

PENGOPTIMALAN ENERGI TERBARUKAN MENGGUNAKAN *MAXIMUM POWER POINT TRACKING* BERBASIS *ADAPTIVE NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM* DAN *PHOTOVOLTAIC BERBASIS DYE SENTIZED SOLAR CELL (DSSC)*

Abil Huda¹, Hadi Santoso¹

¹Fakultas Teknik, Universitas Borneo Tarakan,
Jl. Amal Lama No 1 Tarakan, Kota Tarakan, Kalimantan Utara Indonesia
Email: abil@engineer.com¹ hadisantoso.ubt@gmail.com²

Abstrak

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. (Sankarganesh, R. & Thangvel). 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 (Soedibyo, Priananda, C. W. & Haikal, M. A). Sejak ditemukannya PV, teknologi ini terus berkembang hingga saat ini telah ditemukan beberapa jenis sel surya. Pada tahun 1991, seorang ilmuwan asal Swis, Michael Gratzel menemukan salah satu jenis sel surya yang memanfaatkan kandungan organik tumbuhan. Temuannya tersebut dikenal dengan *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)*. Prinsip kerja DSSC adalah memanfaatkan eksitasi elektron oleh foton pada cahaya matahari yang mengenai bagian sensitif dari tumbuhan yang disebut dengan dye (O'regan dan Gratzel). Permasalahan dalam penggunaan PV, tak terkecuali jenis DSSC 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)* (Devi, M. L. & Chilambarasan, M). *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 mengotomatiskan proses tersebut sehingga dapat mengurangi waktu pencarian, hal tersebut menyebabkan metode ANFIS sangat baik untuk diterapkan pada MPPT (Tarek, B., Said, D., & Benbouzid, M.E.H). Penelitian ini mengoptimalkan sistem *photovoltaic* menggunakan DSSC untuk sisi material, *Cuk converter* untuk sisi *converter* dan metode ANFIS sebagai MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) yang mengontrol *Cuk converter* untuk aplikasi sistem PV.

Kata Kunci: ANFIS, DSSC, MPPT, PV

Abstract

This time fossil fuel in form of crude oil and coal still become the most widely used in process of generating electricity. Those fossil fuel can't be renewable and have a limited supply. Because of electricity demand is increasing daily, alternatif energy source especially renewable energy become more needed than ever. (Sankarganesh, R. & Thangvel). One of renewable energy is Photovoltaic (PV) that use a sunlight energy. This source of energy have an advantage such as clean and available in nature in overflow number. (Soedibyo, Priananda, C. W. & Haikal, M. A). Since the discovered of PV, this technology keep in developing until this day many kind of solar cell has founded. In 1991 a scientist from Swis, Michael Gratzel found one of solar cell that use plant organic content. His finding known as Dye Sensitized Solar Cell (DSSC). The working principle is to use electron excitation by photon on the sunlight that hit sensitif parts of a plant what is called dye (O'regan dan Gratzel). The problem of PV use, no exception DSSC this day is the efficiency still very low and with a very expensive cost. The needed of PV use has encourage many research on lifting the efficiency in PV system. There are three factor that give some effect on the efficiency of a PV system. First is material of the PV. Second is the efficiency of converter and the efficiency of the algorithm Maximum Power Point Tracking (MPPT) (Devi, M. L. & Chilambarasan, M). Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) is a method that use Artificial Neural Network to implementation the Fuzzy Inference System (FIS). The superiority of fuzzy inference system is that it can translate the knowledge from the expert in form of many rule, but it usualy take a long time to establish the function of it membership. Because of that its required learning technique of artificial neural network to administration those process so it casn reduce the time of searching, that makes ANFIS method felicitous to applied in MPPT (Tarek, B., Said, D., & Benbouzid, M.E.H). This research optimized the Photovoltaic system using DSSC for the material side, CUK Converter for the converter side and ANFIS method as MPPT that controlled the Cuk converter for the application of PV system.

