



Kajian Karakteristik Temperatur Permukaan Panel terhadap Performansi Instalasi Panel Surya Tipe Mono dan Polikristal

Asrori Asrori^{1*}, Eko Yudiyanto²

^{1,2}Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No 09 Malang

*Email: asrori@polinema.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Naskah Diterima 12/08/2019
Naskah Direvisi 08/10/2019
Naskah Disetujui 28/10/2019
Naskah Online 31/10/2019

ABSTRAK

Indonesia mempunyai potensi rata-rata energi radiasi matahari global mencapai 4,5 hingga 5,5 kWh/m²/hari. Sehingga pemanfaat energi matahari dengan teknologi panel surya menjadi salah satu alternatif untuk mengatasi krisis energi. Penelitian ini bertujuan menganalisa pengaruh radiasi matahari dan temperatur panel terhadap performansi tipe panel surya mono dan polikristal kapasitas 100 Wp. Pengujian dilakukan selama dua hari di atas gedung Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang (7,944°LS ; 112,613°BT). Pengukuran data radiasi matahari, temperatur lingkungan, temperatur panel, tegangan dan arus keluaran panel dilakukan untuk mengetahui daya keluaran, efisiensi daya konversi panel dan *Performance Ratio (PR)* dari kedua panel tersebut. Hasilnya diketahui bahwa kenaikan temperatur permukaan panel surya berdampak pada penurunan daya keluaran panel. Untuk rata-rata radiasi matahari diatas 1000 W/m² dengan rata-rata temperatur lingkungan 33 °C, maka untuk permukaan panel surya monokristal temperaturnya sekitar 30,6 °C terjadi kehilangan daya sebesar 2,3 %. Sedangkan pada panel polikristal, ketika temperatur permukaannya 47,5 °C terjadi kehilangan daya sekitar 10,12 %. Efisiensi konversi daya dari tipe monokristal adalah 11,90 %, dan tipe polikristal adalah 9,18 %. Sedangkan PR monokristal dan polikristal masing-masing adalah 0,63 dan 0,61. Sehingga untuk instalasi panel surya dalam penelitian ini performansi tipe monokristal lebih bagus daripada polikristal.

Kata kunci : Temperatur permukaan panel, Monokristal, Polikristal, Efisiensi konversi panel, *Performance Ratio*

1. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki banyak potensi energi baru dan terbarukan (EBT), salah satunya adalah energi surya (matahari) yang bersih dan ramah lingkungan. Indonesia yang berada dilintasan daerah katulistiwa diperkirakan mempunyai intensitas radiasi matahari diseluruh wilayah Indonesia rata-rata 4,8 kWh/m²/hari. Dengan demikian karena besarnya sumber energi matahari yang tersebar diseluruh wilayah Indonesia tersebut, maka sangat berpotensi untuk dikembangkan PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) ataupun dimanfaatkan dengan melalui metode pemasangan panel surya atap (*solar rooftop*) untuk kapasitas rumah tangga di Indonesia. Pemasangan panel surya kapasitas

1 kWp di Indonesia dapat menghasilkan energi harian antara 3,4 kWh hingga 4,2 kWh.

Modul/panel surya merupakan media pengkonversi energi foton matahari menjadi energi listrik, dimana penggunaannya selalu terpapar cuaca langsung. Kondisi lingkungan akan selalu berubah, seperti intensitas radiasi matahari yang fluktuatif, iklim, kecepatan angin dan cuaca. Faktor kondisi lingkungan tersebut tentunya akan berpengaruh terhadap perubahan temperatur permukaan panel, yang pada akhirnya juga akan mempengaruhi daya yang dibangkitkan oleh sel surya tersebut.

Rizali dkk (2015) melakukan pengujian sel surya secara lab dan lingkungan nyata. Hasil yang didapat

menunjukkan pada kondisi rentang temperatur 56°C, daya keluaran akan meningkat seiring dengan kenaikan temperatur permukaan sel surya. Sedangkan dalam kondisi nyata terdapat fluktuasi daya keluaran sel surya dikarenakan faktor lingkungan. Suryana dkk (2016), melakukan penelitian pada panel surya monokristal 100 Wp, hasilnya menunjukkan bahwa tegangan listrik yang dihasilkan oleh suatu panel surya tidak hanya tergantung kepada besarnya intensitas radiasi yang diterimanya, namun kenaikan temperatur pada permukaan panel surya juga dapat menurunkan besar tegangan listrik. Hasil yang mirip juga diperoleh dari penelitian Suwanti dkk (2018) yang menunjukkan semakin besar suhu permukaannya maka tegangan yang dihasilkan akan semakin kecil dan arusnya cenderung tetap.

