sifat optik dilakukan dengan menggunakan spektroskopoi UV-Vis.

Untuk menentukan energi gap digunakan metode *Taue plot*. Untuk mencari nilai E_g digunakan hubungan koefisien absorbansi terhadap energi, seperti yang disajikan pada persamaan (1):

$$\alpha h f = A(h f - E_g)^{0.5} \quad (1)$$

dengan h adalah konstanta Planck, $f = \frac{c}{\lambda}$, A adalah konstanta yang tergantung pada material dan E_g adalah energi gap. Koefisien absorpsi ditentukan dengan persamaan (2):

$$\alpha = -\frac{\ln T}{d} \quad (2)$$

dengan T adalah transmitansi optik (%).

Penentuan celah pita optik dengan metode *Taue plot* dilakukan dengan cara menarik garis secara ekstrapolasi pada daerah linier dari grafik hubungan antara $(\alpha h f)^2$ dengan $(\alpha h f)$ hingga memotong sumbu energi. Perpotongan antara hasil ekstrapolasi dengan sumbu inilah yang menunjukkan celah pita optik dari lapisan tipis tersebut (Supu,A.et, 2008).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat Listrik Lapisan Tipis SnSe

Hasil karakterisasi sifat listrik lapisan tipis SnSe untuk sampel yang diperoleh pada kondisi tanpa pemanasan substrat, pemanasan substrat sebesar 250 °C, 350 °C dan 500 °C disajikan pada Tabel 1.

Nilai resistansi untuk sampel yang diperoleh pada substrat yang tidak dipanasi dan pada sus substrat 250 °C tidak terdeteksi oleh FPP (menunjuk error) hal ini dimungkinkan lapisan yang terbentuk masih terlalu tipis sehingga jarum pada FPP mengenai substrat kaca. Sedangkan nilai resistansi untuk sampel yang diperoleh pada suhu substrat 350°C pada posisi tegak adalah $2,620 \times 10^5 \Omega$, $2,660 \times 10^5 \Omega$, dan $2,580 \times 10^5 \Omega$. Apabila diambil nilai rata-ratanya adalah sebesar $2,620 \times 10^5 \Omega$. Dan pada posisi melintang adalah $3,420 \times 10^5 \Omega$, $2,960 \times 10^5 \Omega$, dan $3,050 \times 10^5 \Omega$, dengan nilai reratanya adalah sebesar $3,140 \times 10^5 \Omega$.

Tabel 1. Hasil pengukuran karakteristik sifat listrik lapisan tipis SnSe.

a. Tanpa pemanasan substrat

Posisi Tegak		
Pengukuran	Resistansi ($\times 10^5 \Omega$)	Tipe
1	-	-
2	-	-
3	-	-

Posisi Melintang		
Pengukuran	Resistansi ($\times 10^5 \Omega$)	Tipe
1	-	-
2	-	-
3	-	-

Posisi Tegak		
Pengukuran	Resistansi ($\times 10^3 \Omega\text{-cm}$)	Tipe
1	-	-
2	-	-
3	-	-

Posisi Melintang		
Pengukuran	Resistansi ($\times 10^3 \Omega\text{-cm}$)	Tipe
1	-	-
2	-	-
3	-	-

b. 250 °C

Posisi Tegak		
Pengukuran	Resistansi ($\times 10^5 \Omega$)	Tipe
1	-	-
2	-	-
3	-	-

Posisi Melintang		
Pengukuran	Resistansi ($\times 10^5 \Omega$)	Tipe
1	-	-
2	-	-
3	-	-

Posisi Tegak		
Pengukuran	Resistansi ($\times 10^3 \Omega\text{-cm}$)	Tipe
1	-	-
2	-	-
3	-	-

Posisi Melintang		
Pengukuran	Resistansi ($\times 10^3 \Omega\text{-cm}$)	Tipe
1	-	-
2	-	-
3	-	-

c. 350°C

Posisi Tegak		
Pengukuran	Resistansi ($\times 10^5 \Omega$)	Tipe
1	2,660	P
2	2,620	P
3	2,580	P

