

# Pengaturan Maximum Power Point Tracking (MPPT) Menggunakan Artificial Neural Network (ANN) Berbasis Simulasi

Muhammad Farhan Rozi<sup>1</sup>, Syukriyadin Syukriyadin<sup>2</sup>, Suriadi Suriadi<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Elektro dan Komputer, Universitas Syiah Kuala  
Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No. 7 Darussalam, Banda Aceh 23111, Indonesia

<sup>1</sup>farhanrozi1105@gmail.com

<sup>3</sup>syukriyadin@unsyiah.ac.id

<sup>3</sup>suriadimali@unsyiah.ac.id

**Abstrak**— Energi terbarukan merupakan sumber energi yang dapat digunakan sebagai alternatif bahan bakar untuk pembangkit listrik. Salah satunya yaitu Energi surya, untuk memaksimalkannya dibutuhkan sebuah sistem agar dapat menerima nilai tegangan, arus dan daya dari cahaya matahari. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan perbandingan antara metode *Artificial Neural Network (ANN-MPPT)* dan metode *Hill Climbing (HC-MPPT)* menggunakan *boost converter* dalam memperoleh output maksimum dari tegangan, arus dan daya menggunakan Simulink MATLAB. Simulasi dilakukan pada kondisi STC dan kondisi Non-STC dengan irradian dan suhu yang berubah-ubah untuk menemukan daya output maksimum yang terjadi saat simulasi. Dari hasil simulasi diperoleh tegangan dan arus mampu mengikuti kondisi STC dan Non-STC, sedangkan untuk daya output tidak dapat mencapai maksimum karena pengaruh daya konstan akibat R konstan sehingga daya PV ditransfer sesuai besar daya output.

**Kata Kunci**—Panel Surya, Simulink, MPPT, STC, *Artificial Neural Network*, *Hill Climbing*, *Boost converter*.

## I. PENDAHULUAN

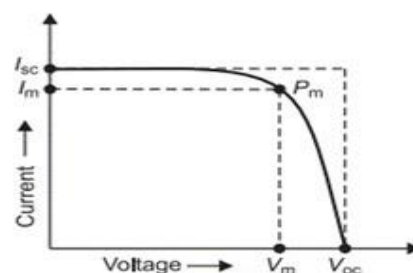
Letak geografis Indonesia yang berada di garis khatulistiwa menjadikan Indonesia salah satu kawasan dengan nilai energi surya berlebih karena memiliki sinar matahari sepanjang tahun. Distribusi radiasi di Indonesia bagian barat sekitar 4,5 kWh / m<sup>2</sup> / hari, dengan perubahan bulanan 10%, sedangkan potensi radiasi di Indonesia bagian timur sekitar 5,1 kWh / m<sup>2</sup> / hari, dengan perubahan bulanan sekitar 9% [1]. Pada penggunaan panel surya adalah pembangkitan tenaga listrik yang rendah, terutama pada kondisi irradiasi yang rendah. Dan jumlah daya listrik yang dibangkitkan berubah secara berkala seiring perubahan cuaca. Oleh karena itu, berbagai metode *Maximum Power Point Tracking (MPPT)* yang telah ditemukan dan tertulis pada jurnal ilmiah internasional seperti *Perturb and Observe*, *Incremental Conductance*, *Dynamic Approach*, *Temperature Methods*, *Artificial Neural Network*

*methods*, *Fuzzy Logic methods*, dll [2]. Oleh karena itu, dibutuhkan metode *Artificial Neural Network (ANN)* & *Hill Climbing (HC)*. Daya yang di produksi dan di simpan oleh panel surya atau sering disebut dengan sistem PV (*Photovoltaic*) dipengaruhi oleh faktor suhu dan intensitas radiasi cahaya matahari. Perubahan kedua faktor non-linear ini menjadi penyebab utama sistem PV sulit memaksimalkan konversi energi listrik dan penyimpanan daya.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Karakteristik Panel Surya

Hubungan antara arus dan tegangan yang dibangkitkan oleh panel surya dapat dinyatakan dalam bentuk kurva karakteristik I-V, seperti terlihat pada Gambar 1. Kurva menunjukkan hubungan terbalik (proporsi terbalik). Area di bawah kurva I-V adalah daya maksimum yang akan dihasilkan panel fotovoltaiik ketika beroperasi pada tegangan maksimum dan arus maksimum. Karena fluktuasi kondisi lingkungan, perubahan temperatur dan iradiasi, kurva IV akan berubah, sehingga titik daya maksimum juga akan berubah. Oleh karena itu, diperlukan algoritma MPPT untuk melacak titik-titik daya maksimum tersebut [3].



