

## Model *Dye-Sensitized Solar Cell* dan Aplikasinya Berdasarkan Data Temperatur Harian

<sup>1\*</sup>Aliefia Noor, <sup>1</sup>Meri Hamdini, <sup>1</sup>Salsabila Ramadina, <sup>1</sup>Yuant Tiandho

Jurusan Fisika Universitas Bangka Belitung

E-mail: [aliefianoor@gmail.com](mailto:aliefianoor@gmail.com); [yuant@ubb.ac.id](mailto:yuant@ubb.ac.id)

### Abstrak

*Dye-Sensitized Solar Cells* (DSSC) merupakan jenis fotovoltaik yang dilengkapi dengan zat warna yang berfungsi sebagai aseptor cahaya matahari. Potensi besar pemanfaatan DSSC terletak pada kemudahan proses sintesis serta *dye* yang digunakan dapat berasal dari tanaman. Namun, seperti umumnya sel surya tipe lain, peningkatan temperatur operasional dapat mendegradasi performa DSSC sehingga efisiensinya menurun. Di dalam artikel ini, disajikan suatu model hubungan antara pengaruh temperatur terhadap performa DSSC. Model yang diajukan berasal dari keekuivalenan DSSC dengan suatu rangkaian dioda. Melalui konfirmasi dengan hasil penelitian eksperimen, diketahui bahwa model yang diajukan dalam penelitian ini memiliki akurasi yang sangat baik pada berbagai parameter performa DSSC ( $R^2 > 0.99$ ). Adapun performa yang dikaji meliputi bentuk kurva I-V, nilai arus short-circuit, arus kebocoran dioda, dan tegangan open-circuit. Selain itu, berdasarkan data temperatur harian di Kota Pangkalpinang juga dapat ditentukan potensi performa DSSC ketika mulai dikembangkan di Kep. Bangka Belitung. Nilai arus *short-circuit* yang diperoleh berada pada kisaran 14 A dengan tegangan berkisar pada 0,6 V. Diharapkan model yang diajukan ini dapat menjadi suatu masukan bagi pengembangan DSSC karena potensi aplikasinya yang besar di Indonesia.

**Kata kunci:** Diode tunggal, DSSC, Pangkalpinang, sel surya.

## Dye Sensitive Solar Cell Model and Its Application Based on Daily Temperature Data

### Abstract

Dye-Sensitized Solar Cells (DSSC) is photovoltaic with a dye that functions as an acceptor of sunlight. The great potential of using DSSC lies in the ease of the synthesis process, and the dyes used can come from plants. However, like most other solar cells, increasing the operating temperature can degrade the DSSC performance and thus decrease the efficiency. This article presents a model of the relationship between the effect of temperature on DSSC performance. The model proposed is derived from the DSSC equivalence with a diode circuit. By confirming the experimental research results, it is known that the model presented in this study has excellent accuracy on various DSSC performance parameters ( $R^2 > 0.99$ ). The performance studied includes the I-V curve's shape, the value of the short-circuit current, the diode leakage current, and the open-circuit voltage. Based on daily temperature data in Pangkalpinang City, the potential performance of the DSSC could also be determined when it was developed in Kep. Bangka Belitung. The short-circuit current value obtained is in the range of 14 A with a voltage of 0.6 V. It is hoped that this proposed model can be information for the development of DSSC because of its enormous potential application in Indonesia.

**Keywords:** Single diode, DSSC, Pangkalpinang, solar cell

**How to Cite:** Noor, A., Hamdini, M., Ramadina, S., Tiandho, Y. (2020). Model Dye-Sensitized Solar Cell dan Aplikasinya Berdasarkan Data Temperatur Harian. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Keilmuan (JPFK)*, 6(2), 131-138. [doi:http://doi.org/10.25273/jpfk.v6i2.7707](http://doi.org/10.25273/jpfk.v6i2.7707)

## PENDAHULUAN

Isu terkait reduksi emisi karbon dan pemanfaatan energi terbarukan merupakan isu yang tengah hangat di berbagai negara guna mendukung pembangunan berkelanjutan (Tiandho et al., 2018). Sebagai negara yang terletak di daerah tropis, Indonesia menyimpan potensi energi surya yang besar. Mayoritas daerah di Indonesia memperoleh radiasi harian rata-rata sekitar lebih dari 4 kWh/m<sup>2</sup> dengan penyinaran matahari yang baik hampir sepanjang tahun (Tiandho et al., 2019). Oleh karena itu pemanfaatan energi surya untuk memenuhi berbagai kebutuhan energi nasional menjadi peluang yang menarik untuk dikembangkan (Handayani et al., 2019; NA, 2012).

