

DESAIN DAN SIMULASI MPPT *FUZZY LOGIC CONTROL* MENGGUNAKAN *BOOST CONVERTER* UNTUK PENERANGAN PADA PETERNAKAN AYAM

Shelly Trigun Fiaga Apreka^{*}, Moh. Zaenal Efendi², Syechu Dwitya Nugraha³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro Industri, Departemen Elektro, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Surabaya
^{1,2,3}Jalan Raya ITS, Keputih, Sukolilo, Surabaya

email: ¹shellytrigun@gmail.com, ²zen@pens.ac.id, ³syechu@pens.ac.id

Abstract — *Electrical energy is one of the primary needs that humans need in social life. Along with the increasing demand for electrical energy and the depletion of fossil fuel reserves, the government encourages research efforts to produce renewable energy. Utilization of renewable energy is also needed for people who have livestock because they need lighting. One of the renewable energy that is suitable for livestock is solar panels. In the use of conventional MPPT, the power generated cannot be maximized. This is because changes in temperature and light irradiation can affect the resulting power output. This problem can be overcome by using the MPPT method which can track the maximum power point so that it can maximize the power generated using MPPT by controlling the pulse size of the signal. The output from the solar panel will be connected to a Boost converter to find the maximum power point using Fuzzy logic Control. From the results of this test, the power generated reaches 97.28% of the solar panel power with an irradiation of 1000 W/m² to 600 W/m². Meanwhile, for temperature variations of 15°C to 35°C with constant irradiation, the power generated reaches 97.43% of the solar panel power. The percentage increase in average power with irradiation variations between without MPPT and with MPPT is 6.28%. Meanwhile, for temperature variations, the average power increased by 14.41%.*

Keyword: Solar panel, Boost converter, Fuzzy logic, MPPT

Abstrak Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan primer yang diperlukan manusia dalam berkehidupan bermasyarakat. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan energi listrik dan semakin menipisnya cadangan bahan bakar fosil menyebabkan pemerintah mendorong upaya penelitian untuk menghasilkan energi terbarukan. Pemanfaatan energi terbarukan juga diperlukan bagi masyarakat yang memiliki peternakan karena membutuhkan penerangan. Salah satu energi terbarukan yang cocok untuk peternakan adalah panel surya. Dalam penggunaan MPPT konvensional menyebabkan daya yang dihasilkan tidak dapat maksimal. Hal tersebut dikarenakan perubahan temperatur dan penyinaran cahaya dapat mempengaruhi keluaran daya yang dihasilkan. Masalah tersebut dapat diatasi dengan menggunakan metode MPPT yang dapat melacak titik daya maksimal sehingga dapat memaksimalkan daya yang dihasilkan menggunakan MPPT dengan mengontrol besar pulsa sinyal. Keluaran dari panel surya akan disambungkan dengan *Boost converter* untuk mencari titik daya maksimum menggunakan *Fuzzy logic Control*. Prosentase peningkatan daya rata-rata dengan variasi iradiasi antara tanpa MPPT dan dengan MPPT sebesar 6.28%. Sedangkan untuk variasi suhu mengalami peningkatan daya rata-rata sebesar 14.41%.

Kata Kunci – Panel surya, *Boost converter*, *fuzzy logic*, MPPT

I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan primer yang diperlukan manusia dalam berkehidupan bermasyarakat. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan energi listrik dan semakin menipisnya cadangan bahan bakar fosil menyebabkan pemerintah mendorong upaya penelitian untuk menghasilkan energi terbarukan. Pemanfaatan energi terbarukan juga diperlukan bagi masyarakat yang memiliki peternakan untuk upaya penghematan. Pada peternakan dibutuhkan penerangan tujuan supaya hasil panen ternak dapat maksimal. Berdasarkan jurnal yang berjudul “Dampak Kepadatan (Density) Kandang Terhadap Tingkat Deplesi pada Ayam Broiler Parent Stock Fase Grower” didapat standar kepadatan ayam sebesar 11 ekor/m². Penerangan pada kandang ayam perlu diperhatikan dikarenakan hal tersebut merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi pada proses kematangan organ reproduksi dan pertumbuhan ayam.

Di Indonesia terdapat berbagai macam energi terbarukan. Salah satu energi terbarukan yang cocok untuk peternakan adalah panel surya. Panel surya dapat mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik, tetapi perubahan temperatur dan penyinaran cahaya dapat mempengaruhi keluaran daya yang dihasilkan. Daya keluaran dari panel surya dapat dimaksimalkan dengan MPPT (*Maximum Power Point Tracking*). Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui daya keluaran yang dihasilkan apabila memperhatikan MPPT dengan mengontrol besar pulsa sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*). DC-DC *converter* yang digunakan adalah *Boost converter*. Keluaran dari panel surya akan disambungkan dengan *Boost converter* untuk mencari titik daya maksimum yang dikontrol dengan *Fuzzy logic*. Pengimplementasian dari energi terbarukan tersebut digunakan untuk penerangan pada kandang peternakan ayam, sehingga kualitas hasil panen ternak yang dihasilkan dapat maksimal dan dapat mengurangi dampak dari menipisnya bahan bakar fosil.

