

PEMODELAN DAN SIMULASI *MAXIMUM POWER POINT TRACKING* MENGGUNAKAN *ADAPTIVE NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM* PADA APLIKASI FOTOVOLTAIK DENGAN KONVERTER CUK

Abil Huda

Program Studi Teknik Elektro, Universitas Borneo Tarakan, Kaltara, Indonesia

e-mail: abil@engineer.com

Abstract—Fossil fuels have a finite number such as coal and petroleum. It encourages the development of renewable energy as an alternative energy source powerhouse. PV maximum power is controlled using MPPT method for improving the performance of PV. Research conducted on the application method MPPT PV system using Cuk converter. This was done by various methods MPPT. This study uses Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) as MPPT to track the maximum power point. Analysis and simulation of the proposed system has been carried out. PV can generate maximum power with irradiation and temperature variations both in static conditions. ANFIS can work well as an MPPT control on the PV system against irradiation and temperature changes in static conditions. Accuracy of PV power on the condition of irradiation and temperature variation are above 90%.

Keywords— MPPT, ANFIS, Konverter Cuk, PV

Intisari—Penelitian ini menggunakan metode Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) dalam pemodelan Maximum Power Point Tracking (MPPT) untuk mengontrol konverter Cuk sehingga fotovoltaik (PV) menghasilkan daya maksimum. Sistem ini menggunakan Fotovoltaik 200 W dan konverter Cuk dengan desain teganganterhubung beban. Dari hasil penelitian, PV dapat menghasilkan daya maksimum dengan variasi iradiasi dan temperatur pada kondisi statis. ANFIS dapat bekerja dengan baik dalam menjejak titik daya maksimum atau sebagai kontrol MPPT pada sistem PV terhadap perubahan iradiasi dan temperatur dalam kondisi statis. Akurasi daya PV terhadap daya maksimum pada kondisi variasi iradiasi dan temperatur berada di atas 90%.

Kata Kunci— MPPT, ANFIS, Konverter Cuk, PV

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik semakin meningkat. Hal ini disebabkan oleh pertumbuhan jumlah masyarakat di suatu daerah yang mengakibatkan bertambahnya jumlah infrastruktur seperti bangunan tempat tinggal, kantor-kantor, sekolah, rumah sakit dan bangunan sosial lainnya. Berkembangnya jumlah infrastruktur menyebabkan konsumen listrik semakin meningkat. Sehingga diperlukan penambahan energi listrik.

Saat ini bahan bakar fosil berupa minyak bumi dan batu-bara masih menjadi sumber energi yang paling banyak digunakan dalam proses pembangkitan tenaga listrik. Bahan bakar fosil tersebut tidak dapat diperbarui dan jumlahnya semakin menipis seiring dengan berjalannya waktu. Karena kebutuhan energi listrik

semakin hari semakin meningkat, sumber energi alternatif terutama sumber energi terbarukan menjadi semakin dibutuhkan [1].

Salah satu sumber energi terbarukan adalah Photovoltaic (PV) yang memanfaatkan energi cahaya matahari. Sumber energi ini memiliki kelebihan yaitu bersih dan tersedia di alam dalam jumlah yang melimpah [2].

Permasalahan dalam penggunaan PV saat ini adalah efisiensinya yang masih rendah dengan biaya yang tinggi. Kebutuhan penggunaan PV yang semakin meningkat mendorong berbagai penelitian mengenai peningkatan efisiensi pada sistem PV. Terdapat tiga faktor yang mempengaruhi efisiensi sistem PV. Pertama adalah material PV. Kedua adalah efisiensi konverter dan efisiensi algoritma *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) [3].

PV dapat memberikan daya output sesuai dengan kapasitas. Kapasitas daya output maksimal PV dapat dihasilkan dengan penggunaan metode *Maximum Power Point Tracking* (MPPT).

Cuk *converter* adalah konverter DC-DC pengembangan dari konverter Buckboost. Konverter ini dapat menaikkan dan menurunkan tegangan. Komponen rangkaian konverter Cuk terdiri dari sebuah switch, sebuah dioda, dua induktor dan dua kapasitor. Dibandingkan dengan konverter buckboost, Cuk *converter* mempunyai arus input dan output yang kontinu. Sehingga *ripple* yang dihasilkan juga kecil [4].

Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) merupakan metode yang menggunakan jaring syaraf tiruan (*Neural Network*) untuk mengimplementasikan *Fuzzy Inference System* (FIS) atau sistem inferensi *fuzzy*. Keunggulan sistem inferensi *fuzzy* adalah dapat menerjemahkan pengetahuan dari pakar dalam bentuk aturan-aturan, namun biasanya dibutuhkan waktu yang lama untuk menetapkan fungsi keanggotaannya. Oleh sebab itu dibutuhkan teknik pembelajaran dari jaringan syaraf tiruan untuk mengotomatisasi proses tersebut sehingga dapat mengurangi waktu pencarian, hal tersebut menyebabkan metode ANFIS sangat baik untuk diterapkan pada MPPT [5].

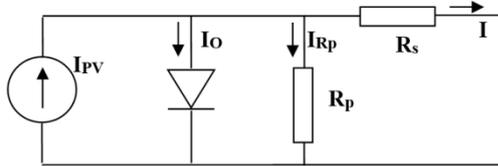
Penelitian ini menggunakan metode ANFIS sebagai MPPT yang mengontrol Cuk *converter* untuk aplikasi sistem PV.

II. LANDASAN TEORI

A. PV

PV mempunyai kemampuan untuk mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Energi cahaya membangkitkan tegangan PV. PV yang terhubung beban akan menyebabkan arus PV mengalir.

PV mempunyai karakteristik tegangan (V) dan arus (I) yang nilainya berdasarkan iradiasi dan temperatur. Kurva I-V dapat menunjukkan titik daya maksimum. Kurva I-V didapatkan berdasarkan 2 kondisi yaitu *short circuit* dan *open circuit*. Ketika kondisi *short circuit*, arus maksimum atau arus *short circuit* (I_{sc}) dihasilkan, sedangkan pada kondisi *open circuit* tidak ada arus yang dapat mengalir sehingga tegangannya maksimum, disebut tegangan *open circuit* (V_{oc}). Titik pada kurva I-V yang menghasilkan arus dan tegangan maksimum disebut titik daya maksimum (MPP). Pemodelan rangkaian ekivalen PV adalah sebuah sumber arus yang terpasang paralel dengan sebuah diode seperti ditunjukkan pada gambar 1. Besar arus output dari suatu PV berbanding lurus dengan besar iradiasi cahaya matahari yang diterima oleh PV.



Gambar 1. Pemodelan Sistem

Karakteristik PV didapatkan menggunakan persamaan (1). [5]

$$I = I_{pv} - I_o \left[e^{\left(\frac{V + IR_s}{N_s k T / q} \right)} - 1 \right] - \left(\frac{V + IR_s}{R_p} \right) \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

- I = arus output PV (A).
- I_{pv} = arus yang terbangkit pada PV (A).
- I_o = arus saturasi dioda.(A)
- N_s = jumlah cell terhubung seri.
- k = konstanta Boltzman (j/K).
- T = temperatur (K)
- q = muatan elektron = 1.6×10^{-19} (Coloumb).
- R_s = tahanan seri (Ohm).
- R_p = tahanan paralel (Ohm).
- V = tegangan output PV (V).

Karakteristik I-V PV diobservasi bahwa nilai R_s mendominasi tegangan operasi PV sedangkan nilai R_p mendominasi arus operasi PV. Ketika nilai tahanan paralel R_p tinggi, maka arus yang melaluitahanan paralel R_p dapat di abaikan.

Iradiasi matahari berbanding lurus dengan arus yang dihasilkan PV dan juga dipengaruhi oleh temperatur diberikan pada persamaan (2).Tarek, B., Said, D., & Benbouzid, M.E.H. (2013)

$$I_{pv} = [I_{pv,n} + K_I \Delta T] \frac{G}{G_n} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

- I_{pv} = arus pada kondisi nominal (25°C dan 1000 W/m²)
- ΔT = $T - T_n$
- T = temperatur aktual (K).
- T_n = temperatur nominal (K).
- K_I = koefisien arus.
- G = iradiasi aktual (W/m²).
- G_n = iradiasi nominal (W/m²).

