

ANALISIS EFEK PANJANG GELOMBANG CAHAYA TERHADAP KARAKTERISTIK ARUS-TEGANGAN SEL SURYA MENGGUNAKAN SIMULASI BERBASIS FINITE ELEMENT METHOD

Fitriana¹

¹Teknik Elektro,Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jember
Jln. Karimata No.49 Jember 68121 INDONESIA
Email: fitrifisika10@gmail.com

Abstract—Sunlight is one of the factors that play an important role in the formation of electric current in solar cells. Sunlight is composed from photons with various wavelengths, if the sunlight impact the the solar cell surface, it will be converted into electrical energy by the solar cells. The purpose of this study is simulate the distribution profile of charge carrier concentration and the current-voltage (I-V) characteristics of the diode silicon-based solar cells for some photon's wavelengths that received by the solar cell. The simulation result of charge carrier distribution profile and graphs of current-voltage characteristics are obtained by solving the Poisson and continuity equation using the finite element method. The simulation results show that the changes of the photon's wavelength from 0.5 μm -1.1 μm will change the value of the charge carrier concentration and the characteristics of solar cells. That was known from when the wavelength of the photons getting smaller, the value charge carrier concentration and the current density of short circuit will be increasen.

Keywords— Foton, Karakteristik I-V, Panjang gelombang, Sel surya

Intisari— Cahaya matahari merupakan salah satu faktor yang berperan penting dalam pembentukan arus listrik pada sel surya. Cahaya matahari terdiri atas foton-foton dengan berbagai macam panjang gelombang yang jika menumbuk permukaan sel surya akan dikonversi menjadi energi listrik oleh sel surya tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah membuat simulasi profil distribusi konsentrasi pembawa muatan dan karakteristik arus-tegangan (I-V) dari sel surya berbasis silikon untuk berbagai variasi panjang gelombang foton datang yang diterima oleh sel surya. Hasil simulasi profil distribusi pembawa muatan dan grafik karakteristik arus-tegangan diperoleh dengan menyelesaikan persamaan Poisson dan kontinuitas dengan menggunakan metode elemen hingga. Hasil simulasi menunjukkan bahwa perubahan panjang gelombang foton datang dari 0,5 μm sampai 1,1 μm akan merubah nilai konsentrasi pembawa muatan dan karakteristik arus-tegangan sel surya. Hal ini ditunjukkan dengan adanya penurunan konsentrasi hole dan elektron dan rapat arus hubung singkat saat panjang gelombang cahaya semakin kecil.

Kata Kunci— Foton, Karakteristik I-V, Panjang gelombang, Sel surya.

I. PENDAHULUAN

Sel surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang mengkonversi secara langsung energi matahari menjadi

energi listrik. Jumlah energi matahari yang banyak dan cenderung melimpah di Indonesia yaitu sekitar 4,8 kWh/m²/hari menyebabkan sel surya berpotensi untuk memenuhi kebutuhan energi Indonesia di masa sekarang dan masa yang akan datang [1]. Potensi penggunaan energi matahari sebagai sumber energi terbarukan ini membuat divais sel surya perlu untuk terus dikembangkan. Usaha pengembangan divais sel surya yang perlu dilakukan adalah cara untuk memperoleh sel surya yang memiliki efisiensi yang tinggi, murah dan mudah dalam kegiatan produksi.

Divais sel surya dapat berupa dioda (persambungan p-n) yang terdiri atas semikonduktor tipe-n dan semikonduktor tipe-p. Penelitian mengenai devais sel surya dengan struktur persambungan p-n tersebut telah mengalami perkembangan dari waktu ke waktu untuk mendapatkan divais sel surya yang memiliki efisiensi tinggi serta murah dan mudah dalam pembuatannya. Parameter yang perlu dikaji pada penelitian mengenai sel surya adalah pengaruh sifat fisis cahaya matahari terhadap keluaran sel surya. Hal ini dikarenakan cahaya matahari merupakan sumber energi agar terbentuk arus pada suatu sel surya.

Berdasarkan hasil simulasi pengaruh panjang gelombang foton datang terhadap laju generasi sel surya berbasis SiGe (silikon-germanium) yang dilakukan oleh Rahayu [2], peningkatan panjang gelombang foton datang dari (400-800) nm akan meningkatkan laju generasi sel surya dan laju generasi menurun ketika panjang gelombangnya lebih dari 800 nm. Namun, pada penelitiannya tersebut belum ada kajian bagaimana pengaruh panjang gelombang gelombang foton tersebut terhadap kinerja sel surya.

Pada penelitian ini, akan dilakukan simulasi karakteristik arus-tegangan (I-V) sel surya silikon dengan memvariasikan panjang gelombang cahaya yang diterima oleh sel surya tersebut dengan menggunakan metode elemen hingga (finite element method). Pertimbangan penggunaan metode elemen hingga (MEH) pada penelitian ini adalah MEH dapat dengan mudah menyelesaikan persamaan matematis yang mengandung diferensial parsial yang banyak ditemukan pada persamaan sel surya. Geometri sel surya dan metode elemen hingga yang digunakan pada penelitian kali ini merujuk pada kegiatan simulasi yang dilakukan oleh Daniellson [3]. Geometri dan metode yang serupa juga pernah dilakukan oleh Kurniawan untuk meneliti pengaruh temperatur operasional terhadap karakteristik arus-tegangan dioda Si melalui suatu kegiatan

simulasi [4]. Kegiatan simulasi yang dilakukan oleh Daniellson dan Kurniawan tersebut tidak memperhitungkan rapat fluks foton sedangkan pada penelitian ini rapat fluks foton akan diperhitungkan.

