

## Analisis Perhitungan Efisiensi Sel Surya Berbasis A-Si:H dalam Penentuan Temperatur Filamen Optimum Bahan

### *Efficiency Calculation Analysis of A-Si:H Solar Cells for Determination of Optimum Filament Temperature in Material Deposition*

Endhah Purwandari<sup>1,2\*)</sup> dan 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

\*Email: endhahfisika@yahoo.co.id

#### Abstract

Solar cell efficiency as a function of the energy gap has been simulated by calculating the output current characteristics of the devices based on the distribution of charge carriers, obtained from the solution of the Poisson equation and the Continuity equation. The hydrogenated amorphous silicon (a-Si:H) based solar cell, has simulated in the form of one-dimensional single junction p/i/n. The junction structure of a-SiC:H/a-Si:H/a-Si:H designed have the thickness of 0,015  $\mu\text{m}$ /0,550  $\mu\text{m}$ /0,030  $\mu\text{m}$ , respectively. For simulation, the energy gap has considered constant in the p and n layers, whereas the i layer varies according to the empirical data of energy gap obtained from the deposition parameters of filament temperature. Simulations performed using the finite element method supported by FEMLAB software. Based on simulation results, obtained the highest efficiency of 9.35% corresponds to the lowest energy gap data of 1.706 eV for layer i. This appropriates to the filament temperature of 800°C and subsequently used as the optimum deposition parameters of the material.

Keyword: Energy gap, efficiency, FEM, solar cell, hydrogenated amorphous silicon

#### PENDAHULUAN

Penggambaran kinerja sel surya, pada umumnya ditekankan pada karakteristik dari arus keluaran yang dihasilkan. Secara teoritis, tidak mudah memprediksi karakteristik dari kinerja sebuah bahan mengingat kompleksitas sifat-sifat material penyusunnya. Hal ini menyebabkan pemodelan terhadap karakteristik sebuah divais banyak mengabaikan beberapa parameter pada saat mengkaji sebuah bagian dari bahan. Christoffel dkk. (2002) telah meninjau pengaruh ukuran butir kristal terhadap kinerja sel surya melalui pemodelan terhadap sel surya berbasis lapisan tipis silikon polikristal. Munculnya *inefficiency* dari sel surya akibat temperatur operasional telah dikaji secara teoretis melalui pemodelan terhadap *triple junction* berbasis InGaP/GaAs/Ge (Sanders, 2007). Dalam struktur 1 dimensi, Usman (2006) telah mensimulasikan distribusi pembawa muatan di bawah variasi energi gap lapisan i dari sel surya berbasis silikon amorf terhidrogenasi (a-Si:H) persambungan tunggal p-i-n.

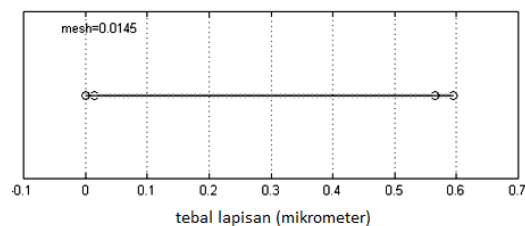
Nilai energi gap yang dimiliki oleh sebuah bahan semikonduktor merupakan salah satu parameter yang menentukan sifat kelistrikan dari bahan. Karakteristik ini telah digunakan untuk mensimulasikan efisiensi dari bahan silikon amorf yang diaplikasikan sebagai sel surya. Kabir dkk. (2009) dalam simulasinya mendapatkan energi gap optimum dari lapisan p, yang dapat menghasilkan efisiensi tertinggi pada sel surya persambungan tunggal, ganda dan lapis tiga dari struktur p-i-n sel surya berbasis amorf silikon terhidrogenasi. Perhitungan efisiensi sel surya sebagai fungsi dari energi gap pada bahan yang sama, telah disimulasikan dengan membuat model yang menghubungkan tekanan deposisi bahan dengan energi gap yang dihasilkan (Purwandari & Winata, 2012). Dalam hal ini, hasil simulasi dapat digunakan untuk menentukan tekanan deposisi optimum berdasarkan efisiensi tertinggi yang diperoleh dari hasil perhitungan.