Sel surya atau fotovoltaik merupakan divais yang dapat digunakan untuk mengubah energi surya menjadi energi listrik secara langsung. Terdapat beberapa jenis sel surya yang telah dikomersialisasikan atau tengah dikembangkan seperti sel surya silikon, sel surya perovskite, dan *dye-sensitized solar cell* (DSSC). DSSC merupakan jenis fotovoltaik yang berbasis zat warna yang berfungsi sebagai aseptor cahaya matahari (Sebastian et al., 2004). Meskipun, efisiensi DSSC saat ini relatif lebih rendah dibandingkan dengan sel surya silikon, tetapi DSSC memiliki potensi menjanjikan dalam pengembangan sel surya yang mudah, murah, dan ramah lingkungan. *Dye* pada DSSC dapat berasal dari pewarna alami tanaman. Beberapa ekstrak tanaman yang dimanfaatkan diantaranya adalah kunyit, beras hitam, dan daun pandan (Dahlan et al., 2016).

Berbagai eksperimen telah menunjukkan bahwa peningkatan temperatur operasional akan mereduksi efisiensi DSSC. Temperatur akan mendegradasi kemampuan DSSC dalam membangkitkan tegangan listrik. Oleh karena itu, temperatur menjadi parameter yang perlu mendapat perhatian ketika memilih DSSC sebagai divais pemanenan energi surya (Kim et al., 2015; Sebastian et al., 2004).

Di dalam makalah ini, diajukan suatu model sederhana rangkaian listrik ekuivalen untuk DSSC. Model ini menganalogikan DSSC sebagai suatu sirkuit rangkaian listrik dengan satu buah dioda. Kesederhaan model yang diajukan diharapkan dapat menyederhanakan proses kalkulasi tanpa mengurangi akurasi perhitungan secara signifikan. Selanjutnya, dari model tersebut kami mencoba untuk mengaplikasikannya pada data meteorologi Kota Pangkalpinang agar aplikasi dari model ini dapat terlihat dengan jelas. Diharapkan dengan adanya model ini dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif terkait potensi pengaplikasian DSSC di Indonesia.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian pemodelan. Proses pemodelan dilakukan dengan menganalogikan DSSC bekerja layaknya sirkuit elektronik dengan dioda tunggal. Ide tersebut berangkat dari fakta bahwa kurva I-V yang dihasilkan oleh DSSC analogi dengan sirkuit tersebut. Proses regresi dilakukan dengan metode *least square* sehingga diperoleh parameter fitting terbaik untuk digunakan dalam proses simulasi selanjutnya. Berbagai parameter yang akan dianalisis diantaranya adalah nilai  $I_{sc}$  (arus short-circuit),  $I_o$  (arus balik saturasi), dan  $V_{oc}$  (tegangan open-circuit) dari suatu eksperimen dengan menggunakan modul DSSC.

Untuk melakukan simulasi prediksi potensi DSSC berdasarkan data meteorologi, digunakan data temperatur rata-rata harian Kota Pangkalpinang sejak bulan Januari hingga Juli tahun 2020. Data meteorologi tersebut diperoleh dari situs Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika pada laman:

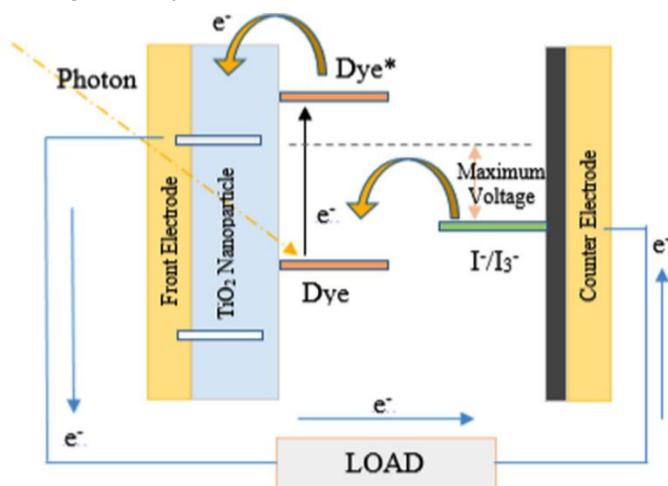
<http://dataonline.bmkg.go.id/home> (BMKG, 2020). Data harian temperatur Kota Pangkalpinang diterbitkan oleh Stasiun Meteorologi Depati Amir. Proses simulasi dilakukan dengan mensubstitusikan temperatur harian yang diperoleh ke dalam persamaan parameter DSSC yang telah diperoleh sebelumnya.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Cara Kerja DSSC

Sel surya DSSC bekerja berdasarkan sistem fotoelektrokimia, dimana proses separasi muatan dilakukan oleh bahan semikonduktor dan absorpsi cahaya oleh molekul pewarna. Sel ini disusun secara sandwich yang dibentuk dari dua buah substrat berupa transparent-conducting-oxide (TCO-glass) (Afandi et al., 2016). Konsentrator surya, penukar panas, dan sistem pembersihan permukaan dapat sangat mempengaruhi sifat fotovoltaik DSSC dengan memengaruhi intensitas cahaya dan suhu pengoperasian, yang sebagian besar mengganggu pembangkitan elektron di fotoelektroda dan pengangkutan muatan dalam elektrolit cair (Kim et al., 2015).

Absorpsi cahaya dan separasi muatan listrik pada DSSC, terjadi pada proses terpisah dan tidak seperti sel surya silikon yang seluruh prosesnya hanya melibatkan silikon. Absorpsi cahaya dilakukan oleh molekul dye (Hardeli, et al., 2013). Sedangkan separasi muatan dilakukan oleh inorganik semikonduktor nanokristal dengan band gap yang lebar, seperti  $\text{TiO}_2$ . Secara ringkas skema cara kerja DSSC seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



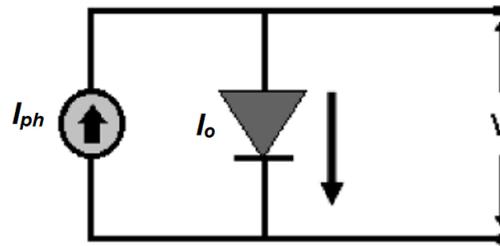
**Gambar 2.** Skema cara kerja DSSC (Jelle, 2016)

Performa dari DSSC ditentukan dari daya listrik atau energi listrik yang dihasilkan oleh DSSC ketika mendapat disinari oleh cahaya. Kemampuan ini direpresentasikan dalam kurva arus-tegangan ( $I - V$ ). Selain itu, nilai efisiensi juga menjadi ukuran global dalam menentukan kualitas performansi suatu sel surya (Kumara, 2020).

### 2. Model Performa DSSC

Sel surya DSSC analogi/ekuivalen dengan rangkaian diode tunggal dengan mengabaikan hambatan karena nilainya tidak signifikan seperti ditunjukkan oleh Gambar 1. Rangkaian dioda ini menjadi inspirasi dalam penulisan artikel ini karena dengan ringkas menggambarkan cara kerja DSSC yang akan menghasilkan listrik

ketika disinari foton. Karakteristik DSSC yang memiliki sifat kelistrikan hampir serupa dengan dioda, sering disajikan dengan kurva tegangan-arus (kurva I-V).



**Gambar 1.** Rangkaian listrik ekuivalen DSSC

Berdasarkan karakteristik kurva I-V yang dihasilkan oleh DSSC, dapat diajukan hubungan arus dengan tegangan yang dihasilkan sebagai berikut,

$$I = I_{ph} - I_0 \left( e^{\frac{qV}{mkT}} - 1 \right) \quad (1)$$

dengan  $I_{ph}$  adalah arus fotodegenerasi,  $I_0$  adalah arus balik saturasi (*reverse saturation current*),  $T$  adalah temperatur,  $q$  dan  $k$  masing-masing adalah muatan elektron dan konstanta Boltzmann, dan  $m$  faktor ideal dari diode. Oleh karena itu dengan menyatakan bahwa konstanta  $q$ ,  $k$ , dan  $m$  dapat dirangkum menjadi:

$A = \frac{q}{mk}$ , maka pers. (1) dapat dituliskan sebagai,

$$I = I_{ph} - I_0 \left( e^{\frac{AV}{T}} - 1 \right) \quad (2)$$

Berdasarkan kurva I-V nilai dari  $I_{ph}$  dapat ditentukan dari kondisi arus short-circuit ( $I_{sc}$ ). Kondisi tersebut terjadi ketika tidak ada tegangan yang terukur ( $V = 0$ ) dan arus mencapai nilai maksimumnya sehingga terjadi kondisi  $I_{ph} = I_{sc}$ . Dengan demikian, dengan menggunakan sedikit aljabar maka dapat dengan mudah ditentukan nilai dari tegangan open circuit ( $V_{oc}$ ) atau tegangan ketika tidak ada arus yang mengalir dari DSSC sebagai berikut:

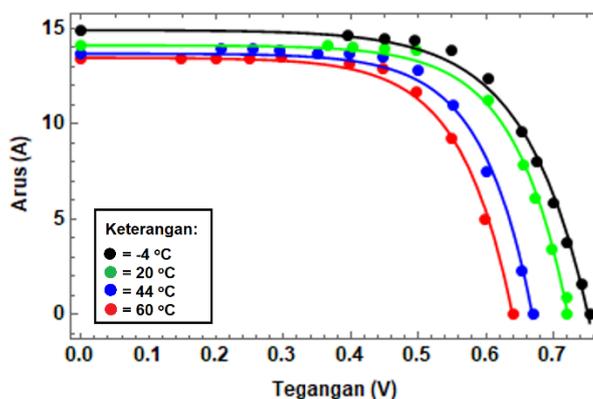
$$V_{oc} = \frac{T \left( c + \ln \left( \frac{I_{sc}}{I_0} + 1 \right) \right)}{A} \quad (3)$$

Dengan  $c$  adalah suatu konstanta empiris.

### 3. Konfirmasi dengan Data Eksperimen

Pada bagian ini dilakukan konfirmasi model yang diajukan dengan hasil eksperimen yang telah dilakukan oleh Kim et al. (2015). Modul DSSC yang dianalisis menggunakan semikonduktor jenis fotoelektroda berbasis nanopartikel  $\text{TiO}_2$  yang direndam dalam pewarna. Elektroda counter merupakan Pt dan elektrolit cair yang digunakan berbasis iodide (AN-50, Solaronix) dengan konsentrasi iodida 50 mM. Adapun kaca yang digunakan adalah FTO dan pengujian dilakukan pada temperatur  $-4^\circ\text{C}$ ,  $20^\circ\text{C}$ ,  $44^\circ\text{C}$  dan  $60^\circ\text{C}$ . Modul DSSC yang difabrikasi kemudian diiradiasi dengan simulator pencahayaan tipe AM 1.5 dengan intensitas mulai dari 25 hingga  $570 \text{ mW/cm}^2$ . Pada praktiknya, pencahayaan tipe AM 1.5 ekuivalen dengan kondisi radiasi matahari ketika sudut *solar zenith* =  $48,2^\circ$  dan telah kerap digunakan sebagai kondisi penentu karakteristik sel surya (Kim et al., 2015).

Pada Gambar 2 disajikan komparasi antara model yang diajukan pada penelitian ini dengan hasil eksperimen. Hasil komparasi menunjukkan kecocokan antara model dengan hasil kurva I-V eksperimen. Tampak bahwa semakin tinggi temperatur operasional maka semakin rendah nilai tegangan  $V_{oc}$  yang dihasilkan oleh DSSC begitu pula dengan  $I_{sc}$ -nya.



