

# Rancang Bangun Prototipe Emulator Sel Surya Menggunakan Buck Converter Berbasis Arduino

Nanang Hadi Sodikin<sup>1</sup>, Ahmad Saudi Samosir<sup>2</sup>, Endah Komalasari<sup>3</sup>

Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, Bandar Lampung

Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung 35145

<sup>1</sup>nananghadisodikin@gmail.com

**Intisari** — Penelitian untuk memperbaiki sistem sel surya dalam hal keandalan dan efisiensi membutuhkan kontinuitas yang tidak terhalang kondisi lingkungan seperti intensitas cahaya matahari, suhu ataupun faktor lain. Sehingga diperlukan suatu perangkat untuk menggantikan sel surya yang tidak terpengaruh oleh faktor-faktor tersebut, namun tetap memiliki keluaran dan karakteristik yang sama. Perangkat yang ditawarkan pada tugas akhir ini adalah emulator sel surya yang berbasis *buck converter*. Emulator sel surya akan menghitung arus dan tegangan berdasarkan nilai masukan berupa nilai *irradiance* dan suhu sel pada nilai beban yang bervariasi. Karakteristik yang diperoleh dari simulasi dan pengujian perangkat keras emulator sel surya saat diberikan nilai *irradiance* dan suhu sel yang bervariasi adalah penurunan *irradiance* menyebabkan arus hubung singkat, tegangan hubung terbuka serta daya maksimum yang dihasilkan menurun, sedangkan peningkatan nilai suhu sel akan menurunkan besar tegangan hubung terbuka dan daya maksimum, namun arus hubung singkat akan bertambah walaupun tidak signifikan.

**Kata kunci** — Emulator Sel Surya, *Buck converter*, *Irradiance*, Suhu.

**Abstract** — The research to improve the solar cell system in terms of reliability and efficiency requires a continuity that is not obstructed environmental conditions such as light intensity and temperature or the other factors. The research needs a device to replace the solar cells which is not affected by these factors, but still has the same output and characteristics. The device which is proposed in this thesis is solar cell emulator based on buck converter. Solar cells emulator will calculate the current and voltage based on the value of the input of irradiance and cell temperature values at various load value.

The characteristics obtained from the simulation and testing hardware solar cells emulators at various irradiance and cell temperature values, that was decreased in irradiance values that led to short circuit current, open circuit voltage and maximum power which was generated was decreased, while the increased in the cell temperature value that led to decreased open circuit voltage and maximum power, but the short circuit current increased but not significantly.

**Keywords** — Solar Cells Emulator, Buck Converter, Irradiance, Temperature.

## I. PENDAHULUAN

Semakin meningkatnya ketertarikan pengembangan konversi energi menggunakan sel surya, menyebabkan semakin tinggi tuntutan dalam hal keandalan dan efisiensi dari sistem tersebut. Oleh karena itu, upaya untuk memperbaiki sistem sel surya terus dilakukan. Penelitian dan pengujian ini sebagai evaluasi dan kontrol bagi performa dan efisiensi sel surya yang harus terus diperbaiki.

Proses penelitian membutuhkan kontinuitas yang tidak terhalang kondisi lingkungan ataupun faktor lain, mengingat sel surya ini sangat bergantung pada kondisi lingkungan yang baik (cahaya matahari dan suhu yang cukup). Oleh karena itu diperlukan suatu divais untuk menggantikan sel surya yang tidak terpengaruh faktor-faktor tersebut namun tetap memiliki keluaran dan karakteristik yang sama. Divais yang ditawarkan pada penelitian ini adalah emulator sel surya. Emulator ini akan

menggantikan sel surya yang sebenarnya untuk menghasilkan karakteristik dari sel surya tersebut.

Emulator sel surya memiliki kelebihan akan memudahkan untuk mengatur kondisi pengujian, seperti *irradiance* dan suhu. Selain itu ruang pengujian yang dibutuhkan lebih kecil dan biaya pengujian lebih murah karena tidak harus membeli berbagai jenis panel sel surya jika akan menguji beberapa jenis panel sel surya.

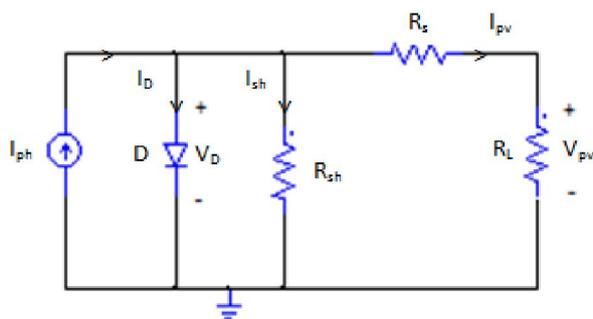
Rancang bangun prototipe emulator sel surya ini dibagi menjadi dua bagian, yaitu pemodelan simulasi dan realisasi ke perangkat keras. Selain itu dilakukan analisa pengaruh variasi nilai *irradiance*, suhu pada nilai beban yang bervariasi terhadap keluaran emulator sel surya dan membandingkan hasil pengujian perangkat keras emulator sel surya dengan hasil simulasi serta modul referensi yang digunakan sebagai evaluasi dan validasi rancang bangun emulator sel surya.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Karakteristik Sel Surya

#### 1) Rangkaian Ekuivalen Sel Surya

Rangkaian ekuivalen sel surya terdiri dari sebuah arus fotovoltaiik, sebuah dioda, hambatan seri ( $R_s$ ) dan hambatan paralel ( $R_{sh}$ ), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 berikut.



