

Efektivitas Sel *Photovoltaic* Sel Surya Metoda Perlakuan Penyinaran Cahaya Lampu R-G-B pada Permukaan Sampel Sel Surya

Effectiveness of Photovoltaic Solar Cells against Light Wavelength by Irradiating Method of R-G-B Lamp

Parlindungan Pandapotan Marpaung^{*1}, Adi Setiawan²

^{1,2} Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Indonesia
Jl. Raya Puspatek, Serpong
Tangerang Selatan – Banten 15320

(Diterima: 23 Mei 2014; Disetujui: 15 September 2014)

ABSTRAK

Cahaya matahari terlihat warna cahaya putih terdiri dari warna cahaya campuran dari % warna cahaya merah (R), % warna cahaya hijau (G) dan % warna cahaya biru (B) disebut campuran warna cahaya dasar (R+G+B). Cahaya matahari menyinari permukaan sel surya dikonversikan sel PV sel surya menghasilkan tegangan pada bagian keluarannya disebut tegangan V_{oc} . Pada penelitian ini dilakukan perlakuan penyinaran permukaan masing-masing tiga sampel sel surya jenis yang sama dengan cahaya lampu warna cahaya merah, hijau dan biru secara bergantian. Sampel sel surya yang digunakan memiliki karakteristik parameter tegangan open circuit $V_{oc} = 6$ volt dc dinyatakan sebagai tegangan referensi $V_{oc(ref)}$. Masing-masing ketiga lampu warna cahaya R-G-B ini terhubung dengan sumber tegangan variable dc dalam satuan volt. Daya listrik lampu R-G-B menyinari sel surya diset sama besar, yaitu pada $P_{L(R)} = P_{L(G)} = P_{L(B)} = 2,27$ watt. Perlakuan penyinaran masing-masing cahaya lampu R-G-B ke permukaan ketiga sampel sel surya dengan jarak = 7 cm, diperoleh hasil pengukuran tegangan $V_{oc(R)[rata-2]} = 2,91$ volt, $V_{oc(G)[rata-2]} = 2,40$ volt, dan $V_{oc(B)[rata-2]} = 3,02$ volt pada bagian keluaran sel surya. Efektivitas sel PV (*photovoltaic*) diperoleh dari hasil perbandingan $V_{oc(R)[rata2]}$, $V_{oc(G)[rata2]}$ dan $V_{oc(B)[rata2]}$ terhadap tegangan referensi $V_{oc} = 6$ volt. Diperoleh hasil konversi sel surya penyinaran masing-masing warna cahaya R-G-B menghasilkan % cahaya merah (R) = 34,94%, % cahaya hijau (G) = 28,8% dan % cahaya biru (B) = 36,2%. Efektivitas sel PV material sel surya untuk mengkonversikan warna caya merah, hijau dan biru dinyatakan dengan parameter $PV_{(R)}$, $PV_{(G)}$ dan $PV_{(B)}$. Dengan demikian diperoleh $PV_{(R)} = 34,9\%$, kemudian $PV_{(G)} = 28,8\%$ dan selanjutnya $PV_{(B)} = 36,2\%$.

Kata Kunci: sel photovoltaic (PV), tegangan open circuit (V_{oc}), warna cahaya R-G-B

ABSTRACT

Sunlight visible color of white light is composed of light color% mixture of light colors red (R), % light color green (G) and % color blue light (B) is called a basic light color mixture (R+G+ B). Sunlight shining on the surface of the solar cell PV cells convert solar cell produces a voltage at the output referred voltage V_{oc} . In this research, the irradiation treatment surface of each of three samples of the same type solar cells with light colors red, green and blue alternately. Samples used solar cells have the characteristics of the open circuit voltage V_{oc} parameters = 6 volts dc reference voltage V_{oc} expressed as (ref). Each of the three R-G-B light color lamp is connected to a variable dc voltage source in volts. Electrical power R-G-B lights shining on the solar cell is set as large, on $P_{L(R)} = P_{L(G)} = P_{L(B)} = 2.27$ watts. Radiation treatment each R-G-B light onto the surface of the three samples of solar cells with a distance = 7 cm, the measurement results obtained voltage $V_{oc(R)[average]} = 2.91$ volts, $V_{oc(G)[average]} = 2,40$ volts, and $V_{oc(B)[average]} = 3.02$ volts at the output of the solar cell. The effectiveness of PV cells (*photovoltaic*) is obtained from the comparison of $V_{oc(R)[average-2]}$, $V_{oc(G)[average]}$ and $V_{oc(B)[average]}$ against a reference voltage $V_{oc} = 6$ volts. Solar cell conversion results obtained irradiating light of each color of R-G-B generate % red light (R) = 34.94 %, % green light (G) = 28.8 % and the % of blue light (B) = 36.2 %. The effectiveness of PV cells to convert solar cell material believed color red, green and blue is expressed by the parameter $PV_{(R)}$, $PV_{(G)}$ and $PV_{(B)}$. Thus obtained $PV_{(R)} = 34.9 \%$, and $PV_{(G)} = 28.8 \%$ and further $PV_{(B)} = 36.2 \%$.

