

DEPOSISI LAPISAN TIPIS ZnO SEBAGAI LAPISAN TIPIS TIPE N DAN JENDELA SEL SURYA CuInSe₂

Yunanto, Trimardji Atmono, Wirjoadi, Bambang Siswanto dan Sri Sulamdari

Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan (PTAPB) - BATAN

Jl. Babarsari Kotak Pos 1008, Yogyakarta 5510

ABSTRAK

DEPOSISI LAPISAN TIPIS ZnO SEBAGAI LAPISAN TIPIS TIPE N DAN JENDELA SEL SURYA CuInSe₂. Telah dilakukan deposisi lapisan tipis ZnO pada substrat kaca sebagai lapisan tipis tipe N dan jendela sel surya CuInSe₂ menggunakan teknik *RF sputtering*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh parameter *sputtering* terhadap resistansi, tipe konduksi, transmitansi dan struktur kristal, sehingga dapat digunakan untuk sel surya CuInSe₂ (CIS). Pembuatan lapisan tipis ZnO menggunakan teknik *RF sputtering* pada frekuensi 13,56 MHz dengan target ZnO. Bahan target ditumbuki dengan ion Ar, sehingga atom ZnO terpecah pada substrat membentuk lapisan tipis ZnO pada substrat kaca. Pengukuran resistansi dan tipe konduksi menggunakan *probe* empat titik, transmitansi menggunakan UV Vis, struktur kristal menggunakan XRD. Dari hasil pengamatan diperoleh resistansi terendah 19 kΩ dengan tipe konduksi N, transmitansi tertinggi 99,3 %, struktur kristal lapisan tipis adalah kristal ZnO dengan bidang (100), (002), (101). Dari data tersebut dapat disimpulkan bahan lapisan tipis yang dibuat dapat digunakan sebagai jendela sel surya CIS.

Kata kunci : *RF Sputtering*, lapisan tipis ZnO, jendela sel surya CIS

ABSTRACT

DEPOSITION OF ZnO THIN FILM AS A N TYPE THIN FILM AND WINDOW OF (CuInSe₂) SOLAR CELL. The ZnO thin film has been deposited on glass substrat using RF sputtering technique for N type thin film and window of CIS solar cell. The objective of this research is to study the effect of sputtering parameters on the resistance, conduction type, transmittance and crystal structure. Fabrication of the N type thin film was carried out by using sputtering RF technique at the frequency of 13,56 MHz. The ZnO target was bombarded by Ar ion, so that the ZnO atoms were sputtered and form thin film of ZnO on the glass substrat. The resistance and the conduction type were measured using four point probe, the transmittance using UV-Vis and the crystal structure using XRD. The experimental results, they show that the minimum resistance is 19 kΩ, the conduction type is N, maximum transmittance is 99,3 %, crystal structure is ZnO crystal with plane (100), (002), (101). From these data it can be concluded that the film can be used as a window of CIS solar cell.

Key words : RF sputtering, ZnO thin, window of CIS solar cell

PENDAHULUAN

Pada tahun terakhir banyak dilakukan penelitian dan pengembangan pembuatan sel surya untuk sumber energi alternatif. Dari sekian banyak macam sel surya yang dikembangkan adalah sel surya CuInSe₂ (CIS). Sel surya CIS banyak diteliti dan dikembangkan di negara maju karena mempunyai efisiensi yang tinggi dan dapat dibuat lapisan tipis, sehingga dapat menghemat biaya dan tempat.

Salah satu bagian yang penting dari sel surya CIS adalah bagian tipe N yang biasa dibuat dari bahan semikonduktor tipe N. Bahan semikonduktor tipe N yang dapat digunakan adalah bahan SnO₂, CdO dan ZnO. Bahan tersebut dibuat lapisan tipis dan dideposisikan pada lapisan tipis tipe P dari bahan paduan CuInSe₂ (CIS). Paduan CuInSe₂ (CIS) ini mempunyai konduktivitas dan serapan yang cukup tinggi, sehingga dapat meningkatkan efisiensi dari sel surya [1,2].