II. STUDI PUSTAKA

Radiasi matahari dapat dikonversi menjadi energi listrik dengan menggunakan sel *photovoltaic*. Alat yang digunakan untuk mengkonversi energi cahaya menjadi energi listrik disebut dengan sel surya. Bahan utama dalam pembuatan sel surya berupa bahan semikonduktor. Saat cahaya matahari mengenai sel surya, maka cahaya tersebut akan diserap atau dipantulkan. Energi dari cahaya yang diserap inilah yang dapat melepaskan elektron dari ikatan atomnya sehingga elektron akan terlepas dan menjadi elektron bebas sehingga timbul arus listrik. Suatu bahan semikonduktor diharapkan dapat menyerap seluruh radiasi sinar matahari agar efisiensinya semakin besar. Agar sel surya dapat menyerap sinar matahari yang bermacam-macam panjang gelombangnya maka sel surya harus terbuat dari bahan yang memiliki *bandgap* dengan range yang lebar [5].

Divais sel surya dapat berupa dioda yang terdiri atas lapisan tipe-n dan lapisan tipe-p yang terbuat dari bahan semikonduktor. Saat bahan semikonduktor tersebut mendapat tambahan energi dari luar (misalnya cahaya) sehingga temperaturnya naik, akan timbul energi termal yang memutuskan ikatan kovalen tersebut. Terputusnya ikatan kovalen akan menambah jumlah elektron bebas yang berperan dalam pembentukan arus listrik [6].

Cahaya terdiri atas partikel-partikel kecil yang disebut foton dan foton ini mempunyai sifat materi dan gelombang. Banyaknya foton yang menumbuk permukaan depan sel surya per cm² per detik disebut dengan rapat fluks foton (*F*) [7]. Rapat fluks foton yang diterima sel surya bergantung pada panjang gelombang fotonnya (λ) dan ditentukan dengan persamaan (1) dan (2) berikut:

untuk panjang gelombang $0,24 \mu\text{m} \leq \lambda \leq 0,4 \mu\text{m}$

$$F = C (19,7\lambda - 4,7) \times 10^{15} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1} \tag{1}$$

untuk panjang gelombang $\lambda \geq 0,48 \mu\text{m}$

$$F = C (-2,5\lambda + 5,7) \times 10^{15} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1} \tag{2}$$

C merupakan koefisien konsentrasi fluks sinar matahari. Nilai *C*=1 saat kondisi 1 sun [8]. Kondisi 1 sun adalah kondisi saat daya radiasi matahari yang diterima permukaan bumi sebesar 1000 W/m² [9].

Sinar matahari yang mengenai permukaan sel surya yang berupa dioda sambungan p-n akan membangkitkan pasangan elektron-hole. Pasangan elektron-hole ini terbentuk akibat eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi sehingga pada pita valensi akan terbentuk *hole*. Laju pembangkitan elektron-hole ini disebut dengan laju generasi yang dapat ditentukan dengan persamaan (3) berikut :

$$G = \frac{F\alpha}{1-P} (e^{-\alpha y} + P e^{\alpha y}) \tag{3}$$

dimana *G* merupakan laju generasi (cm⁻³s⁻¹), *F* merupakan rapat fluks foton (cm⁻²s⁻¹), *P* merupakan koefisien transmisi cahaya, α merupakan koefisien absorpsi (cm⁻¹) dan *y* merupakan posisi dalam sel surya yang ditentukan dari tepi teratas tipe-p (cm) [10].

Saat elektron pada pita valensi kehilangan energinya, elektron pada pita konduksi akan bergerak ke pita valensi sehingga menghilangkan *hole* pada pita valensi dan elektron pada pita konduksi. Proses penghilangan pasangan elektron-hole ini disebut dengan rekombinasi. Laju rekombinasi (*R*) bergantung pada jumlah pembawa muatan pada bahan semikonduktor. Pada bahan sel surya yang terbuat dari semikonduktor dengan transisi tidak langsung (*indirect transition*) seperti: Silikon (Si) dan Germanium (Ge), laju rekombinasinya dapat ditentukan dengan *Shockley Read Hall Recombination (R)* yang dinyatakan dalam persamaan (4) berikut:

$$R = \frac{pn - n_i^2}{\tau_p(p + p_1) + \tau_n(n + n_1)} \tag{4}$$

Keterangan:

p = konsentrasi *hole* (cm⁻³)

n = konsentrasi elektron (cm⁻³)

n_i = konsentrasi intrinsik (cm⁻³)

t_p = waktu hidup rekombinasi *hole* (μs)

t_n = waktu hidup rekombinasi elektron (μs)

R = laju rekombinasi (cm⁻³/s)

n₁ = konsentrasi elektron yang bergantung pada lokasi tingkat *trap* pada celah pita energi (cm⁻³)

p₁ = konsentrasi *hole* yang bergantung pada lokasi tingkat *trap* pada celah pita energi (cm⁻³) [11].