Koefisien arus K_I dan tegangan K_V dimasukkan sebagaimana yang ditunjukkan dalam persamaan (3) untuk mendapatkan arus saturasi I_o yang dipengaruhi langsung oleh temperatur.Tarek, B., Said, D., & Benbouzid, M.E.H. (2013)

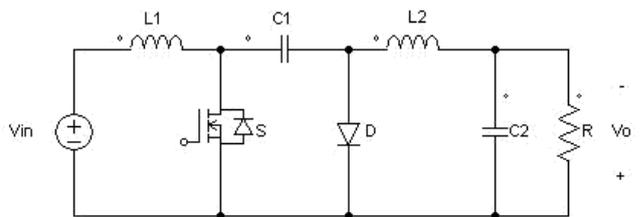
$$I_o = \frac{I_{sc,n} + K_I \Delta T}{e^{\left(\frac{V_{oc,n} + K_V \Delta T}{a V_T} \right)} - 1} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

- I_o = arus saturasi (A)
- $I_{sc,n}$ = arus hubung singkat (A)
- $V_{oc,n}$ = tegangan hubung terbuka (V)
- K_I = koefisien arus.
- K_V = koefisien tegangan.
- ΔT = $T - T_n$ (1.1)
- T = temperatur aktual (K).
- T_n = temperatur nominal (K).
- $V_T = N_s k T / q$

B. Konverter Cuk

Konverter Cuk adalah converter DC-DC pengembangan dari converter BuckBoost. Konverter ini dapat menghasilkan tegangan keluaran yang lebih besar maupun lebih kecil dari tegangan masukan dengan polaritas terbalik serta mempunyai arus masukan dan keluaran yang kontinu. Mayssa, F. & Sbita, L. (2012).



Gambar 2. Rangkaian Konverter Cuk

Konverter cuk digunakan untuk menaikkan tegangan PV dan menyalurkan daya maksimum. Hubungan antara tegangan masukan dan tegangan keluaran diberikan pada

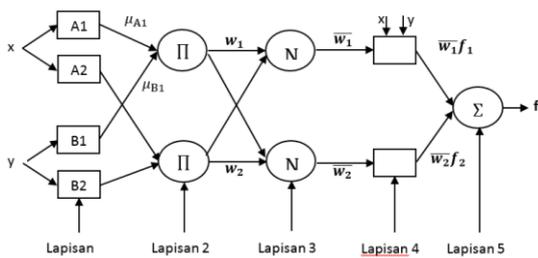
persamaan (4). Mayssa, F. & Sbita, L. (2012).

$$V_o = -\frac{D}{1-D} V_{in} \dots \dots \dots (4)$$

D adalah duty cycle yang bernilai antara 0 sampai 1. Duty cycle yang bernilai 0 - 0,49 akan menghasilkan tegangan keluaran yang lebih kecil dari tegangan masukan. Duty cycle yang bernilai 0,5 - 1 akan menghasilkan tegangan yang lebih besar dari tegangan masukan.

C. ANFIS

Metode ANFIS memiliki struktur yang terdiri dari 5 layer yang masing-masing layernya mempunyai fungsi yang berbeda-beda seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. berikut:



Gambar 3. Struktur ANFIS

Lapisan 1: Setiap simpul pada lapisan ini adalah simpul adaptif (parameter yang dapat berubah) dengan fungsi simpul:

$$O_{1,i} = \mu_{A_i}(x), \quad i = 1, 2 \text{ atau } \dots \dots \dots (5)$$

$$O_{1,i} = \mu_{B_{i-2}}(y), \quad i = 3, 4 \dots \dots \dots (6)$$

Lapisan 2: Setiap simpul pada lapisan ini adalah nonadaptif (parameter tetap). Fungsi simpul ini adalah mengalikan setiap sinyal masukan yang datang. Fungsi simpul:

$$O_{2,i} = w_i = \mu_{A_i}(x)\mu_{B_i}(y), \quad i = 1, 2 \dots \dots \dots (7)$$

Lapisan 3: Setiap simpul pada lapisan ini adalah simpul nonadaptif yang menampilkan fungsi derajat pengaktifan ternormalisasi (*normalized firing strength*) yaitu rasio output simpul ke-i pada lapisan sebelumnya terhadap seluruh output lapisan sebelumnya, dengan bentuk fungsi simpul:

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, \quad i = 1, 2 \dots \dots \dots (8)$$

Lapisan 4: Setiap simpul pada lapisan ini adalah simpul adaptif dengan fungsi simpul:

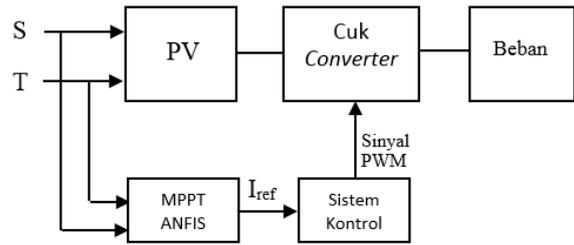
$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad i = 1, 2 \dots \dots (9)$$

Lapisan 5: Pada lapisan ini hanya ada satu simpul tetap yang fungsinya untuk menjumlahkan semua masukan. Fungsi simpul:

$$O_{5,1} = \sum \bar{w}_i f_i = \frac{\sum w_i f_i}{\sum w_i} \dots \dots \dots (10)$$

III. METODE PENELITIAN

Sistem terdiri dari PV, konverter cuk dan kontrol MPPT.