Keyword: ANFIS, DSSC, MPPT, PV

1. PENDAHULUAN

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]. Sejak ditemukannya PV, teknologi ini terus berkembang hingga saat ini telah ditemukan beberapa jenis sel surya. Pada tahun 1991, seorang ilmuwan asal Swis, Michael Gratzel menemukan salah satu jenis sel surya yang memanfaatkan kandungan organik tumbuhan. Temuannya tersebut dikenal dengan Dye Sensitized Solar Cell (DSSC). Prinsip kerja DSSC adalah memanfaatkan eksitasi elektron oleh foton pada cahaya matahari yang mengenai bagian sensitif dari tumbuhan yang disebut dengan dye [3]. Permasalahan dalam penggunaan PV, tak terkecuali jenis DSSC 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)[4]. PV tersusun atas material semikonduktor dengan tingkat fabrikasi yang cukup sulit dengan biaya yang tinggi. DSSC sendiri merupakan jenis PV dengan vabrikasi sederhana dengan lapisan semikonduktor dan Dye Sensitizer sebagai material utama penghasil elektron. PV dapat memberikan daya output sesuai dengan kapasitas. Kapasitas daya output maksimal PV dapat dihasilkan dengan penggunaan metode Maximum Power Point Tracking (MPPT) [5]. Cuk converter adalah merupakan pengembangan dari buckboost converter. Dengan memvariasikan duty cycle tegangan keluarannya dapat diatur lebih besar maupun lebih kecil dari tegangan inputnya. Meskipun buckboost converter lebih murah dibandingkan

dengan cuk converter, namun buckboost mempunyai keterbatasan seperti arus input yang diskontinu, respon transien dan efisiensi rendah. Cuk converter mempunyai switching losses rendah dan efisiensi tinggi [6]. 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[7]. Penelitian ini mengoptimalkan sistem photovoltaic menggunakan DSSC untuk sisi material, Cuk converter untuk sisi converter dan metode ANFIS sebagai MPPT yang mengontrol Cuk converter untuk aplikasi sistem PV.

2. METODE

A. *PV DSSC*

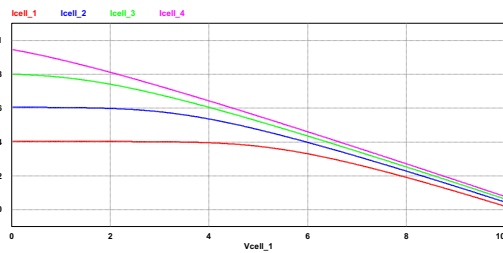
PV DSSCC yang digunakan adalah model DSSC Double Layer dengan layer 1 Kompresi 50kg/cm² pasta PEG 4000. PV DSSC di desain untuk beban lampu LED yang mengkonsumsi tegangan DC sebesar 12 V dan P = 2,8 W. PV DSSC kompresi 50kg memerlukan jumlah cell yang di seri 20 dan paralel 1000 untuk mendapatkan P = 2,8 W. PV DSSC ini menghasilkan tegangan DC sebesar 5,4 V dan P = 2,8 W.

Spesifikasi data model ini ditunjukkan oleh Tabel 1. Model ini mempunyai kemampuan menyuplai daya maksimum 2,8 Wp saat iradiasi atau intensitas cahaya matahari penuh 1000 W/m² dan temperatur sekitar 25 °C.

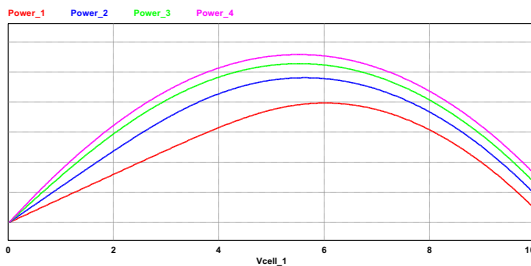
Tabel 1 Parameter PV DSSC 50kg

No.	Parameter	Nilai 1 modul	Seri 20 paralel 1000
01.00	Impp	0,52 mA	0,51 A
02.00	Vmpp	0,27 V	5,4 V
03.00	Pmax	0,14 mW	2,8 W
04.00	Isc	1,01 mA	1,01 A
05.00	Voc	0,54 V	10,8 V

Karakteristik kurva model PV ditunjukkan oleh Gambar 1 sampai Gambar 4.

