

Received: Maret 2021

Accepted: April 2022

Published: April 2022

Desain Dan Simulasi *Cuk Converter* Dengan *Pi-Fuzzy Controller* Untuk Pengisian Baterai

Zaim Nur Tantowi^{1*}, Epyk Sunarno², Putu Agus Mahadi Putra³, Indra Ferdiansyah⁴, Rachma Prilian Eviningsih⁵

^{1*,2,3,4,5} Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

Email: *zaimnurtantowi@gmail.com

Abstract

The rapid development of the use of renewable energy, one of which is energy for the use of sunlight by using solar panels, where solar panels function to convert solar energy into electrical energy. Sunlight can be obtained for free and is environmentally friendly. There are many advantages of utilizing solar energy through solar panels, but there are drawbacks to using solar panels, one of which is that solar panels produce electricity that fluctuates depending on irradiation, resulting in an output voltage that is not constant. For the battery charging process, it depends on irradiation so that the battery charging process cannot be optimal. Therefore, to overcome these problems, a system is designed that uses a CUK Converter with a PI-Fuzzy Controller which is used to regulate a constant output voltage for the battery charging process. The results of the simulation show that the PI-Fuzzy Controller can control the output voltage of the Cuk Converter which is constant, by varying the irradiation from 1000W/m² to 500W/m² resulting in an output voltage error of 0.30%. This shows that the PI-Fuzzy control can achieve fast steady state and small output voltage error.

Keywords : Solar Panel, Cuk Converter, PI-Fuzzy Controller, Battery Charging

Abstrak

Berkembang pesatnya pemanfaatan energi terbarukan salah satunya energi untuk pemanfaatan sinar matahari dengan menggunakan panel surya, dimana panel surya berfungsi untuk mengubah energi matahari ke energi listrik. Sinar matahari dapat diperoleh secara gratis serta ramah lingkungan. Terdapat banyak kelebihan dari pemanfaatan energi matahari melalui panel surya namun terdapat kekurangan menggunakan panel surya salah satunya adalah panel surya menghasilkan listrik yang berfluktuasi tergantung dengan iradiasi sehingga menghasilkan tegangan keluaran yang tidak konstan. Untuk proses pengisian baterai bergantung dengan iradiasi sehingga proses pengisian baterai tidak dapat optimal. Oleh karena itu untuk mengatasi permasalahan tersebut maka dirancangkan sebuah sistem yaitu menggunakan CUK Converter dengan PI-Fuzzy Controller yang digunakan untuk mengatur tegangan output yang konstan untuk proses pengisian baterai. Hasil dari simulasi menunjukkan bahwa PI-Fuzzy Controller dapat mengontrol tegangan keluaran Cuk Converter yang konstan, dengan cara mengubah-ubah iradiasi mulai dari 1000W/m² sampai 500W/m² dihasilkan error tegangan keluaran sebesar 0.30%. Hal ini menunjukkan bahwa kontrol PI-Fuzzy dapat mencapai steady state cepat dan error tegangan keluaran yang kecil.

Kata kunci : Panel Surya, Cuk Converter, PI-Fuzzy Kontroller, Pengisian Baterai

1. Pendahuluan

Seiring berkembangnya zaman dan teknologi maka kebutuhan akan pasokan listrik akan semakin besar [1]. Namun apabila listrik masih bergantung pada energi fosil yaitu batu bara maka lama-kelamaan batu bara akan

habis sedangkan kebutuhan akan listrik tahun demi tahun semakin meningkat, oleh karena itu diterapkannya energi terbarukan seperti Angin, Matahari, Air, Panas Bumi dan masih banyak lagi yang digunakan untuk mengganti energi dari batu bara, salah satu energi

terbarukan yang digunakan adalah energi matahari. Energi matahari salah satu energi terbarukan dimana potensi dari energi matahari sangatlah besar namun untuk pengelolaan energi matahari masih terbilang sedikit, keunggulan dari energi matahari adalah biaya perawatan murah dan hemat biaya dikarenakan sumber yang diperoleh gratis dari sinar matahari, dibalik keunggulan dari energi matahari terdapat kekurangannya dimana panel surya memiliki karakteristik output yang non linier dipengaruhi oleh suhu, iradiasi dan efisiensi keluaran yang relatif rendah hal ini disebabkan oleh banyak faktor bisa dikarenakan oleh perubahan cuaca sehingga tegangan output juga tidak konsisten [1],[2].

