

PENGARUH TEMPERATUR PERMUKAAN TERHADAP EFISIENSI KONVERSI PHOTOVOLTAIK TIPE MONO-CRYSTALINE PADA DAERAH TROPIS

Sri Sarna¹, Subhan¹, Reny Murniati¹, Syarifuddin Nojeng²

¹⁾ Staf Pengajar Teknik Elektro, Universitas Sawerigading, Makassar

²⁾ Staf Pengajar Teknik Elektro, Universitas Muslim Indonesia, Makassar

ABSTRAK

Abstract- Intensitas energi radiasi matahari merupakan sumber energi terbarukan yang potensinya sangat berlimpah. Dengan menggunakan sel photovoltaic (PV), energi matahari dapat dikonversi menjadi energi listrik, berdasarkan besarnya intensitas radiasi yang sampai ke permukaan bumi bervariasi pada setiap jam/hari. Penelitian ini membahas pengaruh perubahan temperatur panel surya terhadap daya output dan efisiensi pada sel surya dengan menggunakan perlakuan sistim pendinginan pada bagian bawah panel. Pada penelitian tersebut, digunakan sebuah sel surya dengan kapasitas 100 WP type mono-crystalline yang telah dirancang dengan perlakuan khusus untuk pemasangan di daerah tropis seperti Indonesia. Hasil penelitian diperoleh bahwa semakin besar kenaikan temperatur, maka daya output photovoltaik (PV) dan efisiensi PV cenderung mengalami penurunan. Berdasarkan hasil penelitian, menunjukkan adanya korelasi yang signifikan bahwa, antara temperatur permukaan PV dan efisiensi PV berbanding terbalik..

Kata Kunci: sel surya; temperatur; daya output; efisiensi; energi terbarukan, tropis.

I. PENDAHULUAN

Pemanfaatan sumber energi matahari (photovoltaik) ini menggunakan sel surya menghasilkan energi listrik DC yang dihasilkan oleh sel surya yang mendapat pancaran sinar matahari, kemudian diubah menjadi listrik AC dengan alat inverter. Selama cahaya matahari masih bersinar, energi listrik terus dihasilkan bahkan dalam ketika cuaca mendung atau berawan. Pemanfaatan sel surya (photovoltaic cells) saat ini banyak keutungan karena selain dapat digunakan untuk berbagai aplikasi catu daya di daerah terpencil juga di berbagai tempat perkotaan seperti perkantoran, pabrik, perumahan. Sebagai daerah tropis, Indonesia mempunyai potensi besar energi cahaya matahari, diperkirakan sekitar 4,5-

4,8 KWh/m² /hari. (BLUEPRINT PENGELOLAAN ENERGI NASIONAL 2006 – 2025). Sel photovoltaik (PV) sebagai komponen utama dalam PLTS dapat digunakan dalam skala kecil maupun besar, digunakan secara mandiri (Stand Alone) atau hybrid (dikombinasikan dengan beberapa pembangkit listrik yang lain) dan dapat dihubungkan dengan grid PLN. Energi radiasi matahari sebagai sumber energi foton pada sel surya, besarnya daya dan efisiensi PV sangat bergantung pada intensitas radiasi. Berdasarkan hal tersebut, parameter temperatur merupakan salah satu faktor dari radiasi matahari yang dapat mempengaruhi arus (I) keluaran sel surya sedangkan pengaruhnya terhadap nilai tegangan (V) cukup kecil. Radiasi energi foton yang dipancarkan ke bumi tidak

semuanya dimanfaatkan, akan tetapi hanya sebagian yang dapat sampai (direct radiation) karena pengaruh refleksi di atmosfer (diffuse radiation). Radiasi energi tersebut yang menjadi rujukan dalam menentukan jumlah radiasi yang dapat diterima sel surya. Radiasi matahari bukanlah satu-satunya parameter yang memiliki pengaruh terhadap kurva karakteristik V-I, namun perubahan temperatur panel juga memberikan pengaruh yang cukup signifikan. Adapun pengaruh temperatur terhadap keluaran sel surya yang cukup signifikan yaitu nilai tegangan (V), sedangkan untuk arus (I) pengaruhnya kecil sehingga dapat nyatakan bahwa antara pengaruh radiasi dengan temperatur terhadap daya dan efisiensi keluaran sel surya berbanding terbalik.