Gambar 4. Pemodelan Sistem

Tabel I
Parameter PV KC200GT

No.	Parameter	Nilai
1.	Impp	7,7 A
2.	Vmpp	25,98 V
3.	Pmax	200 W
4.	Isc	8,21 A
5.	Voc	32,9 V
6.	Rp	415,405 Ω
7.	Rs	0,00684 Ω

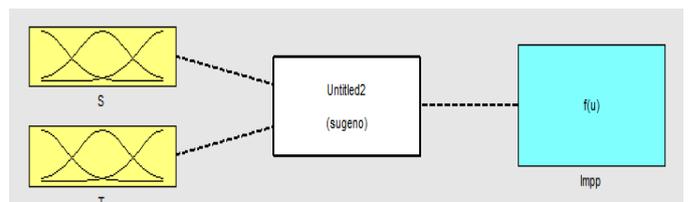
Tabel II
Parameter Konverter Cuk

No.	Parameter	Nilai
1.	Vi	25,98 V
2.	Vo	-220 V
3.	L1	0,003 H
4.	L2	0,026 H
5.	C1	3,695 μF
6.	C2	0,026 μF

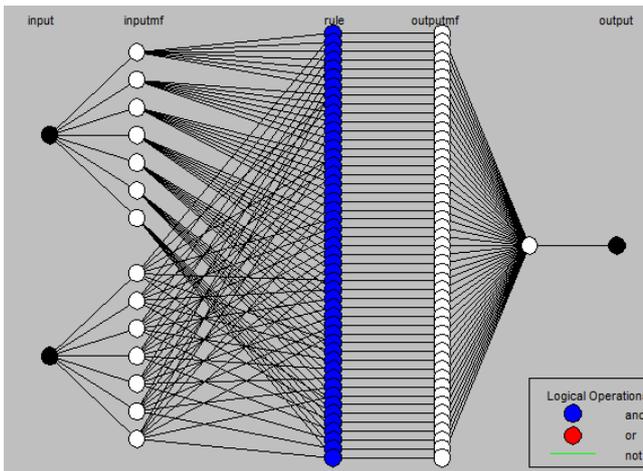
Kontrol MPPT ANFIS

MPPT adalah metode menjejak titik daya maksimum disetiap kondisi iradiasi matahari dan temperatur. Keluaran ANFIS adalah arus referensi Impp (*maximum power point*) yang merupakan arus pada titik daya maksimum. Impp akan dieksekusi oleh cuk converter untuk memastikan PV membangkitkan arus yang sama dengan arus referensi yang dihasilkan oleh ANFIS. Jika PV membangkitkan arus di Impp, maka PV akan menghasilkan daya maksimum.

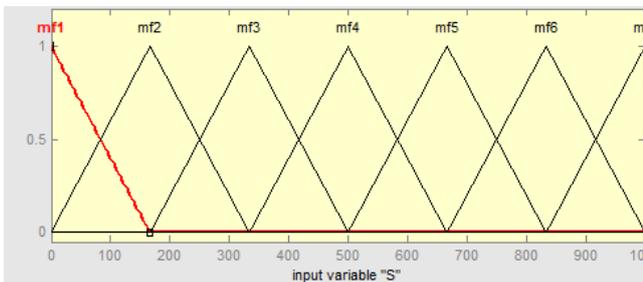
Masukkan ANFIS adalah iradiasi matahari dan temperatur. Keluaran adalah arus referensi berupa Impp. Struktur ANFIS terdiri dari dua masukan dengan 7 fungsi keanggotaan segitiga, 49 rule dan 1 keluaran.