Berdasarkan kondisi tersebut dibutuhkan penyimpanan energi yaitu *battery* berfungsi menyimpan energi matahari dari panel surya, namun dibutuhkan suatu *converter* digunakan untuk mengontrol tegangan dalam pengisian *battery* supaya lebih efisien dan tidak merusak dari komponen *battery* [3],[4],[5].

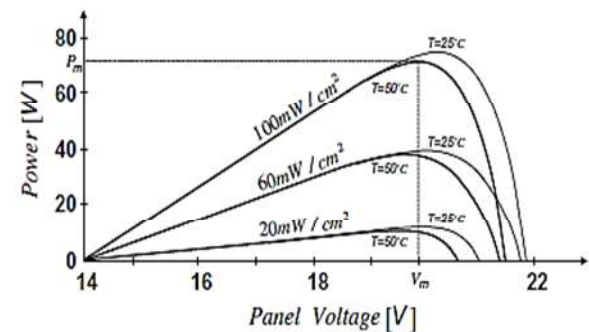
Konverter yang digunakan adalah *CUK Converter* dimana konverter ini dapat digunakan untuk menaikkan dan menurunkan tegangan seperti *buck boost converter*, namun dengan adanya tambahan induktor dan kapasitor pada sisi input membuat ripple arus lebih kecil daripada *buck-boost converter*. *CUK converter* dipilih karena konverter ini memiliki arus input dan output yang *continue* dan biaya produksinya yang rendah [6],[7],[8]. Selanjutnya untuk mengatasi tegangan yang berubah-ubah maka menggunakan kontrol *PI-Fuzzy*, Tujuan digunakannya *PI-Fuzzy* adalah memanfaatkan kelebihan dari masing-masing *controller* untuk mendapatkan respon yang lebih baik daripada menggunakan 1 controller saja, Dimana *FLC* menawarkan kecepatan yang lebih baik terhadap perubahan iradiasi dan kontroler *PI* memiliki kemampuan untuk mendukung akurasi *steady state* [9],[10]. *PI-Fuzzy* digunakan untuk mengendalikan *PWM* yang memiliki fungsi untuk mengontrol tegangan output konverter supaya konstan, dan pada penelitian ini akan dibandingkan kontrol

yang digunakan untuk proses pengisian baterai, yaitu menggunakan kontrol *PI-Fuzzy* dengan kontrol *PI*.

2. Metoda Penelitian

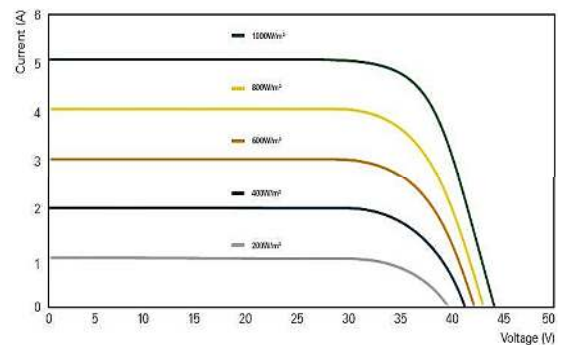
2.1. Panel Surya

Panel Surya adalah teknologi berupa elemen semi konduktor yang dapat merubah energi matahari menjadi energi listrik secara langsung. Besarnya keluaran daya dari panel surya dipengaruhi oleh perubahan iradiasi dan juga dipengaruhi oleh perubahan suhu dari panel surya [11]. Berikut ini merupakan gambar karakteristik I-V panel surya terhadap



pengaruh iradiasi matahari pada Gambar 1, dan juga gambar karakteristik P-V panel surya terhadap perubahan suhu permukaan panel surya pada Gambar 1