II. KAJIAN LITERATUR

Sel surya dapat bekerja optimal pada saat temperatur konstan yaitu 25°C. Jika temperatur sel surya meningkat di atas 25°C, maka akan berpengaruh besar terhadap faktor pengisian sehingga tegangan akan menurun. (Cotfas,2018). Energi matahari sebagai salah satu sumber energi terbarukan, memiliki potensi yang sangat besar dalam memenuhi kebutuhan energi dimasa depan. Sel surya adalah sebuah sistem pembangkit listrik alternatif ramah terhadap lingkungan yang sangat prospektif sebagai energi alternatif untuk menggantikan sistem pembangkit listrik berbahan baku energi fosil. Penetrasi pembangkit tenaga surya semakin meningkat guna mengurangi ketergantungan manusia akan bahan bakar fosil untuk memenuhi kebutuhan energinya khususnya Indonesia. Sel surya terdiri dari rangkaian sejumlah sel yang disusun seri dan parallel sesuai keperluan dalam meningkatkan tegangan atau arus yang dihasilkan. Di Indonesia, energi listrik keluaran PLTS dari sel surya yang optimum dapat diperoleh apabila posisi panelnya diarahkan dengan kemiringan

sudut tertentu sesuai lokasi pembangkit tenaga surya tersebut (Amelia,2016). Cahaya matahari yang menembus permukaan panel surya, selanjtnya dikonversi menjadi energi listrik DC. Besarnya arus listrik arus DC yang dihasilkan dari proses ini dapat digunakan untuk mencatu perlatan/komponen. Kemudian arus listrik DC tersebut melalui inverter diubah menjadi arus listrik AC (bolak-balik). Arus bolak balik (AC) yang merupakan keluaran dari inverter didistribusikan ke berbagai alat penerangan dan peralatan rumah tangga yang membutuhkan daya listrik. Sel Surya yang merupakan komponen utama dari sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) mengalami perkembangan proses pembuatan dan materialnya untuk memperoleh peningkatan efisiensi dan biaya produksi. Dimulai dari proses pembuatan sel surya yang diawali pada proses pemurnian silika. Selanjutnya dihasilkan bentuk silika solar grade (ingot), kemudian dilanjutkan dengan pemotongan silika menjadi wafer silika (Sameh,2015). Pada tahap ini, wafer silika diproses menjadi sel surya, kemudian sel-sel disusun membentuk modul surya. Tahap akhir yaitu mengintegrasikan modul surya dengan komponen pendukung lainnya menjadi sistem PLTS. Integrasi sistim modul sel surya dengan komponen lainnya seperti inverter, baterai, sistem kontrol, dan lain-lain merupakan komponen pembangkit sistim photovoltaik (PLTS). Tegangan listrik keluaran dari sel surya tidak hanya bergantung pada besarnya intensitas radiasi yang diterima oleh permukaan panel, namun perubahan temperatur pada permukaan panel surya juga dapat menurunkan tegangan listrik keluaran dari sel surya. (Benghanem,2016). Secara umum, temperatur permukaan panel surya dapat terjadi karena pengaruh temperatur lingkungan disekitarnya. Perubahan temperatur akan mengakibatkan perubahan sifat bahan silikon dari sel surya dalam menyerap energi foton akibat

