

MAXIMUM POWER POINT TRACKING MENGGUNAKAN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK UNTUK SISTEM PV TERHUBUNG GRID MELALUI WIDE RANGE INPUT INVERTER

Muhammad Syafei Gozali, Dedet Candra Riawan, Mochamad Ashari
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
e-mail : gozali11@mhs.ee.its.ac.id

ABSTRAK

Photovoltaic (PV) sebagai pembangkit listrik merupakan salah satu alternatif pemanfaatan sumber energi terbarukan. Pemakaian daya pembangkit konvensional dapat dikurangi dengan menghubungkan sistem PV ke grid. Efisiensi pada sistem PV dapat ditingkatkan dengan pertama meningkatkan kualitas materialnya dan kedua dengan mengoperasikan panel PV pada titik optimum daya dengan teknik *Maximum Power Point Tracking* (MPPT). Dalam penelitian ini dilakukan teknik kedua untuk mendapatkan titik optimum operasi PV yaitu teknik MPPT. Penggunaan Sistem PV yang dihubungkan ke grid dapat membantu menurunkan biaya bahan bakar dari sistem konvensional. Untuk meningkatkan kinerja sistem PV yang terhubung grid dengan menggunakan konverter satu tingkat konversi dan sekaligus berfungsi sebagai MPPT. *Wide range input single stage inverter* dapat melakukan konversi dan transformasi tegangan serta MPPT dalam satu tahap konversi, juga memiliki jangkauan perubahan input yang luas. Untuk mengurangi stress pada komponen inverter, maka inverter dioperasikan dalam *Continuous Conduction Mode* (CCM). Teknik MPPT menggunakan *Artificial Neural Network* (ANN) dengan input iradian dan temperatur. Pada penelitian ini, simulasi kontrol sistem menggunakan software Matlab. Hasil Simulasi sistem PV 1440 W yang terhubung grid menunjukkan bahwa inverter telah bekerja secara efektif sesuai dengan kondisi dari perubahan temperatur dan iradiasi yang masuk pada pv panel.

Kata kunci: *photovoltaic* (PV), *maximum power point tracking* (MPPT), *Continuous Conducting Mode* (CCM), *artificial neural network*(ANN)

1. PENDAHULUAN

Pemanfaatan sumber energi terbarukan merupakan pengganti energi konvensional yang sudah menipis jumlah cadangannya. Sumber energi terbarukan ini juga dapat mengurangi emisi polusi dan gas rumah kaca yang disebabkan energi konvensional. Sumber energi terbarukan dapat berasal dari air, surya, dan angin. Potensi energi surya di Indonesia sangat signifikan, iradiasi matahari rata-rata sebesar 4,8 kWh/m²/hari. Oleh karena itu pemanfaatan energi surya sangat tepat diaplikasi di negara Indonesia.

Untuk mengurangi pemakaian daya dari pembangkit konvensional maka sistem photovoltaic (PV) dihubungkan ke grid. Efisiensi yang rendah menjadi masalah pada sistem PV sehingga memerlukan tahap untuk mengoptimalkan daya PV dengan teknik *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) dan tahap untuk konversi daya DC menjadi AC, yang mengakibatkan bertambahnya biaya sistem. Biaya juga akan semakin bertambah dengan terhubungnya sistem PV ke grid dikarenakan penambahan peralatan, salah satunya transformer.

Biaya sistem PV terhubung ke grid dapat dikurangi dengan melepas transformer serta meminimalkan tahap konversi. Penggunaan wide range input single-stage inverter dapat mengurangi biaya dikarenakan hanya satu tahap konversi dan tidak menggunakan transformer. Efisiensi dapat ditingkatkan dengan mengoperasikan single-stage inverter dalam *Continuous Conducting Mode*

(CCM). Selain itu, pada operasi CCM juga dapat mengurangi losses dari switching dan konduksi, serta peak current stress.

Pada penelitian ini digunakan metode untuk meningkatkan efisiensi sistem PV terhubung grid melalui single-stage inverter dengan operasi CCM dan mendesain sebuah sistem kontrol MPPT menggunakan artificial neural network (ANN).

