

## PENDEPOSISIAN SAMBUNGAN p-n CuInSe<sub>2</sub> MULTILAYER-ZnO DENGAN METODE RF SPUTTERING DAN KARAKTERISASINYA (A Deposition of CuInSe<sub>2</sub> Multilayer-ZnO by RF Sputtering Method and Its Characterization)

Nugraha ER<sup>1</sup>, Atmono T.M<sup>1</sup> dan Agung B.S. Utomo<sup>1</sup>

Jurusan Fisika, FMIPA UGM Sekip Unit 3 Bulaksumur Yogyakarta 55281

### ABSTRAK

Telah dilakukan penumbuhan kristal CuInSe<sub>2</sub> yang digunakan sebagai material target dengan metode *Bridgman*, pendeposisian sistem p-n junction CuInSe<sub>2</sub> multilayer – ZnO dengan teknik RF *sputtering* dan karakterisasinya. Deposisi dilakukan dengan tingkat kevakuman mencapai  $3,5 \cdot 10^{-5}$  mbar, dengan tekanan argon sebesar  $3 \cdot 10^{-2}$  mbar, tegangan *self-bias* 1075 V, daya RF 200 W dan jarak elektroda 20 mm. Tegangan anoda ambang sebesar -10 V diberikan pada proses *sputtering* untuk mengoptimalkan sifat masing-masing lapisan, serta mampu menaikkan daya pada proses *sputtering* sebesar ~ 24,4 %. Hasil XRD menunjukkan bahwa kristal CuInSe<sub>2</sub> yang terbentuk berstruktur tetragonal khalkopirit dengan konstanta kisi  $a = 5,77278 \text{ \AA}$  dan  $c = 11,61888 \text{ \AA}$ . Dari Hasil XRD diketahui bahwa lapisan CuInSe<sub>2</sub> multilayer telah terdeposisi pada substrat kaca dengan konstanta  $a = 5,67355 \text{ \AA}$  dan  $c = 11,57093 \text{ \AA}$ . Berdasarkan uji FPP lapisan CuInSe multilayer merupakan semikonduktor tipe -p dengan hambatannya  $(1,41 \pm 0,03) \cdot 10^2 \text{ } \Omega$  dan nilai resistivitasnya  $(1,63 \pm 0,04) \text{ } \Omega \cdot \text{cm}$ . Dari uji Spektrofotometer UV-vis diketahui bahwa lapisan CuInSe<sub>2</sub> multilayer merupakan absorber yang baik pada panjang gelombang 300nm – 500nm. Pengamatan EDX memperlihatkan CuInSe<sub>2</sub> multilayer terdeposisi di atas kaca dengan perbandingan molaritas Cu:In:Se adalah 0,35:0,93:2. Dari hasil SEM diperoleh ketebalan lapisan sebesar  $(1,441 \pm 0,005) \text{ } \mu\text{m}$  dengan laju deposisi sebesar  $0,7206 \cdot 10^{-1} \text{ } \mu\text{m}/\text{menit}$ .

**Kata kunci:** semikonduktor, CuInSe<sub>2</sub>/multilayer ZnO p-n junction, lapisan tipis, ohmic

### ABSTRACT

It has been carried out the deposition of a CuInSe<sub>2</sub> crystal by using the *Brigman* method, followed by the deposition system of a p-n junction CuInSe<sub>2</sub> /multilayer ZnO using RF sputtering method and their characterization. Deposition of thin film was done in a chamber with the basic pressure of about  $9 \times 10^{-6}$  mbar, self bias voltage around 1075 volt, RF power at 200 watt and electrode distance of 20 mm. To improve the character of each thin film, the anode voltage is set at floating of - 10 volt, so that the part of argon ions is accelerated to the anode, causes the cleaning of impurity of the formed thin film. The XRD result of CuInSe<sub>2</sub> crystal shows that ingot has a khalkopirit tetragonal structure with lattice constant  $a = 5,77278 \text{ \AA}$  and  $c = 11,61888 \text{ \AA}$ . On the other hand Cu InSe<sub>2</sub> multilayer film has lattice constant  $a = 5,67355 \text{ \AA}$  and  $c = 11,57093 \text{ \AA}$ . Measurement using FPP test informed that CuInSe<sub>2</sub> film is p-type of semiconductor having an electrical resistance  $(1,41 \pm 0,03) \cdot 10^2 \text{ } \Omega$ , correspond to the resistivity of  $(1,63 \pm 0,04) \text{ } \Omega \cdot \text{cm}$ . The UV-vis Spectrophotometer informs that Cu InSe<sub>2</sub> multilayer film is a good absorber nearly 100 % in the range of visible light 300 nm – 500 nm. EDX measurement showed that CuInSe<sub>2</sub> the molarity comparison of Cu:In:Se is 0,35:0,93:2. The thickness of the thin film is  $(1,441 \pm$

0,005) mm with the deposition rate around  $0,7206 \cdot 10^{-1}$   $\mu\text{m}/\text{minute}$ , which was obtained from cross section of SEM observations.

**Keywords:** semiconductor, CuInSe<sub>2</sub>/multilayer ZnO p-n junction, thin film, ohmic.

Makalah diterima 3 Juni 2006

## I. PENDAHULUAN

Energi mempunyai peranan penting dalam pencapaian tujuan sosial, ekonomi, dan lingkungan untuk pemba-ngunan, serta merupakan pendukung bagi kegiatan ekonomi nasional. Penggunaan energi di Indonesia mening-kat pesat sejalan dengan pertumbuhan ekonomi dan penambahan penduduk. Sedangkan, akses ke energi yang handal dan terjangkau merupakan prasyarat utama untuk meningkatkan standar hidup masyarakat.