Bahan ZnO merupakan bahan semikonduktor tipe N yang mempunyai bentuk kristal heksagonal dan konduktivitasnya ditentukan oleh ketidak seimbangan antara atom Zn dan O dalam ZnO. Kelebihan atom Zn berfungsi sebagai donor, sehingga ZnO menjadi semikonduktor yang degenerasi dengan arus energi Fermi sekitar 0,05 eV di bawah pita konduksinya. Bahan ZnO mempunyai energi *gap* 3,2 eV sehingga mempunyai sifat transparansi yang tinggi. Transparansi yang tinggi pada bahan ZnO, karena perbedaan antara energi foton dan energi *gap* semakin besar menyebabkan serapan turun (transmitansi naik). Dengan demikian bahan ZnO banyak digunakan untuk elektroda transparan maupun sebagai lapisan tipis tipe N dan jendela sel surya. Dengan menggabungkan dengan lapisan tipis tipe P dari paduan CuInSe₂ (CIS) akan terbentuk sambungan *heterojunction* P-N [3,4].

Untuk membuat lapisan tipis ZnO dibuat dalam bentuk lapisan tipis menggunakan teknik *sputtering*. Bahan ZnO tersebut ditempatkan dalam tabung vakum yang ditumbuki dengan ion Ar, maka atom Zn dan O secara terpisah akan lepas dari permukaan target dan terpercik menuju substrat kaca. Sebelum dan setelah sampai di permukaan substrat atom Zn dan O membentuk paduan ZnO berupa lapisan tipis yang sifatnya menyerupai dengan target yang digunakan. Selain atom Zn dan O secara terpisah lepas dari permukaan target juga ada kemungkinan molekul ZnO terlepas bersama menuju substrat. Jumlah percikan atom pada proses *sputtering* tergantung dari daya yang diberikan, waktu deposisi dan tekanan gas Argon. Dengan melakukan variasi daya *RF*, waktu deposisi dan tekanan gas Ar, akan diperoleh lapisan tipis ZnO yang mempunyai tipe konduksi tipe N berstruktur kristal ZnO dengan konduktivitas dan transmitansi tinggi [5]

METODE PERCOBAAN

Penyiapan Cuplikan

Substrat dibuat dari kaca dipotong berukuran diameter 25 mm dicuci sampai bersih menggunakan air yang diberi deterjen. Setelah itu dicuci lagi menggunakan penggetar ultra sonik dengan alkohol untuk menghilangkan kotoran dan lemak. Setelah itu dipanaskan dengan pemanas untuk menguapkan cairan yang menempel pada substrat.

Pembuatan Target

Target dibuat dari serbuk ZnO dicetak dalam pencetak diameter 75 mm kemudian ditekan dengan tekanan sebesar 400 kg/cm^2 , sehingga bubuk ZnO menjadi keras dan berbentuk silinder dengan tebal 3 mm. Setelah itu target dipanasi pada suhu 600°C selama 2 jam, sehingga target bertambah keras dan meningkat konduktansinya karena tahanan semikonduktor tergantung dari eksponensial pangkat seper suhu [5].

Pendeposisian Lapisan Tipis

Pendeposisian lapisan tipis ZnO menggunakan peralatan *sputtering* buatan Vapink Jerman dengan generator *RF* merek Huttinger tipe PFG 600 *RF*. Substrat kaca diletakkan pada anoda sedangkan target ZnO diletakkan pada katoda. Tabung *sputtering* divakumkan menggunakan pompa rotari dan pompa turbo, sehingga tekanan tabung mencapai 5.10^{-5} mbar. Target ZnO didinginkan dengan aliran air yang disirkulasi menggunakan pompa air. Gas Ar dilalirkan melalui kran gas sehingga tekanan turun menjadi $8,5 \times 10^{-2}$ mbar. Tegangan *RF* dipasang ke elektroda sehingga gas Ar

terionisasi. Ion Ar menumbuki target ZnO, sehingga terpercik menuju substrat kaca. Untuk mendapatkan lapisan tipis yang mempunyai tahanan rendah dan transmitansi tertinggi dilakukan variasi waktu deposisi dari 20 menit hingga dengan 35 menit, tekanan gas dari $0,85 \times 10^{-2}$ mbar hingga $1,5 \times 10^{-1}$ mbar dan daya *RF* dari 185 watt sampai dengan 200 watt.

