

ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN TEMPERATUR DAN IRRADIASI PADA TEGANGAN, ARUS DAN DAYA KELUARAN PLTS TERHUBUNG GRID 380 V

Abimanyu Guntur Wicaksana ^{*)}, Karnoto, and Bambang Winardi

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail: abimanyu.gw@gmail.com

Abstrak

Penggunaan sumber energi tidak terbarukan berbahan bakar fosil yang berlebihan akan meningkatkan emisi gas karbon sehingga menyebabkan terjadinya *global warming*. Sehingga untuk mengurangi resiko *global warming*, dapat menggunakan energi terbarukan yang lebih ramah lingkungan seperti PLTS. Pada penelitian ini, menggunakan data temperatur dan radiasi tahun 2016 bersumber dari *software* RETScreen yang terintegrasi dengan NASA. Pada perancangan sistem PV untuk menghasilkan keluaran daya maksimum dibutuhkan *boost converter* yang terhubung dengan *grid-connected* inverter. Inverter dikendalikan dari pengaruh iradiasi dan temperatur pada pengiriman daya photovoltaic yang terhubung *grid* menggunakan kerangka referensi natural. Hasil penelitian pengaruh kenaikan temperatur dari sistem PV terhubung *grid* pada iradiasi 1.000 W/m² saat temperatur sel terendah di tahun 2016 yaitu 48,859 °C menghasilkan daya 13.638,473 W, sedangkan pada saat temperatur sel tertinggi di tahun 2016 yaitu 56,321 °C menghasilkan daya 13.226,898 W. Pengaruh iradiasi dari sistem PV terhubung *grid* pada temperatur 25 °C saat iradiasi 157,755 W/m² daya yang dihasilkan 2.423,147 W, sedangkan pada saat iradiasi 242,473 W/m² menghasilkan daya 3.786,165 W dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi nilai temperatur maka daya keluaran PV mengalami penurunan dan semakin tinggi nilai iradiasi maka semakin besar nilai daya yang dihasilkan PV.

Kata kunci: PLTS, grid, temperatur, irradiasi

Abstract

The application of non-renewable energy sources of excessive fossil fuel would increase carbon emissions that cause global warming. So, to reduce the risk of global warming, can use renewable energy more environmentally friendly like a Solar Power Plant. In this study, using the data of temperature and radiation in 2016 derived from software RETScreen integrated with NASA. In designing the PV system to generate a maximum power output needed boost converter connected to the grid-connected inverter. Inverter control of irradiation and temperature influence on the delivery of grid connected photovoltaic power using natural reference frame. With the effects of temperature rise of grid connected PV systems on irradiation of 1,000 W / m² at the lowest cell temperature in 2016 is 48,859 °C to produce power 13.638,473 W, while at the highest cell temperature in 2016 is 56,321 °C to produce power 13.226,898 W. the effect of irradiation of PV systems connected to the grid at a temperature of 25 °C when the irradiation 157,755 W / m² power generated 2.423,147 W, whereas at the time of irradiation 242,473 W / m² produce 3.786,165 W power can be concluded that the higher temperature of the power PV output decreased and the higher value of irradiation, will increase the power generated PV.

Keywords: solar panels, grid, temperature, irradiation

1. Pendahuluan

Pembangunan pembangkit listrik di Indonesia hingga saat ini masih berfokus pada penggunaan sumber energi tidak terbarukan berbahan bakar fosil seperti batu bara untuk PLTU dan solar untuk PLTD. Pada penggunaan sumber energi tidak terbarukan berbahan bakar fosil yang berlebihan akan meningkatkan emisi gas karbon sehingga

menyebabkan terjadinya *global warming*. Berdasar Kebijakan Energi Nasional Indonesia [1] ditargetkan pada tahun 2025 peran energi baru dan terbarukan paling sedikit 23% dari total penggunaan energi nasional. Oleh karena itu, membuat banyak orang melirik kepada sumber energi yang terbarukan dan ramah lingkungan. Salah satu pembangkit listrik yang menggunakan energi baru terbarukan berasal dari energi