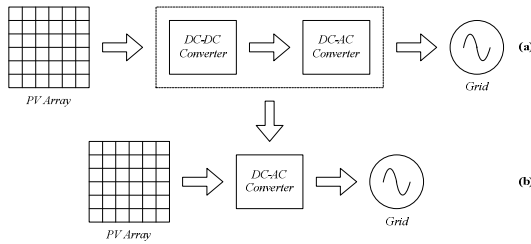
2. TUJUAN

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dari sistem PV terhubung grid, dengan:

- Optimisasi MPPT berbasis ANN pada sistem PV.
- Penggunaan topologi single-stage inverter pada sistem PV terhubung grid.
- Mengoperasikan single-stage inverter dalam kondisi CCM, untuk mengurangi losses dan stress pada komponen inverter.

3. METODE PENELITIAN

Topologi sistem PV terhubung grid, seperti yang ditunjukkan gambar 1, secara tipikal melalui dua tingkat konverter. Pada tingkat pertama adalah DC-DC konverter yang berfungsi untuk meningkatkan (boosting) tegangan output dari PV dan MPPT. Pada tingkat kedua adalah DC-AC konverter yang berfungsi untuk mengkonversi dari daya DC menjadi daya AC.



Gambar 1. Topologi Sistem PV Terhubung Grid: (a) dua tingkat konverter, (b) satu tingkat konverter

Pada penelitian ini, menggunakan satu tingkat konverter untuk Sistem PV yang terhubung grid yaitu DC-AC konverter yang dapat berfungsi untuk boosting dan MPPT serta untuk mengkonversi dari daya DC menjadi daya AC. Sistem ini memiliki keuntungan lebih efisien dan handal dari sistem dua tingkat inverter karena komponen yang digunakan lebih sedikit [1].

3.1 Pemodelan Photovoltaic

PV Array dibentuk dari kombinasi PV cell yang dihubungkan seri atau paralel. Rangkaian ekuivalen PV cell dapat digambarkan seperti pada gambar 2 yang terdiri dari Sumber arus I_{ph} , dioda D, resistor seri R_s dan resistor paralel R_p . tegangan dan arus dari PV cell, dipengaruhi oleh insulation dan temperature [2].

Besarnya tegangan output sel V_{cell} , yaitu

$$V_{cell} = \left(\frac{nkT_c}{q} \right) \ln \left(\frac{I_{ph} + I_o - I_{cell}}{I_o} \right) - R_s \times I_{cell} \quad (1)$$

Dengan, n adalah Faktor ideal cell, k merupakan konstanta boltzman's, T_c ialah Temperatur operasi cell ($^{\circ}C$), q adalah Muatan electron, I_{cell} adalah Arus output cell (A) dan R_s ialah Resistansi seri cell (Ohm). Arus photovoltaic I_{ph} (A) ditentukan sebagai berikut,

$$I_{ph} = [I_{sc} + K1(T_c - T_o)]G \quad (2)$$

Dimana, I_{sc} adalah arus hubung singkat (A), $K1$ adalah Koefisien temperatur arus hubung singkat. I_{ph} dipengaruhi oleh solar insolation G (kW/m^2) dan temperatur, dengan besarnya temperatur adalah selisih dari temperatur operasi T_c dan temperatur referensi T_o . Besarnya I_{sc} didapat dari,

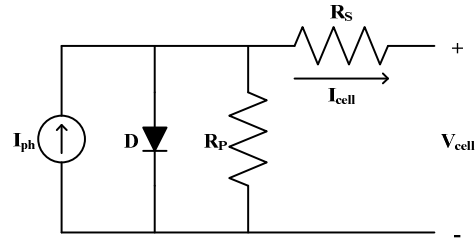
$$I_{sc} = I_{so} (T_c / T_o)^2 \exp \left[qE_g \left(\frac{1}{T_o} - \frac{1}{T_c} \right) / kn \right] \quad (3)$$

Dengan, E_g adalah *bang-gap energy* dari semikonduktor yang digunakan cell, dari persamaan (3), maka didapat besarnya arus reverse saturasi I_o (A) adalah

$$I_o = I_{sc} / \left[\exp \left(\frac{qV_{oc}}{nkN_s T_o} \right) - 1 \right] \quad (4)$$

Dimana V_{oc} adalah tegangan *opencircuit* (V) dan N_s adalah jumlah *cell* seri dalam satu modul PV.