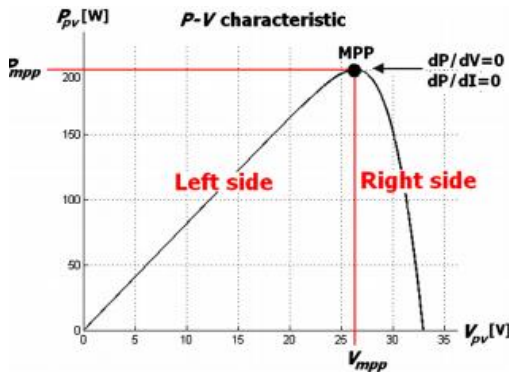
Gambar 1 Karakteristik kurva I-V

### B. Maximum Power Point Tracking (MPPT)

*Maximum Power Point Tracking (MPPT)* adalah suatu sistem kendali pada sistem PV untuk memaksimalkan proses konversi energi surya dengan mengkondisikan panel surya sehingga dapat bekerja di titik daya maksimum. MPPT bukan merupakan suatu sistem pelacakan mekanik yang dapat

mengubah posisi panel mengikuti posisi matahari untuk memperoleh energi maksimum matahari [7]. MPPT adalah sistem yang sepenuhnya elektronik yang memvariasikan titik operasi listrik panel sehingga panel mampu memberikan daya maksimum yang tersedia [8].

Dimana  $P_{pv}$ ;  $V_{pv}$  dan  $I_{pv}$  masing-masing adalah daya keluaran modul PV, tegangan dan arus. Karakteristik P – V dari modul PV ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Karakteristik P – V dari modul PV

C. Artificial Neural Network (ANN)

Artificial Neural Network atau jaringan saraf tiruan adalah jaringan dari sekelompok unit jaringan saraf manusia. ANN merupakan sistem adaptif yang dapat mengubah strukturnya untuk memecahkan masalah berdasarkan informasi internal maupun eksternal. Pada dasarnya ANN terdiri dari 3 lapisan (layer) yaitu input layer, process, dan output layer. Pada input layer berisi variabel data input, process layer berisi langkah pengenalan objek dan output layer berisi hasil pengenalan suatu objek. Jumlah lapisan dan jumlah node di setiap lapisan serta fungsi yang digunakan pada setiap lapisan bervariasi dan bergantung pada pengetahuan pengguna. Variabel input dapat berupa parameter dari susunan PV [8],[9].

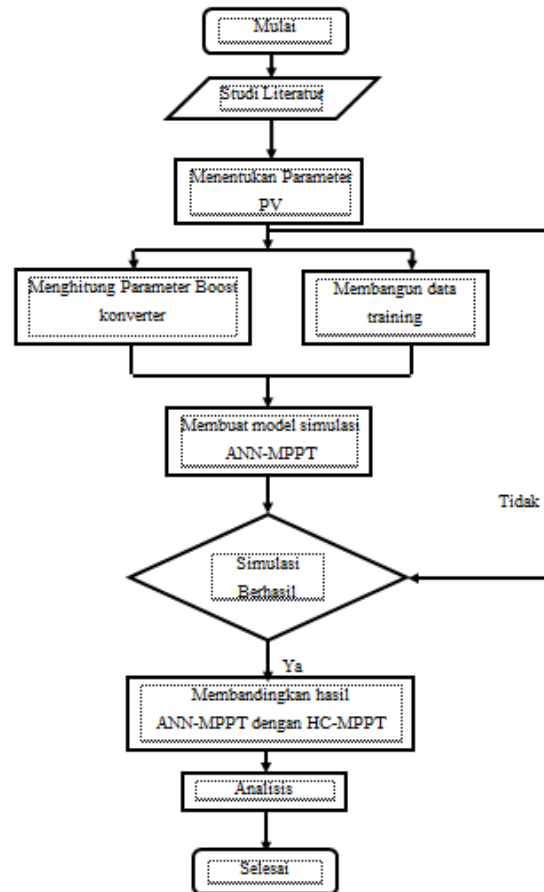
D. Hill Climbing (HC)

Metode Hill Climbing adalah metode MPPT dimana pengontrol menyesuaikan duty cycle konverter berdasarkan perubahan daya dan tegangan PV. Metode ini banyak digunakan di MPPT karena sederhana dan dapat dilakukan pada berbagai jenis PV tanpa perlu mengetahui model matematis. Hill Climbing dimulai dengan memodifikasi duty cycle konverter sampai tegangan operasi PV naik. Jika peningkatan tegangan juga menyebabkan peningkatan daya, maka duty cycle akan terus diperbarui dalam arah yang sama. Namun jika peningkatan tegangan menyebabkan penurunan daya, maka duty cycle diperbarui ke arah yang berbeda atau berlawanan [8].

III. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian ini dilakukan beberapa studi literatur dari referensi terkait, kemudian menentukan parameter solar PV untuk merancang boost konverter yang digunakan dengan parameter seperti yang ditunjukkan pada Tabel I. Data

pelatihan (training) seperti arus (I) dan Tegangan (V) dibangun berdasarkan perubahan iradian dan suhu yang diterima oleh solar PV dengan target pelatihan adalah duty cycle (D) boost konverter. Simulasi kendali ANN-MPPT dilakukan dengan menggunakan hasil pelatihan ANN, dimana hasil yang diperoleh dibandingkan dengan metode Hill-Climbing MPPT. Adapun alur penelitian yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Diagram alir tahapan penelitian

