

Maximum Power Point Tracking Berbasis *Fuzzy Logic Control* Pada *Heater Mini Sauna* di Masa Pandemi

Rahmatiana Dewi^{1*}, Yahya Chusna Arif², Lucky Pradigta Setiya Raharja³

^{1*,2,3}Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

*E-mail: rahmatiana@pe.student.pens.ac.id

Abstract

During a pandemic, health is very important. Steam baths with boiled spices in the sauna are believed to increase the body's immunity and facilitate breathing. However, in general, the heater in the sauna has great power and still uses a source from PLN, so its use can cause quite high electricity costs. To reduce high costs, alternative energy can be utilized, namely solar energy. With non-linear PV output so that it cannot produce maximum power, it can use a method called maximum power point tracking (MPPT) which is used to find the maximum power point so that it will increase the efficiency of the output power in PV. Therefore, a power optimization tool (MPPT) will be made using the fuzzy logic control method to control the DC-DC Cuk Converter. With MPPT fuzzy logic control is simulated using MATLAB with 2 conditions that use 3 membership functions and 7 membership functions. The results that using 3 Mf can only increase by 97.5% while using 7 Mf increases the maximum power value by 99% at 1000 W/m² irradiation, which produce output power close to the maximum power in the specifications on the PV.

Keywords: Maximum Power Point Tracking (MPPT), Photovoltaic, CUK Converter, Fuzzy Logic Control, Heater

Abstrak

Pada masa pandemi, kesehatan itu penting. Mandi uap dengan rebusan rempah di sauna dipercaya dapat meningkatkan kekebalan tubuh dan memperlancar pernapasan. Namun pada umumnya *heater* di sauna memiliki daya yang sangat besar dan masih menggunakan sumber dari PLN, sehingga penggunaannya dapat menimbulkan biaya listrik yang cukup tinggi. Untuk menekan biaya yang tinggi dapat dimanfaatkan energi alternatif yaitu energi surya. Dengan keluaran PV yang tidak linier sehingga tidak dapat menghasilkan daya yang maksimal, maka dapat menggunakan metode yang disebut maximum power point tracking (MPPT) yang digunakan untuk mencari titik daya maksimum sehingga akan meningkatkan efisiensi daya keluaran pada PV. Oleh karena itu, akan dibuat alat optimasi daya (MPPT) dengan menggunakan metode kendali logika fuzzy untuk mengendalikan DC-DC *Cuk Converter*. MPPT kontrol logika fuzzy disimulasikan menggunakan MATLAB dengan 2 kondisi yaitu menggunakan 3 fungsi keanggotaan dan 7 fungsi keanggotaan. Didapat hasil bahwa penggunaan 3 Mf hanya dapat meningkat sebesar 97,5% sedangkan penggunaan 7 Mf meningkatkan nilai daya maksimum sebesar 99% pada iradiasi 1000 W/m², yang mana menghasilkan daya keluaran mendekati daya maksimum pada spesifikasi pada PV.

Kata Kunci: Maximum Power Point Tracking (MPPT); Photovoltaic; CUK *Converter*; Fuzzy Logic Control; *Heater*.

1. Pendahuluan

Di masa pandemi, kesehatan menjadi hal yang sangat penting. Terapi mandi uap dengan rebusan rempah diyakini dapat meningkatkan kekebalan dan memperlancar pernapasan. Dimana mandi uap (sauna) dilakukan dengan menempatkan seseorang didalam ruang sauna yang suhunya antara 38°C hingga 52°C . Mandi sauna dapat dilakukan kapan saja dengan lama waktu yang dianjurkan yaitu selama 10-15 menit. Sebagai manusia homoioterm, manusia akan berusaha untuk menjaga kestabilan suhu tubuhnya walaupun suhu lingkungan berubah. Manfaat terapi sauna antara lain menjaga kesehatan jantung, melegakan pernapasan bagi penderita batuk maupun asma, pereda nyeri sendi, serta menciptakan rasa nyaman dan rileks [1].

Pada umumnya pemanas pada sauna memiliki daya yang sangat besar dan masih menggunakan sumber listrik dari PLN, sehingga penggunaannya dapat menyebabkan biaya listrik yang cukup tinggi [2]. Untuk mengurangi biaya listrik yang tinggi, dapat memanfaatkan energi alternatif atau energi terbarukan, yang salah satunya yaitu energi matahari. Untuk memanfaatkan energi matahari diperlukan panel surya yang dapat mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Namun panel surya memiliki karakteristik keluaran yang non-linier atau berubah-ubah, bergantung dengan iradiasi maupun suhu pada kondisi lingkungan dan hanya memiliki satu titik daya maksimum yang dihasilkan. Sehingga diperlukan algoritma MPPT untuk memaksimalkan daya keluaran dari panel surya dengan mencari titik daya maksimum pada sistem panel surya sehingga akan meningkatkan efisiensi daya output pada panel surya [3]. Banyak metode yang digunakan pada MPPT ini antara lain Perturb and Observe (P&O), Incremental Conductance Methods (ICM), Open-Circuit Voltage (OCV), Short-Circuit Current (SCC), *Fuzzy Logic Controller* (FLC), *Artificial Neural Network* (ANN) dan lain-lain [4].

