

Pembuatan Sel Surya Film Tipis dengan DC Magnetron Sputtering

Desty Anggita Tunggadewi¹, Fitria Hidayanti¹

¹Program Studi Teknik Fisika, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Nasional

Korespondensi: dtunggadewi@yahoo.co.id

ABSTRAK. Divais photovoltaic, atau yang umum disebut modul sel surya, menggunakan material semikonduktor untuk mengubah cahaya matahari secara langsung menjadi listrik. Semakin meningkatnya permintaan akan sumber energi terbarukan, maka pembuatan sel surya menjadi sangat penting. Pembuatan sel surya dengan DC Magnetron Sputtering mampu menghasilkan performansi yang bagus. Lapisan tipis sel surya dibuat dari sambungan p-n silikon dengan kombinasi multilayer Ag / SiB / SiP dan dideposisi oleh DC Magnetron Sputtering secara bertahap. Deposisi layer SiB dan SiP dengan memperhatikan parameter tekanan chamber sebesar 6×10^{-8} mbar, tekanan gas Argon 2×10^{-2} mbar, dan waktu deposisi SiB and SiP selama 16 menit dan 10 menit. Arus dan tegangan dari lapisan tipis sel surya yang telah difabrikasi, selanjutnya diuji dengan rangkaian seri dan paralel, kemudian dianalisis menggunakan program Logger Pro 3.8. Hasil kurva tampilan program sesuai dengan kurva karakteristik dioda. Efisiensi untuk sel surya tanpa kombinasi rangkaian adalah sebesar 6.02%, dengan rangkaian seri sebesar 11.929% dan 8.737% untuk rangkaian paralel.

Kata kunci: *solar cell, thin film, dc magnetron sputtering, efficiency solar cel.*

PENDAHULUAN

Energi merupakan faktor yang sangat diperlukan untuk pertumbuhan Negara dan pembangunan ekonomi. Persediaan energi fosil yang digunakan untuk energi listrik memiliki cadangan yang terbatas. Ketergantungan Indonesia pada energi fosil membuat produksi minyak bumi dalam negeri menurun drastis sejak tahun 2001. Keadaan ini didorong oleh kebutuhan yang terus naik dan tumbuhnya sektor industri di Indonesia. Ketergantungan energi fosil masih didominasi oleh kebutuhan minyak yang mencapai 41,8 %, batu bara 29% dan gas 23 %. Kebutuhan energi yang besar ini tidak bisa ditopang oleh cadangan energi Indonesia yang semakin menipis. Cadangan minyak di Indonesia hanya cukup untuk 23 tahun lagi, cadangan gas cukup untuk 50 tahun lagi dan cadangan batu bara cukup untuk 80 tahun lagi [1].

