

Fast Charging pada Baterai Li-Ion dengan Kontrol ANFIS

Renny Rakhmawati¹, Zhafira Rana Khalisa Permana², Rachma Prilian Eviningsih³, Suhariningsih⁴

¹ Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Surabaya, 60111, INDONESIA (tel.: 031-5947280; fax: 031-59466114, email: renny@pens.ac.id)

^{2,3,4} Jurusan Teknik Elektro Industri, Departemen Teknik Elektro, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Surabaya, 60111, INDONESIA (email: ²zhafirapermana@gmail.com, ³rachmaevin@pens.ac.id, ⁴suhariningsih@pens.ac.id)

[Diterima: 20 Desember 2023, Revisi: 9 Maret 2023]

Corresponding Author: Renny Rakhmawati

INTISARI — Saat ini suplai energi listrik mayoritas menggunakan sumber energi fosil yang dapat habis dan menimbulkan polusi udara. Di Indonesia matahari bersinar cukup lama dan tidak akan habis, sehingga dapat dijadikan sebagai sumber energi alternatif dengan menggunakan teknologi panel surya untuk mengonversi energi cahaya menjadi energi listrik. Tegangan yang dihasilkan oleh panel surya cukup besar, sehingga perlu diturunkan menggunakan konverter DC-DC jenis *buck converter*. Energi listrik ini dapat disimpan menggunakan baterai. Untuk mempersingkat waktu pengisian, baterai dapat diisi dengan mode cepat. Salah satu jenis baterai yang tepat untuk pengisian mode cepat adalah *Lithium-ion* karena baterai jenis ini mampu menerima arus yang besar sebesar 1C atau setara dengan kapasitas baterai. Dengan menggunakan sumber panel surya, dihasilkan keluaran yang tidak konstan karena pengaruh suhu dan iradiasi matahari. Selain itu, untuk mencegah adanya pengisian berlebih pada *fast charging battery* ini, digunakan metode *constant current* (CC) dengan arus konstan sebesar 10 A dan *constant voltage* (CV) dengan tegangan konstan sebesar 14,4 V. *Duty cycle driver* PWM dikontrol menggunakan algoritma *adaptive neuro fuzzy inference system* (ANFIS) agar didapatkan respons yang lebih cepat untuk mencapai *set point* yang ditentukan. ANFIS merupakan kombinasi dari dua algoritma, yaitu *artificial neural network* (ANN) dan *fuzzy inference system* (FIS). ANFIS dapat memetakan nilai masukan menjadi nilai keluaran yang berasal dari kesimpulan FIS. Penelitian ini dilakukan secara simulasi. Hasil arus pengisian pada saat metode CC adalah 10,01 A dan akan berpindah dari metode CC ke CV pada saat SoC 85% serta tegangan mencapai 14,4 V. Kemudian, metode pengisian berubah menjadi CV dengan tegangan pengisian konstan sebesar 14,4 V. Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya menggunakan kontrol *fuzzy*, waktu yang dibutuhkan ketika menggunakan kontrol ANFIS untuk mencapai *set point* adalah 3,2 ms, atau 2,3 ms lebih cepat. Kontrol ANFIS juga mampu mencapai *set point* dengan *error* lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan kontrol *fuzzy*.

KATA KUNCI — ANFIS, *Buck Converter*, CC-CV, *Fast Charging Li-Ion Battery*.

I. PENDAHULUAN

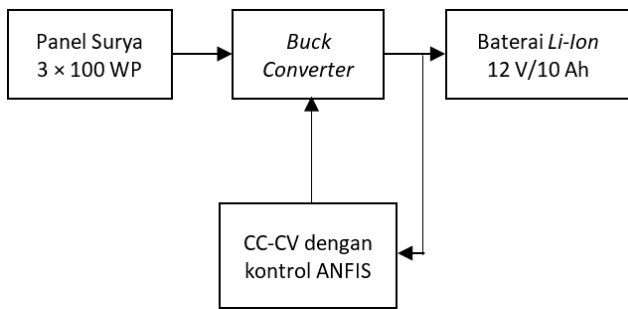
Seiring dengan pesatnya perkembangan teknologi, penggunaan energi listrik juga meningkat. Maka, untuk meminimalkan kelangkaan energi karena penggunaan bahan bakar fosil, diperlukan sumber energi alternatif. Mengingat Indonesia merupakan negara dengan iklim tropis, energi yang dapat diperbarui dan ramah lingkungan dapat dimanfaatkan sepanjang hari sebagai sumber energi alternatif [1]. Energi yang berasal dari matahari ini nantinya akan dikonversi menjadi energi listrik dengan memanfaatkan teknologi sel surya menggunakan panel surya [2]. Namun, sumber energi matahari ini memiliki kekurangan, yaitu hanya dapat digunakan pada siang hari. Untuk mengatasi permasalahan ini, energi listrik dapat disimpan di dalam baterai. Pada panel surya, tegangan DC yang dihasilkan cukup tinggi, sehingga dapat dilakukan pengisian baterai 12 V. Maka, diperlukan konverter DC-DC untuk menurunkan tegangan dari panel surya berupa *buck converter* [3].

Proses pengisian baterai biasanya membutuhkan waktu yang lama, sedangkan di era modern ini masyarakat umumnya menginginkan segala sesuatu selesai dengan cepat. Oleh karena itu, penelitian ini membahas mengenai teknik pengisian baterai secara cepat. *Fast charging battery* membutuhkan arus yang lebih besar dibandingkan dengan proses pengisian standar. Jenis baterai yang dapat diisi ulang disebut dengan *secondary battery*, sedangkan salah satu jenis baterai yang mampu diisi dengan tingkat pengisian 1C selama 60 menit adalah baterai jenis *Lithium-ion* (*Li-ion*). Baterai *Li-ion* memiliki kelebihan berupa efisiensi yang tinggi, massa baterai yang ringan,

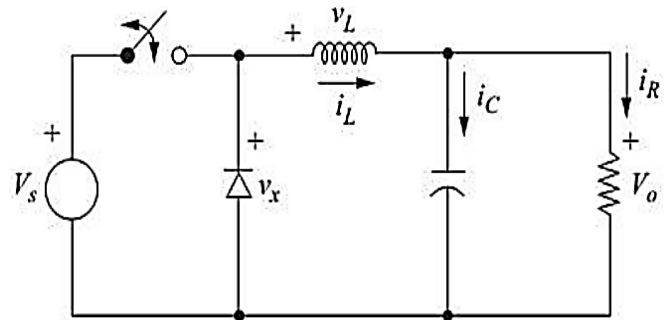
pengosongan (*discharge*) yang lambat jika tidak digunakan, dan dapat digunakan di segala situasi. Baterai *Li-ion* dapat digunakan pada peralatan elektronik, industri militer, kendaraan listrik, dan dirgantara [4], [5].