Pada makalah ini, model PV dikembangkan berdasarkan parameter dari PV



Gambar 2. Rangkaian ekuivalen PV cell

panelMSX60 (60 W) yang disusun seri paralel Tabel 1. Model PV yang digunakan merupakan model PV pada referensi [3].

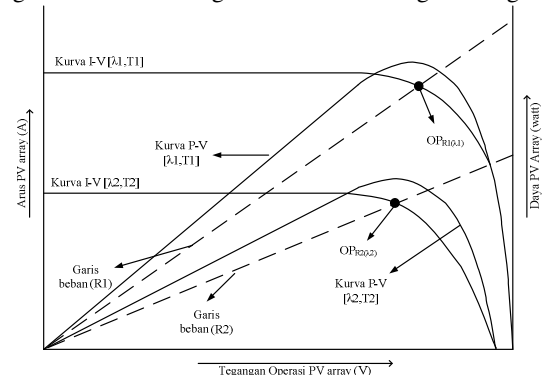
Tabel 1. Spesifikasi PV Panel

Spesifikasi saat $G = 1000 \text{ W/m}^2$ dan $T = 25^{\circ}C$	
Jumlah sel N_s	36
Daya Maksimum P_{max}	60 W
Tegangan saat P_{max}	17.1 V
Arus saat P_{max}	3.5 A
Tegangan Open-circuit	21.1 V
Arus Short-circuit	3.8 A

3.2 Maximum Power Point Tracking (MPPT)

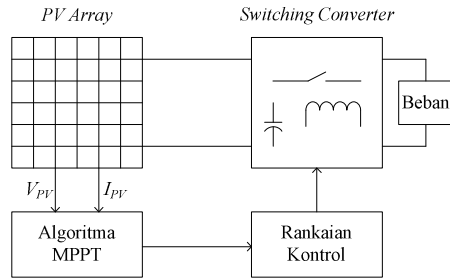
Gambar 3 menunjukkan karakteristik output dari PV array. Dari kurva I-V dan P-V dapat diketahui bahwa karakteristik output PV array tidak linier dan dipengaruhi oleh insolation, temperatur dan kondisi beban. Titik kerja OPR1($\lambda 1$) adalah maximum power point (MPP) pada kondisi insolation $\lambda 1$ dan temperatur $T1$ untuk beban $R1$. Jika insolation dan temperatur berubah menjadi $\lambda 2$ dan $T2$ maka kurva I-V dan P-V bergeser pada kurva ($\lambda 2, T2$). Untuk mencapai kondisi MPP maka beban harus berubah menjadi $R2$, jika tetap menggunakan beban $R1$ maka tidak bekerja pada kondisi MPP.

Kondisi lingkungan mempengaruhi daya output dari PV array, sehingga diperlukan beban yang dapat diatur untuk mendapatkan MPP. Sebagai pengganti beban yang berubah, digunakan switching converter yang terpasang diantara PV array dan beban, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4. Switching converter berfungsi sebagai



Gambar 3. Karakteristik I-V dan P-V dari PV array pada

insolation dan temperatur yang berbeda dengan beban resistif R1 dan R2



Gambar 4. Sistem Kontrol PV Array

kontrol untuk menyesuaikan beban terhadap output PV array yang bervariasi. Teknik untuk mendapatkan MPP disebut dengan maximum power point tracking (MPPT). Terdapat beberapa algoritma untuk mendapatkan MPPT. Algoritma MPPT yang sering digunakan yaitu hill climbing method, incremental conductance method, ripple based method, dan constant voltage method [4]. Metoda-metoda tersebut menggunakan tegangan dan arus dari PV array sebagai input. Output dari Algoritma MPPT dapat berupa tegangan dan arus yang digunakan sebagai referensi dari rangkaian kontrol untuk menggerakkan switch dari rangkaian switching converter.