Keywords: photovoltaic cells (PV), open circuit voltage (V_{oc}), the color of the light.

* Penulis Korespondensi Telp: 08128212064
Alamat E-mail: par_marm@yahoo.com

1. Pendahuluan

Perlu diketahui, bahwa sinar/cahaya matahari menyinari permukaan sel surya menghasilkan listrik pada bagian keluarannya akibat proses efek *photovoltaic* (PV). Efek PV ini terjadi berdasarkan proses fisik dasar pada bahan material semikonduktor sambungan p-n sel PV sel surya untuk mengkonversikan energi cahaya matahari menjadi tegangan listrik. Umumnya sekitar 55% energi cahaya matahari tidak efektif digunakan oleh sel PV, ^[1]. Pada hasil fabrikasi sel surya di PT LEN Industri, telah dilakukan pengujian penyinaran permukaan sel surya menggunakan sumber cahaya berasal dari *SPI-SUN* simulator model 204-A (spire corp.). Hasil pengujian ini diperoleh efisiensi sel surya hanya 11 % - 12 % energi cahaya tidak efektif digunakan sel surya, kemudian pada sampel sel surya hasil fabrikasi dari China dengan jenis tegangan keluaran V_{oc} yang sama efisiensi sel surya sekitar 13,2 % energi cahaya tidak efektif digunakan sel surya, ^[2]. Perumusan masalah pada penelitian ini, bahwa penyinaran cahaya ke permukaan sel surya dengan sumber cahaya *SPI-SUN* simulator tersebut dijadikan sebagai alternatif untuk melakukan penelitian dengan metoda perlakuan penyinaran permukaan sel surya dengan warna cahaya lampu R-G-B. Sumber warna cahaya lampu R-G-B terdiri dari cahaya merah, cahaya hijau dan cahaya biru disebut berasal dari cahaya lampu R-G-B. Masalahnya dirumuskan dengan prinsip, bahwa sumber cahaya matahari selama ini terlihat putih menyinari permukaan sel surya terdiri dari tujuh warna cahaya. Ketujuh warna cahaya matahari ini memiliki spektrum panjang gelombang (λ) berbeda (dalam satuan nm), yaitu warna cahaya ungu $\lambda = 380$ s/d 450 nm, cahaya biru $\lambda = 450 - 495$ nm, cahaya hijau $\lambda = 495$ s/d 570 nm, cahaya kuning $\lambda = 570$ s/d 590 nm, cahaya jingga $\lambda = 590$ s/d 620 nm, cahaya merah $\lambda = 620$ s/d 750 nm, dan warna cahaya *pink* $\lambda = 1000$ nm, ^[4]. Ketujuh warna cahaya tersebut adalah berada atau bagian dari warna cahaya putih matahari memiliki spektrum panjang gelombang 380 nm sampai dengan 1000 nm. Cahaya matahari terlihat putih adalah campuran dari tiga warna cahaya merah (R), hijau (G) dan biru (B) dinyatakan dengan warna cahaya campuran (R+G+B). Berhubungan dengan warna cahaya putih matahari adalah warna cahaya campuran (R+G+B), maka dilakukan pengujian penyinaran masing-masing warna cahaya R-G-B ke permukaan sel surya. Untuk itu digunakan rancangan alat penguji efektifitas sel PV sel surya dengan metoda perlakuan

penyinaran permukaan sampel sel surya dengan warna cahaya merah (R), hijau (G) dan biru (B) berasal dari lampu R-G-B. Pada penelitian ini parameter panjang gelombang cahaya lampu R-G-B dinyatakan berturut-turut adalah λ_R , λ_G dan λ_B . Sampel sel surya yang diuji memiliki data spesifikasi hasil fabrikasi parameter tegangan listrik keluaran *open circuit* dinyatakan dengan parameter tegangan $V_{(oc)}$. Nilai karakteristik tegangan keluaran $V_{(oc)}$ sampel sel surya ini dijadikan tegangan keluaran referensi dinyatakan dengan parameter $V_{(oc(ref))}$. Hasil pengukuran tegangan keluaran sel surya metoda penyinaran permukaan sel surya dengan masing-masing ketiga dari warna cahaya R-G-B dinyatakan dengan parameter $V_{(oc(R))}$, $V_{(oc(G))}$ dan $V_{(oc(B))}$. Penelitian ini bertujuan untuk membuat rancangan alternatif alat penguji efektifitas material sel PV dengan metoda penyinaran dengan warna cahaya merah, hijau dan biru ke permukaan sel surya. Efektivitas material sel PV yang diuji diperoleh melalui perbandingan tegangan keluaran sel surya pada penyinaran dengan ketiga warna cahaya tersebut terhadap data tegangan referensi $V_{(ref)}$. Batasan masalah penelitian ini adalah tertuju pada parameter temperatur dari bahan material sel PV yang dinyatakan dengan parameter T. Dimana nilai parameter T tersebut tidak menjadi bagian dari data penelitian ini. Alasannya adalah lama waktu penyinaran warna cahaya ke permukaan sel surya masih batas yang normal jika dibandingkan dengan lama waktu penyinaran cahaya matahari ke permukaan sel surya ke secara terus menerus dalam waktu yang relatif lama. Selanjutnya verifikasi perolehan hasil tegangan ketiga warna cahaya dilakukan terhadap tiga sampel sel surya jenis yang sama dan telah ada di jual dipasaran bebas.