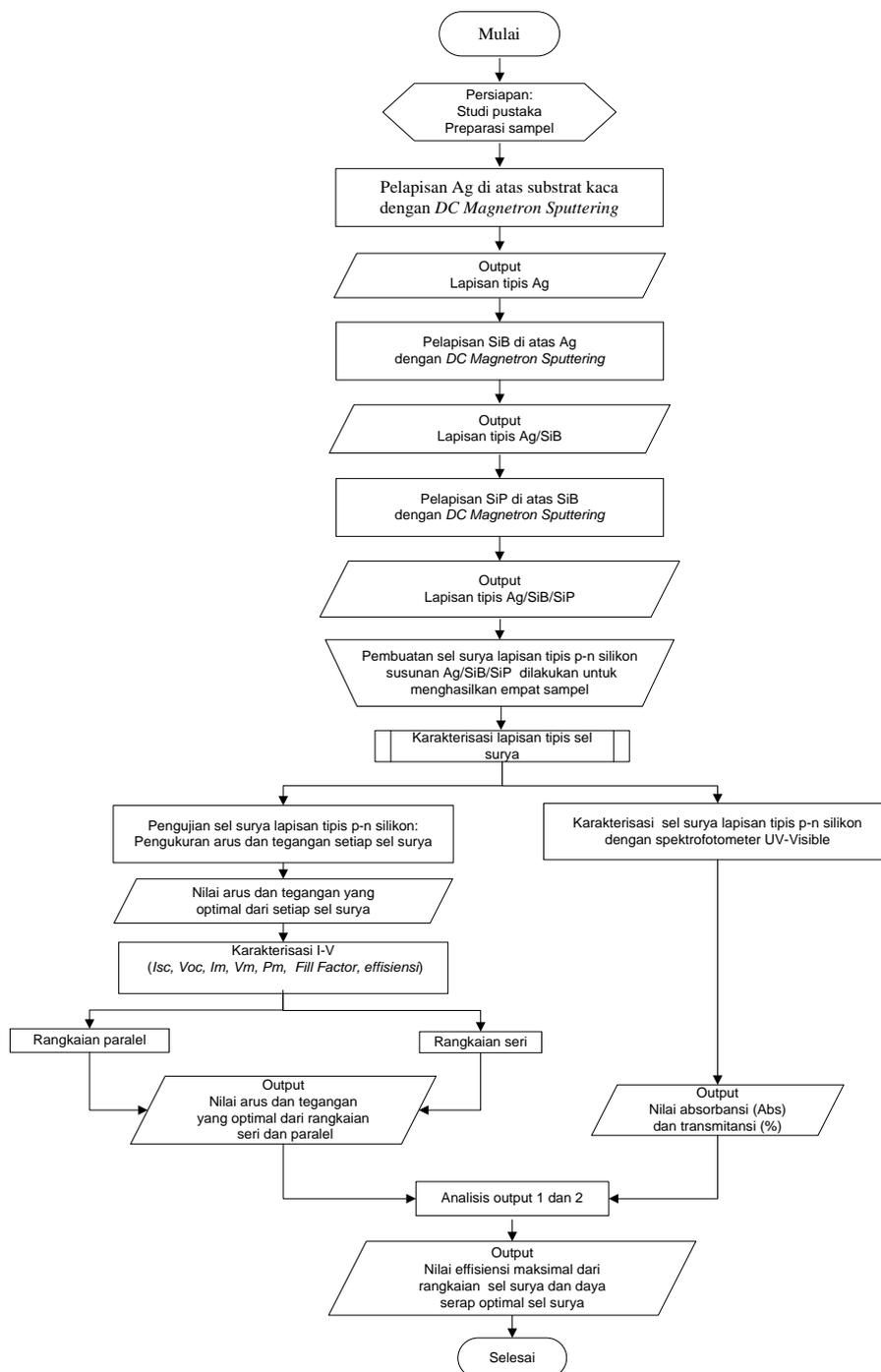
Melihat kondisi di Indonesia dimana kebutuhan listrik semakin meningkat maka perlu dikembangkan potensi energi baru dan terbarukan. Potensi energi terbarukan yang dapat dikembangkan di Indonesia yaitu angin, air terjun, panas bumi, pasang surut air laut (*tidal*), biomassa dan radiasi matahari (*solar*). Pemanfaatan radiasi matahari di Indonesia sangat sesuai karena Indonesia terdiri atas 2 (dua) musim yaitu musim kemarau dan penghujan dimana hampir 9 bulan dalam setahun Indonesia berada dalam musim kemarau. Lama Penyinaran Matahari di Indonesia berkisar antara 5-8 jam perhari.

Pembuatan sel surya sangat memungkinkan dengan adanya peralatan seperti DC Magnetron Sputtering. Instrumen ini digunakan untuk pembuatan lapisan tipis pada substrat kaca. Film tipis yang dihasilkan dari bahan semikonduktor, Silikon yang didop dengan Fosfor dan Boron akan menghasilkan *p-n junction* untuk berfungsi untuk menghasilkan aliran electron dari semikonduktor tipe n menuju hole pada semikonduktor tipe p. aliran electron inilah yang menghasilkan arus listrik [2-4].

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan sel surya menggunakan DC Magnetron Sputtering. Sel surya yang dihasilkan dirangkai secara seri dan paralel untuk meningkatkan arus yang diperoleh. Semakin banyak sel surya yang dihasilkan, arus yang dihasilkan pun akan semakin meningkat [5].

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merancang pembuatan sel surya dengan DC Magnetron Sputtering dan karakterisasi sel surya sesuai dengan diagram alir pada gambar 1.