Pengaruh radiasi dan temperatur panel terhadap performansi panel surya monokristal juga diteliti oleh Musanga, et al (2018). Hasilnya menunjukkan bahwa efisiensi konversi panel berkurang dengan meningkatnya permukaan suhu panel. Fenomena ini dikarenakan adanya pengurangan tegangan dan FF terhadap peningkatan temperatur panel. Daya keluaran panel surya juga dipengaruhi oleh temperatur lingkungan, dari pengukuran eksperimental untuk tiga panel surya yang berbeda (monokristal, polikristal dan *copper indium gallium selenide*) diperoleh bahwa performansi panel surya akan menurun terhadap kenaikan temperatur lingkungan (Aish, 2015). Penelitian di daerah tropis dilakukan oleh (Ya'acob et.al, 2014) yang telah menunjukkan dalam sistem instalasi panel surya yang diteliti terdapat pengurangan daya yang signifikan sebesar 0,5% setiap peningkatan suhu permukaan panel 1°C .

Salah satu faktor yang mempengaruhi unjuk kerja (*performance*) suatu modul/panel surya adalah temperatur/suhu panel. Sedangkan yang mempengaruhi temperatur panel surya adalah (1) temperatur lingkungan (*ambient temperature*), (2) koefisien temperatur (*Temperature Coefficient*), (3) kecepatan angin (*wind velocity*) dan (4) tipe instalasi panel surya (Bayrak et.al, 2017). Selain itu parameter spesifikasi koefisien temperatur menjadi faktor pertimbangan yang penting dalam merancang instalasi PLTS karena temperatur panel yang tinggi justru akan menurunkan performansi panel itu sendiri. Panel surya terbuat dari silikon kristalin, itulah sebabnya semakin tinggi suhunya, semakin rendah kinerjanya. Ini adalah sifat intrinsik silikon dalam panel fotovoltaik, daya berkurang karena tegangan sel berkurang. Ini terjadi meskipun arus yang diproduksi meningkat. Koefisien temperatur didefinisikan sebagai laju perubahan parameter terhadap perubahan temperatur. Daya dari panel surya akan mengalami penurunan terhadap kenaikan temperatur. Parameter koefisien temperatur yang dimaksudkan dapat berupa koefisien temperatur dari arus, tegangan, dan daya. Harga koefisien temperatur daya dan tegangan bernilai negatif (-) hal ini menunjukkan bahwa kenaikan temperatur panel akan menyebabkan penurunan parameter (V-P) panel surya,

akan tetapi sebaliknya koefisien temperature arus bernilai (+) (Duffie, 2013).

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan secara *true experimental research* yang dilakukan diluar ruangan/lingkungan nyata (*outdoor condition*) guna mengumpulkan data-data penelitian secara real dilapangan. Pengambilan data dilakukan selama dua (2) hari pada bulan Agustus 2019, di atas gedung (*rooftop*) Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang (7,944 LS; 112,613 BT).

Panel surya tipe monokristal dan polikristal yang digunakan dalam penelitian ini adalah panel surya ini menghasilkan *Peak Power* (P_{max}) sebesar 100 W, dimana spesifikasi lengkap dari pabrikan dapat dilihat di tabel 1.

Tabel.1 Spesifikasi teknis panel surya yang diuji

	Monokristal	Polikristal
<i>Model/Merk</i>	SP100-18M	SOLANA
<i>Dimensions</i>	120x54x3 cm	100x67x3 cm
<i>Peakpower (Pmax)</i>	100 Wp	100 Wp
<i>Cell efficiency</i>	18.0 %	14.5 %
<i>Max power volt. (Vmp)</i>	17.8 V	17.8 V
<i>Max power current (Imp)</i>	5.62 A	5.62 A
<i>Open circuit volt. (Voc)</i>	21.8 V	22.4 V
<i>Short circuit current (Isc)</i>	6.05 A	5.95 V
<i>Power Tolerance</i>	$\pm 3\%$	$\pm 3\%$
<i>Max. system voltage</i>	1000 V DC	600 V DC
<i>Series fuse rating (A)</i>	10	10
<i>NOCT</i>	45°C	47°C
<i>Power Temp. Coeff. (γ)</i>	$-0.42\%/^{\circ}\text{C}$	$-0.45\%/^{\circ}\text{C}$