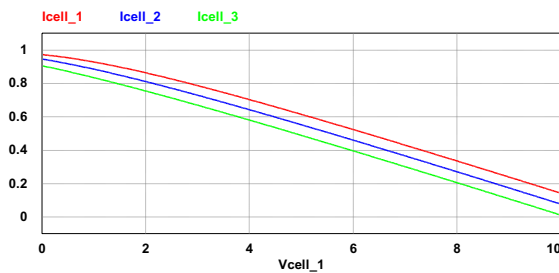


Gambar 1. Kurva I-V dengan variasi iradiasi dan temperatur 25°C.

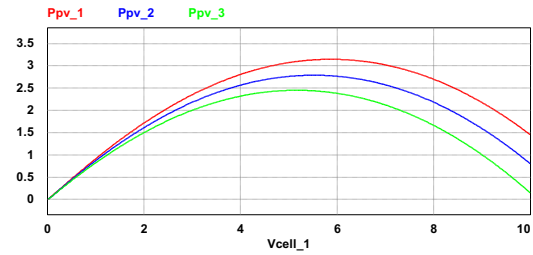


Gambar 2. Kurva P-V dengan variasi iradiasi dan temperatur 25°C.

Gambar 1 menunjukkan bahwa semakin kecil iradiasi maka arus PV DSSC juga semakin kecil. Gambar 2 menunjukkan bahwa semakin kecil iradiasi maka daya PV DSSC juga semakin kecil. Jadi, arus dan daya PV berbanding lurus dengan iradiasi.



Gambar 3. Kurva I-V dengan iradiasi 1000 W/m² dan variasi temperatur.

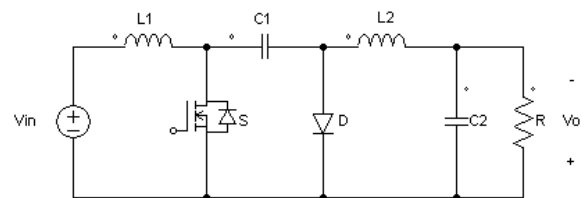


Gambar 4. Kurva P-V dengan iradiasi 1000 W/m² dan variasi temperatur.

Gambar 3 menunjukkan bahwa semakin besar temperatur maka arus PV DSSC semakin kecil. Gambar 4 menunjukkan bahwa semakin besar temperatur maka daya PV DSSC juga semakin kecil. Jadi, arus dan daya PV DSSC berbanding terbalik dengan temperatur.

B. Cuk Converter

Desain Cuk Converter dilakukan dengan cara menentukan beberapa parameter untuk mendapatkan nilai komponen yang akan digunakan dalam rangkaian Cuk Converter berdasarkan persamaan yang di tulis pada tinjauan pustaka.



Gambar 5. Rangkaian Cuk converter

Langkah-langkahnya adalah:

1. menentukan parameter $V_i = 5,4V$ & $V_o = 12 V$ untuk mendapatkan nilai D dengan pers. 2.4. Penentuan V_i berdasarkan tegangan keluaran PV DSSC sedangkan V_o berdasarkan beban yang digunakan.
2. menentukan parameter $P = 2,8 W$ untuk menentukan nilai R. Penentuan P berdasarkan beban yang digunakan yaitu LED.
3. menentukan parameter f, ripel arus induktor 1 & 2 untuk mendapatkan nilai induktor 1 & 2. dengan pers. 2.7 & 2.8.

4. menentukan parameter ripel tegangan untuk mencari nilai kapasitor 1 & 2 dengan pers. 2.10 & 2.11.
5. Setelah dapat nilai L1, L2, C1, C2 dan R, dilakukan simulasi program.

