

**SIMULASI PENENTUAN DAYA RF OPTIMUM DALAM PROSES FABRIKASI SEL  
SURYA BERBASIS SILIKON AMORF TERHIDROGENASI**

Endhah Purwandari<sup>1,2</sup>, Toto Winata<sup>1</sup>

<sup>1)</sup> Laboratorium Fisika Material dan Elektronika Departemen Fisika ITB,

<sup>2)</sup> Staf Pengajar Jurusan Fisika FMIPA Universitas Jember,

<sup>1)</sup>endhahfisika@gmail.com

**Abstrak** Penumbuhan lapisan tipis silikon amorf terhidrogenasi (a:Si-H) dengan menggunakan teknik HWC-VHF-PECVD telah dikembangkan pada variasi daya RF 6-12,5 watt. Simulasi terhadap parameter deposisi dari lapisan tipis a:Si-H diharapkan dapat meminimalisir tahapan optimasi pada proses fabrikasi. Dengan memanfaatkan data celah pita energi dari lapisan tipis, solusi dari Persamaan Poisson dan Persamaan Kontinuitas termodifikasi dapat menggambarkan distribusi dari konsentrasi pembawa muatan, baik itu hole maupun elektron. Berdasarkan solusi tersebut, distribusi rapat arus pada variasi tegangan simulasi diperoleh. Karakteristik arus-tegangan ini selanjutnya digunakan untuk menentukan nilai efisiensi konversi dari sel surya. Hasil simulasi menunjukkan bahwa efisiensi sel surya tertinggi berbasis lapisan tipis a:Si-H adalah sebesar 9,32%, yang diperoleh pada deposisi menggunakan daya RF 11,5 watt. Perubahan struktur amorf menjadi mikrokristal diduga terjadi pada deposisi lapisan tipis menggunakan daya minimal 12 watt dengan efisiensi sebesar 14%.

**Kata kunci:** simulasi, lapisan tipis, silikon amorf terhidrogenasi, efisiensi sel surya, daya RF, optimasi.

## PENDAHULUAN

Nilai *optical bandgap* dari sebuah material semikonduktor, menunjukkan respon dari material terhadap rentang spektrum gelombang elektromagnetik dalam membangkitkan efek *photovoltaic* di dalam material tersebut [1]. Sifat ini dapat digunakan untuk menilai kelayakan sebuah material berbasis semikonduktor untuk diaplikasikan sebagai divais sel surya [2]. Dengan nilai *optical bandgap* sebesar 2.36 eV, material a-SiC:H dikenal baik saat diaplikasikan sebagai lapisan jendela dalam divais sel surya [3]. Takahashi dan Konagai menyebutkan bahwa nilai *optical band gap* yang cukup lebar di dalam bahan semikonduktor tipe p dalam divais tersebut dapat melewati lebih banyak cahaya datang menuju lapisan berikutnya (lapisan-i) yang berfungsi sebagai pembangkit *photovoltaic* berbasis pada *photogeneration* [2]. Pada hasil penelitian sebelumnya, diperoleh bahwasanya simulasi efisiensi sel surya berbasis material silikon amorf terhidrogenasi (a-Si:H) didapatkan dengan meninjau faktor *optical band gap (energy gap)* dari material yang digunakan. Hasil simulasi menunjukkan bahwasanya penurunan nilai *optical bandgap* pada sebuah material dapat meningkatkan efisiensi dari divais sel surya [4], bersesuaian dengan hasil simulasi Kabir yang memanfaatkan program AMPS 1 dimensi dalam menggambarkan karakteristik sel surya berbasis a-SiC:H ditinjau dari parameter *optical bandgap* [5]. Sebuah aplikasi yang telah dilakukan berbasis pada penelitian tersebut

adalah melakukan optimasi terhadap tekanan deposisi dari material a-Si:H, sehingga diperoleh bahwasanya efisiensi tertinggi sebesar 9.88% didapat pada tekanan deposisi 500 mTorr [4].