2. Teori Penunjang

Sel photovoltaic sel surya

Pada modul sel surya terdapat material sel *photovoltaic* (PV) sel surya yang berfungsi mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Secara fisik sel surya diperlihatkan seperti pada Gambar 1. Cahaya putih matahari menyinari permukaan sel surya dikonversi oleh sel PV sel surya menghasilkan tegangan listrik searah/dc pada keluarannya. Tegangan *open circuit* pada bagian keluaran sel surya dinyatakan dengan parameter $V_{(oc)}$. Tegangan V_{oc} ini adalah karakteristik tegangan referensi keluaran sel surya disebut juga tegangan referensi *open circuit* $V_{(oc(ref))}$ satuan volt.



Gambar 1. Sel surya secara fisik

Warna cahaya putih matahari adalah campuran dari % warna cahaya merah, % warna cahaya hijau dan % warna cahaya biru. Penyinaran cahaya matahari memiliki campuran % ketiga warna cahaya dasar R-G-B tersebut ke permukaan sel surya menghasilkan nilai level tegangan warna cahaya campuran (R+G+B) dinyatakan dengan tegangan keluaran V_{oc} terlihat seperti persamaan (1), ^[6].

$$V_{oc} = y_1 V_{oc} + y_2 V_{oc} + y_3 V_{oc} \dots\dots\dots 1$$

Dimana:

$$y = y_1 + y_2 + y_3 = 100 \% = 1$$

y = warna cahaya campuran R-G-B.

Energi photon cahaya

Cahaya merupakan gelombang elektromagnetik memiliki jalur (*band*) pada spektrum panjang gelombang tertentu. Contoh cahaya adalah cahaya lampu berwarna, lampu halogen dan matahari. Menurut tingkat kepekaan mata manusia normal, cahaya terbagi menjadi cahaya tampak (*visible light*) dan cahaya tidak tampak (*non-visible light*), ^[5]. Adapun cahaya memiliki sifat dualisme, yaitu sifat sebagai radiasi gelombang elektromagnetik dan dalam kondisi lain sifat emisi partikel elektron menghasilkan energi photon. Emisi partikel elektron cahaya memiliki energi emisi satuan elektron-volt (eV), ^[5]. Photon adalah partikel elektron mengalami kuantum elektron cahaya menghasilkan radiasi gelombang elektromagnetik. Konsep photon modern dikembangkan secara bertahap oleh Albert Einstein untuk menjelaskan pengamatan eksperimental kemampuan energi cahaya menghasilkan radiasi gelombang elektromagnetik yang berada dalam kesetimbangan termal. Sifat cahaya sebagai radiasi gelombang elektromagnetik pada panjang gelombang (λ) memiliki energi photon (Eph). Hubungan radiasi panjang gelombang λ dari cahaya terhadap energi Eph dirumuskan pada persamaan (2), ^[6].

$$E_{ph} = h \cdot \frac{c}{\lambda} \dots\dots\dots 2$$

Dimana:

$$h = \text{konstanta Planck} = 6,626 \times 10^{-34}, \text{ Joule-detik}$$

$$c = \text{laju cahaya} = 3 \times 10^8, \text{ m/detik}$$

Energi emisi

Energi photon cahaya dari setiap spektrum λ warna cahaya tertentu memiliki energi emisi monokromatis dalam satuan elektron-volt (eV). Energi emisi setiap partikel elektron pada material dari suatu spektrum λ warna cahaya disebut dengan *monochromatic energy emission* (E_λ). Energi emisi monokromatis E_λ sebagai fungsi dari temperatur T dan spektrum λ dirumuskan seperti pada persamaan (3), ^{[5],[6]}.

$$E_\lambda = \frac{C_1 \cdot \lambda^{-5}}{e^{\frac{C_2}{\lambda \cdot T}} - 1} \dots\dots\dots 3$$