Sumber : Data sheet pabrikan

Solar Power Meter dengan satuan ukur W/m^2 digunakan untuk mengukur radiasi matahari (G). Tegangan (V_{act}) dan arus (I_{act}) diukur dengan *Dual A/V Meter*. Sedangkan *digital multimeter* selain untuk mengukur *open circuit volt* (V_{oc}) dan *short circuit current* (I_{sc}) dari panel juga digunakan untuk mengukur temperatur lingkungan. Metode pengukuran permukaan panel bagian muka (*frontside*) menggunakan *Infrared Thermometer*, perlu memperhatikan beberapa hal dalam teknik pengukuran, yaitu : (1) Menentukan jarak pengukuran : Alat ukur yang digunakan mempunyai spesifikasi "*distance to spot*" adalah $D : S = 12 : 1$ sehingga untuk mengukur permukaan panel diambil jarak pengukuran sekitar 1 m, dengan cara melakukan *scanning* secara *zig-zag* dari atas ke bawah, sehingga keseluruhan permukaan panel rata terukur temperaturnya. Selanjutnya *display* alat akan menampilkan rata-rata temperatur permukaan panel surya. (2) Menentukan emisivitas permukaan : sebelum melakukan pengukuran harus diperhatikan material permukaan yang akan diukur, hal ini berhubungan denganketidaktepatan pengukuran karena refleksifitas *infrared* akibat pengaruh lapisan permukaan. Oleh karena itu alat harus *disetting* terlebih dahulu emisivitasnya, sesuai dengan tabel emisivitas (*Infrared Emissivity Table*) pada katalog alat. Permukaan panel

surya dilapisi dengan lapisan *tempered glass*, sehingga untuk harga emisivitas kaca (*glass*) adalah $\epsilon = 0,95$.

Diagram skema pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gbr.1. Sedangkan susunan peralatan pengujian tampak seperti pada Gbr.2.



Gambar 1. Skema perancangan alat penelitian



Gambar 2. Instalasi peralatan pengujian panel surya

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaruh Koefisien Temperatur dan Temperatur Lingkungan

Daya dari panel surya akan mengalami penurunan terhadap kenaikan temperatur. Hal ini dijelaskan adanya koefisien temperatur daya (γ), pada umumnya nilainya $-0,5\%/^{\circ}\text{C}$ untuk panel surya silikon. Sedangkan arus dari panel surya cenderung naik sedikit (dan linear) dengan temperatur. Koefisien temperatur arus (α) untuk monokristal biasanya $+0,034\%/^{\circ}\text{C}$, jadi pengaruhnya kecil. Tegangan dari panel surya turun secara sub-linear

dengan temperatur sehingga menimbulkan koefisien suhu lain untuk tegangan. Pada umumnya panel monokristal nilai koefisien temperatur tegangan (β) adalah $-0,34\%/^{\circ}\text{C}$, sehingga kehilangan tegangan jauh lebih besar daripada kenaikan arus, maka kehilangan daya secara keseluruhan juga besar. Daya *output* sebuah panel surya akibat adanya perubahan temperatur pada permukaan panel surya, mengikuti persamaan berikut ini (Duffie 2013) :

$$P_{\Delta T} = P_{max} + \left[\left(\frac{\gamma}{100} \right) (T_p - 25) (P_{max}) \right] \quad (1)$$

Dimana, $P_{\Delta T}$ = Daya *output* panel akibat perubahan temperatur permukaan panel, Watt. P_{max} = daya *output* panel pada kondisi STC (*Irradiance* $1000\text{W}/\text{m}^2$, *Module temperature* 25°C , $AM = 1.5$). γ = koefisien temperatur daya (*Power Temperature Coefficient*), $\%/^{\circ}\text{C}$. T_p = temperatur permukaan panel, $^{\circ}\text{C}$.

Selain faktor utama radiasi matahari, temperatur lingkungan (*ambient temperature*) juga menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi kinerja dari panel surya. Temperatur permukaan panel surya mempunyai fungsi linier terhadap temperatur lingkungan. Oleh karena itu terdapat suatu formulasi yang menyatakan hubungan antara parameter temperatur panel, temperatur lingkungan dan radiasi matahari yang didasarkan atas kondisi standar *Nominal Operating Cell Temperature* (NOCT). NOCT merupakan ukuran temperatur yang dicapai oleh sel surya dibawah kondisi radiasi matahari $800\text{W}/\text{m}^2$, dengan kecepatan angin $1\text{m}/\text{s}$ dan temperatur lingkungan 20°C . Persamaan untuk memprediksi temperatur permukaan panel surya adalah sebagai berikut (Duffie, 2013).

$$T_p = T_L + G \left(\frac{NOCT - 20}{800} \right) \quad (2)$$

Sedangkan daya *output* panel surya dalam kondisi NOTC (P_{NOTC}) dapat ditentukan dengan persamaan,

$$P_{NOTC} = 0,8 P_{max} \left[\left(1 + \frac{\gamma(NOCT - 25)}{100} \right) \right] \quad (3)$$

Dimana, P_{NOTC} = daya *output* panel pada kondisi NOCT, Watt. P_{max} = daya *output* panel pada kondisi STC, Watt. T_p = temperatur permukaan panel, $^{\circ}\text{C}$. T_L = temperatur lingkungan, $^{\circ}\text{C}$. G = Radiasi matahari, W/m^2 .