Selain itu, metode pengisian dalam proses *fast charging battery* menggunakan baterai *Li-ion* juga perlu diperhatikan. Umumnya, masyarakat tidak terlalu memperhatikan waktu baterai terisi penuh, sehingga menyebabkan adanya *overcharging*. Hal ini dapat memperpendek umur baterai karena suhu melebihi batas yang diperbolehkan [6]. Agar hal ini tidak terjadi, diperlukan metode yang cocok untuk pengisian baterai *Li-ion*, yaitu menggunakan metode pengisian *constant current-constant voltage* (CC-CV). Metode pengisian CC-CV lebih baik dari pada CC saja atau CV saja, karena fase CC dan CV dapat saling melengkapi. Prinsip kerja metode ini adalah pada proses *fast charging battery* digunakan arus pengisian sebesar 1C secara konstan di fase awal pengisian hingga tegangan menyentuh *set point*. Setelah tegangan mencapai *set point*, tegangan pengisian baterai akan konstan dan arus akan turun hingga bernilai 0,02C sampai 0,07C, sehingga pengisian baterai akan berhenti [7].

Berdasarkan pemaparan permasalahan di atas, penelitian ini mengusulkan sebuah pengembangan proses pengisian baterai *Li-ion* mode cepat tanpa merusak baterai dan dapat memproteksi dari bahaya *overcharging* menggunakan sumber panel surya yang tegangannya diturunkan dengan *buck converter* dengan metode pengisian CC-CV serta dikontrol dengan algoritma *adaptive neuro fuzzy inference system* (ANFIS). Algoritma ANFIS merupakan jaringan saraf adaptif



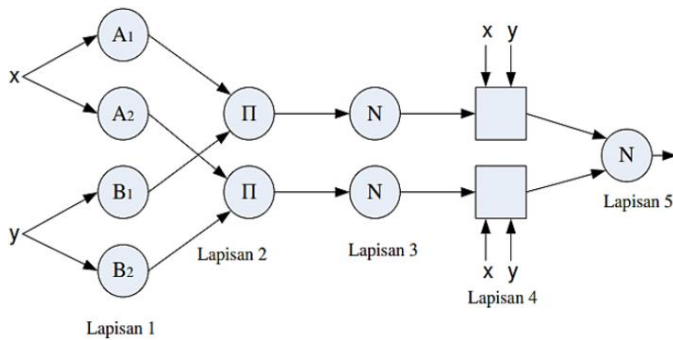
Gambar 1. Diagram blok sistem.



Gambar 3. Rangkaian buck converter.

TABEL I
SPESIFIKASI PANEL SURYA

Panel Surya Polycrystalline 100 WP Modul Panel Surya Silicon		
Spesifikasi	Nilai	Satuan
P_m	100	W
V_{oc}	21,8	V
I_{sc}	6,05	A
V_{mp}	17,8	V
I_{mp}	5,62	A
$Max\ System\ V$	1.000	V
Dimensi	1.125 × 670 × 30	mm
Kondisi pengujian	AM 1,5 1.000 W/m ² 25 °C	



Gambar 2. Arsitektur ANFIS.

yang berbasis pada sistem kesimpulan fuzzy (*fuzzy inference system*), sehingga algoritma ini memiliki kelebihan dalam melakukan prediksi serta dapat mengambil keputusan berdasarkan aturan yang telah dibuat dengan lebih akurat [8], [9].

II. METODOLOGI

Metode yang digunakan pada penelitian ini, yang dimulai dari diagram blok, diagram alir (*flowchart*), hingga perencanaan sistem, akan dijelaskan di bawah ini.

A. DESAIN SISTEM

Pada penelitian ini dibuat sebuah sistem *fast charging battery* menggunakan baterai *Li-ion* 12 V/10 Ah yang dilakukan secara simulasi menggunakan perangkat lunak MATLAB dengan diagram blok seperti pada Gambar 1. Pada penelitian ini akan dibuktikan bahwa kontrol ANFIS lebih baik dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan kontrol fuzzy.

Digunakan sumber panel surya sebanyak 3 × 100 WP yang dirangkai secara seri. Tegangan dari panel surya sebesar 53,4 V diturunkan menggunakan *buck converter* hingga menjadi 14,4 V. Kemudian, tegangan dan arus keluaran *buck converter* dikontrol menggunakan algoritma ANFIS metode CC-CV dengan arus konstan 10 A dan tegangan konstan 14,4 V. Pada kontrol ANFIS, terdapat lima lapisan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, yaitu lapisan *fuzzification* (keluaran berupa derajat keanggotaan), lapisan produk (hasil kali dari semua masukan), lapisan normalisasi (proses pembobotan ulang agar didapatkan nilai total), lapisan *defuzzification* (neuron yang bersifat adaptif terhadap keluaran), dan lapisan total keluaran (neuron tunggal dari hasil penjumlahan seluruh keluaran dari lapisan keempat). Lalu, energi listrik akan disimpan ke dalam baterai yang didesain untuk pengisian dengan arus besar, yaitu baterai *Li-ion* 12V/10Ah.

B. PANEL SURYA

Panel surya merupakan suatu alat yang terbuat dari bahan semikonduktor yang dapat mengonversi energi matahari

menjadi energi listrik. Pada penelitian ini, digunakan panel surya jenis *polycrystalline*. Walaupun memiliki efisiensi lebih rendah, tetapi panel surya ini harganya sedikit lebih murah dan tetap dapat menghasilkan listrik pada saat mendung. Digunakan tiga panel surya 100 WP yang dirangkai seri. Kutub positif dari panel surya harus terhubung dengan kutub negatif panel surya lainnya, dengan tujuan agar tegangannya semakin meningkat. Maka, diharapkan *buck converter* mampu menghasilkan arus yang tinggi sesuai dengan penurunan tegangannya. Makin besar tegangan yang diturunkan, makin besar arus yang dihasilkan [10]. Spesifikasi panel surya yang digunakan diperlihatkan pada Tabel I, dengan asumsi panel surya dalam kondisi ideal, yaitu dengan suhu 25 °C dan iradiasi 1.000 W/m².

Karakteristik panel surya secara umum dapat dijelaskan melalui kurva arus terhadap tegangan (kurva I-V) dan kurva daya terhadap tegangan (kurva P-V), dengan tegangan keluaran dari panel surya dipengaruhi oleh perubahan iradiasi dan suhu. Iradiasi matahari di bumi berbeda-beda, tergantung pada keadaan spektrum matahari ke bumi [11].

C. BUCK CONVERTER

Buck converter adalah rangkaian elektronika yang berfungsi sebagai penurun tegangan DC ke DC dengan metode *switching*. Disebut sebagai *buck converter* karena tegangan keluarannya lebih kecil daripada tegangan masukannya (*step down converter*). Gambar rangkaian *buck converter* ditunjukkan pada Gambar 3 [12], [13]. *Buck converter* yang disuplai menggunakan arus DC disusun oleh beberapa komponen, yaitu MOSFET untuk pencacah arus sesuai dengan *duty cycle*, *drive circuit* untuk mengendalikan MOSFET agar dapat bekerja saat *on* atau *off*, induktor (L) untuk menyimpan energi dalam bentuk arus yang disimpan saat MOSFET *on* dan dilepas saat MOSFET *off*, diode (x) untuk mengalirkan arus yang dihasilkan induktor ketika MOSFET *off*, kapasitor (C) untuk filter tegangan agar *ripple* yang dihasilkan tidak terlalu

besar, serta beban (R) yang digunakan pada penelitian ini, yaitu berupa baterai *Li-ion*.