Dimana:

$$T = \text{Temperature}, ^\circ K$$

$$C_1 = 3,743 \times 10^8, \text{ W} \cdot \mu m^3$$

$$C_2 = 1,4387 \times 10^4, \mu m \cdot ^\circ K$$

Hukum Wilhem Wien

Wilhem Wien mempelajari hubungan temperatur bahan material suatu benda yang dapat menghasilkan radiasi gelombang elektromagnetik. Setiap perubahan temperatur bahan material tersebut, maka terjadi pergeseran radiasi panjang gelombang elektromagnetik. Pada kondisi temperatur semakin bertambah, maka perubahan panjang gelombang λ radiasi elektromagnetik semakin kecil. Pada temperatur obyek material bertambah semakin besar menyebabkan panjang gelombang radiasi mencapai nilai maksimum bergeser ke panjang gelombang λ yang lebih kecil. Pergeseran panjang gelombang terhadap perubahan temperatur obyek material menurut persamaan Wien terlihat pada persamaan (4), ^[6].

$$\lambda_m \cdot T = C \dots\dots\dots 4$$

Dimana:

$$\lambda_m = \text{panjang gelombang radiasi maksimum, } \mu m.$$

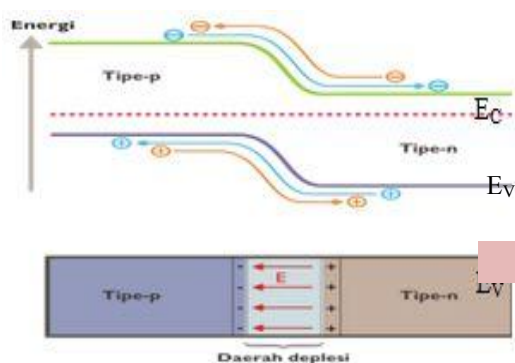
$$T = \text{suhu mutlak}, K.$$

$$C = \text{tetapan Wien} = 2,90 (\mu m \cdot K).$$

Emisi partikel elektron material sel PV

Material sel PV sel surya memegang peranan penting menghasilkan efektivitas mengkonversikan cahaya matahari menjadi

energi listrik. Material sel PV sel surya adalah bahan material semikonduktor diode sambungan p-n terdiri dari semikonduktor tipe-p mayoritas muatan *hole* dan semikonduktor tipe-n mayoritas muatan elektron. Diantara semikonduktor tipe-p dan tipe-n terdapat daerah/*band gap*. Pada Gambar 2 terlihat energi cahaya E mampu menggerakkan partikel elektron bebas dari ikatan atom semikonduktor hubungan p-n bahan material sel PV sel surya, [5]-[6]. Hal ini terjadi pada tingkat energi konduksi (E_c) perpindahan elektron dari semikonduktor tipe-n menuju semikonduktor tipe-p dan perpindahan elektron dari semikonduktor tipe-p menuju ke semikonduktor tipe-n. Selanjutnya pada tingkat energi valensi (E_v) terjadi perpindahan hole dari semikonduktor tipe-p dan perpindahan elektron dan hole ini bermuara pada daerah gap/*band gap* menyebabkan terjadi daerah deplesi pada *band gap* dengan jarak tertentu. Akibatnya pada daerah deplesi emisi elektron-elektron dari semikonduktor tipe-n bersatu dengan hole pada semikonduktor tipe-p, sehingga jumlah hole daerah tipe-p berkurang dan berubah menjadi bermuatan negatif. Sementara emisi hole-hole dari semikonduktor tipe-p bersatu pada semikonduktor tipe-n, sehingga jumlah elektron daerah tipe-p berkurang dan berubah menjadi bermuatan positif. Perbedaan muatan listrik pasangan elektron-hole daerah deplesi menimbulkan tegangan listrik pada semikonduktor hubungan p-n disebut tegangan *open circuit* semikonduktor hubungan p-n. Demikian halnya yang terjadi pada semikonduktor hubungan p-n material sel PV sel surya, energi emisi photon E_λ radiasi panjang gelombang cahaya warna merah, hijau dan biru menghasilkan beda potensial medan listrik E . Perbedaan beda potensial muatan positif dan negatif menghasilkan tegangan *open circuit* keluaran sel surya dinyatakan dengan parameter tegangan V_{oc} .



Gambar 2. Diagram sambungan /junction semikonduktor p-n dari sel surya

Warna cahaya campuran

Warna cahaya putih termasuk warna cahaya campuran % merah, % hijau dan % biru disebut dengan warna cahaya campuran (R+G+B). Adapun cahaya matahari terlihat putih adalah terdiri dari tujuh warna cahaya. Pada Gambar 3 terlihat ketujuh warna cahaya matahari terdiri dari tiga warna dasar R-G-B yang lainnya warna *yellow* (Y), *cyan* (C), *magenta* (M) dan *white* (W). Warna cahaya putih adalah warna cahaya campuran (% R + % G + % B) terlihat seperti pada persamaan (5), [4].

$$y = y_1 + y_2 + y_3 \quad \dots\dots\dots 5$$

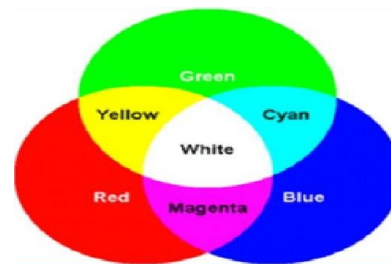
Dimana:

y = warna campuran R-G-B

y_1 = % merah (R)

y_2 = % hijau (G)

y_3 = % biru (B).



