

STRUKTUR DAN RESPON SPEKTRAL ULTRA VIOLET-VISIBLE (UV-VIS) PADA LAPISAN TIPIS TEMBAGA, EMAS, INDIUM, PERAK, DAN ALUMINIUM HASIL PREPARASI DENGAN TEKNIK EVAPORASI

Ariswan

Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui struktur, dan respon spektral terhadap panjang gelombang Ultra Violet-Visible (Uv-Vis) pada bahan lapisan tipis Tembaga (Cu), Emas (Au), Indium (In), Perak (Ag), dan Timbal (Pb) hasil preparasi dengan metode evaporasi klasik. Karakterisasi meliputi difraksi sinar-X, respon spektral diperoleh dengan teknik Uv-Vis Spektroskopi. Hasilnya menunjukkan bahwa telah terbentuk kristal pada lapisan tipis dengan struktur dan parameter kisi berturut-turut sebagai berikut. Tembaga (Cu) memiliki struktur kubik, Emas (Au) kubik, Indium (In) tetragonal, Perak (Ag) tetragonal, Timbal (Pb) kubik, dan Aluminium (Al) adalah kubik. Parameter kisi bahan-bahan lapisan tipis berturut-turut Cu : $a = b = c = 3,6163$ A; Au: $a = b = c = 4,078$ A; In : $a = b = 3,234$ A, $c = 4,912$ A; Ag : $a = b = c = 4,073$ A; Pb : $a = b = c = 4,9305$ A; dan Al : $a = b = c = 4,028$ A. Selanjutnya bentuk respon spektral menunjukkan bahwa Cu, Au, Ag, Pb, dan Al adalah material yang dapat dipakai dalam rekayasa termal surya, sedang Indium lebih sesuai dengan terapan pada teknologi fotovoltaik.

Kata Kunci : Lapisan tipis, fotovoltaik, dan termal surya.

I. PENDAHULUAN

Indonesia terletak diantara 6° LU dan 11° LS, sehingga beriklim tropis dan matahari dapat ditangkap sepanjang tahun. Namun demikian teknologi pemanfaatan tenaga surya di Indonesia belum berkembang dibandingkan dengan negara lain seperti Malaysia, Thailand, Jepang, Jerman, dan Perancis. Begitu pula dengan kegiatan penelitian pemanfaatan energi surya di lembaga-lembaga penelitian dan universitas di Indonesia juga belum optimal. Hal ini disebabkan karena Indonesia memang memiliki sumber tenaga lain yang melimpah seperti sumber energi minyak bumi, batubara, air dan lain lain.

Pada dasarnya teknologi pemanfaatan tenaga surya secara umum dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok.¹ Pertama adalah teknologi konversi tenaga surya menjadi tenaga listrik yang dikenal dengan teknologi fotovoltaik. Teknologi ini sudah berkembang sangat pesat di Jepang, Uni Eropa dan Amerika. Kemudian yang kedua adalah teknologi termodinamika, yakni tenaga surya dikumpulkan dengan peralatan optik dan kemudian tenaga yang terkumpulkan ini digunakan untuk memanaskan uap air hingga mencapai suhu 800°C. Suhu tinggi tersebut kemudian dapat menghasilkan listrik tenaga uap. Ketiga adalah teknologi konversi termal, yakni tenaga surya ditangkap oleh kolektor kalor yang kemudian secara langsung dipakai untuk memanaskan air hingga mencapai suhu antara 40°C – 70°C yang cocok untuk keperluan rumah tangga dalam bentuk air hangat higienis yang dipergunakan untuk mandi, kolam renang pribadi dan lain lain.