Operasi konverter ini ditentukan pada periode saklar saat *on* dan *off*. Pada saat saklar *on*, diode pada *bias* mundur, sehingga arus induktor mengalir menuju beban dan menjadikan tegangan induktor menjadi positif [14]. Persamaan tegangan induktor saat saklar *on* ditunjukkan pada (1).

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

Perubahan arus induktor saat saklar *on* ditunjukkan pada (2).

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

Penyelesaian untuk Δi_L pada saat saklar *on* ditunjukkan pada (3).

$$(\Delta i_L)_{closed} = \left[\frac{V_s - V_o}{L} \right] DT \quad (3)$$

Pada saat saklar *off*, diode menjadi *bias* maju, yang menyebabkan arus induktor mengalir ke sisi beban [15]. Tegangan induktor saat saklar *off* ditunjukkan pada (4).

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

Perubahan arus induktor saat saklar *off* ditunjukkan pada (5).

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{(1-D)T} = \frac{-V_o}{L} \quad (5)$$

Penyelesaian untuk Δi_L pada saat saklar *off* dituliskan pada (6).

$$(\Delta i_L)_{opened} = - \left[\frac{V_o}{L} \right] (1-D)T \quad (6)$$

Pada saat *steady-state*, arus induktor, i_L , pada akhir siklus *switching* sama dengan awal siklus *switching* berikutnya. Artinya, perubahan arus i_L dalam satu periode sama dengan nol.

$$(\Delta i_L)_{closed} + (\Delta i_L)_{opened} = 0 \quad (7)$$

$$\left[\frac{V_s - V_o}{L} \right] DT - \left[\frac{V_o}{L} \right] (1-D)T = 0$$

$$V_o = V_s \times D.$$

Keterangan:

V_L = tegangan induktor (V)

V_s = tegangan sumber (V)

V_o = tegangan output (V)

i_L = arus induktor (A)

L = induktor (μH)

$D \times 100$ = *duty cycle* (%)

T = periode (s)

Maka, spesifikasi yang digunakan pada sistem di penelitian ini adalah sebagai berikut.

V_s = $V_{MP} \times 3 = 17,8 \times 3 = 53,4$ V

I_s = 5,62 A (Imp panel surya)

V_{out} = 14,4 V (120% tegangan baterai)

$I_{out} = 10$ A (arus pengisian *fast charging battery*)

f_s = 40 kHz

rV_o = 0,1%

rI_L = 20%

$D = \frac{V_{out}}{V_s} = \frac{14,4}{53,4} = 0,27 \times 100\% = 27\%$

$R = \frac{V_{out}}{I_{out}} = \frac{14,4}{10} = 1,44 \Omega$

$L = \frac{V_{out} \times (1-D)}{\Delta I_L \times f} = \frac{14,4 \times (1-0,27)}{2 \times 40000} = 131,4 \mu\text{H}$

$$C = \frac{1-D}{8 \times L \times rV_o \times f^2} = \frac{1-0,27}{8 \times 131,4 \times 10^{-6} \times 0,001 \times 40k^2} = 434,03 \mu\text{F}$$

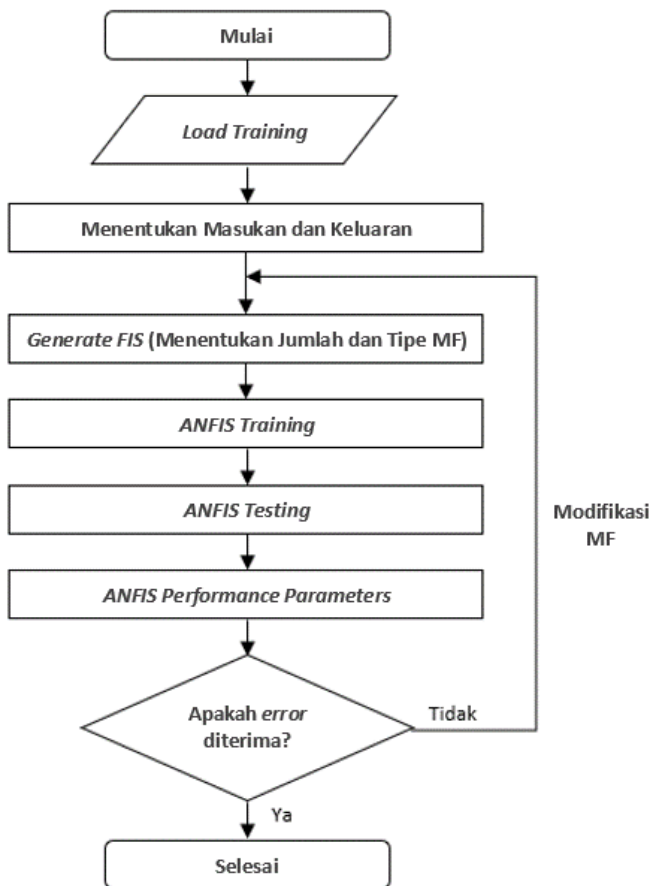
D. FAST CHARGING BATTERY

Fast charging battery adalah pengisian baterai dengan daya keluaran konverter yang besar agar baterai cepat terisi. Pengisian ini memiliki beberapa perbedaan dengan pengisian baterai biasa, yaitu lama waktu pengisian baterai, daya pengisian yang dibutuhkan lebih besar dari pengisian biasa, dan metode pengisiannya. Syarat yang diperlukan untuk *fast charging battery* adalah sebagai berikut [16], [17].

Pertama, konverter dirancang dengan daya keluaran yang bernilai besar, sesuai dengan perencanaan *buck converter* pada *point E*. Kedua, digunakan baterai yang didesain dapat menerima arus yang besar, yaitu baterai *Li-ion*. Bagian utama yang menyusun baterai *Li-ion* adalah elektrode negatif (anode), elektrode positif (katode), elektrolit, dan pemisah. Baterai *Li-ion* memiliki kelebihan dibandingkan dengan jenis baterai yang lain, yaitu dapat digunakan untuk *fast charging battery* dengan metode pengisian CC-CV [18]. Baterai *Li-ion* memiliki berat yang lebih rendah dibandingkan baterai jenis lainnya, dengan kapasitas yang sama. Baterai *Li-ion* memiliki kepadatan energi yang sangat tinggi, sehingga dapat menampung energi dalam jumlah banyak. Pengosongan baterai *Li-ion* sebesar 5%/bulan.

Ketiga, metode yang digunakan adalah CC-CV. Metode pengisian CC-CV merupakan penggabungan dari dua metode, yaitu pengisian arus konstan (CC) dan pengisian tegangan konstan (CV). Proses awal pengisian baterai menggunakan metode CC, yaitu baterai diisi dengan arus konstan yang telah ditentukan dan tegangan akan meningkat secara perlahan, linear terhadap waktu, hingga mencapai batas nilai maksimum. Kemudian, dilanjutkan dengan proses pengisian baterai menggunakan metode CV pada saat *state of charge* (SoC) mencapai 85%, yaitu baterai akan diisi dengan tegangan konstan yang telah ditentukan dan menyebabkan arus pengisian kontinu menurun. Hal ini dilakukan untuk mencegah kondisi *overcharging* dan tegangan berlebih yang dapat merusak baterai *Li-ion*. Metode CV ini akan berakhir apabila arus telah menurun hingga menyentuh titik yang telah ditentukan dan kapasitas baterai telah terisi penuh [19], [20].