TABLE I  
PARAMETER PERANCANGAN BOOST CONVERTER TERHADAP SATU BUAH PANEL SURYA

Daya maksimum ( $P_{max}$ )	199.998 W
Tegangan Input ( $V_{in}$ )	36.9 V
Tegangan Output ( $V_o$ )	73.8 V
Frekuensi Switching ( $f$ )	51.595 kHz
Arus Output ( $I_o$ )	2.71 A
Beban R	71.98 $\Omega$
Ripple Tegangan	1%
Duty Cycle	50 %
Induktor	146.1 $\mu H$
Kapasitor	335 $\mu F$

A. Penentuan Boost Converter

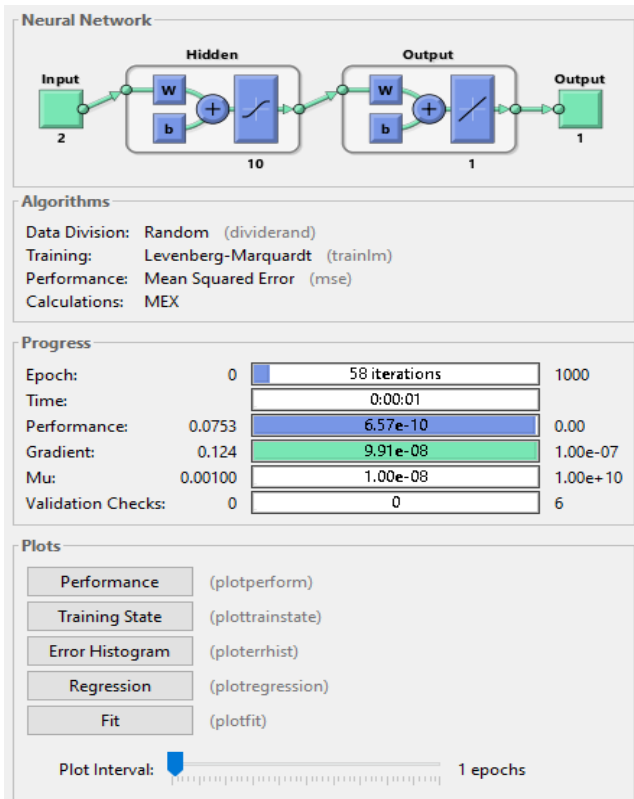
Dalam merancang Boost Converter, perlu dilakukan perhitungan terhadap besaran komponen yang diperlukan, serta besar nilai Duty Cycle pada rangkaian konverter tersebut.

Perhitungan ini perlu dilakukan untuk mendapatkan nilai komponen yang tepat sehingga diperoleh keluaran seperti yang diharapkan. Dengan demikian, dibutuhkan 5 parameter penting sebagai dasar untuk merancang *Boost Converter* yang akan digunakan, sebagaimana yang ditunjukkan oleh tabel 1.

**B. Simulasi Sistem dan Pemodelan ANN-MPPT**

Simulasi dari sistem ANN-MPPT ini juga dilakukan menggunakan perangkat lunak Simulink Matlab berdasarkan nilai komponen yang telah didapat dari hasil perhitungan sebelumnya. Sebelum itu, maka dibutuhkan data *training* ANN terlebih dahulu. Data pelatihan ANN ini menggunakan nilai tegangan dan arus yang dinormalisasi sebagai *input* dan nilai *Duty Cycle* sebagai *output*. Pada simulasi *training* ANN ini menggunakan *backpropagation* terdapat 2 *input*, 10 *hidden layer*, 1 *output layer* dan 1 *output*.

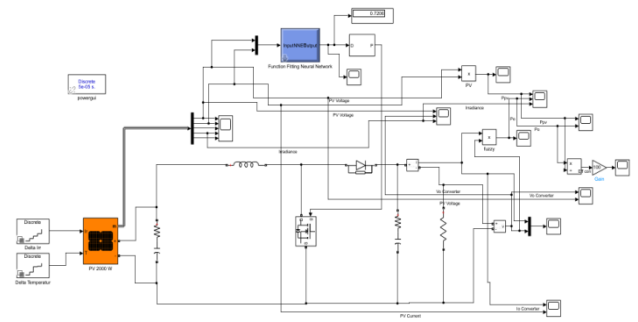
Setelah melakukan *training*, kemudian simulasi ini juga diamati bagaimana kondisi tegangan, arus dan daya. Dan rangkaian simulasi ini terdiri dari rangkaian sistem PV menggunakan kontrol ANN-MPPT dan *Boost converter*.



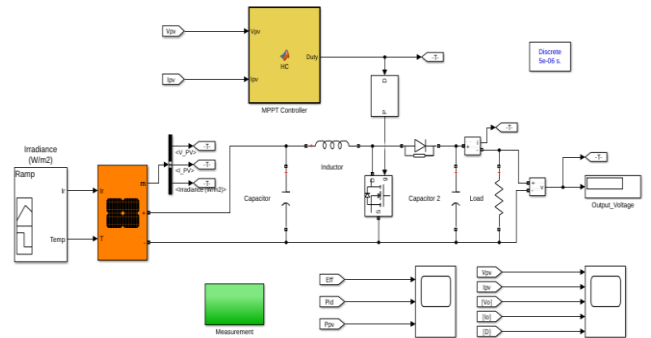
Gambar 4 Pemodelan ANN-MPPT

**E. Simulasi Sistem HC-MPPT**

Simulasi dari sistem HC-MPPT ini dilakukan menggunakan perangkat lunak Simulink Matlab berdasarkan nilai komponen yang telah didapat dari hasil perhitungan sebelumnya. Pada simulasi ini akan diamati bagaimana kondisi tegangan, arus dan daya. Rangkaian simulasi ini terdiri dari rangkaian simulasi untuk sistem PV menggunakan kontrol IC-MPPT seperti yang ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 5 Rangkaian simulasi sistem PV menggunakan kontrol ANN-MPPT