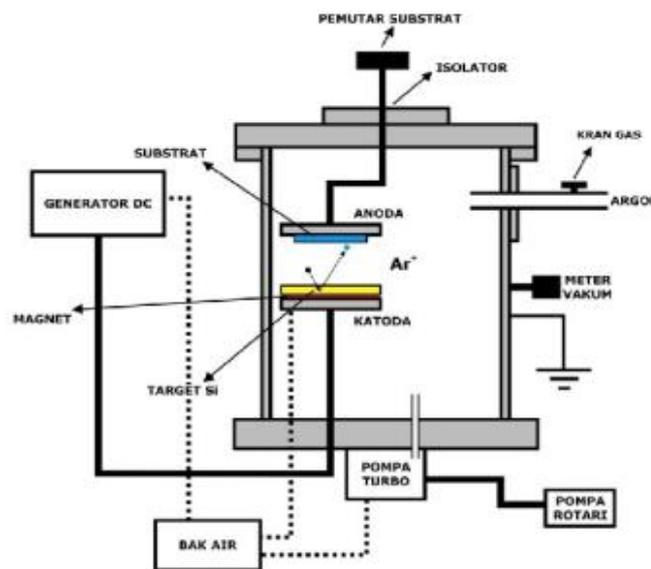


GAMBAR 1. Diagram Alir Penelitian

Sel surya dirangkai secara seri dan paralel untuk meningkatkan arus yang dihasilkan. Dalam penelitian ini, bahan yang digunakan sebagai semikonduktor adalah Silikon (Si) yang didop dengan Fosfor (P) dan Boron (B). Bahan lainnya yaitu Perak (Ag) digunakan sebagai pengumpul (*collector*) sinar matahari. DC Magnetron Sputtering (Gambar 2) digunakan dalam pembuatan film tipis sel surya karena menghasilkan lapisan yang seragam (homogen) [1], [7-9].

DC Magnetron Sputtering merupakan proses deposisi uap plasma atau *Plasma Vapor Deposition* (PVD). Untuk mendapatkan film tipis yang baik diperlukan waktu 10 menit untuk pelapisan Ag dan waktu 16 menit untuk pelapisan SiP dan SiB. Dalam DC Magnetron Sputtering, diperlukan bahan berupa gas Argon. Gas Argon dipilih karena merupakan gas mulia yang tidak bereaksi dengan bahan pelapis dan berfungsi membawa atom bahan pelapis (target) dari katoda menuju anoda. Argon dalam proses ini bermuatan positif. Argon sebagai gas plasma akan dipercepat dengan beda potensial sekitar ratusan hingga ribuan eV dan menumbuk elektroda negatif atau katoda. Akibatnya, atom target akan lepas dari katoda menuju katoda. Deposisi dengan DC magnetron Sputtering menggunakan prinsip medan magnet tertutup untuk mengarahkan atom target bergerak dari katoda menuju anoda. Pada anoda, atom target akan terdeposisi terdeposisi membentuk film tipis sel surya Ag/SiP/SiB [10-11].

Karakterisasi sel surya dilakukan dengan multimeter untuk mendapatkan data arus dan tegangan. Data yang diperoleh kemudian diolah dengan *Software Logger Pro 3.8* untuk mendapatkan nilai efisiensi sel surya. Penelitian ini dilakukan menggunakan DC Magnetron Sputtering di Batan. Data yang diperoleh berupa arus, tegangan, dan efisiensi sel surya.



GAMBAR 2. Skema Teknik DC Magnetron Sputtering

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sel surya lapisan tipis p-n silikon susunan Ag/SiB/ SiP telah dibuat dengan metode DC *Magnetron Sputtering* dengan ketebalan lapisan dalam orde mikro meter. Metode DC *Magnetron Sputtering* merupakan pengembangan dari metode RF *Sputtering*, yaitu dengan penambahan sistem magnet dalam konstruksi target serta menggunakan generator DC. Pemasangan sistem magnet ini menyebabkan medan listrik yang terjadi antara kutub katoda dan anoda semakin besar.

Lapisan tipis yang dibuat merupakan lapisan sambungan semikonduktor tipe-p (SiB) dan semikonduktor tipe-n (SiP) yang dideposisikan di atas substrat kaca berukuran 30 mm x 25 mm. Kualitas hasil deposisi/penumbuhan lapisan tipis ditentukan oleh parameter konsentrasi *doping*, daya generator, tekanan gas *sputter*, kevakuman *chamber* dan waktu deposisi. Pada penelitian ini menggunakan parameter tekanan tanpa gas vakum) 10^{-6} mbar, dengan tingkat vakum tersebut diperoleh hasil deposisi dengan tingkat *impurity* yang rendah. Gas argon dengan tekanan 2×10^{-2} mbar dialirkan ke dalam tabung *sputtering* kemudian terionisasi dan terbentuk plasma. Gas yang terionisasi dipercepat oleh medan listrik serta menghasilkan elektron dan ion-ion positif. Ion-ion positif akan tertarik ke katoda dan menembaki permukaan target dengan energi yang cukup tinggi sehingga atom-atom target terlepas ke