Penelitian tentang lapisan tipis dikaitkan dengan pemanfaatan tenaga surya dalam berbagai teknologi di atas terus dikembangkan. Senyampang dengan itu maka perkembangan teknologi fabrikasi lapisan tipis dewasa ini juga berkembang sangat pesat, tentu saja dikaitkan dengan aplikasi teknologi untuk kebahagiaan kehidupan umat manusia. Beberapa terapan lapisan tipis tersebut seperti pada teknologi sel surya, Teknologi Laser, Teknologi deteksi sinyal, dan lain-lain. Dalam teknologi fabrikasi lapisan tipis secara global dapat dibedakan dalam dua kelompok yaitu *Physical Vapor Deposition* (PVD) dan *Chemical Vapor Deposition* (CVD).² Kelompok pertama, PVD meliputi Teknik *Sputtering* (DC *Sputtering* dan RF *Sputtering*), *Evaporation Flash*, Evaporasi Klasik, dan *Close Spaced Vapor Transport* (CSVST). Sedangkan yang termasuk kedua meliputi *Metal-organic Chemical Vapor Deposition* (MOCVD), *Low-pressure Chemical Vapor Deposition* (LPCVD), *Plasma-enhanced Chemical Vapor Deposition* (PECVD), dan *Laser-enhanced Chemical Vapor Deposition* (LECVD).

Penelitian ini akan melakukan preparasi lapisan tipis logam Aluminium (Al), Emas (Au), Tembaga (Cu), Timbal (Pb), Perak (Ag), dan Indium (In) dengan teknik evaporasi klasik. Teknik ini dipilih dengan alasan dana yang diperlukan sesuai dengan ukuran laboratorium di universitas dan kualitas hasil preparasi telah menunjukkan bahan yang diharapkan. Hasil tersebut tentu

diperoleh dengan melakukan beberapa optimalisasi peran variabel penentu kualitas hasil preparasi bahan terutama penentuan suhu substrat dan *crucible* (cawan) selama proses preparasi.³

Suhu substrat sangat berpengaruh pada proses preparasi mengingat bahwa atom-atom tidak bergerak pada suhu 0 K. Bila suhu dinaikkan maka energinya akan meningkat sehingga akan menyebabkan atom-atom bergetar dan menimbulkan jarak antar atom menjadi bertambah melebar. Jarak atom yang melebar ini akan memungkinkan atom-atom bahan yang memiliki energi tinggi atau berada di atas energi ikatannya akan bergerak mendorong ikatannya dan melompat ke posisi yang baru dan akan mengakibatkan jumlah kekosongan meningkat dengan cepat secara eksponensial. Substrat bersuhu yang sesuai akan memungkinkan atom-atom lain akan menyusup lebih dalam diantara celah-celah atom. Hal ini akan menyebabkan atom-atom lain tersebut terikat dan semakin kuat menempel pada substrat, sehingga lapisan yang terbentuk akan memiliki kualitas dan karakteristik sesuai dengan yang diharapkan.

Selanjutnya struktur kristal dari sampel hasil preparasi ditentukan dengan difraksi sinar X. Bagaimana respon spektral bahan terhadap rentang panjang gelombang antara *ultra-violet* (UV) dan sinar tampak (VIS) juga dilakukan dalam penelitian ini. Hasil respon spektral akan menggambarkan unjuk kerja logam sebagai kolektor termal tenaga surya dan peran logam dalam kontak ohmik pada sistem fotovoltaik sel surya.^{4,5}

II. METODE PENELITIAN

II.1 Bahan dan alat

Bahan dalam penelitian ini terdiri dari:

1. Bahan yang akan dievaporasi meliputi : Au (99,9 %); Cu (99,99 %); Ag (99,9 %); In (99,99 %); Al (99,9 %); dan Pb (99,9 %)
2. Filamen sebagai *crucible* (cawan) terbuat dari Molybdenum (Mo), Wolfram, Nikel (Ni), dan Tungsten.
3. Kaca preparat sebagai substrat

Sistem peralatan dalam penelitian ini terdiri dari :

1. Sistem Evaporator, adalah alat yang paling utama dipergunakan dalam preparasi
2. *Slide Regulator* atau pengatur tegangan. Dalam penelitian ini digunakan tiga *slide regulator* untuk memanaskan cawan, substrat, dan sistem vakum.
3. Termokopel yang dipakai untuk mengontrol suhu cawan dan substrat
4. Pompa air yang dipakai dalam sirkulasi pendingin pada sistem vakum
5. Sistem vakum yang terdiri dari pompa primer (rotary) dan pompa sekunder (pompa difusi)
6. Manometer Penning, untuk mengukur tekanan saat dilakukan pemvakuman
7. Sistem X-Ray Diffraction untuk menentukan struktur bahan
8. *UV- VIS Spectroscopy* untuk mengetahui respon bahan terhadap rentang panjang gelombang UV- VIS.