panas yang terkandung pada radiasi matahari.(Hamdi,2019). Secara umum, jenis sel surya terbagi dalam beberapa jenis; sel surya type monokristal; type polycrystalien dan type amorphous. Tipe monocrystalline dirancang untuk penggunaan yang memerlukan konsumsi listrik besar di tempat yang memiliki iklim ekstrim karena sel surya memiliki efisiensi antara 14-18% (Chander,2015). Namun sel surya jenis ini juga memiliki kelemahan yakni tidak dapat berfungsi dengan baik di tempat yang kurang mendapatkan cahaya matahari (teduh), sehingga efisiensi keluarannya akan turun secara drastis dalam cuaca berawan (Dupre,2016). Sementara pada sel photovoltaik tipe polycrystalline mempunyai sifat atau karakteristik yang berbeda. Pada tipe ini luas area/permukaan yang dibutuhkan lebih besar jika dibandingkan dengan jenis monokristal untuk dapat menghasilkan daya listrik yang sama. Untuk skala komersial, efisiensi sel surya polycrystalline mempunyai nilai efisiensi lebih rendah dibandingkan jenis monokristal yakni sekitar 12-14%, sehingga harganya lebih rendah. (Singh,2012). Pada sel surya amorphous, sel surya jenis ini mempunyai garis-garis tipis paralel pada permukaannya, garis-garis tersebut merupakan lapisan n dan p dari substrat silikon yang menjadi batas individu sel surya dalam panel. Umumnya sel photovoltaik ini terdapat ciri yaitu tanpa titik hook-up atau kabel yang jelas, sehingga dapat menyulitkan dalam proses penerapannya/ penggunaannya .(Riesen, 2015). Saat ini, pengembangan terkait dengan teknologi fotovoltaiik terus dilakukan, seperti penelitian yang mengembangkan berbagai jenis sel fotovoltaiik, multijunction dan perovskite termasuk type kuantum guna memperoleh hasil yang lebih baik. (Appelbaum,2014). Meskipun jenis sel fotovoltaiik ini sangat menjanjikan, monokristalin, polikristalin, dan sel dan panel fotovoltaiik silikon amorf masih lebih banyak digunakan dalam berbagai aplikasi.(Morcillo-

Herrera,2015). Sel fotovoltaiik multijunction sangat efisien, tetapi karena harganya agak tinggi, mereka umumnya digunakan dalam aplikasi ruang dan aplikasi cahaya terkonsentrasi.(Slimani,2017). Panel PV biasanya beroperasi pada efisiensi konversi rendah karena beberapa faktor degradasi dimana temperature kritis panel merupakan masalah dalam memproduksi energi.(Skoplak,2009). Pada temperatur tinggi akan menyebabkan degradasi keluaran daya listriknya. Secara rata-rata, energi radiasi matahari yang jatuh ke panel PV dan dikonversi ke energi listrik hanya sekitar 20%, sisanya dalam bentuk panas. (Dash,2015).

III. METODE PENELITIAN

Untuk menentukan faktor koefisien temperatur (FF) photovoltaik digunakan persamaan:

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{oc} \times I_{oc}}$$

(1)

Dimana:

$$P_{max} = V_{max} \times I_{max}$$

(2)

Dengan :

V_{max} = Tegangan maksimum

I_{max} = Arus maksimum

V_{oc} = Tegangan hubung buka

I_{sc} = Arus hubung singkat

Pengaruh perubahan temperature terhadap faktor pengisian photovoltaic:

$$\frac{dFF}{dT} = \frac{(dV_{oc}/dT) - (V_{oc}/T)}{V_{oc} + V_T} \left[\frac{(V_{oc}/T) - 0.28}{(V_{oc}/T) + 0.72} \right]$$

(2)

dimana $P_{max\ STC}$ adalah daya maksimum pada kondisi STC , G adalah iradiasi, T_c mewakili temperatur sel fotovoltaik, dan TC_{Pmax} , G adalah temperatur yang dinormalisasi koefisien untuk daya maksimum pada radiasi G .

$$P_{max} = P_{max(STC)} \frac{G}{1000} [1 + TC_{SC}(P_{max,G})(T_c - 25)] \quad (2)$$

dimana $I_{SC\ STC}$ adalah arus hubung singkat pada kondisi STC dan TC_{Isc} , G adalah koefisien temperatur yang dinormalisasi untuk arus hubung singkat pada radiasi G .