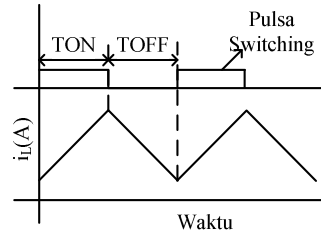
3.3 Topologi Single Stage Inverter

Pada penelitian ini, menggunakan topologi inverter Single Stage Single Phase (SSSP) [5] pada operasi CCM. CCM adalah kondisi arus pada induktor yang mana nilai arusnya tidak mencapai nol saat switch pada posisi OFF seperti yang ditunjukkan gambar 5.

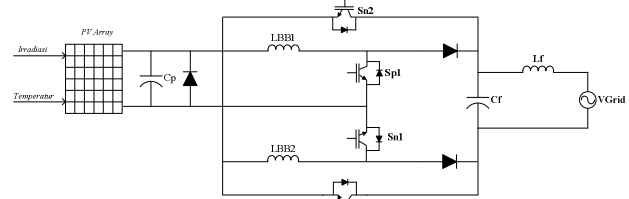
Rangkaian SSSP yang digunakan terbentuk dari dua buah Buck-Boost Converter yang terpasang antiparalel, seperti yang ditunjukkan gambar 6. Rangkaian ini berfungsi sebagai Current Source Inverter.

Pada dasarnya ada dua mode operasi jika inverter dioperasikan pada mode CCM. Mode pertama adalah mode charging, dimana Sp1 ON pada siklus positif atau Sn1 ON pada siklus negatif dari tegangan grid. Energi akan tersimpan pada induktor LBB1 atau LBB2 selama mode ini.

Mode kedua adalah mode discharging, dimana Sp1 atau Sn1 OFF. Maka energi yang tersimpan di induktor tadi akan dialirkan. Sp2 akan selalu ON selama siklus positif dan Sn2 akan selalu ON pada siklus negatif. Persamaan besarnya energi yang mengalir di induktor dari setiap mode [6] ditunjukkan pada tabel 2.



Gambar 5. Arus Induktor pada mode operasi CCM



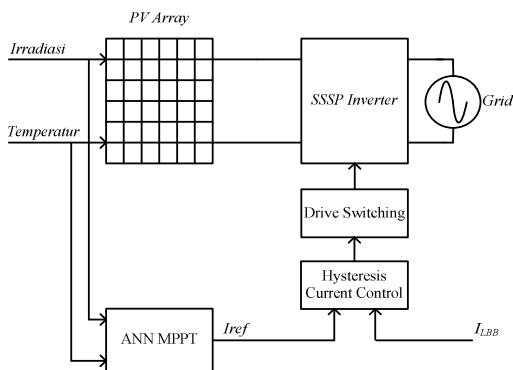
Gambar 6. Topologi SSSP inverter

Tabel 2. Tahap Switching dan Persamaan pada Kondisi CCM untuk Siklus Positif

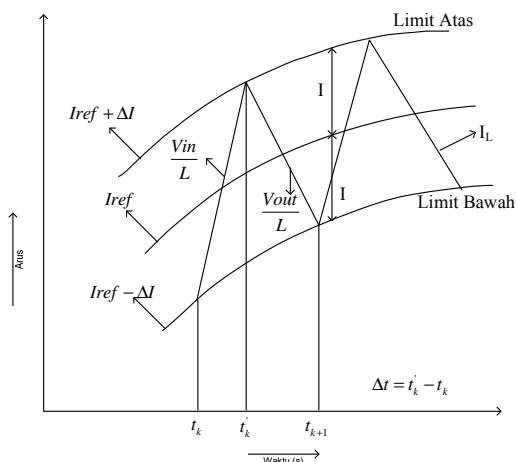
Mode	Switch		Persamaan	
	Sp1	Sp2		
I	ON	ON	$i_{PV} = C_p \frac{dv_{PV}}{dt} + i_{Lp}$	$v_{PV} = L \frac{di_{Lp}}{dt}$
			$C_f \frac{dv_f}{dt} + i_g = 0$	$v_f = L_f \frac{di_g}{dt} + v_{ac}$
II	OFF	ON	$i_{PV} = C_p \frac{dv_{PV}}{dt}$	$-v_{PV} = L \frac{di_{Lp}}{dt}$
			$C_f \frac{dv_f}{dt} + i_g = i_{Lp}$	$v_f = L_f \frac{di_g}{dt} + v_{ac}$