Keempat, arus rata-rata yang digunakan untuk *fast charging* yaitu sebesar 0,5C – 1C atau 1 A.s dengan suhu baterai saat pengisian antara 10 °C – 45 °C (direkomendasikan 25°C). Karakteristik pertama *fast charging battery* yaitu *slow charger*. Pada tipe pengisian *slow charger*, jenis baterai yang biasa digunakan yaitu NiCd dan *lead acid* dengan *C-rate* 0,1C selama 14 jam pengisian serta suhu antara 0 °C – 45 °C (32 °F – 113 °F), dengan catatan pengisian dilakukan secara terus-menerus secara lambat atau pengatur waktu tetap dan keluarkan baterai saat diisi daya. Karakteristik kedua adalah *rapid charger*. Pada tipe pengisian *rapid charger*, jenis baterai yang biasa digunakan yaitu NiCd, NiMH, dan *Li-ion*, dengan *C-rate* 0,3C – 0,5C selama 3 – 6 jam pengisian serta suhu antara 10 °C – 45 °C (50 °F – 113 °F), dengan catatan kemampuan baterai berdasarkan tegangan, arus, suhu, dan penghitung waktu. Karakteristik ketiga adalah *fast charger*. Pada tipe pengisian *fast charger*, jenis baterai yang biasa digunakan sama dengan *rapid charger*, yaitu NiCd, NiMH, dan *Li-ion*, dengan *C-rate* 1C selama 1 jam+ pengisian serta suhu antara 10 °C – 45 °C (50 °F – 113 °F), dengan catatan sama seperti *fast charging* dengan layanan yang lebih cepat. Karakteristik keempat yaitu *ultra-fast charger*. Pada tipe pengisian *ultra-fast charger*, jenis



Gambar 4. Diagram alir ANFIS.

baterai yang biasa digunakan sama seperti tipe pengisian *rapid charger* dan *fast charger*, yaitu NiCd, NiMH, dan Li-ion dengan C-rate 1C – 10C selama 10 – 60 menit pengisian serta suhu antara 10 °C – 45 °C (50 °F – 113 °F), dengan catatan menerapkan pengisian dengan sangat cepat hingga 70% SoC, terbatas dengan baterai khusus [21].

E. ANFIS

ANFIS merupakan gabungan dari dua metode, yaitu metode logika *fuzzy* dan jaringan saraf tiruan. Inferensi *fuzzy* dilatih menggunakan algoritma yang diturunkan dari sistem jaringan saraf tiruan. Kontrol ANFIS digunakan untuk mengontrol dan menstabilkan arus dan tegangan sesuai dengan *setting point* yang telah ditentukan [22]-[24]. Diagram alir ANFIS ditunjukkan pada Gambar 4.

Berdasarkan diagram alir pada Gambar 4, langkah pertama adalah menentukan masukan dan keluaran. ANFIS memiliki dua masukan dan satu keluaran. Masukan dari kontrol ANFIS adalah *error* dan *delta error* yang didapatkan dari tegangan dan arus keluaran dari *buck converter*, sedangkan keluaran ANFIS adalah *duty cycle* yang digunakan untuk mengatur besar kecilnya tegangan keluaran dari *buck converter*. Data *error*, *delta error*, dan *duty cycle* ini didapatkan dari proses pembelajaran menggunakan metode *fuzzy*. Data yang dihasilkan oleh FIS selanjutnya digunakan sebagai data pelatihan kontrol ANFIS. Pada kontrol *fuzzy* ini dihasilkan 7,5 juta data. Lalu, data tersebut direduksi menjadi 434 data pada ANFIS untuk CV dan 595 data pada ANFIS untuk CC. Cara mereduksi data adalah dengan menyederhanakan data yang didapat dengan menghapus beberapa data yang nilainya sama. Data yang disederhanakan harus mewakili semua data yang ada. Jumlah data reduksi tergantung pada kebutuhan. Perlu

dilakukan *trial and error* agar didapatkan hasil akhir yang maksimal.

Pada langkah kedua, digunakan *generate FIS* untuk menentukan jumlah dan jenis derajat keanggotaan. Pada kontrol ini digunakan sejumlah 7×7 fungsi keanggotaan (*membership function*) untuk ANFIS CV dan CC karena makin banyak jumlah fungsi keanggotaan yang digunakan, makin kecil *error* yang dihasilkan. Hal ini sangat berpengaruh terhadap keluaran yang dihasilkan. Tipe data yang dipilih adalah *constant trimf (triangular)* karena merupakan tipe yang paling sederhana. Pemilihan tipe data tidak terlalu berpengaruh terhadap keluaran yang dihasilkan.

Langkah ketiga adalah *ANFIS Training*. Pada proses ini, ANFIS melatih FIS dengan menggunakan metode *hybrid* yang menghubungkan metode *least squares estimator* (LSE) dan metode *error back propagation* (EBP) dengan iterasi sebanyak seribu kali. Iterasi ini digunakan untuk mendapatkan nilai pelatihan yang mendekati nilai sebenarnya. Makin banyak iterasi yang dilakukan, makin kecil nilai *error* dan makin baik data pelatihan. Dengan iterasi sebanyak seribu, didapatkan *error* sebesar 0,0019675 untuk ANFIS CV dan 0,024117 untuk ANFIS CC.

Pada langkah keempat, dilakukan *ANFIS Testing* pada hasil data pelatihan yang telah diuji. Dari pengujian, didapatkan hasil *plotting* data pelatihan *duty cycle* berupa titik merah yang merupakan hasil pelatihan ANFIS yang dibandingkan dengan titik biru yang merupakan titik pusat masukan data pelatihan ANFIS.

Langkah kelima adalah *ANFIS Performance Parameter*. Dari desain ANFIS yang telah dilakukan, diperoleh fungsi keanggotaan baru. ANFIS merupakan metode *fuzzy* yang dilatih, sehingga dibangkitkan fungsi keanggotaan baru untuk proses perubahan masukan dari bentuk *crisp* menjadi himpunan *fuzzy* dengan fungsi keanggotaannya masing-masing. Fungsi keanggotaan baru ini akan digunakan untuk mengontrol nilai arus dan tegangan keluaran konverter. Masukan fungsi keanggotaan ANFIS berupa *error* dan *delta error* ANFIS yang terdiri atas tujuh fungsi keanggotaan. Kemudian, terdapat keluaran fungsi keanggotaan ANFIS berupa *duty cycle* yang terdiri atas 49 fungsi keanggotaan.