*) **penulis korespondensi:** Shelly Trigun Fiaga Apreka
Email: shellytrigun@gmail.com

II. PENELITIAN YANG TERKAIT

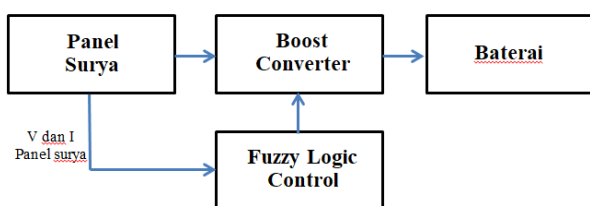
Dalam jurnal H. Rezk, dkk yang berjudul “*Design and Hardware Implementation of New Adaptive Fuzzy logic-Based MPPT Control Method for Photovoltaic Applications.*” Menjelaskan mengenai pengimplementasian MPPT-Fuzzy logic untuk memaksimalkan daya input dari PV. Pelacakan MPP terjadi dengan cepat dan dinamis dengan mencapai titik puncak dalam waktu 0,01 detik. Selain itu, metode implementasi baru yang diusulkan dapat mudah diintegrasikan dengan pencarian MPPT konvensional.

Dalam jurnal Machmud Effendy, Nur Alif Mardiyah, Khusnul Hidayat yang berjudul “Implementasi Maximum Power Point Tracking pada Photovoltaic Berbasis P&O-Fuzzy” (2017). Menjelaskan mengenai peimplementasian MPPT dengan membandingkan algoritme kendali P&O dengan P&O-Fuzzy menggunakan *buck converter*. Dari penelitian tersebut metode P&O Fuzzy lebih cepat dalam menemukan titik maksimum panel dibandingkan metode P&O. Terdapat selisih waktu sebesar 0.15 detik dalam mencapai titik MPP. Selain itu daya yang dihasilkan lebih besar ketika menggunakan metode P&O Fuzzy.

Dalam jurnal Dr S.R.Kapoor, dkk yang berjudul “*Comparison between IC and Fuzzy logic MPPT Algorithm Based Solar PV System using Boost converter*”. Menjelaskan mengenai penelitian perbandingan antara MPPT algoritme berbasis *fuzzy logic* dan IC menggunakan *boost converter*. Hasil perbandingan tersebut menyatakan bahwa kontroler Fuzzy Logic lebih efektif dibandingkan dengan kontroler IC. Kontroler Fuzzy Logic dapat meningkatkan daya yang dihasilkan. Selain itu juga terjadi sedikit fluktuasi dan menghasilkan respon yang cepat terhadap perubahan cuaca. Kontroler Fuzzy Logic lebih unggul dibandingkan dengan IC.

III. METODE PENELITIAN

Perencanaan dari sistem yang akan dibuat dapat dilihat melalui blok diagram pada Gambar 1.



Gambar 1. Blok diagram sistem

Dari sistem yang ditunjukkan pada gambar 4 untuk memaksimalkan daya keluaran panel surya menggunakan MPPT *Fuzzy logic Control* yang mengimplementasikan *Boost converter* sebagai proses dalam menghasilkan titik daya maksimum.

A. Panel Surya

Panel surya merupakan sebuah teknologi yang digunakan untuk mengubah intensitas cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip yang disebut efek photovoltaic. Apabila intensitas cahaya berkurang maka arus listrik yang dihasilkan juga akan berkurang. Selain itu, energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya juga tergantung pada iradiasi matahari dan temperatur permukaan panel surya.

Di Indonesia rata rata energi panas maksimum yang dapat diserap oleh panel surya adalah 4 jam perhari (Pada pukul 10.00 s.d 14.00). Berikut merupakan perhitungan mengenai kebutuhan panel surya.

$$I_{o(boost)} = 1,6 A; \quad 20\% \text{ dari kapasitas baterai}$$

$$V_{o(boost)} = 28 V$$

Energi saat efisiensi Boost 100%

$$\begin{aligned} \text{Energi} &= V_{o(boost)} \times I_{o(boost)} \times 4 \text{ Jam} \\ &= 28 \times 1,6 \times 4 \text{ Jam} \\ &= 179,2 \text{ Wh} \end{aligned}$$

Diasumsikan apabila efisiensi boost 70%

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$0,7 = \frac{179,2}{P_{in}}$$

$$P_{in} = 256 \text{ Wh}$$

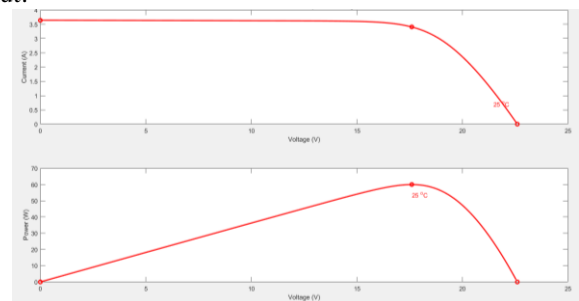
$$\text{Maka Kebutuhan panel surya} = \frac{256 \text{ Wh}}{4 \text{ jam}} = 51,2 \text{ WP.}$$

Sehingga panel surya yang digunakan adalah 60 WP.