3.4 Strategi Kontrol Sistem

Kontrol switching SSSP inverter dimaksudkan untuk mengatur tegangan output dan arus output dari inverter dengan mengatur waktu ON dan OFF switch inverter. MPPT dari PV array pada penelitian ini menggunakan ANN dengan dua input yaitu dari insolation dan temperatur pada PV array. Output dari MPPT sebagai arus referensi Iref yang dibandingkan dengan arus yang mengalir pada induktor rangkaian inverter ILBB. Iref dan ILBB merupakan input dari Hysterisis Current Control dengan output digunakan untuk mengatur ON dan OFF switch pada SSSP inverter melalui drive switching. Blok diagram dari sistem kontrol ini ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 7. Blok Diagram Sistem Kontrol SSSP Inverter Berbasis ANN MPPT



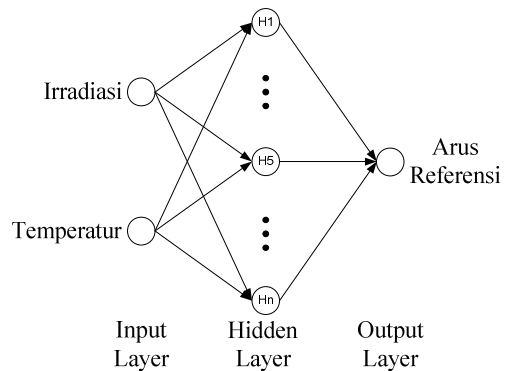
Gambar 8. Arus Hysteresis Pada Induktor

Hysteresis current control digunakan untuk mengontrol SSSP inverter sehingga beroperasi CCM. Seperti yang ditunjukkan gambar 8, besarnya arus yang mengalir di induktor I_L berada dalam toleransi limit atas dan limit bawah dari arus referensi I_{ref} . Pada waktu t_k , switch $Sp1$ atau $Sn1$ (dari gambar 6) ON, maka arus I_L akan mengalir di induktor sebesar V_{in}/L . Ketika I_L mencapai limit atas maka switch $Sp1$ atau $Sn1$ OFF pada waktu t_k' maka I_L mengalir sebesar V_{out}/L .

Metode pelatihan ANN pada penelitian ini adalah backpropagation. Backpropagation adalah metode umum pengajaran Jaring Syaraf Tiruan bagaimana melakukan tugas yang diberikan. Metode ini merupakan metode latihan terbimbing (supervised learning), dengan metode pelatihan koreksi galat terdiri dari dua lapisan, bagian umpan maju (forward pass), dan bagian umpan balik (backward pass) yang menjalar melalui lapisan jaring dengan layer untuk menghasilkan output sebagai respon aktual.

Pada penelitian ini, seperti yang ditunjukkan gambar 9, input ANN adalah suhu dan iradiasi, dan output dari ANN berupa arus referensi I_{ref} [7]. Untuk mengolah data input menjadi output,

ANN harus mengalami pelatihan atau training.



Gambar 9. Blok Struktur ANN untuk MPPT

Dalam proses pelatihan ANN dibutuhkan data pelatihan. Jumlah training data ANN tergantung dari jumlah masukan dan keluarannya. Jadi, untuk ANN yang memiliki dua masukan dan satu keluaran memiliki 3 macam training data.

4. SIMULASI DAN HASIL

Model simulasi untuk PV array, SSSP Inverter, ANN MPPT, serta Hysteresis current control menggunakan software simulink MATLAB. Simulasi dilakukan dengan menggunakan parameter PV array yang terdapat pada tabel 1, dimana panel pv dipasang 2 seri dan 4 paralel dengan daya optimum sebesar 1433.8 Wp, pada kondisi temperature 25°C dan Irradiasi 1000 W/m^2 .