3.2 Hasil Pengujian pada Panel Polikristal

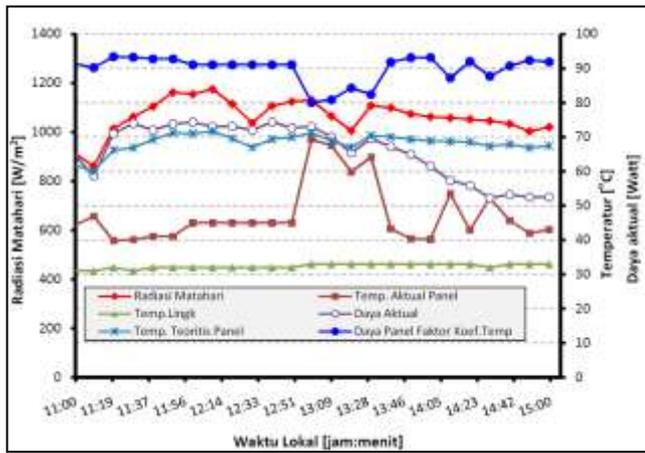
Dalam penelitian ini hanya mengukur temperatur permukaan panel dan temperatur lingkungan sedangkan kecepatan angin dan tipe instalasi panel surya termasuk dalam batasan masalah. Data pengukuran temperatur pada panel surya Polikristal 100Wp ditampilkan dalam tabel 2. Selanjutnya data tersebut diolah menjadi grafik seperti tampak dalam Gbr. 3. Dari grafik dapat dibuat analisa bagaimana pengaruh radiasi matahari, temperatur permukaan panel surya dan temperatur lingkungan terhadap daya keluaran panel surya.

Tabel 2. Data pengukuran temperatur panel (T_p) dan temperatur lingkungan (T_L) tipe polikristal 100Wp

Waktu (Jam:mnt)	Radiasi (W/m^2)	T. Panel ($^{\circ}\text{C}$)	T. Lingk ($^{\circ}\text{C}$)	P_{act} (Watt)
11:00	1042	44,2	31,0	66,7

11:10	916	46,9	31,0	65,2
11:20	1014	39,8	32,0	71,0
11:30	1063	40,1	31,0	73,9
11:40	1104	41,1	32,0	72,0
11:50	1162	41,1	32,0	73,8
12:00	1155	45,0	32,0	74,3
12:10	1175	45,0	32,0	73,0
12:20	1115	45,0	32,0	73,1
12:30	1037	45,0	32,0	72,0
12:40	1107	45,0	32,0	74,4
12:50	1124	45,0	32,0	72,7
13:00	1131	69,3	33,0	73,0
13:10	1065	67,5	33,0	70,1
13:20	1006	59,9	33,0	65,4
13:30	1108	64,1	33,0	69,6
13:40	1099	43,3	33,0	67,1
13:50	1074	40,4	33,0	64,9
14:00	1063	40,2	33,0	61,6
14:10	1058	53,4	33,0	57,3
14:20	1052	42,9	33,0	55,9
14:30	1046	52,3	32,0	52,3
14:40	1034	45,7	33,0	53,2
14:50	1003	42,0	33,0	52,5
15:00	1020	43,0	33,0	52,5

Data pengujian panel surya tipe polikristal yang dilakukan selama 4 jam ini dengan rata-rata radiasi matahari 1064 W/m² didapatkan nilai rata-rata dari temperatur permukaan panel, temperatur lingkungan dan daya aktual masing-masing adalah 47,5 °C, 32 °C dan 65,98 W. Estimasi rata-rata temperatur panel pada kondisi NOCT (Pers. 2) adalah 68,26 °C.



Gambar 3. Grafik radiasi matahari, temperatur dan daya terhadap waktu pada panel surya tipe polikristal

Pada grafik Gbr. 3 menunjukkan hasil yang berbeda antara pengukuran temperatur permukaan panel pada kondisi aktual di lapangan dengan kondisi teoritis (NOCT) hal ini dikarenakan pada saat pengujian dilapangan kecepatan angin yang berhembus diatas permukaan panel kemungkinan lebih tinggi daripada kecepatan angin pada kondisi NOCT yang hanya 1 m/s.