Tabel 1. Spesifikasi Panel Surya

Spesifikasi	Besaran
Maximum Power (Pmax)	60 W
Short Circuit Current (Isc)	3.59 A
Voltage at Point of Maximum Power (Vmp)	18.2 V
Current at Point of Maximum power (Imp)	3.34 A
Maximum System Voltage	1000 V
Maximum Series Fuse	10 A
Short Circuit Voltage (Voc)	21.51 V

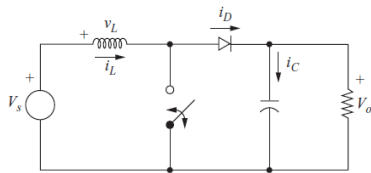
Dari spesifikasi panel surya pada Tabel 1 dapat ditunjukkan grafik karakteristik panel surya 60 W sebagai berikut:



Gambar 2. Karakteristik panel surya 60 WP

B. Boost converter

Boost converter merupakan salah satu pengonversi tegangan DC ke DC yang berfungsi untuk menaikkan tegangan. Dengan adanya *Boost converter* tegangan keluaran yang dihasilkan akan lebih besar dari tegangan input. Rangkaian *Boost converter* terdiri atas beberapa komponen yaitu terdapat induktansi, kapasitor, dioda, dan komponen switching seperti *Thyristor*, IGBT, dan Mosfet. Dalam penyulutan switching *Boost converter* diatur oleh PWM sebagai pengaturan duty cycle. Pengaturan duty cycle tersebut tentunya akan sangat mempengaruhi besar atau kecilnya tegangan output dari *Boost converter* tersebut.

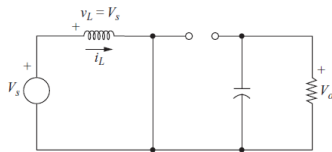


Gambar 3. Rangkaian Boost converter

Prinsip kerja Boost converter terdiri atas 2 bagian yaitu:

- Ketika Saklar Tertutup

Pada saat saklar tertutup diode akan *reverse bias* yang ditunjukkan pada Gambar 4. Kemudian arus akan mengalir searah jarum jam dari sumber menuju induktor (terjadi *charging* pada induktor), sehingga beban tidak menerima energi dari input. Kapasitor dalam keadaan *discharge* untuk menjaga outputnya.



Gambar 4. Rangkaian Boost converter pada saklar tertutup

Diode mendapatkan tegangan balik dan dengan menggunakan hukum kirchoff tegangan:

$$V_L = V_s = L \frac{di_L}{dt} \text{ atau } \frac{di_L}{dt} = \frac{V_s}{L} \quad (1)$$

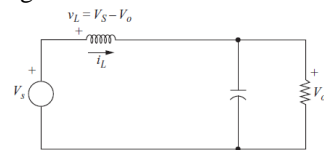
Laju perubahan arus konstan, sehingga arus naik secara linier pada saat saklar ditutup. Perubahan arus induktor dapat dihitung dengan:

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_s}{L} \quad (2)$$

$$(\Delta i_L)_{\text{closed}} = \frac{V_s DT}{L} \quad (3)$$

- Ketika Saklar Terbuka

Pada saat saklar terbuka dioda akan *forward bias* ditunjukkan pada Gambar 5. Output menerima energi dari input dan induktor, karena pada saat saklar terbuka induktor akan melepaskan energinya, sehingga output menerima energi dari dua sumber dan tegangan output akan lebih besar dari tegangan input. Itulah penyebab Boost converter dapat menaikkan tegangan.



Gambar 5. Rangkaian Boost converter pada saklar terbuka

Dengan asumsi bahwa tegangan keluaran saklar konstan, maka tegangan pada induktor:

$$V_L = V_s - V_o = L \frac{di_L}{dt} \quad (4)$$

$$L \frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L} \quad (5)$$

Laju perubahan arus induktor akan konstan, sehingga arus berubah secara linier. Perubahan arus induktor ketika saklar dibuka adalah:

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{(1-D)T} = \frac{V_s - V_o}{L} \quad (6)$$

$$\Delta i_{L(\text{opened})} = \frac{(V_s - V_o)(1-D)T}{L} \quad (7)$$

Pada operasi steady state, total perubahan arus induktor adalah Nol.