Gambar 3. Warna dasar R-G-B dan warna campuran

3. Metodologi

Metodologi penelitian adalah menggunakan alat rancangan percobaan dan pengujian penyinaran permukaan pada tiga sampel sel surya jenis yang sama menggunakan sumber cahaya lampu R-G-B. Karakteristik lampu R-G-B diuji dengan mengaliri arus listrik menggunakan suplai sumber tegangan searah/dc variable untuk menghasilkan nilai daya listrik pada lampu R-G-B sama besarnya.

Karakterisasi lampu sumber cahaya R-G-B

Lampu sumber cahaya R-G-B yang digunakan terdiri dari lampu warna cahaya merah, hijau dan biru. Pengujian karakteristik lampu R-G-B diuji dengan mengatur arus listrik melalui masing-masing lampu cahaya R-G-B dinyatakan dengan parameter arus cahaya lampu merah $I_{L(R)}$, arus melalui lampu cahaya hijau $I_{L(G)}$ dan arus melalui lampu cahaya biru $I_{L(B)}$. Tegangan masing-masing lampu R-G-B dinyatakan dengan parameter $V_{L(R)}$, $V_{L(G)}$ dan $V_{L(B)}$. Karakteristik lampu R-G-B diuji dengan cara merubah arus lampu tersebut pada

tegangan lampu di set sama besarnya $V_{L(R)} = V_{L(G)} = V_{L(B)} = 12$ volt. Data hasil pengukuran perubahan nilai arus mengalir melalui masing-masing lampu R-G-B terlihat seperti pada Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3.

Tabel 1 Pengukuran arus $I_{L(R)}$ lampu cahaya merah (R)

Hasil pengukuran		Daya listrik $P_{L(R)}$ [watt]
$V_{L(R)}$ [volt]	$I_{L(R)}$ [A]	
12,0	0,25	3,00
	0,17	2,04
	0,09	1,08

Tabel 2 Pengukuran arus $I_{L(G)}$ lampu cahaya hijau (G)

Hasil pengukuran		Daya listrik $P_{L(G)}$ [watt]
$V_{L(G)}$ [volt]	$I_{L(G)}$ [A]	
12,0	0,27	3,24
	0,19	2,28
	0,10	1,20

Tabel 3 Pengukuran arus $I_{L(B)}$ melalui lampu cahaya biru (B)

Hasil pengukuran		Daya listrik $P_{L(B)}$ [watt]
$V_{L(B)}$ [volt]	$I_{L(B)}$ [A]	
12,0	0,21	2,52
	0,15	1,80
	0,10	1,20

Perlakuan penyinaran permukaan sel surya

Perlakuan penyinaran masing-masing permukaan sampel sel surya berturut turut disinari cahaya merah, cahaya hijau dan cahaya biru berasal dari lampu R-G-B di suplai dengan tegangan listrik searah/dc. Pada penelitian ini suplai tegangan listrik pada masing-masing lampu R-G-B sama besar, yaitu $V_{L(R)} = V_{L(G)} = V_{L(B)} = 12$ volt. Kemudian daya listrik pada masing-masing lampu di set sama besar dengan cara mengatur arus listrik melalui masing-masing lampu R-G-B diperoleh $I_{L(R)} = I_{L(G)} = I_{L(B)} = 0,189$ amper. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan perlakuan yang sama untuk penyinaran cahaya lampu ke permukaan sel surya dengan daya listrik pada masing-masing