Di dalam teknik deposisi material berbasis material a-Si:H menggunakan metode HWC-VHF-PECVD, faktor daya RF yang digunakan dalam menentukan besar medan listrik dari elektroda memegang peranan penting terhadap laju deposisi dari material yang ditumbuhkan [6]. Amanatides dkk. menyebutkan bahwa laju deposisi meningkat pada daya rf yang lebih tinggi [7]. Dalam hal ini, daya rf berperan dalam mempercepat pergerakan elektron untuk menumbuk molekul-molekul gas menjadi spesies-spesies reaktif [6].

Oleh karena menjadi faktor yang sangat berperan di dalam proses deposisi sebuah material, maka optimasi terhadap parameter daya RF perlu dilakukan. Hal ini bertujuan agar dapat memperoleh sebuah material yang dapat diaplikasikan sebagai divais sel surya dengan efisiensi yang baik. Di dalam penelitian ini, akan dipaparkan sebuah simulasi penentuan daya RF optimum pada proses fabrikasi sel surya berbasis material a-Si:H dengan menggunakan bantuan software Femlab, yang dikenal fleksibel untuk digunakan dalam menyelesaikan berbagai permasalahan differensial terapan dengan struktur geometri yang cukup rumit [6].

#### **METODE PENELITIAN**

Kegiatan optimasi daya RF didasarkan pada penentuan efisiensi tertinggi yang diperoleh dari hasil simulasi efisiensi sel surya tipe p-i-n berbasis material a-Si:H yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya [4]. Tahapan dari mekanisme simulasi diawali dengan memodifikasi persamaan dasar transport pembawa muatan dari bahan semikonduktor. Dalam hal ini, Persamaan Poisson dan Persamaan Kontinuitas dituliskan dalam bentuk fungsi parameter *energy gap* [6]. Adapun nilai *energy gap* yang digunakan diambil berdasarkan interpolasi data *optical bandgap/energy gap* material a-Si:H pada variasi daya RF dari 6-12.5 watt, yang ditumbuhkan dengan metode HWC-CHF-PECVD [6].

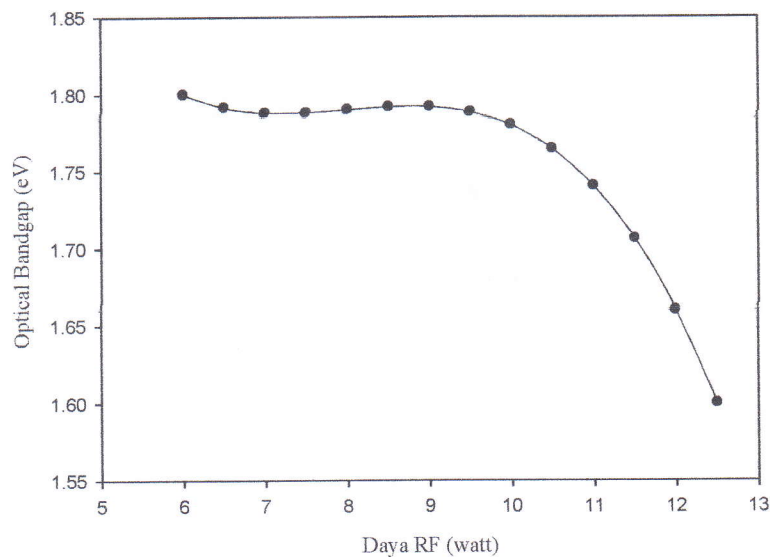
Struktur divais sel surya tipe p-i-n berbasis a-Si:H dimodelkan dalam bentuk 1 dimensi. Lapisan-p diambil dari bahan a-SiC:H dengan ketebalan 0.0150  $\mu\text{m}$  [6] dan *energy gap* sebesar 2.36 eV [8]. Lapisan-i merupakan lapisan intrinsik berbahan a-Si:H dengan ketebalan 0.5500  $\mu\text{m}$  dan nilai *energy gap* yang divariasikan pada rentang 1.7-1.6 eV bersesuaian dengan data *optical band gap* dari eksperimen Usman [6]. Lapisan-n disimulasikan berbasis pada bahan a-Si:H, dengan ketebalan 0.0300  $\mu\text{m}$  [6] dan *energy gap* 1.7 eV [2].