$$I_{SC} = I_{SC(STC)} \frac{G}{1000} [1 + TC_{SC}(P_{max,G})(T_c - 25)] \quad (3)$$

dimana $V_{OC\ STC}$ adalah tegangan rangkaian terbuka pada kondisi STC , TC_{Voc} , G adalah koefisien temperatur yang dinormalisasi untuk tegangan sirkuit terbuka pada radiasi G dan TC , G mewakili koefisien temperatur untuk iradiasi.

$$V_{oc} = V_{oc(STC)} \frac{G}{1000} [1 + TC_{SC}(P_{max,G})(T_c - 25) + TC \ln \frac{G}{1000}] \quad (4)$$

Efisiensi sel dapat ditentukan dengan pemasangan linier efisiensi tergantung pada temperatur. Efisiensi dinyatakan dengan persamaan:

$$\eta = \frac{FF}{V_{oc} \cdot xA} \quad (5)$$

Penelitian/pengambilan data dilaksanakan pada bulan Juli s/d Oktober 2020 di Workshop dan halaman Kampus Universitas Sawerigading Makassar.

B. Data Penelitian

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data kualitatif dan kuantitatif. Data kualitatif dalam penelitian ini data pengamatan pada setiap saat dengan perubahan temperatur.

C. Langkah Pengujian

Membuat rangkaian photovoltaik, Amperemeter, Voltmeter, Beban (Resistor/Variable Resistor), Solar Controller dan Inverter DC/AC dengan menggunakan kabel konduktor.

Melakukan pengambilan data tegangan dan keluaran serta temperature pada setiap jam pengamatan. Dalam penelitian ini bahan dan alat yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Sel surya jenis mono-crystalline
2. Daya PV: 100WP, 20 WP
3. Amperemeter
4. Voltmeter
5. Termo-Gun digital
6. Resistor / Variabel resistor

Pada pengujian ini semua peralatan dan bahan dirangkai hingga terintegrasi dalam suatu sistem yang dapat memberikan pengukuran besaran parameter-parameter mulai dari inputan sampai dengan keluaran sel surya.

Tahap pengambilan data Tahapan ini, diawali dengan pengambilan data intensitas radiasi matahari (E), temperatur panel (Tp), dan tegangan (V) serta arus (A) keluaran sel surya pada setiap jam/hari. Tahap analisa hasil dan evaluasi Pada tahap ini, dilakukan proses perhitungan dengan menggunakan persamaan yang telah disajikan pada teori dasar/pendukung agar dapat mengetahui pengaruh temperatur panel terhadap daya dan efisiensi keluaran sel surya mono-crystalline 100 WP.].

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Hasil Pengujian

Data hasil pengamatan dan pengujian di Gedung dan halaman Kampus Universitas Sawerigading akan dihitung menggunakan persamaan yang telah disebutkan pada bagian diatas untuk mengetahui pengaruh perubahan temperatur panel terhadap daya dan efisiensi keluaran sel surya jenis mono-crystalline

Daya Photovoltaik = 20 Wp

Tabel 1. Hasil pengukuran tegangan dan keluaran photovoltaic hari ke-1 (20Wp)

Waktu Pengamatan	Temperatur permukaan solar sel (°C)	Tegangan Output (A)	Arus Output (A)
07:00 - 08:00	24,0	18,5	0,27
08:00 - 09:00	25,0	18,9	0,32
09:00 - 10:00	29,5	18,5	0,40
10:00 - 11:00	31,5	18,5	0,50
11:00 - 12:00	32,5	18,2	0,59
12:00 - 13:00	32,2	18,9	0,71
13:00 - 14:00	32,2	18,4	0,53
14:00 - 15:00	31,5	16,6	0,45
15:00 - 16:00	31,0	16,8	0,33
16:00 - 17:00	30,3	13,5	0,21