lampu sama besar, yaitu $P_{L(R)} = P_{L(G)} = P_{L(B)} = 12 \text{ volt} \times 0,189 \text{ amper} = 2,27 \text{ watt}$. Pada penelitian ini daya listrik lampu R-G-B dengan nilai sama besar 2,27 watt, karena karakteristik untuk ketiga cahaya lampu R-G-B pada data Tabel 2, Tabel 3 dan Tabel 4 dimungkinkan daya listrik 2,27 watt. Selanjutnya hasil pengukuran tegangan keluaran sel surya pada perlakuan penyinaran permukaan sel surya dengan daya listrik lampu = 2,27 watt pada masing-masing lampu R-G-B dinyatakan dengan parameter $V_{oc(R)}$, $V_{oc(G)}$ dan $V_{oc(B)}$. Adapun radiasi panjang gelombang masing-masing warna cahaya lampu R-G-B, yaitu $\lambda_{(R)}$, $\lambda_{(G)}$ dan $\lambda_{(B)}$. Energi cahaya pada radiasi panjang gelombang masing-masing warna cahaya lampu R-G-B dinyatakan dengan parameter $E_{\lambda(R)}$, $E_{\lambda(G)}$ dan $E_{\lambda(B)}$. Energi cahaya tersebut menyebabkan terjadinya proses emisi partikel elektron pada material sel PV menghasilkan arus difusi dinyatakan dengan parameter I . Untuk mendukung perolehan parameter penelitian dilakukan juga analisis materi ilmiah teori pendukung berupa perumusan matematis hukum Wien pada persamaan (4), yaitu $\lambda_m \cdot T = \text{konstan}$ ($\mu\text{m} \cdot ^\circ\text{K}$). Pada penelitian temperatur kamar obyek material sel PV sel surya dikondisikan pada $T = 300 \text{ }^\circ\text{K}$, maka nilai parameter $\lambda \cdot T$ dikonversikan menjadi $\lambda \cdot I = C = \text{konstanta}$ ($\mu\text{m} \cdot \text{amper}$). Energi emisi setiap partikel elektron pada material sel PV sel surya untuk radiasi spektrum λ warna cahaya R-G-B menghasilkan arus melalui sel PV sel surya. Arus I mengalir melalui obyek material semikonduktor sel PV dirumuskan dengan $\lambda_{(min)} \cdot I_{(maks)} = C = \text{konstanta}$. Selanjutnya energi $E_{(\lambda)}$ dari persamaan (3) dirumuskan menjadi seperti pada persamaan (6).

$$E_{(\lambda)} = \frac{c \cdot \lambda^{-5}}{e^{\frac{c}{\lambda \cdot T}} - 1} \dots\dots\dots 6$$

Pada Gambar 4 terlihat lampu lampu R-G-B terdiri dari cahaya merah (R), cahaya hijau (G) dan cahaya biru (B) terhubung dengan daya listrik masing-masing lampu 2,27 watt.



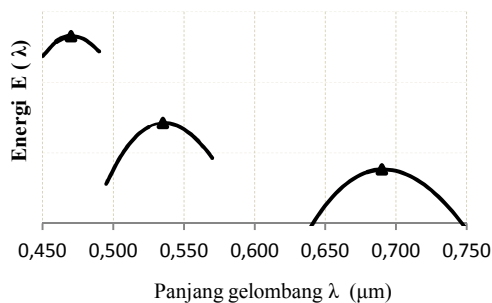
Gambar 4. Lampu sumber warna cahaya R-G-B terhubung dengan nilai suplai daya listrik searah/dc sebesar 2,27 watt

Pergeseran spektrum λ warna cahaya R-G-B dari $\lambda_{(\min.)}$ mencapai $\lambda_{(\max.)}$ berada pada nilai 0,450 μm sampai 0,750 μm . Perubahan arus $I_{(\min.)}$ mencapai arus maksimum $I_{(\max.)}$ melalui lampu warna cahaya R-G-B pada Tabel 4.

Tabel 4 Pergeseran spektrum λ terhadap perubahan arus

Spektrum λ (μm)			Pengukuran arus I (amper)	
$\lambda_{(\min.)}$	λ_{peak}	$\lambda_{(\max.)}$	$I_{(\min.)}$	$I_{(\max.)}$
0,450	0,60	0,750	0,10	0,27

Parameter konstant C = $\lambda_{(\min.)} \cdot I_{(\max.)} = 0,45 \times 0,27 = 0,122$ ($\mu\text{m} \cdot \text{amper}$). Dengan bantuan analisa matematis persamaan (4) dan persamaan (5), energi emisi E_{λ} pada pergeseran puncak panjang gelombang maksimum diperoleh masing-masing warna cahaya merah, hijau dan biru terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Energi E_{λ} pada pergeseran λ_p ketiga warna cahaya dari nilai kecil kebesar berturut-turut $\lambda_{p(R)}$, $\lambda_{p(G)}$, dan $\lambda_{p(B)}$.

Hasil pengujian

Penyinaran warna cahaya ke permukaan sel surya berjarak 7,0 cm. Capaian intensitas warna cahaya R-G-B sama besar untuk menyinari permukaan sel surya diindikasikan dengan daya listrik masing-masing lampu warna cahaya sama besar, yaitu $P_{L(R)} = P_{L(G)} = P_{L(B)}$. Adapun daya listrik pada lampu R-G-B ini dapat di set sama besar dan terjadi pada nilai $I_{L(R)} \times V_{L(R)} = I_{L(G)} \times V_{L(G)} = I_{L(B)} \times V_{L(B)} = 0,189$ amper $\times$ 12 volt = 2,27 watt. Perlakuan penyinaran masing-masing warna cahaya dasar R-G-B ke permukaan sampel sel surya terlihat seperti Gambar 6, Gambar 7 dan Gambar 8. Hasil konversi warna cahaya R-G-B oleh material sel PV menghasilkan tegangan $V_{oc(R)}$, $V_{oc(G)}$ dan $V_{oc(B)}$ pada keluaran sel surya, terlihat seperti data Tabel 5, Tabel 6 dan Tabel 7.