surya adalah *photovoltaic* (PV). Energi yang berasal dari energi surya ini tidak menimbulkan emisi karbon karena termasuk energi yang ramah lingkungan yang bebas dari polusi dan dapat diperoleh secara gratis. Pembangkit listrik tenaga surya ini bekerja dengan cara merubah secara langsung radiasi matahari menjadi listrik. Kondisi negara dengan letak di jalur khatulistiwa dengan 2 musim membawa manfaat maupun kerugian, manfaat yang didapat adalah energi matahari bersinar sepanjang tahun, sehingga didapatkan energi yang besar, tetapi dengan nilai temperatur lingkungan rata-rata akan lebih tinggi, dibandingkan dengan negara 4 musim [2], yang dapat memberikan efek kenaikan temperatur sel *photovoltaic* apabila tidak memperhatikan mengenai penempatan *photovoltaic* dan kondisi temperatur sekitarnya. *Photovoltaic* ini dapat menghasilkan daya yang dapat berubah-ubah sesuai dengan iradiasi dan temperatur yang diterima dari PV. Sistem *photovoltaic* ini memiliki efisiensi konversi radiasi menjadi energi listrik yang kecil[4]. Untuk meningkatkan efisiensi konversi energy listrik pada *photovoltaic* dapat digunakan *maximum power point tracking* (MPPT) sehingga PV dapat mempertahankan daya pada titik maksimum[5]. Pembangkit listrik tenaga surya PV ini memproduksi daya arus searah sehingga untuk mengkonversi daya arus searah (DC) menjadi daya arus bolak balik (AC) dibutuhkan sebuah *inverter*. Pada pembangkit listrik tenaga surya terhubung *on grid*, *inverter* yang *Grid-connected* hasil tegangan keluaran dan frekuensi dari *inverter* harus sama dengan tegangan dan *frekuensi* di *Grid* [6].

2. Metode

2.1. Diagram Alir

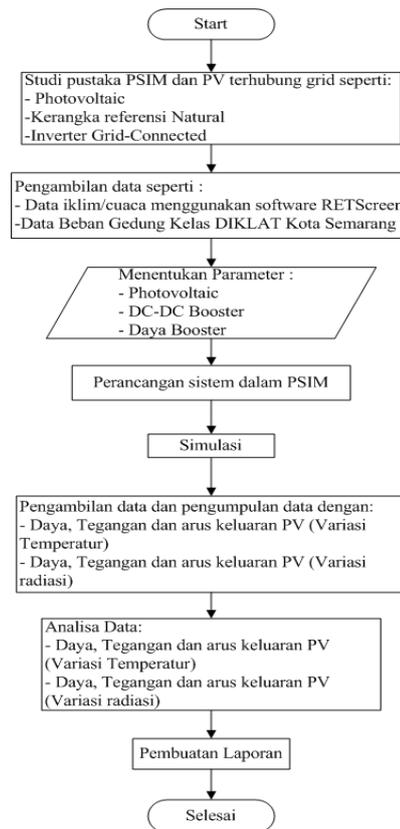
Penelitian Tugas Akhir ini dimulai dari studi literatur dengan mempelajari tentang pengaruh temperatur dan iradiasi terhadap keluaran daya, tegangan dan arus yang dihasilkan sumber energi terbarukan *photovoltaic* terhubung ke jaringan PLN. Serta pengambilan data cuaca/iklim kota Semarang tahun 2016 menggunakan software RETScreen. Urutan langkah yang dilakukan pada penelitian ini terdapat dalam diagram alir pada Gambar 1.

2.2. Desain Sistem

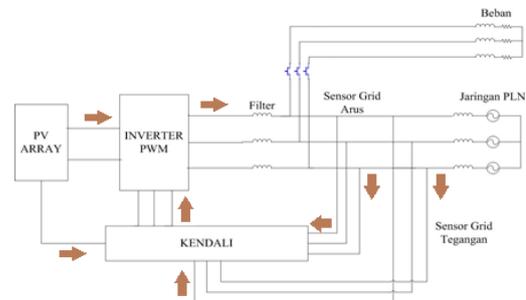
Desain sistem pengiriman daya ke *grid* 20 kV dengan beban terdiri atas beberapa blok yang ditunjukkan oleh Gambar 2

2.3. Rangkaian Photovoltaic Terhubung ke Grid 380V

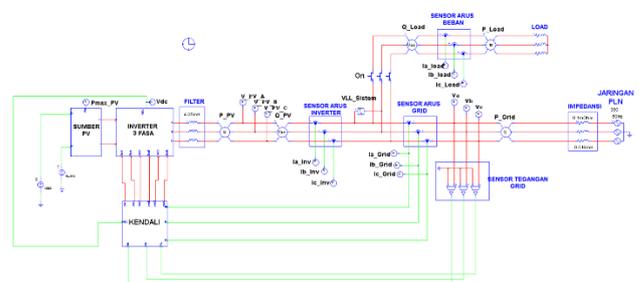
Rangkaian *photovoltaic* terhubung ke *grid* 20 kV terdiri atas PV array, DC-DC booster, Maximum Power Point Tracker (MPPT), Inverter IGBT tiga fasa, Pulse Width Modulation (PWM), filter, Phase Locked Loop (PLL), *grid control* dan *grid*.