Gambar 1. Pengaruh Iradiasi matahari pada kurva I-V

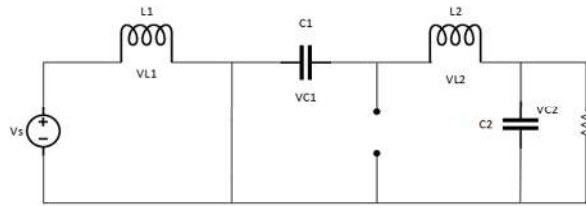


Gambar 2. Pengaruh Suhu panel surya pada kurva P-V

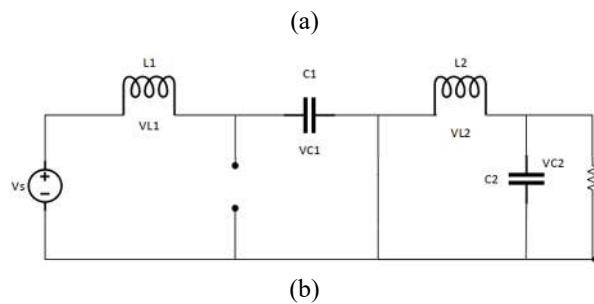
2.2. Cuk Converter

Cuk Converter merupakan salah satu *converter* jenis rangkaian penaik atau penurun tegangan yang berlandaskan dari rangkaian *buck-boost converter*. Dengan adanya induktor dan kapasitor tambahan pada sisi masukan,

membuat topologi ini dapat menghasilkan riak arus yang lebih kecil daripada *buck – boost converter* [6]. *Cuk Converter* dapat bekerja



dalam beberapa mode tergantung dari nilai induktansi, resistansi beban, dan frekuensi operasi. Berikut adalah gambar dari rangkaian *Cuk Converter* pada Gambar 3.



Gambar 3. (a) CUK Converter saat saklar terbuka, (b) CUK Converter saat saklar tertutup

Gambar 3 menunjukkan rangkaian *Cuk Converter* saat saklar terbuka dan saat saklar tertutup dimana untuk memodelkan *Cuk Converter* agar dapat bekerja pada kondisi konduksi kontinu (*Continuous Conduction Mode/CCM*).

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

$$\Delta_{IL1} = \frac{V_sDT}{L_1} = \frac{V_sD}{L_1f} \tag{2}$$

$$\Delta_{IL2} = \frac{V_sDT}{L_2} = \frac{V_sD}{L_2f} \tag{3}$$

$$C_1 \geq \frac{V_oD}{Rf\Delta v_{c1}} \tag{4}$$

$$C_2 \geq \frac{(1-D)V_o}{(\Delta V_o/V_o)8L_2f^2} \tag{5}$$

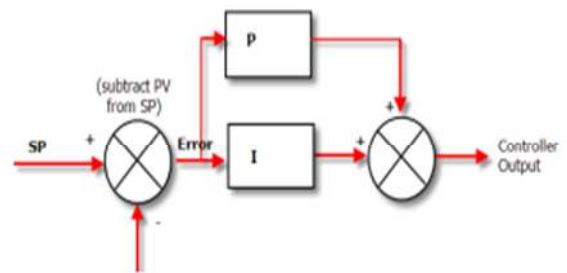
Keterangan :

- V_{in} = Tegangan masukan (V)
- V_o = Tegangan keluaran (V)
- D = Duty cycle (%)
- F = Frekuensi switching (Hz)

- ΔiL = Riak arus induktor (A)
- ΔV_c = Riak tegangan kapasitor (V)
- L = Nilai induktor (H)
- C = Nilai kapasitor (F)

2.3. Kontrol Proportional Integral (PI)

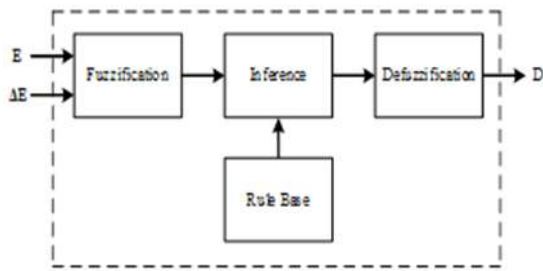
Kontroler PI merupakan gabungan fungsi dari kontroler Proporsional dan Integral. Penggabungan ini untuk menutupi kekurangan antara keduanya. Penguatan K_p akan menyebabkan *overshoot* meningkat, terjadi perubahan kecil pada *settling time*, dan terjadi *offset*. Sedangkan penguatan K_i menyebabkan *overshoot* meningkat, *settling time* meningkat, dan menghilangkan *offset*. Kontrol PI secara keseluruhan digunakan untuk mempercepat reaksi sebuah system dan menghilangkan offset. Berikut adalah blok diagram dari kontrol PI pada Gambar 4