Untuk memenuhi kebutuhan energi yang terus meningkat tersebut, dikem-bangkan berbagai energi alternatif, diantaranya energi terbarukan. Potensi energi terbarukan, seperti: biomassa, panas bumi, energi surya, energi air, energi angin dan energi samudra, sampai saat ini belum banyak dimanfaatkan, padahal potensi energi terbarukan di Indonesia sangatlah besar. (Raharjo, 1997)

Sebagai negara tropis, Indonesia mempunyai potensi energi surya yang cukup besar. Berdasarkan data penyinaran matahari yang dihimpun dari tujuh lokasi di Indonesia, radiasi surya di Indonesia dapat diklarifikasikan berturut - turut sebagai berikut: untuk kawasan barat dan timur Indonesia dengan distribusi penyinaran di Kawasan Barat Indonesia (KBI), sekitar 4,3 kWh/m<sup>2</sup>/hari dengan variasi bulanan sekitar 10 % dan Kawasan Timur Indonesia (KTI) sekitar 4,7 kWh/m<sup>2</sup>/hari dengan variasi bulanan sekitar 9%, dengan demikian potensi penyinaran matahari rata-rata di Indonesia sekitar 4,5 kWh/m<sup>2</sup> /hari dengan variasi bulanan sekitar 9 %. (Raharjo dan Nurdyastuti, 1996)

Oleh karena itu perlu diupayakan energi alternatif bagi Indonesia dengan memanfaatkan energi matahari yang melimpah ruah dan jumlahnya tak terbatas. Untuk itu perlu dikembangkan pembangkit

listrik tenaga surya yang berbasis pada efek fotovoltaiik dari piranti sel surya sebagai sumber energi listrik yang murah dan bebas polusi.

Dewasa ini sedang dikembang-kan sel surya berbasis lapisan tipis. Perkembangan teknologi lapisan tipis diawali sekitar pertengahan abad XIX yakni pada tahun 1852 (Stuart, 1983). Kemudian pada tahun 1857 Faraday berhasil membuat lapisan dari logam dengan metoda evaporasi (Meisel dan Glang, 1970). Bahan semikonduktor non-silikon yang sedang dikembangkan secara intensif untuk lapisan sel surya dari lapisan tipis (*thin film solar cell*) diantaranya adalah CuInSe<sub>2</sub> (dan paduannya seperti CuInS<sub>2</sub>, Cu(InGa)Se<sub>2</sub>, atau CuInSe), CdTe dan silikon amorp. Dengan beberapa alasan, CuInSe<sub>2</sub> merupakan bahan yang paling menjanjikan untuk sel surya (Rockett dan Birkmire, 1991).

Adapun beberapa teknik yang sering digunakan untuk deposisi semikonduktor, diantaranya adalah *Bridgman*, *Czockralski*, dan *sputtering* (dc dan rf). Pada dasarnya semua teknik tersebut mempunyai kelebihan. dan kekurangan masing-masing. Kelebihan dari teknik *Bridgman* adalah dapat menghasilkan bahan semikonduktor masif yang sangat homogen, namun karena teknik ini bekerja pada suhu yang sangat tinggi, sehingga dibutuhkan bahan (tabung kuarsa) yang cukup mahal. (Zezen, 2005)

Pada penelitian ini, dilakukan deposisi sistem p-n *junction* CuInSe<sub>2</sub> *multilayer*-ZnO dengan teknik RF *sputtering* dan karakterisasinya

Bahan Mo (*Molybdenum*) pada lapisan tipis ini berfungsi sebagai *back-contact* atau elektroda belakang dan sebagai lapisan “penghalang” difusi partikel-partikel yang melewati *substrat* kaca. Logam Mo mempunyai bentuk molekul tetragonal dan merupakan logam konduktor yang mempunyai titik leleh dan titik didih yang

tinggi; titik leleh Mo adalah 2623°C dan titik didihnya 4639°C. Disamping itu Mo juga dapat berfungsi sebagai *reflector* pada sel surya CIS karena konduktivitas dan reflektivitasnya yang tinggi serta transmitansinya kecil (Malvino, 1979).

CuInSe<sub>2</sub> (CIS) adalah suatu semikonduktor tipe-p yang digunakan sebagai bahan sel surya yang mempunyai efisiensi atau daya serap energi yang cukup besar di daerah 300 nm – 500 nm. Adapun sifat fisis CIS, misal: berat molekul 336,28 g cm<sup>-3</sup>, densitas 5,77 dan titik didih 986 °C serta mempunyai simetri khalkopirit. (Malvino, 1979)

Dilain pihak ZnO (*Zinc Oxide*) merupakan semikonduktor tipe-n yang dideposisikan di atas lapisan CuInSe<sub>2</sub> *multilayer*. Titik leleh ZnO adalah 1980 °C dengan *energy gap* sebesar 3,2 eV pada suhu 300 K. Bentuk molekul ZnO adalah heksagonal ([www.webelements.com](http://www.webelements.com)). Sifat transmitansi ZnO pada daerah cahaya tampak sekitar 90 %, sehingga ZnO dapat digunakan sebagai TCO (*Transparent Conducting Oxide*) yaitu sebagai elektroda yang tembus cahaya. Sedangkan ZnOAl adalah lapisan paling atas yang berfungsi sebagai *front-contact* atau elektroda depan, karena ZnOAl mempunyai sifat yang transparan sehingga tidak mengganggu masuknya sinar matahari kelapisan CuInSe<sub>2</sub>.

## 2. METODA PENELITIAN

*Sputtering* adalah proses penembakan partikel-partikel (atom-atom atau ion-ion) berenergi tinggi pada sebuah target sehingga

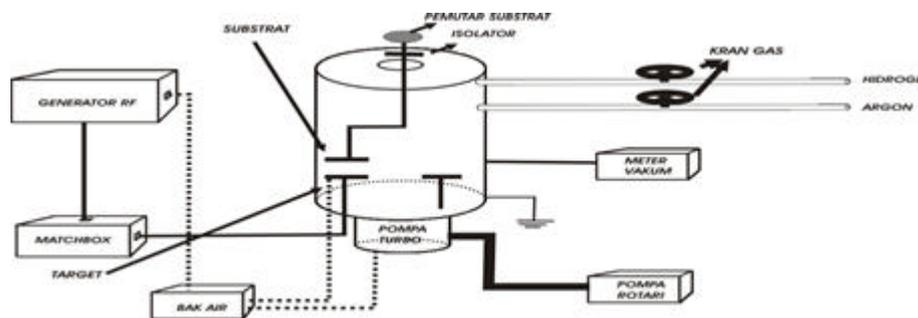
partikel-partikel individu target memperoleh energi yang cukup tinggi untuk melepaskan diri dari permukaan target. Partikel-partikel yang ter-*sputter* dari permukaan target akibat ditembaki ion akan terhambur ke segala arah, kemudian difokuskan pada substrat untuk membentuk lapisan tipis.