Sesuai dengan penelitian sebelumnya, penetapan syarat batas terkait dengan besar potensial bahan, untuk daerah persambungan divais dengan rangkaian eksternal ditentukan dengan mengasumsikan tingkat energi Fermi divais sama dengan tegangan luar yang terukur  $V_A$  ditambah perbedaan energi antara tingkat energi Fermi dengan tingkat energi dari potensial elektrostatik bahan [6]. Adapun perbedaan energi yang terjadi dihitung melalui persamaan logaritmik dari konsentrasi dopan [9]. Untuk daerah permukaan yang tidak bersinggungan dengan persambungan luar, didefinisikan syarat batas Neumann [6].

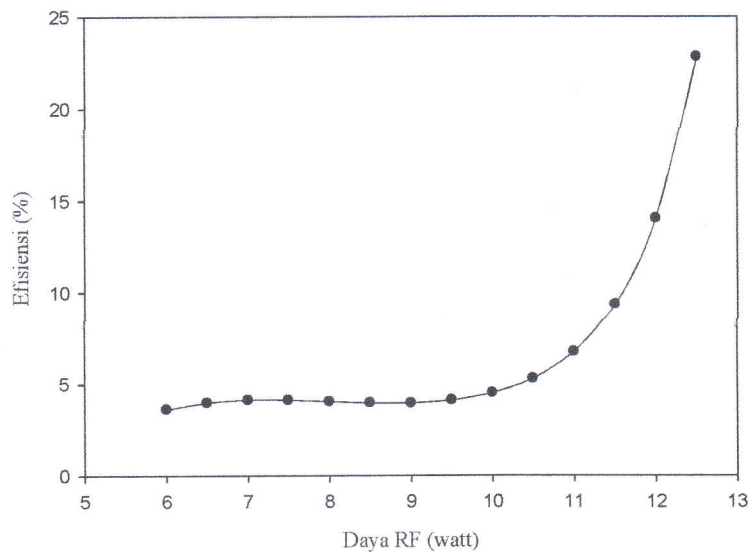
Adapun parameter input yang diberikan merujuk pada hasil penelitian Purwandari, E [4] dengan mengubah variasi nilai *optical band gap* yang ditentukan berdasarkan interpolasi data eksperimen Usman [6] pada range 1.6–1.7 eV. Solusi dari kedua persamaan dasar semikonduktor termodifikasi, dihitung menggunakan pendekatan metode elemen hingga. Solusi ini berbentuk *distribusi pembawa muatan*, baik *hole* maupun *elektron*, yang dihitung untuk setiap nilai *energy gap* pada variasi tegangan  $V_A$  dari 0-0.5 volt. Dengan demikian, diperoleh besar rapat arus dari divais, sehingga didapatkan efisiensi konversi energi dari divais sel surya berbasis bahan a-Si:H.

#### HASIL DAN PEMBAHASAN

Data eksperimen nilai *optical band gap* hasil interpolasi matematis ditunjukkan pada Gambar 1, sebagai sebuah fungsi bervariasi daya RF. Adapun nilai efisiensi berbasis data *optical bandgap*, sebagai fungsi dari daya RF ditunjukkan pada grafik dalam Gambar 2.