Tabel 2. Hasil pengukuran tegangan dan keluaran photovoltaic hari ke-2(20Wp)

Waktu Pengamatan	Temperatur permukaan solar sel (°C)	Tegangan Output (A)	Arus Output (A)
07:00 - 08:00	24,2	18,2	0,27

08:00 - 09:00	25,0	18,7	0,32
09:00 - 10:00	29,5	18,6	0,42
10:00 - 11:00	31,6	18,4	0,51
11:00 - 12:00	32,5	18,3	0,58
12:00 - 13:00	32,3	18,9	0,72
13:00 - 14:00	32,3	18,5	0,53
14:00 - 15:00	31,5	16,6	0,44
15:00 - 16:00	31,2	16,8	0,35
16:00 - 17:00	30,4	14,3	0,20

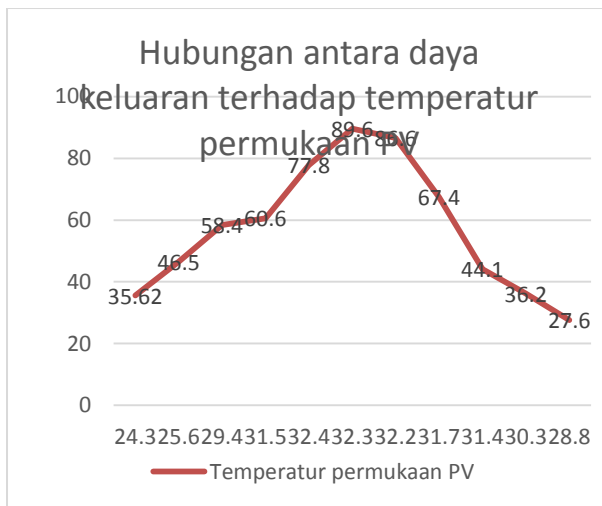
Tabel 3. Hasil pengukuran tegangan dan keluaran photovoltaic hari ke-2(100Wp)

Waktu Pengamatan	Temperatur permukaan solar sel (°C)	Tegangan Output (A)	Arus Output (A)
07:00 - 08:00	24,0	14,51	2,45
08:00 - 09:00	25,0	15,9	2,92
09:00 - 10:00	29,5	16,52	3,54
10:00 - 11:00	31,5	17,55	3,45
11:00 - 12:00	32,5	16,82	4,63
12:00 - 13:00	32,2	17,56	5,10
13:00 - 14:00	32,2	17,86	4,85
14:00 - 15:00	31,5	16,62	4,06
15:00 - 16:00	31,0	16,84	2,62
16:00 - 17:00	30,3	13,25	2,73

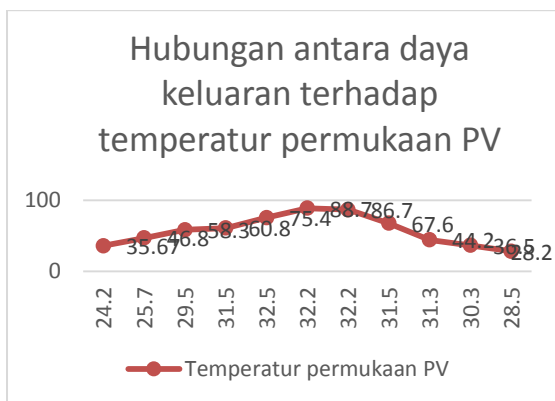
Tabel 4. Hasil pengukuran tegangan dan keluaran photovoltaic hari ke-2(100Wp)

Waktu Pengamatan	Temperatur permukaan solar sel (°C)	Tegangan Output (A)	Arus Output (A)
07:00 - 08:00	24,2	14,51	2,46
08:00 - 09:00	25,7	15,9	2,94

09:00 - 10:00	29,5	16,52	3,53
10:00 - 11:00	31,5	17,55	3,46
11:00 - 12:00	32,5	16,82	4,48
12:00 - 13:00	32,2	17,56	5,05
13:00 - 14:00	32,2	17,86	4,85
14:00 - 15:00	31,5	16,62	4,07
15:00 - 16:00	31,3	16,84	2,62
16:00 - 17:00	30,3	13,25	2,75



Gambar 5. keluaran daya PV terhadap temperatur permukaan PV pada hari ke-1.