Peralatan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari perangkat pembuatan target CIS dengan metode Bridgman, karakterisasi XRD, FPP, UV-visible, EDX dan SEM, serta perangkat deposisi lapisan tipis dengan sistem *RF sputtering*.

Deposisi target CuInSe<sub>2</sub> (CIS) yang akan dijadikan target dibuat dengan Metode Bridgman. Penumbuhan kristal cara ini dilakukan dengan cara melelehkan bahan-bahan yang telah dimurnikan dalam tabung kuarsa yang telah divakumkan. Setelah kristal CIS terbentuk dilakukan karakterisasi XRD untuk mengetahui struktur kristalnya. Sedangkan proses deposisi lapisan tipis CuInSe<sub>2</sub> menggunakan metode *RF sputtering*.

### 1. Deposisi lapisan tipis CuInSe<sub>2</sub> multilayer dan karakterisasinya

Sistem *RF sputtering* ditunjukkan oleh Gambar 1. Sistem *sputtering* harus dilengkapi pula dengan beberapa peralatan tambahan agar bisa berfungsi untuk deposisi lapisan tipis, yaitu: bahan target, gas *sputtering*, bahan substrat, sistem vakum, sistem pendingin target dan sistem pemanas substrat.



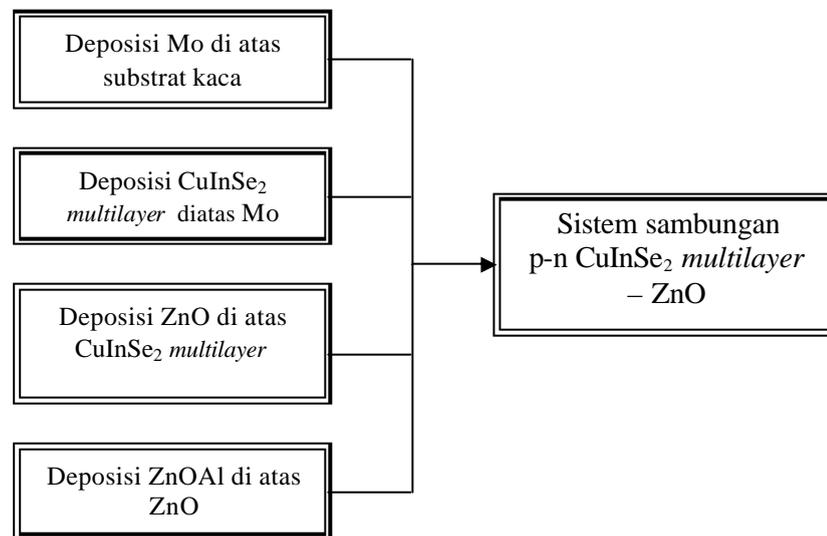
Gambar 1. Sistem *RF Sputtering*.

Pendeposisian lapisan tipis ini dilakukan dengan metode RF *sputtering* diatas substrat kaca dengan luasan  $4 \text{ cm}^2$  dengan parameter-parameternya: tekanan gas argon sebesar  $3 \times 10^{-2}$  mbar untuk lapisan pertama sedangkan untuk lapisan kedua tekanan gas argonnya sebesar  $4 \times 10^{-2}$  mbar. Daya yang digunakan sebesar 200 W, tegangan *self bias* 1075 V, serta jarak elektroda sebesar 20 mm. Setelah didapatkan lapisan tipis *CuInSe<sub>2</sub> multilayer* kemudian dilakukan karakterisasi lapisan tersebut dengan uji: XRD untuk mengetahui struktur kristalnya, FPP untuk mengetahui tipe semikonduktor, hambatan dan

resistivitasnya, uji UV-visible untuk mengetahui tingkat penyerapan cahaya, SEM dan EDX untuk melihat struktur morfologi dan untuk mengetahui kandungan berbagai unsur kimia dalam suatu material.

## 2. Deposisi system p-n junction *CuInSe<sub>2</sub> multilayer*

Sistem sambungan p-n yang dibuat pada penelitian ini terdiri dari Mo – CIS *multilayer* – ZnO – ZnOAl dengan substrat yang dipakai adalah kaca. Secara jelas urutan pembuatan sel surya berbasis CIS dapat dilihat dalam gambar 2.



Gambar 2. Skema deposisi system p-n junction

Parameter *sputtering* untuk pembuatan sistem p-n junction adalah mula – mula substrat dideposisikan terlebih dahulu dengan logam Mo (elektroda belakang) pada tekanan argon  $3 \times 10^{-2}$  mbar dengan daya 200 watt selama 20 menit. Kemudian CIS *multilayer* sebagai lapisan absorber dideposisi diatas Mo. Sebelumnya, pada lapisan Mo dipasang masker aluminum foil untuk menutup sebagian lapisan yang digunakan sebagai elektroda. Deposisi CIS *multilayer* dilakukan pada tekanan argon  $3 \times 10^{-2}$  mbar selama 10 menit; 12,5 menit; 15 menit; dan 17,5 menit dengan daya 200 watt kemudian dilakukan pendeposisian

pada tekanan argon pada  $4 \times 10^{-2}$  mbar selama 10 menit; 12,5 menit; 15 menit; 17,5 menit dengan daya 200 watt sehingga akan didapatkan 4 sampel CIS *multilayer* dengan total waktu masing - masing lapisan adalah 20 menit, 25 menit, 30 menit, 35 menit. Hal ini dilakukan karena tidak diketahui secara pasti ketebalan optimal yang membuat system p-n junction dengan ZnO sebagai tipe n dapat menghasilkan efisiensi maksimal sehingga CIS dibuat dengan sistem *multilayer* .