Salah satu parameter yang menentukan dalam proses deposisi bahan silikon amorf, menggunakan teknik VHF-PECVD yang dikembangkan dengan menambahkan *hot wire cell*, adalah temperatur dari filamen pemanas.

Berangkat dari kegiatan optimasi yang telah dilakukan terhadap tekanan deposisi dari *chamber* (Purwandari & Winata, 2012), dalam teknik penumbuhan berbasis HWC-VHF-PECVD, metode simulasi dapat diterapkan untuk menentukan temperatur filamen optimum berbasis data energi gap yang bersesuaian dengan data temperatur filamen. Di dalam artikel ini, akan dideskripsikan hasil kegiatan simulasi perhitungan efisiensi divais sel surya berbasis silikon amorf terhidrogenasi. Hasil perhitungan selanjutnya dapat digunakan untuk menentukan temperatur filamen pemanas optimum dari sistem pada teknik penumbuhan berbasis HWC-VHF-PECVD.

## METODE

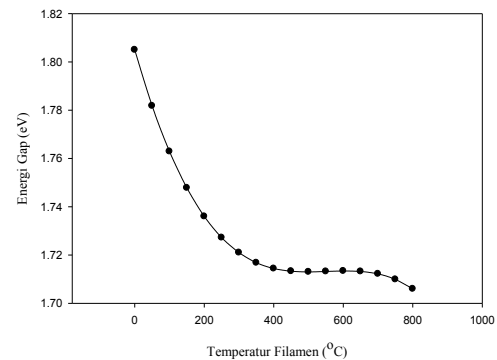
Divais sel surya dimodelkan sebagai persambungan tunggal p/i/n dalam bentuk 1 dimensi. Struktur penyusun lapisan p/i/n adalah bahan semikonduktor berbasis a-SiC:H/a-Si:H/a-Si:H dengan ketebalan masing-masing adalah 0,015  $\mu\text{m}$ /0,550  $\mu\text{m}$ /0,030  $\mu\text{m}$  (Purwandari & Winata, 2012), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Adapun nilai energi gap yang disimulasikan untuk lapisan p adalah 2,36 eV (Persson & Lindefelt, 1997) dan lapisan n adalah 1,7 eV (Takahashi & Konagai, 1986). Sedangkan variasi energi gap pada lapisan i berada dalam rentang 1,70 eV–1,81 eV.



Gambar 1. Geometri 1 dimensi dari divais sel surya dalam bentuk persambungan tunggal p/i/n dengan ketebalan masing-masing adalah 0,015  $\mu\text{m}$ /0,550  $\mu\text{m}$ /0,030  $\mu\text{m}$  (Purwandari & Winata, 2012).

Variasi energi gap pada lapisan i bersesuaian dengan data temperatur filamen dalam proses deposisi bahan pada rentang 0°C–800°C (Usman, 2006). Untuk mempertajam data simulasi, dilakukan tahap interpolasi terhadap data energi gap, sehingga diperoleh rentang

energi gap yang cukup detail seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 2. Data energi gap diperoleh dari data celah pita optik bahan silikon amorf yang ditumbuhkan menggunakan teknik HWC-VHF-PECVD (Usman, 2006).



Gambar 2. Interpolasi data energi gap sebagai fungsi dari temperatur filament.

Model geometri pada Gambar 1 selanjutnya digunakan untuk menghitung distribusi pembawa muatan baik elektron maupun *hole*. Dalam hal ini, distribusi pembawa muatan diperoleh dengan menyelesaikan persamaan dasar semikonduktor. Persamaan tersebut berupa persamaan Poisson dan persamaan Kontinuitas yang termodifikasi akibat memperhitungkan rapat pembawa muatan pada daerah cacat terlokalisasi dan menuliskannya sebagai fungsi dari parameter energi gap (Purwandari & Winata, 2012). Oleh karena silikon amorf memiliki struktur energi *direct transition*, maka energi gap dapat dihitung sebagai selisih antara dua keadaan energi dalam pita energi (energi konduksi dan energi valensi). Adapun faktor fotogenerasi yang dapat membangkitkan adanya fotoelektron, yang memberikan kontribusi terhadap distribusi pembawa muatan, hanya diperhitungkan pada komponen lapisan i. Secara keseluruhan, solusi kedua persamaan semikonduktor tersebut diselesaikan dengan menggunakan pendekatan metode elemen hingga, berbantuan software FEMLAB.