$$\Delta i_{L(\text{opened})} + \Delta i_{L(\text{closed})} = 0 \quad (8)$$

$$\frac{V_s DT}{L} + \frac{(V_s - V_o)(1-D)T}{L} = 0 \quad (9)$$

Sehingga akan menghasilkan tegangan output:

$$V_s(D + 1 - D) - V_o(1 - D) = 0 \quad (10)$$

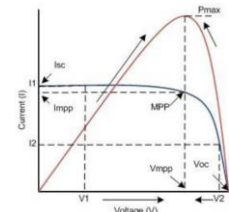
$$V_o = \frac{V_s}{1-D} \quad (11)$$

Dari penjelasan diatas didapat desain converter yang digunakan dalam sistem ini adalah sebagai berikut:

- $V_{s(\text{min})} = 18.2 \text{ V}$
- $V_{s(\text{max})} = 19.8 \text{ V}$
- $V_o = 28 \text{ V}$
- $I_o = 1.6 \text{ A}$ (20% dari 8 Ah)
- $F = 40 \text{ KHz}$
- Duty cycle = 35 %
- Induktor = 310 μH
- Kapasitor = 501 μF

C. MPPT Fuzzy Logic Control

MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) merupakan sebuah sistem yang digunakan untuk mencari titik arus dan tegangan yang optimal pada panel surya sehingga akan didapat daya keluaran maksimum. Dengan demikian hal tersebut dapat mengurangi rugi-rugi daya yang dihasilkan oleh panel surya. Prinsip kerja dari MPPT ini adalah menaikkan dan menurunkan tegangan kerja pada panel surya. Apabila panel surya menghasilkan tegangan kerja yang lebih kecil dibandingkan tegangan V_{mp} , maka MPPT akan menaikkan tegangan kerja mencapai V_{mp} . Begitu pula sebaliknya, apabila tegangan kerja yang dihasilkan lebih besar daripada tegangan V_{mp} maka akan diturunkan hingga mencapai V_{mp} . Dengan demikian daya keluaran yang dihasilkan oleh panel surya akan menjadi maksimal. Gambar 6 menunjukkan kurva kenaikan dan penurunan tegangan MPPT.



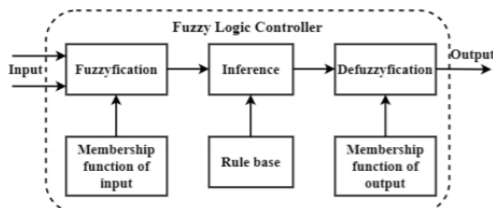
Gambar 6. Kurva kenaikan dan penurunan tegangan MPPT

Dalam penggunaan MPPT yaitu mengatur *duty cycle* dari konverter yang digunakan dengan mengatur sudut penyulutan mosfet dengan sinyal PWM agar daya yang dihasilkan maksimal dengan menggunakan softswitching, sehingga mengganti kerugian karena disipasi daya saat beralih dan tidak ada tumpang tindih antara tegangan dan arus.

Pada mode MPPT, masukan algoritma fuzzy berupa E (error) dan ΔE (Delta Error). Nilai error diperoleh dari pembagian antara perbedaan daya dengan perbedaan tegangan $\Delta P/\Delta V$, yang mana ΔP adalah selisih antara daya saat ini dengan daya sebelumnya, dan ΔV adalah selisih antara tegangan saat ini dengan tegangan sebelumnya. Dan nilai delta error diperoleh dari selisih antara nilai error saat ini dengan error sebelumnya.

Pada tahap perancangan kontroler fuzzy terdapat beberapa tahap yaitu penentuan fungsi keanggotaan, penentuan bentuk fungsi keanggotaan, dan menentukan

fungsi keanggotaan output. Secara umum bagian dari fuzzy ditunjukkan pada Gambar 7.

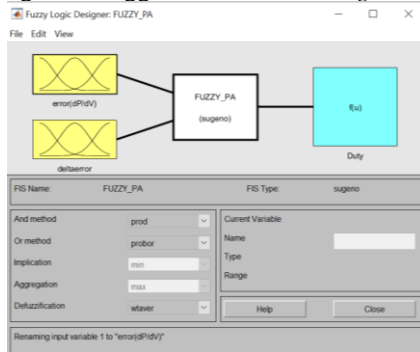


Gambar 7. Alur Perencanaan MPPT Fuzzy

Perancangan fuzzy yang terdiri dari proses desain fuzzy interface system yang meliputi:

a. Desain *input* membership function

Gambar 8 merupakan jumlah *input* dan *output* yang digunakan, pada sistem ini menggunakan dua input yang terdiri atas *input error* dan *delta error* dan satu *output* yaitu *duty cycle*. Kontrol logika fuzzy yang digunakan adalah tipe sugeno. Dengan metode AND yang digunakan adalah Prod dan metoder OR adalah Probor. Proses defuzzifikasi pada fuzzy tipe sugeno menggunakan metode *weighted average*.