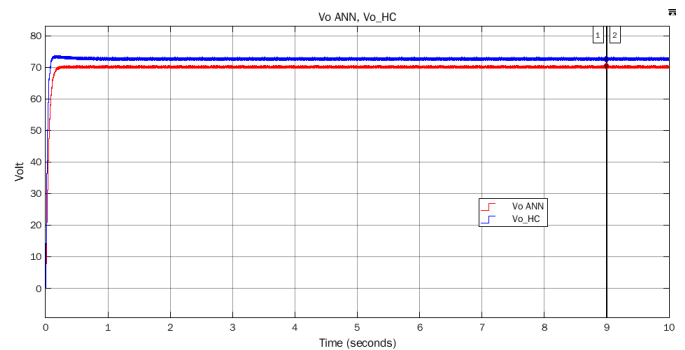


Gambar 6 Rangkaian simulasi sistem PV menggunakan kontrol HC-MPPT

**IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**A. Kondisi Irradian 1000 W/m2 Suhu 25 °C**

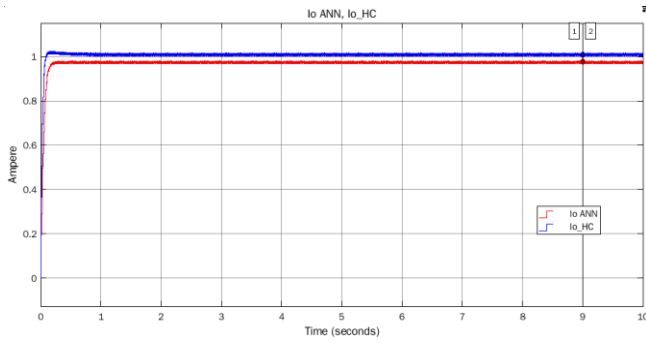
Pada hasil simulasi kondisi irradian 1000 W/m<sup>2</sup> suhu 25 °C bisa dilihat Pada simulasi sinyal tegangan output ( $V_o$ ) dari ANN-MPPT memperoleh hasil nilai sebesar 70,33 V. Sedangkan sinyal tegangan dari HC-MPPT memperoleh hasil nilai 72,60 V. Seperti pada gambar 7 dibawah.



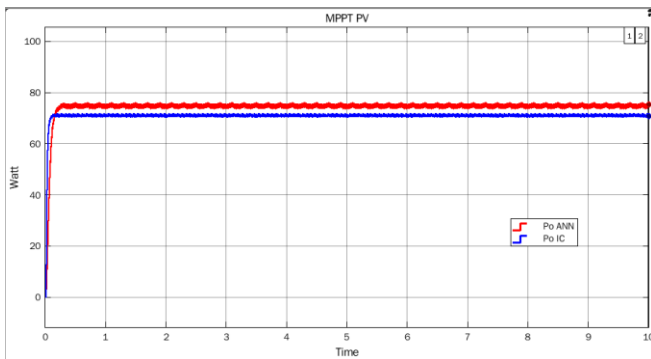
Gambar 7 Output Tegangan Converter ( $V_o$ ) ANN-MPPT Output Tegangan Converter ( $V_o$ ) HC-MPPT Irradian 1000 W/m2 Suhu 25°C

Untuk Pada simulasi sinyal arus output ( $I_o$ ) dari ANN-MPPT memperoleh hasil nilai sebesar 0,97 A Sedangkan sinyal tegangan dari HC-MPPT memperoleh hasil nilai 1 A seperti pada gambar 8.

Pada simulasi sinyal daya output ( $P_o$ ) dari ANN-MPPT memperoleh hasil nilai sebesar 68,73 W. Sedangkan sinyal tegangan dari HC-MPPT memperoleh hasil nilai 73,23 W. Seperti pada gambar 9.



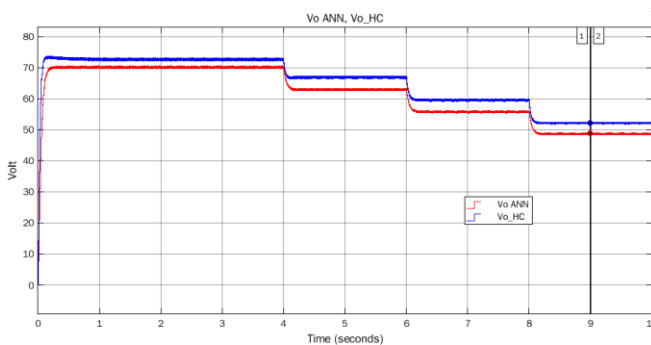
Gambar 8 Output Arus Converter (Io) ANN-MPPT & Output Arus Converter (Io) HC-MPPT Irradian 1000 W/m<sup>2</sup> Suhu 25°C