Gambar 1. Diagram alir penelitian



Gambar 2. Desain sistem



Gambar 3. Rangkaian simulasi PV terhubung ke jaringan 20 kV

Sistem *grid-connected inverter* dapat bekerja dengan baik jika tegangan masukan DC lebih besar dari [6]

$$V_{DC} = \frac{(2\sqrt{2} \times V_{LL})}{\sqrt{3}m} \quad (1)$$

$$V_{DC} = \frac{(2\sqrt{2} \times 380)}{\sqrt{3} \times 0,9}$$

$$V_{DC} = 689,4 \text{ Volt}$$

Penelitian ini menggunakan tegangan DC sebesar 750 volt yang kemudian digunakan sebagai masukan *inverter*.

2.3.1. Desain Photovoltaic

Dirancang panel surya dapat mengirimkan daya sebesar 50 kW dengan menentukan tegangan maksimum yang diinginkan (V_{mpp}) sebesar 311 volt, maka menggunakan persamaan 2 dapat diketahui jumlah pemasangan PV secara seri sebagai berikut. [6].

$$\begin{aligned} V_{mppM} &= N_s V_{mpp} \\ 311 &= N_s \times 31,1 \\ N_s &= 10 \text{ rangkaian seri} \end{aligned} \quad (2)$$

Pada penelitian ini daya yang dibangkitkan sebesar 50 kW dengan V_{mppM} 311 volt, maka nilai arus maksimalnya dapat dituliskan dengan persamaan 3 sebagai berikut.

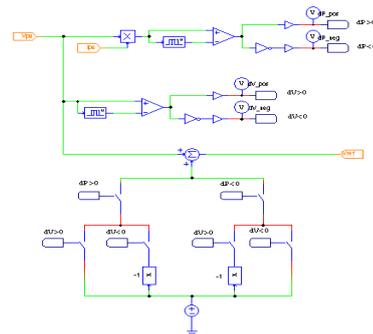
$$\begin{aligned} P_{maxM} &= V_{mppM} \times I_{mppM} \\ 15000 &= 311 \times I_{mppM} \\ I_{mppM} &= 48,23 \text{ Ampere} \end{aligned} \quad (3)$$

Maka dapat diketahui jumlah pemasangan PV secara paralel yang dapat dihitung menggunakan persamaan 4 sebagai berikut.

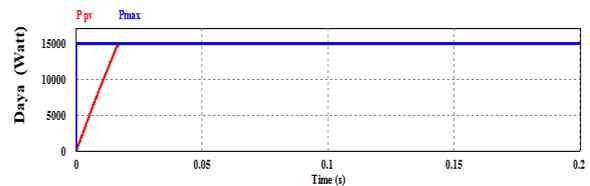
$$\begin{aligned} I_{mppM} &= N_p I_{mpp} \\ 48,23 &= N_p \times 8,05 \\ N_p &= 5,99 \\ N_p &= 6 \text{ rangkaian paralel} \end{aligned} \quad (4)$$

2.3.2. MPPT

Agar PV dapat mengirimkan daya secara maksimal digunakan *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) yang berfungsi untuk mencari dan menjaga titik maksimum daya dari PV. Rangkaian MPPT ditunjukkan oleh Gambar 4.



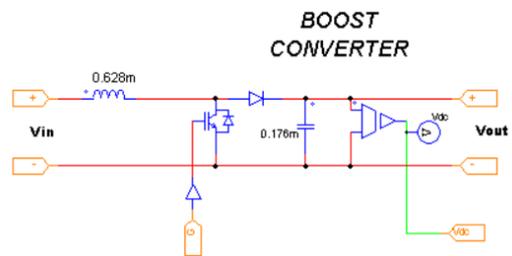
Gambar 4. MPPT jenis *peturb and observe*.



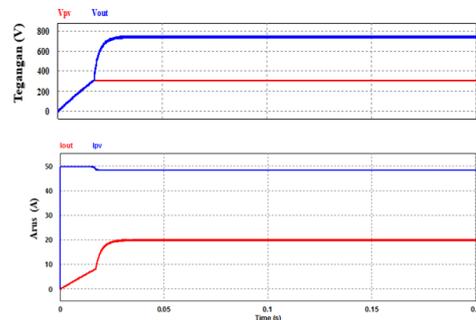
Gambar 5. Grafik daya keluaran PV menggunakan MPPT.