Sifat kelistrikan dari sel surya dapat diamati melalui karakteristik arus-tegangannya dalam bentuk grafik *I-V*. Paramater grafik *I-V* terdiri atas arus hubung singkat (*I_{sc}*) yang terjadi pada kondisi tidak ada resistansi (*V*= 0 volt), tegangan hubung terbuka (*V_{oc}*) yang dicapai ketika arus pada sel surya sama dengan nol, daya maksimum (*P_{max}*) yang merupakan daya terbesar yang dihasilkan sel surya, dan *Fill Factor (FF)* yang merupakan perbandingan antara daya maksimum yang dihasilkan sel surya dengan perkalian antara *I_{sc}* dan *V_{oc}* [12].

III. METODE

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah *finite element method* atau metode elemen hingga. Pada simulasi divais semikonduktor yang berupa dioda persambungan p-n, geometri dioda akan dibagi menjadi elemen segitiga-segitiga kecil. Variabel yang digunakan pada simulasi divais semikonduktor adalah Ψ , *p*, dan *n* yang secara berturut-turut merupakan potensial elektrostatik, konsentrasi hole, dan konsentrasi elektron. Variabel Ψ , *p*, dan *n* berhubungan dengan tingkat quasi-Fermi pembawa muatan yang dituliskan dalam persamaan (5) dan (6) berikut:

$$n = n_i e^{\Psi u} \tag{5}$$

$$p = p_i e^{-\Psi v} \tag{6}$$

Keterangan:

n = konsentrasi elektron (cm⁻³)

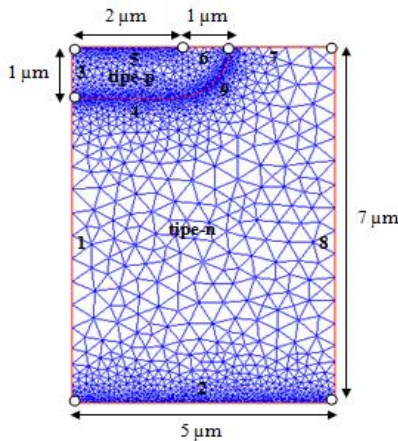
n_i = konsentrasi elektron intrinsik (cm⁻³)

p = konsentrasi hole (cm⁻³)

p_i = konsentrasi hole intrinsik (cm⁻³)

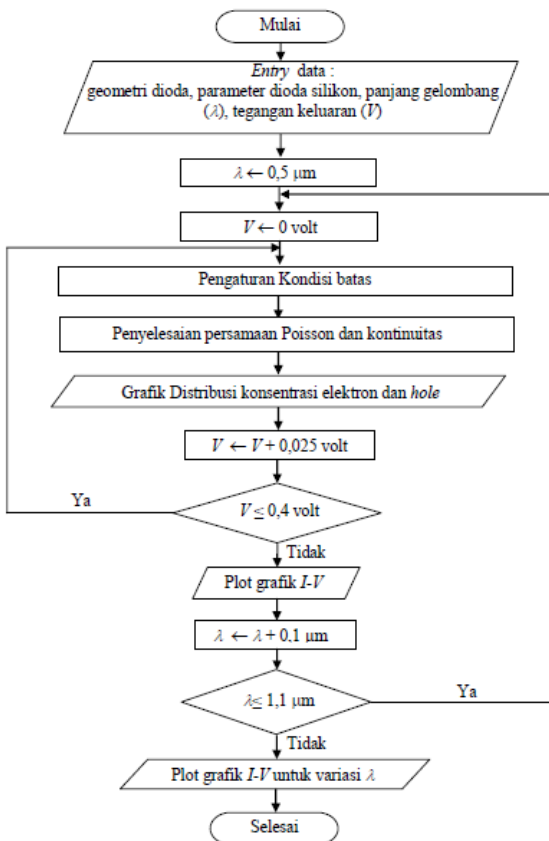
Geometri sel surya yang akan disimulasikan pada penelitian ini berbentuk 2 dimensi yang terdiri atas 2 daerah subdomain yaitu subdomain 1 (lapisan-n) dan subdomain 2 (lapisan-p) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Pada gambar 1 terlihat bahwa geometri sel surya adalah berupa persambungan p-n dalam bentuk 2 dimensi terdiri dari 9 batas. Batas 5 merupakan

anoda, batas 2 merupakan katoda sedangkan batas 4 dan 9 merupakan daerah persambungan (junction).



Gambar.1 Geometri sel surya

Proses kegiatan simulasi tersebut dari awal sampai akhir dapat dilihat pada pada Gambar 2.



Gambar. 2 Diagram alir kegiatan simulasi

Kegiatan simulasi diawali dengan membuat geometri sel surya yang ditunjukkan pada Gambar 1 dan dilanjutkan dengan memasukkan data input yang berupa parameter dioda silikon, data panjang gelombang, dan tegangan keluaran. Parameter input dioda silikon yang berupa konstanta dalam fisika yang digunakan pada penelitian ini adalah besar muatan elektron (q) yang nilainya ($1,6 \times 10^{-19}$) C, permisivitas ruang hampa (ϵ_0) yang nilainya F/m dan konstanta Boltzman (k) yang nilainya ($1,381 \times 10^{-23}$) J/K. Paramater input lain yang merupakan parameter dioda silikon adalah konstanta difusi elektron (D_n)

yang nilainya $20,7 \text{ cm}^2/\text{s}$, konstanta difusi hole (D_p) yang nilainya $5,17 \text{ cm}^2/\text{s}$ dan permitivitas bahan (ϵ_r) yang nilainya 11,8 untuk bahan silikon. Laju rekombinasi yang digunakan pada kegiatan simulasi ini dihitung dengan menggunakan parameter kristal silikon yang berupa *life time* elektron (τ_n) dan *life time* hole (τ_p) yang secara berturut-turut nilainya adalah $350 \mu\text{s}$ dan $1 \mu\text{s}$. Parameter input untuk perhitungan laju generasi terdiri atas koefisien transmisi cahaya (P) yang nilainya 0,023, koefisien konsentrasi fluks sinar matahari yang nilainya 1, koefisien absorpsi (α) yang nilainya ($1,1 \times 10^4$)/cm, dan panjang gelombang foton datang yang divariasikan dari $0,5 \mu\text{m}$ sampai $1,1 \mu\text{m}$. Pada penelitian ini, karakteristik *I-V* dioda sel surya diperoleh dengan memvariasikan tegangan keluaran (V) dari 0 volt sampai 0,4 volt.