Nilai komponen disesuaikan dengan yang di produksi di pasaran dan terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter Cuk *converter*

No.	Parameter	Nilai
01.00	Vi	5.4 V
02.00	Vo	12 V
03.00	R	51 Ω
04.00	L1	0,036 H
05.00	L2	0,080 H
06.00	C1	68 μF
07.00	C2	0,15 μF

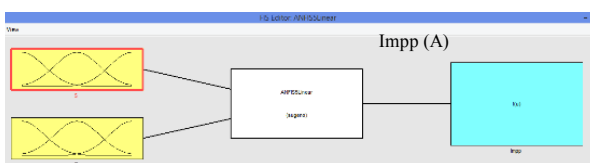
C. MPPT ANFIS

MPPT adalah metode menjejak titik daya maksimum disetiap kondisi iradiasi matahari dan temperatur. Masukkan MPPT ANFIS adalah iradiasi matahari dan temperatur. Output MPPT ANFIS adalah arus referensi *Imp* (arus *maximum power point*) yang merupakan arus pada titik daya maksimum. Gambar 6 menunjukkan sistem inference fuzzy yang akan ditraining oleh ANFIS yang memiliki 2 input berupa S (Iradiasi) dan T (Temperatur) dan 1 output berupa *Imp* (arus *maximum power point*). Desain MPPT ANFIS mempunyai 6 langkah.

1. Langkah Pertama (Pengumpulan Data Training)

Data karakteristik PV DSSC dengan variasi kondisi iradiasi dan temperatur di *training* oleh ANFIS untuk menentukan fungsi keanggotaan input, rule base dan fungsi keanggotaan output *fuzzy inference system*.

2. Langkah 2 (Desain FIS)

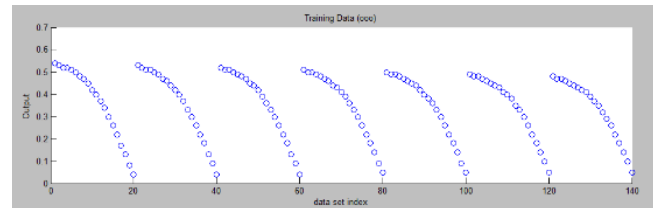


Gambar 6. Fuzzy Inference System

Gambar 6 menunjukkan desain FIS awal yang memiliki 2 input berupa S (Iradiasi) dan T (Temperatur) dan 1 output berupa *Imp* (arus *maximum power point*).

3. Langkah 3 (Input Data Training)

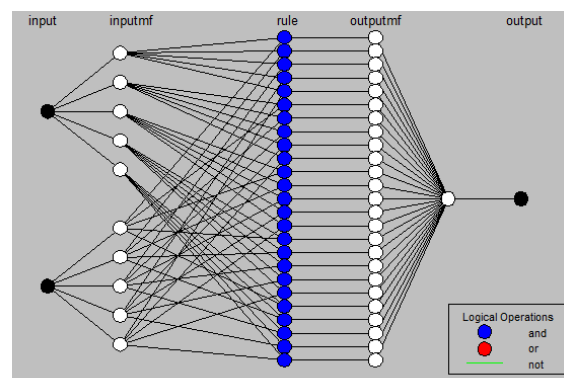
Data yang di *training* adalah data dari tabel 3. Data Karakteristik PV DSSC. Jumlah data *training* adalah 140 buah. Gambar 5.7 menunjukkan plot data terhadap *Imp*.



Gambar 7. Data karakteristik PV DSSC.

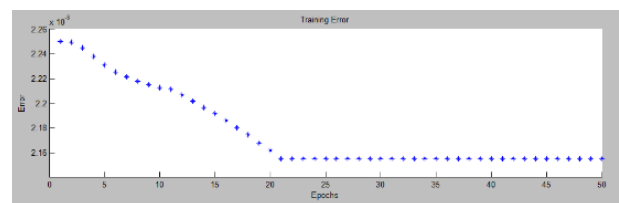
4. Langkah 4 (Desain Struktur ANFIS)

Gambar 8 menunjukkan Struktur ANFIS yang terdiri dari dua input dengan 5 fungsi keanggotaan segitiga, 25 rule dan 1 output dengan logika operasi and.