2.3.3 Boost Converter

Selelah tercapai tegangan maksimal maka keluaran dari MPPT berupa *gating* mengaktifkan kerja *DC-DC booster* yang berfungsi untuk menaikkan tegangan seperti yang ditunjukkan Gambar 6. DC



Gambar 6. Rangkaian DC-DC booster



Gambar 7. Tegangan dan arus keluaran *boost converter*.

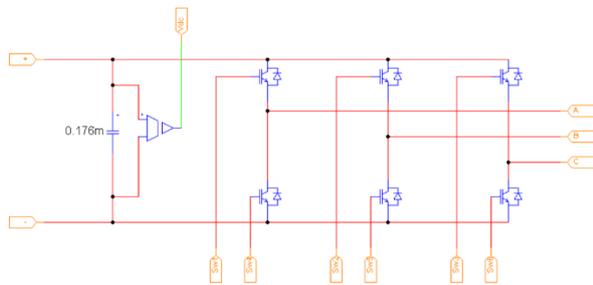
Kemudian tegangan keluaran *boost converter* digunakan sebagai tegangan masukan untuk *inverter*.

2.3.4. Desain Grid Side Controller

Grid side controller terdiri dari inverter, DC link voltage controller, rangkaian kontrol dan pulse width modulation. Grid side controller berfungsi sebagai pengendali sinkronisasi pada sisi grid.

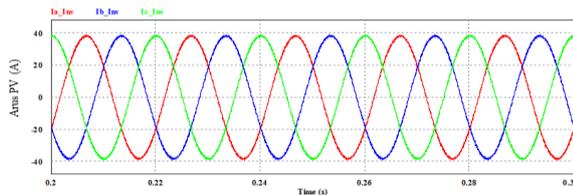
A. Inverter

Penelitian ini menggunakan inverter dengan voltage source inverter (VSI) yang pensaklaranya menggunakan Pulse Width Modulation (PWM). Inverter pada penelitian ini menggunakan IGBT, maka digunakan frequency switching sebesar 15 kHz. Rangkaian inverter tersebut ditunjukkan oleh Gambar 8.



Gambar 8. Inverter 3 fasa

Gelombang keluaran inverter masih berupa gelombang kontak sehingga dibutuhkan filter sebesar 4,05mH agar keluarannya menjadi gelombang sinusoidal seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 9[6].

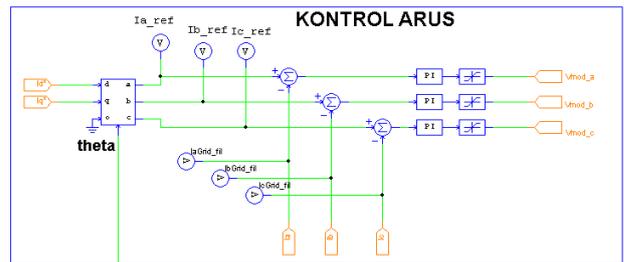


Gambar 9. Gelombang arus keluaran inverter

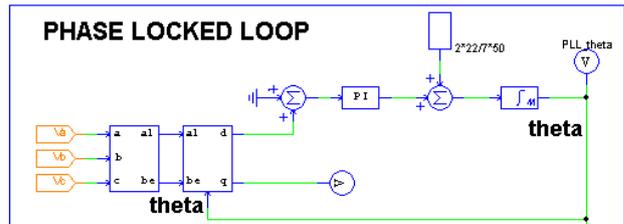
Setelah terbentuk gelombang sinusoidal kemudian dilakukan sinkronisasi arus dan tegangan inverter dengan grid menggunakan rangkaian kontrol grid.

B. Rangkaian Kontrol

Rangkaian kontrol grid ini terdiri dari rangkaian kontrol arus kerangka referensi natural dan Phase Locked Loop (PLL) [3]. Phase Locked Loop (PLL) berfungsi untuk mensinkronkan sudut fasa dan frekuensi inverter dengan grid. Rangkaian kontrol grid ditunjukkan oleh Gambar 10 kemudian rangkaian PLL ditunjukkan oleh Gambar 11.