Posisi Melintang		
Pengukuran	Resistansi ($\times 10^5 \Omega$)	Tipe
1	3,420	P
2	2,960	P
3	3,050	P

Posisi Tegak		
Pengukuran	Resistansi ($\times 10^3 \Omega\text{-cm}$)	Tipe
1	0,665	P
2	0,676	P
3	0,656	P

Posisi Melintang		
Pengukuran	Resistansi ($\times 10^3 \Omega\text{-cm}$)	Tipe
1	0,870	P
2	0,753	P
3	0,775	P

d. 500°C

Posisi Tegak		
Pengukuran	Resistansi ($\times 10^5 \Omega$)	Tipe
1	0,181	P
2	0,178	P
3	0,157	P

Posisi Tegak		
Pengukuran	Resistansi ($\times 10^3 \Omega\text{-cm}$)	Tipe
1	0,461	P
2	0,453	P
3	0,399	P

Posisi Melintang		
Pengukuran	Resistansi ($\times 10^5 \Omega$)	Tipe
1	0,023	P
2	0,169	P
3	0,177	P

Posisi Melintang		
Pengukuran	Resistansi ($\times 10^3 \Omega\text{-cm}$)	Tipe
1	0,584	P
2	0,431	P
3	0,451	P

Nilai resistansi untuk sampel yang diperoleh pada suhu substrat 500 °C pada posisi tegak adalah $0,181 \times 10^5 \Omega$, $0,178 \times 10^5 \Omega$, dan $0,157 \times 10^5 \Omega$ dengan nilai reratanya adalah sebesar $0,172 \times 10^5 \Omega$. Sedang pada posisi melintang adalah sebesar $0,230 \times 10^5 \Omega$, $0,169 \times 10^5 \Omega$, dan $0,177 \times 10^5 \Omega$ dengan nilai rerata adalah sebesar $0,192 \times 10^5 \Omega$.

Nilai resistivitas untuk sampel yang diperoleh tanpa pemanasan substrat dan pada suhu substrat 250 °C tidak terdeteksi oleh FPP dikarenakan sampel tersebut terlalu tipis. Sedangkan nilai resistansi untuk sampel yang diperoleh pada temperatur substrat 350 °C pada posisi tegak adalah $0,665 \times 10^3 \Omega\text{-cm}$, $0,676 \times 10^3 \Omega\text{-cm}$, dan $0,656 \times 10^3 \Omega\text{-cm}$. Apabila diambil nilai rata-rata untuk nilai resistansi adalah sebesar $0,666 \times 10^3 \Omega\text{-cm}$. Dan pada posisi melintang adalah $0,870 \times 10^3 \Omega\text{-cm}$, $0,753 \times 10^3 \Omega\text{-cm}$, dan $0,775 \times 10^3 \Omega\text{-cm}$, dengan nilai reratanya adalah sebesar $0,799 \times 10^3 \Omega\text{-cm}$.

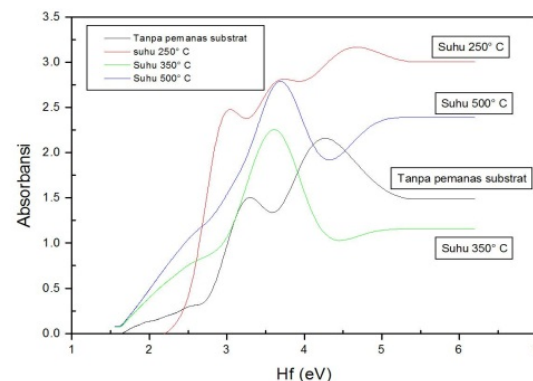
Nilai resistivitas untuk sampel yang diperoleh pada suhu substrat 500 °C pada posisi tegak adalah $0,461 \times 10^3 \Omega\text{-cm}$, $0,453 \times 10^3 \Omega\text{-cm}$, dan $0,399 \times 10^3 \Omega\text{-cm}$. Dengan nilai reratanya adalah sebesar $0,438 \times 10^3 \Omega\text{-cm}$. Sedangkan pada posisi melintang adalah sebesar $0,584 \times 10^3 \Omega\text{-cm}$, $0,431 \times 10^3 \Omega\text{-cm}$, dan $0,451 \times 10^3 \Omega\text{-cm}$ dengan nilai rerata adalah sebesar $0,489 \times 10^3 \Omega\text{-cm}$.