Gambar 1 Grafik hubungan nilai *optical bandgap* hasil interpolasi sebagai fungsi dari daya RF



**Gambar 2** Grafik hubungan nilai efisiensi sebagai fungsi dari daya RF

Berdasarkan kedua grafik tersebut, nampak hubungan keterbalikan antara nilai *optical bandgap* dengan efisiensi hasil perhitungan dalam simulasi. Nilai optimum diperoleh pada data 11.5 watt dengan efisiensi tertinggi sebesar 9.32%, pada nilai *optical bandgap* sebesar 1.7 eV. Adapun efisiensi di atas 10% seperti pada data dari variabel daya RF 12 dan 12.5 watt menunjukkan nilai yang tidak bersesuaian dengan struktur dari silikon amorf. Perubahan struktur amorf menjadi mikrokristal diduga terjadi pada deposisi lapisan tipis menggunakan daya di atas 12 watt.

#### KESIMPULAN DAN SARAN

Optimasi daya RF didasarkan pada penentuan efisiensi tertinggi yang diperoleh dari hasil simulasi efisiensi sel surya tipe p-i-n berbasis material a-Si:H. Dalam hal ini, data *optical bandgap*, yang diperoleh dari interpolasi data eksperimen fabrikasi sel surya berbasis material a-Si:H, menjadi parameter input yang divariasikan berdasarkan data variabel daya RF. Adapun nilai optimum dari parameter deposisi daya RF diperoleh pada data 11.5 watt dengan efisiensi sebesar 9.32 %. Tinjauan terhadap parameter konduktivitas kelistrikan bahan dalam simulasi perhitungan efisiensi dari sel surya perlu dilakukan sebagai sebuah faktor yang berpengaruh besar terhadap kinerja sel surya

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Purwandari, E. (2011), The Study Of Deposition Parameters Optimization On The Simulation Of A-Si:H Solar Cells Efficiency By Investigating The Effect Of Optical Bandgap, Tesis, ITB, Bandung.
- [2] Takahashi, K. and Konagai, M. (1986), Amorphous Silicon Solar Cells, North Oxford Academic Pub. Ltd., London.
- [3] Chattopadhyay, S., Das, D., Barua, A.K., Williamson, D.L., dan Kshirsagar, S.T. (1998), Optoelectronic and Structural Properties of Good Quality Amorphous Silicon Carbide Films Deposited by Hot Wire Assisted RF Plasma Deposition Technique, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **37**, 5480-5484.
- [4] Purwandari, E. dan Winata, T. (2012), Optimasi Tekanan Deposisi dalam Simulasi Efisiensi Sel Surya Berbasis Material a-Si:H, *Jurnal Gradien Vol.8(1)*, 716-721.
- [5] Kabir, M.I., Nowshad Amin, Zaharim, A., Sopian, K. (2009), *Effect of Energy Bandgap of the Amorphous Silicon-Carbide (a-SiC:H) Layers On A Si-Multijunction Solar Cells from Numerical Analysis*, Proc.8<sup>th</sup> WSEAS Int. Conf. on NON-LINEAR ANALYSIS, NON-LINEAR SYSTEMS & CHAOS.
- [6] Usman, I. (2006), Penumbuhan Lapisan Tipis Silikon Amorf Terhidrogenasi Dengan Teknik HWC-VHF-PECVD dan Aplikasinya Pada Sel Surya, Disertasi, ITB, Bandung.
- [7] Amanatides, E., Stamou, S., dan Mataras, D. (2001): Gas Phase and Surface Kinetics in Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition of Microcrystalline Silicon: The Combined Effect of rf Power and Hydrogen Dilution, *J. Appl. Phys.*, **90(11)**, 5786-5798.
- [8] Persson, C.U., & Lindefelt. (1997), Dependence of Energy Gaps and Effectively Masses on Atomic Positions in Hexagonal SiC, *J. Apply. Phys.* **86**, 11, 5036-5039.
- [9] Danielsson, E. (2000), *FEMLAB Model Library for Semiconductor Device Model*, The Royal Institute of Institute, Stockholm.