Beberapa parameter input, bersesuaian dengan persamaan semikonduktor yang digunakan, merujuk pada penelitian sebelumnya dengan mengubah rentang energi gap pada daerah lapisan i (Purwandari & Winata, 2012). Oleh karena memiliki 4 daerah persambungan dengan keadaan potensial yang berbeda, maka perhitungan tegangan output divais menggunakan penetapan syarat batas.

Untuk daerah persambungan lapisan p dan n dengan kontak luar, potensial elektrostatik bahan dihitung dari penjumlahan tegangan eksternal dan persamaan logaritmik energi yang bersesuaian dengan perubahan konsentrasi dopan (Usman, 2006). Untuk daerah persambungan lapisan p dan n dengan lapisan i, diasumsikan besarnya arus yang melewati persambungan sama dengan arus yang mengalir pada daerah dekat persambungan (syarat kontinuitas). Adapun syarat batas Neumann diaplikasikan pada daerah permukaan divais yang tidak berhubungan dengan kontak luar (Danielson, 2000).

Dengan menghitung total arus I dari divais pada variasi tegangan V tertentu, maka plot grafik karakteristik I-V akan memberikan informasi tentang nilai rapat arus hubung singkat  $J_{sc}$  dan tegangan rangkaian terbuka  $V_{oc}$ . Adapun efisiensi dari divais dihitung berdasarkan persamaan (1),

$$\text{Efisiensi} = \frac{J_{sc} \cdot V_{oc} \cdot FF}{34 \times 10^{-3}} \cdot 100\% \quad (1)$$

dengan FF (*fill factor*) merupakan faktor pengisi yang ditentukan berdasarkan persamaan (2),

$$FF = \frac{V_m \cdot I_m}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad (2)$$

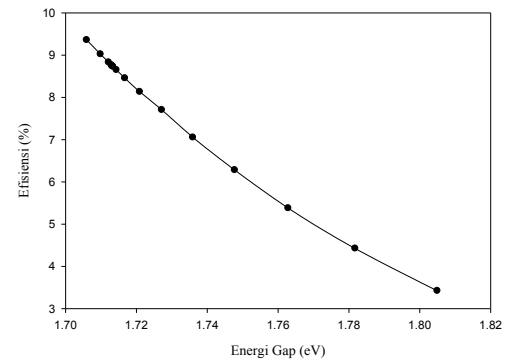
dengan  $V_m$  dan  $I_m$  masing-masing adalah tegangan dan arus yang memberikan titik operasi maksimum (Usman, 2006).

### HASIL dan PEMBAHASAN

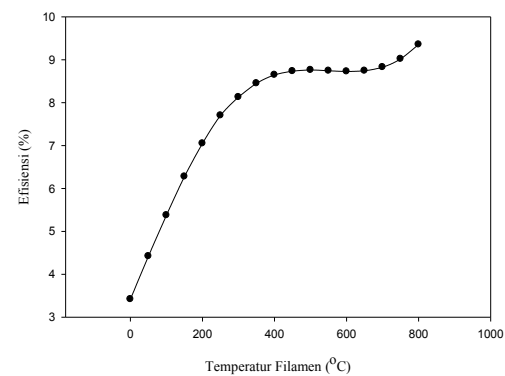
Solusi dari persamaan Poisson dan persamaan Kontinuitas adalah distribusi pembawa muatan *hole* dan elektron, untuk variasi tegangan eksternal simulasi 0 V – 0,5 V dan variasi energi gap pada lapisan i. Berdasarkan solusi tersebut, diperoleh data rapat arus keluaran dari divais yang dihitung pada ujung lapisan p dan lapisan n. Sebagai fungsi dari energi gap, perhitungan efisiensi sel surya ditunjukkan pada Gambar 2.

Seiring dengan adanya kenaikan energi gap dari bahan, efisiensi dari sel surya mengalami penurunan. Hasil simulasi tersebut memiliki kesamaan dengan penelitian sebelumnya (Purwandari & Winata, 2012). Berdasarkan

grafik tersebut, profil kebergantungan efisiensi terhadap temperatur filament dalam proses deposisi dapat dianalisis. Gambar 3 menunjukkan grafik hubungan antara efisiensi dan temperatur filamen.