Gambar 9 Output Daya Converter (Po) ANN-MPPT & Output Daya Converter (Po) IC-MPPT Irradian 1000 W/m<sup>2</sup> Suhu 25 °C

**B. Kondisi Irradian (1000 W/m<sup>2</sup>, 900 W/m<sup>2</sup>, 800 W/m<sup>2</sup>, 700 W/m<sup>2</sup>) Suhu 25 °C**

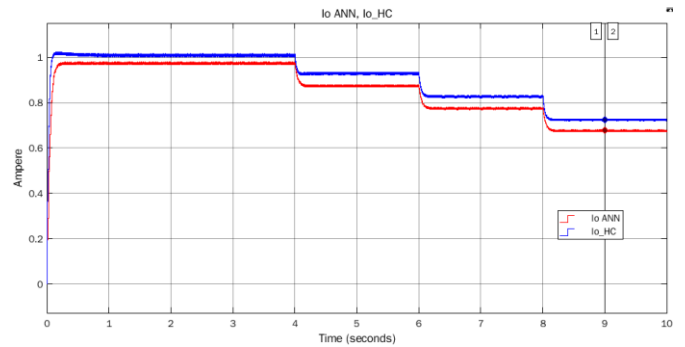
Pada hasil simulasi kondisi irradian (1000 W/m<sup>2</sup>, 900 W/m<sup>2</sup>, 800 W/m<sup>2</sup>, 700 W/m<sup>2</sup>) suhu 25 °C bisa dilihat Pada simulasi sinyal tegangan output (V<sub>o</sub>) dari ANN-MPPT memperoleh hasil nilai sebesar 70,33 V pada kondisi irradian 1000 W/m<sup>2</sup> dan 48,80 V pada kondisi 700 W/m<sup>2</sup>. Sedangkan sinyal tegangan dari HC-MPPT memperoleh hasil nilai sebesar 72,60 V pada kondisi irradian 1000 W/m<sup>2</sup> dan 52,22 V pada kondisi 700 W/m<sup>2</sup>. Seperti pada gambar 10 dibawah.



Gambar 10 Output Tegangan Converter (Vo) ANN-MPPT & Output Tegangan Converter (Vo) HC-MPPT irradian (1000 W/m<sup>2</sup>, 900 W/m<sup>2</sup>, 800 W/m<sup>2</sup>, 700 W/m<sup>2</sup>) Suhu 25°C

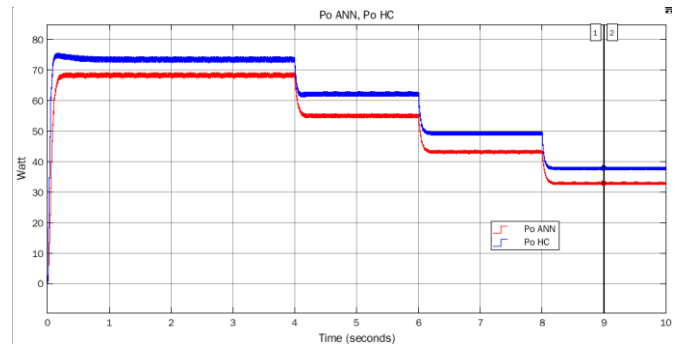
Untuk sinyal arus output (I<sub>o</sub>) dari ANN-MPPT memperoleh hasil nilai sebesar 0,97 A pada kondisi irradian

1000 W/m<sup>2</sup> dan 0,67 A pada kondisi 700 W/m<sup>2</sup>. Sedangkan sinyal arus dari HC-MPPT memperoleh hasil nilai sebesar 1 A pada kondisi irradian 1000 W/m<sup>2</sup> dan 0,72 A pada kondisi 700 W/m<sup>2</sup>. Seperti pada gambar 11 dibawah.



Gambar 11 Output Arus Converter (Io) ANN-MPPT & Output Arus Converter (Io) HC-MPPT irradian (1000 W/m<sup>2</sup>, 900 W/m<sup>2</sup>, 800 W/m<sup>2</sup>, 700 W/m<sup>2</sup>) Suhu 25°C

Untuk sinyal daya output (P<sub>o</sub>) dari ANN-MPPT memperoleh hasil nilai sebesar 68,83 W pada kondisi irradian 1000 W/m<sup>2</sup> dan 33,08 W pada kondisi 700 W/m<sup>2</sup>. Sedangkan sinyal daya dari HC-MPPT memperoleh hasil nilai sebesar 73,23 W pada kondisi irradian 1000 W/m<sup>2</sup> dan 37,88 W pada kondisi 700 W/m<sup>2</sup>. Seperti pada gambar 12 dibawah.