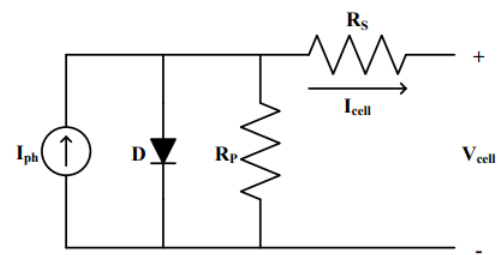
Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode *Fuzzy Logic Controller* yang

mana dari beberapa penelitian, metode FLC mempunyai kinerja lebih baik dibandingkan metode konvensional [5]. Produksi daya panel surya harus diatur menggunakan DC-DC *converter* agar dapat langsung digunakan. Pada sistem ini menggunakan *cuk converter* yang topologinya hampir sama seperti buck *converter* dimana dapat menaikkan dan menurunkan tegangan. Pada sistem ini MPPT FLC akan diterapkan pada *cuk converter* yang akan mengatur daya keluaran panel agar dapat mencapai titik daya maksimumnya.

2. Metoda Penelitian

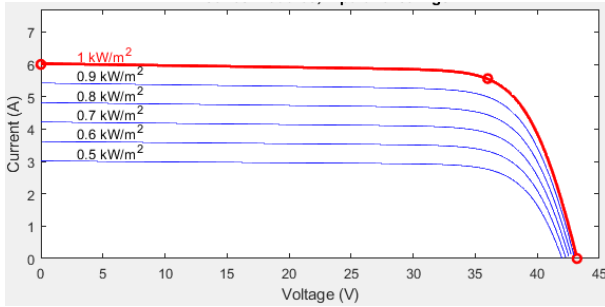
2.1 Panel Surya

Energi matahari dapat diubah menjadi listrik melalui modul panel surya atau *photovoltaic* (PV) (*photo* = cahaya, *volta* = listrik). Model Panel surya digambarkan sebagai rangkaian sederhana terdiri dari sumber arus yang terhubung paralel dengan diode. Daya keluaran dari panel surya tergantung pada iradiasi atau penyinaran sinar matahari dan suhu yang diterima oleh permukaan sel panel surya. Panel surya memiliki berbagai jenis dan model dimana setiap modul panel surya memiliki karakteristik dan efisiensi [6].

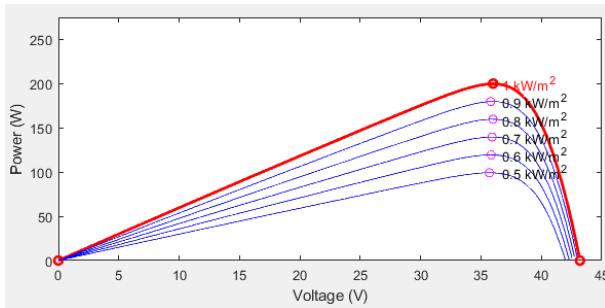


Gambar 1. Model sel panel surya

Modul PV ini disimulasikan menggunakan MATLAB untuk mendapatkan kurva I-V (arus-tegangan) dan kurva P-V untuk mengetahui karakteristik dari panel surya. Simulasi hasilnya dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3 dilakukan dengan iradiasi yang berbeda dan suhu konstan pada kondisi STC.



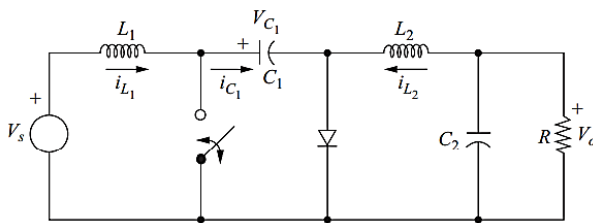
Gambar 2. Kurva (I-V)



Gambar 3. Kurva (P-V)

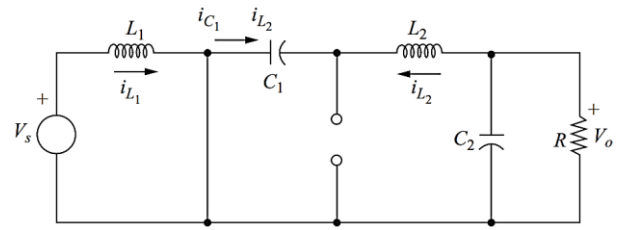
2.2 Cuk Converter

Cuk converter merupakan suatu dc – dc konverter yang digunakan untuk menurunkan ataupun menaikkan suatu tegangan DC ke level tegangan DC yang diinginkan.



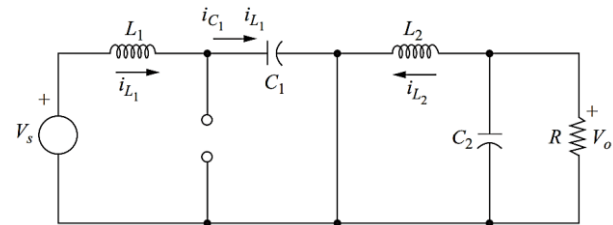
Gambar 4. Rangkaian Cuk Converter

Cuk converter merupakan turunan dari *buck-boost converter*. Komponen dari *cuk converter* terdiri dari, sebuah sumber tegangan input dc V_s , *mosfet* sebagai *switch*, induktor input L_1 , kapasitor transfer energi C_1 , dioda D , induktor filter L_2 , kapasitor filter C_2 , dan resistansi beban R . Dengan tambahan induktor dan kapasitor pada sisi masukan, membuat topologi ini menghasilkan riak arus yang lebih kecil daripada topologi *buck-boost*. Terdapat prinsip kerja dari *cuk converter* dimana terdapat 2 kondisi pada *cuk converter* yaitu ketika saklar tertutup dan ketika saklar terbuka [7].



