

DEPOSISI LAPISAN TIPIS Mo/CuInS₂ PADA SUBSTRAT KACA DENGAN TEKNIK SPUTTERING

Bambang Siswanto, Wirjoadi, Yunanto

Pustek Akselerator dan Proses Bahan - Batan Yogyakarta

ABSTRAK

DEPOSISI LAPISAN TIPIS Mo/CuInS₂ PADA SUBSTRAT KACA DENGAN TEKNIK SPUTTERING. Telah dilakukan deposisi lapisan Mo/CuInS₂ pada substrat kaca dengan teknik plasma sputtering DC. Target Mo dari bahan plat dan paduan CuInS₂ dari serbuk Cu, In, S dengan kemurnian 99,998%. Deposisi dilakukan untuk beberapa variasi parameter proses yang meliputi: waktu deposisi (15 - 45) menit, suhu substrat (150 - 300°C) dan tekanan gas (0,9-1,4×10⁻¹ Torr). Tujuan dari penelitian ini untuk dapat diperoleh parameter proses optimum dalam penumbuhan lapisan tipis Mo/CuInS₂. Pengukuran resistansi dilakukan dengan menggunakan probe empat titik dan struktur kristal lapisan tipis yang terbentuk dianalisis dari pola spektrum XRD, sedangkan morfologi dan komposisi unsur dievaluasi dari foto SEM dan spektrum EDS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa resistansi terkecil sebesar 440 Ω. Struktur kristal Mo dan CuInS₂ terorientasi pada bidang (110) dan (112), (213), (305). Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa lapisan tipis komponen sel surya Mo/CuInS₂ telah berhasil ditumbuhkan.

Kata kunci: resistansi, struktur kristal, komposisi unsur, lapisan tipis Mo/CuInS₂

ABSTRACT

DEPOSITION OF Mo/CuInS₂ THIN FILMS ON GLASS SUBSTRATE USING SPUTTERING TECHNIQUE. The Mo/CuInS₂ thin films were deposited on glass substrate using plasma DC sputtering technique. A Mo target was made from Mo plate material and CuInS₂ alloy target was made from Cu, In, S powder with purity of 99.998%. The deposition process was done with the following process parameter variations: deposition time was 15 to 45 min, substrate temperature was 150 to 300 °C and the gas pressure was kept constants of range 0.9 to 1.6 ×10⁻¹ Torr. The purpose of the research is to obtain an optimum process parameter of Mo/CuInS₂ thin film growth. The film resistance was measured using four-point probe. The crystal structure was analyzed using X-ray diffraction (XRD) while the morphology and an element composition were observed using SEM and Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) spectrum. The result shows that minimum resistance of Mo/CuInS₂ thin films is 400 Ω and this was achieved the process parameter 150 °C of temperature; 30 min of time and 1.4×10⁻¹ Torr of gas pressure. The crystal structure of Mo and CuInS₂ are oriented at (110) and (112),(312),(305) plane. It could be concluded that the Mo/CuInS₂ thin film is successfully grown on the glass substrate.

Key word: resistance, crystal structure, element composition, Mo/CuInS₂ thin film

PENDAHULUAN

Penelitian sel surya telah banyak menarik perhatian, karena sel surya merupakan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan, terutama di negara kepulauan di daerah tropika maka sumber energi ini sangat cocok untuk dikembangkan. Secara umum sel surya CIS terdiri dari beberapa lapisan diantaranya adalah: lapisan tipis elektroda belakang, lapisan tipis tipe-P, lapisan tipis tipe-N dan lapisan elektroda transparan. Khusus sel surya berbasis CIS, efisiensi yang dihasilkan adalah cukup tinggi dibandingkan dengan sel surya lapisan tipis jenis lainnya.^[1,2]

Optimasi parameter proses dalam pembuatan lapisan tipis sangat penting karena dengan parameter yang optimum akan dihasilkan kualitas

lapisan yang baik sehingga kemungkinan besar dapat meningkatkan efisiensi sel surya lapisan tipis. JO. KLAER, et al., dalam publikasinya melaporkan bahwa telah diperoleh efisiensi sel surya dengan bahan absorber CuInS₂ dalam skala mini modul sebesar 9,2 %.^[3] Selain itu dengan meminimumkan resistansi dari lapisan tipis CuInS₂ hasil deposisi juga akan memberikan sumbangan terhadap efisiensi dari sel surya, karena dengan resistansi yang rendah maka kerugian arus yang timbul dapat diminimumkan.