segala arah termasuk ke arah substrat. Adanya medan magnet menyebabkan proses pendeposisian material target lebih optimal karena atom-atom target yang terpental akan terkonsentrasi ke substrat oleh gaya magnet pada katoda. Tegangan yang digunakan dari generator DC adalah 300-700 V dan arus 30-80 mA.

Pengukuran arus dan tegangan keluaran sel surya dilakukan dibawah pencahayaan sinar matahari dengan daya maksimum 480 mW/cm². Hasil pengukuran yang dilakukan selama tiga hari berturut-turut diperoleh nilai arus dan tegangan dari sel surya tunggal seperti ditunjukkan pada tabel 1. Pengukuran sel surya tunggal menghasilkan nilai tegangan maksimum 343 mV untuk sel surya 3, dan nilai tegangan minimum 225 mV untuk sel surya 4. Sedangkan hasil pengukuran arus diperoleh nilai arus maksimum 0,02 µA untuk semua sel surya, dan nilai arus minimum 0,01 µA untuk sel surya 4.

TABEL 1. Hasil Pengukuran Arus dan Tegangan Sel Surya Tunggal

Sel surya	Hari ke-1			Hari ke-2			Hari ke-3		
	Luxmeter (lux)	V(mV)	I(µA)	Luxmeter (lux)	V(mV)	I(µA)	Luxmeter (lux)	V(mV)	I(µA)
1	998	313	0,02	900	228	0,02	900	322	0,02
2	980	322	0,02	900	280	0,02	907	270	0,02
3	1000	326	0,02	1000	343	0,02	996	315	0,02
4	990	315	0,01	912	323	0,02	907	225	0,01

Besarnya arus dan tegangan untuk setiap sel surya berbeda serta mengalami perubahan setiap hari. Faktor penyebabnya antara lain intensitas cahaya yang tidak stabil. Semakin besar intensitas cahaya, arus dan tegangan yang terukur akan semakin besar. Hal ini dikarenakan adanya cahaya (foton) akan membebaskan elektron dan menghasilkan *hole*. *Hole* akan disapu ke lapisan p dan elektron akan di sapu ke lapisan n. Elektron dan *hole* akan bergabung kembali melalui divais di luar material karena adanya *potensial barrier* yang menghalangi *hole* dan elektron berekombinasi melalui sambungan p-n, sehingga besarnya daya (I.V) dapat dihasilkan dari sel di bawah kekuatan pencahayaan. Selain intensitas cahaya terdapat beberapa faktor yaitu, temperatur lingkungan, kondisi lapisan tipis sel surya yang mudah rusak sehingga mempengaruhi kinerja masing-masing sel surya. Arus dan tegangan keluaran dari sel surya yang dirangkai seri dan paralel diukur menggunakan multimeter dengan hasil pengukuran ditunjukkan pada tabel 2 dan tabel 3.

TABEL 2 Hasil Pengukuran Tegangan Sel Surya Rangkaian Seri

Hari ke	Rangkaian Seri		
	Luxmeter (lux)	V(mV)	I(µA)
1	1011	1272	0,02
2	980	1100	0,02
3	968	1112	0,02

TABEL 3 Hasil Pengukuran Tegangan Sel Surya Rangkaian Paralel

Hari ke	Rangkaian Paralel		
	Luxmeter (lux)	V(mV)	I(µA)
1	1011	1272	0,02
2	980	1100	0,02
3	968	1112	0,02

Hasil pengukuran tegangan sel surya yang dirangkai secara seri diperoleh nilai maksimum 1272 mV untuk hari pertama dan nilai minimum 1100 mV untuk hari kedua, sedangkan nilai arus maksimum 0,02 µA. Hasil pengukuran tegangan sel surya yang dirangkai secara paralel diperoleh nilai maksimum 322 mV untuk hari kedua dan nilai tegangan minimum 313 mV untuk hari pertama, sedangkan nilai arus maksimum 0.08 µA untuk hari kedua dan nilai arus minimum 0,07 µA untuk hari pertama dan ketiga.