Gambar 5. Cuk converter saat saklar tertutup

Pada kondisi saklar tertutup (Switch on) maka arus kapasitor 1 (I_{C1}) akan looping mengalir dari daerah V_s kemudian menuju L_1 dan akan kembali ke V_s pada sisi negatifnya. Sedangkan kapasitor 2 (C_2) akan mengalami discharging sehingga arus akan mengalir keluar pada L_2 dan keluar menuju beban. Artinya pada kondisi tertutup arus di induktor output ($-I_{L2}$) akan sama dengan arus di kapasitor input (I_{C1}). Sedangkan pada saklar terbuka [8].



Gambar 6. Cuk converter saat saklar terbuka

Pada kondisi saklar terbuka (Switch off) maka arus kapasitor input (I_{C1}) akan looping mengalir pada V_s ke C_1 dan kembali menuju ke V_s pada sisi negatifnya. Artinya pada kondisi terbuka arus di induktor input (I_{L1}) sama dengan arus di kapasitor input (I_{C1}). Nilai tegangan keluaran konverter Cuk dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut :

$$V_o = -V_s \times \left(\frac{D}{1-D} \right) \tag{1}$$

Tanda negatif menunjukkan pembalikan polaritas antara output dan input. Untuk menghitung nilai kapasitor (C) ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\Delta V_{C1} = \left(\frac{1}{1-D} \times V_s \right) \times r_{C1} \tag{2}$$

$$C_1 \geq \frac{V_o \times D}{R \times f \times \Delta V_{C1}} \tag{3}$$

Pada rangkaian konverter Cuk memiliki nilai tegangan ripple yang dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$C_2 \geq \frac{1-D}{(\Delta V_{C2}) \times 8 \times L_2 \times f^2} \quad (4)$$

Dengan mengasumsikan nilai ΔV_{C2} pada rangkaian *cuk converter* maka dapat diperoleh nilai kapasitor 2. Untuk menghitung nilai Induktor (L) ditentukan dengan persamaan dibawah ini agar *cuk converter* bekerja di mode CCM, maka nilai induktansi L_{1min} dan L_{2min} rangkaian *cuk converter* harus memenuhi persamaan sebagai berikut:

$$L_{1,min} = \frac{(1-D)^2 R}{2Df} \quad (5)$$

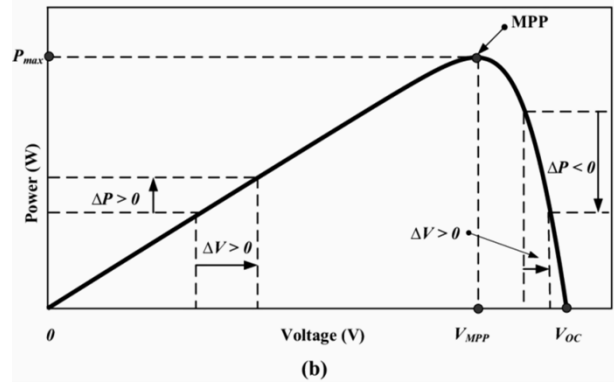
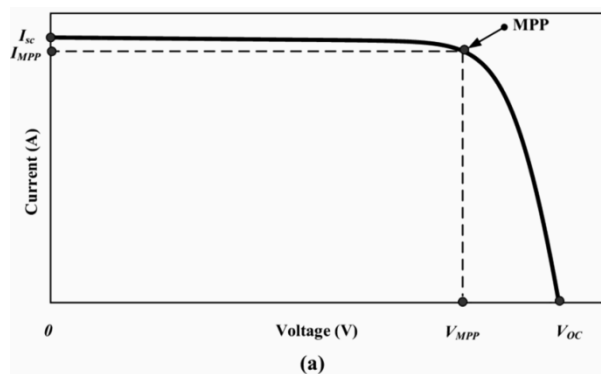
$$L_{2,min} = \frac{(1-D)R}{2f} \quad (6)$$

Dimana :

- D = Duty Cycle (%)
- V_o = Tegangan Output (V)
- V_s = Tegangan Input (V)
- L = Induktor (H)
- C = Capasitor (F)
- T = Periode (s)

2.3 Maximum Power Point Tracking

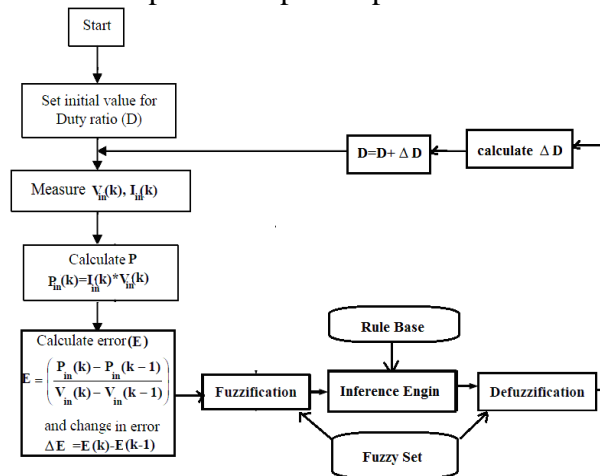
Solar Panel memiliki karakteristik output yang non-linier dan juga sangat tergantung pada suhu sekitar serta intensitas iradiasi matahari. Sehingga pada sistem PV terdapat titik tertentu yang bisa menghasilkan keluaran daya maksimal. Titik tersebut disebut Maximum Power Point atau biasa disebut MPP.