Elektroda belakang dari sistem sel surya ini menggunakan lapisan tipis dari bahan Mo, karena bahan ini mempunyai konduktivitas dan reflektifitas yang tinggi. Selain itu efek difusinya juga rendah sehingga jika digunakan sebagai elektrode belakang

tidak akan mempengaruhi lapisan tipis di atasnya (CuInS₂). Deposisi lapisan tipis Mo dilakukan dengan parameter optimum dari penelitian sebelumnya^[4].

Teknik *sputtering* telah banyak digunakan dalam pembuatan lapisan tipis semikonduktor, karena dengan teknik ini sangat mungkin akan menghasilkan struktur yang serupa dengan bahan target yang dideposisikan. Dalam teknik ini kualitas dan sifat-sifat lapisan tipis yang terdeposit pada permukaan substrat bergantung pada beberapa parameter proses deposisi diantaranya adalah: tekanan gas, waktu deposisi, suhu substrat, jarak elektrode, daya dan faktor geometri sistem elektrodanya^[5,6].

Jumlah bahan target tersputter dan kemudian terdeposit pada satuan luas permukaan substrat yang secara matematis dirumuskan sbb. :

$$W \cong \frac{k_t W_o}{pd} \quad (1)$$

dan laju deposisi R (Å/detik.cm²) dapat dituliskan dalam persamaan :

$$R = \frac{W}{t} \quad (2)$$

Dengan k_t adalah suatu konstanta yang tergantung pada bentuk/geometri elektroda W_o adalah jumlah partikel yang tersputter per satuan luasan target (a.u/cm²) p adalah tekanan gas lucutan (Torr), d adalah jarak elektroda (cm), W adalah rapat lapisan yang tersputter (Å/cm²), dan t adalah waktu sputter (detik). Jumlah partikel yang tersputter per satuan luasan target dituliskan dalam bentuk persamaan :

$$W_o = \frac{J_+}{e} S t \frac{A}{N_A} \quad (3)$$

dengan j_+ adalah rapat arus ion pada target (Ampere/m²), e adalah muatan elektron (Coulomb), S adalah sputter yield, A adalah berat atom dari bahan target yang tersputter (kg), dan N_A adalah bilangan Avogadro.

Dalam makalah ini juga dilaporkan hasil pengukuran resistansi lapisan tipis Mo/CuInS₂, struktur kristal dari lapisan tipis yang terbentuk dari pola difraksi sinar-X yang menentukan orientasi bidang kristalnya dan morfologi maupun komposisi unsur lapisan tipis yang dihasilkan. Parameter optimum ditentukan dari hasil pengukuran resistansi lapisan tipis Mo/CuInS₂. Analisis struktur kristal dan komposisi unsur adalah untuk membuktikan bahwa kristal yang terbentuk sesuai dengan yang diharapkan. Dengan demikian

bahan lapisan tipis Mo/CuInS₂ yang diperoleh dari hasil penelitian ini nantinya dapat dimanfaatkan sebagai komponen sel surya berbasis CIS.

TATA KERJA DAN PER COBAAN

Dalam penelitian ini dilakukan beberapa tahapan yang meliputi, preparasi cuplikan dan target, proses deposisi lapisan tipis dan karakterisasi hasil deposisi. Oleh karenanya dilakukan pekerjaan sebagai berikut.