Gambar 4. Blok Diagram dari Kontrol PI

2.4. Fuzzy Logic Controller

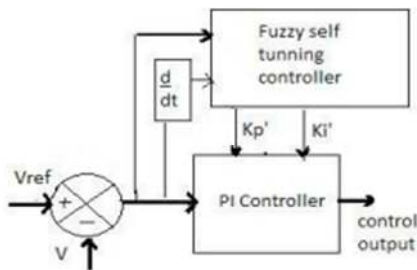
FLC (*Fuzzy Logic Controller*) merupakan sebuah metode kontrol yang berbasis sebab-akibat (if-then) untuk memodelkan suatu system, masukan *Fuzzy* berupa Error (E) dan delta Error (ΔE), sedangkan keluaran *Fuzzy* berupa duty cycle (D) untuk konverter[12]. Fungsi keanggotaan fuzzy (membership function) merupakan kurva yang menunjukkan pembagian titik-titik input data kedalam nilai keanggotaan interval antara 0 sampai 1 bisa juga tingkat keabuan dan juga hitam dan putih, dalam bentuk linguistik, konsep tidak pasti seperti “sedikit”, lumayan”, dan “banyak”. Berikut ini adalah blok diagram dari *Fuzzy Logic Control* yang dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Blok Diagram dari Fuzzy Logic Control

2.5. PI-Fuzzy Controller

Struktur kontrol saat menggunakan kontrol PI gain memberikan respon yang kurang baik dalam proses yang maksimal referensi titik operasi dalam panel surya. Konfigurasi sistem kontrol diperlukan di metode yang digunakan untuk fotovoltaik dengan menggabungkan konvensional kontrol dengan pengontrol Fuzzy dengan penyetelan PI dengan analitis metode menggunakan sistem keluaran pada fuzzy dengan K_p dan K_i nilai menggunakan dua input, yaitu error dan error. Keluaran dari algoritma kendali fuzzy sebagai pengontrol nilai K_p dan K_i pada kontrol PI[13]. Berikut adalah struktur pada PI-Fuzzy controller ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Struktur PI-Fuzzy Kontroller

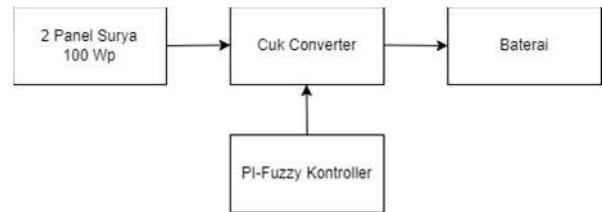
Langkah-langkah yang diambil untuk merancang pengontrol FLC-PI yang diusulkan adalah sebagai berikut.

1. Memahami dan menentukan parameter sistem kontrol utama variabel adalah deviasi tegangan dan variabel yang dapat dikontrol melalui konverter.
2. Definisi parameter pengontrol dalam himpunan fuzzy. Itu variabel input dan output dari FLC-PI
 1. Kesalahan (ΔV) dan turunan kesalahan (ΔV_r) adalah keduanya masukan ke FLC.

2. K_p' dan K_i' adalah keluaran dari FLC

2.6. Desain Sistem

Pada sistem yang dibangun merupakan proses pengisian baterai dengan menggunakan kontrol PI-Fuzzy. Untuk desain dari sistem ditunjukkan pada Gambar 7



Gambar 7. Blok diagram sistem

Pada Gambar 7 dapat dijelaskan pada sistem ini menggunakan sumber panel surya, dimana menggunakan 2 panel surya 100Wp yang dipasang secara paralel dimana akan menghasilkan tegangan masukan sebesar 18V. Tegangan panel surya masuk pada Cuk Converter dimana konverter akan mengatur tegangan menjadi 14,4V dan digunakan untuk pengisian baterai. Kontrol PI-Fuzzy digunakan untuk mengatur duty cycle pada Cuk Converter agar menjaga tegangan keluaran dapat stabil. Panel Surya yang digunakan memiliki spesifikasi pada tabel 1.

Tabel 1. Parameter Panel Surya

Parameter	Nilai	Satuan
P_{max}	100	W
V_{mp}	18	V
I_{mp}	5,56	A
V_{oc}	22,5	V
I_{sc}	6,17	A
STC	1000/25	$W/m^2/^\circ C$

Tegangan keluaran Cuk Converter akan dikontrol dengan PI-Fuzzy Controller agar tegangan keluaran konstan yang digunakan untuk proses pengisian baterai. Tabel 2 merupakan parameter perancangan Cuk Converter.