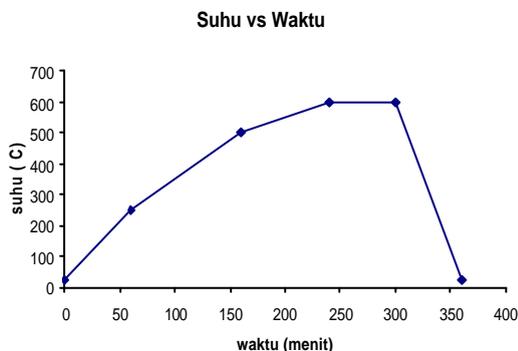
Selanjutnya dilakukan deposisi ZnO diatas CIS-*multilayer* secara langsung karena ZnO sangat reaktif terhadap udara.

ZnO dibuat pada tekanan argon  $3 \times 10^{-2}$  mbar, daya 200 watt dengan waktu 25 menit. Pada proses deposisi ini ditambahkan gas hidrogen dengan tetap menjaga kestabilan tekanan argon. Setelah itu dideposisikan ZnOAl sebagai elektroda depan (*front contact*), yaitu dengan penambahan Al murni pada target ZnO. Pendeposisian ZnOAl dilakukan pada tekanan argon  $3 \times 10^{-2}$  mbar dengan daya 200 watt selama 25 menit.

### 3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

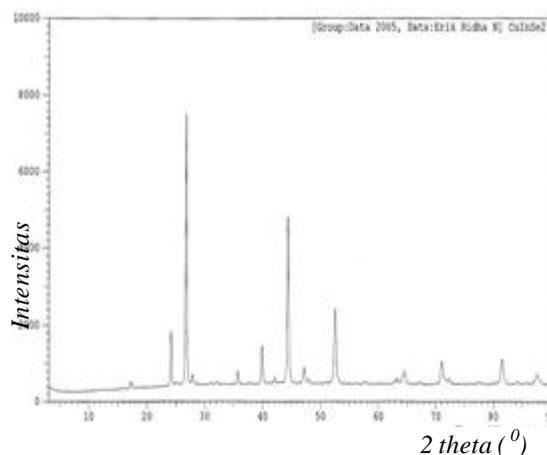
#### 1. Karakterisasi Struktur Kristal Bahan CuInSe<sub>2</sub>

Pada proses penumbuhan kristal CuInSe<sub>2</sub> menggunakan metode Bridgman dilakukan pemanasan kapsul tabung *pyrex* berisi campuran Cu, In dan Se dalam bentuk pelet yang bertujuan untuk melelehkan unsur pembentuknya. Adapun kenaikan pemanasan kapsul tabung *pyrex* sebagai fungsi waktu ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Laju pemanasan kapsul tabung *pyrex* (pada menit ke 300 pemanasan dihentikan)

Proses pemanasan pada penelitian ini dilakukan secara perlahan dan bertahap. Hal ini dilakukan agar kristal CuInSe<sub>2</sub> yang terbentuk mempunyai kualitas yang baik. Pengamatan XRD (*X-Ray Diffraction*) digunakan untuk mengetahui struktur kristal yang terbentuk pada *massif* hasil pemanasan CuInSe<sub>2</sub> dengan metode *Bridgman*. Hasil XRD (*X-Ray Diffraction*) ditampilkan dalam gambar 4.



Gambar 4. Difraktogram bahan CuInSe<sub>2</sub> hasil deposisi menggunakan metode *Bridgman*

Berdasarkan data yang kita peroleh dari XRD dan perbandingan dengan data JCPDS maka untuk mendapatkan nilai *a* dan *c* pada struktur kisi CuInSe<sub>2</sub>, dapat dicari dengan mengambil data *hkl* yang mempunyai nilai *l* sama dengan nol, yaitu pada puncak kedelapan dengan *hkl* 220 (Nugraha, 2006). Diperoleh besarnya nilai *a* = 5,7727 Å, sedangkan nilai *c* diperoleh untuk puncak kedua dengan  $2q = 26,7780$  adalah *c* = 11,6032 Å (Nugraha, 2006). Nilai perbandingan *c/a* = 2,0100 memiliki perbedaan sebesar 0,0027 dengan konstanta *c/a* menurut Rockett dan Birmire.

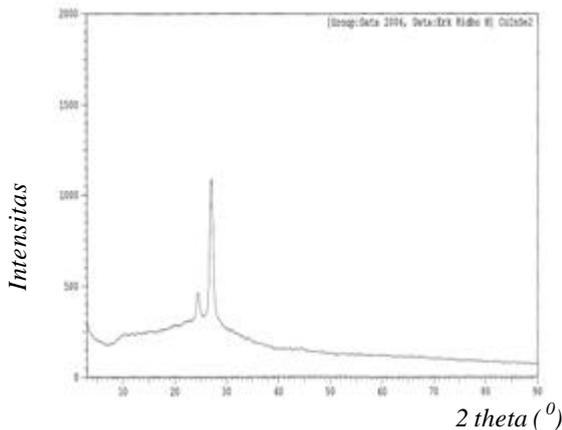
Menurut Rockett dan Birmire (1991), konstanta kisi CuInSe<sub>2</sub> adalah *a*<sub>0</sub> = 5,789 Å dan *c*<sub>0</sub> = 11,62 Å. Perbedaan ini kemungkinan disebabkan karena terdapat unsur-unsur lain yang ikut terbentuk pada proses pemanasan. Unsur lain yang ikut terbentuk ini mengindikasikan bahwa kristal yang terbentuk bersifat *non-monofase* (Atmono dkk, 2006). Disamping telah terbentuk kristal/senyawa lain pada proses penumbuhan kristal CuInSe<sub>2</sub> dengan metode *Bridgman*, senyawa yang terbentuk antara lain adalah In<sub>6</sub>Se<sub>7</sub> dan Cu<sub>3</sub>Se<sub>2</sub> (Enarwati, 2005)

Berdasarkan nilai perbandingan *c/a* menurut Shay dan Wernick, (1975) maka dapat disimpulkan bahwa semikonduktor CuInSe<sub>2</sub> yang terbentuk

mempunyai struktur tetragonal dengan simetri khalkopirit.