Persiapan Target dan Preparasi Cuplikan

Bahan utama yang disiapkan dalam percobaan ini adalah bahan target dari Cu, In dan S. Serbuk yang telah dicampur kemudian diaduk sampai merata, dimasukkan dalam tabung kaca lalu divakumkan, kemudian dipanaskan pada suhu 600°C dan selanjutnya dipres menjadi bentuk pelet dengan diameter 60 mm, tebal 1 mm, sedangkan target Mo dari bahan plat. Substrat dari kaca preparat dengan ukuran (85×25) mm², dicuci secara berturut-turut; pertama dengan air deterjen untuk menghilangkan adanya kontaminasi senyawa organik maupun non organik, lalu dengan air bersih dan alkohol dalam *ultrasonic cleaner*, dan selanjutnya disimpan dalam kotak sampel.

Proses Deposisi Lapisan Tipis Mo/CuInS₂

Peralatan sistem deposisi yang digunakan adalah plasma *sputtering* DC dengan komponen utama: tabung reaktor plasma, sistem elektrode yang terpasang sejajar, sistem catu daya tegangan tinggi DC, sistem vakum yang terdiri dari pompa turbo molekuler yang dilengkapi dengan pompa rotari dan meter vakum, sistem pendingin target dan pemanas substrat dan sistem aliran gas ke tabung plasma.

Pemasangan substrat pada anode dan target pada katode dalam tabung reaktor, lalu dihampakan menggunakan pompa rotari dilanjutkan dengan pompa turbo. Sistem pemanas dan sistem pengontrol aliran gas diatur sesuai parameter yang dikehendaki, kemudian catu daya tegangan tinggi DC dihidupkan sampai gas terionisasi. Pada proses deposisi ini dibagi menjadi dua tahapan yaitu deposisi lapisan tipis Mo pada substrat kaca dengan waktu deposisi 45 menit dan suhu substrat 250°C, kemudian tahap berikutnya deposisi lapisan tipis CuInS₂ pada lapisan Mo dengan memvariasi waktu deposisi (15, 30, 45, 60) menit, suhu substrat (150, 200, 250, 300 °C) dan tekanan gas (1×10⁻², 1,2×10⁻¹, 1,4×10⁻¹, 1,6×10⁻¹) Torr.

Karakterisasi Lapisan Tipis Mo/CuInS₂

Sifat listrik

Besar resistivitas pada lapisan tipis dapat diukur dengan menggunakan probe empat titik, yaitu suatu jajaran empat probe diletakkan di atas lapisan tipis yang diukur resistivitasnya. Kemudian sumber tegangan dipasang pada dua probe terluar untuk menghasilkan arus diantara probe dalam, dengan demikian pada probe bagian dalam akan timbul tegangan. Hasil yang telah didapat dianalisis berdasarkan hukum ohm, dalam hal ini bila lapisan tipis yang diukur mempunyai ukuran yang tidak terbatas atau bila tebalnya cukup besar dibandingkan dengan jarak antar probe resistivitasnya dapat didekati dengan persamaan^[7] :

$$\rho = (\pi V t) / (I \ln 2) \quad (4)$$

ρ = resistivitas (Ωm)

V = tegangan (Volt)

I = arus (Ampere)

t = tebal lapisan (m)

Struktur kristal

Apabila target dikenai sinar-X, maka intensitas sinar-X yang ditransmisikan lebih kecil dari intensitas sinar datang. Hal ini disebabkan adanya penyerapan dan hamburan oleh atom-atom dalam material tersebut. Berkas sinar yang dihamburkan jika berbeda fase maka akan saling menghilangkan, sedangkan yang mempunyai fase yang sama akan saling menguatkan. Berkas sinar-X yang saling menguatkan ini disebut berkas difraksi. Persyaratan yang harus dipenuhi agar sinar-X yang dihamburkan merupakan berkas difraksi (hukum Bragg), yang mana perbedaan lintasan berkas difraksi sinar-X adalah merupakan kelipatan panjang gelombang, secara matematis dirumuskan :