Selanjutnya, dari spesifikasi panel polikristal ($\gamma = -0,45 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$; NOCT = 47 °C ; $P_{max} = 100,036 \text{ W}$) berdasarkan Pers. 3 maka daya *output* panel pada kondisi NOCT diperoleh $P_{NOCT} = 72,11 \text{ W}$. Hal ini

menunjukkan ketika temperatur permukaan panel polikristal sebesar 47 °C, dengan radiasi matahari 800 W/m², pada temperatur 47 °C, maka daya yang dihasilkan panel surya sebesar 72,11 W. Sedangkan pada pengujian ketika rata-rata temperatur panel polikristal 47,5 °C akan terjadi kehilangan daya sebesar $P_{Loss} = 10,12 \text{ } \%$. Berdasarkan pengukuran dan perhitungan teoritis menunjukkan kenaikan temperatur panel surya menyebabkan turunnya daya *output*.

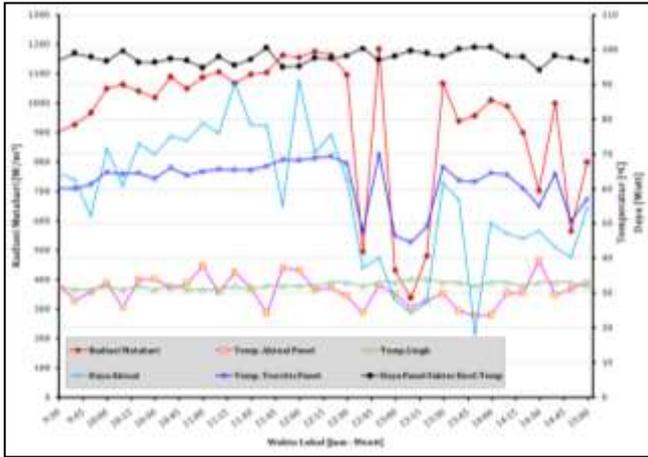
3.3 Hasil Pengujian pada Panel Monokristal

Data pengukuran temperatur panel surya monokristal ditampilkan dalam tabel 3. Selanjutnya data tersebut diolah menjadi grafik seperti tampak dalam Gbr.4. Dari grafik dapat dibuat analisa bagaimana pengaruh radiasi matahari, temperatur permukaan panel surya dan temperatur lingkungan terhadap daya keluaran panel surya.

Tabel 3. Data pengukuran temperatur panel (T_p) dan temperatur lingkungan (T_L) tipe monokristal 100 Wp

Waktu (Jam:mnt)	Radiasi (W/m ²)	T. Panel (°C)	T. Lingk (°C)	P _{act} (Watt)
11:00	1087	37,7	32,0	64,53
11:10	1106	30,1	31,0	62,58
11:20	1068	35,9	31,0	52,25
11:30	1097	31,6	32,0	71,48
11:40	1104	24,1	31,0	60,86
11:50	1162	37,1	32,0	72,86
12:00	1155	36,6	31,0	69,78
12:10	1175	30,9	32,0	75,08
12:20	1163	31,5	31,0	73,84
12:30	1095	29,1	31,0	78,80
12:40	495	24,2	31,0	75,94
12:50	1283	32,3	32,0	90,35
13:00	432	29,6	31,0	78,36
13:10	337	25,9	32,0	78,11
13:20	481	27,8	32,0	54,93
13:30	1067	29,8	32,0	91,00
13:40	938	24,8	32,0	70,36
13:50	957	23,4	33,0	75,50
14:00	1009	23,6	33,0	62,38
14:10	990	29,9	33,0	40,03
14:20	900	30,0	33,0	61,74
14:30	702	39,3	33,0	56,92
14:40	1000	29,4	32,0	45,54
14:50	565	31,1	33,0	43,16
15:00	800	33,0	32,0	54,38

Pengujian panel surya tipe monokristal yang dilakukan dihari kedua ini memberikan karakteristik temperatur yang berbeda dengan di hari pertama. Karena bila dilihat di grafik radiasi matahari Gbr.4 menunjukkan radiasi cenderung menurun hal ini karena cuaca banyak berawan dan terjadi hembusan angin. Rata-rata pengukuran radiasi matahari adalah 948 W/m². sedangkan rata-rata untuk temperatur panel, temperatur lingkungan dan daya output aktual masing-masing adalah 30,6 °C, 32 °C dan 58,3 W.