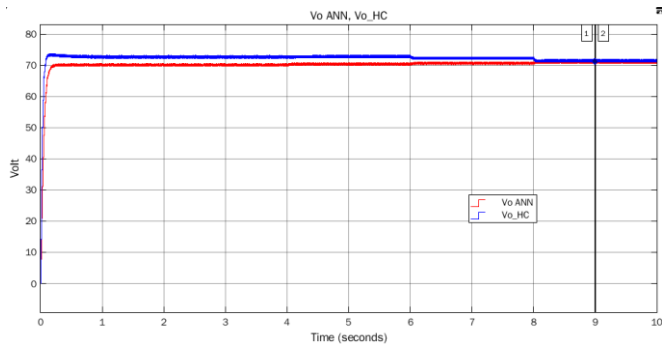


Gambar 12 Output Daya Converter (Po) ANN-MPPT & Output Daya Converter (Po) HC-MPPT irradian (1000 W/m<sup>2</sup>, 900 W/m<sup>2</sup>, 800 W/m<sup>2</sup>, 700 W/m<sup>2</sup>) Suhu 25°C

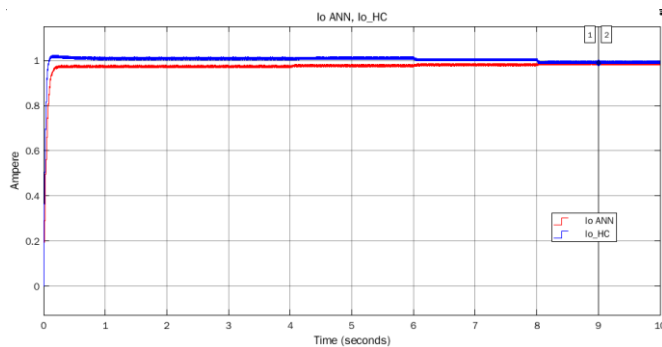
**C. Kondisi Irradian 1000W/m<sup>2</sup> Suhu (25 °C, 30 oC, 35 °C, 45 °C)**

Pada hasil simulasi kondisi irradian 1000W/m<sup>2</sup> suhu (25 °C, 30 °C, 35 °C, 45 °C) bisa dilihat sinyal tegangan output (V<sub>o</sub>) dari ANN-MPPT memperoleh hasil nilai sebesar 70,33 V pada kondisi suhu 25 °C dan 71,17 V pada kondisi 45 °C. Sedangkan sinyal tegangan dari HC-MPPT memperoleh hasil nilai sebesar 72,60 V pada kondisi suhu 25 °C dan 71,23 V pada kondisi 25 °C. Seperti pada gambar 13.

Untuk sinyal arus output (I<sub>o</sub>) dari ANN-MPPT memperoleh hasil nilai sebesar 0,97 A pada kondisi suhu 25 °C dan 0,99 A pada kondisi 45 °C. Sedangkan sinyal arus dari HC-MPPT memperoleh hasil nilai sebesar 1 A pada kondisi suhu 25 °C dan 0,99 A pada kondisi 25 °C. Seperti pada gambar 14.

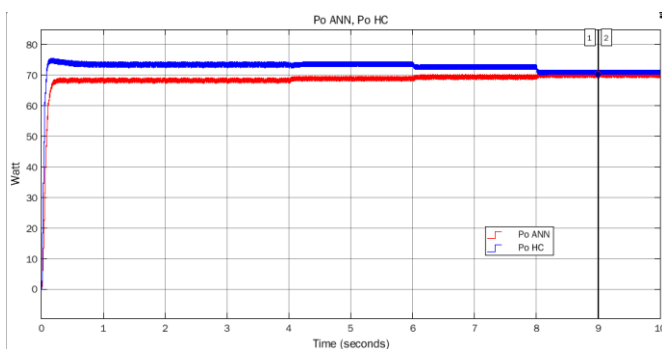


Gambar 13 Output Tegangan Converter ( $V_o$ ) ANN-MPPT & Output Tegangan Converter ( $V_o$ ) HC-MPPT Irradian 1000W/m<sup>2</sup> Suhu (25 °C, 30 oC, 35 °C, 45 °C)



Gambar 14 Output Arus Converter ( $I_o$ ) ANN-MPPT & Output Arus Converter ( $I_o$ ) HC-MPPT Irradian 1000W/m<sup>2</sup> Suhu (25 °C, 30 oC, 35 °C, 45 °C)

Untuk sinyal daya output ( $P_o$ ) dari ANN-MPPT memperoleh hasil nilai sebesar 68,73 W pada kondisi suhu 25 °C dan 70,36 W pada kondisi 45 °C. Sedangkan sinyal daya dari HC-MPPT memperoleh hasil nilai sebesar 73,23 W pada kondisi suhu 25 °C dan 70,53 W pada kondisi 25 °C. Seperti pada gambar 15 dibawah.

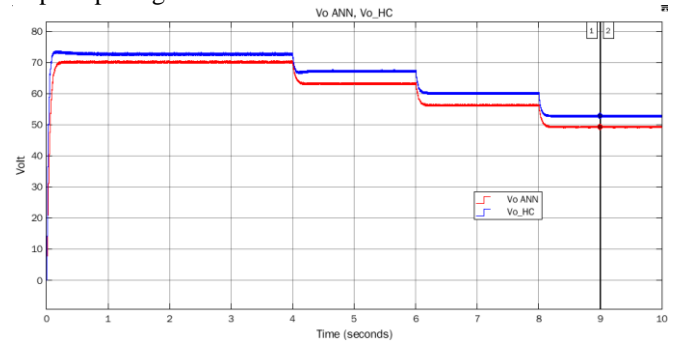


Gambar 15 Output Daya Converter ( $P_o$ ) ANN-MPPT & Output Daya Converter ( $P_o$ ) HC-MPPT Irradian 1000W/m<sup>2</sup> Suhu (25 °C, 30 oC, 35 °C, 45 °C)