Gambar 7. (a) Grafik arus terhadap tegangan (b) Grafik daya terhadap tegangan

2.4 Fuzzy Logic Control

Fuzzy Logic Control mempunyai peranan penting yang mana digunakan sebagai sistem control. Dapat dilihat pada Gambar 8 dibawah merupakan flowchart fuzzy logic control yang mana terdapat beberapa tahap.



Gambar 8. Flowchart Fuzzy Logic Control

Fuzzifikasi,

Merupakan proses dimana untuk merubah suatu masukan yang bentuk tegas (*crisp*) menjadi bentuk *fuzzy* yang biasanya disajikan berupa himpunan-himpunan *fuzzy* yang memiliki fungsi kenggotaannya masing-masing. Untuk masukan *fuzzy* berupa E (error) dan ΔE (Delta Error). Dimana nilai error didapat dari pembagian antara perbedaan daya dengan perbedaan tegangan $\Delta P/\Delta V$. Untuk ΔP merupakan selisih antara daya sekarang dengan daya sebelumnya, dan ΔV merupakan selisih antara tegangan sekarang dengan tegangan sebelumnya. Nilai delta error

didapatkan dari selisih antara nilai error saat ini dengan error sebelumnya. Untuk rumusnya dapat dilihat sebagai berikut :

$$E = \frac{P(k) - P(k-1)}{V(k) - V(k-1)} \tag{7}$$

$$\Delta E = E(k) - E(k-1) \tag{8}$$

Keterangan :

E = Error

E(k-1) = Error sebelumnya

ΔE = Delta error

P(k) = Daya sekarang

P(k-1) = Daya sebelumnya

V(k) = Tegangan sekarang

V(k-1) = Tegangan sebelumnya

Rule Based (Interference System)

Merupakan bentuk acuan yang menjelaskan hubungan antara *variable* masukan dan keluaran. *Variabel* variabel masukan dan keluaran tersebut tetap berbentuk *fuzzy*. Untuk menjelaskan hubungan antara variabel masukan dan keluaran biasanya menggunakan fungsi “IF-THEN”. Pada pada tabel rule based dibawah memiliki keterangan variable linguistik antara lain : NL (*Negative Large*), NM (*Negative Medium*), NS (*Negative Small*), Z (*Zero*), PS (*Positive Small*), PM (*Positive Medium*), PL (*Positive Large*). Untuk desain rule based yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2 dengan menggunakan 3 fungsi keanggotaan dan 7 fungsi keanggotaan

Tabel 1. Desain Rule Base 3 Mf

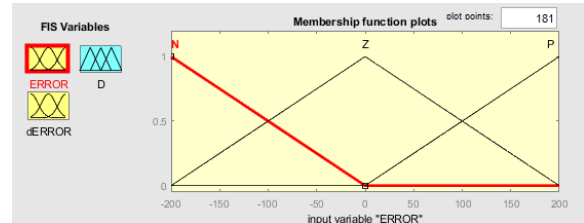
	E	N	Z	P
ΔE				
	N	S	S	M
	Z	S	M	H
	P	M	H	H

Tabel 2. Desain Rule Base 7 Mf

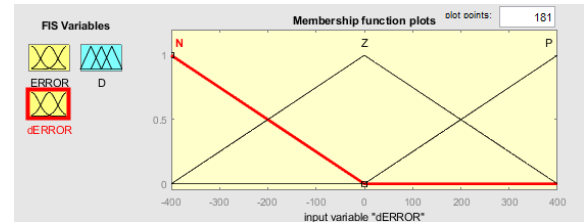
	E	NL	NM	NS	Z	PS	PM	PL
ΔE								
NL		NL	NL	NM	Z	PM	PL	PL
NM		NL	NM	NM	Z	PM	PM	PL
NS		NL	NM	NS	Z	PS	PM	PL
Z		Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z
PS		PS	PS	PS	Z	NS	NM	NL
PM		PM	PM	PS	Z	NS	NM	NL

1. Defuzifikasi,

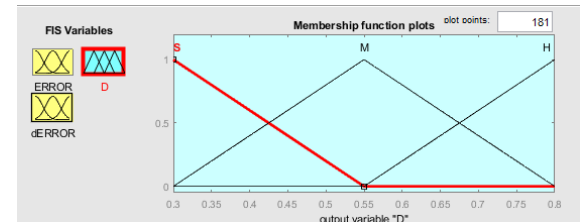
Merupakan kebalikan dari proses fuzzifikasi. Dimana proses defuzifikasi ini yaitu mengubah variabel yang masih berbentuk fuzzy menjadi data yang pasti atau tegas (crisp). Dimana hasil akhir ini akan dikirimkan ke perangkat kontrol.