Gbr. 1 Rangkaian Ekuivalen dari Sel Surya

*Light generated current* atau *photocurrent* ( $I_{ph}$ ) bervariasi secara linear terhadap radiasi matahari dan tergantung pada suhu yang diberikan. Hambatan  $R_{sh}$  dan  $R_s$  menunjukkan hambatan intrinsik paralel dan seri dari sel.

Persamaan (1) menjelaskan prinsip sederhana dari rangkaian ekuivalen sel surya di atas, yaitu:

$$I_{pv} = I_{ph} - I_D - I_{rsh} \quad (1)$$

Persamaan tersebut dapat dijabarkan dengan persamaan berikut :<sup>[1]</sup>

$$I_{pv} = N_p I_{ph} - N_p I_s \left( \exp \frac{q(V_{pv} + I_{pv}R_s)}{N_s n k T_c} - 1 \right) - \frac{(V_{pv} + I_{pv}R_s)}{R_{sh}} \quad (2)$$

Penjabaran dari persamaan (2) di atas sebagai berikut.<sup>[2]</sup>

Arus *photovoltaic*,  $I_{ph}$ ,

$$I_{ph} = [I_{sc} + K_i(T_c - T_{ref})] \frac{\beta}{\beta_{ref}} \quad (3)$$

Arus saturasi sel surya,  $I_s$ ,

$$I_s = I_{rs} \left[ \frac{T_c}{T_{ref}} \right]^3 \exp \left[ \frac{qE_g}{nk} \left\{ \frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T_c} \right\} \right] \quad (4)$$

Arus gelap saturasi,  $I_{rs}$ ,

$$I_{rs} = I_{sc-ref} / [\exp(qV_{oc-ref} / N_s k n T_{ref}) - 1] \quad (5)$$

Hambatan Seri,  $R_s$  .<sup>[3]</sup>

$$R_s = \frac{N_s n k T_c \ln \left( 1 - \frac{I_m}{I_{sc}} \right) + V_{oc} - V_m}{I_m} \quad (6)$$

Ideal Faktor,  $n$  .<sup>[3]</sup>

$$n = \frac{q(2V_m - V_{oc})}{N_s k T \left( \frac{I_{sc}}{I_{sc} - I_m} + \ln \left( 1 - \frac{I_m}{I_{sc}} \right) \right)} \quad (7)$$

Hambatan *shunt*,  $R_{sh}$  .<sup>[4]</sup>

$$R_{sh} = \frac{0,5V_{oc} - V_{sc}}{I_{sc} - I_x} \quad (8)$$

Dimana :

$I_{pv}$  = Arus *photovoltaic*

$I_{ph}$  = *Photocurrent*

$I_D$  = Arus pada dioda

$I_{rsh}$  = Arus hambatan *shunt*

$I_s$  = Arus saturasi sel surya

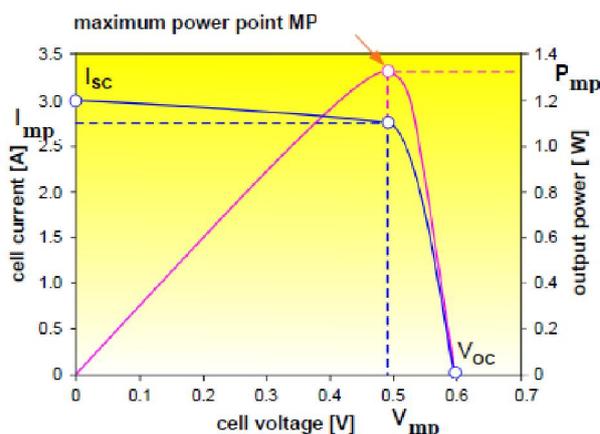
$q$  = Elektron =  $1.6 \times 10^{-19}$  C

$V_{pv}$  = Tegangan pada sel

$T_c$	= Suhu kerja sel
$R_s$	= Hambatan seri
$R_{sh}$	= Hambatan <i>shunt</i>
$n$	= Faktor ideal
$k$	= Konstanta Boltzmann = $1.38 \times 10^{-23}$ J/K
$N_s$	= Jumlah sel surya yang disusun seri
$N_p$	= Jumlah sel surya yang disusun paralel
$\beta$	= <i>Solar irradiance</i>
$\beta_{ref}$	= <i>Solar irradiance reference</i> = 1000 $W/m^2$
$K_i$	= Koefisien suhu dari arus $I_{sc}$
$I_{sc}$	= Arus hubung singkat pada suhu kerja
$T_{ref}$	= Suhu referensi = 25 °C = 298 K
$I_{rs}$	= Arus saturasi gelap
$I_{sc-ref}$	= Arus hubung singkat pada <i>STC</i>
$V_{oc-ref}$	= Tegangan hubung singkat pada <i>STC</i>
$I_m$	= Arus maksimum sel surya
$V_m$	= Tegangan maksimum sel surya
$V_{oc}$	= Tegangan <i>open circuit</i> sel surya
$V_{sc}$	= Tegangan <i>short circuit</i> sel surya
$I_{sc}$	= Arus hubung singkat pada suhu kerja
$I_x$	= Arus pada hambatan <i>shunt</i>

## 2) Kurva Karakteristik Sel Surya

Sel surya memiliki kurva karakteristik yang menunjukkan hubungan antara arus dengan tegangan keluaran (kurva I-V) dan daya dengan tegangan keluaran sel surya (kurva P-V). Kurva ini ditunjukkan pada Gambar 2 berikut:

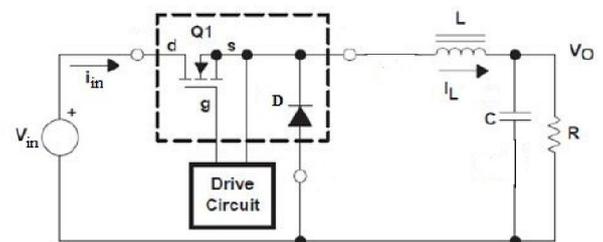


Gbr. 2 Kurva Karakteristik Sel Surya [5]

Pada saat tahanan bernilai tak terhingga (*open circuit*) maka arus bernilai minimum (nol) dan tegangan pada sel berada pada nilai maksimum, disebut tegangan *open circuit* ( $V_{oc}$ ). Pada keadaan lain, ketika tahanan bernilai nol (*short circuit*) maka arus bernilai maksimum, yang disebut arus *short circuit* ( $I_{sc}$ ). Selain itu terdapat nilai daya maksimum ( $P_m$ ) yang dapat dihasilkan pada saat tegangan maksimum ( $V_m$ ) dan arus maksimum ( $I_m$ ). Titik dimana nilai arus dan tegangan pada titik yang menghasilkan daya terbesar disebut dengan *Maximum Power Point* (MPP). [4]

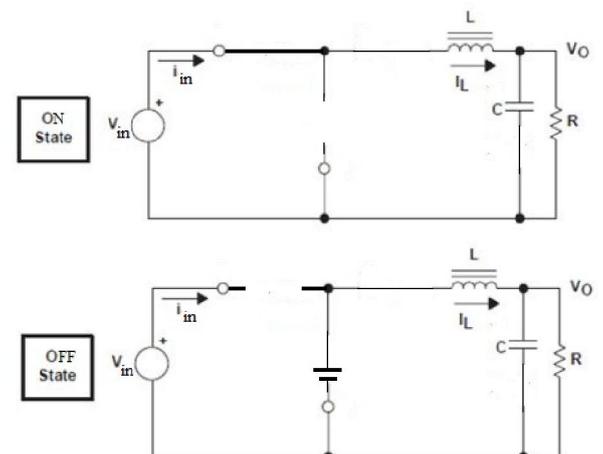
## 3) Buck Converter

*Buck converter* merupakan konverter DC-DC yang berfungsi untuk menurunkan tegangan. Gambar 3 berikut merupakan rangkaian dari *buck converter*:



Gbr. 3 Topologi *Buck Converter*

Untuk mempermudah dalam menganalisa rangkaian *buck*, Gambar 4 berikut ini merupakan *state* dari rangkaian *buck* pada saat *state ON* dan *state OFF*:



Gbr. 4 Rangkaian *Buck* pada saat *State ON* dan *State OFF*

*State ON*

Ketika berada pada *state ON*, *switch* Q1 akan berfungsi sebagai saklar yang menutup (konduksi) selama interval waktu  $dt$ , maka arus dari tegangan sumber  $V_{in}$  akan mengalir melalui induktor L, beban dan kembali lagi ke sumber. Karena tegangan yang diberikan kepada induktor konstan, maka arus yang melewati induktor meningkat secara *linier*.

*State OFF*

Ketika berada pada *state OFF*, Q1 menjadi terbuka mengakibatkan arus dari sumber *input* tidak dapat mengalir melewati *switch* ini. Sehingga sumber dari tegangan *output* sekarang berasal dari induktor dan kapasitor dimana dioda D menjadi aktif. Arus mengalir dari induktor L ke beban melalui dioda dan kembali menuju induktor L. Karena tegangan induktor menjadi lebih kecil dibandingkan saat *state ON* dan konstan, maka arus yang melewati induktor akan menjadi turun secara *linier*. Nilai tegangan masukan yang dihasilkan dapat dihitung melalui persamaan berikut :

$$V_o = D.V_{in} \quad (9)$$

Untuk mendesain konverter perlu ditetapkan beberapa variabel, yaitu tegangan input, tegangan output, arus output dan frekuensi *switching*. Dalam menentukan besarnya nilai induktor dan kapasitor dapat menggunakan persamaan berikut :<sup>[6]</sup>

$$L = \frac{V_{in}D(1-D)}{f \Delta I_L} \quad (10)$$

$$C = \frac{V_{in}D(1-D)}{8L\Delta V f^2} \quad (11)$$

Dimana :

$V_o$  = Tegangan keluaran

$V_{in}$  = Tegangan masukan

D = *Duty cycle*

L = Nilai induktor (induktansi)

$\Delta I_L$  = *Ripple* arus

f = Frekuensi

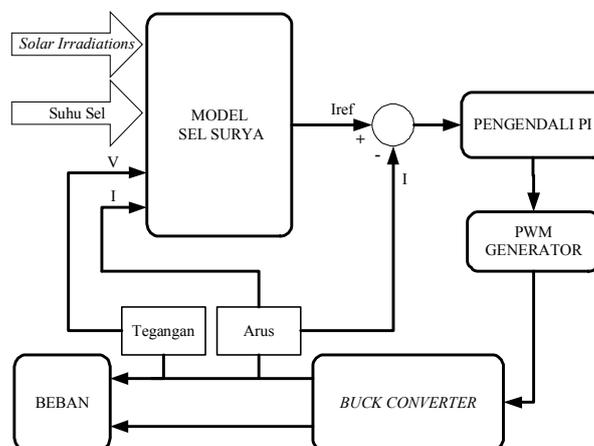
C = Nilai Kapasitor

$$\Delta V = \text{Ripple tegangan}$$

## III. METODE PENELITIAN

## A. Pemodelan dan Simulasi Emulator Sel Surya

Secara umum pemodelan dan simulasi emulator sel surya dapat direpresentasikan dengan blok diagram yang ditunjukkan pada Gambar 5 sebagai berikut :