**D. Kondisi irradian (1000 W/m<sup>2</sup>, 900 W/m<sup>2</sup>, 800 W/m<sup>2</sup>, 700 W/m<sup>2</sup>) suhu (25 °C, 30 oC, 35 °C, 45 °C)**

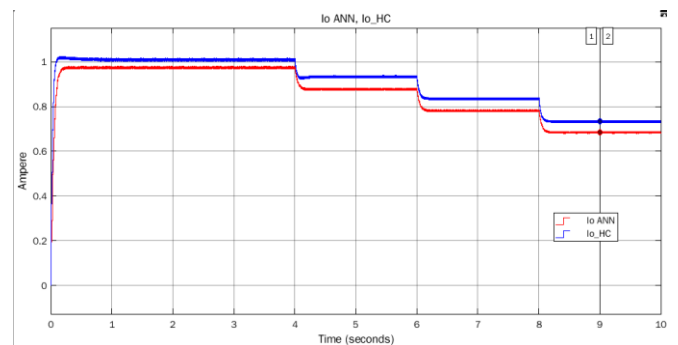
Pada hasil simulasi kondisi irradian (1000 W/m<sup>2</sup>, 900 W/m<sup>2</sup>, 800 W/m<sup>2</sup>, 700 W/m<sup>2</sup>) suhu (25 °C, 30 °C, 35 °C, 45 °C) bisa dilihat sinyal tegangan output ( $V_o$ ) dari ANN-MPPT

memperoleh hasil nilai sebesar 70,33 V pada kondisi irradian 1000 W/m<sup>2</sup> suhu 25 °C dan 49,40 V pada kondisi 700 W/m<sup>2</sup> 45 °C. Sedangkan sinyal tegangan dari HC-MPPT memperoleh hasil nilai sebesar 72,60 V pada kondisi irradian 1000 W/m<sup>2</sup> 25 °C dan 52,80 V pada kondisi 700 W/m<sup>2</sup> 45 °C. Seperti pada gambar 16 dibawah.



Gambar 16 Output Tegangan Converter ( $V_o$ ) ANN-MPPT & Output Tegangan Converter ( $V_o$ ) HC-MPPT irradian (1000 W/m<sup>2</sup>, 900 W/m<sup>2</sup>, 800 W/m<sup>2</sup>, 700 W/m<sup>2</sup>) suhu (25 °C, 30 oC, 35 °C, 45 °C)

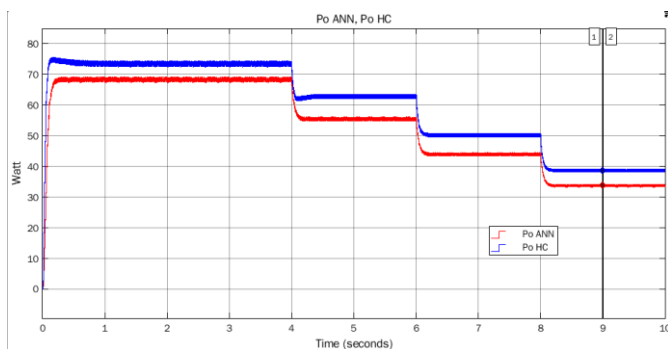
Untuk sinyal arus output ( $I_o$ ) dari ANN-MPPT memperoleh hasil nilai sebesar 0,97 A pada kondisi irradian 1000 W/m<sup>2</sup> suhu 25 °C dan 0,68 A pada kondisi 700 W/m<sup>2</sup> 45 °C. Sedangkan sinyal arus dari HC-MPPT memperoleh hasil nilai sebesar 1 A pada kondisi irradian 1000 W/m<sup>2</sup> 25 °C dan 0,73 A pada kondisi 700 W/m<sup>2</sup> 45 °C. Seperti pada gambar 17 dibawah.



Gambar 17 Output Arus Converter ( $I_o$ ) ANN-MPPT & Output Arus Converter ( $I_o$ ) HC-MPPT irradian (1000 W/m<sup>2</sup>, 900 W/m<sup>2</sup>, 800 W/m<sup>2</sup>, 700 W/m<sup>2</sup>) suhu (25 °C, 30 oC, 35 °C, 45 °C)

Untuk sinyal daya output ( $P_o$ ) dari ANN-MPPT memperoleh hasil nilai sebesar 68,73 W pada kondisi irradian 1000 W/m<sup>2</sup> suhu 25 °C dan 33,90 W pada kondisi 700 W/m<sup>2</sup> 45 °C. Sedangkan sinyal daya dari HC-MPPT memperoleh hasil nilai sebesar 73,23 W pada kondisi irradian 1000 W/m<sup>2</sup> 25 °C dan 38,72 W pada kondisi 700 W/m<sup>2</sup> 45 °C. Seperti pada gambar 18.