Pengukuran Resistansi Lapisan Tipis ZnO

Tidak semua lapisan tipis ZnO semua diukur resistivitas dan tipe konduksinya menggunakan *probe* empat titik, karena batas pengukuran tertinggi tahananannya 100 k Ω . Resistansi sebagian besar sampel ordenya lebih dari 100 k Ω . Dengan demikian pengukuran resistansi lapisan tipis ZnO dilakukan menggunakan ohm meter digital yang mampu mengukur tahanan sampai 1.000 M Ω . Pengukuran resistansi dilakukan pada beberapa titik kemudian hasilnya dirata-rata. Nilai resistansi lapisan tipis ZnO ini dalam orde kilo ohm sampai mega ohm karena bahan ZnO termasuk bahan semi konduktor yang mempunyai sifat diantara konduktor dan isolator

Pengukuran Tipe Konduksi

Untuk mengetahui tipe konduksi lapisan tipis ZnO pada substrat kaca, pengukuran dilakukan menggunakan *probe* empat titik yang dapat mengukur resistivitas lapisan tipis dari $1,1 \times 10^{-3}$ - $0,45 \times 10^6$ ohm.cm. Pada alat ini dilengkapi sumber tegangan untuk lapisan tipis. Tegangan timbul pada *probe* bagian dalam karena lapisan tipis diberi arus pada *probe* bagian luar. Untuk mengetahui tipe konduksi lapisan tipis alat ini, salah satu titiknya diberi pemanas, sehingga dapat juga untuk mengetahui jenis konduksi dari lapisan tipis yang diukur.

Pengukuran Transmitansi Lapisan Tipis ZnO

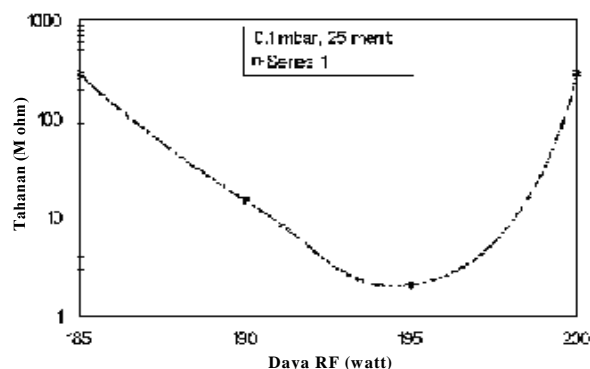
Untuk mengetahui presentase transmitansi lapisan tipis ZnO digunakan *UV-Vis* merek Shimadzu tipe 1601 PC di Universitas Negeri Surakarta. Pengukuran prosentase transmitansi lapisan tipis, bahan ZnO dideposisikan pada substrat kaca yang bening yang prosentase tranparansi sekitar 99,6%, jadi pengurangan transmitansinya dapat diabaikan. Alat ini terdiri dari sumber cahaya dari lampu *wolfram* dan lampu lucutan hidrogen monokromatis, tempat cuplikan, detektor cahaya, penguat tegangan dan penampil. Pada alat ini panjang gelombang dapat diskana secara halus dari panjang gelombang 190 nm sampai dengan 950 nm menggunakan monokromator. Cahaya yang keluar dari monokromator dideteksi, sehingga berubah menjadi sinyal listrik. Sinyal ini diperkuat oleh penguat dan ditampilkan pada penampil