Hasil pengukuran arus dan tegangan sel surya baik dirangkai seri atau paralel kurang optimal. Hal ini disebabkan faktor sambungan antara sel surya yang belum *portable* sehingga menyebabkan kerusakan saat dirangkai. Selain faktor tersebut, terdapat penyebab lain yaitu intensitas cahaya yang kurang optimal saat pengambilan data. Intensitas cahaya matahari maksimal yang terukur adalah 1011 lux. Semakin besar intensitas matahari semakin besar arus yang dihasilkan. Cahaya (foton) yang mempunyai energi lebih besar dari *energi gap* akan mengeksitasi elektron-elektron dari pita valensi ke pita konduksi sehingga akan menghasilkan pasangan elektron dan *hole* yang lebih banyak dan menghasilkan arus yang lebih besar.

Temperatur berpengaruh terhadap nilai arus dan tegangan yang dihasilkan sel surya. Semakin tinggi temperatur sel surya, daya yang dihasilkan akan semakin rendah. Meningkatnya temperatur sel surya menjadikan lapisan bertambah panas, sehingga elektron dan hole mempunyai energi thermal yang lebih besar dan berlawanan dengan arus dioda yang dibangkitkan dari pencahayaan. Nilai temperatur lingkungan yang terukur saat pengambilan data adalah 26°C. Selain faktor-faktor di atas terdapat faktor yang lain, diantaranya homogenitas lapisan yang berbeda akan mempengaruhi kinerja masing-masing sel surya, rentang waktu setelah pendeposisian sampai pengukuran arus dan tegangan yang cukup lama memungkinkan lapisan tipis bereaksi dengan lingkungan dan menurunkan stabilitas sel surya. Stabilitas sel surya yang kurang baik dapat disebabkan oleh reaksi kimia dengan lingkungan terutama O₂ dan uap air.

KESIMPULAN

Kurva karakteristik arus dan tegangan (I-V) sel surya lapisan tipis p-n silikon yang dihubungkan secara seri dan paralel menyerupai kurva karakteristik dioda yaitu berbentuk eksponensial. Besarnya arus dan tegangan maksimum dari sel surya yang dihubungkan secara seri adalah 0,02 μ A dan 1271 mV dan untuk sel surya yang dihubungkan secara paralel 0,08 μ A dan 322 mV.

Nilai Efisiensi dari sel surya pada intensitas matahari maksimum baik dirangkai seri dan paralel mengalami peningkatan dari efisiensi sel surya tunggal. Efisiensi sel surya tunggal adalah (6,02 \pm 0,27) %, nilai efisiensi sel surya yang dirangkai secara seri adalah (11,929 \pm 0,480) % dan untuk sel surya yang dirangkai secara paralel adalah (8,737 \pm 0,026) %.

REFERENSI

- [1] B. Grew, et. al., *Energy Procedia: Advanced Materials and Characterization Techniques for Solar Cells II* **60**, 14-155 (2014).
- [2] Arakelova, E. R., et al. *Journal of Contemporary Physics (Armenian Academy of Sciences)* **46**, 293-299 (2011).
- [3] Breitenstein, O., *Opto-Electronics Review* **21**, 259-282 (2013).
- [4] He, YangYang, et al. *Science China Physics, Mechanics and Astronomy* **55**, 2070-2075 (2012).
- [5] Liu, Jing, et al. *Applied Physics A* **114**, 1175-1179 (2014).
- [6] Mintairov, M. A., et al. *Semiconductors* **48**, 653-658 (2014).
- [7] Pandian, Ramanathaswamy, et al., *Applied Physics A* **116**, 1905-1913 (2014).
- [8] Song, Sang-Woo, et al., *Journal of the Korean Physical Society* **65**, 308-311 (2014).
- [9] Andreev, V. M. "Application Of III–V Compounds In Solar Cells." *Photovoltaic and Photoactive Materials—Properties, Technology and Applications*. Springer Netherlands, 131-156 (2002).
- [10] Jacobi, Karl. *of Book: Handbook of Thin Film Process Technology*. Institute of Physics Publishing, (2001).
- [11] Szyszka, B. "Magneton sputtering of ZnO films." *Transparent Conductive Zinc Oxide*. Springer Berlin Heidelberg, 187-233 (2008).