Tabel 2. Parameter Cuk Converter

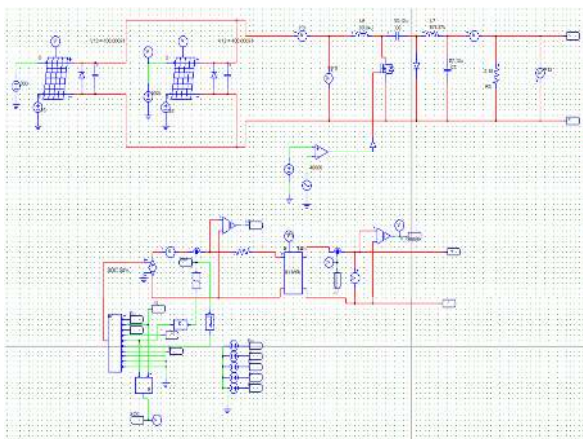
No	Parameter	Nilai
1	Vin	18V
2	Iin	11,12A
3	Duty Cycle	44%
4	Frekuensi	40000
5	Vout	14,4 V
6	Iout	6,6 A
7	L1 dan L2	89,84 μ H dan 151,37 μ H
8	C1 dan C2	35,12 μ F dan 28,7 μ F

3. Hasil Penelitian

Simulasi dilakukan dengan software PSIM dilakukan dengan cara membandingkan antara simulasi secara Open Loop dan simulasi secara Close Loop menggunakan *PI-Fuzzy controller* dimana simulasi menggunakan panel surya berkapasitas 100Wp berjumlah 2 yang dipasang secara paralel, dan baterai yang digunakan berkapasitas 12V 33Ah dimana pada simulasi PSIM digunakan rangkaian pengganti baterai, parameter baterai diambil dari MATLAB

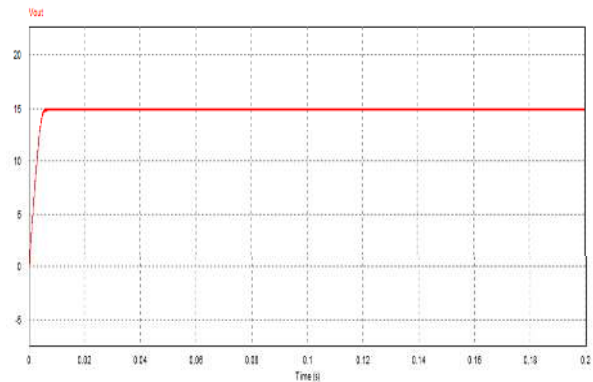
3.1. Hasil Pengujian Open Loop

Pada simulasi Open Loop mengubah duty cycle secara manual untuk mendapatkan nilai tegangan keluaran Cuk Converter 14,4V. Pada simulasi ini juga iradiasi diubah-ubah mulai dari 1000W/m² sampai 500W/m². Berikut gambar 9 Simulasi Open Loop



Gambar 9. Simulasi Open Loop

Berikut ini adalah hasil simulasi open loop



Gambar 10. Tegangan keluaran Open Loop

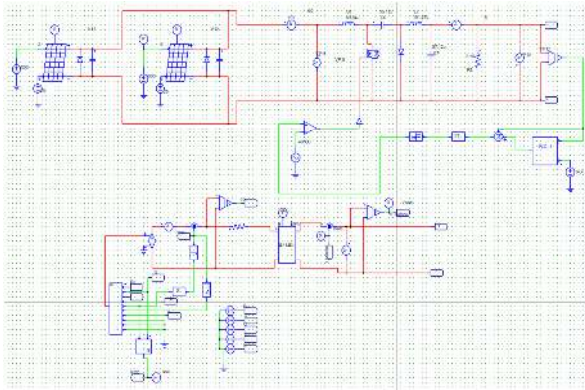
Tabel 3. Data Simulasi Open Loop

Irradiasi (W/m ²)	Setpoint (V)	Vout (V)	Iout (A)	Error (%)
1000	14,4	14,91	6,85	3,54
900	14,4	14,77	6,77	2,56
800	14,4	14,69	6,69	2,01
700	14,4	14,38	6,58	0,138
600	14,4	14,1	6,45	2
500	14,4	13,55	6,26	6,25

Dari data simulasi pada tabel 3 diatas didapatkan hasil bahwa pada Simulasi Open Loop tegangan keluaran dari *converter* sebesar 14,91-13,55V. Nilai yang dihasilkan melebihi tegangan setpoint yaitu sebesar 14,4V. Rata rata error tegangan yang didapatkan sebesar 2,74%. Sehingga saat keadaan Open Loop tidak bisa mencapai nilai steady state yang diharapkan yaitu 14,4V untuk mengisi baterai.