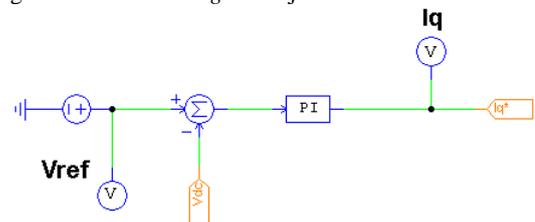


Gambar 10. Rangkaian kontrol grid.



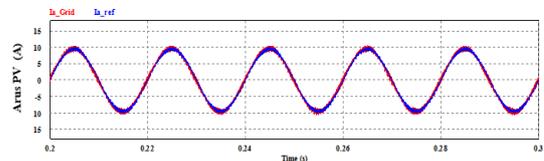
Gambar 11. Rangkaian phase locked loop

Kontrol arus kerangka referensi natural berhasil jika arus grid mengikuti arus referensi seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 13. Arus referensi berasal dari tegangan PV yang dikontrol menggunakan DC link voltage kemudian ditransformasikan dq-abc sehingga membangkitkan arus referensi tersebut. Rangkaian DC link voltage ditunjukkan oleh Gambar 12.

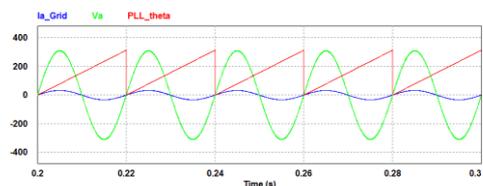


Gambar 12. Rangkaian DC link voltage

Kemudian sinkronisasi sudut fasa dan frekuensi berhasil jika arus grid satu fasa dengan fasa tegangan sistem. Kemudian berkerja pada frekuensi sistem sebesar 50 Hz seperti yang ditunjukkan Gambar 14.



Gambar 13. Gelombang arus grid dibandingkan dengan arus referensi

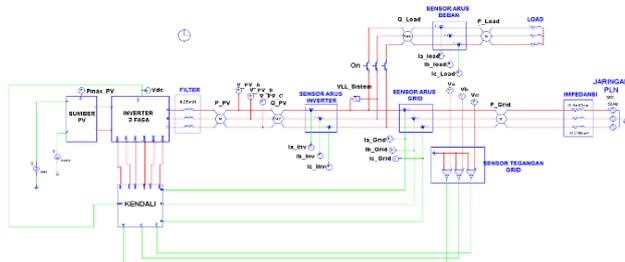


Gambar 14. Gelombang perbandingan sudut fasa PLL dengan arus dan tegangan pada jaringan

Setelah dilakukan pengontrolan *grid*, keluaran dari transformasi *dq-abc* berupa tegangan modulasi yang kemudian masuk ke PWM sebagai pensaklaran kerja *inverter* 3 fasa.

2.4 Rangkaian Photovoltaic Terhubung ke Grid 380 V dan Beban

Setelah dilakukan perancangan rangkaian PV terhubung *grid* yang berhasil dilakukan, kemudian *grid* diparalelkan dengan beban linear dengan cara mengaktifkan *push button* sehingga terbentuk rangkaian yang ditunjukkan oleh Gambar 15.



Gambar 15. Rangkaian simulasi PV terhubung ke grid dan beban

3. Hasil dan Analisa

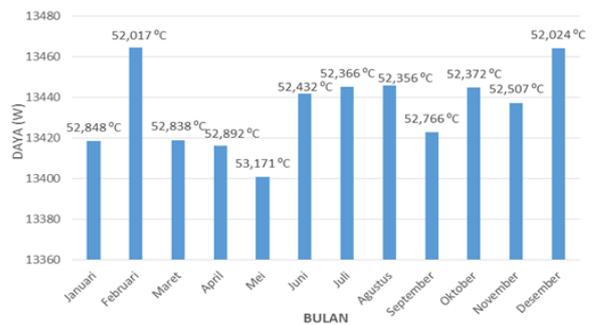
3.1. Unjuk kerja Perubahan Temperatur Sumber Photovoltaic Terhubung Grid 380 V

Simulasi dilakukan dengan variasi temperatur terhadap rangkaian simulasi *photovoltaic* (PV) yang terhubung ke *grid* dengan beban seperti pada Gambar 15 dengan kebutuhan daya 19,4 kW pada beban. Pada perancangan pembangkit listrik tenaga surya didesain mampu menghasilkan daya 15 kW sesuai dengan kondisi STC yaitu temperatur 25 °C dan iradiasi 1000 W/m². Karena temperatur merupakan salah satu faktor pengaruh terhadap daya, tegangan, dan arus keluaran *photovoltaic* (PV) maka setelah disimulasikan dapat terlihat perbedaan nilai keluaran daya, tegangan dan arus akibat perubahan temperatur.