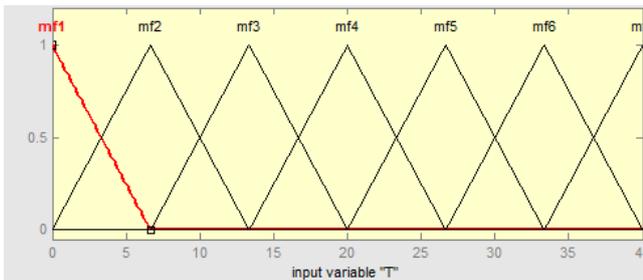
Gambar 5. Sistem Inferensi Fuzzy



Gambar 6.. Struktur ANFIS



Gambar 7. Fungsi Keanggotaan Iradiasi Matahari



Gambar 8. Fungsi Keanggotaan Temperatur

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan sistem seperti gambar 4. telah dicoba. Input PV dicoba dalam kondisi statis dengan variasi iradiasi dan temperatur. Kondisi variasi iradiasi dimulai dari 1000 W/m², 800 W/m², 600 W/m², sampai dengan 400 W/m². Kondisi variasi Temperatur dimulai dari 10°C, 25°C, sampai dengan 40°C.

Kondisi Statis variasi Iradiasi temperatur 25°C

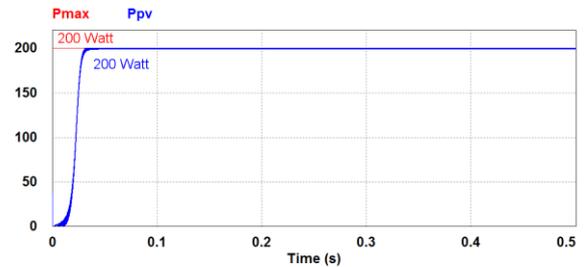
Gambar 9. menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan oleh PV (Ppv) ketika iradiasi 1000 W/m² sebesar 200 Watt. Daya maksimum ketika iradiasi 1000 W/m² sebesar 200 Watt. Hal ini berarti kontrol MPPT ANFIS mampu menjejak titik daya maksimum.

Gambar 10. menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan oleh PV (Ppv) ketika iradiasi 800 W/m² sebesar 161 Watt. Daya maksimum ketika iradiasi 800 W/m² sebesar 159,7 Watt. Hal ini berarti kontrol MPPT ANFIS mampu menjejak titik daya maksimum.

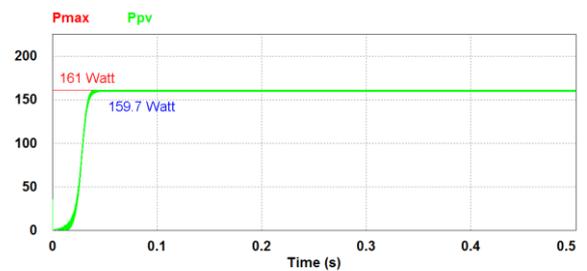
Gambar 11. menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan oleh PV (Ppv) ketika iradiasi 600 W/m² sebesar 121 Watt. Daya maksimum ketika iradiasi 600 W/m² sebesar 121

Watt. Hal ini berarti kontrol MPPT ANFIS mampu menjejak titik daya maksimum.

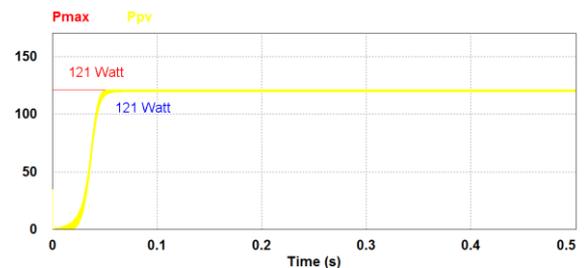
Gambar 12. menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan oleh PV (Ppv) ketika iradiasi 400 W/m² sebesar 79 Watt. Daya maksimum ketika iradiasi 400 W/m² sebesar 79 Watt. Hal ini berarti kontrol MPPT ANFIS mampu menjejak titik daya maksimum.