II.2 Cara Penelitian

1. Melakukan pemvakuman dengan tekanan mencapai orde 10^{-6} torr
2. Melakukan evaporasi dengan menentukan jenis dan bentuk cawan berkaitan dengan bahan yang akan dievaporasi
3. Melakukan pemanasan substrat dengan suhu tertentu
4. Mengatur suhu cawan sedemikian sehingga terjadi evaporasi terkontrol
5. Melakukan karakterisasi untuk menentukan struktur dan parameter kisi kristal yang terbentuk
6. Melakukan pengukuran respon lapisan tipis terhadap UV- VIS *spectroscopy*.

II.3. Teknik Analisa Data

Dalam penentuan struktur dan parameter kisi dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Hasil difraktogram sistem piranti XRD dicocokkan dengan data JCPDS sehingga dapat diketahui puncak- puncak mana berkaitan dengan bidang hkl tertentu.

2. Perhitungan parameter kisi dilakukan dengan metode analitik, dimana suatu nilai bersama dimiliki oleh suatu bidang tertentu berikut ini.

Contoh untuk sistem kubik analisa datanya dapat dilakukan sebagai berikut.

a) Hukum Bragg : $2 d \sin \theta = n\lambda$

b) Untuk sistem kubik : $\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2}$

Dari kedua rumus tersebut dapat disubstitusikan dan hasilnya

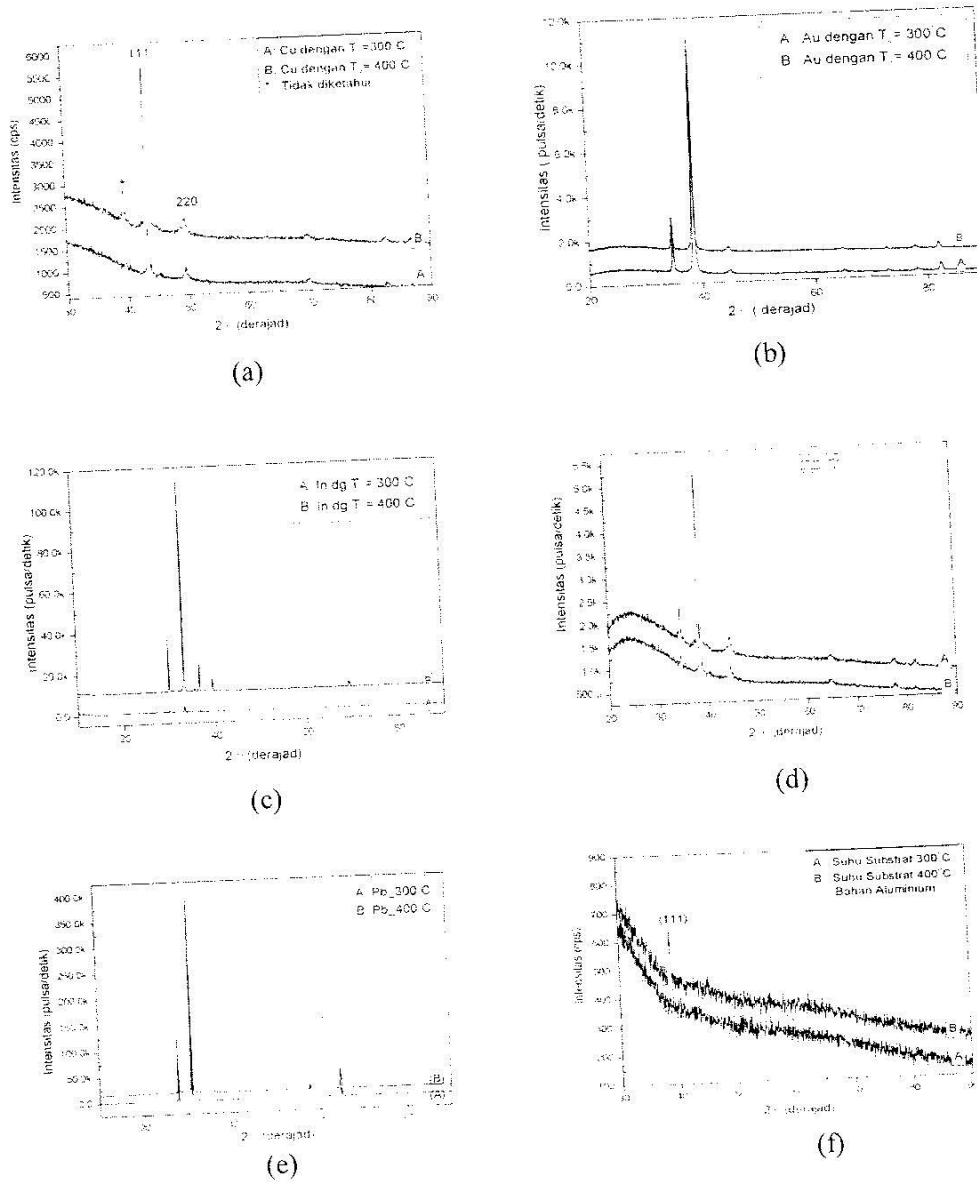
$$\sin^2 \theta = A (h^2 + k^2 + l^2), \text{ dengan } A = \frac{\lambda^2}{4a^2} \text{ atau } a = \frac{\lambda}{2\sqrt{A}}$$