## 2. Karakterisasi Lapisan Tipis CuInSe<sub>2</sub> – multilayer dengan XRD

Hasil XRD (*X-Ray Diffraction*) ditampilkan dalam gambar 5 sebagai berikut



Gambar 5. Difraktogram bahan lapisan tipis CuInSe<sub>2</sub> multilayer hasil sputtering RF

Berasarkan data yang kita peroleh dari XRD dan perbandingan dengan data JCPDS maka didapatkan nilai  $a$  dan  $c$  dari struktur kisi lapisan tipis CuInSe<sub>2</sub> multilayer. Untuk menghitung nilai  $a$  dan  $c$  didapatkan dengan mengambil data  $hkl$  yang mempunyai nilai  $l$  sama dengan nol, yaitu pada puncak keempat dengan  $hkl$  110 (Nugraha, 2006). Sehingga kita akan mendapatkan besarnya nilai  $a = 5,67355 \text{ \AA}$ , sedangkan nilai  $c$  diperoleh untuk puncak ketujuh dengan  $2\theta = 27,0247$  adalah  $c = 11,57093994 \text{ \AA}$  (Nugraha, 2006). Nilai perbandingan  $c/a = 2,0394531$ , nilai ini memiliki perbedaan sebesar 0,032198 dengan konstanta  $c/a$  menurut Rockett dan Birmire. Perbedaan nilai ini dikarenakan adanya fase lain pada lapisan tipis sebab dalam proses pendeposisian lapisan tipis tingkat kevakumannya kurang tinggi sehingga kemungkinan adanya gas-gas lain dalam tabung yang bereaksi dengan target (Atmono dkk, 2006).

Dari nilai tetapan kisi yang telah diperoleh, maka dapat dipastikan bahwa

lapisan tersebut adalah *thin film* CuInSe<sub>2</sub> yang mempunyai struktur kristal *tetragonal*.

## 3. Karakterisasi Lapisan tipis CuInSe<sub>2</sub>- multilayer dengan UV-visible

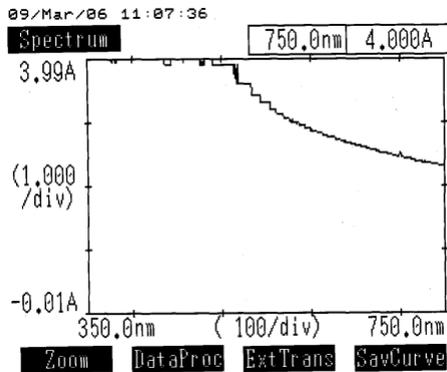
Hasil transmiansi dan absorpsi dari bahan CuInSe<sub>2</sub> multilayer dapat kita lihat dari gambar 6 sampai dengan gambar 9. Dari hasil diatas dapat kita lihat bahwa pada lapisan CuInSe<sub>2</sub> multilayer kita dapatkan bahwa penyerapan terbaik pada panjang gelombang 350 nm - 500 nm dengan nilai absorpsinya (3,99 - 4) A (spesifikasi alat bahwa nilai 4A merupakan nilai maksimum untuk penyerapan dan nilai 0A adalah nilai terkecil untuk penyerapan cahaya). Sedangkan pada 500 nm - 750 nm, fungsi CuInSe<sub>2</sub> multilayer sebagai absorber (penyerap cahaya) mengalami penurunan sejalan dengan adanya cahaya yang diteruskan (gambar 7). Namun nilai penerusan cahaya masih dibawah 1 % sedangkan nilai penyerapannya mendekati nilai 2A atau dengan kata lain mendekati 50 %. Sesuai dengan persamaan bahwa nilai penyerapan + penerusan cahaya + pemantulan = 100 %, maka pada panjang gelombang 500 nm - 750 nm cahaya yang dipantulkan mengalami fungsi naik mendekati angka 50 %.

Pada lapisan tipis CuInSe<sub>2</sub> non multilayer nilai penyerapan (absorsi) pada panjang gelombang 350 nm - 750 nm tidak diperoleh nilai maksimum bahkan nilainya cenderung menurun (gambar 8). Besarnya cahaya yang diteruskan juga mengalami peningkatan antara 300 nm - 750 nm, mendekati nilai 10 % (gambar 9). Besarnya nilai penyerapan untuk lapisan non multilayer mengalami penurunan hingga mendekati angka 1A atau 25 % (gambar 8), sesuai persamaan maka nilai pemantulan cahayanya melebihi angka 50 %.

Pada gambar 6 dan gambar 8, terlihat baik untuk lapisan CuInSe<sub>2</sub> multilayer maupun non multilayer mengalami gejala penurunan untuk penyerapan cahaya.

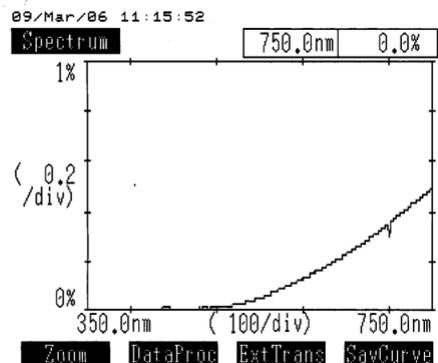
Hal ini disebabkan karena intensitas cahaya matahari yang tinggi terkumpul pada bagian tengah (400 nm-500 nm) dari spektrum cahaya tampak, yaitu pada daerah kuning. Sehingga dengan energi foton yang besar ini digunakan oleh elektron untuk

mengeksitasi dirinya menuju pita tingkat lebih tinggi, sehingga pada daerah ini mengalami tingkat penyerapan yang maksimal. Pada ujung daerah sinar tampak memiliki nilai intensitas yang rendah

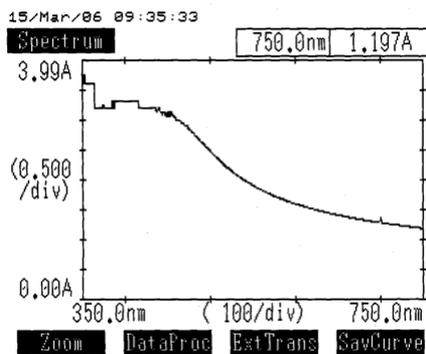


Gambar 6. Grafik penyerapan (absorpsi) CuInSe<sub>2</sub>-multilayer pada panjang gelombang 350 nm-750 nm

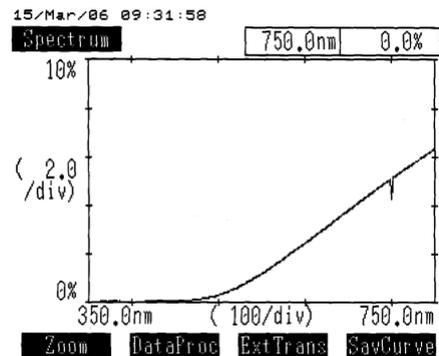
sehingga energi foton yang mengenai elektron belum mampu digunakan elektron untuk melompati energi gapnya (*barrier*), sehingga cahaya (sinar) cenderung untuk dipantulkan (Krane,1992).