Disain komponen inverter dengan merujuk dari persamaan pada referensi [4,6] maka didapat L_{B1} dan $L_{B2} = 1.2mH$, $C_f = 6.9 \mu F$, $L_r = 3.7mH$, $C_p = 4.5 mF$, serta pita toleransi (ΔI) untuk hysteresis current control 10% dari Amplitudo I_{ref} .

Pengujian sistem dilakukan dengan melihat perubahan temperature dan iradiasi.

4.1 Efek Perubahan Temperatur

Karakteristik output kurva I-V dan P-V dari PV array terhadap perubahan temperatur ditunjukkan pada Gambar 10 dan gambar 11. Efek perubahan temperatur sangat sedikit mempengaruhi besarnya arus PV, namun sangat berpengaruh pada tegangan open-circuit PV. Semakin besar temperatur, maka akan semakin besar pula penurunan tegangan open-circuit PV. Hal ini nampak pada Gambar 10. Perubahan tegangan mengakibatkan P maximum dari PV juga menurun seperti yang di tunjukan pada gambar 11.

4.2 Efek Perubahan Irradiasi

Karakteristik output kurva I-V dan P-V dari PV array terhadap perubahan iradiasi ditunjukkan pada Gambar 12 dan gambar 13. Efek perubahan iradiasi sangat mempengaruhi besarnya arus PV, Semakin besar Irradiasi, maka akan semakin besar pula penurunan Arus PV. Hal ini

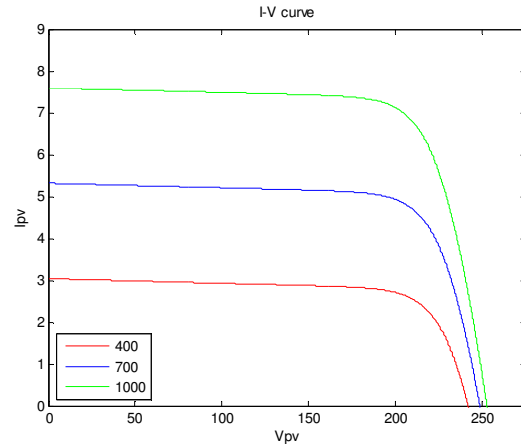
nampak pada Gambar 12. Perubahan arus mengakibatkan P maximum dari PV juga menurun seperti yang di tunjukan pada gambar 13.

4.3 Simulasi Sistem dengan ANN MPPT

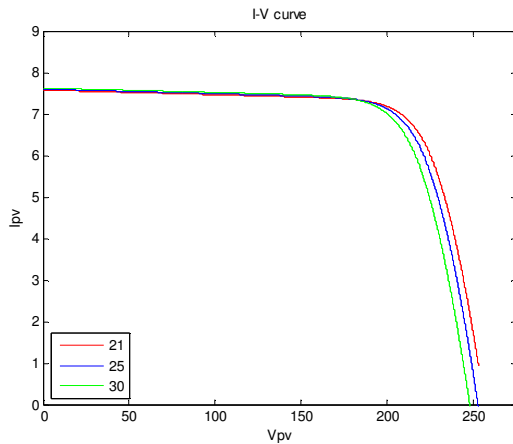
Pada simulasi ini dilihat kemampuan sistem untuk mendapatkan titik optimum dari PV dengan perubahan temperature dan irradiansi.

Input data learning ANN MPPT diambil dari perubahan temperatur dan irradiansi dengan jumlah data 150, keluaran dari ANN MPPT adalah Iref yang nantinya dimasukkan ke Hysterisis current control.

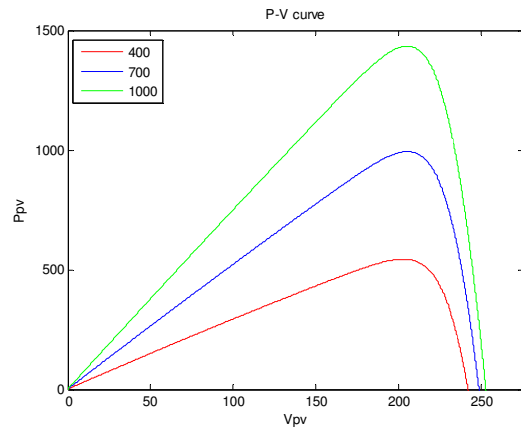
Gambar 14 menunjukan blok diagram sistem. Hasil dari simulasi sistem ini ditunjukkan pada gambar 15 s/d 21.