Langkah selanjutnya adalah melakukan pengaturan kondisi batas. Daerah 2 dan 5 merupakan daerah batas dioda dengan konduktor sehingga kondisi batas yang digunakan adalah kondisi batas Neumann [13] yang dinyatakan dalam persamaan (7), (8), dan (9) berikut:

$$\psi = V + \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{\frac{N}{2} + \sqrt{\left(\frac{N}{2}\right)^2 + n_i^2}}{n_i} \right) \quad (8)$$

$$p = -\frac{N}{2} + \sqrt{\left(\frac{N}{2}\right)^2 + n_i^2} \quad (9)$$

Besaran N pada persamaan (7), (8), dan (9) merupakan fungsi konsentrasi dopan yang dituliskan dalam persamaan (10) berikut:

$$N = ND_n + ND_{nmax} e^{-\left(\frac{y+y_1}{ch}\right)^2} - NA_{pmax} e^{-\left(\frac{y}{ch}\right)^2} \quad (x < ac) + \quad (10)$$

$$(x \geq ac) e^{-\left(\frac{x-ac}{ch}\right)^2}$$

Besaran ch pada persamaan (10) ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$ch = \frac{ju}{\sqrt{\log(NA_{pmax}/ND_n)}} \quad (11)$$

Keterangan:

ND_n = konsentrasi donor pada daerah tipe-n
= (1×10^{15}) cm^{-2}

ND_{nmax} = konsentrasi donor maksimum (tertinggi) pada daerah tipe-n
= (1×10^{17}) cm^{-2}

ND_{pmax} = konsentrasi akseptor tertinggi pada daerah tipe-p
= (1×10^{17}) cm^{-2}

ac = panjang batas 5 pada geometri dioda = $2 \mu\text{m}$

ju = panjang batas 6 pada geometri dioda = $1 \mu\text{m}$

y_1 = panjang geometri dioda = $7 \mu\text{m}$

Daerah batas 1, 3, 4, 6, 7, 8, dan 9 merupakan daerah daerah batas yang tidak berhubungan konduktor sehingga kondisi batas yang digunakan adalah kondisi batas *Dirichlet* pada persamaan (12), (13), dan (14) berikut ini :

$$\hat{n} \cdot \vec{E} = 0 \quad (12)$$

$$\hat{n} \cdot \vec{J}_n = 0 \quad (13)$$

$$\hat{n} \cdot \vec{J}_p = 0 \quad (14)$$

Hal yang dilakukan berikutnya adalah menyelesaikan persamaan poisson dan kontinuitas. Persamaan poisson dengan

konsentrasi dopan N dapat ditentukan dengan menggunakan rumus:

$$\Delta\Psi = \frac{q}{\epsilon}(e^{\Psi}u - e^{-\Psi}v - N) \tag{15}$$

sedangkan persamaan kontinuitas ditentukan dengan rumus:

$$\frac{1}{q}\vec{\nabla} \cdot \vec{J}_n = R - G \tag{16}$$

$$\frac{1}{q}\vec{\nabla} \cdot \vec{J}_p = G - R \tag{17}$$

dimana J_n menyatakan rapat arus elektron, J_p menyatakan rapat arus hole, G menyatakan laju generasi yang ditentukan menggunakan persamaan (3), dan R menyatakan laju rekombinasi yang ditentukan dengan menggunakan persamaan (4). Penyelesaian persamaan Poisson dan persamaan kontinuitas akan menghasilkan distribusi konsentrasi hole dan elektron pada dioda sel surya yang digunakan untuk menghitung rapat arus hole dan rapat arus elektron pada dioda sel surya. Persamaan yang digunakan untuk menentukan rapat arus elektron dan arus hole secara berturut-turut adalah sebagai berikut:

$$\vec{J}_n = qD_n n_i e^{\Psi} \vec{\nabla} u \tag{18}$$

$$\vec{J}_p = -qD_p n_i e^{-\Psi} \vec{\nabla} v \tag{19}$$

Rapat arus yang digunakan untuk menentukan karakteristik $I-V$ dioda sel surya adalah rapat arus total (J) yang ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$\vec{J} = \vec{J}_n + \vec{J}_p \tag{20}$$