Gambar 7. Grafik transmitansi CuInSe<sub>2</sub>-multilayer pada panjang gelombang 350 nm-750 nm



Gambar 8. Grafik penyerapan (absorpsi) CuInSe<sub>2</sub>-non multilayer pada panjang gelombang 350 nm-750 nm



Gambar 9. Grafik transmitansi CuInSe<sub>2</sub>-non multilayer pada panjang gelombang 350 nm-750 nm

Dari data – data diatas maka dapat disimpulkan bahwa penggunaan CuInSe<sub>2</sub> banyak lapisan (*multilayer*) akan lebih baik daripada satu lapisan (*non multilayer*) sebagai fungsi penyerapan (*absorber*) untuk digunakan pada sel surya lapisan tipis.

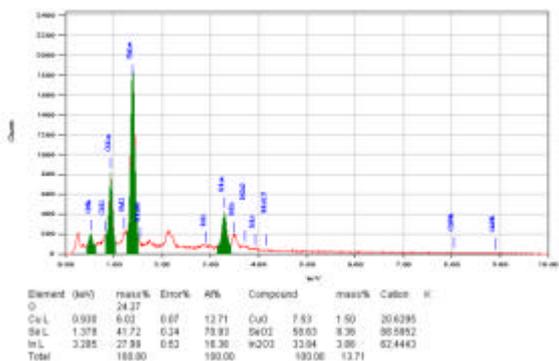
#### 4. Karakterisasi Lapisan tipis CuInSe<sub>2</sub>-multilayer dengan Four Point Probe

Dari pengujian dengan FPP bahwa untuk pengujian 3 titik kita mendapatkan bahwa lapisan tipis CuInSe<sub>2</sub> *multilayer* merupakan bahan semikonduktor bertipe-p, hambatannya  $(1,42 \pm 0,03) \times 10^2 \text{ ?}$  dan nilai resistivitasnya  $(1,63 \pm 0,04) \text{ ? cm}$ .

Material Cu adalah bahan yang bersifat konduktor yang mempunyai nilai konduktivitas tinggi. Sedangkan material Se adalah bahan yang bersifat semikonduktor tipe-p mempunyai konduktivitas tinggi. Bahan lain, In adalah bahan konduktor dengan valensi 3 sehingga biasa digunakan untuk membuat tipe-p pada silikon. Bila ketiganya dipadu dengan syarat (parameter deposisi) tertentu, akan terbentuk bahan CuInSe<sub>2</sub> dengan tipe-p. Secara umum fungsi bahan Cu adalah untuk memperbesar konduktivitas sedangkan In dan Se untuk membentuk tipe-p (Atmono dkk, 2006).

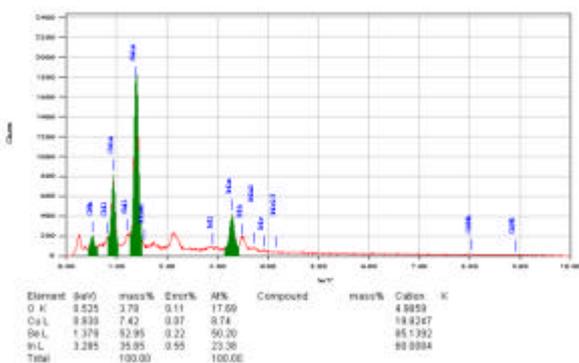
### 5. Karakterisasi Lapisan tipis CuInSe<sub>2</sub>-multilayer dengan EDX

Hasil EDX dari lapisan tipis CuInSe<sub>2</sub> multilayer tampak pada gambar 10-11:



Gambar 10. Spektrum hasil karakterisasi EDX (campuran/senyawa)

Dari hasil karakterisasi EDX tersebut dapat diketahui komposisi kimia dari lapisan CuInSe<sub>2</sub> multilayer seperti tertera pada Tabel 1. Hasil perbandingan molaritas unsur-unsur Cu, In dan Se hasil EDX dapat diketahui yaitu 0,35 : 0,93 : 2,0; sedangkan pada penumbuhan bahan CuInSe<sub>2</sub> perbandingan mol antara Cu, In, Se adalah 1 : 1 : 2. Perbedaan perbandingan mol tersebut disebabkan adanya efek *preferential sputtering* yaitu dimana kebolehhaduan partikel ter-*sputter* tidak sama antar material satu dengan material yang lain bergantung pada tenaga ikat, *temperature*, jenis sputter gas dll. (Wasa dan Hayakawa, 1992).



Gambar 11. Spektrum hasil karakterisasi EDX (unsur)

Pada hasil EDX kita melihat adanya oksigen yang muncul selain Cu, In, Se. Adanya oksigen tersebut 54

merupakan hasil dari oksidasi Cu, In, Se dengan oksigen membentuk senyawa oksida CuO, SeO<sub>2</sub>, In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Oksidasi lebih cepat terjadi pada suhu dalam substrat kaca yang semakin tinggi. (Wenas, 1996)

Tabel 1. Data hasil karakterisasi EDX

Unsur	Konsentrasi atom (%)	Campuran	Konsentrasi atom (%)
O	17,69	CuO	07,53 %
Cu	08,74	SeO <sub>2</sub>	58,63 %
Se	50,20	In <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	33,84 %
In	23,38		

### 6. Karakterisasi Lapisan tipis CuInSe<sub>2</sub>-multilayer dengan SEM

Struktur morfologi lapisan tipis dapat diketahui dengan SEM (*Scanning Electron Microscopy*). Hasil karakterisasi berupa foto permukaan (Gambar 12) dan penampang lintang (*cross section*) (Gambar 13).