Dengan nilai A yang dimiliki oleh beberapa puncak bidang tertentu maka parameter kisi a dapat ditentukan.

- c) Untuk mengetahui bagaimana respon terhadap UV-VIS spectroscopy digunakan software Microcal Origin untuk melakukan fitting bagaimana bentuk respon baik koefisien reflektansi, transmitansi, dan absorptansi sebagai fungsi dari panjang gelombang dalam range UV-VIS tersebut.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Preparasi lapisan tipis dalam penelitian ini menggunakan bahan dengan tingkat kemurnian 99,99 %, kecuali aluminium dan timbal yang memiliki kemurnian hanya 99,90 %. Secara keseluruhan tingkat kevakuman pada saat evaporasi setiap bahan hampir sama yaitu berkisar dengan orde 10^{-5} torr. Bentuk cawan disesuaikan dengan bahan yang akan dievaporasi. Sementara itu jarak antara substrat dan bahan sama untuk seluruh bahan yaitu sebesar 30 cm. Berdasarkan evaporasi yang pernah dilakukan oleh peneliti, suhu substrat dipilih dua nilai yaitu 300°C dan 400°C . Gambar 1 adalah hasil XRD masing-masing bahan.



Gambar 1. Hasil XRD lapisan tipis: (a). Tembaga (Cu); (b). Emas (Au); (c). Indium (In); (d). Perak (Ag); (e). Timbal (Pb); dan (f). Aluminium (Al)

III.1 Hasil XRD pada masing-masing lapisan tipis

Puncak- puncak yang muncul pada difraktogram (Gambar 1) setelah disesuaikan dengan data JCPDS menginformasikan struktur kristal dari bahan tersebut. Puncak- puncak XRD hasil preparasi dinyatakan pada tabel 1.

Tabel 1. Puncak- puncak XRD pada bahan Cu, Au, In, Ag, dan Pb dibandingkan dengan data JCPDS.

Data XRD sampel Cu				Data JCPDS		
Puncak Ke	2θ ($^{\circ}$)	d (\AA)	Intensitas (%)	2θ ($^{\circ}$)	Intensitas (%)	hkl
1	39,50	-	49	-	-	-
2	43,30	2,08790	100	43,16	100	101
3	49,50	1,8399	38	50,30	20	002
Data XRD sampel Au				Data JCPDS		
2	38,5426	2,33395	100	38,184	100	111
4	82,2646	1,17102	4	81,721	24	222
Data XRD sampel In				Data JCPDS		
1	29,95	-	100	-	-	-
2	33,2	2,6962	21	32,946	100	101
3	36,6	2,4532	15	36,305	20	002
4	39,4	2,2850	11	39,156	34	110
5	69,5	1,3514	100	69,1	15	202
Data XRD sampel Ag				Data JCPDS		
1	23,5	3,78262	21	-	-	-
2	38,2349	2,35202	100	38,3	100	111
3	44,45	2,0365	32	44,6	20	200
Data XRD sampel Pb				Data JCPDS		
1	28,45	-	15	-	-	-
2	30,90	2,8914	100	31,40	100	111
4	64,91	1,43537	11	65,538	17	222