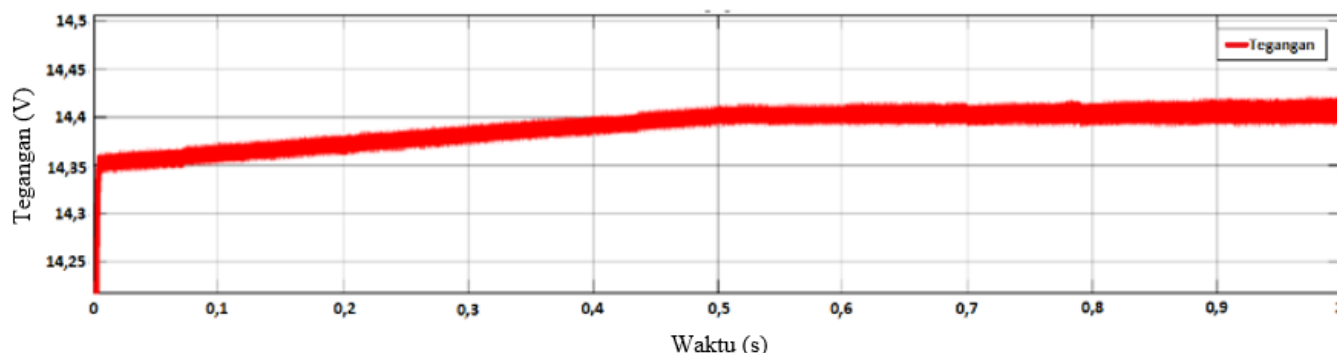
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan perencanaan sesuai data parameter yang ada, hasil simulasi *fast charging battery* Li-ion 12 V/10 Ah dapat diketahui.

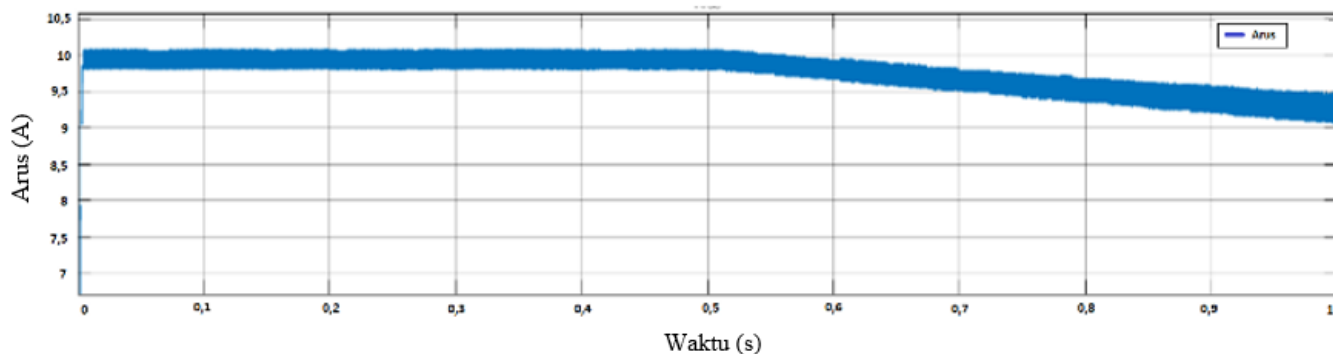
A. HASIL SIMULASI CLOSE LOOP (DENGAN KONTROL ANFIS)

Pada penelitian ini, metode pengisian yang digunakan untuk *fast charging battery* Li-ion 12 V/10 Ah adalah CC (10 A) dan CV (14,4 V). Dilakukan pengujian sistem secara simulasi menggunakan kontrol ANFIS untuk menjaga *duty cycle* pada konverter tetap stabil, sesuai dengan *set point* yang telah ditentukan.

Didapatkan hasil gelombang keluaran dari tegangan saat menggunakan metode CV, seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Dengan menggunakan kontrol ANFIS, agar tegangan dapat mencapai *set point* sebesar 14,4 V, dibutuhkan waktu simulasi MATLAB selama 0,5 s dan tegangan akan konstan. Kemudian, gelombang keluaran dari arus konverter pada saat mode CC diperlihatkan pada Gambar 6. Dengan menggunakan kontrol ANFIS, arus yang semula konstan akan turun sejak waktu ke 0,5 s pada simulasi MATLAB. Kontrol ANFIS dapat mempercepat waktu tegangan mencapai kondisi *steady state*



Gambar 5. Gelombang CV.



Gambar 6. Gelombang CC.

TABEL II
 DATA SIMULASI SOC BATERAI SAAT CLOSE LOOP (DENGAN KONTROL ANFIS)

SoC (%)	Vin (V)	Vout (V)	Iout (A)
70	59,22	14,31	10,01
75	59,22	14,34	10,01
80	59,21	14,37	10,01
85	59,20	14,40	10,01
90	59,27	14,40	9,44
95	59,21	14,40	8,09
97	60,01	14,41	7,07

TABEL III
 PERBANDINGAN KELUARAN KONTROL FUZZY DAN ANFIS

Waktu (ms)	Arus Keluaran (A)		Tegangan Keluaran (V)	
	Fuzzy	ANFIS	Fuzzy	ANFIS
3,2	9,7	10	14,38	14,4
5,5	9,8	10	14,39	14,4

dibandingkan dengan kontrol fuzzy yang detailnya dijelaskan pada point C (perbandingan kontrol ANFIS dan Fuzzy).

Kemudian, data perubahan SoC baterai dengan simulasi close loop (menggunakan kontrol ANFIS) ditunjukkan pada Tabel II. Dari tabel tersebut, dapat dilihat bahwa metode pengisian dari CC sebesar 10,01 A akan berpindah ke metode pengisian CV pada SoC 85% dengan arus pengisian yang makin menurun untuk menjaga agar tegangan tetap konstan pada 14,4 V.

B. HASIL SIMULASI CLOSE LOOP (DENGAN KONTROL ANFIS) SAAT DIBERI GANGGUAN

Untuk menguji kontrol ANFIS dapat berfungsi atau tidak, saat berada pada metode CC maupun CV, sistem diberi gangguan berupa iradiasi yang tidak konstan. Gambar 7 dan Gambar 8 menunjukkan gelombang pengujian CC-CV dengan gangguan.