Sifat Optik Lapisan Tipis SnSe

Hasil karakterisasi sifat optis untuk sampel yang substratnya tidak dipanasi dan yang dipanasi pada suhu 250 °C, 350 °C dan 500 °C disajikan berturut turut pada Gambar, 1, 2, 3, 4.

Dari Gambar 1 diperoleh informasi bahwa nilai absorbansi optik untuk lapisan tipis SnSe pada sampel yang substratnya dipanasi pada suhu 250 °C, nilai

absorbansi maksimum sebesar 3,16, sedangkan nilai absorbansi minimumnya diperoleh pada lapisan yang substratnya dipanasi pada suhu 350 °C dan suhu substrat 500 °C. Hal ini dimungkinkan lapisan tipis yang terbentuk sangat tebal sehingga cahaya yang terabsorpsi semakin besar dan semakin banyak cahaya yang ditransmisikan.

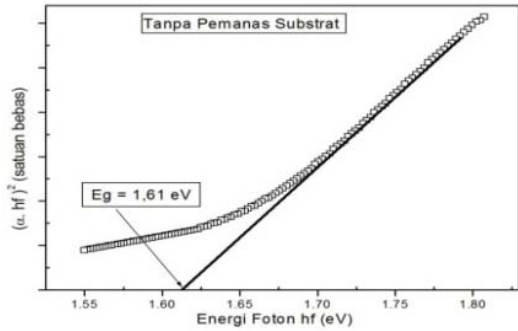


Gambar 1. Grafik hubungan antara energi foton dan absorbansi lapisan tipis SnSe.

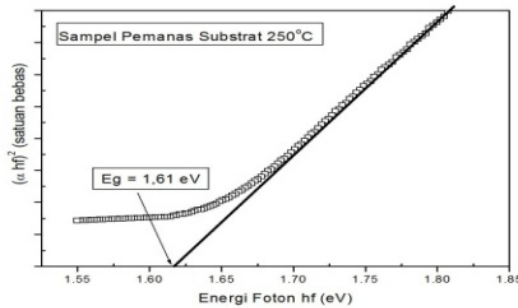
Dari variasi suhu substrat ternyata memberikan kontribusi yang berarti pada sifat optis lapisan, hal ini dikarenakan dengan variasi suhu substrat akan menyebabkan baik tidaknya lapisan yang terbentuk. Selain itu metode ini merupakan transport uap yang membutuhkan suhu substrat yang lebih besar yaitu diatas 250 °C. Hal ini diperkuat oleh data yang diperoleh pada pemanasan substrat 250 °C yang menunjukkan belum terdeteksi sifat-sifat listriknya.

Untuk menentukan besarnya celah energi bahan, metode yang digunakan adalah dengan metode *Tauc plot* dengan bantuan software Ms. Origin 5.0.

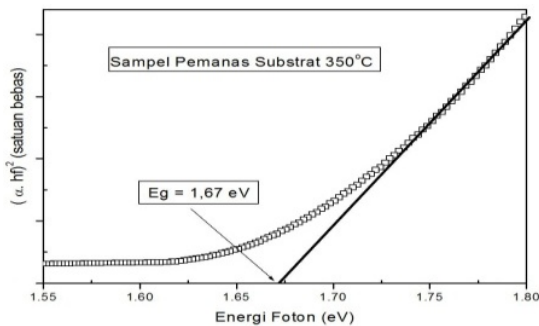
Berikut disajikan plot untuk menentukan lebar celah optik atau energi gap. Dan hasilnya disajikan pada Gambar 2, 3, dan Gambar 4.