Gambar 4. Grafik radiasi matahari, temperatur dan daya terhadap waktu pada panel surya tipe monokristal

Pengaruh kenaikan temperatur panel terhadap daya output panel monokristal dapat diprediksi dengan Pers.1. Berdasarkan spesifikasi panel monokristal ($\gamma = -0,42 \text{ \%}/^{\circ}\text{C}$; $P_{max} = 100,036 \text{ W}$), maka pada kondisi rata-rata temperatur panel $30,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ tersebut diperoleh rata-rata penurunan daya output $2,4 \text{ \%}$ sehingga rata-rata daya output panel monokristal adalah $97,6 \text{ W}$. Sedangkan dari hasil pengukuran daya aktual hanya sekitar $58,3 \text{ W}$. Perbedaan ini dikarenakan secara teoritis dihitung rata-rata radiasi matahari adalah $1000 \text{ W}/\text{m}^2$. Sedangkan pada saat pengujian kondisi cuaca banyak terjadi berawan sehingga radiasi matahari dalam durasi waktu yang lama cukup kecil. Hal ini tampak dalam grafik Gbr.4 mulai pukul 12.30 hingga 15.00 radiasi matahari mengalami penurunan yang cukup signifikan dengan titik terendah $337 \text{ W}/\text{m}^2$. Berikut tabulasi perbandingan parameter spesifikasi temperatur terhadap daya output dari panel surya polikristal dan monokristal.

Tabel 4. Parameter Temperatur dan Daya Teoritis Output Panel Surya

Parameter		Mono kristal	Poli kristal
Koefisien temperatur (γ)	$[\%/^{\circ}\text{C}]$	-42	-45
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	$[^{\circ}\text{C}]$	45	47
Rerata Radiasi Matahari (G)	$[\text{W}/\text{m}^2]$	948	1064
Rerata Temp. Lingkungan (T_L)	$[^{\circ}\text{C}]$	32,2	32,4
Rerata Temp. Panel (T_p)	$[^{\circ}\text{C}]$	30,6	47,5
Rerata Temp. Panel NOCT (T_{NOCT})	$[^{\circ}\text{C}]$	61,8	68,26
Rerata Daya akibat koef. Temp ($P_{\Delta T}$)	$[\text{Watt}]$	97,7	89,91
Daya kondisi NOCT (P_{NOCT})	$[\text{Watt}]$	73,31	72,11
Rerata Losses Daya (P_{Loss})	$[\%]$	2,3	10,12

Untuk membandingkan pengaruh secara langsung antara kenaikan temperatur dengan daya output panel surya cukup sulit dilakukan jika pengujiannya dilakukan secara outdoor karena banyak variable (radiasi matahari, kecepatan angin, kondisi cuaca, debu, tipe instalasi, dll) yang tak bisa dikontrol. Sebagai contohnya ketika radiasi matahari tinggi dalam waktu lama secara teoritis bisa menaikkan temperatur panel akan tetapi jika terjadi hembusan angin maka temperatur permukaan panel juga akan mengalami penurunan. Namun demikian berdasarkan pengujian dan analisis teoritis menunjukkan bahwa kenaikan temperatur panel surya akan menyebabkan penurunan daya output dari panel tersebut.

3.4 Performansi Panel Surya

Efisiensi merupakan salah satu indikator mengetahui performansi dari suatu panel surya. Sehingga dengan performansi tersebut perancang sistem PV (*photovoltaic*) dapat membandingkan dan memperkirakan berapa banyak energi listrik yang dihasilkan panel surya dari produsen yang berbeda. Namun, prediksi hasil energi yang akurat juga perlu mempertimbangkan fakta bahwa efisiensi yang dipasang akan tergantung pada suhu pengoperasian modul, tingkat radiasi, spektrum radiasi, kecepatan angin dan sudut datang, serta beberapa faktor-faktor lainnya. Hal inilah yang menyebabkan efisiensi aktual berbeda dari efisiensi yang tertera dalam spesifikasi pabrikan. Oleh karena itu untuk penerapan dilapangan suatu instalasi panel surya perlu pengujian guna mengetahui kondisi sebenarnya (*actual*) dari kinerja panel surya tersebut. Parameter kinerja (*performance*) yang dimaksud dalam bentuk rasio kinerja (*Performance Ratio*), dimana *Performance Ratio* (PR) ini merupakan perbandingan antara efisiensi konversi panel (efisiensi sistem) dalam kondisi luar ruangan dengan efisiensi panel dalam kondisi STC.