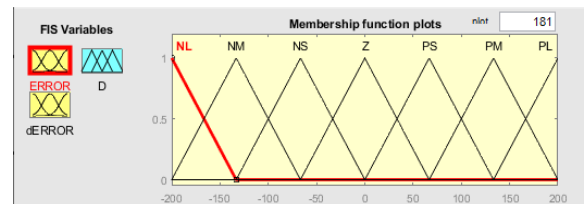
Gambar 9. 3 Fungsi Keanggotaan Input Fuzzy Variabel Error



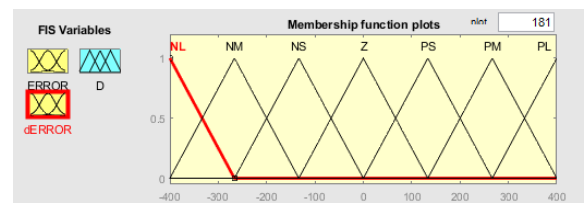
Gambar 10. 3 Fungsi Keanggotaan Input Fuzzy Variabel Delta Error



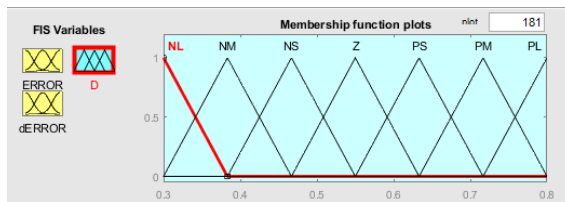
Gambar 11. 3 Fungsi Keanggotaan Output



Gambar 12. 7 Fungsi Keanggotaan Input Fuzzy Variabel Error



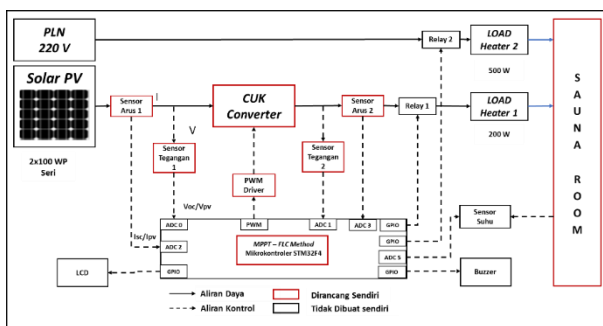
Gambar 13. 7 Fungsi Keanggotaan Input Fuzzy Variabel Delta Error



Gambar 14. 7 Fungsi Keanggotaan Output

Desain Sistem

Berdasarkan block diagram sistem dibawah ini maka akan dijelaskan mengenai sistem yang akan dibuat dari sumber hingga ke beban yang digunakan , block diagram sistem dapat dilihat pada gambar 15.



Gambar 15. Block Diagram Sistem

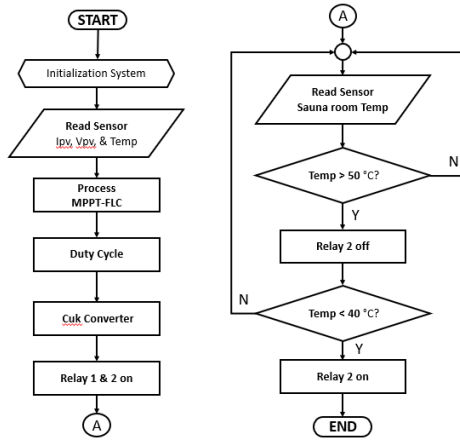
Pada Gambar15 menunjukkan mengenai sistem yang dibuat. Pada sistem ini terdapat 2 sumber yang menyuplai masing-masing heater yaitu sumber dari PLN dan sumber dari PV. Penggunaan 2 sumber ini dilakukan secara bersamaan untuk waktu penggunaan dengan beban 2 heater yang berbeda kapasitas.

Pada sistem ini terdiri dari 2 buah panel surya 100 WP yang diseri (200 WP) yang digunakan untuk menyupply beban heater 1 yang memiliki spesifikasi daya (200W/72V), digunakan 2 solar panel untuk beban 200 watt dikarenakan pada sistem ini yaitu membuat sistem MPPT yang diharapkan dengan 200 WP solar panel dapat menyupply beban heater, yang mana heater apabila diberi daya berapapun akan tetap panas.

Sedangkan pada sumber PLN digunakan untuk menyupply kekurangan daya beban, beban heater yang digunakan memiliki kapasitas yang berbeda dikarenakan pada

sauna asli memerlukan daya yang besar sehingga pada sistem ini dibuat 2 sumber dan 2 beban heater untuk mencapai temperature panas yang diinginkan agar lebih cepat. Jika daya yang digunakan besar, sensor arus dan sensor tegangan digunakan untuk membaca arus dan tegangan keluaran PV yang digunakan untuk input converter.

Pada sistem MPPT ini, data input daya diperoleh dari tegangan dan arus pada solar cell, sehingga dapat di baca oleh ADC pada mikrokontroler harus menggunakan sensor arus dan tegangan. Hasil pembacaan oleh sensor tegangan dan sensor arus akan diteruskan ke ARMSTM32F4 yang mana terdapat metode MPPT-FLC didalamnya. MPPT-FLC ini akan membantu pengolahan data tersebut hingga dihasilkan titik daya maksimum, output dari MPPT-FLC ini berupa duty cycle. Output berupa duty cycle tersebut digunakan untuk mengatur PWM. PWM digunakan untuk mendrive mosfet pada DC-DC converter. DC-DC converter yang digunakan yaitu cuk converter, cuk converter dapat digunakan untuk menaikkan dan menurunkan tegangan outputnya lebih besar atau lebih kecil dari pada tegangan inputnya. Pada sistem ini output converter tidak dibuat konstan, sehingga tegangan yang keluaran mengikuti daya maksimum yang keluar yang telah dihasilkan MPPT-FLC. Gambar 16 menunjukkan flowchart alur perencanaan sistem yang akan dibuat.