**Gambar 2.** Komparasi Kurva I-V antara model (garis) dengan eksperimen (titik) (Kim et al., 2015)

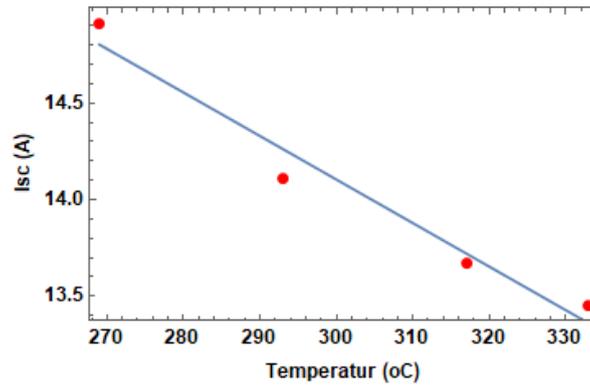
Melalui data fitting maka diperoleh parameter dari DSSC yang dianalisis pada penelitian ini seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Tampak bahwa nilai  $R^2$  yang diperoleh dari komparasi antara model dengan data eksperimen telah cukup tinggi yaitu  $R^2 > 0.99$  untuk semua kasus temperatur, sebagai indikasi bahwa model yang diajukan cukup akurat.

**Tabel 1.** Parameter pemodelan

Temperatur (K)	$I_{sc}$ (A)	$V_{oc}$ (V)	$I_o$ (A)	$A$ ( $^{\circ}C^{-1}$ )	$R^2$
269	14.909	0.754	0.0047	2881.95	0.998
293	14.109	0.721	0.0014	3729.39	0.999
317	13.673	0.671	0.0017	4259.56	0.998
333	13.454	0.641	0.0031	4356.72	0.999

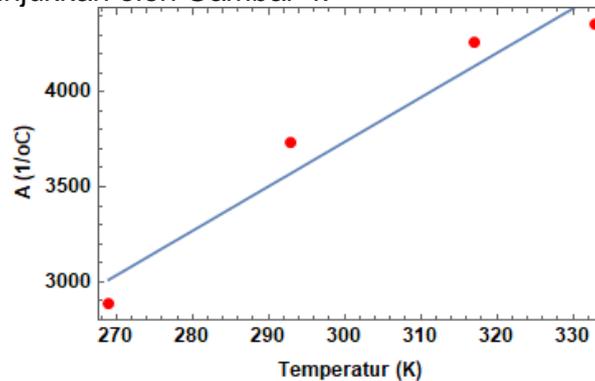
Menurunnya nilai  $V_{oc}$  dan  $I_{sc}$  pada penelitian ini berkaitan dengan kondisi band-gap semikonduktor yang turut berubah seiring dengan perubahan temperatur (Tiandho et al., 2018). Selain itu, pada DSSC peningkatan temperatur juga akan menurunkan viskositas elektrolit yang digunakan. Hal ini menyiratkan bahwa terjadi peningkatan mobilitas ion dalam cairan elektrolit yang berkaitan dengan peningkatan tingkat rekombinasi.

Pada Gambar 3 disajikan kurva  $I_{sc}$  dibandingkan dengan temperatur yang memiliki hubungan linear. Semakin tinggi temperatur kondisional, maka  $I_{sc}$  akan semakin menurun. Oleh karena itu, nilai dari  $I_{sc}$  sebagai fungsi temperatur dapat didekati dengan melakukan fitting data secara linear sehingga diperoleh nilai:  $20.8581 - 0.02251T$  dan nilai  $R^2 = 0.945$ .



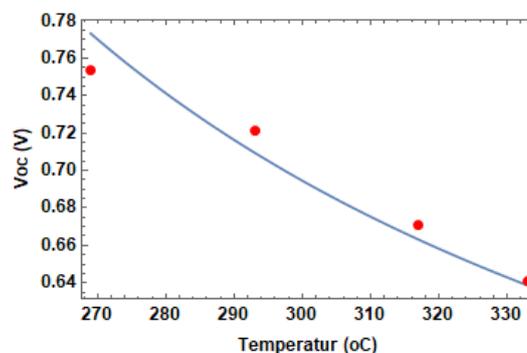
**Gambar 3.** Komparasi antara model yang diajukan (garis) dengan data eksperimen (titik) terkait hubungan antara temperatur dengan  $I_{sc}$  pada DSSC (Kim et al., 2015)

Adapun berdasarkan data pada Tabel 1, nilai untuk  $I_o$  cenderung tidak berubah signifikan terhadap temperatur sehingga bisa ditentukan nilai rata-ratanya adalah 0.002752 A. Sedangkan untuk  $A$  dapat diasumsikan berubah secara linear terhadap temperatur sehingga memenuhi persamaan:  $-3285.67 + 23.4078T$  dan  $R^2 = 0.912$  seperti ditunjukkan oleh Gambar 4.