Dengan demikian beberapa parameter diatas dapat di hitung berdasarkan persamaan berikut ;

- *Performance Ratio* (PR) atau Rasio Performansi

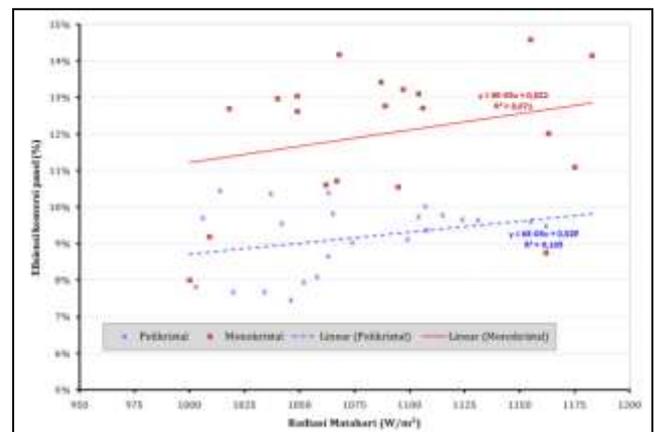
$$PR = \frac{\eta_p}{\eta_{STC}} \tag{4}$$

- *Module Conversion Efficiency* atau Efisiensi Konversi Panel (η_p)

$$\eta_p = \frac{P_{act}}{G \times A} \times 100 \tag{5}$$

Dimana, PR = *Performance Ratio* , η_p = efisiensi konversi panel surya kondisi pengukuran dilapangan (%), η_{STC} (tertera dalam spesifikasi pabrikan) = efisiensi panel dalam kondisi STC (%), P_{act} = daya output terukur dari panel (Watt), G = radiasi matahari (W/m^2), A = luasan panel surya (m^2).

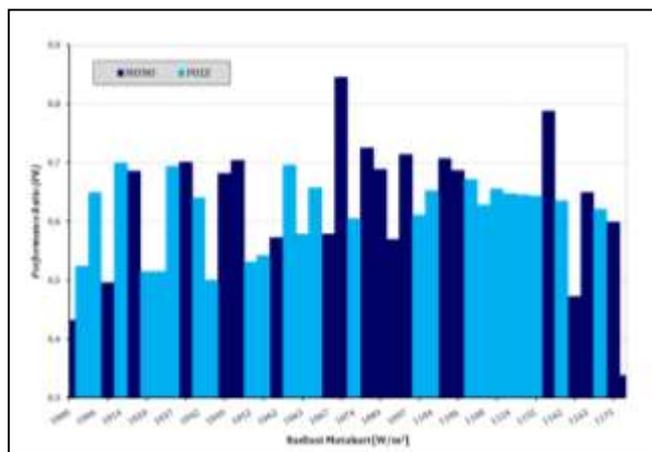
Dengan mengambil data radiasi matahari diatas $1000 \text{ W}/\text{m}^2$, maka perbandingan efisiensi konversi panel surya tipe mono dan polikristal dapat dilihat pada Gbr. 5.



Gambar 5. Grafik efisiensi konversi panel terhadap radiasi matahari

Berdasarkan data spesifikasi panel surya dalam kondisi STC untuk efisiensi maksimum (η_{STC}) dari tipe monokristal dan polikristal masing-masing adalah 18,53 % dan 14,93 %. Namun demikian dalam suatu sistem instalasi panel surya tentunya efisiensi tersebut berbeda dengan kondisi nyata di lapangan. Oleh karena itu diperlukan pengukuran efisiensi konversi (η_p) sistem instalasi dari suatu panel surya. Pada pengujian instalasi panel surya kapasitas 100 Wp diperoleh efisiensi rata-rata konversi panel (efisiensi sistem) tipe monokristal adalah 11,90 %, sedangkan tipe polikristal adalah 9,18 %.

Sedangkan hasil perhitungan *Performance Ratio* untuk panel surya monokristal dan polikristal tampak seperti dalam bagan Gbr. 6.



Gambar 6. Grafik *Performance Ratio* panel surya mono dan polikristal terhadap radiasi matahari

Rata-rata *Performance Ratio* (*PR*) dalam grafik Gbr. 6, menunjukkan untuk panel surya tipe monokristal dan polikristal masing-masing adalah 0,63 dan 0,61. Dari nilai rata-rata *PR* tersebut tampak bahwa nilai monokristal sedikit lebih bagus daripada tipe polikristal, hal ini menunjukkan bahwa dalam sistem instalasi ini tipe monokristal performansinya lebih baik dari pada tipe polikristal. Hasil perhitungan efisiensi dan rasio kinerja (*performance ratio*) untuk tipe panel surya Monokristal dan Polikristal ditampilkan dalam tabel 5, dibawah ini.