Gambar 6. Penyinaran warna cahaya merah (R) ke permukaan sel surya berjarak 7 cm



Gambar 7. Penyinaran warna cahaya hijau (G) ke permukaan sel surya berjarak 7 cm



Gambar 8. Penyinaran warna cahaya biru (B) ke permukaan sel surya berjarak 7 cm

Tabel 5 Tegangan rata-rata $V_{oc(R)}$

Sel surya	Daya lampu $P_{L(R)}$ (watt)	Warna cahaya merah	
		$V_{oc(R)}$ (volt)	$V_{oc(R)[rata2]}$
Sampel-1		3,10	
Sampel-2	2,27	2,83	2,91 volt
Sampel-3		2,80	

Tabel 6 Tegangan rata-rata $V_{oc(G)}$

Sel surya	Daya lampu $P_{L(G)}$ (watt)	Warna cahaya merah	
		$V_{oc(G)}$ (volt)	$V_{oc(G)[rata2]}$
Sampel-1		2,70	
Sampel-2	2,27	2,20	2,40 volt
Sampel-3		2,30	

Tabel 7 Tegangan rata-rata $V_{oc(B)}$

Sel surya	Daya lampu $P_{L(B)}$ (watt)	Warna cahaya merah	
		$V_{oc(B)}$ (volt)	$V_{oc(B)[rata2]}$
Sampel-1		3,30	
Sampel-2	2,27	2,85	3,02 volt
Sampel-3		2,90	

4. Pembahasan

Pada penelitian ini hasil pengujian pada tiga (3) sampel sel surya jenis yang sama diperoleh nilai level tegangan $V_{oc(R)[rata2]}$, $V_{oc(G)[rata2]}$ dan $V_{oc(B)[rata2]}$ dengan daya listrik lampu masing-masing warna cahaya R-G-B yang sama besar, yaitu $P_{L(R)} = P_{L(G)} = P_{L(B)} = 2,27$ watt dan tegangan nominal lampu $V_{L(R)} = V_{L(G)} = V_{L(B)} = 12$ volt. Pada Tabel 8 terlihat perbedaan tegangan rata-rata warna cahaya R-G-B dikonversikan oleh sel PV sel surya pada bagian keluaran sel surya.

Tabel 8 Spesifikasi dan data hasil tegangan keluaran V_{oc}

Tegangan referensi	Cahaya merah	Cahaya hijau	Cahaya biru
$V_{oc(ref.)}$	$V_{oc(R)[rata2]}$	$V_{oc(G)[rata2]}$	$V_{oc(B)[rata2]}$
6,0 volt	2,91 volt	2,40 volt	3,02 volt

Ketiga warna cahaya dasar R-G-B dinyatakan berada dalam atau berasal dari pada warna campuran cahaya putih matahari atau cahaya campuran (R+G+B). Pada penelitian ini persen % cahaya merah, % cahaya hijau dan % cahaya biru dalam warna campuran tersebut diperoleh

berdasarkan perbandingan level tegangan keluaran sel surya $V_{oc(R)[rata2]}$, $V_{oc(G)[rata2]}$ dan $V_{oc(B)[rata2]}$ terhadap $V_{oc(ref.)}$. Hasil perbandingan ini menggunakan data pada Tabel 8 dengan cara sebagai berikut $V_{oc(R)[rata2]} : V_{oc(G)[rata2]} : V_{oc(B)[rata2]} = 2,91 : 2,40 : 3,02$ dengan jumlah perbandingan = $2,91 + 2,40 + 3,02 = 8,33$. Diperoleh % ketiga warna cahaya R-G-B berdasarkan perbandingan level tegangan, yaitu % warna cahaya merah (R) = $(2,91/8,33) = 0,3494 = 34,94$ %. Nilai % warna cahaya hijau (G) diperoleh = $(2,40/8,33) = 0,2881 = 28,81$ %. Nilai % warna cahaya biru (B) = $(3,02/8,33) = 0,3625 = 36,25$ %. Perumusan matematis dari persamaan (5) diperoleh % warna cahaya dasar R-G-B, yaitu $y_1 = 34,94$ %, $y_2 = 28,81$ % dan $y_3 = 36,24$ % dengan jumlah perbandingan % ketiga warna cahaya R-G-B adalah $y = y_1 + y_2 + y_3 = 100$ %.