Gambar 18 Output Daya Converter (Po) ANN-MPPT & Output Daya Converter (Po) HC-MPPT irradian (1000 W/m<sup>2</sup>, 900 W/m<sup>2</sup>, 800 W/m<sup>2</sup>, 700 W/m<sup>2</sup>) suhu (25 °C, 30 °C, 35 °C, 45 °C)

## V. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan yang telah dilakukan pada penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Pada hasil simulasi kondisi irradian 1000W/m<sup>2</sup> suhu 25°C, sinyal tegangan output ( $V_o$ ), arus output ( $I_o$ ) dan daya output ( $P_o$ ) pada algoritma ANN-MPPT memiliki nilai 70,33 V, 0,97 A dan 68,73 W. Sedangkan pada algoritma HC-MPPT masing-masing memiliki nilai 72,60 V, 1 A dan 73,23 W.
2. Pada hasil simulasi kondisi irradian (1000 W/m<sup>2</sup>, 900 W/m<sup>2</sup>, 800 W/m<sup>2</sup>, 700 W/m<sup>2</sup>) suhu 25°C, sinyal tegangan output ( $V_o$ ), arus output ( $I_o$ ) dan daya output ( $P_o$ ) kondisi

700 W/m<sup>2</sup> pada algoritma ANN-MPPT memiliki nilai 48,80 V, 0,67 A dan 33,08 W. Sedangkan pada algoritma HC-MPPT masing-masing memiliki nilai 52,22 V, 0,72 A dan 37,88 W.

3. Pada hasil simulasi kondisi irradian 1000W/m<sup>2</sup> suhu (25 °C, 30 °C, 35 °C, 45 °C) sinyal tegangan output ( $V_o$ ), arus output ( $I_o$ ) dan daya output ( $P_o$ ) kondisi 45 °C pada algoritma ANN-MPPT memiliki nilai 71,17 V, 0,988 A dan 70,36 W. Sedangkan pada algoritma HC-MPPT masing-masing memiliki nilai 71,23 V, 0,989 A dan 70,53 W.
4. Pada hasil simulasi kondisi irradian (1000 W/m<sup>2</sup>, 900 W/m<sup>2</sup>, 800 W/m<sup>2</sup>, 700 W/m<sup>2</sup>) suhu (25 °C, 30 °C, 35 °C, 45 °C) sinyal tegangan output ( $V_o$ ), arus output ( $I_o$ ) dan daya output ( $P_o$ ) kondisi 700 W/m<sup>2</sup> 45 °C pada algoritma ANN-MPPT memiliki nilai 70,33 V, 0,97 A dan 68,73 W. Sedangkan pada algoritma HC-MPPT masing-masing memiliki nilai 72,60 V, 1 A dan 73,23 W.
5. Simulasi ANN-MPPT mampu menangkap semua kondisi, sedangkan HC-MPPT hanya mampu menangkap ketiga kondisi dan tidak mampu menangkap kondisi simulasi kondisi irradian 1000W/m<sup>2</sup> suhu (25 °C, 30 °C, 35 °C, 45 °C).
6. Daya yang dihasilkan tidak maksimum, karena daya konstan akibat R konstan sehingga daya PV ditransfer sesuai besar daya  $P_o$ .

## REFERENSI

- [1] S. M. Metev and V. P. Veiko, *Laser Assisted Microtechnology*, 2nd ed., R. M. Osgood, Jr., Ed. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1998.
- [2] J. Breckling, Ed., *The Analysis of Directional Time Series: Applications to Wind Speed and Direction*, ser. Lecture Notes in Statistics. Berlin, Germany: Springer, 1989, vol. 61.
- [3] S. Zhang, C. Zhu, J. K. O. Sin, and P. K. T. Mok, "A novel ultrathin elevated channel low-temperature poly-Si TFT," *IEEE Electron Device Lett.*, vol. 20, pp. 569–571, Nov. 1999.
- [4] M. Wegmuller, J. P. von der Weid, P. Oberson, and N. Gisin, "High resolution fiber distributed measurements with coherent OFDR," in *Proc. ECOC'00*, 2000, paper 11.3.4, p. 109.
- [5] R. E. Sorace, V. S. Reinhardt, and S. A. Vaughn, "High-speed digital-to-RF converter," U.S. Patent 5 668 842, Sept. 16, 1997.
- [6] (2002) The IEEE website. [Online]. Available: <http://www.ieee.org/>
- [7] M. Shell. (2002) IEEEtran homepage on CTAN. [Online]. Available: <http://www.ctan.org/tex-archive/macros/latex/contrib/supported/IEEEtran/>
- [8] *FLEXChip Signal Processor (MC68175/D)*, Motorola, 1996.
- [9] "PDCA12-70 data sheet," Opto Speed SA, Mezzovico, Switzerland.
- [10] A. Karnik, "Performance of TCP congestion control with rate feedback: TCP/ABR and rate adaptive TCP/IP," M. Eng. thesis, Indian Institute of Science, Bangalore, India, Jan. 1999.
- [11] J. Padhye, V. Firoiu, and D. Towsley, "A stochastic model of TCP Reno congestion avoidance and control," Univ. of Massachusetts, Amherst, MA, CMPSCI Tech. Rep. 99-02, 1999.
- [12] *Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification*, IEEE Std. 802.11, 1997