Tabel 5. Parameter Performansi Polikristal dan Monokristal

Parameter	Monokristal	Polikristal
η_{STC} (%)	18,53	14,93
η_p (%)	11,90	9,18
<i>PR</i>	0,63	0,61

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian mengenai pengaruh temperatur permukaan panel terhadap performansi panel surya tipe *mono* dan *polycrystalline* diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

Kenaikan temperatur permukaan panel surya berdampak pada penurunan daya *output*. Dari analisis diperoleh untuk rata-rata radiasi matahari diatas 1000

W/m² dengan rata-rata temperatur lingkungan 33°C, ketika temperatur panel surya monokristal sekitar 30,6°C terjadi kehilangan daya (*power losses*) sebesar 2,3 %. Sedangkan pada saat rata-rata temperatur panel polikristal 47,5°C kehilangan dayanya mencapai 10,12 %. Daya *output* akibat kenaikan temperatur permukaan panel dipengaruhi oleh harga koefisien temperatur (γ), sehingga dalam hal ini tipe monokristal lebih bagus daripada tipe polikristal karena $\gamma_{mono} = - 42 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ dan $\gamma_{poly} = - 45 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

Pada pengujian instalasi panel surya kapasitas 100 Wp diperoleh efisiensi rata-rata konversi panel (efisiensi sistem) tipe monokristal adalah 11,90 %, sedangkan tipe polikristal adalah 9,18 %. Sedangkan rata-rata *Performance Ratio* (*PR*) untuk panel surya tipe monokristal dan polikristal masing-masing adalah 0,63 dan 0,61.

Penurunan efisiensi dan performansi suatu instalasi panel surya dipengaruhi oleh tingkat kualitas produk pabrikan (spesifikasi teknis panel), temperatur permukaan panel, temperatur lingkungan (*ambient temperature*), kecepatan angin (*wind velocity*), partikel debu pada panel dan tipe instalasi panel surya (*shading*, arah panel, tipe *charger controller*, kabel dll). Sehingga beberapa parameter inilah yang menyebabkan adanya perbedaan daya teoritis dengan daya aktual dilapangan.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada UPT P2M Politeknik Negeri Malang. Penelitian ini dibiayai dengan Dana DIPA Nomor : SP DIPA-042.01.2.401004/2019, dengan Surat Perjanjian Nomor : 9453/PL2.1/HK/2019

6. DAFTAR PUSTAKA

- Aish Q.M. 2015. Temperature Effect on Photovoltaic Modules Power Drop. *Al-Khwarizmi Engineering Journal*, Vol. 11, No. 2, P.P. 62-73.
- Bayrak F., Ertürk G., Oztop H.F. 2017. Effects of partial shading on energy and exergy efficiencies for photovoltaic panels. *J. Clean Prod.* 164, 58-69.
- Duffie, JA & Beckman, W.A. 2013. *Solar Engineering of Thermal Processes*, 4th Edition. John Wiley and Sons Inc, New York, John Wiley and Sons, pp. 757.
- Musanga L.M., Barasa W.H., Maxwell M. 2018. The Effect of Irradiance and Temperature on the Performance of Monocrystalline Silicon Solar Module in Kakamega. *Physical Science International Journal* 19(4): 1-9.
- Rizali, M & Irwandy, 2015. Pengaruh Temperatur Permukaan Sel Surya Terhadap Daya pada Kondisi Eksperimental dan Nyata. *Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTTM XIV)*, Banjarmasin, 7-8 Oktober 2015.
- Suryana D. & Ali. M.M. 2016. Pengaruh Temperatur/Suhu Terhadap Tegangan yang Dihasilkan Panel Surya Jenis Monokristalin (Studi Kasus: Baristand Industri Surabaya). *Jurnal teknologi proses dan inovasi industri*, vol. 2, no. 1, november 2016.
- Suwardi, Wahyono & Prasetyo B. 2018. Analisis Pengaruh Intensitas Matahari, Suhu Permukaan & Sudut Pengarah terhadap Kinerja Panel Surya. *EKSERGI Jurnal Teknik Energi* Vol 14 No. 3 September 2018, 78 - 85.
- Technical Brief, 2017. The Effect of Irradiance and Temperature on the Performance of Photovoltaic Modules. *Sustainable Technologies Evaluation Program (STEP)*, *Natural Resources Canada*, www.sustainabletechnologies.ca (on line, 20 oktober 2019)
- Ya'acob M.E., Hizam H., Bakri M. 2014. Performance Test Conditions for Direct Temperature Elements of Multiple PV Array

configurations in Malaysia. Energy Procedia 61 (2014) 2387 - 2390.