Variasi temperatur akan menggunakan data iklim dari software RETScreen yang terintegrasi oleh NASA. Data yang digunakan adalah data perubahan suhu rata-rata perbulan di tahun 2016. Simulasi dilakukan kondisi berbagai perubahan temperatur dengan iradiasi konstan yaitu 1000 Watt/m² untuk mengetahui pengaruh temperatur terhadap tegangan, arus dan daya keluaran pembangkit listrik *photovoltaic* (PV). Hasil simulasi dari variasi temperatur dengan iradiasi konstan ditunjukkan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Hasil simulasi sumber PV terhadap perubahan temperatur dengan iradiasi konstan 1000 W/m²

Bulan	Tc (°C)	P Pv (W)	P Grid (W)	Tegangan (V)	Arus (A)
Januari	52,85	13418,32	5983,71	280,38	48,04
Februari	52,02	13464,23	5937,78	281,28	48,04
Maret	52,84	13418,87	5983,14	280,39	48,04
April	52,89	13415,89	5986,14	280,33	48,04
Mei	53,17	13400,58	6001,46	280,03	48,03
Juni	52,43	13441,59	5960,48	280,83	48,04
Juli	52,36	13445,00	5956,98	280,90	48,04
Agustus	52,35	13445,63	5956,39	280,91	48,04
September	52,76	13422,74	5979,28	280,46	48,04
Oktober	52,37	13444,54	5957,49	280,89	48,04
November	52,51	13437,2	5964,82	280,74	48,04
Desember	52,02	13464,06	5938,01	281,27	48,04

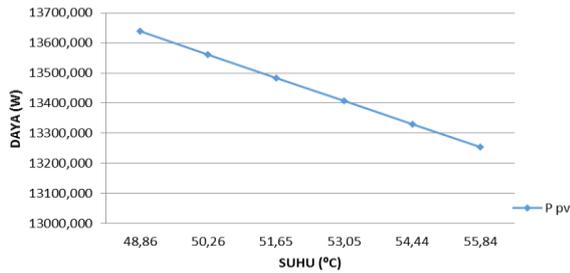


Gambar 16. Grafik Hubungan Temperatur Bulanan dan Daya Keluaran PV di tahun 2016

Pada Gambar 16. didapati bahwa semakin tinggi nilai temperatur maka nilai daya akan semakin menurun. Titik tertinggi daya yang dihasilkan pada saat temperatur 52,017 °C yaitu 13.464,23 W pada iradiasi 1000 W/m². Pada temperatur 53,171 °C daya yang dihasilkan menurun, yaitu 13.400,58 W pada iradiasi 1000 W/m². Penurunan daya tersebut dapat mencapai titik 63,65 Watt, antara temperatur terendah dengan tertinggi pada iradiasi maksimal (1000 W/m²).

Tabel 2. Hasil simulasi PV terhadap perubahan temperatur di bulan Agustus 2016 dengan iradiasi konstan 1000 W/m²

Tc Min-Max (°C)	P Pv (W)	P Grid (W)	TEGANGAN (V)	ARUS (A)
48,86	13638,47	5763,62	284,71	48,08
50,26	13560,82	5841,14	283,19	48,06
51,65	13484,19	5917,83	281,67	48,05
53,05	13407,75	5994,22	280,15	48,03
54,44	13330,53	6071,52	278,64	48,02
55,84	13253,68	6148,33	277,13	48,01

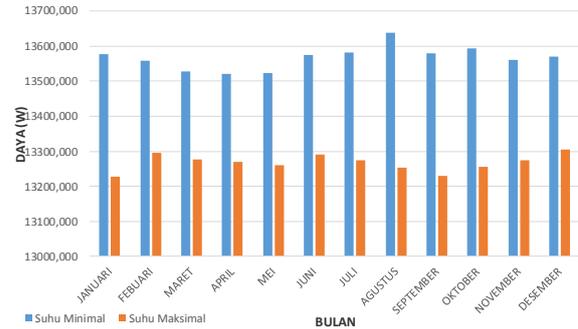


Gambar 17. Grafik hubungan temperatur dan Daya keluaran PV di bulan Agustus tahun 2016