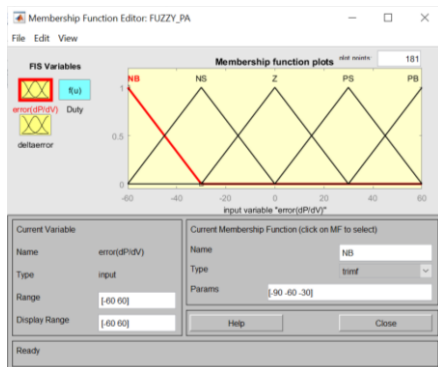


Gambar 8. Setting Jumlah Input dan Output pada Fuzzy

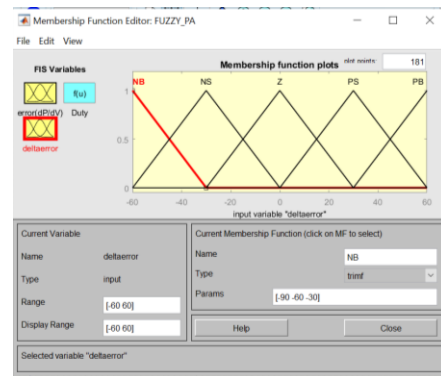
Pada tahap ini mengambil batasan-batasan fungsi keanggotaan kontrol logika fuzzy untuk *input error* dan *input delta error* ditunjukkan pada Gambar 9 dan 10. Kontroler fuzzy pada sistem MPPT ini berfungsi untuk menentukan daya maksimum, yaitu *error E(k)* dan *delta error (dE)*. Mengacu pada rumus sebagai berikut:

$$E(k) = \frac{P(k) - P(k-1)}{V(k) - V(k-1)} \quad (12)$$

$$dE(k) = E(k) - E(k-1) \quad (13)$$



Gambar 9. Desain input error



Gambar 10. Desain input deltaerror

Untuk tipe fungsi keanggotaan yang digunakan adalah *triangular membership function*. Dimana range batasan untuk *input error* yaitu sebesar -60 sampai 60 Volt, sedangkan untuk range *input delta error* yaitu sebesar -60 sampai 60 Volt. Parameter untuk *error* dan *delta error* adalah sebagai berikut:

- a. NB = -60
- b. NS = -30
- c. Z = 0
- d. PS = 60
- e. PB = 30

b. Desain Rule Base

Rule base dapat ditentukan dengan melihat nilai *error* dan *delta error* yang digunakan sebagai variabel *input* fuzzy. *Rule base* digunakan untuk menentukan aksi kontrol yang diinginkan sesuai dengan plant yang direncanakan penulis. Dalam hal ini aturan fuzzy yang digunakan dalam bentuk pernyataan *IF-THEN*. 5 *membership function input error* dan *delta error* maka dapat dihasilkan aturan-aturan sebanyak 25 aturan yang dapat menentukan nilai hasil *output* respon nilai *singleton* yang akan diambil. Berikut merupakan Tabel Desain Rule Base ditunjukkan pada Tabel 2.

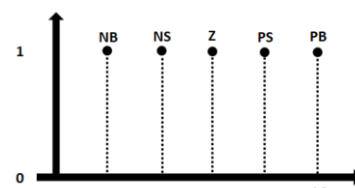
Tabel 1. Rule Base Fuzzy

E/ΔE	NB	NS	Z	PS	PB
NB	Z	Z	PB	PB	PB
NS	Z	Z	PS	PS	PS
Z	PS	Z	Z	Z	NS
PS	NS	NS	NS	Z	Z
PB	NB	NB	NB	Z	Z

c. Desain Output Membership Function

Dalam membuat *membership function output*, cara memasukan nilai sama dengan langkah memasukan *membership function input*. Proses defuzzifikasi pada fuzzy tipe sugeno menggunakan metode *weighted average* terdapat pada persamaan di bawah. Penyelesaian metode ini yaitu dengan menjumlahkan nilai tiap *rule* yang dikalikan dengan *singleton*nya dan dibagi dengan jumlah tiap nilai *rule*.

$$Defuzzifikasi = \frac{\sum_{i=1}^m x_i \times 1}{m} \quad (14)$$



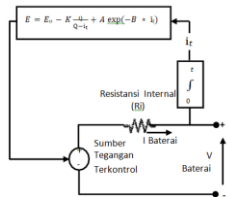
Gambar 11. Desain Output Membership Function

E. Baterai

Accumulator atau biasa disebut aki merupakan sebuah alat yang dapat menyimpan energi dalam bentuk energi kimia respon dari Boost converter terhadap duty cycle. Pada pengujian yang akan dikeluarkannya apabila diperlukan untuk ini dilakukan dengan pengujian simulasi Boost converter open mensuplainya ke masing – masing sistem kelistrikan atau alat. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan pada software yang memerlukannya. Accumulator digunakan sebagai suplaPSIM dengan iradiasi 1000 W/m², temperature 25⁰C, dan duty cycle 35% menghasilkan tegangan output sebesar 28V. Hasil

Salah satu jenis pemodelan baterai yang tepat digunakan tersebut sudah sesuai dengan perhitungan converter yang dalam proses simulasi adalah pemodelan bateran dengardinginkan. Selain itu, Boost converter juga menghasilkan ripple pemodelan rangkaian ekuivalen yang mengacu pada Sheperdegangan yang kecil yaitu sebesar 0.22.