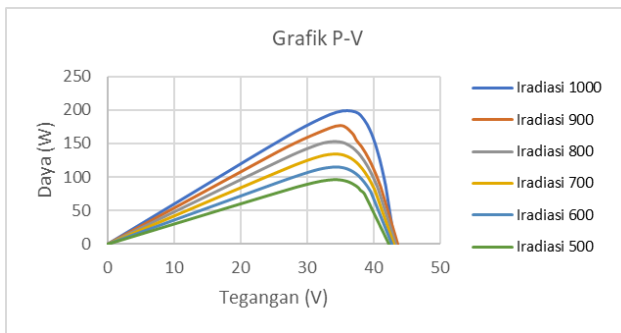


Gambar 16. Flowchart Sistem

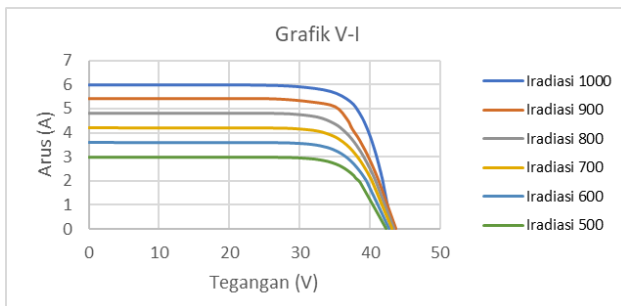
Tabel 3. Spesifikasi Panel surya

Parameter	Nilai
P_{max}	100 W
V_{mp}	18 A
I_{mp}	5.56 V
V_{oc}	21.6 A
I_{sc}	6 A
STC	1000 W/m ² 25 °C

Berdasarkan spesifikasi panel surya yang digunakan yaitu 2 buah panel surya yang dipasang secara seri maka didapatkan karakteristik dari panel surya diatas.



Gambar 17. Grafik Daya terhadap Tegangan



Gambar 18. Grafik Arus terhadap Tegangan

Tabel 4. Parameter DC-DC Cuk Converter

Parameter	Nilai
Tegangan Input (V_{in})	36 V
Arus Input (I_{in})	5.56 A
Tegangan Output (V_o)	72 V
Arus Output (I_o)	2.78 A
Frekuensi (F_s)	60 kHz
Efisiensi	80%
Ripple Tegangan C_1 (ΔV_{C1})	5%
Ripple Tegangan C_2 (ΔV_{C2})	1%
Ripple Arus Induktor (ΔI_L)	20%
Induktance 1 (L1)	0.3615 mH
Induktance 2 (L2)	0.723 mH
Capacitance 1 (C1)	5.74 μF
Capacitance 2 (C2)	1.58 μF
Resistance	26 Ω

Tabel 5. Data Pengujian

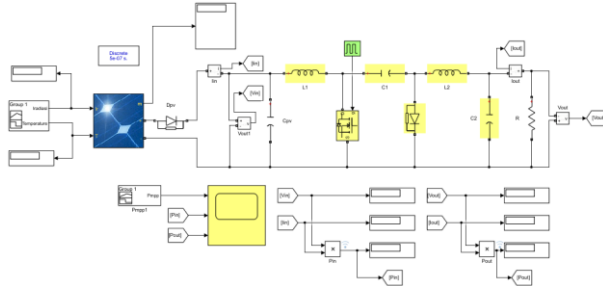
Cuk converter dengan beban R = 26 ohm							
Duty Cycle	Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	Pin (W)	Pout (W)	Effisiensi (%)
0,5	35,76	0,86	54,97	0,52	30,79	28,69	93,20
0,55	35,74	1,04	60,29	0,57	37,17	34,55	92,94
0,6	35,73	1,22	65,30	0,62	43,7	40,55	92,80
0,61	35,72	1,25	66,00	0,63	44,54	41,38	92,90
0,62	35,72	1,30	67,50	0,64	46,58	43,27	92,89
0,63	35,71	1,38	69,30	0,66	49,17	45,67	92,87
0,64	35,71	1,40	69,90	0,67	50,1	46,48	92,78
0,65	35,71	1,41	70,10	0,67	50,32	46,76	92,93
0,66	35,71	1,42	70,40	0,67	50,85	47,17	92,76
0,67	35,7	1,51	72,50	0,69	53,91	49,88	92,53
0,68	35,7	1,66	76,00	0,72	59,26	54,95	92,72
0,69	35,68	1,82	79,60	0,76	64,9	60,1	92,60
0,7	35,66	2,00	83,30	0,79	71,18	65,89	92,57
Rata - rata							92,81

3. Hasil Penelitian

Hasil penelitian diperoleh dengan menggunakan simulasi menggunakan software MATLAB. Simulasi dilakukan untuk melihat sistem secara *open loop* dan juga secara *close loop*. Simulasi menggunakan 2 buah panel surya berkapasitas 100WP yang dipasang secara seri yang kemudian dihubungkan dengan *cuk converter* dan selanjutnya dihubungkan ke beban perencanaan. Simulasi secara *open loop* yang dimaksud yaitu simulasi sistem tanpa control MPPT sedangkan

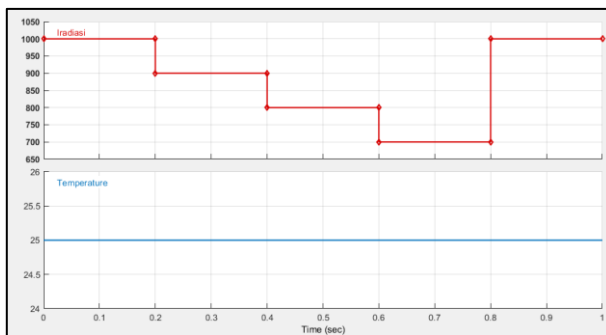
simulasi *close loop* yaitu simulasi sistem menggunakan *control* MPPT FLC.