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (5)$$

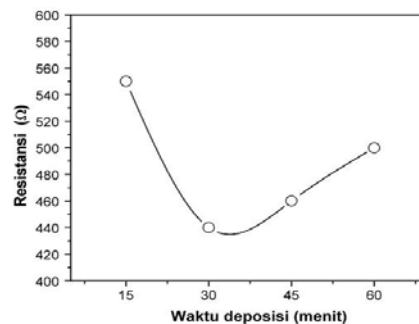
Dengan n adalah bilangan bulat 1, 2, 3, ..., λ adalah panjang gelombang sinar-X, d adalah jarak antar bidang dan θ adalah sudut difraksi. Berkas sinar-X tidak hanya dipantulkan oleh bidang permukaan saja, melainkan juga dipantulkan oleh bidang-bidang di bawahnya dan keadaan ini membentuk pola interferensi yang saling menguatkan untuk sudut-sudut yang memenuhi hukum Bragg. Gejala ini dapat diamati dari grafik hubungan antara intensitas spektrum karakteristik sebagai fungsi sudut 2θ , hal ini yang memberikan informasi dalam analisis struktur kristal dengan XRD.

Karakterisasi Morphologi dan Komposisi Unsur Lapisan Tipis Mo/CuInS₂

Untuk mengetahui morfologi permukaan lapisan Mo/CuInS₂ dengan menggunakan SEM (*Scanning Elektrom Microscopy*). Peralatan ini menggunakan hamburan balik elektron-elektron (30 kV yang merupakan energi datang) yang dipantulkan sampel dan elektron-elektron sekunder ($E = 100 \text{ eV}$). Elektron-elektron sekunder yang mempunyai energi rendah dibelokkan membentuk sudut dan menimbulkan bayangan topografi, kemudian elektron-elektron tersebut dikumpulkan dalam sistem kolektor dan diteruskan ke pengganda foto melalui sirkuit penguatan lalu ditampilkan pada monitor. Sedangkan untuk analisis komposisi unsur dilakukan dengan menggunakan EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) yang dikopel dengan SEM. Dalam analisis ini memanfaatkan sinar-X yang ditimbulkan akibat materi yang ditembak elektron energi tinggi. Sinar-X tersebut dideteksi dengan detektor fase padat (Si-Li) yang menghasilkan suatu tegangan yang sebanding dengan energi dari foton-foton yang datang, sehingga energi dari setiap foton yang datang dapat terukur dan keluaran digambarkan sebagai intensitas terhadap energi. Sifat karakteristik dari energi yang terdeteksi tersebut menginformasikan komposisi unsur dari sampel yang dianalisis.

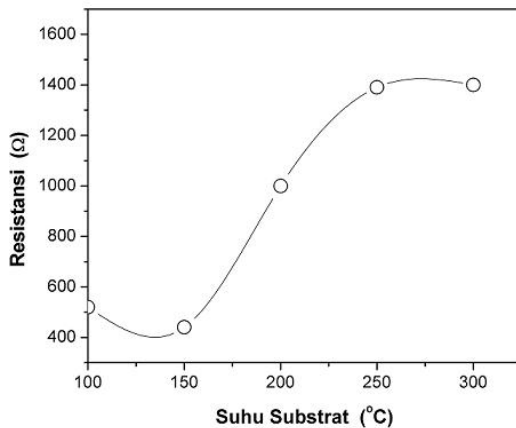
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran resistansi untuk berbagai variasi parameter ditampilkan pada Gambar (1 – 3). Spektrum pola difraksi sinar-X hasil pengamatan XRD dari lapisan Mo/CuInS₂ ditunjukkan pada Gambar 4, sedangkan hasil pengamatan dengan SEM yang dikopel dengan EDS ditunjukkan pada Gambar 5 dan 6.



Gambar 1. Grafik resistansi vs waktu deposisi, pada suhu substrat 150°C dan tekanan gas $1,4 \times 10^{-1}$ Torr.