Tembaga (Cu)

Hasil analisis difraktogram lapisan tipis Cu menunjukkan adanya dua puncak yang teridentifikasi sebagai puncak bidang (101) dan (002), sedangkan

puncak pada sudut $2\theta = 39,50^\circ$, merupakan puncak yang terjadi akibat adanya fase lain namun tidak begitu dominan. Selanjutnya berdasarkan puncak- puncak dominan yang muncul dan disesuaikan dengan JCPDS diketahui bahwa Cu memiliki struktur kubik. Parameter kisi dapat ditentukan dengan metode analitik dan diperoleh bahwa parameter kisi $a = b = c = 3,6163 \text{ \AA}$. Hasil ini sangat sesuai dengan data yang sudah diperoleh sebelumnya oleh para peneliti.⁶

Aurum (Au).

Evaporasi bahan target menggunakan cawan berbentuk kotak terbuat dari Mo. Pada tekanan 10^{-5} torr dan pemanasan cawan pada suhu yang cukup, kemudian Au mengalami perubahan fase menjadi uap dan akhirnya terdeposisi pada substrat kaca yang dipanasi pada suhu 300°C dan 400°C . Karakterisasi struktur menggunakan XRD menunjukkan ada dua puncak dominan yang muncul berkaitan dengan bidang (111) dan (222) yang menunjukkan bahwa lapisan tipis emas memiliki struktur kubik dengan parameter kisi $a = b = c = 4,078 \text{ \AA}$. Hasil ini sesuai dengan data yang sudah diperoleh sebelumnya oleh para peneliti.⁷

Indium (In)

Proses preparasi indium sama dengan preparasi emas, yaitu menggunakan cawan berbentuk kotak. Karakterisasi struktur menggunakan XRD menghasilkan puncak- puncak dominan seperti (101), (002), (110), dan (202). Berdasarkan basis data JCPDS diketahui bahwa Lapisan tipis Indium berbentuk kristal, yaitu Tetragonal dengan parameter kisi $a = b = 3,234 \text{ \AA}$, dan $c = 4,912 \text{ \AA}$. Hasil ini sangat sesuai dengan data yang sudah diperoleh sebelumnya oleh para peneliti.⁷

Perak (Ag)

Proses preparasi Ag sama dengan preparasi emas, yaitu menggunakan cawan berbentuk kotak. Karakterisasi struktur menggunakan XRD menghasilkan puncak- puncak dominan seperti (111), dan (200). Pada difraktogram muncul puncak lain yang bukan menggambarkan Ag, namun tidak berpengaruh pada karakteristik hasil lapisan tipis Ag. Puncak- puncak yang muncul pada

difraktogram, kemudian disesuaikan dengan data JCPDS bahan Ag dapat diketahui struktur kristal bahan tersebut. Hasil analisis struktur menghasilkan bahwa lapisan tipis Ag dengan metode evaporasi kalsik berbentuk kristal dengan stuktur kubik dengan parameter kisi $a = b = c = 4,0347 \text{ \AA}$. Hasil ini sangat sesuai dengan data yang sudah diperoleh sebelumnya oleh para peneliti.

Timbal (Pb)

Lapisan tipis Pb dibuat dengan bahan timbal (99,90 %) ditempatkan pada cawan kotak yang terbuat dari Molybdenum. Sedangkan lapisan tipis dideposisikan pada substrat kaca dengan suhu substrat masing- masing 300°C dan 400°C . Puncak- puncak yang muncul pada difraktogram, kemudian disesuaikan dengan data JCPDS bahan timbal dapat diketahui struktur kristal apisan tipis Pb berbentuk kristal, yaitu kubik dengan parameter kisi $a = b = c = 4,9305 \text{ \AA}$. Hasil ini sangat sesuai dengan data yang sudah diperoleh sebelumnya oleh para peneliti, yaitu $4,930 \text{ \AA}$.⁷

Aluminium (Al)

Setelah beberapa bentuk dan bahan dicoba sebagai filamen pemanas untuk bahan Al, maka tungsten lebih sesuai dengan sifat fisis dari aluminium. Oleh karena itu digunakan filamen berbahan tungsten berdiameter 1,6 mm dan berbentuk lurus, karena bahan yang akan dievaporasi adalah berbentuk kawat Aluminium. Proses pemanasan berlangsung dengan perubahan dari fase padat ke fase cair, aluminium mengalami pemusatan pada suatu titik pada filamen, kemudian sedikit demi sedikit mengalami penguapan dan tidak tersisa pada filamen.