Gambar 2. Efisiensi sel surya fungsi energi gap



Gambar 3. Grafik perhitungan efisiensi sel surya berbasis a-Si:H sebagai fungsi temperatur filament dalam proses deposisi bahan.

Berdasarkan grafik pada Gambar 3, meningkatnya temperatur dari filamen, pada teknik deposisi menggunakan metode HWC-VHF-PECVD, menyebabkan kenaikan efisiensi dari sel surya pada interval 100°C-400°C dan interval 600°C-800°C. Sementara itu, dalam interval temperatur tersebut, nilai energi gap menurun seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Dari sini dapat diamati bahwasanya kenaikan temperatur filamen, yang mengindikasikan adanya penurunan nilai energi gap (Usman, 2006), dapat meningkatkan efisiensi dari sel surya. Berdasarkan penelitian Usman (2006), penambahan filamen pemanas (Hot Wire Cell) dalam sistem gas masukan VHF-PECVD dimaksudkan untuk mempercepat proses dekomposisi dari gas

sehingga diharapkan dapat meningkatkan laju deposisi dan memperbaiki struktur lapisan dari bahan yang akan ditumbuhkan. Salah satu indikasi yang dapat diperlihatkan dari adanya perbaikan struktur lapisan yang mengarah pada sifat kelistrikan yang baik adalah penurunan nilai energi gap yang dimiliki oleh bahan. Dengan demikian, hasil simulasi bisa dijadikan salah satu metode optimasi dalam proses deposisi bahan, dalam hal ini berkaitan dengan temperatur filamen pemanas dari sistem. Dengan memperhatikan data perhitungan efisiensi pada Gambar 3, temperatur filamen tertinggi yaitu 800°C memberikan efisiensi sel surya terbesar sebesar 9,35%. Nilai ini bersesuaian dengan data energi gap terendah, yang diperoleh pada saat bahan ditumbuhkan pada temperatur filamen pemanas tertinggi, yakni sebesar 1,706 eV.

### KESIMPULAN

Efisiensi sel surya persambungan p-i-n, berbasis bahan amorf silikon terhidrogenasi, untuk setiap variasi data energi gap pada lapisan i dari divais, telah diperoleh dengan memanfaatkan metode pendekatan elemen hingga di dalam menyelesaikan persamaan Poisson dan persamaan Kontinuitas pembawa muatan. Berdasarkan hasil simulasi, penurunan nilai energi gap, yang diperoleh akibat adanya kenaikan temperatur filamen, menunjukkan peningkatan efisiensi dari sel surya. Data perhitungan yang menunjukkan efisiensi sel surya tertinggi sebesar 9,35%, selanjutnya menjadi titik optimum dari penggunaan temperatur filamen, yakni sebesar 800°C. Temperatur optimum yang diperoleh bersesuaian dengan energi gap terendah dari bahan, yakni sebesar 1,706 eV.

### DAFTAR PUSTAKA

- Christoffel E, Rusu M, Zerga A, Bourdais S, Noel S, and Slaoui, A. (2002): Two-Dimensional Modeling of The Fine-grained Polycrystalline Silicon Thin Film Solar Cells, *Thin Solid Film*, **403-403**, 258-262.
- Danielsson, E. 2000. *FEMLAB Model Library for Semiconductor Device Model*, The Royal Institute of Institute, Stockholm.
- Kabir MI, 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*.
- Persson CU., & Lindefelt, 1997. Dependence of Energy Gaps and Effectively Masses on Atomic Positions in Hexagonal SiC, *J.Appl. Phys.* **86**, 11, 5036-5039.
- 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.
- Sanders MH. 2007. *Modeling of Operating Temperature Performance of Triple Junction Solar Cells Using Silvaco's ATLAS*. [Tesis yang tidak dipublikasikan, Naval Postgraduate School ,California] <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a474503.pdf> [25 Juni 2013].
- Takahashi K, and Konagai M. 1986. *Amorphous Silicon Solar Cells*, North Oxford Academic Pub. Ltd., London.
- Usman I. 2006. *Penumbuhan Lapisan Tipis Silikon Amorf Terhidrogenasi Dengan Teknik HWC-VHF-PECVD dan Aplikasinya Pada Sel Surya*, [Disertasi yang tidak dipublikasi, Institut Teknologi Bandung, Bandung].