Pengamatan Struktur Kristal Lapisan Tipis ZnO dengan XRD

Untuk mengamati apakah lapisan tipis ZnO yang terdeposisi pada substrat kaca adalah kristal, maka perlu diamati struktur kristalnya menggunakan XRD. XRD yang digunakan milik Universitas Negeri Surakarta merk Shimadzu tipe 6000, Salah satu prinsip kerja XRD yang biasa digunakan adalah metode pemutar kristal tunggal dalam suatu berkas sinar-X monokromatis. Berkas sinar-X ini berasal dari elektrode yang ditembak dengan elektron kecepatan tinggi. Panjang gelombang sinar-X yang dihasilkan tetap, sedangkan yang diubah sudut kristal tunggal yang diputar dengan sudut θ . Dengan demikian akan terpenuhi hukum Bragg yaitu masing-masing bidang yang berbeda pada kristal akan mempunyai posisi pantulan yang tertentu. Pantulan yang dihasilkan dapat diketahui dengan mengatur posisi geometri dari cuplikan. Kristal biasanya berorientasi sedemikian rupa sehingga rotasi terjadi pada salah satu sumbu utama hkl.

HASIL DAN PEMBAHASAN

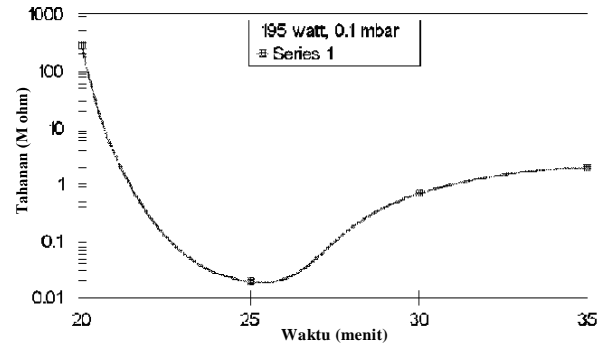
Pada Gambar 1 disajikan hubungan antara daya RF dengan tahanan lapisan tipis ZnO. Semakin tinggi daya RF maka tahanan lapisan tipis akan menurun hal ini disebabkan karena untuk mengionisasi gas Ar dalam tabung sputtering dapat digunakan tegangan RF. Semakin tinggi daya RF (tegangan RF juga semakin tinggi) maka semakin kuat elektron menuimbuki atom Ar sehingga jumlah atom Ar yang terionisasi juga meningkat. Pada akhirnya energi ion Ar menumbuki permukaan atom target ZnO meningkat. Semakin tinggi daya RF maka jumlah ion Ar maupun energi ion Ar semakin meningkat. sehingga atom ZnO yang terlepas juga meningkat. Dengan demikian percikan atom ZnO semakin meningkat, demikian juga ketebalan lapisan tipis ZnO pada substrat kaca juga meningkat.



Gambar 1. Grafik hubungan antara daya RF dengan tahanan lapisan tipis ZnO

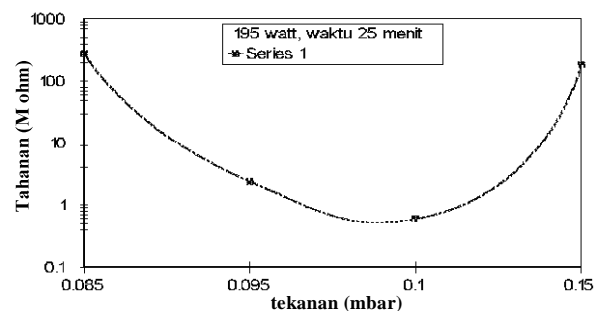
Peningkatan ketebalan lapisan tipis menyebabkan tahanan lapisan tipis menurun. Peningkatan ketebalan lapisan tipis yang disebabkan peningkatan daya RF menyebabkan suhu substrat naik

yang akhirnya menyebabkan peningkatan ukuran butir. Dengan demikian mobilitas elektron meningkat. Untuk daya RF 200 watt tahanan lapisan tipis naik lagi, karena pada daya ini energi ion Ar meningkat lagi, sehingga percikan atom ZnO yang meninggalkan target mempunyai energi yang cukup tinggi juga. Pada akhirnya percikan atom ZnO tidak semua menempel pada substrat karena terpelantak, sehingga lapisan yang terbentuk menipis lagi.