Gambar 8. Struktur ANFIS

5. Langkah 5 (Data Training)

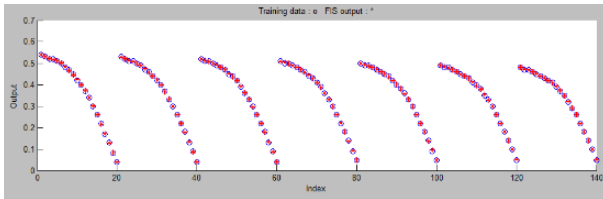


Gambar 9. Data training

Jumlah nilai Epoch adalah 50. Epoch merupakan jumlah iterasi dari ANFIS. Metode optimum yang digunakan adalah hybrid. Gambar 9 menunjukkan *error* stabil pada

iterasi ke 21 adalah 0,0021556. Artinya sudah mendekati nilai yang diinginkan.

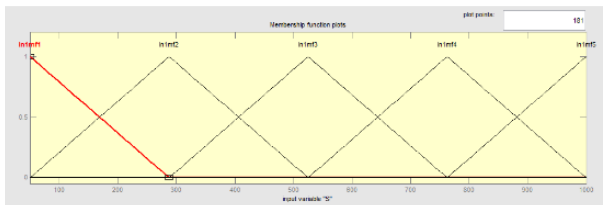
6. Langkah 6 (*Data Testing*)



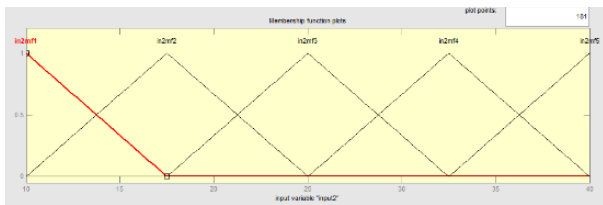
Gambar 10. Hasil *Data Tesing*

Gambar 10 menunjukkan simbol lingkaran kecil berwarna biru dan simbol bintang berwarna merah. Simbol lingkaran mewakili data Tabel 3 karakteristik PV DSSC. Simbol bintang menunjukkan bahwa data hasil proses ANFIS mendekati nilai target yang diinginkan.

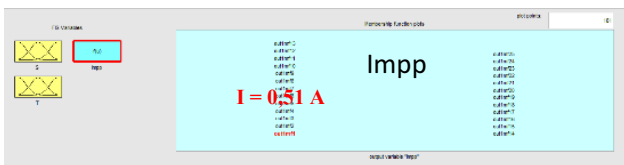
MPPT ANFIS



Gambar 11. Fungsi keanggotaan S (iradiasi) ANFIS



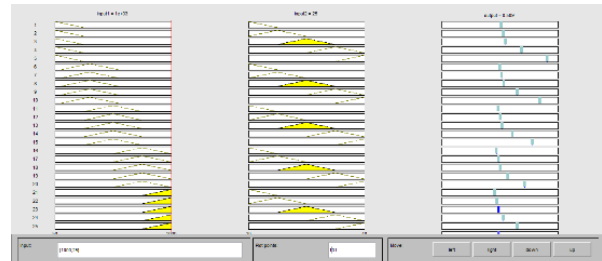
Gambar 12. Fungsi keanggotaan T (temperatur) ANFIS



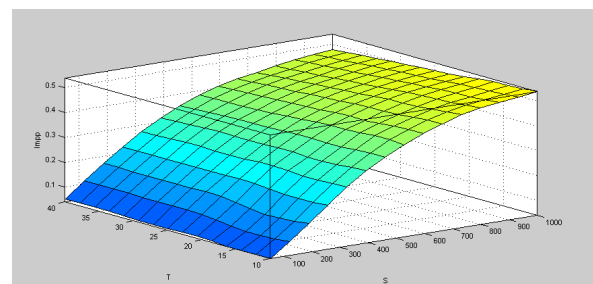
Gambar 13. Fungsi keanggotaan I_{mpp} ANFIS