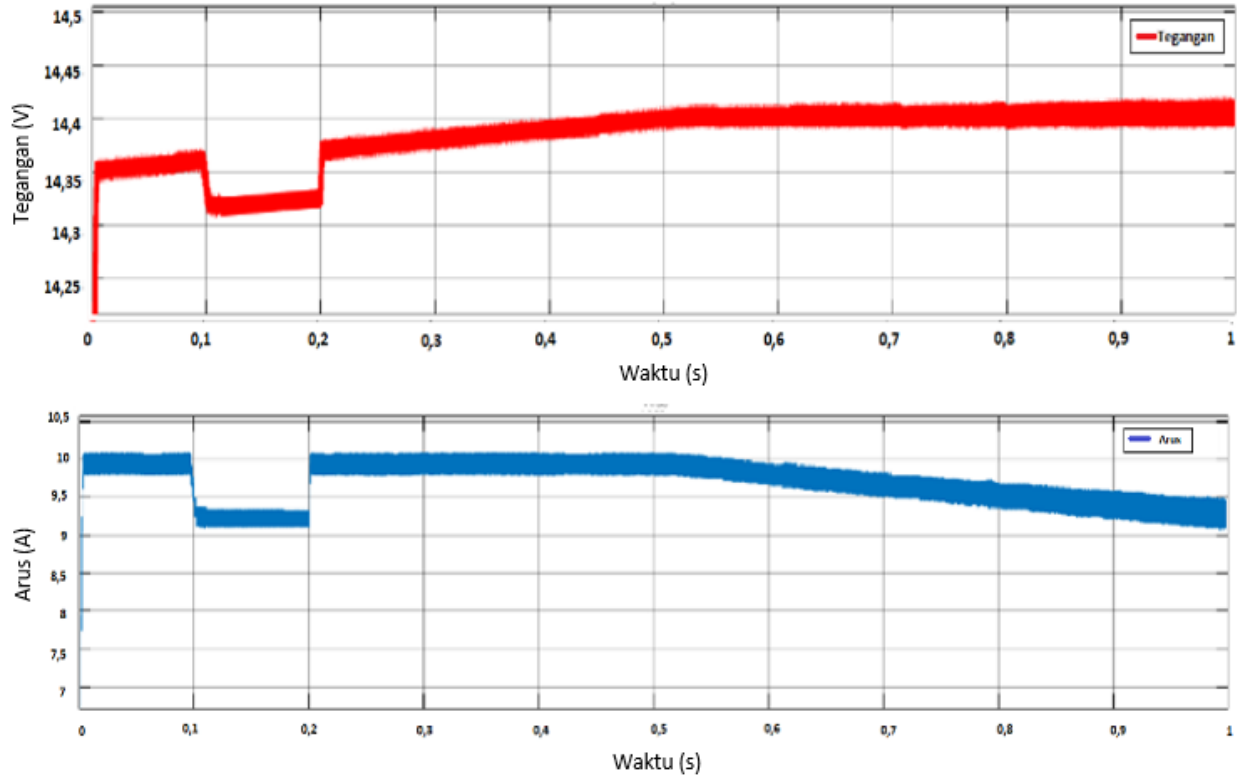
Dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8 bahwa jika terjadi perubahan iradiasi pada metode CC pada 0,1 s hingga 0,2 s, arus dan tegangan akan mengalami penurunan dan arus akan kembali konstan. Begitu pula jika terjadi perubahan iradiasi pada metode CV pada 0,7 s hingga 0,8 s, arus dan tegangan mengalami penurunan dan tegangan akan kembali

konstan. Maka, dapat disimpulkan bahwa kontrol dapat berjalan baik sesuai dengan yang direncanakan.

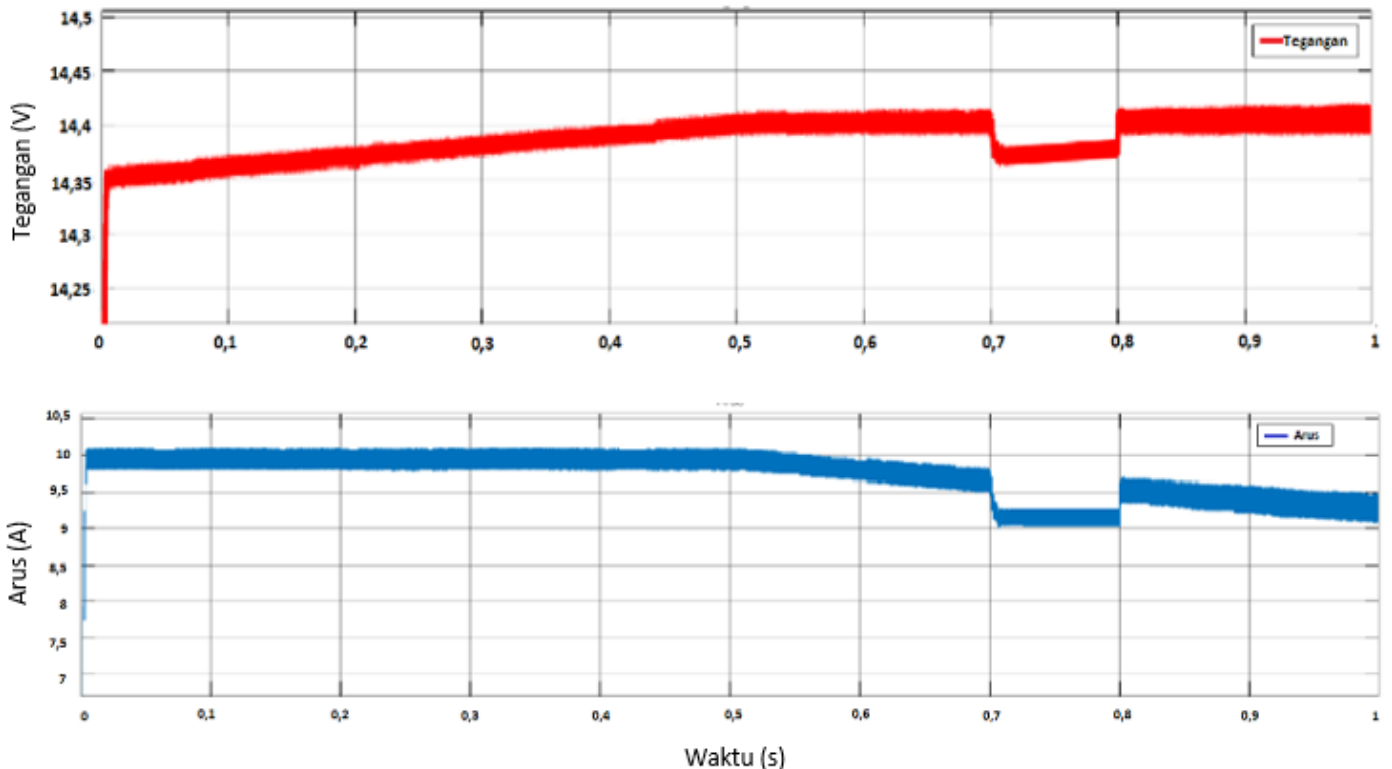
C. PERBANDINGAN KONTROL ANFIS DAN FUZZY

Selanjutnya, kelebihan kontrol ANFIS dibandingkan dengan kontrol fuzzy perlu dibuktikan dengan melakukan simulasi menggunakan perangkat lunak MATLAB. Gambar 9 dan Gambar 10 merupakan grafik perbandingan CC-CV menggunakan fuzzy logic controller dan ANFIS. Perbedaan yang lebih detail disajikan pada Tabel III.

Dari grafik hasil dan tabel tersebut, dapat dilihat perbedaan kedua metode yang digunakan. Walaupun rise time ANFIS lebih lambat dari pada fuzzy, waktu untuk mencapai steady state atau set point lebih cepat pada kontrol ANFIS. Pada waktu 3,2 ms, tegangan keluaran dengan menggunakan kontrol ANFIS sudah mampu mencapai set point di 14,4 V, sedangkan dengan menggunakan kontrol fuzzy, tegangan masih 14,38 V. Pada waktu 5,5 ms, tegangan keluaran dengan menggunakan kontrol fuzzy sudah mencapai steady state di tegangan 14,38 V, tetapi tidak mencapai set point. Untuk arus keluaran dengan menggunakan kontrol ANFIS, arus dapat mencapai set point di 10 A, sedangkan dengan menggunakan kontrol fuzzy, arus tidak mampu mencapai set point, yaitu steady state di 9,8 A. Kemudian, untuk error yang didapatkan, kontrol ANFIS memiliki error 0%, lebih baik daripada fuzzy logic controller dengan error arus 2% dan error tegangan sebesar 0.07%. Dari penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa kontrol ANFIS lebih baik daripada kontrol fuzzy karena ANFIS merupakan



Gambar 7. Gelombang CC dengan gangguan.