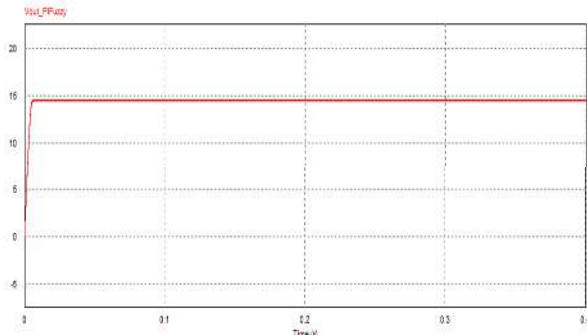
3.2. Hasil Pengujian Close Loop

Simulasi Close Loop system yaitu menambahkan *PI-Fuzzy controller* pada system bertujuan agar menjaga tegangan keluaran yang digunakan untuk pengisian baterai dapat konstan, dan juga pada pengujian close loop kali ini membandingkan kontrol PI dengan *PI-Fuzzy controller* digunakan untuk membandingkan untuk mencapai set point lebih cepat mana. Berikut ini adalah gambar 11 rangkaian Close Loop *PI-Fuzzy controller*.



Gambar 11. Rangkain Simulasi Close Loop kontrol PI-Fuzzy

Berikut ini adalah gambar tegangan output close loop dengan kontrol PI-Fuzzy :



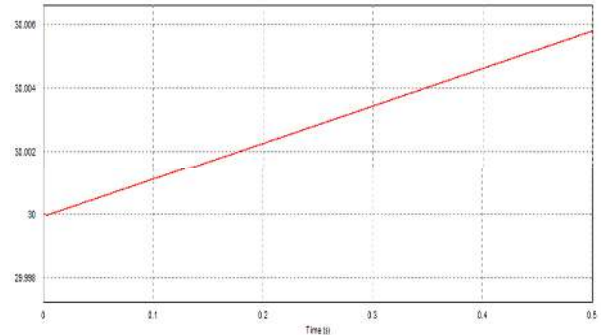
Gambar 12. Tegangan keluaran close loop kontrol PI-Fuzzy

Tabel 4. Data Simulasi close loop kontrol PI-Fuzzy

Irradiasi (W/m ²)	Setpoint (V)	Vout (V)	Iout (A)	Error (%)
1000	14,4	14,4	6,63	0
900	14,4	14,4	6,63	0
800	14,4	14,38	6,62	0,14
700	14,4	14,36	6,61	0,27
600	14,4	14,35	6,59	0,34
500	14,4	14,35	6,57	0,34

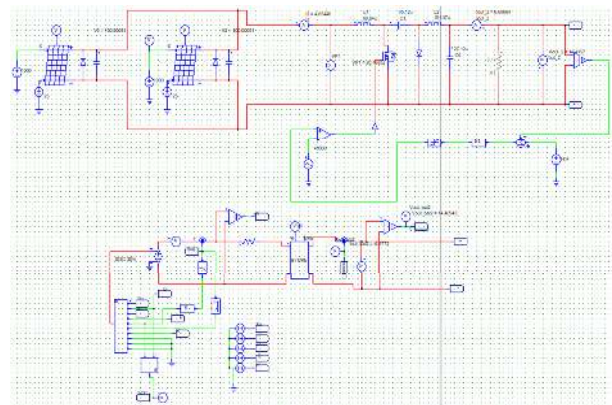
Dari hasil simulasi close loop yang telah dilakukan, didapatkan hasil bahwa dengan menggunakan *PI-Fuzzy controller*, error tegangan keluaran kecil, rata-rata error yang dihasilkan sebesar 0,18%, dan untuk mencapai nilai steady state apabila menggunakan *PI-Fuzzy controller* lebih cepat

Pada gambar 14 merupakan kondisi State of Charge (SOC) mengalami kenaikan sehingga menunjukkan proses charging pada baterai berjalan dengan menggunakan kontrol PI-Fuzzy



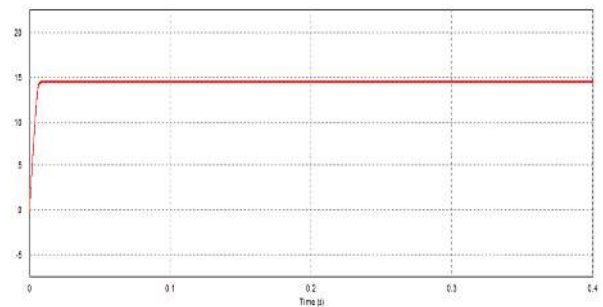
Gambar 13. SOC baterai

Berikutnya adalah perbandingan menggunakan kontrol lainnya yaitu menggunakan kontrol PI untuk membandingkan antara *PI-Fuzzy Controller*. Berikut ini adalah gambar 14 Rangkaian simulasi close loop dengan kontrol PI.