Gambar 11,12 dan 13 saling berkaitan. Sistem ini adalah MPPT ANFIS dengan desain *fuzzy inference system* yang mempunyai logika *fuzzy* yang telah detraining oleh Neural Network, contohnya jika iradiasi 1000 W/m^2 (in1mf5) dan temperatur 25°C (in2mf3) maka I_{mpp} $0,509 \text{ A}$ (out1mf23). Jika iradiasi 1000 W/m^2 (in1mf5) dan temperatur 40°C (in2mf5)

maka I_{mpp} $0,479 \text{ A}$ (out1mf49). Logika ini dapat dilihat pada gambar 14 *Rule ANFIS*.



Gambar 14. *Rule ANFIS*



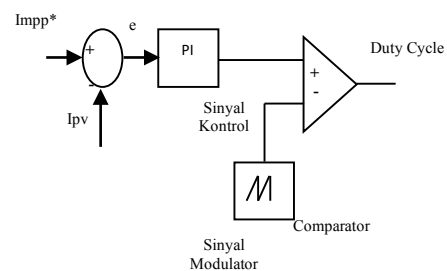
Gambar 15. *Surface ANFIS*

Gambar 15 menunjukkan pola permukaan ANFIS antara S, T dan I_{mpp} .

Warna kuning untuk parameter yang mempunyai nilai tinggi, sedangkan warna biru tua untuk parameter yang mempunyai nilai terendah.

Sistem Kontrol (Arus PV)

Kontrol arus PV DSSC berfungsi untuk membangkitkan duty cycle dari *Cuk converter*, sehingga *Cuk converter* dapat membuat PV DSSC membangkitkan arus yang sama dengan arus referensi yang dibangkitkan oleh MPPT. Konfigurasi kontrol arus PV DSSC ditunjukkan pada gambar 16.



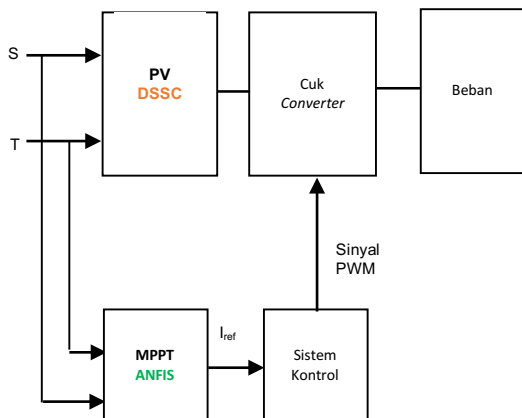
Gambar 16. Konfigurasi kontrol arus PV DSSC

MPPT ANFIS menghasilkan arus di titik daya maksimum (I_{mpp}) yang akan dibandingkan dengan arus PV DSSC. Selisih dari arus tersebut dikontrol oleh kontrol PI. Kemudian dibandingkan dengan sinyal segitiga untuk menghasilkan sinyal PWM.

Sinyal PWM akan dieksekusi oleh Cuk converter untuk memastikan PV DSSC membangkitkan arus yang sama dengan arus yang dihasilkan oleh MPPT ANFIS. Jika PV DSSC membangkitkan arus di I_{mpp} , maka PV DSSC akan menghasilkan daya maksimum.

D. Sistem Keseluruhan

Sistem terdiri dari modul PV DSSC, Cuk Converter, MPPT ANFIS dan sistem kontrol sinyal PWM. PV DSSC membangkitkan tegangan dan arus listrik berdasarkan iradiasi dan temperatur. Cuk Converter menyalurkan daya maksimum yang dihasilkan oleh PV DSSC dengan kontrol MPPT ANFIS. Gambar 17 Menunjukkan sistem secara keseluruhan.