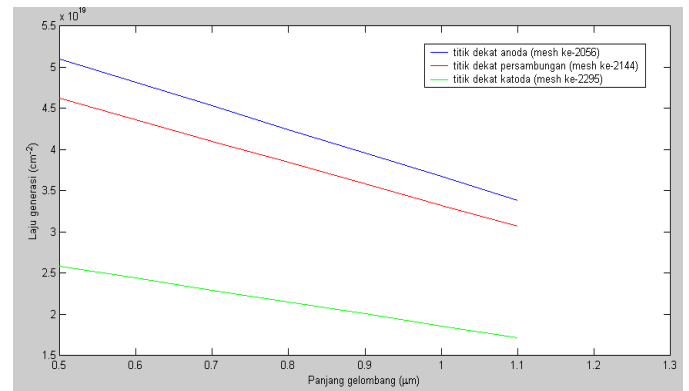
Disamping itu, pengaruh panjang gelombang foton datang terhadap profil distribusi pembawa muatan dan karakteristik $I-V$ dioda sel surya dianalisis dengan menentukan pengaruh panjang gelombang foton datang terhadap laju generasi dari sel surya. Titik pengamatan yang digunakan untuk mengamati profil distribusi pembawa muatan dan pembuatan grafik pengaruh panjang gelombang foton datang terhadap laju generasi pembawa muatan sel surya adalah titik dekat anoda, titik persambungan (*junction*) dan titik dekat katoda.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengaruh Panjang Gelombang Cahaya terhadap Laju Generasi

Pada penelitian ini, dihasilkan grafik pengaruh panjang gelombang cahaya yang diterima sel surya terhadap laju generasi untuk beberapa titik pengamatan yang ditampilkan pada Gbr.2. Hasil simulasi ini digunakan untuk menganalisis profil distribusi konsentrasi pembawa muatan dan karakteristik arus-tegangan dari sel surya. Titik pengamatan yang digunakan adalah titik dekat anoda, titik persambungan (*junction*) dan titik dekat katoda. Hasil simulasi yang ditampilkan pada Gbr.3 menunjukkan bahwa meningkatnya panjang gelombang foton datang akan menurunkan laju generasi pembawa muatan pada sel surya. Hal ini dikarenakan panjang gelombang foton datang yang besar akan menurunkan energi yang diterima oleh sel surya untuk melepaskan elektron dari ikatan kovalennya sehingga hanya sedikit elektron dan hole yang terbentuk yang artinya laju generasi sel surya tersebut kecil. Gambar.3 juga menunjukkan bahwa semakin jauh dari anoda, laju generasi dalam dioda sel surya akan semakin menurun. Penurunan laju generasi ini dikarenakan semakin jauh dari anoda, energi matahari yang diterima pada daerah tersebut semakin berkurang yang menyebabkan elektron dan hole yang terlepas

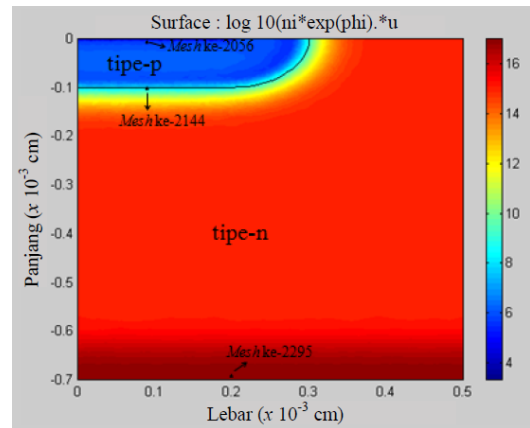
dari ikatan kovalennya semakin menurun yang menyebabkan penurunan laju generasi.



Gambar 3. Hasil simulasi pengaruh panjang gelombang foton datang (λ) terhadap laju generasi sel surya.

B. Profil Distribusi Konsentrasi Elektron

Hasil simulasi profil distribusi konsentrasi elektron pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4 berikut ini:

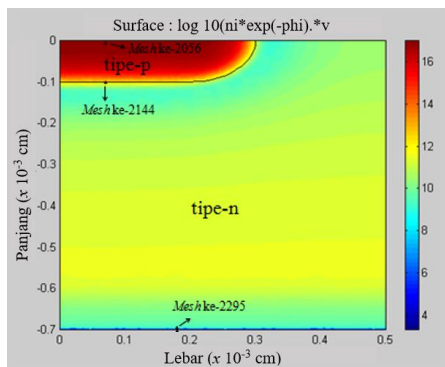


Gambar 4. Hasil simulasi profil distribusi konsentrasi elektron untuk panjang gelombang foton datang (λ) 0,5 μm dan tegangan keluaran (V) 0 volt

Berdasarkan Gambar.4 diketahui bahwa konsentrasi elektron terendah berada pada ujung daerah tipe-n dengan besar konsentrasi (1×10^5) cm^{-2} yang ditunjukkan dengan warna biru gelap. Konsentrasi elektron pada daerah tersebut semakin meningkat hingga daerah tipe-p dekat persambungan (*junction*), lalu turun kembali di daerah tipe-p dekat persambungan yang ditunjukkan dengan perubahan warna dari biru gelap menjadi biru terang (konsentrasi sekitar 2×10^5) cm^{-2} , lalu biru gelap lagi. Pada daerah tipe-p dekat persambungan, konsentrasi elektron mengalami peningkatan sampai daerah tipe-n dekat katoda. Peningkatan elektron tersebut dapat diketahui dari adanya perubahan warna dari biru terang (konsentrasi sekitar 3×10^5) cm^{-2} menjadi hijau (konsentrasi sekitar 1×10^{10}) cm^{-2} , kemudian kuning (konsentrasi sekitar 1×10^{12}) cm^{-2} , lalu merah terang konsentrasi sekitar 1×10^{15} cm^{-2} , dan selanjutnya menjadi warna merah gelap di daerah dekat katoda dengan konsentrasi sekitar 1×10^{17} cm^{-2} .