Gbr. 5 Blok Diagram Pemodelan dan Simulasi Emulator Sel Surya

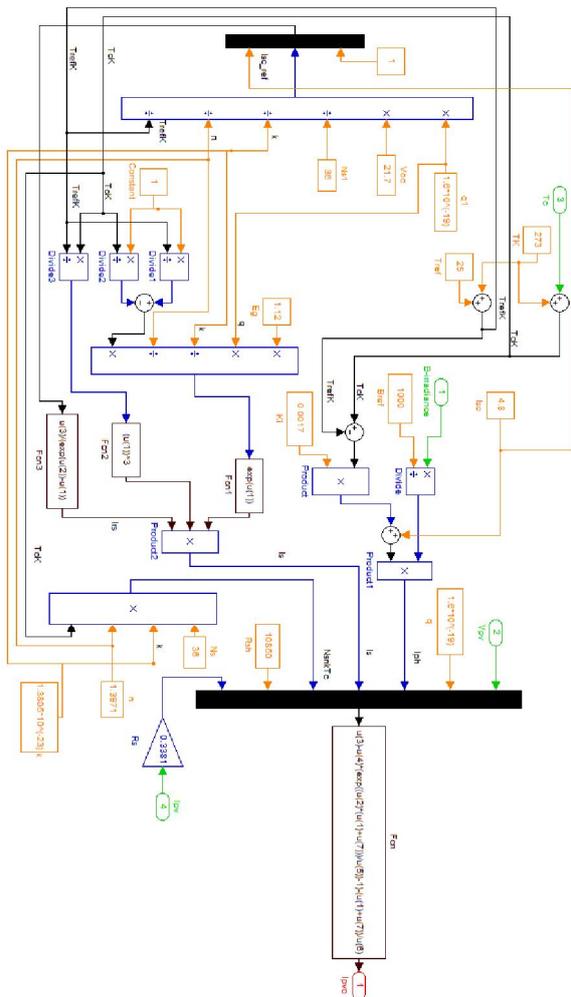
## 1) Pemodelan Sel Surya

Pemodelan sel surya didasarkan pada penggunaan persamaan matematis dari karakteristik sel surya. Dalam penelitian ini menggunakan modul sel surya *Shell SP75* sebagai modul referensi.

Tabel 1 Parameter Modul *Shell SP75* pada *Standart Test Conditions*

No	Parameter	Nilai
1	Daya Maksimum ( $P_m$ )	75 W
2	Tegangan pada Daya Maksimum ( $V_m$ )	17 V
3	Arus pada Daya Maksimum ( $I_m$ )	4.4 A
4	Tegangan Hubung Terbuka ( $V_{oc}$ )	21.7 V
5	Arus Hubung Singkat ( $I_{sc}$ )	4.8 A
6	Jumlah Sel Seri ( $N_s$ )	36
7	Resistansi Seri ( $R_s$ )	0.338 $\Omega$
8	Resistansi paralel ( $R_{sh}$ )	10850 $\Omega$
9	Faktor Ideal (n)	1.3971

Dari nilai persamaan dan nilai setiap parameter di atas maka dapat dihasilkan pemodelan yang ditunjukkan Gambar 6 sebagai berikut :



Gbr. 6 Model Simulasi Sel Surya

2) Pemodelan Buck Converter

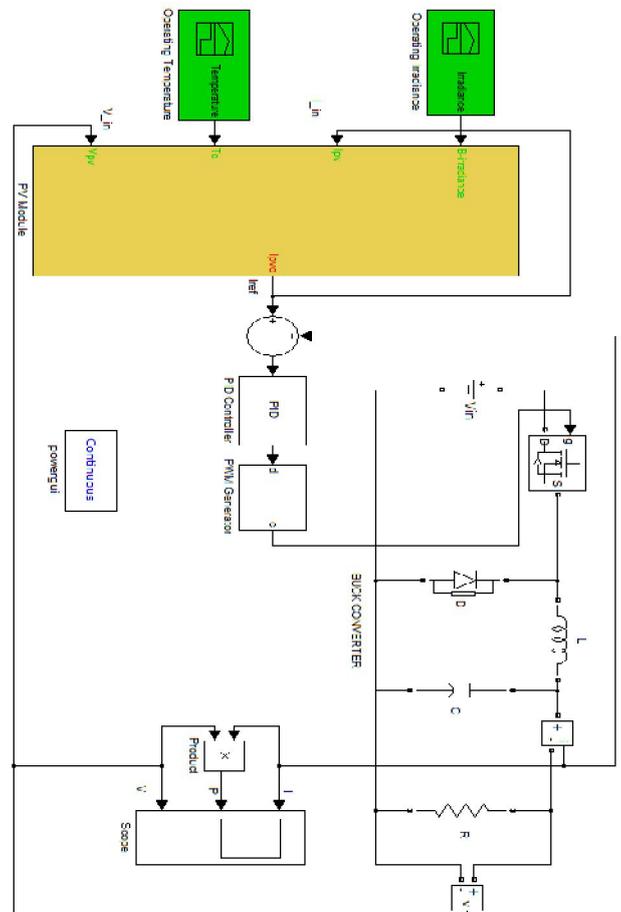
Penelitian ini menggunakan DC-DC konverter jenis *buck converter* untuk menghasilkan tegangan dan arus keluaran yang sesuai dengan karakteristik sel surya. Pemodelan buck converter menggunakan nilai parameter-parameter yang ditunjukkan pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2 Parameter-Parameter untuk Pemodelan *Buck Converter*

No	Parameter	Nilai
1	Tegangan Masukan ( $V_{in}$ )	35 V
2	Tegangan Keluaran ( $V_{out}$ )	21.7 V
3	Arus Keluaran ( $I_{sc}$ )	4.8 A
4	Ripple Arus ( $\Delta I$ )	5 %
5	Ripple Tegangan ( $\Delta V$ )	5 %
6	Frekuensi (f)	20000 Hz
7	Duty Cycle (D)	0.62
8	Nilai Induktor (L)	1,718 mH
9	Nilai Kapasitor (C)	1,382 $\mu F$

3) Pengujian Model Emulator Sel Surya Keseluruhan

Setelah setiap subsistem telah selesai dimodelkan dan diuji, maka selanjutnya adalah menggabungkan subsistem-subsistem menjadi satu sistem emulator sel surya.