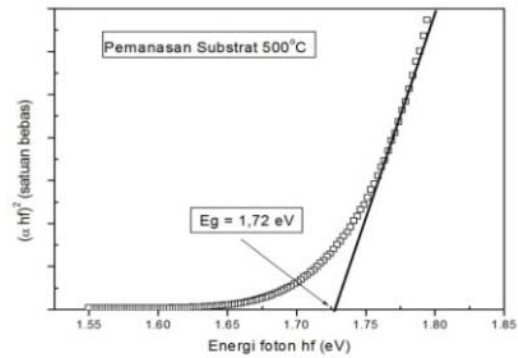
Gambar 2. Grafik koefisien absorpsi terhadap energi foton untuk lapisan tipis bahan semikonduktor SnSe yang diperoleh pada tanpa pemanasan substrat.



Gambar 3. Grafik koefisien absorpsi terhadap energi foton untuk lapisan tipis bahan semikonduktor SnSe yang diperoleh pada pemanasan substrat suhu 250 °C.



Gambar 4. Grafik koefisien absorpsi terhadap energi foton untuk lapisan tipis bahan semikonduktor SnSe yang diperoleh pada pemanasan substrat suhu 350 °C.



Gambar 5. Grafik koefisien absorpsi terhadap energi foton untuk lapisan tipis bahan semikonduktor SnSe yang diperoleh pada pemanasan substrat suhu 500 °C.

Berdasarkan dari hasil fitting menggunakan Ms. Origin (terlampir) dapat diketahui untuk menentukan besarnya celah energi dapat menggunakan persamaan $Y = A + B * X$, dengan Y adalah koefisien absorpsi, dan X adalah celah energi gap. Dari persamaan tersebut dapat diketahui besarnya energi gap pada suhu substrat yang diperoleh pada tanpa pemanasan substrat sebesar 1,61 eV.

Seperti hal sebelumnya, setelah dilakukan analisis matematik besarnya energi gap untuk suhu substrat yang diperoleh pada suhu pemanasan substrat 250 °C diperoleh sebesar 1,61 eV. Besarnya energi gap untuk suhu substrat yang diperoleh pada pemanasan substrat 350 °C diperoleh sebesar 1,67 eV. Dan besarnya energi gap pada suhu substrat yang diperoleh pada pemanasan substrat suhu 500 °C diperoleh sebesar 1,72 eV.

Dari hasil penelitian karakterisasi optik ini untuk sampel tanpa pemanas substrat, 250 °C, 350 °C, dan 500 °C menghasilkan energi gap yang relevan dengan data referensi untuk energi gap bahan semikonduktor lapisan tipis SnSe yaitu sekitar 0,9 eV hingga 1,9 eV.

Hasil pengukuran karakteristik optik dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengukuran karakteristik optik lapisan tipis SnSe.

Suhu Substrat	E _g (eV) referensi	E _g (eV) hasil penelitian
Suhu kamar	0,9 - 1,9	1,61
250 °C	0,9 - 1,9	1,61
350 °C	0,9 - 1,9	1,67
500 °C	0,9 - 1,9	1,72

Hubungan Antara Sifat Listrik dan Sifat Optik Lapisan Tipis Bahan Semikonduktor SnSe

Berdasarkan pembahasan sebelumnya, bahwa pada suhu substrat 350 °C lebih besar untuk nilai resistivitasnya daripada pada suhu substrat 500 °C. Hal ini berpengaruh pada sifat optik bahan. Berdasarkan nilai absorpsi yang dilampirkan gambar 21, besarnya nilai absorpsi pada suhu substrat 250 °C memiliki nilai absorpsi lebih besar daripada yang lainnya yaitu sebesar 3,16. Sedangkan nilai energi gap yang dilampirkan gambar 22, 23, 24 dan 25, besarnya nilai energi gap pada suhu substrat 500 °C memiliki nilai energi gap lebih besar daripada yang lainnya yaitu sebesar 1,72 eV.