3.1. Hasil Simulasi secara *open loop*

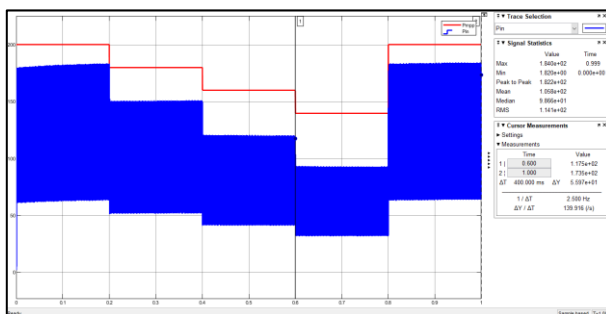


Gambar 19. Rangkaian simulasi Sistem secara *open loop*

Dari hasil rangkaian simulasi diatas didapatkan grafik ssebagaimana pada gambar 20, dimana pada simulasi diberi iradiasi yang berbeda beda dengan temperatur yang konstan sehingga didapatkan seperti pada Tabel 3.



Gambar 20. Pemberian kondisi iradiansi bervariasi dengan suhu tetap.



Gambar 21. Hasil simulasi sistem secara *open loop* 1000 W/m2 ; 900 W/m2 ; 800 W/m2 ; 700 W/m2

Tabel 6. Data Pengujian secara Open loop

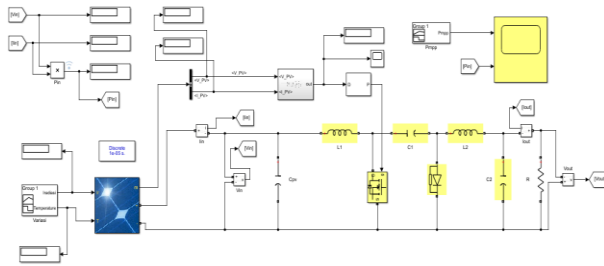
Iradiasi (W/m ²)	Pmax (W)	Pin (W)	Error (%)
1000	200,2	173.4	15.45
900	180	141.7	21.27
800	160	112.7	29.56
700	139,7	86.8	37.86

Data pengujian integrasi sistem secara *open loop* terlihat bahwa nilai daya keluaran PV jika dibandingkan dengan daya maksimum dari karakteristik PV masih terdapat error yang cukup besar hingga 37.86 %, hal tersebut dikarenakan dengan *duty cycle* tetap, *converter* tidak bisa memaksimalkan keluaran daya dari PV, dengan kondisi iradiasi yang berbeda-beda.

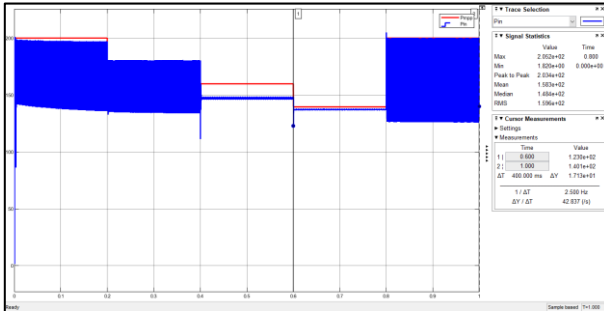
Gambar 21 merupakan hasil dari simulasi *open loop* dengan kondisi perubahan iradiasi 1000 W/m²,900 W/m²,800 W/m²,700 W/m²,1000 W/m² . Daya keluaran panel surya masih belum mencapai daya maksimum dari karakteristik PV yang digunakan sehingga diperlukan kontrol agar panel surya mampu mengoptimalkan daya maksimumnya, dengan beberapa kondisi perubahana iradiasi.

3.2. Hasil Simulasi secara *close loop*

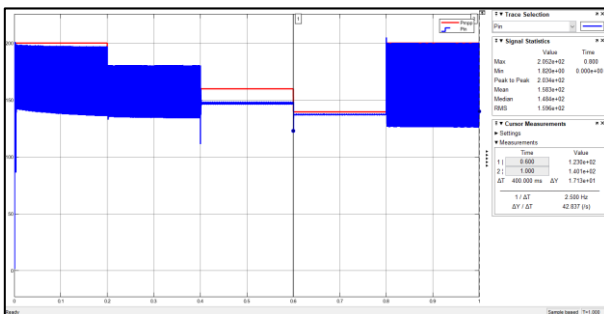
Pengujian secara *close loop* dilakukan dengan menggunakan kontrol MPPT FLC dimana dilakukan dengan 2 kondisi mf yang berbeda, untuk kondisi 1 yaitu menggunakan 3 embership function sedangkan kondisi 2 menggunakan 7 *membership function* sehingga nanti hasil simulasinya akan dibandingkan antar 3 Mf dan 7 Mf.