Gbr. 7 Model Emulator Sel Surya Secara Keseluruhan

Gambar 7 di atas adalah sistem emulator sel surya keseluruhan yang digunakan dalam

simulasi: Pengujian sistem emulator sel surya dilakukan dengan memberikan masukan *irradiance* dan suhu sel yang bervariasi serta memberikan nilai beban yang bervariasi untuk mendapatkan kurva karakteristiknya.

### B. Perancangan Perangkat Keras Emulator Sel Surya

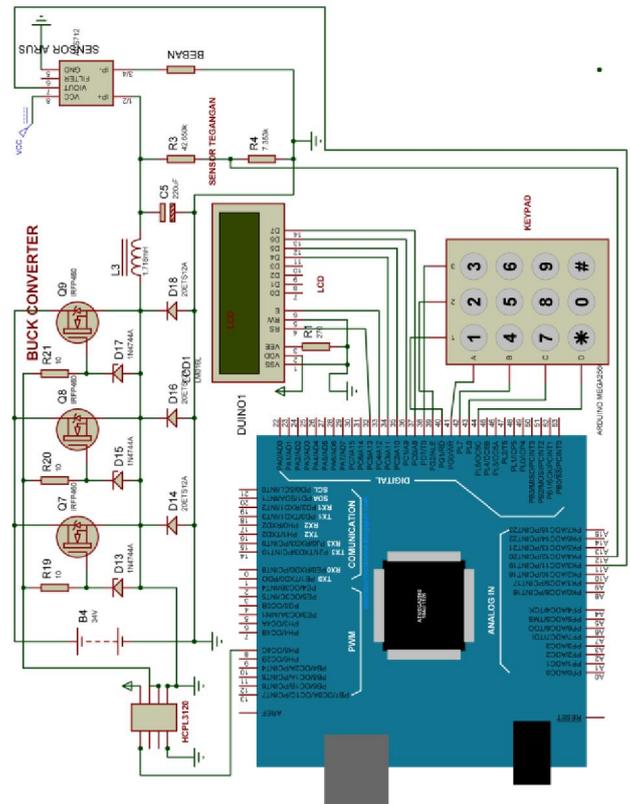
Rancangan emulator sel surya yang dibuat terdiri dari beberapa subsistem, yaitu mikrokontroler Arduino Mega 2560, rangkaian *gate driver* berbasis HCPL3120, rangkaian *buck converter*, sensor tegangan, sensor arus ACS712, beban, antarmuka masukan (menggunakan *keypad*) dan keluaran (menggunakan *liquid crystal display*, LCD). Masing-masing subsistem tersebut memiliki fungsi dan saling terhubung dengan subsistem yang lain.

Urutan kerja dari emulator sel surya dijelaskan sebagai berikut:

- Mikrokontroler digunakan untuk memodelkan sel surya dengan menggunakan persamaan matematis sel surya. Dengan memberikan masukan nilai *irradiance*, suhu serta nilai arus dan tegangan keluaran *buck converter* yang diumpankan, maka pemodelan secara matematis ini akan menghasilkan nilai arus referensi. Kesalahan nilai arus akan dikendalikan oleh kendali PI dan sinyal kendali yang dihasilkan sebagai masukan osilator untuk menghasilkan pulsa kontrol.
- Pulsa-pulsa kontrol akan mengendalikan *switch* pada *buck converter* untuk membuka atau menutup.
- Tegangan dan arus keluaran dari *buck converter* akan disensor sebagai keluaran dari emulator sel surya dan diumpankan ke mikrokontroler.
- Saat nilai beban berubah maka arus dan tegangan akan berubah sehingga arus referensi hasil pengolahan di dalam Arduino akan berubah sesuai karakteristik sel surya. Operasi ini akan terus berulang secara *close loop*, sehingga akan dihasilkan

nilai tegangan dan arus yang sesuai dengan karakteristik sel surya.

Rancangan rangkaian sistem emulator sel surya secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 8 sebagai berikut :



Gbr. 8 Rancangan Rangkaian Emulator Sel Surya

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan memberikan variasi nilai masukan berupa *irradiance*, suhu sel pada nilai beban yang juga bervariasi. Nilai *irradiance* adalah 200 hingga 1000 W/m<sup>2</sup> dengan kenaikan sebesar 200 W/m<sup>2</sup>, sedangkan nilai suhu adalah 20 hingga 60 °C dengan kenaikan sebesar 20 °C, serta divariasikan pada nilai beban resistif dari 1 hingga 500 Ω. Pada penelitian ini menggunakan modul *Shell SP75* sebagai modul referensi. Realisasi prototipe emulator sel surya ditunjukkan pada Gambar 9 berikut:

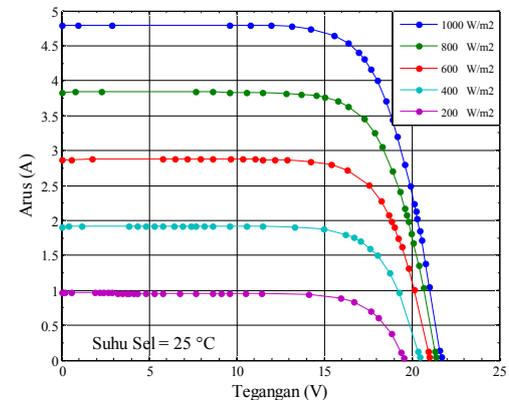


Gbr. 9 Prototipe Emulator Sel Surya

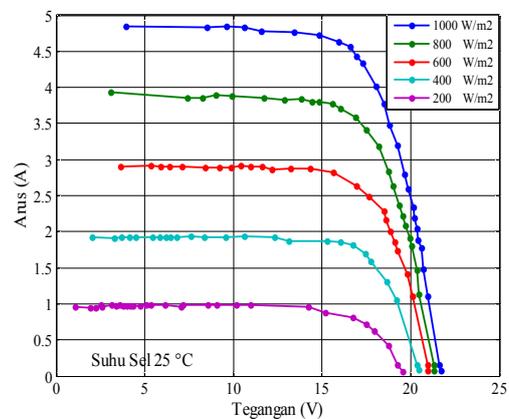
Untuk memvalidasi bahwa hasil pengujian emulator sel surya telah dapat menggantikan sel surya sebenarnya dalam menghasilkan karakteristik sel surya, maka dilakukan perbandingan antara data hasil pengujian emulator sel surya karakteristik yang dimiliki modul sel surya *Shell SP75* yang tertera pada Tabel 1.

Pengujian pada kondisi standar (suhu sel  $25^{\circ}\text{C}$  dan *irradiance*  $1000\text{ W/m}^2$ ), emulator sel surya menghasilkan karakteristik yang sesuai dengan karakteristik acuan yang dimiliki modul sel surya referensi. Pada simulasi didapatkan daya maksimum sebesar  $74.742\text{ W}$  pada tegangan  $16.962\text{ V}$  dan arus  $4.406\text{ A}$ . Pada pengujian perangkat keras emulator sel surya didapatkan daya maksimum sebesar  $75.53\text{ W}$  pada tegangan  $16.60\text{ V}$  dan arus  $4.56\text{ A}$ . Jika dibandingkan dengan karakteristik modul *Shell SP75* yang tertera pada Tabel 3.1, dimana daya maksimum adalah  $75\text{ W}$  pada tegangan  $17\text{ V}$  dan arus  $4.4\text{ A}$ , maka hasil simulasi maupun perangkat keras emulator sel surya memiliki nilai kesalahan yang sangat kecil. Hasil simulasi emulator sel surya memiliki rata-rata kesalahan sebesar  $0.344\%$  untuk nilai daya,  $0.136\%$  untuk nilai arus, dan  $0.224\%$  untuk nilai tegangan. Sedangkan pada perangkat keras emulator sel surya memiliki rata-rata kesalahan sebesar  $0.707\%$  untuk nilai daya,  $3.636\%$  untuk nilai arus, dan  $2.353\%$  untuk nilai tegangan.

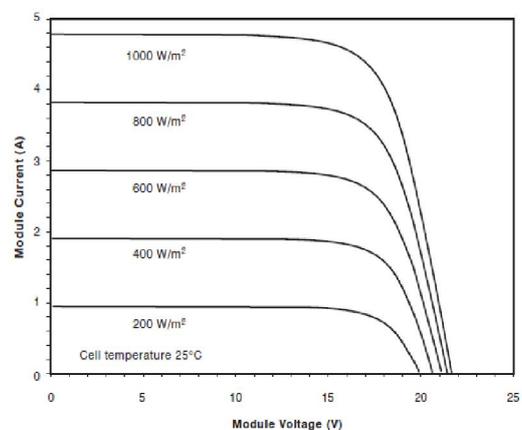
Selain dengan menggunakan nilai parameter di atas, perbandingan dapat dilakukan dengan membandingkan kurva karakteristik yang dihasilkan dari simulasi dan pengujian perangkat keras emulator sel surya dengan kurva karakteristik yang dimiliki modul *Shell SP75*. Perbandingan tersebut ditunjukkan pada Gambar 10 dan 11 berikut :



(a)



(b)

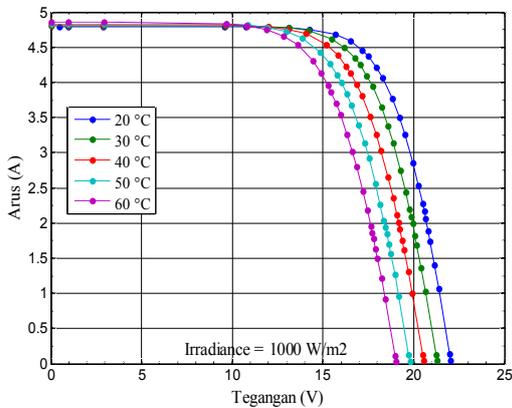


(c)

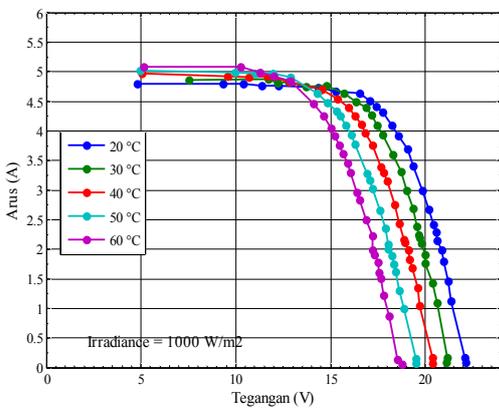
Gbr. 10 Perbandingan Kurva Karakteristik I-V Emulator Sel Surya (a) Simulasi dan (b) Perangkat Keras dengan (c) Modul *Shell SP75* pada *Irradiance* yang Bervariasi

Perbandingan kurva karakteristik hubungan antara nilai arus dan tegangan (kurva I-V) saat nilai *irradiance* divariasikan pada nilai beban yang juga bervariasi ditunjukkan pada Gambar 10.