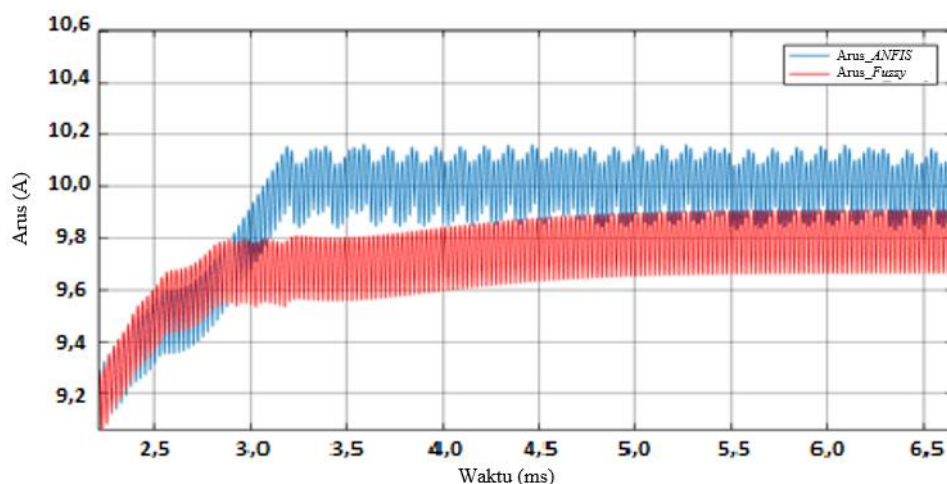
Gambar 8. Gelombang CV dengan gangguan.

gabungan dari dua kontrol, ANN dan *fuzzy*, serta memiliki gabungan kelebihan dari dua kontrol tersebut, sehingga didapatkan hasil keluaran yang lebih baik.

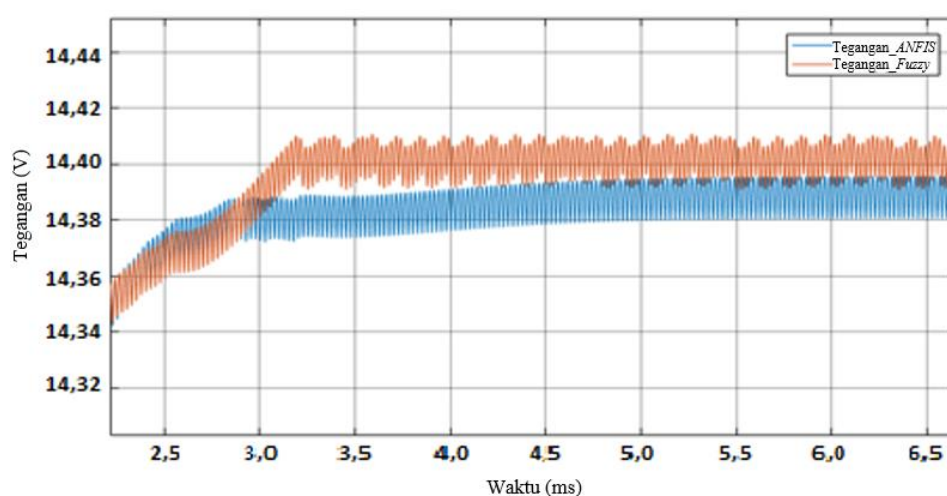
IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan pada penelitian ini, pengisian yang dirancang dapat mencapai SoC

85% dalam waktu 0,5 s. Sebelum mencapai SoC 85%, sistem melakukan pengisian dengan metode CV. Setelah mencapai 0,5 s, sistem melakukan pengisian dengan metode CC. Kontrol ANFIS pada sistem ini sudah dapat berjalan, dibuktikan saat diberi gangguan, arus dan tegangan tetap konstan. Dengan menggunakan kontrol ANFIS, diperoleh keluaran yang lebih baik dibandingkan dengan *fuzzy logic controller* karena kontrol



Gambar 9. Perbandingan arus dengan metode CC antara kontrol fuzzy dan ANFIS.



Gambar 10. Perbandingan tegangan dengan metode CC antara kontrol fuzzy dan ANFIS.

ANFIS dapat mencapai *set point* lebih cepat, yaitu 3,2 ms, sedangkan kontrol *fuzzy logic controller* dapat mencapai *set point* pada saat 5,5 ms.

KONFLIK KEPENTINGAN

Tim penulis pada penelitian yang berjudul “Fast Charging pada Baterai Li-Ion dengan Kontrol ANFIS” menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan dalam penelitian ini.

KONTRIBUSI PENULIS

Konseptualisasi, Renny Rakhmawati, Zhafira Rana Khalisa Permana, dan Rachma Prilian Eviningsih; metodologi penelitian, Renny Rakhmawati dan Suhariningsih; perangkat lunak, Renny Rakhmawati dan Zhafira Rana Khalisa Permana; validasi, Renny Rakhmawati, Zhafira Rana Khalisa Permana, Rachma Prilian Eviningsih, dan Suhariningsih; analisis formal, Renny Rakhmawati; sumber, Renny Rakhmawati; tulisan — persiapan draf asli, Renny Rakhmawati dan Zhafira Rana Khalisa Permana; penulisan — review dan penyuntingan, Renny Rakhmawati dan Rachma Prilian Eviningsih.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Politeknik Elektronika Negeri Surabaya atas dukungannya kepada penulis dalam penyelesaian penelitian ini.

REFERENSI

[1] C.A. Iskak, N.A. Windarko, dan R. Rakhmawati, “Design and Implementation Bidirectional DC-DC Converter for Load Sharing and

Charging Battery,” 2019 *Int. Seminar Appl. Technol. Inf., Commun. (iSemantic)*, 2019, hal. 455–459, doi: 10.1109/ISEMANTIC.2019.8884344.