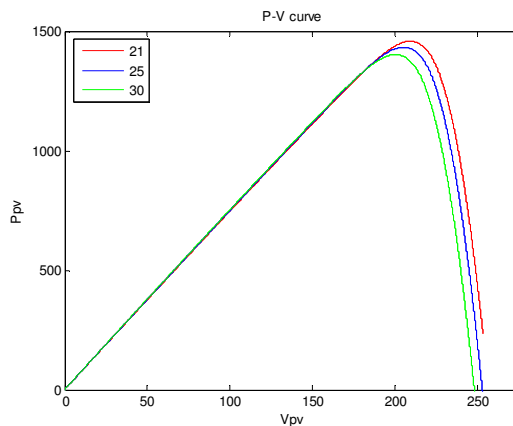
Gambar 12. Perubahan Temperatur pada Kurva I-V



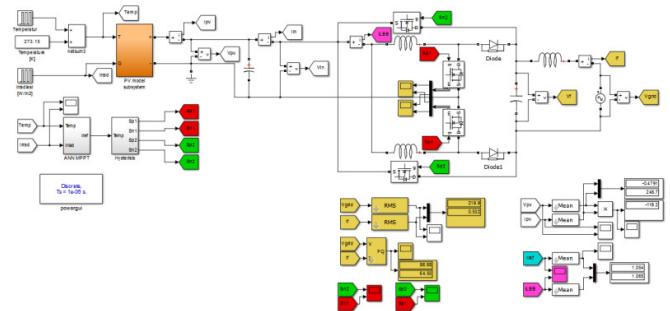
Gambar 10. Perubahan Temperatur pada Kurva I-V



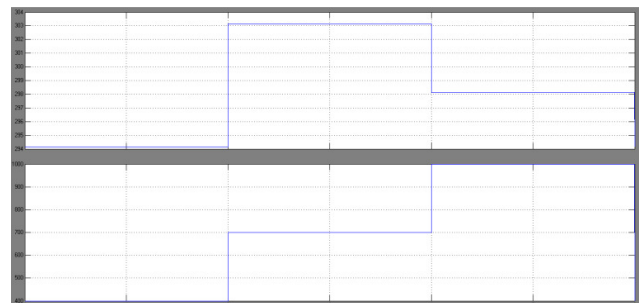
Gambar 13. Perubahan Temperatur pada Kurva P-V



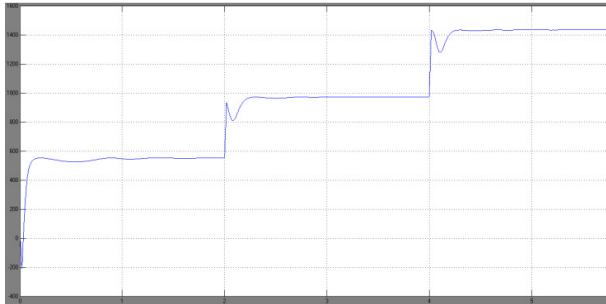
Gambar 11. Perubahan Temperatur pada Kurva P-V



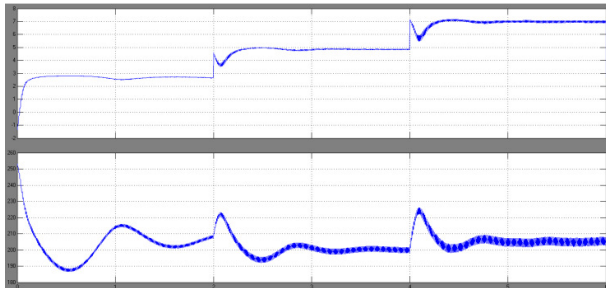
Gambar 14. Blok Diagram sistem



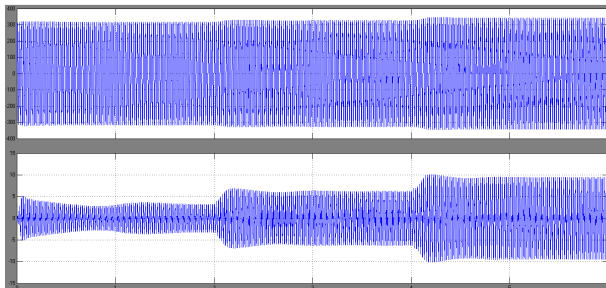
Gambar 15. Perubahan Temperatur (K) dan Irradiansi (w/m²)