C. Profil Distribusi Konsentrasi Hole

Hasil simulasi profil distribusi konsentrasi hole dapat dilihat pada Gbr. 5.



Gambar 5. Hasil simulasi profil distribusi konsentrasi hole untuk panjang gelombang foton datang (λ) 0,5 μm dan tegangan keluaran (V) 0 volt.

Berdasarkan hasil simulasi pada Gambar 5 diketahui bahwa konsentrasi hole tertinggi berada pada daerah tipe-p dekat anoda, ditunjukkan dengan warna merah gelap (konsentrasi sekitar $(1 \times 10^{17})\text{cm}^{-2}$) pada daerah di dekat katoda. Perubahan warna dari merah gelap menjadi warna merah terang (konsentrasi sekitar $(1 \times 10^{15})\text{cm}^{-2}$), kemudian kuning (konsentrasi sekitar $(1 \times 10^{12})\text{cm}^{-2}$), lalu hijau (konsentrasi sekitar $(1 \times 10^{10})\text{cm}^{-2}$) dan dilanjutkan dengan warna biru muda (konsentrasi sekitar $(1 \times 10^9)\text{cm}^{-2}$) di dekat daerah persambungan menunjukkan konsentrasi hole pada daerah di dekat anoda terus menurun sampai tipe-n dekat daerah persambungan. Konsentrasi hole tersebut kemudian meningkat kembali pada daerah pertengahan tipe-n, ditunjukkan dengan adanya perubahan warna dari biru muda kemudian menjadi kuning pada daerah tersebut. Pada pertengahan daerah tipe-n sampai daerah tipe-n dekat katoda, terjadi perubahan warna dari kuning menjadi biru muda kemudian menjadi biru gelap (konsentrasi sekitar $(1 \times 10^5)\text{cm}^{-2}$) yang mengindikasikan konsentrasi hole kembali mengalami penurunan hingga mencapai konsentrasi hole terendah yang berada pada daerah tipe-n dekat katoda.

D. Konsentrasi Elektron dan Hole Pada Berbagai Variasi Panjang Gelombang Cahaya

Pada penelitian ini dilakukan pemvariasian panjang gelombang foton datang yang mengenai sel surya dari 0,5 μm sampai 1,1 μm . Nilai konsentrasi elektron dan hole pada berbagai variasi panjang gelombang tersebut untuk $V=0$ volt dapat dilihat pada Tabel I dan tabel II.

TABEL I
KONSENTRASI ELEKTRON PADA $V=0$ VOLT

Panjang Gelombang	Konsentrasi Elektron (cm^{-2})		
	Dekat Anoda	Persambungan	Dekat Katoda
	(mesh ke-2056)	(mesh ke-2144)	(mesh ke-2295)
$\lambda = 0,5 \mu\text{m}$	$2,35483 \times 10^5$	$1,34076 \times 10^8$	$1,00554 \times 10^{17}$
$\lambda = 0,6 \mu\text{m}$	$1,80256 \times 10^5$	$1,25262 \times 10^8$	$1,00462 \times 10^{17}$
$\lambda = 0,7 \mu\text{m}$	$1,58391 \times 10^5$	$1,12863 \times 10^8$	$1,00323 \times 10^{17}$
$\lambda = 0,8 \mu\text{m}$	$1,31417 \times 10^5$	$1,03507 \times 10^8$	$1,00184 \times 10^{17}$
$\lambda = 0,9 \mu\text{m}$	$1,07228 \times 10^5$	$0,95466 \times 10^8$	$1,00023 \times 10^{17}$
$\lambda = 1,0 \mu\text{m}$	$0,94611 \times 10^5$	$0,79781 \times 10^8$	$0,99930 \times 10^{17}$
$\lambda = 1,1 \mu\text{m}$	$0,86403 \times 10^5$	$0,73142 \times 10^8$	$0,99861 \times 10^{17}$

TABEL III
KONSENTRASI HOLE PADA $V=0$ VOLT

Panjang Gelombang	Konsentrasi Hole (cm^{-2})		
	Dekat Anoda	Persambungan	Dekat Katoda
	(mesh ke-2056)	(mesh ke-2144)	(mesh ke-2295)
$\lambda = 0,5 \mu\text{m}$	$9,86052 \times 10^{16}$	$1,99022 \times 10^{12}$	$1,45908 \times 10^9$
$\lambda = 0,6 \mu\text{m}$	$9,85372 \times 10^{16}$	$1,81009 \times 10^{12}$	$1,37727 \times 10^9$
$\lambda = 0,7 \mu\text{m}$	$9,84464 \times 10^{16}$	$1,69981 \times 10^{12}$	$1,29405 \times 10^9$
$\lambda = 0,8 \mu\text{m}$	$9,83558 \times 10^{16}$	$1,55991 \times 10^{12}$	$1,23914 \times 10^9$
$\lambda = 0,9 \mu\text{m}$	$9,82653 \times 10^{16}$	$1,47231 \times 10^{12}$	$1,18269 \times 10^9$
$\lambda = 1,0 \mu\text{m}$	$9,81974 \times 10^{16}$	$1,32190 \times 10^{12}$	$1,14462 \times 10^9$
$\lambda = 1,1 \mu\text{m}$	$9,81070 \times 10^{16}$	$1,31129 \times 10^{12}$	$1,07285 \times 10^9$

Hasil simulasi yang ditampilkan pada Tabel I dan Tabel II menunjukkan adanya penurunan konsentrasi hole dan elektron ketika panjang gelombang foton datang meningkat. Hal ini dikarenakan menurunnya laju generasi pembawa muatan pada sel surya ketika panjang gelombang foton datang semakin meningkat.