Gambar 1 adalah grafik resistansi sebagai fungsi variasi waktu deposisi, pada suhu substrat 150°C dan tekanan gas $1,4 \times 10^{-1}$ Torr. Dari gambar tersebut terlihat bahwa pada waktu deposisi 15 menit diperoleh nilai resistansi sebesar 550Ω , hal ini kemungkinan partikel CuInS_2 hasil *sputtering* belum mencukupi untuk terdeposit pada luasan permukaan lapisan Mo atau lapisan yang dihasilkan masih sangat tipis, sehingga nilai resistansinya juga tinggi. Selanjutnya nilai resistansi terkecil untuk lapisan tipis Mo/ CuInS_2 dicapai pada waktu deposisi 30 menit yaitu sebesar 440Ω , hal ini merupakan parameter proses deposisi yang optimum untuk variasi waktu deposisi. Peristiwa ini terjadi karena bertambahnya waktu deposisi menyebabkan jumlah partikel tersputter per satuan luas juga meningkat dan kebolehdan atom-atom target terdeposit pada permukaan substrat semakin besar. Sejalan dengan bertambahnya waktu deposisi maka lapisan tipis CuInS_2 yang terbentuk pada lapisan Mo juga bertam-bah rapat, sehingga nilai resistansinya menurun. Jika waktu deposisi dinaikkan lagi menjadi 45 dan 60 menit maka nilai resistansinya naik lagi menjadi 480Ω dan 500Ω , hal ini mungkin proses penyisipan telah mulai jenuh dan yang terjadi adalah penumpukan atom-atom tersputter pada permukaan lapisan Mo sehingga kondisi lapisan tidak rapat/porous dan resistansinya meningkat.



Gambar 2. Grafik resistansi vs suhu substrat, pada waktu deposisi 30 menit dan tekanan gas $1,4 \times 10^{-1}$ Torr

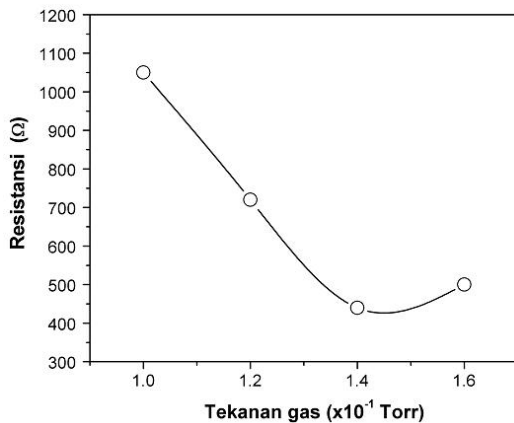
Gambar 2 adalah grafik resistansi dengan variasi suhu substrat pada waktu deposisi 30 menit dan tekanan gas $1,4 \times 10^{-1}$ Torr. Dari Gambar 2 tersebut menunjukkan bahwa pada deposisi tanpa pemanasan substrat diperoleh resistansi sebesar $R = 532 \Omega$ dan pada suhu substrat 150°C resistansi lapisan tipis Mo/ CuInS_2 sebesar $R = 440 \Omega$, hal ini kemungkinan masih terjadinya proses difusi antara

lapisan Mo dan CuInS_2 sehingga resistansinya kecil. Namun setelah suhu substrat dinaikkan lagi pada suhu 200°C dan 250°C maka nilai resistansinya meningkat drastis menjadi 1000Ω dan 1390Ω . Peristiwa ini menggambarkan bahwa proses difusi antar kedua lapisan tipis telah optimum dan yang terjadi adalah proses penumpukan atom-atom target tersputter tersebut pada permukaan lapisan tipis Mo, sebagai akibatnya hasil lapisan CuInS_2 bertambah tebal/tidak rapat dan nilai resistansinya meningkat. Jika suhu substrat dinaikkan lagi menjadi 300°C maka nilai resistansi meningkat lagi menjadi 1400Ω tetapi tidak sedrastis suhu sebelumnya.