Pada lapisan tipis Al dengan suhu substrat 300°C atau lebih kecil dari suhu tersebut struktur bahan masih amorf. Struktur bahan menjadi kristal ketika suhu substrat mencapai 400°C . Penelitian ini sesuai dengan penelitian yang sebelumnya telah dilakukan yaitu bahwa suhu substrat sangat menentukan kristalisasi bahan lapisan tipis. Hasil defraktogram menunjukkan bawa puncak 111 memiliki sudut defraksi 2 sebesar 38,6838. Puncak ini memberikan nilai parameter kisi pada

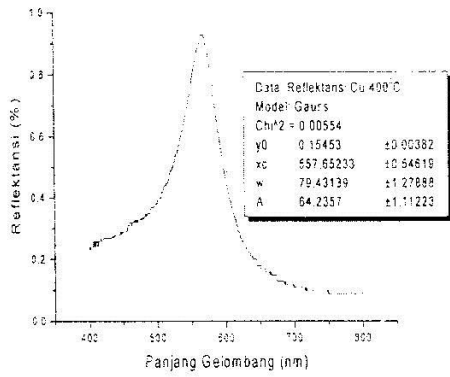
struktur kubik dengan $a = b = c = 4,028 \text{ \AA}$ yang sangat sesuai dengan peneliti sebelumnya yaitu $4,04 \text{ \AA}$.⁷

Kesulitan memperoleh bahan lapisan tipis dengan kristalisasi yang lebih baik, disebabkan oleh tingkat kemurnian bahan yang memang rendah (99,90 %). Oleh karena itu dalam penelitian lanjutan akan diusahakan dengan bahan dasar Al dengan kemurnian minimal 99,99 %. Perlu juga diupayakan agar proses pengumpulan bahan pada filamen dipertahankan lebih lama lagi, agar ketika mengalami penguapan akan terjadi proses yang sempurna sehingga ketika terdeposisi pada substrat akan terbentuk kristal yang lebih baik lagi.

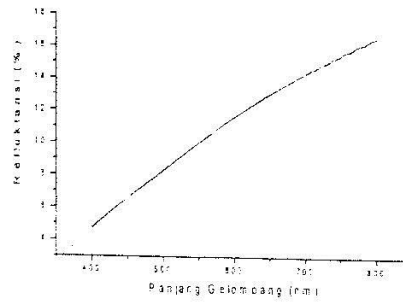
III.2 Respon Spektral pada UV-VIS Spectroscopy.

Bentuk respon spektral masing-masing bahan tampak seperti pada Gambar 2 dan Gambar 3. Hasil respon pada daerah UV-VIS menunjukkan adanya penurunan reflektansi saat panjang gelombang naik dari angka sekitar 600 nm. Sebaliknya untuk absorbansi naik setelah panjang gelombang di atas 600 nm, pada bahan Au, Ag, Cu, Pb, dan Al. Hal ini menunjukkan bahwa ketika panjang gelombang bergeser ke arah yang lebih besar (menuju pada panjang gelombang infra merah) absorpsi bahan makin bagus, sehingga dapat dikatakan bahwa bahan-bahan tersebut dapat dipakai dalam teknologi tenaga surya termal.⁷

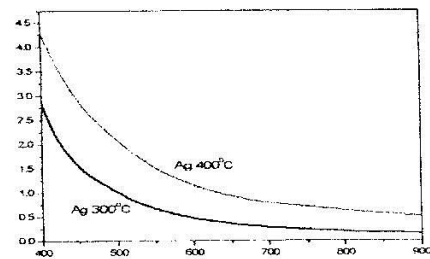
Pada Indium, respon spektral pada daerah UV-VIS menunjukkan adanya kenaikan reflektansi saat panjang gelombang naik menuju ke panjang gelombang panjang. Sebaliknya untuk absorbansi turun. Hal ini menunjukkan bahwa ketika panjang gelombang bergeser ke arah yang lebih besar (menuju pada panjang gelombang infra merah) absorpsi bahan justru makin mengecil. Oleh karena itu, Indium tidak sesuai dalam teknologi tenaga surya termal, namun akan sesuai pada teknologi fotovoltaik.⁷