Gambar 6. keluaran daya PV terhadap temperatur permukaan PV pada hari ke-2.

B. PEMBAHASAN

Perubahan intensitas energi surya sangat besar pengaruhnya terhadap unjuk kerja sel surya. Apabila intensitas cahaya

diperbesar maka efisiensinya akan meningkat. Hasil pengujian menunjukkan, semakin besar temperatur panel surya maka akan terjadi degradasi produksi energi listrik ditunjukkan pada tegangan keluaran. Tabel 1, menunjukkan hubungan antara temperatur terhadap tegangan dan arus keluaran serta perhitungan daya keluaran. Berdasarkan hasil pengamatan dan pengujian lapangan dengan menggunakan solar sel tipe monocrystalline, 100 Wp, memperlihatkan bahwa perubahan temperatur panel dapat mempengaruhi besarnya tegangan (V) dan arus (I) keluaran dari sel surya tipe monocrystalline. Dengan demikian, bahwa selain intensitas radiasi matahari, temperatur panel juga salah satu faktor dalam konversi energi matahari menjadi energi listrik. Penelitian pada sel surya jenis monocrystalline seperti yang telah ditampilkan pada tabel 1 dan gambar 2, dalam penelitian ini menunjukkan hubungan signifikan antara temperatur panel terhadap tegangan (V) dan arus (I) keluaran sel surya monocrystalline. Temperatur panel memberikan pengaruh terhadap kinerja sel surya monocrystalline khususnya pada tegangan keluarannya, dari hasil pengujian dan pengamatan memperlihatkan pada saat temperatur panel rendah maka tegangan keluaran yang diperoleh besar. Tabel 1 memperlihatkan hubungan antara temperatur panel terhadap daya (Pout) dan efisiensi maksimum keluaran sel surya jenis monocrystalline. Hubungan antara temperatur terhadap daya keluaran adalah berbanding terbalik, bilamana temperatur panel semakin tinggi maka daya keluaran dari sel surya semakin kecil begitu pula sebaliknya, bahwa semakin rendah temperatur panel maka semakin besar pula daya keluaran dari sel surya jenis monocrystalline seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1 dan 2.

Hasil pengamatan dan analisis menunjukkan bahwa pada pukul 07.00 intensitas (E) daya keluaran (Pout) yang

diperoleh sebesar 12,5 W dan pada pukul 12.00 intensitas radiasi matahari menghasilkan daya keluaran (Pout) yang diperoleh sebesar 45,3 W dan efisiensi maksimum yang diperoleh yaitu 10,4 %. Namun pada pukul 17.00, intensitas radiasi matahari menghasilkan daya keluaran (Pout) yang diperoleh sebesar 20,2 W dan efisiensi maksimum yang diperoleh yaitu 10,2 %. Hal tersebut juga diperlihatkan pada gambar 2 grafik hubungan antara radiasi matahari (E) W/m² terhadap daya keluaran (Pout) dan efisiensi maksimum keluaran sel, surya monocrystalline.

V. KESIMPULAN

Intensitas radiasi matahari memberikan pengaruh besar terhadap daya output dan efisiensi keluaran sel surya memberikan pengaruh daya keluaran (Pout) yang diperoleh sebesar 45,3 Watt. Temperatur panel memberikan pengaruh terhadap kinerja sel surya monocrystalline khususnya pada tegangan (V) keluarannya, hasil pengujian dan pengamatan memperlihatkan pada saat temperatur panel rendah maka tegangan keluaran yang diperoleh besar. Untuk itu, untuk daerah tropis seperti Indonesia, perlu perlakuan khusus untuk meningkatkan efisiensi solar sel.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada ibu Rektor Universitas Sawerigading Makassar. Juga kepada Kemendikbud yang telah mendanai penelitian ini.