Mode. Pemodelan baterai ini yaitu merangkai secara seri resistansi internal (hambatan dalam) dan terdiri juga dari tegangan terkontrol. Untuk rangkaian ekuivalen baterai ditunjukkan seperti Gambar 12.



Gambar 12. Rangkaian Ekuivalen Baterai

Sehingga untuk persamaan sumber tegangan terkontrol dapat ditunjukkan sebagai berikut:

$$A = E_{full} - E_{exp} \tag{15}$$

$$B = \frac{3}{Q_{exp}} \tag{16}$$

$$E = E_o - K \frac{Q}{Q - \int i_b dt} + A \exp(-B \int i_b dt) \tag{17}$$

Dimana

E_o = Tegangan Konstan (V)

K = Konstanta polarisasi (Ah⁻¹)

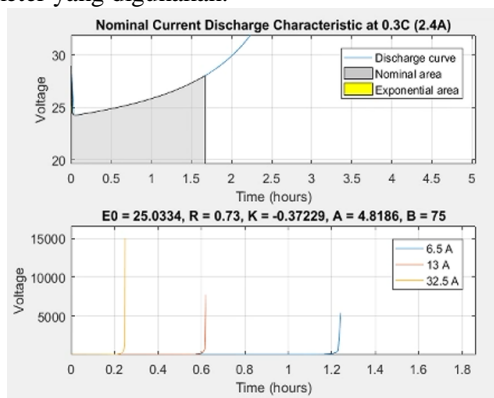
Q = Kapasitas baterai maksimum (Ah)

i_b = Kapasitas baterai yang keluar (Ah)

A = Tegangan eksponensial (V)

B = Kapasitas eksponensial (Ah⁻¹)

Untuk mendapatkan parameter baterai dapat dilakukan pada software MATLAB sehingga dapat dilakukan pemodelan ekuivalen baterai. Gambar 13 menunjukkan parameter yang digunakan.

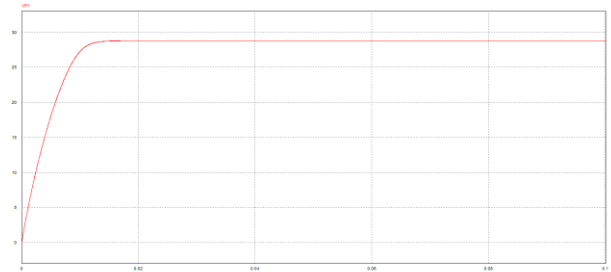


Gambar 13. Parameter pemodelan baterai

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil uraian di atas dilakukan simulasi pada software PSIM 9.1 untuk mengetahui proses dan hasil kinerja dari sistem. Hasil pengujian terdiri atas Boost converter, MPPT Fuzzy logic Control dan parameter proses charge baterai.

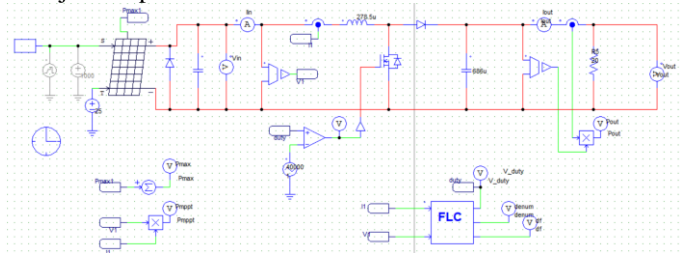
4.1 Hasil Pengujian Boost converter



Gambar 14. Gelombang tegangan output Boost converter

4.2 Hasil Pengujian MPPT Fuzzy logic Control

Simulasi MPPT Fuzzy logic Control telah berhasil dilakukan dengan software PSIM 9.1 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 15.



Gambar 15. Rangkaian simulasi MPPT Fuzzy Logic Control

Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa dengan adanya MPPT fuzzy control membuat daya keluaran panel surya dapat mendekati daya maksimal panel surya. Proses pengujian dilakukan dengan memvariasi nilai iradiasi (W/m²) dan temperature (°C). Tabel 3 menunjukkan hasil dari simulasi MPPT Fuzzy logic Control dengan mengubah nilai iradiasi dan temperature tetap.