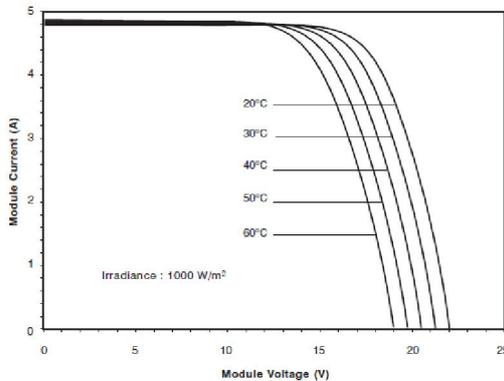
Perbandingan kurva karakteristik hubungan antara nilai arus dan tegangan (kurva I-V) saat nilai suhu sel divariasikan pada nilai beban yang juga bervariasi ditunjukkan pada Gambar 11.



(a)



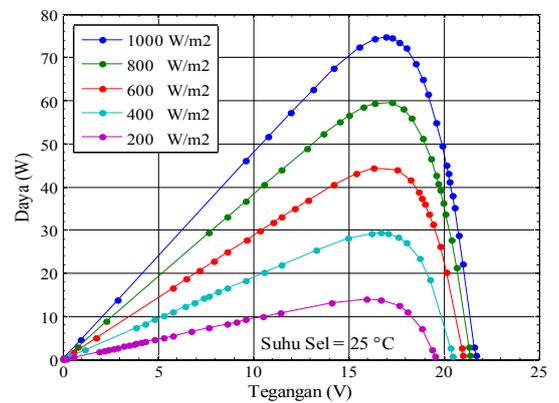
(b)



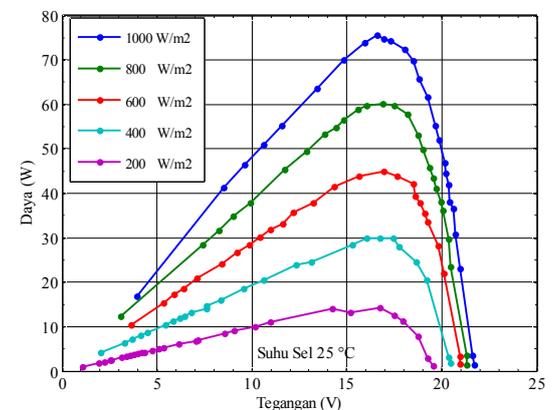
(c)

Gbr. 11 Perbandingan Kurva Karakteristik I-V Emulator Sel Surya (a) Simulasi dan (b) Perangkat Keras dengan (c) Modul *Shell SP75* pada Suhu Sel yang Bervariasi

Terlihat dari Gambar 10 dan 11 di atas bahwa kurva karakteristik hasil pengujian emulator sel surya memiliki kesamaan dengan kurva karakteristik modul referensi. Saat nilai *irradiance* dan suhu sel divariasikan, kurva karakteristik yang dihasilkan mampu mengikuti karakteristik sel surya sebenarnya. Selain kurva karakteristik I-V, hasil pengujian emulator sel surya dapat disajikan dalam kurva karakteristik hubungan antara tegangan dan daya (kurva P-V) untuk melihat pengaruh masukan *irradiance* dan suhu terhadap daya keluaran. Kurva P-V tersebut ditunjukkan pada Gambar 12 dan 13 dimana Gambar 12 menunjukkan kurva karakteristik P-V saat nilai *irradiance* divariasikan dan Gambar 13 saat nilai suhu sel divariasikan.

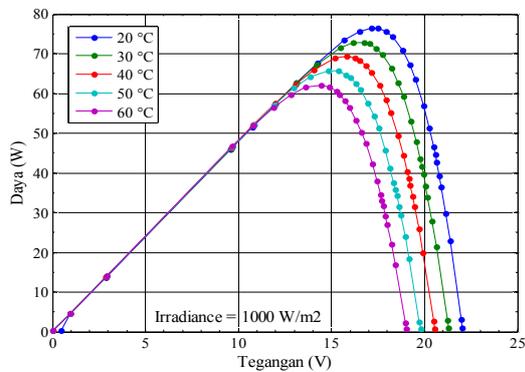


(a)

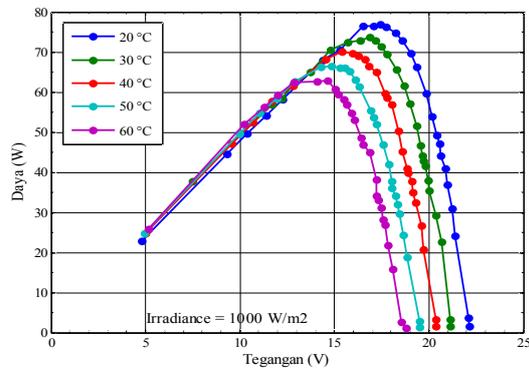


(b)

Gbr. 12 Kurva Karakteristik P-V saat Nilai *Irradiance* Divariasikan pada (a) Simulasi dan (b) Perangkat Keras Emulator Sel Surya



(a)



(b)