REFERENSI

- A. B. Or and J. Appelbaum, "Dependence of multi-junction solar cells parameters on concentration and temperature," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 130, pp. 234–240, 2014
- A.R. Amelia , Y.M. Irwan, W.Z. Leow , M Irwanto, I. Safwati , M. Zhafarina, "Investigation of the Effect Temperature on Photovoltaic (PV) Panel Output Performance", *International journal of Advanced Science Engineering Information Technology*, vol 6, no.5, 2016, pp. 632-640.
- BLUEPRINT PENGELOLAAN ENERGI NASIONAL 2006 – 2025, Sesuai Peraturan Presiden Nomor 5 Tahun 2006, www. <http://esdm.go.id>.
- C.Morcillo-Herrera, F. Hernández-Sánchez, and M. FlotaBañuelos, "Method to calculate the electricity generated by a photovoltaic cell, based on its mathematical model simulations in MATLAB," *International Journal of Photoenergy*, vol. 2015.
- Daniel Tudor Cotfas , Petru Adrian Cotfas , and Octavian Mihai Machidon, "Study of Temperature Coefficients for Parameters of Photovoltaic Cells", *International Journal of Photoenergy*, Volume.
- E. Skoplaki and J. A. Palyvos, "On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: a review of efficiency/power correlations," *Solar Energy*, vol. 83, no. 5, pp. 614–624, 2009.
- Elrika Hamdi, *Indonesia's Solar Policies Designed to Fail?*, Institute for Energy Economics and Financial Analysis, <https://ieefa.org>, February-2019.
- M. E. A. Slimani, M. Amirat, I. Kurucz, S. Bahria, A. Hamidat, and W. B. Chaouch, "A detailed thermal-electrical model of three photovoltaic/thermal (PV/T) hybrid air collectors and photovoltaic (PV) module: comparative study under Algiers climatic conditions," *Energy Conversion and Management*, vol. 133, 2017 pp. 458–476. 2017.

- M. Benghanem, A. A. Al-Mashraqi, and K. O. Daffallah, "Performance of solar cells using thermoelectric module in hot sites," *Renewable Energy*, vol. 89, pp. 51–59, 2016.
- O. Dupre, R. Vaillon, and M. A. Green, "Experimental assessment of temperature coefficient theories for silicon solar cells," *IEEE Journal of Photovoltaics*, vol. 6, no. 1, pp. 56–60, 2016.
- O. Dupré, R. Vaillon, and M. A. Green, "Physics of the temperature coefficients of solar cells," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 140, pp. 92–100, 2015.
- P. Singh and N. M. Ravindra, "Temperature dependence of solar cell performance—an analysis," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 101, pp. 36–45, 2012.
- P. K. Dash and N. C. Gupta, "Effect of temperature on power output from different commercially available photovoltaic modules," *International Journal of Engineering Research and Applications*, vol. 5, no. 1, pp. 148–151, 2015.
- Sameh. M.El –Sayed, Dr. Wagdy R. Anis, Dr. Ismail M.Hafez, "The Effect Of Temperature On The Performance Of PV Array Operating Under Concentration", *INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC & TECHNOLOGY RESEARCH* VOLUME 4, ISSUE 08, AUGUST 2015.
- S. Chander, A. Purohit, A. Sharma, Arvind, S. P. Nehra, and M. S. Dhaka, "A study on photovoltaic parameters of monocrystalline silicon solar cell with cell temperature," *Energy Reports*, vol. 1, pp. 104–109, 2015.
- Y. Riesen, M. Stuckelberger, F.-J. Haug, C. Ballif, and N. Wyrsh, "Temperature dependence of hydrogenated amorphous silicon solar cell performances," *Journal of Applied Physics*, vol. 119, no. 4, article 044505, 2016.