Tabel 3. Hasil pengujian MPPT Fuzzy logic Suhu Tetap

Irradiance (W/m ²)	Suhu (°C)	Pmax (W)	PMPPT (W)	Ptanpa MPPT (W)	Error (%)
1000	25	56.72	55.18	47.17	2.715
900	25	51.10	49.55	45.00	2.862
800	25	45.43	43.27	42.09	4.754
700	25	39.7	37.91	37.83	4.50
600	25	33.9	32.01	31.31	5.57

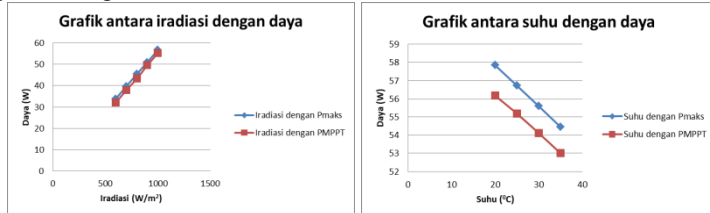
Selanjutnya simulasi MPPT Fuzzy logic Control dengan mengubah nilai temperature dan iradiasi tetap. Tabel 4 merupakan data hasil simulasi tersebut.

Tabel 4. Hasil pengujian MPPT Fuzzy logic Iradiasi Tetap

Irradiance (W/m ²)	Suhu (°C)	Pmax (W)	PMPPT (W)	Ptanpa MPPT (W)	Error (%)
1000	15	58.94	57.2	50.22	2.952
900	20	57.84	56.17	48.86	2.887

800	25	56.72	55.18	47.17	2.715
700	30	55.59	54.11	45.65	2.662
600	35	54.45	53	44.14	2.662

Dari data pengujian yang telah dicatat dapat dibuat grafik antara iradiasi dan daya. Pada Gambar 16 menunjukkan grafik perbandingan antara Pmax dan PMPPT.

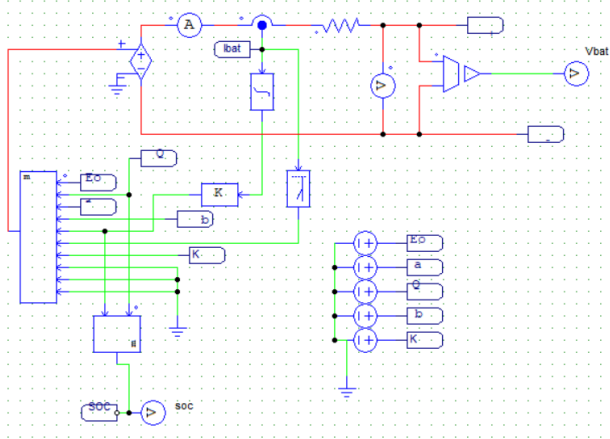


Gambar 16. Grafik perbandingan Pmax dan PMPPT

Berdasarkan dari hasil data pengujian diatas didapatkan data akurasi yang cukup baik. Dengan adanya MPPT kontrol fuzzy dapat membuat daya yang dihasilkan mendekati daya maksimum panel surya. Peningkatan daya rata-rata variasi iradiasi antara tanpa MPPT dan dengan MPPT sebesar 6.28%. Sedangkan untuk variasi suhu mengalami peningkatan daya rata-rata sebesar 14.41%. Sehingga dapat dikatakan bahwa kontrol fuzzy dapat memaksimalkan daya yang dihasilkan.

4.3 Proses Charge Baterai

Pada tahap berikutnya akan dilakukan pengujian tambahan untuk menentukan nilai SOC baterai dengan menggunakan metode *open circuit voltage*. Dalam pengujian ini dilakukan pada software PSIM 9.1 dengan rangkaian seperti pada Gambar 17. Parameter pada baterai yang terdiri atas a, Q, b, dan K didapat dari plot baterai yang dapat dilihat pada software Matlab. Kemudian data tersebut dimasukkan dalam PSIM. Berikut ini merupakan pemodelan baterai yang digunakan dalam proyek akhir ini.



Gambar 17. Rangkaian pemodelan baterai

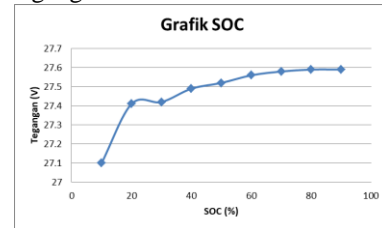
Berdasarkan rangkaian pemodelan baterai pada Gambar 19 dapat dilakukan pengambilan data. Data yang diamati terdiri atas tegangan baterai dan arus baterai dengan memvariasi besar nilai SOC mulai dari 10% hingga 90%. Tabel 5 menunjukkan hasil dari pengujian tersebut.

Tabel 5. Data pengujian charge baterai

SOC (%)	Tegangan Baterai (V)	Arus Baterai (A)
10	27.1	3.3
20	27.41	3.21
30	27.42	3.19
40	27.49	3.18

50	27.52	3.16
60	27.56	3.15
70	27.58	3.15
80	27.59	3.14
90	27.59	3.14

Dari data pengujian yang telah dicatat dapat dibuat grafik. Pada Gambar 20 menunjukkan grafik perbandingan antara SOC dengan tegangan baterai.