Gambar 17. Desain Sistem

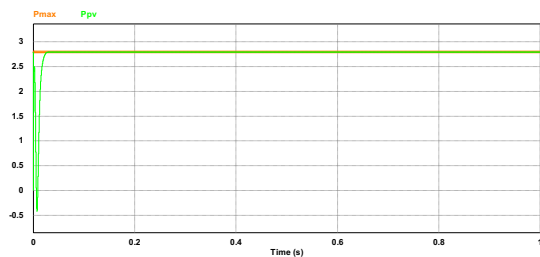
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi penelitian telah dilakukan dalam 2 kondisi yaitu, kondisi iradiasi bervariasi ($400-1000 \text{ W/m}^2$) dengan temperatur tetap (25°C) dan kondisi iradiasi tetap (1000 W/m^2) dengan temperatur bervariasi ($10-40^\circ\text{C}$).

A. Kondisi Iradiasi bervariasi dan temperatur tetap

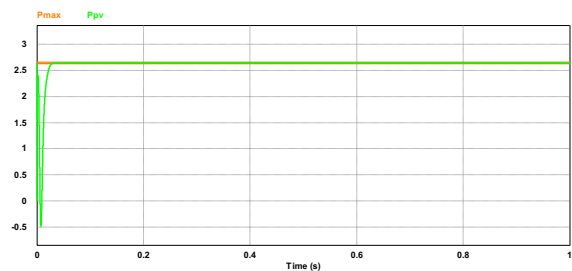
Gambar 18 menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan oleh PV DSSC (P_{pv}) mencapai titik

daya maksimum (P_{max}) yaitu $2,8 \text{ W}$ ketika sistem PV DSSC diberikan masukan iradiasi 1000 W/m^2 dan temperatur 25°C .



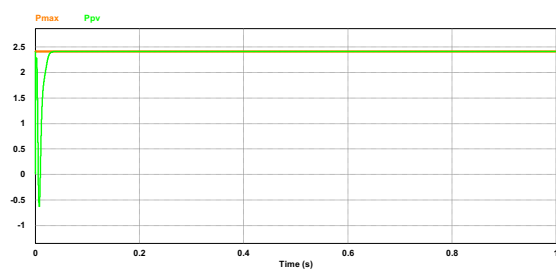
Gambar 18. Iradiasi 1000 W/m^2

Gambar 19 menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan oleh PV DSSC (P_{pv}) mencapai titik daya maksimum (P_{max}) yaitu $2,64 \text{ W}$ ketika sistem PV DSSC diberikan masukan iradiasi 800 W/m^2 dan temperatur 25°C



Gambar 19. Iradiasi 800 W/m^2

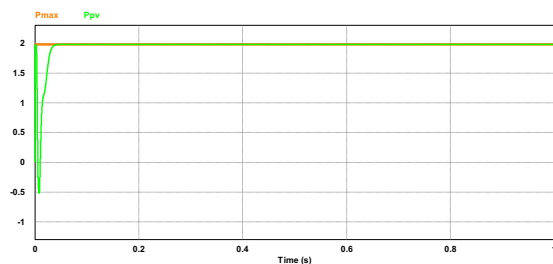
Gambar 20 menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan oleh PV DSSC (P_{pv}) mencapai titik daya maksimum (P_{max}) yaitu $2,4 \text{ W}$ ketika sistem PV DSSC diberikan masukan iradiasi 600 W/m^2 dan temperatur 25°C .



Gambar 20. Iradiasi 600 W/m^2

Gambar 21 menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan oleh PV DSSC (P_{pv}) mencapai titik daya maksimum (P_{max}) yaitu $1,98 \text{ W}$ ketika sistem PV DSSC diberikan

masukkan iradiasi 80 W/m^2 dan temperatur 25°C .