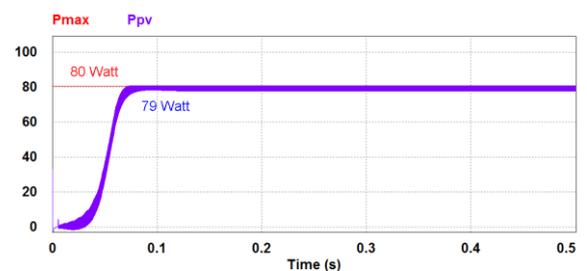
Gambar 9. Daya PV iradiasi 1000 W/m²



Gambar 10. Daya PV iradiasi 800 W/m²



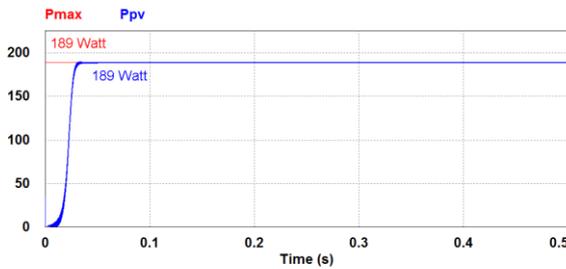
Gambar 11. Daya PV iradiasi 600 W/m²



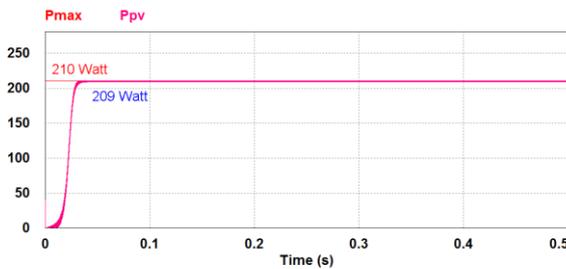
Gambar 12. Daya PV iradiasi 400 W/m²

Gambar 9. sampai 12. menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan oleh PV (Ppv) mendekati daya maksimum (Pmax). Hal ini berarti kontrol MPPT ANFIS memiliki respon yang baik dalam menjejak titik daya maksimum diberbagai kondisi iradiasi yang berbeda-beda.

Kondisi Statis Iradiasi 1000 W/m² variasi temperatur



Gambar 13. Daya PV Temperatur 40°C



Gambar 14. Daya PV Temperatur 10°C

Gambar 13 menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan oleh PV (P_{pv}) ketika temperatur 40°C sebesar 189 Watt. Daya maksimum ketika iradiasi 40°C sebesar 189 Watt. Hal ini berarti kontrol MPPT ANFIS mampu menjejak titik daya maksimum.

Gambar 14 menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan oleh PV (P_{pv}) ketika temperatur 10°C sebesar 210 Watt. Daya maksimum ketika iradiasi 10°C sebesar 209 Watt. Hal ini berarti kontrol MPPT ANFIS mampu menjejak titik daya maksimum.

Gambar 13 sampai 14 menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan oleh PV (P_{pv}) mendekati daya maksimum (P_{max}). Hal ini berarti kontrol MPPT ANFIS memiliki respon yang baik dalam menjejak titik daya maksimum diberbagai kondisi temperatur yang berbeda-beda.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan simulasi, maka diambil beberapa kesimpulan diantaranya PV menghasilkan daya maksimum dengan variasi iradiasi. PV menghasilkan daya maksimum dengan variasi temperatur. ANFIS mampu bekerja sebagai MPPT. Kontrol MPPT ANFIS memiliki respon yang baik dalam menjejak titik daya maksimum diberbagai kondisi iradiasi dan temperatur.

REFERENSI

- [1] Sankarganesh, R. & Thangvel, S. 2012, *Maximum Power Point Tracking in PV System using Intelligence based P&O Technique and Hybrid Cuk Converter*, 2012-International Conference on Emerging Trends in Science, Engineering and Technology. pp. 429-436.
- [2] Soedibyo, Priananda, C. W. & Haikal, M. A., *Maximum Power Point Tracking Using Root Finding Modified Bisection Algorithm*, International Conference on Information Technology, Computer and Electrical Engineering (ICITACEE), pp. 394-399.
- [3] Devi, M. L. & Chilambarasan, M. 2013, *Design and Simulation of Incremental Conductance MPPT Using Self*

- Lift Cuk Converter*, 2013 International Conference on Renewable Energy and Sustainable Energy [ICRESE' 13].
- [4] Sahu, T. P. & Dixit, T.V. 2012, *Modelling and Analysis of Perturb & Observe and Incremental Conductance MPPT Algorithm for PV Array Using Cuk Converter*, 2012 IEEE Student's Conference on Electrical, Electronics and Computer Science. pp. 1-6.
- [5] Tarek, B., Said, D., & Benbouzid, M.E.H. 2013, *Maximum Power Point Tracker Control for Photovoltaic System Using Adaptive Neuro-Fuzzy "ANFIS"*, 2013 Eighth International Conference and Exhibition on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER), IEEE.