**Gambar 4.** Komparasi antara model yang diajukan (garis) dengan data eksperimen (titik) terkait hubungan antara temperatur dengan parameter  $A$  (Kim et al., 2015)

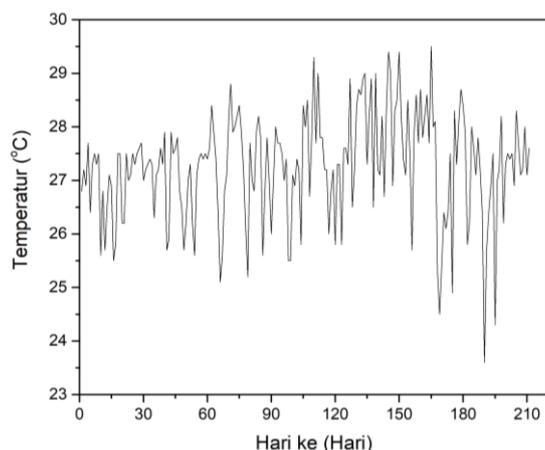
Adapun melalui pers. (3) dapat ditentukan hubungan antara  $V_{oc}$  dengan temperatur sebagai berikut  $V_{oc} = \frac{8.62272T + \ln(366.972(20.8609 - 0.0225145T))}{23.408T - 3285.7}$  dan  $R^2=0.999$ . Tampak bahwa model yang diajukan memiliki akurasi yang cukup tinggi. Agar lebih jelas hubungan tersebut disajikan pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Komparasi antara model yang diajukan (garis) dengan data eksperimen (titik) terkait hubungan antara temperatur dengan  $V_{oc}$  (Kim et al., 2015)

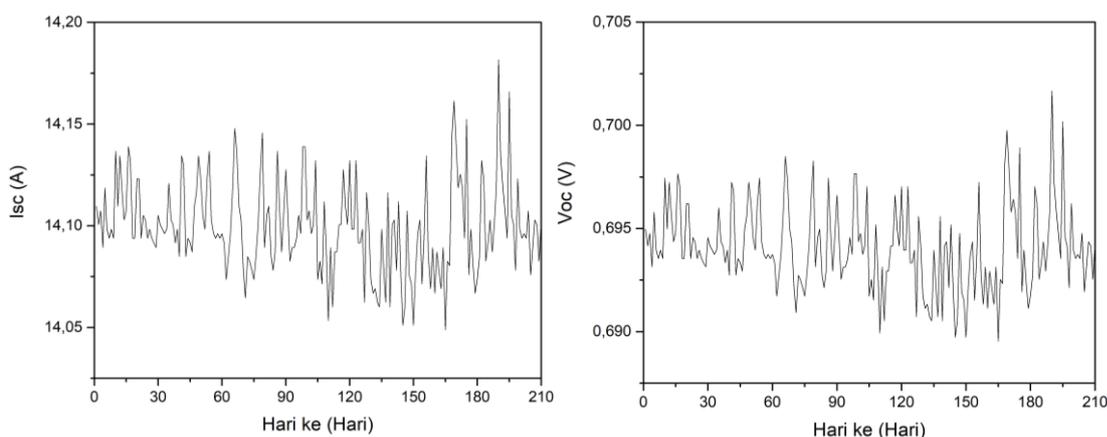
#### 4. Aplikasi pada Data Meteorologi: Studi Kasus Kota Pangkalpinang

Daerah Pangkalpinang memiliki penyinaran yang cukup baik dengan rentang suhu 23.6°C hingga 29.5°C. Data suhu persebaran sinar matahari diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) Kepulauan Bangka Belitung. Suhu rata-rata per hari dalam jangka waktu bulan Januari hingga bulan Juli tahun 2020 disajikan dalam Gambar 6.