Gambar 2. Grafik hubungan antara waktu deposisi dengan resistansi lapisan tipis ZnO

Waktu deposisi mempengaruhi banyaknya percikan atom target yang menempel pada substrat. Untuk waktu deposisi 20 menit substrat sudah terdeposisi lapisan tipis ZnO tetapi masih sangat tipis, sehingga tahananannya masih tinggi yaitu 283 MΩ. Pada waktu deposisi 25 menit tahanan semakin turun mencapai minimum yaitu 19 kΩ. Resistansi 19 kΩ ini sudah memenuhi syarat untuk digunakan untuk lapisan tipis tipe N. Untuk waktu deposisi yang lebih tinggi tahanan lapisan tipis naik, karena lapisan tipis yang terbentuk kemungkinan berubah menjadi amorf. Lapisan tipis amorf ini terjadi karena semakin tebal lapisan tipis yang terbentuk ikatan antar atom pada lapisan tipis paling luar tidak kuat lagi. Dengan demikian atom target yang sudah menempel pada bagian luar terlepas lagi seperti terlihat pada Gambar 2 [6].

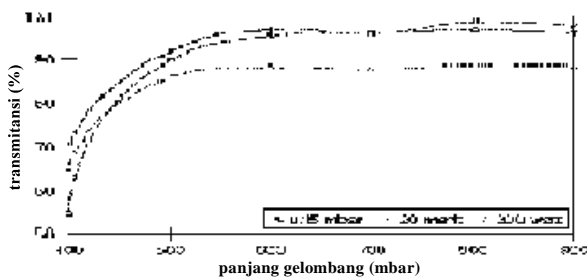


Gambar 3. Grafik hubungan antara tekanan gas Ar dengan resistansi lapisan tipis ZnO

Tekanan gas di dalam tabung sputtering tergantung dari gas Ar yang dialirkan ke tabung sputtering. Semakin banyak gas Ar yang dialirkan, maka tekanan tabung sputtering semakin meningkat. Semakin banyak gas yang masuk ke tabung sputtering, maka semakin banyak pula atom gas Ar yang terionisasi.

Dengan demikian ion Ar yang menumbuki target ZnO akan semakin banyak pula. Percikan atom target akan meningkat, demikian juga lapisan tipis yang terbentuk pada substrat kaca akan bertambah tebal. Peningkatan ketebalan lapisan tipis akan menurunkan tahanan seperti terlihat pada Gambar 3.

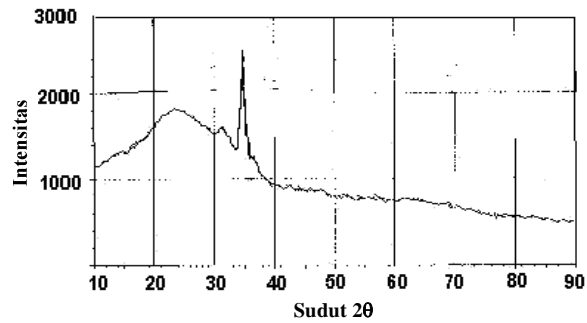
Transmitansi lapisan tipis ZnO yang baik adalah yang besar karena untuk lapisan tipis jendela sel surya. Transmitansi yang besar biasanya lapisan tipis yang terbentuk pada substrat kaca masih tipis, sehingga konduktansi lapisan tipis masih relatif kecil. Hal ini tidak diharapkan karena cahaya hampir seluruhnya dilewatkan tetapi aliran elektron dan hole terbatas. Pada Gambar 4 dapat dilihat ketiga grafik yang menunjukkan transmitansi, hasil dari variasi ketiga parameter sputtering yaitu waktu deposisi, tekanan gas Ar dan daya RF.