Pengaruh panjang gelombang terhadap konsentrasi elektron dan hole pada variasi tegangan keluaran (V) untuk posisi dekat katoda dapat dilihat pada Tabel III dan Tabel IV. Berdasarkan Tabel III dan Tabel IV tersebut dapat diketahui bahwa untuk tegangan keluaran yang berbeda-beda pengaruh panjang gelombang terhadap konsentrasi pembawa muatan (elektron dan hole) adalah sama yaitu meningkatnya panjang gelombang foton datang yang mengenai sel surya akan menurunkan konsentrasi pembawa muatan pada divais sel surya tersebut.

Pengaruh panjang gelombang terhadap konsentrasi elektron dan hole pada variasi tegangan keluaran (V) untuk posisi dekat katoda dapat dilihat pada Tabel III dan Tabel IV. Berdasarkan Tabel III dan Tabel IV tersebut dapat diketahui bahwa untuk tegangan keluaran yang berbeda-beda pengaruh panjang gelombang terhadap konsentrasi pembawa muatan (elektron dan hole) adalah sama yaitu meningkatnya panjang gelombang foton datang yang mengenai sel surya akan menurunkan konsentrasi pembawa muatan pada divais sel surya tersebut.

TABEL IIIII
KONSENTRASI HOLE UNTUK BERBAGAI VARIASI PANJANG GELOMBANG DAN TEGANGAN PADA POSISI DI DEKAT KATODA (MESH KE-2295)

Panjang Gelombang	Konsentrasi Hole ($\times 10^7 \text{cm}^{-2}$)				
	0 volt	0,1 volt	0,2 volt	0,3 volt	0,4 volt
$\lambda = 0,5 \mu\text{m}$	145,9083	123,9596	49,4698	15,3610	4,7767
$\lambda = 0,6 \mu\text{m}$	137,7273	114,3089	47,7057	13,9656	4,2530
$\lambda = 0,7 \mu\text{m}$	129,4047	107,8301	45,2752	12,6651	3,8543
$\lambda = 0,8 \mu\text{m}$	123,9139	104,0687	42,7376	12,0534	3,6341
$\lambda = 0,9 \mu\text{m}$	118,2687	102,4495	40,4706	11,8301	3,4842
$\lambda = 1,0 \mu\text{m}$	114,4616	94,0329	37,5077	11,3907	3,4058
$\lambda = 1,1 \mu\text{m}$	107,2852	92,0365	35,4969	10,5604	3,2013

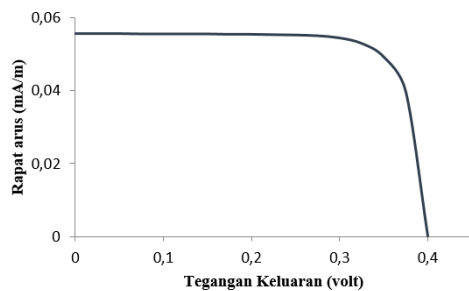
TABEL IVV
KONSENTRASI ELEKTRON UNTUK BERBAGAI VARIASI PANJANG GELOMBANG DAN TEGANGAN PADA POSISI DI DEKAT KATODA (MESH KE-2295)

Panjang Gelombang	Konsentrasi Elektron ($\times 10^{16} \text{cm}^{-2}$)				
	0 volt	0,1 volt	0,2 volt	0,3 volt	0,4 volt
$\lambda = 0,5 \mu\text{m}$	10,0554	10,0184	9,9678	9,8492	9,6339
$\lambda = 0,6 \mu\text{m}$	10,0462	10,0046	9,9197	9,8175	9,5148

$\lambda = 0,7 \mu\text{m}$	10,0323	9,9839	9,9038	9,7994	8,9826
$\lambda = 0,8 \mu\text{m}$	10,0184	9,9770	9,5082	9,7904	8,8920
$\lambda = 0,9 \mu\text{m}$	10,0023	9,9724	9,2109	9,5302	8,5271
$\lambda = 1,0 \mu\text{m}$	9,9931	9,9655	9,0178	8,8328	8,3483
$\lambda = 1,1 \mu\text{m}$	9,9862	9,9586	8,8777	8,6596	8,0408

E. Karakteristik I-V (Arus-Tegangan)

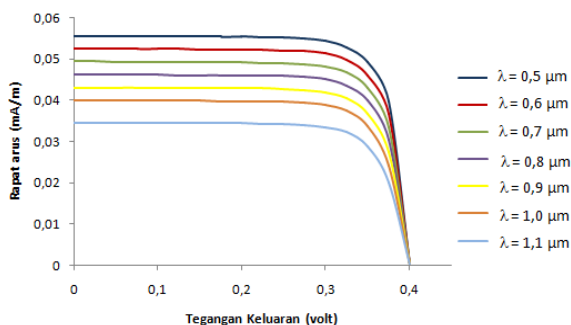
Hasil simulasi konsentrasi elektron dan hole yang diperoleh kemudian digunakan untuk menentukan karakteristik arus-tegangan dengan memvariasikan tegangan output (keluaran). Pemvariasian tegangan output(keluaran) dari 0 volt sampai 0,4 volt pada hasil simulasi dengan $\lambda=0,5$ volt menghasilkan grafik karakteristik arus-tegangan (I-V) yang diperlihatkan pada Gambar 6.