Gbr. 13 Kurva Karakteristik P-V saat Nilai Suhu Sel Divariasikan pada (a) Simulasi dan (b) Perangkat Keras Emulator Sel Surya

Kurva karakteristik yang ditunjukkan oleh Gambar 11 sampai dengan Gambar 13 memperlihatkan bahwa variasi nilai *irradiance* dan suhu sel mempengaruhi nilai keluaran emulator sel surya yaitu arus, tegangan dan daya. Pengaruh tersebut adalah semakin menurun nilai *irradiance* maka arus hubung singkat emulator sel surya akan semakin menurun. Nilai tegangan hubung terbuka juga menurun walau tidak terlalu besar. Perubahan nilai *irradiance* dapat mengacu berdasarkan persamaan 3, dimana besarnya arus  $I_{ph}$  yang dihasilkan adalah berbanding lurus dengan besarnya *irradiance*. Pada modul sel surya sebenarnya, hal ini terjadi karena saat *irradiance* berkurang menyebabkan elektron-elektron yang terlepas semakin sedikit sehingga arus listrik yang dihasilkan menurun.

Pemberian nilai suhu sel yang bervariasi juga mempengaruhi nilai keluaran emulator

sel surya, yaitu nilai tegangan hubung terbuka dan daya maksimum keluaran akan semakin menurun saat suhu sel semakin besar. Sedangkan arus hubung singkat akan semakin besar namun tidak terlalu signifikan. Penurunan nilai tegangan ini adalah karena menurunnya energi *gap* ketika suhu meningkat sehingga perbedaan potensial juga akan menurun. Selain itu akibat menurunnya *band gap* ini maka elektron akan mudah melompati daerah *band gap* sehingga akan terjadi sedikit peningkatan arus sel.

Terlihat pada kurva karakteristik di atas bahwa setiap penurunan *irradiance* sebesar  $200 \text{ W/m}^2$  maka arus hubung singkat, tegangan hubung terbuka dan daya maksimum akan menurun. Nilai penurunan rata-rata adalah sebesar  $0.97 \text{ A}$  untuk nilai arus hubung singkat,  $0.54 \text{ V}$  untuk tegangan hubung terbuka dan  $15.313 \text{ W}$  untuk daya maksimum. Selain itu, nilai rata-rata penurunan tegangan hubung terbuka dan daya maksimum yang terjadi setiap kenaikan suhu sebesar  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  adalah sebesar sebesar  $0.833 \text{ V}$  dan  $3.525 \text{ W}$ , sedangkan arus akan bertambah yaitu sebesar  $0.073 \text{ A}$ .

## V. PENUTUP

Emulator sel surya yang diusulkan telah dapat menggantikan sel surya sebenarnya dalam menghasilkan karakteristik dari sel surya. Pada pengujian kondisi standar ( $25 \text{ }^\circ\text{C}$  dan  $1000 \text{ W/m}^2$ ), memiliki karakteristik yang sama dengan modul referensi dengan rata-rata kesalahan pengujian sebesar  $0.707\%$  untuk pengukuran daya maksimum,  $3.636\%$  untuk pengukuran arus hubung singkat dan  $2.353\%$  untuk pengukuran tegangan hubung terbuka.

Penurunan nilai *irradiance* menyebabkan arus hubung singkat dan tegangan hubung terbuka menurun, serta menurunkan nilai daya maksimum yang dihasilkan emulator sel surya. Peningkatan nilai suhu sel akan menurunkan besar tegangan hubung terbuka, namun arus hubung singkat akan bertambah

walaupun tidak signifikan, serta menurunkan nilai daya maksimum yang dihasilkan emulator sel surya.

Penurunan *irradiance* sebesar  $200 \text{ W/m}^2$  mengakibatkan arus hubung singkat, tegangan hubung terbuka dan daya maksimum mengalami penurunan rata-rata sebesar 0.97 A, 0.54 V dan 15.313 W, sedangkan kenaikan suhu sel sebesar  $10^\circ\text{C}$  mengakibatkan tegangan hubung terbuka dan daya maksimum mengalami penurunan rata-rata sebesar sebesar 0.833 V dan 3.525 W namun nilai arus hubung singkat mengalami kenaikan sebesar 0.073 A.

## REFERENSI

- [1] De Soto, W, S.A Klein, and W.A. Beckman. 2006. *Improvement and Validation of a Model for Photovoltaic Array Performance*. Solar Energy 80. Halaman 78-88.
- [2] Pandiarajan, N, and Ranganath Muthu. 2011. *Mathematical Modeling of Photovoltaic Module with Simulink*. International Conference on Electrical Energy System (ICESS 2011). Halaman 314-319.
- [3] Khezzer, R, M Zereg, and A Khezzer. *Comparative Study of Mathematical Methods for Parameters Calculation of Current-Voltage Characteristic of Photovoltaic Module*. Jurnal. Universite Mentouri. Constantine, Algeria. Halaman 24-28.
- [4] Yusivar, F, Y. Farabi, R. Suryadiningrat, W.W. Ananduta, and Y. Syaifudin. 2011. *Buck Converter Photovoltaic Simulator*. International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS). Halaman 156-167. ISSN: 2088-8694.
- [5] Petkov, M, D. Markova, St. Platikanov. 2011. *Modelling of Electrical Characteristics of Photovoltaic Power Supply Sources*. Brief Scientific Paper. Contemporary Materials (Renewable Energy Source), II-2. Page 171 of 177.
- [6] Durago, Joseph. 2011. *Photovoltaic Emulator Adaptable to Irradiance, Temperature and Panel- Specific I-V Curves*. Thesis. Faculty of California Polytechnic State University. San Luis Obispo.