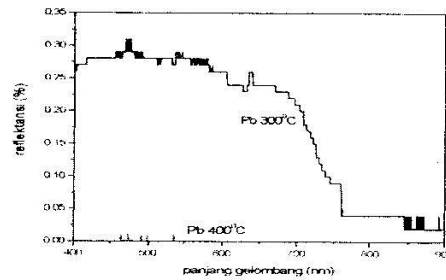
(a)



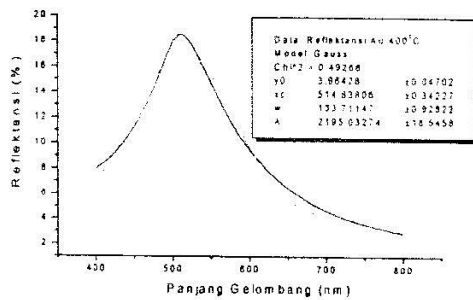
(b)



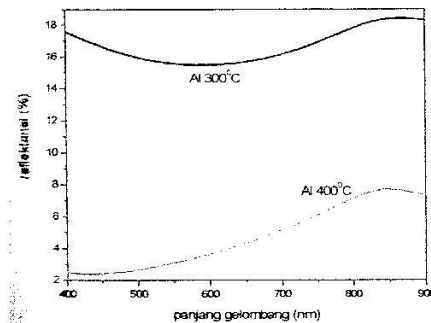
(c)



(d)

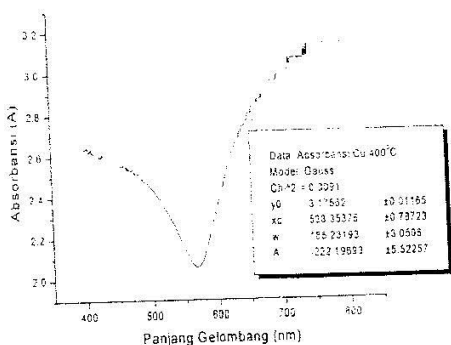


(e)

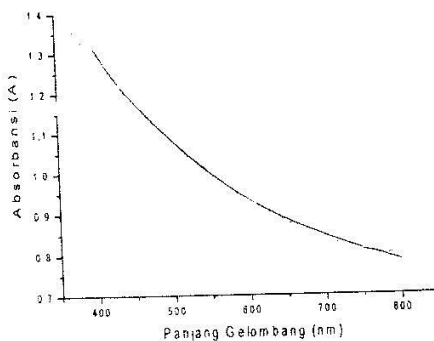


(f)

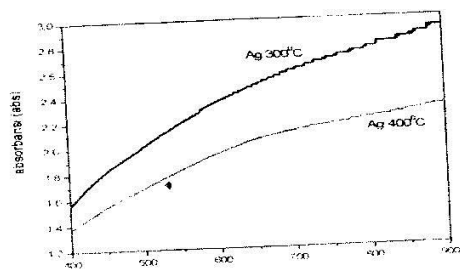
Gambar 2. Respon spektral reflektansi lapisan tipis pada panjang gelombang daerah UV-VIS : (a).Cu; (b). In; (c). Ag; (d).Pb; (e). Au; (f).Al



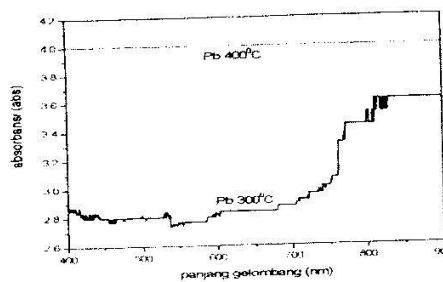
(a)