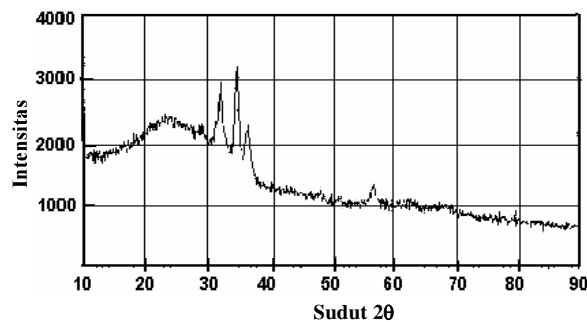
Gambar 4. Grafik hubungan antara panjang gelombang dengan transmitansi terbesar lapisan tipis ZnO pada tiga macam parameter sputtering

Transmitansi terbesar yang dihasilkan oleh parameter waktu deposisi yaitu pada waktu deposisi 20 menit, tetapi dengan resistansi masih cukup besar. Hal ini karena pada waktu deposisi 20 menit lapisan tipis yang terbentuk masih tipis, sehingga cahaya tidak mengalami hambatan diserap oleh lapisan tipis. Demikian juga untuk parameter tekanan gas Ar yang menghasilkan transmitansi yang besar adalah parameter tekanan gas Ar $1,5 \times 10^{-1}$ mbar. Hal ini disebabkan karena untuk tekanan gas yang besar maka atom gas Ar yang terionisasi juga besar. Hal ini menyebabkan ion Ar saling bertumbukan sendiri sebelum menumbuki target, sehingga tenaganya berkurang (lapisan tipis yang terbentuk sangat tipis). Transmitansi yang lebih kecil dihasilkan oleh parameter daya RF. Pada daya yang paling besar menghasilkan ion Ar yang cukup banyak dan tenaga yang lebih tinggi. Dengan demikian percikan atom target yang dihasilkan pada substrat kaca semakin banyak (lapisan tipis yang terbentuk tebal [7]).

Untuk mengetahui lapisan tipis ZnO yang terbentuk pada substrat kaca berbentuk kristal heksagonal, maka lapisan tipis ZnO diamatai struktur kristalnya menggunakan XRD. Pengamatan yang dilakukan dengan XRD dan dipilih dua sampel yang berbeda waktu deposisinya yaitu 20 menit dan 25 menit. Untuk sampel dengan waktu deposisi 20 menit disajikan pada Gambar 5, sedangkan untuk waktu deposisi 25 menit



Gambar 5. Spektrum XRD untuk lapisan tipis ZnO menggunakan waktu deposisi 20 menit.



Gambar 6. Spektrum XRD untuk lapisan tipis ZnO menggunakan waktu deposisi 25 menit.

disajikan pada Gambar 6. Dari hasil pengamatan sampel yang menggunakan waktu deposisi 20 menit menunjukkan bidang (002) pada sudut $34,78^\circ$ intensitasnya paling tinggi yang menunjukkan sebagian kristal dan sebagian amorf. Puncak lain yang menunjukkan bidang lainnya pada sudut $31,66^\circ$ dengan bidang (100) dan sudut $36,49^\circ$ dengan bidang (101). Orientasi pertumbuhan kristal ada tiga macam, sehingga lapisan tipis ZnO ini adalah polikristal. Ketiga puncak tersebut tidak sama persis dengan data XRD dari JCPDS yaitu sudutnya $31,73^\circ$, 34° , 37° dan $36,21^\circ$. Pergeseran sudut ini disebabkan karena pada penumbuhan lapisan tipis pada substrat terjadi panas yang akan mempengaruhi regangan struktur kristal yang terbentuk.