Pada pembuatan lapisan tipis SnSe ini divariasi suhu substrat. Variasi suhu substrat ini dipilih pada suhu substrat tanpa pemanas substrat, 250 °C, 350 °C, dan 500 °C karena semakin tinggi suhu substrat suatu lapisan tipis pada saat pemanasan maka akan semakin baik karakteristik lapisan tipis yang dihasilkan. Sehingga didapatkan lapisan tipis SnSe yang memiliki resistansi yang kecil dan absorpsi tinggi dan diharapkan dapat dijadikan sebagai bahan dasar untuk sel surya. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan teknik vakum evaporasi yang masih memerlukan optimasi terhadap parameter deposisi yang lain untuk mendapatkan sifat listrik dan sifat optik yang lebih baik.

KESIMPULAN

Dari hasil percobaan yang telah dilakukan dan setelah dilakukan karakterisasi sifat listrik maupun sifat optik dapat disimpulkan bahwa :

- Hasil karakterisasi sifat elektrik menggunakan FPP menunjukkan bahwa lapisan tipis Tin Selenide (SnSe) yang terbentuk merupakan semikonduktor tipe P dengan resistivitas dalam orde $\times 10^5 \Omega\text{cm}^{-2}$ atau dalam orde $\times 10^3 \Omega\text{-cm}$.
- Dari data pengukuran sifat optik (*transmittance*, *absorbance* dan *reflectance*) dan setelah diolah menggunakan metode *Tauc plot* dengan bantuan software Ms. Origin 5.0 diperoleh energi gap 1,38 eV untuk substrat tanpa dipanasi, 1,43 eV untuk substrat yang dipanasi 250 °C, 1,47 eV untuk substrat yang dipanasi pada suhu 350 °C dan 1,706 eV untuk substrat yang dipanasi pada suhu 500 °C.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ARISWAN, Kristalografi, Handout Kuliah, Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta, 2014.
- [2] MITAYANI M., Struktur dan sifat optik film tipis CdS Doping Zn yang ditumbuhkan dengan DC

Magnetron sputtering., FMIPA UNS., Surakarta, 2013.

- [3] RIO, S.R., & M., Fisika dan Teknologi Semikonduktor. Jakarta: PT Pradnya Paramita, 1982.
- [4] WIYANTO, SUGIANTO, I. SUPOMO, Pengaruh Anneling Pada Film Tipis Ta2O5 Ditumbuhkan Dengan Metode DC Magnetron Sputtering, Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses. ISSN 1411-4216, 1-5, 2004.
- [5] SUYOSO, Listrik Magnet, FMIPA UNY, Yogyakarta, 2003.
- [6] SARAGIH, HORASDIA, H. ALIAH, E. SUSTINI, A. LIMBONG, A. M. HUTAPEA, Sifat Optik Lapisan Tipis In2O3 yang Ditumbuhkan Dengan Metode MOCVD. Journal Matematika dan Sains, Vol. 12 Nomor 2, 85-92, 2010.
- [7] SALIM A.K.H, AHMED S.M.,LATIF L.A., *The Effect of Substrate Temperature on the Optical and Structural Properties of Tin Sulfide Thin Films*, Journal of Basrah Researches ((Sciences)) Volume 37.Number 3A/ 15 June ((2011)), ISSN_1817_2695, 2011..
- [8] RAJESH S, SAHAYARAJ MARIA.C.A.R, dkk., *Investigation on Structural and Optical Properties of Thermally Evaporated SnSe Thin Films*, Chalcogenide Letters Vol. 11, No. 2, February 2014, p. 47 – 52, 2014.
- [9] M. MANONMANI PARVATHI, A. MOHAN, V. ARIVAZHAGAN, S. RAJESH, AIP conf.proc.206, 1451, 2012.
- [10] MATTHEW A. FRANZMAN, CODY W. SCHLENKER, MARK E. THOMPSON, RICHARD L. BRUTCHEY, J. Am. Chem. Soc. 132, 4060, 2010.

TANYA JAWAB

Suprpto

- Untuk aplikasi semikonduktor, yang paling baik dari penelitian ini yang mana?

Alvan Umara

- Untuk aplikasi semikonduktor dari penelitian ini untuk suhu substrat yang memiliki energi *gap* paling rendah atau saat suhu substrat tanpa pemanasan substrat karena pada kondisi ini mampu memberikan respon terhadap sinar matahari.