Efektivitas material sel PV

Efektivitas sel PV mengkonversikan warna cahaya R-G-B menjadi energi listrik dinyatakan dengan parameter $PV_{(R)}$, $PV_{(G)}$, dan $PV_{(B)}$. Hasil penyinaran dengan warna cahaya R-G-B pada jarak yang sama ke permukaan sel surya dari cahaya lampu R-G-B disuplai daya listrik 2,27 watt, maka diperoleh efektivitas material sel PV (*photovoltaic*) sel surya. Hasil konversi warna cahaya merah, hijau dan biru menghasilkan tegangan listrik $V_{oc(R)[rata2]}$, $V_{oc(G)[rata2]}$, dan $V_{oc(B)[rata2]}$. Efektivitas material sel PV diperoleh dari % warna cahaya dasar R-G-B menghasilkan perbandingan ketiga tegangan $V_{oc(R)[rata2]}$, $V_{oc(G)[rata2]}$ dan $V_{oc(B)[rata2]}$ terhadap tegangan V_{oc} keluaran sel surya terlihat seperti Tabel 9.

Tabel 9 Persen efektivitas sel PV material sel surya

Efektivitas sel $PV_{(R)}$	Efektivitas sel $PV_{(G)}$	Efektivitas sel $PV_{(B)}$
34,9 %	28,8 %	36,3 %

5. Kesimpulan

Perlakuan penyinaran permukaan sel surya dengan warna cahaya merah (R), cahaya hijau (G) dan cahaya biru (B) berasal dari lampu R-G-B berjarak sama = 7 cm. Intensitas cahaya yang menyinari sel surya dihasilkan dari lampu warna cahaya R-G-B dengan daya listrik yang sama $P_{L(R)} = P_{L(G)} = P_{L(B)} = 2,27$ watt.

Hasil tegangan warna cahaya R-G-B pada perlakuan penyinaran sampel sel surya diperoleh tegangan $V_{oc(R)}$, $V_{oc(G)}$, dan $V_{oc(B)}$ pada bagian keluaran sampel sel surya.

Untuk verifikasi nilai tegangan keluaran ketiga tegangan V_{oc} warna cahaya dasar R-G-B tersebut dilakukan perlakuan penyinaran terhadap tiga sampel sel surya jenis yang sama diperoleh nilai $V_{oc(R)[rata-2]} = 2,91$ volt, $V_{oc(G)[rata-2]} = 2,40$ volt dan $V_{oc(B)[rata-rata]} = 3,02$ volt dengan perbandingan 2,91 : 2,40 : 3,02 dan jumlah perbandingan = 8,33.

Penyinaran permukaan ketiga sampel sel surya dengan warna cahaya merah, hijau dan biru menghasilkan % warna cahaya merah $y_1 = (2,91/8,33) = 34,94$ %, dan persen warna cahaya hijau $y_2 = (2,40/8,33) = 28,81$ % serta persen warna cahaya biru $y_3 = (3,02/8,33) = 36,25$ %. Jumlah persen (%) ketiga warna cahaya dasar diperoleh $y = y_1 + y_2 + y_3 = 34,94\% + 28,82\% + 36,24\% = 100$ %.

Efektivitas material sel PV sel surya diperoleh dari persen perbandingan hasil konversi warna cahaya R-G-B menghasilkan tegangan listrik pada keluaran sel surya untuk masing-masing warna cahaya R-G-B dinyatakan dengan parameter $PV_{(R)}$, efektivitas sel PV untuk cahaya hijau adalah parameter $PV_{(G)}$ dan efektivitas untuk cahaya biru adalah parameter $PV_{(B)}$.

Efektivitas sel PV sel surya berdasarkan perbandingan level tegangan masing-masing % warna cahaya R-G-B yang dihasilkan, maka diperoleh efektivitas $PV_{(R)} = 34,9$ %, $PV_{(G)} = 28,8$ % dan $PV_{(B)} = 36,3$ %.

Daftar Pustaka

- [2] Ika Ismet, Shobih, "Modul Surya untuk mengatasi krisis energi", *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi*, No.9 Vol. 9, ISSN 1411-8289, Juli-Des. 2009.
- [3] Natalia M, Jojo H. "Sel Surya Dyes-Sensitized TiO₂ Fabrikasi dan Analisa Material Elektrolit", ISSN 1411-8289, No.1 Vol. 11, Januari-Juni 2011.
- [4] Gunandar A., 2011, *Warna-warna dalam cahaya matahari* (Online), (<http://www.wikipedia.com>), diakses 26 Pebruari 2013.
- [5] Emmanuel Desurvire, *Broadband Acces Optical Components and Networks Cryptography*, John Wiley & Sons, hal. 120-123, hal.250 Bab 2.5, 2007.
- [6] Ramon Pallas, Jhon G. Webster, *Sensor and signal conditioning*, Jhon Wiley & Son, Inc., 1991.