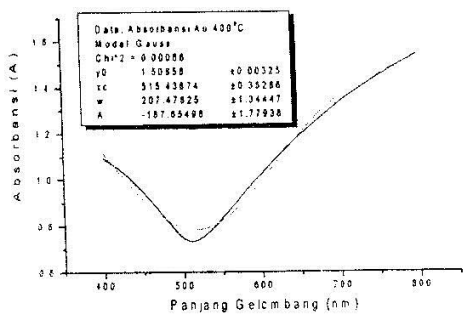
(b)



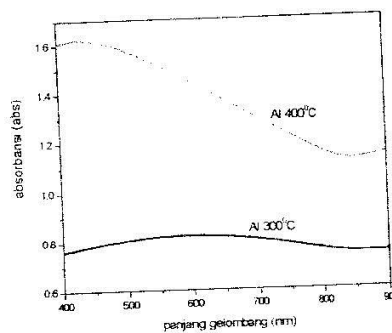
(c)



(d)



(e)



(f)

Gambar 3. Respon spektral absorbansi lapisan tipis pada panjang gelombang daerah UV-VIS : (a).Cu; (b). In; (c). Ag; (d).Pb; (e). Au; (f).Al

IV. KESIMPULAN

Setelah melakukan penelitian terhadap bahan- bahan obyek penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Bentuk-bentuk cawan dalam evaporasi klasik sangat ditentukan oleh bentuk bahan yang akan dievaporasi, sedangkan tembaga elemen pemanas berupa batang yang terbuat dari nikelin, sementara itu bahan- bahan emas, indium, perak, dan timbal, dan aluminium cawan berbentuk kotak terbuat dari bahan *molebdenum*.
2. Pemanasan substrat dengan suhu 400°C akan memberikan kualitas kristal yang lebih baik dibandingkan dengan pemanasan dengan suhu substrat 300°C, hal ini ditunjukkan dengan intensitas sinar-X terdefraksi pada kedua suhu tersebut.
3. Teknik evaporasi klasik memberikan lapisan tipis dengan struktur kristal yang sama dengan bahan asalnya. Struktur kristal berturut- turut bahan Cu adalah kubik, Au kubik, In tetragonal, Ag tetragonal, Pb kubik, dan Al adalah kubik.
4. Parameter kisi bahan-bahan lapisan tipis berturut- turut Cu : $a = b = c = 3,6163 \text{ \AA}$; Au: $a = b = c = 4,078 \text{ \AA}$; In : $a = b = 3,234 \text{ \AA}$, $c = 4,912 \text{ \AA}$; Ag : $a = b = c = 4,073 \text{ \AA}$; Pb : $a = b = c = 4,9305 \text{ \AA}$; dan Al : $a = b = c = 4,028 \text{ \AA}$.
5. Bentuk respon spektral menunjukkan bahwa Cu, Au, Ag, Pb, dan Al adalah material yang dapat dipakai dalam rekayasa termal surya, sedang Indium lebih sesuai dengan terapan pada teknologi fotovolatik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ariswan, Prospek Penelitian dan Aplikasi Fotovoltaik di Indonesia, *Prosiding Seminar Nasional HFI- Jateng DIY*, tahun 2005.
- [2] Ohring, M., 2001, *The Materials Science of Thin Films*, Elsevier Science & Technology Books.
- [3] Darling R. B., 2000, *Physical Vapor Deposition- Evaporation*, web site : [www. Engg. Washington. Edu](http://www.Engg. Washington. Edu).
- [4] Chaurasia, P,B.L, and Twidell, J., 2001, *Solar Energy* vol 70 pp.403-416.
- [5] Goetzberger and Rommel, 1987, *Solar Energy* Vol.39 pp.211-219
- [6] Suryanarayana ,C.A., M. Grant Norton, 1998, *X- Ray Diffraction A Practical Approach*.

- [7] B.Gupta; P.K. Shishoda; A. Kapoor; et.all, 2002, *Journal of Non Crystallin Solids* 297 (p-31).
- [8] Ward, J.S., Ramanathan K., Hasoon P.S., Coutis T.S., Contreras M.A., Moriarty T., and Noufi R., 2002, *Progress in Photovoltaics Research and Application* 10 pp.41-46.
- [9] Cullity, B.D. E., 1978, *Elements of X- Ray Diffraction*. Addison- Wesley Publishing Company, INC.