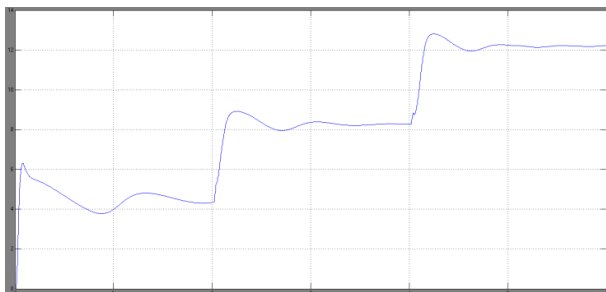
Gambar 16. Daya PV



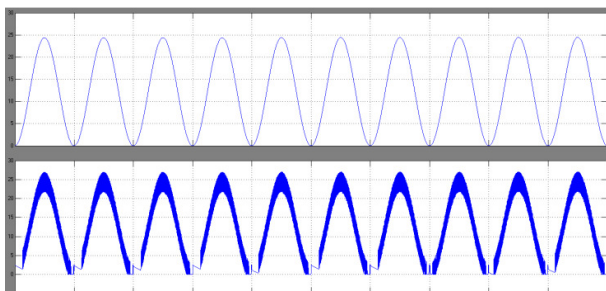
Gambar 17. Arus dan Tegangan PV



Gambar 18. Tegangan dan Arus Grid



Gambar 20. (Iref Average)



Gambar 21. Iref dan ILBB

5. KESIMPULAN

Pada makalah ini telah dijelaskan penelitian mengenai sistem pv terhubung grid melalui single stage inverter dengan metode MPPT menggunakan ANN. Hasil simulasi menunjukkan bahwa dengan menggunakan single stage inverter daya maksimum PV juga dapat dicapai sehingga meningkatkan efisiensi sistem, serta dengan menggunakan teknik MPPT yang menggunakan ANN dapat mempercepat tercapainya daya maksimum PV.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. L. Yu, T. P. Lee, G. H. Wu, Q. S. Chen, H. J. Chiu, Y. K. Lo, "A DSP-Based Single-Stage Maximum Power Point Tracking PV Inverter," IEEE, pp. 948-952, 2010.
- [2] T. Kerekes, R. Teodorescu, P. Rodriguez, G. Vazquez, E. Aldabas, "A New High-Efficiency Single-Phase Transformerless PV Inverter Topology," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 58, no. 1, pp. 184-191, Jan. 2011.
- [3] M.G. Villalva, J.R. Gazoli and E. R. Filho, "Comprehensive approach to modeling and simulation of photovoltaic arrays," IEEE Trans. Power Electron. vol. 24, no. 5, pp. 1198-1208, May 2009.
- [4] S. Jain, V. Agarwal, "A Single-Stage Grid Connected Inverter Topology for Solar PV Systems With Maximum Power Point Tracking," IEEE Trans. Power Electron., vol. 22, no. 5, pp. 1928-1940, Sep. 2007.
- [5] H. Patel, V. Agarwal, "MPPT Scheme for a PV-Fed Single-Phase Single-Stage Grid-Connected Inverter Operating in CCM With Only One Current Sensor," IEEE Trans. Energy Convers., vol. 24, no.1, pp. 256-263, Mar. 2009.
- [6] S. Jain, V. Agarwal, "New current control based MPPT technique for single stage grid connected PV systems", Elsevier – Energy Conversion and Management 48, pp. 625-644, 2007.
- [7] Md. Asiful Islam, Md. Ashfanoor Kabir, "Neural Network Based Maximum Power Point Tracking of Photovoltaic Arrays," IEEE TENCON., pp. 79-82, 2011