Gbr. 6 Hasil simulasi karakteristik I-V sel surya pada panjang gelombang foton datang (λ) 0,5 μm

Gambar 6 di atas bersesuaian dengan teori yang ada dimana nilai rapat arus semakin mengecil ketika tegangan keluaran semakin besar dan rapat arus akan bernilai nol pada tegangan keluaran tertentu. Berdasarkan Gbr.6 tersebut dapat diketahui nilai J_{sc} yang dihasilkan oleh sel surya tersebut adalah 0,0556 mA/m sedangkan nilai V_{oc} nya adalah 0,4 volt.

Pengaruh panjang gelombang cahaya (λ) terhadap karakteristik arus-tegangan sel surya dapat diketahui melalui arus dan tegangan keluarannya. Hasil simulasi karakteristik arus-tegangan sel surya pada berbagai variasi panjang gelombang ditunjukkan pada Gbr. 7 berikut:



Gambar 7 Hasil simulasi karakteristik I-V sel surya untuk beberapa panjang gelombang

Gambar 7 menunjukkan adanya penurunan J_{sc} (Rapat arus hubung singkat) ketika panjang gelombang foton datang yang mengenai sel surya semakin besar. Hal ini dapat disebabkan karena menurunnya laju generasi sel surya ketika panjang gelombang foton datang semakin besar seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3. Peningkatan panjang gelombang foton datang membuat energi yang diterima oleh sel surya

semakin mengecil. Energi yang kecil ini menyebabkan mengecilnya laju generasi (hanya sedikit elektron dan hole yang terlepas dari ikatan kovalennya) sehingga hanya sedikit pasangan elektron-hole yang terbentuk. Pasangan elektron-hole ini kemudian akan mengalir menjadi arus listrik sehingga semakin kecil pasangan elektron-hole yang terbentuk maka arus yang terbentuk juga semakin mengecil. Hal inilah yang menyebabkan peningkatan panjang gelombang akan menurunkan rapat arus yang dihasilkan oleh sel surya.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi yang didapatkan dan pembahasan yang telah dilakukan maka diperoleh kesimpulan bahwa metode elemen hingga ini berhasil menunjukkan pengaruh panjang gelombang cahaya terhadap karakteristik arus-tegangan suatu sel surya. Hasil simulasi menunjukkan bahwa ketika panjang gelombang cahaya ditingkatkan dari 0,5 μm sampai 1,1 μm , nilai rapat arus hubung singkat (J_{sc}) tertinggi (0,0556 mA/m) didapatkan ketika panjang gelombang cahaya 0,5 μm dan terus menurun hingga didapatkan nilai J_{sc} yang terendah yang didapatkan ketika panjang gelombang foton datang 1,1 μm . Hal ini menunjukkan bahwa kenaikan panjang gelombang foton datang dari 0,5 μm sampai 1,1 μm menyebabkan penurunan rapat arus hubung singkat (J_{sc}).

REFERENSI

- [1] Sudarmono, J. Waluto, dan W. Wilopo, Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Pembasmi Serangga Pada Tanaman Bawang Merah Di Kabupaten Brebes. JATTEC, vol. 1, no. 1, hal. 35–39, 2020.
- [2] F. Rahayu, Simulasi Sel Surya Pita Tengah Berbasis Titik Kuantum SiGe. Bandung: Institut Teknologi Bandung, 2012.
- [3] E. Danielsson, FEMLAB Model Library For Semiconductor Device Model. Stockholm: The Royal Institute Of Institute, 2000.
- [4] H. Kurniawan, Analisis Pengaruh Temperatur Operasional dalam Simulasi Karakteristik Arus-Tegangan pada Dioda Si menggunakan Femlab. Jember: Universitas Jember, 2013.
- [5] M.Lolo, Proses Konversi Solar Sel. Makassar: Universitas Hasanudin, 2012.
- [6] R. Boylestad, Electronic Devices and Circuit Theory. New Jersey: Prentice Hall, 1998.
- [7] J.Liou, "Comparison and Optimization of The Perfomance of Si and GaAs Solar Cells," Sol. Energy Mater. Sol. Cells, vol. 28, hal. 9–28, 1992.
- [8] D. Rusdiana, Simulasi untuk Optimalisasi Unjuk Kerja Divais-Divais Optoelektronik Berbasis Bahan Film Tipis Semikonduktor. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia, 2004.
- [9] A. Rahardjo, Optimalisasi Pemanfaatan Sel Surya pada Bangunan Komersial secara Terintegrasi sebagai Bangunan Hemat Energi. Jakarta: Universitas Indonesia, 2008.
- [10] I.Usman, Penumbuhan Lapisan Tipis Silikon Amorf Terhidrogenasi Dengan Teknik HWC- VHF-PECVD Dan Aplikasinya Pada Sel Surya. Bandung: Institut Teknologi Bandung, 2006.
- [11] A. Seet, Semiconductor Devices Modelling using Numerical Partial Differential Equation Solver-Simulation and Parameter Extraction of the Haynes-Shockley Experiment. Queensland: University of Queensland, 1998.
- [12] K. Anjarani, Studi Karakteristik Arus Tegangan (Kurva I-V) pada Sel Tunggal Polikristal Silikon serta Pemodelannya. Jakarta: UNJ, 2012.
- [13] A. Goetzberger, CrystallineSilicon Solar Cell. Chichester: John Wiley and Sons Ltd, 1998