Gambar 14. Rangkain Simulasi Close Loop kontrol PI

Berikut ini adalah gambar tegangan output dengan kontrol PI

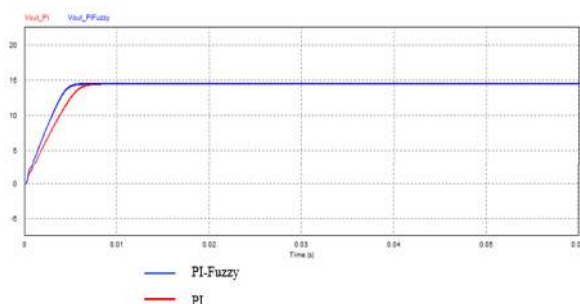


Gambar 15. Tegangan keluaran close loop kontrol PI

Tabel 5. Data Simulasi Close Loop kontrol PI

Irradiasi (W/m ²)	Setpoint (V)	Vout (V)	Iout (A)	Error (%)
1000	14,4	14,41	6,69	0
900	14,4	14,39	6,63	0,06
800	14,4	14,37	6,61	0,21
700	14,4	14,35	6,59	0,34
600	14,4	14,35	6,56	0,34
500	14,4	14,35	6,55	0,34

Dari hasil simulasi close loop menggunakan kontrol PI, error tegangan keluaran terhadap set point yang diharapkan cukup kecil, rata-rata error yang dihasilkan adalah 0,21%. Apabila dibandingkan dengan kontrol PI-Fuzzy maka untuk mencapai nilai set point yang diharapkan lebih cepat menggunakan kontrol PI-Fuzzy. Berikut gambar 16 merupakan perbandingan tegangan keluaran menggunakan kontrol PI-Fuzzy dan dengan kontrol PI



Gambar 16. Perbandingan Tegangan keluaran Close Loop kontrol PI-Fuzzy dan kontrol PI

Tabel 6. Perbandingan Respon kontrol PI-Fuzzy dan kontrol PI

Pengontrol	Set Point	Rise Time	Setting Time
PI-Fuzzy	14,4 V	0.0041s	0.0056s
PI	14,4 V	0.0053s	0.007s

Berdasarkan data yang diatas maka dapat dilihat bahwa saat keadaan close loop menggunakan kontrol PI dan dengan menggunakan kontrol PI-Fuzzy, bahwa dengan menggunakan kontrol PI-Fuzzy dapat mencapai nilai set point yang lebih cepat daripada kontrol PI, dan rata-rata error tegangan set point yang diharapkan lebih kecil

kontrol PI-Fuzzy lebih kecil daripada kontrol PI. Sehingga saat menggunakan kontrol PI-Fuzzy dapat stabil sesuai set point yang diharapkan yaitu 14,4V yang tujuannya digunakan untuk proses pengisian baterai.

4. Kesimpulan

Setelah dilakukan simulasi menggunakan PSIM, dengan membandingkan dua kondisi yaitu saat kondisi Open Loop dan Close Loop. *Cuk Converter* dengan *PI-Fuzzy controller* dapat mengeluarkan tegangan keluaran yang stabil untuk proses pengisian baterai dan untuk menuju nilai steady statenya juga lebih cepat, dibuktikan dengan error tegangan keluaran pada saat keadaan close loop dengan menggunakan kontrol PI-Fuzzy, rata-rata errornya kecil yaitu 0,18%, hal ini lebih baik dibandingkan saat keadaan open loop error yang dihasilkan 2,74%, dan saat dilakukan perbandingan close loop kontrol PI-Fuzzy dengan close loop dengan kontrol PI, didapatkan hasil bahwa dengan menggunakan kontrol PI-Fuzzy dapat mempercepat mencapai nilai set point yang diharapkan dibandingkan dengan menggunakan kontrol PI, dan rata-rata error untuk kontrol PI-Fuzzy mencapai set point lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan kontrol PI.