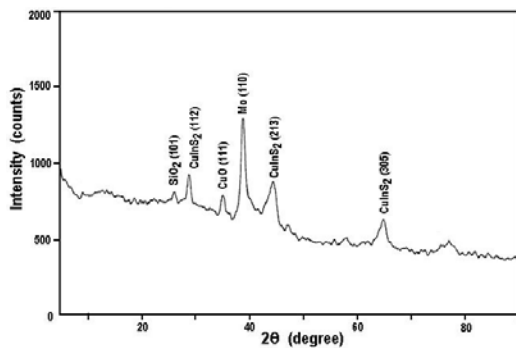
Gambar 3 adalah grafik resistansi dengan variasi tekanan gas pada waktu deposisi 30 menit dan suhu substrat 150°C . Dari gambar tersebut terlihat bahwa pada tekanan gas $1,0 \times 10^{-1}$ Torr diperoleh nilai resistansi lapisan Mo/ CuInS_2 sebesar 1050Ω , jika tekanan gas dinaikkan maka diperoleh nilai resistansi yang terus menurun hingga mencapai resistansi yang minimum sebesar 440Ω pada tekanan $1,4 \times 10^{-1}$ Torr (tekanan optimum). Pada tekanan $1,0 \times 10^{-1}$ hingga $1,2 \times 10^{-1}$ Torr, hasil pengukuran resistansi masih lebih tinggi dibandingkan pada kondisi optimumnya, hal ini disebabkan bahwa pada kondisi tersebut rapat plasma yang terbentuk belum optimum dan atom-atom hasil sputternya belum mencukupi untuk terdeposit pada substrat, sehingga diperoleh nilai resistansi yang lebih besar dari 440Ω . Hal itu juga terjadi karena parameter tekanan gas dapat mempengaruhi rapat plasma yang terbentuk pada proses deposisi, dan bila energi plasma yang terbentuk masih rendah, kualitas lapisan tipis Mo/ CuInS_2 juga masih rendah sehingga resistansinya tinggi. Jika tekanan gas dinaikkan akan dihasilkan rapat plasma yang meningkat dan akibatnya energi sputternya juga meningkat sehingga atom-atom target hasil bombardir juga mempunyai energi yang cukup tinggi dan pada saatnya akan dicapai kondisi yang optimum dan dihasilkan kualitas lapisan tipis yang optimum juga. Tetapi jika tekanan gas dinaikkan menjadi $1,6 \times 10^{-1}$ Torr maka nilai resistansi lapisan Mo/ CuInS_2 juga meningkat menjadi 500Ω , hal ini disebabkan karena energi plasmanya terlalu tinggi dan sebagai akibatnya akan terjadi energi balik (*resputtering*), sehingga terjadi kerusakan pada permukaan lapisan yang telah terbentuk dan nilai resistansinya meningkat.

Gambar 4 adalah spektrum pola difraksi sinar-X hasil pengamatan XRD dari lapisan tipis CuInS_2 untuk suhu substrat 150°C , tekanan gas $1,4 \times 10^{-1}$ torr dan waktu deposisi 30 menit. Dari Gambar 5 tersebut menunjukkan bahwa telah terbentuk struktur kristal lapisan tipis yang

bersesuaian dengan bahan target ditandai terbentuknya puncak-puncak intensitas



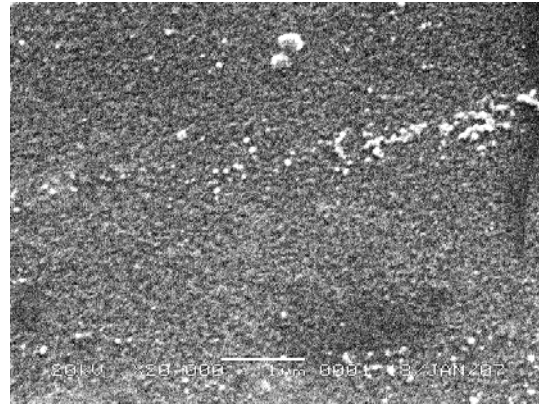
Gambar 3. Grafik resistansi vs tekanan gas, pada waktu deposisi 30 menit dan suhu substrat 150°C



Gambar 4. Spektrum pola difraksi sinar-X hasil pengamatan XRD dari lapisan Mo/CuInS₂, pada waktu deposisi 30 menit, suhu substrat 150°C , tekanan gas $1,4 \times 10^{-1}$ Torr.