**Gambar 6.** Temperatur harian Kota Pangkalpinang pada Januari hingga Juli 2020

Pada Gambar 7 disajikan hubungan performa DSSC terhadap temperatur Kota Pangkalpinang. Adapun performa yang dikaji berkaitan dengan nilai  $I_{sc}$  dan  $V_{oc}$ . Melalui hasil simulasi ini tampak bahwa nilai  $I_{sc}$  yang digenerasi oleh DSSC berkisar antara 14,05 hingga sekitar 14,20 A dan nilai  $V_{oc}$  yang dihasilkan berkisar antara 0,690 V hingga sekitar 0,705 V. Kondisi peningkatan performa DSSC tampak terjadi di sekitar hari ke-150 hingga hari ke-200. Hal ini berkaitan dengan terjadinya penurunan temperatur di sekitar hari tersebut.



**Gambar 7.** Prediksi nilai  $I_{sc}$  dan  $V_{oc}$  yang digenerasi DSSC di Kota Pangkalpinang sejak Januari hingga Juli 2020

#### KESIMPULAN

Studi ini menyatakan bahwa temperatur kondisional mempengaruhi suhu sel DSSC. Semakin tinggi temperatur menyebabkan peningkatan suhu sel yang membuat nilai  $I_{sc}$  dan  $V_{oc}$  mengalami penurunan. Akibatnya, nilai efisiensi yang

menjadi ukuran global dalam menentukan kualitas performa suatu sel surya juga menurun. Berdasarkan validasi model dengan data eksperimen tampak bahwa model yang diajukan dalam penelitian ini memiliki akurasi yang sangat baik. Model yang diajukan berangkat dari ide sirkuit elektronik ekuivalen DSSC dengan rangkaian dioda tunggal. Pengaplikasian model pada data meteorologi di Kota Pangkalpinang juga menunjukkan bahwa nilai  $I_{sc}$  dan  $V_{oc}$  mengalami peningkatan ketika terjadi penurunan temperatur dan dalam penelitian ini terjadi di sekitar hari ke-150 hingga hari ke-200.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afandi, I., Iswadi, I., & Hernawati, H. (2016). Studi Awal Fabrikasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) dengan Menggunakan Ekstrak Buah dan Daun Sirsak (*Annona Muricata* L) Sebagai Fotosensitizer. *JFT: Jurnal Fisika dan Terapannya*, 3, 1-13.
- BMKG. (2020). *Data harian temperatur Kota Pangkalpinang DATA ONLINE - PUSAT DATABASE - BMKG*. Retrieved Januari-Juli 2020 from <https://dataonline.bmkg.go.id/home>
- Dahlan, D., Leng, T. S., & Aziz, H. (2016). Dye sensitized solar cells (DSSC) dengan sensitiser dye alami daun pandan, akar kunyit dan biji beras merah (black rice). *Jurnal Ilmu Fisika Universitas Andalas*, 8(1), 1-8.
- Handayani, T. P., Hulukati, S. A., Jaya, R., Tiandho, Y., & Abdullah, R. (2019). The prototype of solar-powered building lighting IoT. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering,
- Kim, J. H., Moon, K. J., Kim, J. M., Lee, D., & Kim, S. H. (2015). Effects of various light-intensity and temperature environments on the photovoltaic performance of dye-sensitized solar cells. *Solar Energy*, 113, 251-257.
- Kumara, S. (2020). Sel Surya Berbasis Pewarna Alami Dan Potensi Pengembangannya Di Indonesia Sebagai Sumber Energi Alternatif Yang Ramah Lingkungan.
- NA, H. (2012). Potency of solar energy applications in Indonesia. *International Journal of Renewable Energy Development*, 1(2), 33-38.
- Sebastian, P., Olea, A., Campos, J., Toledo, J., & Gamboa, S. (2004). Temperature dependence and the oscillatory behavior of the opto-electronic properties of a dye-sensitized nanocrystalline TiO<sub>2</sub> solar cell. *Solar energy materials and solar cells*, 81(3), 349-361.
- Tiandho, Y., Dinata, I., Sunanda, W., Gusa, R. F., & Novitasari, D. (2019). Solar energy potential in Bangka Belitung islands, Indonesia. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science,
- Tiandho, Y., Gusa, R. F., Dinata, I., & Sunanda, W. (2018). Model for nanofluids thermal conductivity based on modified nanoconvective mechanism. E3S Web of Conferences,