Gambar 22. Rangkaian simulasi Sistem secara *close loop*



Gambar 23. Hasil Simulasi sistem secara Closeloop dengan 3 membership Function 1000 W/m² ; 900 W/m² ; 800 W/m² ; 700 W/m² ; 1000 W/m²



Gambar 24. Hasil Simulasi sistem secara Closeloop dengan 7 membership Function 1000 W/m²; 900 W/m²; 800 W/m²; 700 W/m² ;1000 W/m²

Tabel 7. Data Pengujian secara *close loop*

Iradiasi (W/m ²)	Pmax (W)	Pmpp (Mf3) (W)	Error (Mf3) (%)	Pmpp (Mf7) (W)	Error (Mf7) (%)
1000	200,2	195.2	2.49	198.2	0.9
900	180	158.7	11.83	173.7	3.5

800	160	146.4	8.5	146.4	8.5
700	139,7	137.1	1.86	137.1	1.8

Data pengujian integrasi sistem secara *close loop* dapat dilihat bahwa nilai daya keluaran PV jika dibandingkan Daya maksimum dari karakteristik PV masih terdapat error 8.5 %, namun jika dibandingkan integrasi sistem tanpa kontrol atau *open loop*, kontrol MPPT- *fuzzy* sudah berjalan, dengan mencari daya keluaran maksimal dengan menggunakan *membership function* lebih banyak maka performa *fuzzy logic control* dalam mencari daya maksimum lebih bagus dapat dilihat pada data hasil percobaan, dengan menggunakan mf 7 hasil dayanya mendekati daya maksimum dari solar panel. Pada data dengan iradiasi 1000 W/m² dapat dilihat ketika *open loop* hasil daya keluaran PV sebesar 173.4 Watt, kemudian ketika menggunakan MPPT-FLC 3 Mf daya keluaran PV sebesar 195,2 Watt, ketika menggunakan kontrol MPPT-FLC 7 Mf daya keluaran PV menjadi 198.2 Watt.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dapat diketahui bahwa MPPT FLC dilakukan dengan 2 kondisi, yaitu dengan 3 *membership function* dan 7 *membership function*. Sehingga, dari kedua kondisi tersebut diperoleh lebih banyak *membership function* sehingga hasilnya akan lebih baik untuk mencari nilai maksimumnya. Hasil menunjukkan bahwa dengan menggunakan 3 Mf hanya mampu meningkatkan sebesar 97,5% sedangkan ketika menggunakan 7 Mf meningkatkan nilai daya maksimum sebesar 99% pada iradiasi 1000 W/m².

5. Saran

Dalam pemilihan DC-DC *converter* dapat menggunakan topologi yang lain sesuai kebutuhan perencanaan beban sehingga dapat memperoleh efisiensi yang lebih tinggi sehingga sistem semakin baik.

6. Daftar Pustaka

- [1.] Iwan P, Arif S.U, Sidik A, "Pengaruh Terapi Mandi Uap terhadap Respon Fisiologis Stress Penderita Hipertensi," *Jurnal Keperawatan Soedirman*, vol. 10, no. 1, pp. 61–66, 2020.
- [2.] "MESIN SAUNA | JAKARTA | INDONESIA," *Pabriksauna.com*, 2022. <https://www.pabriksauna.com/ukuran-ruang-sauna.htm> (accessed Mei. 15, 2022).
- [3.] D. Canny and F. Yusivar, "Maximum Power Point Tracking (MPPT) Algorithm Simulation Based on *Fuzzy Logic Controller* on Solar Cell with Boost Converter," 2018 2nd International Conference on Smart Grid and Smart Cities (ICSGSC), 2018, pp. 117-121, doi: 10.1109/ICSGSC.2018.8541325.
- [4.] Yaqin, Elko Nurul, "Maximum Power Point Tracking Berbasis *Fuzzy Logic Controller* Pada Sistem Photovoltaic - UPI Repository," *Upi.edu*, 2017.
- [5.] Selman, Nasir. (2016). Comparison Between Perturb & Observe, Incremental Conductance and Fuzzy Logic MPPT Techniques at Different Weather Conditions. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. 5. 12556-12569. 10.15680/IJIRSET.2016.0507069
- [6.] S. Aji, D. Ajiatmo, I. Robandi, and H. Suryoatmojo, "MPPT Based on *Fuzzy Logic Controller* (FLC) for Photovoltaic (PV) System in Solar Car," *Journal of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology*, vol. 4, no. 2, pp. 127–134, Dec. 2013, doi: 10.14203/j.mev.2013.v4.127-134.
- [7.] J. I. Corcau and L. Dinca, "Modeling and Analysis of a Fuzzy Type MPPT Algorithm," 2019 International Conference on Electrical Drives & Power Electronics (EDPE), 2019, pp. 230-234, doi: 10.1109/EDPE.2019.8883925.
- [8.] Hart, Daniel W.. "Power Electronics." (2011). The McGraw-Hill Companies, New York.
- [9.] Kabalcı, Ersan. (2017). Maximum Power Point Tracking (MPPT) Algorithms for Photovoltaic Systems. 10.1007/978-3-319-49875-1_8.
- [10.] Nasir Hussein Selman, "Comparison Between Perturb & Observe, Incremental Conductance and Fuzzy Logic MPPT Techniques at Different...," *ResearchGate*, Jul. 25, 2016.
- [11.] D. S. Yanaratri, L. P. SR, I. Ferdiansyah, and R. P. Eviningsih, "Desain dan Implementasi MPPT PSO pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga," *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, vol. 9, no. 1, pp. 34–43, Apr. 2021, doi: 10.32487/jtt.v9i1.964.
- [12.] E N Yaqin, A G Abdullah , D L Hakim, and A B D Nandiyanto.2017 "MPPT based on *Fuzzy Logic Controller* for Photovoltaic System using PSIM and Simulink". The 2nd Annual Applied Science and Engineering Conference (AASEC 2017).