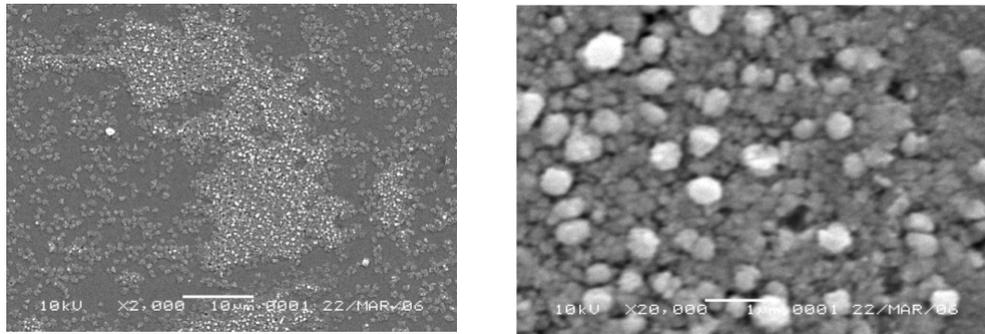
Dari gambar 12(a) tersebut mengindikasikan bahwa lapisan yang terbentuk tidak homogen di bagian permukaannya. Hal ini ditunjukkan oleh warna dari permukaan lapisan yang tidak sama terang dan terlihat jelas pada foto dengan perbesaran 20000× bahwa ukuran butirnya tidak sama. Ukuran butir (*grain size*) dapat diketahui dengan menggunakan bantuan program *Corel Draw 12*. Ukuran butir dari lapisan permukaan CuInSe<sub>2</sub> multilayer berkisar (0,513 ± 0,005) μm.

Dari gambar 13 memperlihatkan bahwa ada dua lapisan yang terdeposisi, yaitu lapisan CuInSe<sub>2</sub> layer pertama pada bagian tengah (2a) dan lapisan CuInSe<sub>2</sub> layer kedua pada bagian kanan (2b), sedangkan bagian kiri yang berwarna gelap merupakan substrat kaca (1). Dengan menggunakan program *Corel Draw 12*, ketebalan dari masing-masing lapisan juga dapat diperkirakan. Lapisan CuInSe<sub>2</sub> multilayer yang terbentuk tersebut mempunyai tebal sekitar (1,441 ± 0,005) μm, lapisan CuInSe<sub>2</sub> layer pertama (0,834 ±

0,005)  $\mu\text{m}$  dan *layer* kedua yaitu  $(0,641 \pm 0,005) \mu\text{m}$ .

Dari hasil pengukuran pada gambar 13 kita dapat melihat terdapat perbedaan ketebalan antara lapisan pertama dengan lapisan kedua. Perbedaan ini disebabkan karena dengan bertambahnya tekanan gas

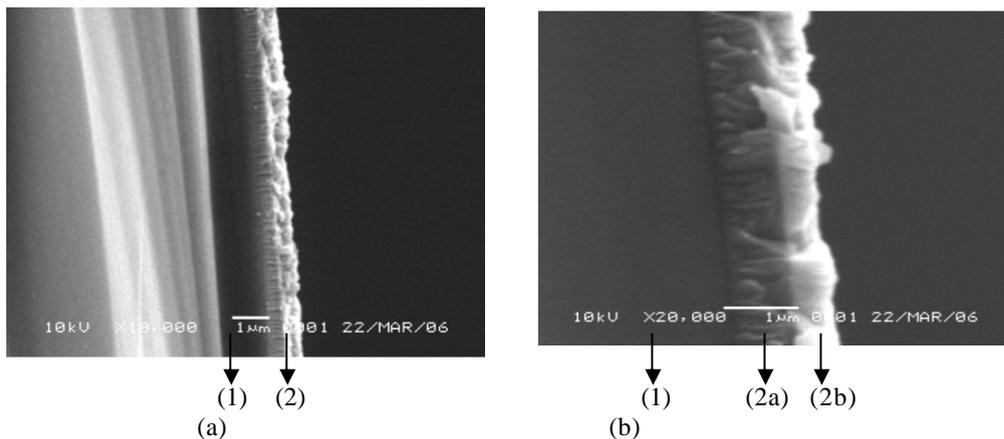
argon mengakibatkan jalan bebas rata – rata ion argon semakin pendek, sehingga ion – ion argon akan saling bertumbukan sendiri sebelum menumbuk atom target. Dengan demikian mengakibatkan percikan atom yang sampai ke permukaan substrat semakin berkurang. (Yunanto, 2002)



(a)

(b)

**Gambar 12. (a) Type foto permukaan lapisan dengan perbesaran 2.000´**  
**(b) Type foto permukaan lapisan dengan perbesaran 20.000´**



(a)

(b)

**Gambar 13. (a) Type foto tampak lintang lapisan dengan perbesaran 10.000´**  
**(b) Type foto tampak lintang lapisan dengan perbesaran 20.000´**

Melalui laju deposisi yang besarnya  $0,7206 \times 10^{-1} \mu\text{m}/\text{menit}$ , maka pendeposisian sample percobaan dengan total waktu untuk deposisi CuInSe<sub>2</sub> *multilayer* antara 20 menit – 35 menit menghasilkan ketebalan yang mendekati optimal. Berdasarkan keterangan Stener (1993) ketebalan (1,5 – 2,0  $\mu\text{m}$ ) dapat menghasilkan material semikonduktor yang optimal.