difraksi yaitu pada sudut 2θ masing-masing sebesar $28,76^{\circ}$; $44,34^{\circ}$ dan $64,94^{\circ}$ yang mengindikasikan struktur kristal CuInS₂ yang terorientasi pada bidang kristal (112), (213) dan (305). Dalam spektrum tersebut juga muncul intensitas puncak difraksi pada sudut 2θ $38,1876^{\circ}$ yang merupakan indikasi struktur kristal Mo yang terorientasi pada bidang kristal (110). Dibanding dengan data JCPDS CuInS₂ No. 38-0777 terjadi penurunan jarak antar bidang dari $d(A) = 3,1573$ menjadi $d(A) = 3,1017$ artinya puncak intensitas CuInS₂ (112) bergeser kesudut yang lebih besar, dalam hal ini disebabkan karena beda perlakuan panas saat pembentukan kristal CuInS₂, demikian juga puncak intensitas CuInS₂

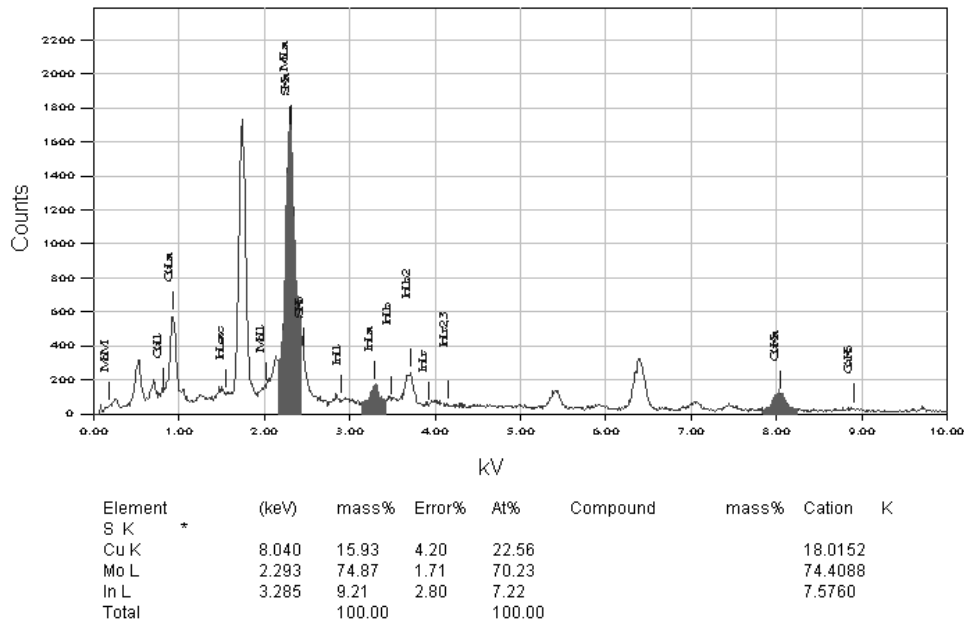
(312) dan (305) dari $d(A) = 2,0561$ menjadi $d(A) = 2,0413$ dan $d(A) = 1,4187$ menjadi $d(A) = 1,4127$. Munculnya struktur kristal untuk unsur-unsur yang lain seperti kristal SiO₂ (101) terjadi akibat dari pemanasan substrat dan kristal CuO (111) sudah terbentuk pada saat proses pembuatan paduan target CuInS₂.



Gambar 5. Struktur mikro hasil pengamatan SEM dari lapisan tipis Mo/CuInS₂ yang dideposisi pada suhu substrat 150°C , waktu deposisi 30 menit dan tekanan gas $1,4 \times 10^{-1}$ Torr

Gambar 5 adalah struktur mikro lapisan tipis Mo/CuInS₂ hasil pengamatan SEM. Gambar 5 menunjukkan bahwa lapisan tipis Mo/CuInS₂ yang terbentuk mempunyai ukuran butir yang halus.