Untuk sampel yang menggunakan waktu deposisi 25 menit selain muncul tiga puncak dengan bidang (100), (002), (101) muncul satu puncak lagi pada sudut $56,23^\circ$ dengan bidang (110). Ketiga puncak untuk sampel yang dideposisi menggunakan waktu 25 menit puncak dengan bidang (100), (002), (101) puncaknya lebih tinggi dan muncul puncak satu lagi dengan bidang (110). Tinggi puncak untuk bidang (100) dan (101) jauh lebih tinggi dari sampel pertama. Peningkatan tinggi puncak ini disebabkan karena dengan bertambahnya waktu deposisi maka pertumbuhan kristalnya lebih tertata rapi [8]

Dengan melihat struktur kristal dari lapisan tipis ZnO yang dihasilkan menggunakan teknik sputtering, menunjukkan struktur kristal lapisan tipis ZnO sebagian besar dengan bidang (002) sesuai dengan lapisan tipis untuk ZnO yang digunakan untuk lapisan tipis sel surya CIS. Demikian juga untuk resistansi lapisan tipis dengan nilai $19 \text{ k}\Omega$ mempunyai tipe konduksi N, transmitansi

Deposisi Lapisan Tipis ZnO Sebagai Lapisan Tipis Tipe N dan Jendela Sel Surya CuInSe₂ (Yunanto)

dari 71 % sampai dengan 99,3 % pada panjang gelombang dari 400 nm sampai 900 nm [6]

KESIMPULAN

Dari hasil percobaan deposisi lapisan tipis ZnO dan pengukuran serta pengamatan yang dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan :

1. Dapat dibuat lapisan tipis ZnO pada substrat kaca dengan tipe N menggunakan teknik *sputtering*
2. Resistansi terendah yang dihasilkan 19 k Ω yang diperoleh pada parameter waktu deposisi 25 menit, tekanan gas Ar 10⁻¹ mbar dan daya RF 195 watt.
3. Transmittansi tertinggi yang dihasilkan 99,3 % yang diperoleh pada parameter waktu deposisi 30 menit, tekanan 1.10⁻¹ mbar dan daya RF 195 watt.
4. Dapat terbentuk lapisan tipis ZnO dengan struktur poli kristal ZnO dengan bidang (100), (002) dan (101).

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih pada Sdr. Giri Slamet dan Sdri Reni Dwi Susanti yang telah membantu dalam penelitian ini.

DAFTARACUAN

- [1]. JONG WON LIM, JAE JOON CHOI, IN HWAN CHOI, *Journal of the Korean Physical Society*, **30** (2) (1997)
- [2]. K. TAKAHASHI, M. KONAGAI, *Amorphous Silicon Solar Cells*, North Oxford Academic, Tokyo, (1986)
- [3]. A. STROHM, L. LEISENMANN, R. K. GEBHARDT, A. HARDING, T. TSCHOLTZER, *ZnO/InS/CuIn(Ga)Se₂ Solarcells Fabricated by Coherent Heterojunction Formation*, Elsevier, (2004)
- [4]. YUNANTO, TRIMARDJIATMONO, WIRJOADI, *Deposisi Lapisan Tipis Dua Lapis ZnO dan Al untuk Membuat Sambungan P-N dengan Teknik Sputtering*, *Prosiding PPI P3TM Batan, Yogyakarta*, (2001)
- [5]. KIYOTAKA WASA, SHIGERU HAYAKAWA, *Handbook of Sputtering Deposition Technology*, Noyes Publications, Park Ridge, (1991)
- [6]. F. ENGLEHARDT, M. SCHMIDT, TH. MEYER, O. SEIFERT, J. PARISI, U. RAU, *Metastable Transport in CuInSe₂ Thin Film and ZnO/CdS/CuInSe₂ Heterostructures*, *Physics letters*, Elsevier, Stuttgart, (1998)
- [7]. M. N. KAMALASANAN, SUBHAS CHANDRA, *Sol Gel Synthesis of ZnO Thin Film*, *Thin Film Solid*, Elsevier, New Delhi, (1996)
- [8]. WELSON WENAS, AKITA YAMADA, KIYOSHI TAKAHASHI, *J. Appl Phys*, (1991)