Dipilih Bulan Agustus sebagai contoh karena pada bulan Agustus memiliki selisih nilai temperatur minimal dan maksimal terbanyak sehingga dapat mewakili bulan-bulan lainnya. Pada Gambar 17. didapati bahwa semakin tinggi nilai temperatur maka nilai daya akan semakin menurun. Titik tertinggi daya yang dihasilkan pada saat temperatur 48,86 °C yaitu 13.638,473 W pada irradiansi 1000 W/m². Pada temperatur 55,84 °C daya yang dihasilkan menurun, yaitu 13.253,681 W pada irradiansi 1000 W/m². Selisih antara temperatur minimal dan maksimal di bulan Agustus adalah 6,98 °C yang didapat dari pengurangan temperatur 55,84 °C dan 48,86 °C mengakibatkan penurunan daya mencapai titik 384,792 Watt.

Tabel 2. Hasil simulasi variasi irradiansi dengan suhu 25°C

Bulan	Tc (°C)	P PV (W)	P Grid (W)	V Pv (V)	ARUS (A)	
Jan	MIN	49,96	13577,60	5824,39	283,50	48,06
	MAX	56,32	13226,89	6175,11	276,60	48,00
Feb	MIN	50,30	13558,59	5843,41	283,14	48,06
	MAX	55,06	13296,01	6106,01	277,96	48,01
Mar	MIN	50,85	13528,41	5873,56	282,54	48,05
	MAX	55,41	13276,99	6125,09	277,59	48,01
Apr	MIN	50,97	13521,92	5880,15	282,31	48,05
	MAX	55,54	13269,57	6132,42	277,45	48,00
Mei	MIN	50,96	13522,38	5879,66	282,42	48,05
	MAX	55,73	13259,26	6142,74	277,24	48,00
Jun	MIN	49,99	13575,90	5826,09	283,48	48,06
	MAX	55,13	13291,56	6110,45	277,89	48,01
Jul	MIN	49,89	13581,21	5820,79	283,58	48,06
	MAX	55,46	13273,84	6128,18	277,53	48,00
Aug	MIN	48,85	13638,53	5763,50	283,62	48,06
	MAX	55,83	13253,51	6148,55	277,13	48,00
Sep	MIN	49,92	13579,81	5822,21	283,56	48,06
	MAX	56,27	13229,72	6172,31	277,74	48,01
Okt	MIN	49,66	13594,29	5807,72	283,84	48,07
	MAX	55,82	13254,56	6147,41	277,14	48,00
Nov	MIN	50,26	13560,75	5841,22	283,18	48,06
	MAX	55,45	13274,55	6127,42	277,54	48,01
Des	MIN	50,11	13569,39	5832,55	283,35	48,06
	MAX	54,91	13304,64	6097,42	278,30	48,01



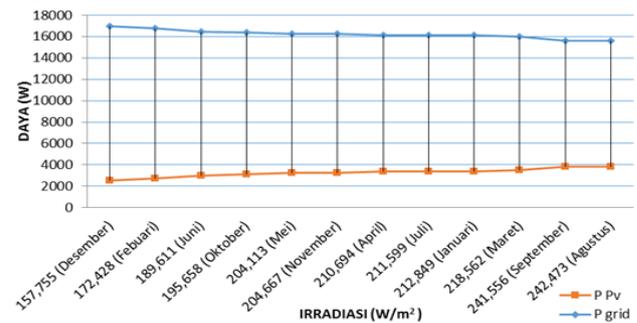
Gambar 18. Grafik Hubungan Temperatur Bulanan dan Daya Keluaran PV di tahun 2016

Pada Gambar 18. dapat dilihat setiap bulannya bahwa terdapat perbedaan nilai keluaran daya saat temperatur minimal dan maksimal perbulannya. Sebagai contoh dibulan Januari saat temperatur (minimal) 49,969 °C dapat menghasilkan daya sebesar 13.577,603 W, sedangkan pada temperatur (maksimal) 56,321 °C menghasilkan daya 13.226,898 W ini menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai temperatur maka nilai daya akan semakin menurun. Selisih antara temperatur minimal dan maksimal di bulan Januari adalah 6,35 °C yang didapat dari pengurangan temperatur 56,321 °C dan 49,969 °C mengakibatkan penurunan daya mencapai titik 350,705 Watt, pada irradiansi maksimal (1000 W/m²).