5. Saran

Untuk kontrol yang digunakan dalam proses pengisian baterai dapat menggunakan kontrol lainnya sehingga diharapkan dapat menjaga tegangan keluaran lebih stabil lagi, dan untuk konverter dapat menggunakan konverter dc-dc lainnya sehingga mendapatkan efisiensi yang lebih tinggi lagi

6. Daftar Pustaka

- [1] L. P. S. Raharja, R. P. Eviningsih, I. Ferdian syah, and D. S. Yanaratri, "Penggunaan Daya Panel Surya Dengan MPPT Bisection Pada Proses Charging Baterai," *JTT J. Teknol. Terpadu*, vol. 9, no. 1, pp. 24–33, Apr. 2021, doi: 10.32487/jtt.v9i1.957.

- [2] I. Kholiq, "PEMANFAATAN ENERGI ALTERNATIF SEBAGAI ENERGI TERBARUKAN UNTUK MENDUKUNG SUBSTITUSI BBM," no. 2, p. 17, 2015.
- [3] O. S. S. Hussian, H. M. Elsayed, and M. A. Moustafa Hassan, "Fuzzy Logic Control for a Stand-Alone PV System with PI Controller for Battery Charging Based on Evolutionary Technique," in *2019 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS)*, Metz, France, Sep. 2019, pp. 889–894. doi: 10.1109/IDAACS.2019.8924269.
- [4] H. N. Shoumi, I. Sudiharto, and E. Sunarno, "Design of the CUK Converter with PI Controller for Battery Charging," in *2020 International Seminar on Application for Technology of Information and Communication (iSemantic)*, Semarang, Indonesia, Sep. 2020, pp. 403–407. doi: 10.1109/iSemantic50169.2020.9234294.
- [5] S. Suttedjo, I. Ferdiansyah, O. A. Qudsi, and F. Setiawan, "Design of Battery Charging System as Supply of Rice Threshers in Tractor," in *2019 2nd International Conference on Applied Information Technology and Innovation (ICAITI)*, Denpasar, Bali, Indonesia, Sep. 2019, pp. 32–36. doi: 10.1109/ICAITI48442.2019.8982160.
- [6] S. Rakshit and J. Maity, "Fuzzy Logic Controlled Cuk Converter," in *2018 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP)*, Chennai, Apr. 2018, pp. 0771–0775. doi: 10.1109/ICCSP.2018.8524168.
- [7] M. Yilmaz, M. Corapsiz, and M. R. Çorapsiz, "Analysis, Design and Control of Cuk Converter," *Balk. J. Electr. Comput. Eng.*, pp. 127–134, Apr. 2020, doi: 10.17694/bajece.660025.
- [8] Soediby, B. Amri, and M. Ashari, "The comparative study of Buck-boost, Cuk, Sepic and Zeta converters for maximum power point tracking photovoltaic using P&O method," in *2015 2nd International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE)*, Semarang, Indonesia, Oct. 2015, pp. 327–332. doi: 10.1109/ICITACEE.2015.7437823.
- [9] H. Doubabi, I. Salhi, M. Chennani, and N. Essounboui, "Voltage control of DC-DC Three level Boost converter using TS Fuzzy PI controller," in *2019 6th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT)*, Paris, France, Apr. 2019, pp. 1266–1271. doi: 10.1109/CoDIT.2019.8820554.
- [10] D. Renwal and M. Kumar, "Hybrid PI-fuzzy logic controller based DC-DC converter," in *2015 International Conference on Green Computing and Internet of Things (ICGCIoT)*, Greater Noida, Delhi, India, Oct. 2015, pp. 753–757. doi: 10.1109/ICGCIoT.2015.7380563.
- [11] "What Is Photovoltaics?," in *The Solar Generation*, Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2018, pp. 9–24. doi: 10.1002/9781119425618.ch2.
- [12] K. F. Hussein, I. Abdel-Qader, and M. K. Hussain, "Hybrid fuzzy PID controller for buck-boost converter in solar energy-battery systems," in *2015 IEEE International Conference on Electro/Information Technology (EIT)*, Dekalb, IL, USA, May 2015, pp. 070–075. doi: 10.1109/EIT.2015.7293323.
- [13] C. Susila and B. Rajasekhar, "A CONTROL STRATEGY TO STABILIZE PWM DC-DC BUCK CONVERTER WITH INPUT FILTER USING FUZZY-PI AND ITS IT.2019.8820554.