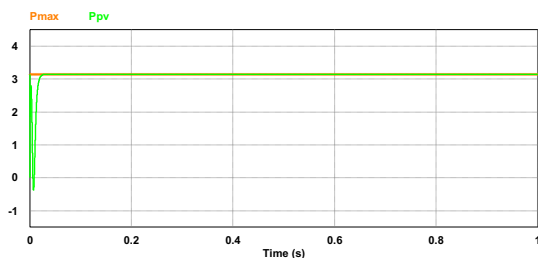


Gambar 21. Iradiasi 400 W/m^2

Dari gambar 18 sampai 21 disimpulkan bahwa sistem dapat menjejak daya maksimum diberbagai kondisi iradiasi bervariasi dengan temperatur tetap. Daya PV DSSC (Ppv) berbanding lurus dengan iradiasi. Semakin kecil iradiasi maka semakin kecil pula daya maksimum yang dihasilkan oleh PV DSSC.

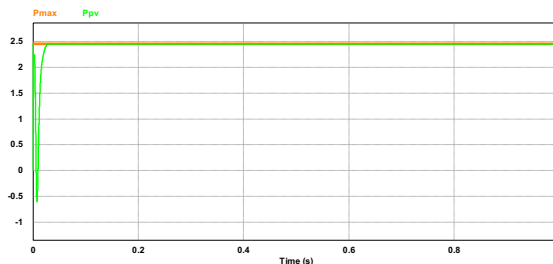
B. Kondisi Iradiasi tetap dengan temperatur bervariasi

Gambar 22 menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan oleh PV DSSC (Ppv) mencapai titik daya maksimum (Pmax) yaitu $3,15 \text{ W}$ ketika sistem PV DSSC diberikan masukkan iradiasi 1000 W/m^2 dan temperatur 10°C .



Gambar 22. Temperatur 10°C

Gambar 23 menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan oleh PV DSSC (Ppv) mencapai titik daya maksimum (Pmax) yaitu $2,45 \text{ W}$ ketika sistem PV DSSC diberikan masukkan iradiasi 1000 W/m^2 dan temperatur 40°C .



Gambar 23 Temperatur 40°C

Berdasarkan gambar 18, 22 dan 23 disimpulkan bahwa sistem dapat menjejak daya maksimum diberbagai kondisi iradiasi tetap dengan temperatur bervariasi. Daya PV DSSC (Ppv) berbanding terbalik dengan temperatur. Semakin kecil besar temperatur maka semakin kecil daya maksimum yang dihasilkan oleh PV DSSC.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil desain dan simulasi MPPT menggunakan ANFIS pada sistem PV DSSC dengan Cuk converter, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan:

1. PV DSSC dapat menghasilkan daya maksimum dengan variasi iradiasi dan temperatur.
2. PV DSSC memerlukan jumlah cell yang dihubung 20 seri dan 100 paralel untuk beban LED $2,8\text{W}$.
3. ANFIS dapat bekerja dengan baik sebagai kontrol MPPT pada sistem PV DSSC terhadap perubahan iradiasi dan temperatur. Akurasi daya PV pada kondisi variasi iradiasi dan temperatur berada di atas 90%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan pada pihak-pihak yang terkait

DAFTAR PUSTAKA

[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. Hal. 429-436.
- [2] Soedibyo, Priananda, C. W. & Haikal, M. A. 2014. *Maximum Power Point Tracking Using Root Finding Modified Bisection Algorithm*. International Conference on Information Technology, Computer and Electrical Engineering (ICITACEE). Hal. 394-399.
- [3] O'regan, B dan Gratzel, M. (1991), *A Low-Cost, High Efficiency Solar Cell Based On Dye-Sensitized Colloidal TiO₂ films*, Nature Vol. 353. Issue 6346, 737.
- [4] 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]. Hal. 105-111.
- [5] A. Huda, & P. Julianto, "Desain dan pemodelan maximum power point tracking menggunakan ANFIS pada sistem photovoltaic dengan buckboost converter", *Rekayasa Keteknik & Optimasi (REAKTOM)*, Vol. 2, No. 2, pp. 21-25, September 2017.
- [6] 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. Hal. 1-6.
- [7] 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.