1. Lapisan ZnO sangat reaktif terhadap oksigen, sedangkan pada deposisi system p-n *junction* setelah proses deposisi lapisan ZnO, tabung *chamber* harus dibuka untuk

memasukkan Al. Pembukaan tabung *chamber* ini mengakibatkan lapisan tipis ZnO hasil deposisi terkontaminasi dengan oksigen. Seperti dikatakan bahwa ZnO mempunyai kelemahan, yaitu jika bereaksi dengan udara akan menyebabkan penurunan konduktivitas (resistansi naik) yang sebanding dengan lamanya waktu reaksi dengan udara meskipun suatu ketika akan terjadi kejenuhan. Hal ini akan menyebabkan penurunan

- efisiensi sehingga perlu dicegah (Oechsner, 2000).
2. Pada proses pembuatan bahan ini pengambilan elektrodanya tidak langsung pada sambungan p-n tetapi melalui Mo sebagai elektroda belakang dan ZnOAl sebagai elektrode depan, sehingga terdapat tambahan tahanan yang relatif besar.
  3. Faktor-faktor lain selama proses *sputtering* seperti kebersihan *chamber*, substrat dan *ground-shielding*, pengaturan tekanan gas argon, kebersihan target, dan homogenitas juga sangat berpengaruh bagi *performance* lapisan yang dihasilkan. Tingkat kevakuman sistem yang kurang tinggi (dalam orde  $10^{-6}$  mbar) memungkinkan masih terdapat gas-gas lain seperti  $\text{CO}_2$  atau  $\text{NO}_2$  yang ikut dalam proses deposisi, sehingga memberikan kontribusi pada penyimpangan sifat lapisan tipis. (Sari, 2006)
  4. Pada karakterisasi penyambungan elektrode dengan alat karakterisasi menggunakan jepit buaya yang memiliki tahanan besar serta dapat merusak lapisan tipis. Serta penggunaan kabel yang panjang yang menambah tahanan pada pengukuran.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut bahwasanya kristal  $\text{CuInSe}_2$  yang terbentuk menggunakan metode Bridgman mempunyai struktur tetragonal dan bersimetri khalkopirit dengan konstanta kisi  $a = 5,77278 \text{ \AA}$  dan  $c = 11,61888 \text{ \AA}$ . Lapisan  $\text{CuInSe}_2$  *multilayer* sudah terdeposisi di atas substrat kaca dengan perbandingan mol 0,35 : 0,93 : 2 dengan ketebalan sebesar  $(1,441 \pm 0,005) \mu\text{m}$ , mempunyai struktur tetragonal dengan parameter kisi  $a = 5,67355 \text{ \AA}$  dan  $c = 11,57093 \text{ \AA}$ , bertipe-p, memiliki hambatan  $(1,41 \pm 0,03) \times 10^2 \text{ ?}$  dan, nilai resistivitasnya  $(1,63 \pm 0,04) \text{ ? cm}$ , serta

memiliki kemampuan *absorpsi* yang baik pada panjang gelombang 300nm - 500nm sehingga dapat digunakan sebagai bahan absorber jika digunakan pada sel surya

#### Saran

Adapun saran yang dapat disampaikan, adalah bahwa perlu dilakukan deposisi lapisan tipis system p-n junction berbasis CIS *multilayer* tanpa membuka *chamber*, sehingga ZnO tidak bereaksi dengan oksigen. Disamping itu juga perlu dikembangkan penggantian bahan ZnO sebagai tipe-n pada lapisan tipis berbasis CIS. Perlu ditingkatkannya fungsi ZnOAl sebagai pelindung ZnO, dan perlu dikembangkan model baru untuk elektroda yaitu dengan pengambilan langsung pada lapisan p-n *junction*nya tanpa elektrode tambahan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Atmono, T.M., Yunanto, Wiryoadi, dan Bambang, S., 2006, Preparasi material target  $\text{CuInSe}_2$  untuk pembuatan lapisan tipis  $\text{CuInSe}_2$  tipe p, *Makalah*, PTAPB BATAN, Jogjakarta.
- Enarwati, 2005, *Studi Awal Preparasi Bahan Semikonduktor  $\text{CuInSe}_2$  dengan Metode Bridgman*, Skripsi S-1, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Krane, K., 1992, *Fisika Modern*, Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta
- Malvino, A.P., 1979, *Electronic Principles*, Mc Graw Hill, Foot Hill College, California.
- Meisel, L., dan Glang, R., 1970, *Hand Book of Thin Film Technology*, M Graw Hill, inc, New York, USA
- Nugraha E.R., 2006, *Preparasi p-n junction  $\text{CuInSe}_2$  multilayer - ZnO dengan metode rf Sputtering dan karakterisasi arus-tegangan*, Skripsi S-1, FMIPA-UGM.
- Oechsner, H., 2000, Sputtering a review of some recent experimental and theoretical aspect, *Appl Phys*, 8 (185)
- Raharjo I., 1997, Strategi pemanfaatan bermacam-macam energi dimasa depan, *Laporan teknis*, BPPTeknologi, Jakarta.

- Raharjo, I., dan Nurdyastuti, I., 1996, *Pengenalan energi*, penerbit PT mitra Agung Pratama, Jakarta
- Rockett, A., dan Birmire, R.W., 1991, *CuInSe<sub>2</sub> for Photovoltaic Application*, *Jurnal*, University of Illionois.
- Sari, M. M., 2006, *Preparasi P-N junction CuInSe<sub>2</sub>- CdS - ZnO multilayer Dengan Metode RF Sputtering Untuk Menghasilkan Efek Fotofoltaik Pada Aplikasi Lapisan Tipis Sel Surya*, Skripsi S-1, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta
- Shay J.L dan Wernick J.H, 1975, *Ternary Chalcopyrite Semiconductor: Growth, Electronic Properties and Application*, Pergamon Press.
- Stener M, 1993, *ALD Buffer Layer Growth and Interface Formation on Cu(InGa)Se<sub>2</sub> Solar Cell Absorber*, Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology, Uppsala University, Uppsala.
- Stuart, V.R., 1983, *Vacuum Technology, ThinFilm and Sputtering, an Introduction*, Academic Press Inc, Japan.
- Wasa, K., and Hayakawa, S., 1992, *Handbook of Sputter Deposition Technology, Principles, Technology and Applications*, Noyes Publication, Osaka, Japan
- Wenas, W.W., 1996, *Tecnology sel surya: Perkembangan Dewasa ini dan yang akan datang*, *Jurnal*, [www.ElektroIndonesia Com](http://www.ElektroIndonesia.Com).
- Yunanto, 2002, *Pengaruh Tekanan an Waktu Deposisi pada teknik Sputtering terhadap tahanan an Reflektansi Lapisan Tipis a-Si dan Ag*, *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Teknologi Akselerator dan Aplikasinya. P3TM-BATAN*, Yogyakarta
- Zezen, A., 2005, *Preparasi dan karakterisasi bahan semikonduktor lapisan tipis CuInSe<sub>2</sub> dengan teknik sputtering*, Skripsi S-1, Universitas Negeri Yogyakarta