3.2. Unjuk kerja Perubahan Irradiansi Sumber Photovoltaic dan Pengaruh Terhadap Grid 380V

Bertujuan untuk mengetahui bulan optimal dimana PV mengirimkan daya ke beban. Simulasi dilakukan dengan variasi irradiansi dengan temperatur konstan terhadap rangkaian simulasi *photovoltaic* (PV) yang terhubung ke *grid* dengan beban seperti pada Gambar 15. dengan kebutuhan daya 19,4 kW pada beban.

Simulasi akan dilakukan variasi irradiansi dengan temperatur konstan 25 °C terhadap rangkaian simulasi *photovoltaic* (PV) yang terhubung ke *grid*. Variasi irradiansi akan menggunakan data iklim dari software RETScreen yang terintegrasi oleh NASA. Data yang digunakan adalah data irradiansi rata-rata di tahun 2016.



Gambar 19. Grafik Hubungan Temperatur Bulanan dan Daya Keluaran PV di tahun 2016

Tabel 5. Hasil unjuk kerja PV terhubung ke grid dengan beban variasi iradiasi dengan suhu 25°C.

Bulan	Iradiasi (W/m ²)	P pv Max (W)	P pv (W)	P Grid (W)
Januari	212,85	3392,46	3306,96	16094,54
Februari	172,43	2747,84	2655,47	16745,95
Maret	218,56	3483,29	3400,20	16001,37
April	210,69	3358,16	3275,95	16125,59
Mei	204,11	3253,41	3166,34	16235,11
Juni	189,61	3022,25	2932,92	16468,53
Juli	211,60	3372,56	3289,88	16111,63
Agustus	242,47	3862,68	3786,16	15615,42
September	241,56	3848,15	3770,57	15630,99
Oktober	195,66	3118,71	3032,23	16369,2
November	204,67	3262,23	3175,51	16225,93
Desember	157,76	2513,12	2423,14	16978,29

Pada Gambar 19. didapati bahwa perubahan keluaran daya dari sumber photovoltaic ini mengakibatkan berubah pula suplai daya dari grid. Sebagai contoh, saat irradiasi 242,473 W/m² menghasilkan daya 3786,165 W untuk memenuhi beban 19,4 kW dibutuhkan suplai dari grid 15615,42W, sedangkan pada irradiasi 157,755 W/m² menghasilkan daya 2423,147 W dibutuhkan suplai daya dari grid sebesar 16978,29 W untuk memenuhi kebutuhan beban.

4. Kesimpulan

Hasil dari pembahasan tugas akhir ini yaitu pengaruh kenaikan temperatur dari sistem PV terhubung *grid*, pada irradiasi 1.000 W/m² saat temperatur sel terendah di tahun 2016 yaitu 48,859 °C menghasilkan daya 13.638,473 W, sedangkan pada saat temperatur sel tertinggi di tahun 2016 yaitu 56,321 °C menghasilkan daya 13.226,898 W. Pengaruh iradiasi dari sistem PV terhubung *grid* pada temperatur 25 °C saat irradiasi 157,755 W/m² daya yang dihasilkan 2.423,147 W, sedangkan pada saat irradiasi 242,473 W/m² menghasilkan daya 3.786,165 W dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi nilai temperatur maka daya keluaran PV mengalami penurunan dan semakin tinggi nilai iradiasi maka semakin besar nilai daya yang dihasilkan PV.

REFERENSI

- [1] P. R. Indonesia, *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 79 tentang Kebijakan Energi Nasional*, Jakarta, 2014
- [2] S. Kurtz., D. Miller., *Evaluation of High-Temperature Exposure of Photovoltaic Modules*, NREL (National Renewable Energy Laboratory), Philadelphia, 2009
- [3] Frede Blaabjerg, Remus Teodorescu, Marco Liserre, Adrian V. Timbus. "Overview of Control and Grid Synchronization for Distributed Power Generation System". IEEE Transactions on Industrial Electronics, October 2006. pp. VOL.53, NO.5
- [4] Susatyo Handoko, Tejo Sukmadi. "Maximum Power Point Tracking Simulation for a Photovoltaic System". Int. Conference on Information Technology, Computer and Electrical Engineering (ICITACEE). 2015.
- [5] Tito, Beng. "Metode MPPT Baru untuk Sel Surya Berdasarkan Pengendali PI". Teknik Elektro Universitas Indonesia. 2012.
- [6] Bhim Singh, D.T.Shahani, Arun Kumar Verma. "Power Balance Theory Based Control of Grid Interfaced Solar Photovoltaic Power Generating System with Improved Power Quality". IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems. 2012
- [7] RG, Ross., *Flat-Plate Photovoltaic Array Design Optimization*, 14th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 1980