Gambar 20. Grafik antara SOC dan tegangan baterai

Berdasarkan data percobaan dan grafik SOC dapat dikatakan bahwa proses charge sudah berjalan yang ditunjukkan dengan grafik State of Charge (SOC) yang nilainya terus meningkat.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa MPPT *Fuzzy logic Control* dapat bekerja dengan baik. Pengujian MPPT *Fuzzy logic Control* yang dihasilkan memiliki peningkatan daya rata-rata yang cukup baik yaitu sebesar 2.9 W dibandingkan dengan sistem tanpa MPPT Fuzzy. Error rata-rata yang dihasilkan ketika merubah iradiasi sebesar 4.08% sedangkan ketika bervariasi suhu sebesar 2.77%.

Dalam proses charge yang dilakukan sudah berjalan cukup baik dengan menghasilkan grafik State of Charge (SOC) yang nilainya terus meningkat.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Samosir, "Modeling and Simulation of Fuzzy Logic Based Maximum Power Point Tracking (MPPT) for PV Application," *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. x, No.x.
- [2] M. Atia and H. T. El-Madany, "VHDL based maximum power point tracking of photovoltaic using fuzzy logic control," *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 7, no. 6, pp. 3454–3466, Dec. 2017, doi: 10.11591/ijece.v7i6.pp3454-3466.
- [3] H. Rezk, M. Aly, M. Al-Dhaifallah, and M. Shoyama, "Design and Hardware Implementation of New Adaptive Fuzzy Logic-Based MPPT Control Method for Photovoltaic Applications," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 106427–106438, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2932694.
- [4] Ilmar Ramadhan, E. Diniardi, and S. Hari Mukti, "Analisis Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 50 WP," vol. 37, no. 2, pp. 59–63, 2016, doi: 10.14710/teknik.v37n2.9011.
- [5] R. O. Pratama, M. Effendy, and Z. Zulfatman, "Optimization of Maximum Power Point Tracking (MPPT)

- Using P&O-Fuzzy and IC-Fuzzy Algorithms on Photovoltaic,” *Kinet. Game Technol. Inf. Syst. Comput. Network, Comput. Electron. Control*, pp. 119–134, Apr. 2018, doi: 10.22219/kinetik.v3i2.200.
- [6] M. Effendy, N. A. Mardiyah, and K. Hidayat, “Implementasi Maximum Power Point Tracking pada Photovoltaic Berbasis P&O-Fuzzy,” 2017.
- [7] L. Rahakbauw, “PENERAPAN LOGIKA FUZZY METODE SUGENO UNTUK MENENTUKAN JUMLAH PRODUKSI ROTI BERDASARKAN DATA PERSEDIAAN DAN JUMLAH PERMINTAAN (STUDI KASUS: PABRIK ROTI SARINDA AMBON),” 2015.
- [8] M. Atallah, A. Y. Abdelaziz, and R. S. Jumaah, “Implementation of perturb and observe MPPT of PV system with direct control method using buck and buck boost converters,” 2014. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/281684328>
- [9] L. Pradigta *et al.*, “Penggunaan Daya Panel Surya Dengan MPPT Bisection Pada Proses Charging Baterai,” 2021.
- [10] N. Hussein Selman, “Comparison Between Perturb & Observe, Incremental Conductance and Fuzzy Logic MPPT Techniques at Different Weather Conditions,” *Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol.*, vol. 5, no. 7, pp. 12556–12569, Jul. 2016, doi: 10.15680/ijirset.2016.0507069.
- [11] N. Yaqin, A. G. Abdullah, D. L. Hakim, and A. B. D. Nandiyanto, “MPPT based on Fuzzy Logic Controller for Photovoltaic System using PSIM and Simulink,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Jan. 2018, vol. 288, no. 1, doi: 10.1088/1757-899X/288/1/012066.
- [12] C. Andrianantenaina and J. N. Razafinjaka, “MPPT P&O Algorithm Optimization by Fuzzy Logic Variable Gain PI with Fractional Order (VGPIFO),” 2017. [Online]. Available: www.ijerm.com.
- [13] S. Aji, D. Ajiatmo, I. Robandi, and H. Suryoatmojo, “MPPT Based on Fuzzy Logic Controller (FLC) for Photovoltaic (PV) System in Solar Car,” *J. Mechatronics, Electr. Power, Veh. Technol.*, vol. 4, no. 2, pp. 127–134, Dec. 2013, doi: 10.14203/j.mev.2013.v4.127-134.
- [14] M. Effendy and N. Alif, *SISTEM MPPT MENGGUNAKAN LOGIKA FUZZY PADA PEMBANGKIT PHOTOVOLTAIC*, no. SENTRA
- [15] M. K. Dr S.R.Kapoor, “Comparison between IC and Fuzzy Logic MPPT Algorithm Based Solar PV System using Boost Converter,” *Int. J. Adv. Res. Electr. Electron. Instrum. Eng.*, vol. 04, no. 06, pp. 4927–4939, Jun. 2015, doi: 10.15662/ijareeie.2015.0406007.