Gambar 6 adalah spektrum hasil pengamatan EDS dari lapisan Mo/CuInS₂. Pada gambar tersebut tampak bahwa terdapat beberapa unsur yang bersesuaian dengan bahan yang dideposisikan. Unsur Mo mempunyai konsentrasi yang cukup tinggi yaitu sekitar 70,23 % atom, hal ini karena dalam lapisan tipis yang terbentuk sangat dimungkinkan Mo mempunyai ketebalan yang paling tebal dibandingkan lapisan CuInS₂. Masih dalam spektrum EDS di atas terlihat munculnya komposisi unsur Cu dan In masing-masing sebesar 22,56 % dan 7,22 %, hal ini diperoleh dari paduan CuInS₂, sedangkan unsur S tidak tampak dalam pengamatan ini. Kemungkinan tidak munculnya unsur S tersebut disebabkan waktu pengamatan dengan metode spot tidak terdapat unsur S di sekitar lokasi pengamatan atau unsur S telah menghilang sewaktu proses deposisi. Munculnya puncak-puncak spektrum yang lain dimungkinkan berasal dari substrat yang digunakan maupun pengotoran akibat terjadinya unsur-unsur yang masuk pada saat sebelum proses preparasi.



Gambar 6. Spektrum hasil pengamatan EDS dari lapisan Mo/CuInS₂.

KESIMPULAN

Dari beberapa hasil pengukuran lapisan tipis Mo/CuInS₂ untuk berbagai parameter proses maka dapat disimpulkan bahwa,

1. Parameter proses deposisi yaitu waktu deposisi, suhu substrat dan tekanan gas sangat mempengaruhi kualitas hasil deposisi antara lain ketebalan dan kekuatan lapisan yang terbentuk pada substrat.
2. Diperoleh nilai resistansi minimum lapisan tipis Mo/CuInS₂ sebesar 440 Ω, yang diperoleh dari hasil deposisi pada waktu deposisi 30 menit, suhu substrat 150 °C dan tekanan gas 1,4×10⁻¹ Torr.
3. Dapat diperoleh lapisan tipis kristal Mo dan CuInS₂ yang berorientasi pada bidang (110) dan (112), (213), (305) dengan ukuran butir yang halus dan konsentrasi unsur Mo = 70,56 % At, Cu = 22,23 % At, In = 7,22 % At dan S tidak tampak

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Bpk. Drs. BA. Tjipto Sujitno, MT, APU, yang telah banyak memberikan koreksinya. Semoga segala bantuan dan budi baiknya mendapat balasan dari Yang Maha Kuasa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] MARIAN NANU, et al., "CuInS₂-TiO₂ heterojunctions solar cell obtained by atomic layer deposition", *Thin Solid Films* 431-432 (2003) 492-496
- [2] JERRY D. HARRIS, et al., "Characterization of CuInS₂ film prepared by atmospheric pressure spray chemical vapor deposition", *Material Science and Engineering B98* (2003) 150-155
- [3] JO. KLAER, KAI SIEMER, ILKA LUCK, DIETER BRAUNIG, "9.2% Efficient CuInS₂ mini-module", *Thin Solid Films* 387 (2001) 169-171
- [4] BAMBANG SISWANTO, "Pengaruh Parameter Proses Terhadap Sifat Listrik Lapisan Tipis Mo Hasil Deposisi Dengan Teknik Plasma Sputtering" *Prosiding Seminar Penelitian dan Pengelolaan Perangkat Nuklir, PTAPB-BATAN*, 2007, 328-332
- [5] WASA, K., HAYAKAWA, S., *Handbook of Sputter Deposition Technology: Principles, Technology and Application*, Noyes Publication, New Jersey, 1992.
- [6] KONUMA M, *Film Deposition by Plasma Techniques*, Springer Verlag, Berlin, 1992

- [7] HALLIDAY, RESNICK, PANTUN SILABAN, ERWIN SUCIPTO, Fisika, Erlangga, Jakarta, (1984).

TANYA JAWAB

Sudaryadi

- *Pada proses deposisi waktu untuk mendapatkan hasil yang paling baik dibutuhkan waktu berapa menit*
- *Hasil pelapisan material tersebut, digunakan untuk apa yang paling baik*

Bambang Siswanto

- *Dalam penelitian ini diperoleh waktu deposisi yang optimum selama 30 menit, yang mana pada waktu deposisi tersebut diperoleh nilai resistansi yang terkecil*
- *Tujuan penelitian ini untuk menyiapkan material lapisan tipis yang akan digunakan sebagai sel surya*