- [2] R. Rakhmawati, Suhariningsih, J.H. Farrasbyan, dan F.D. Murdianto, “Performance Robustness of PID Controller in Buck Converter for Cooling System,” 2018 *Int. Seminar Appl. Technol. Inf., Commun. (iSemantic)*, 2018, hal. 127–132, doi: 10.1109/ISEMANTIC.2018.8549781.
- [3] R. Rakhmawati, Suhariningsih, dan F.P.I. Putra, “Temperature Control System on a Coconut Dryer Using Solar Cells with Buck-Boost Converter on Charging Battery,” 2017 *Int. Seminar Appl. Technol. Inf., Commun. (iSemantic)*, 2017, hal. 115–120, doi: 10.1109/ISEMANTIC.2017.8251854.
- [4] E. Roza dan M. Mujirudin, “Perancangan Pembangkit Tenaga Surya Fakultas Teknik Uhamka,” *J. Kaji. Tek. Elektr.*, Vol. 4, No. 1, hal. 16–30, Mar.–Agu. 2019, doi: 10.52447/jkte.v4i1.1386.
- [5] R. Rakhmawati, Suhariningsih, dan S. Husniatuzzahro, “Design Flyback Converter for Charging Battery Using Fuzzy Logic Controller,” 2020 *Int. Seminar Appl. Technol. Inf., Commun. (iSemantic)*, 2020, hal. 396–402, doi: 10.1109/iSemantic50169.2020.9234195.
- [6] K.A. Morsy, M.A. Abouelatta, M.M. El-Banna, dan M.K. Elsaid, “Modeling and Simulation of Photovoltaic Module for Space Applications Using Simulink/MATLAB,” 2018 *First Int. Workshop Deep, Representation Learn. (IWDRL)*, 2018, hal. 55–61, doi: 10.1109/IWDRL.2018.8358215.
- [7] I.N.W. Satiawan, Supriono, dan I.B.F. Citarsa, “Desain Buck Converter untuk Charging Baterai pada Beban Bervariasi,” *Dielektrika*, Vol. 5, No. 1, hal. 30–35, Mar. 2018.
- [8] T. Rohana, “Implementasi Adaptive Neural Fuzzy Inference System (ANFIS) untuk Menguji Kualitas Printed Circuit Board (PCB),” *Techno Xplore: J. Ilm. Komput., Teknol. Inf.*, Vol. 5, No. 2, hal. 79–90, Okt. 2020, doi: 10.36805/technoexplo.v5i2.907.

- [9] A.T. Prasetyo, Endryansyah, B. Suprianto, dan P.W. Rusimamto, "Desain Sistem Pengaturan Sudut Aero Pendulum Menggunakan Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) Berbasis MATLAB," *J. Tek. Elekt.*, Vol. 10, No. 2, hal. 387-395, Jun. 2021, doi: 10.26740/jte.v10n2.p387-395.
- [10] K. Witono, A. Asrori, dan A. Harijono, "The Comparison of Performance Polycrystalline and Amorphous Solar Panels under Malang City Weather Conditions," *Bull. Sci. Educ.*, Vol. 1, No. 2, hal. 124-135, Mei 2021, doi: 10.51278/bse.v1i2.107.
- [11] F. Murdiya dkk., "Pembangkit Listrik Tenaga Surya untuk Pompa Air dan Penerangan dalam Program Pengabdian Kepada Masyarakat," *J. Pengabd. Untuk Mu NegeRI*, Vol. 4, No. 2, hal. 192-198, Nov. 2020, doi: 10.37859/jpumri.v4i2.2109.
- [12] M.W. Alim, N.A. Windarko, dan R. Rakhmawati, "Fuzzy Logic Control Design on Buck Converter for Thermo Electric Air Cooler Power Supply," *J. Adv. Res. Elect. Eng.*, Vol. 4, No. 2, Okt. 2020, doi: 10.12962/j25796216.v4i2.137.
- [13] F.A.I. Prastya, W. Indrasari, dan R.N. Setiadi, "Simulasi Rangkaian DC-DC Buck Converter pada Sistem Penyimpanan Daya Listrik Panel Surya," *Pros. Seminar Nas. Fis. (E-J.) SNF2022*, Vol. 10, hal. 103-108, Jan. 2022, doi: 10.21009/03.SNF2022.01.FA.14.
- [14] M. Ali, "Rangkaian DC Chopper dan Aplikasinya," dalam *Aplikasi Elektronika Daya pada Sistem Tenaga Listrik*, 1st ed., Yogyakarta, Indonesia: UNY Press, 2018, ch. 7, hal. 108-111.
- [15] A.Z. Falih, M.Z. Efendi, dan F.D. Murdianto, "CC-CV Controlled Fast Charging Using Fuzzy Type-2 for Battery Lithium-Ion," *JAREE (J. Adv. Res. Electr. Eng.)*, Vol. 5, No. 2, hal. 135-141, Okt. 2021, doi: 10.12962/jaree.v5i2.200.
- [16] A. Anshori, B. Siswojo, dan R.N. Hasanah, "Teknik Fast Charging Baterai Lithium-Ion Menggunakan Logika Fuzzy," *J. Ecotipe (Electron. Control Telecommun. Inf., Power Eng.)*, Vol. 7, No. 1, hal. 26-37, Apr. 2020, doi: 10.33019/ecotipe.v7i1.1384.
- [17] M.T. Afif dan I.A.P. Pratiwi, "Analisis Perbandingan Baterai Lithium-Ion, Lithium-Polymer, Lead Acid dan Nickel-Metal Hydride pada Penggunaan Mobil Listrik - Review," *J. Rekayasa Mesin*, Vol. 6, No. 2, hal. 95-99, Agu. 2015, doi: 10.21776/ub.jrm.2015.006.02.1.
- [18] A.P. Hakim, S.S. Suprpto, dan M.N. Farid, "Pengaruh Beban dan Filter pada Penyearah AC-DC Terkendali untuk Rangkaian Pengisi Li-ion Berbasis Bridge Rectifier dan Buck Converter Menggunakan Metode CC/CV," *J. Teknol. Terpadu*, Vol. 1, No. 9, hal. 88-92, Apr. 2021, doi: 10.32487/jtt.v9i1.1118.
- [19] Irianto, D.S. Yanaratri, dan F. Rahmatullah, "Desain dan Simulasi Battery Charger Metode CCCV (Constant Current-Constant Voltage) dengan Kontrol Logika Fuzzy Menggunakan MATLAB," *Cyclotron: J. Tek. Elektr.*, Vol. 4, No. 2, hal. 18-22, Jul. 2021, doi: 10.30651/cl.v4i2.8621.
- [20] Battery University (2021) "BU-401a: Fast and Ultra-fast Chargers," [Online], <https://batteryuniversity.com/article/bu-401a-fast-and-ultra-fast-chargers>, access date: 10-Jun-2022.
- [21] M. Beken dkk., "The ANFIS as a Prediction Method of Efficiency of PV Cells," *2018 7th Int. Conf. Renew. Energy Res., Appl. (ICRERA)*, 2018, hal. 1389-1391, doi: 10.1109/ICRERA.2018.8566798.
- [22] N.I. Mufar'ary, I. Sudiharto, dan F.D. Murdianto, "Comparison of FLC and ANFIS Methods to Keep Constant Power Based on Zeta Converter," *INTEK: J. Penelit.*, Vol. 8, No. 1, hal. 21-29, Apr. 2021, doi: 10.31963/intek.v8i1.2701.
- [23] R.N. Fajriani, F. Asriani, dan H. Susilawati, "Penerapan Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) untuk Pemantauan Status Gunung Merapi," *Pros. Seminar Nas. Multim., Artif. Intell.*, 2018, hal. 140-150.
- [24] B. Fechera, J. Kustija, dan S. Elvyanti, "Optimasi Penggunaan Membership Logika Function Membership Fuzzy pada Kasus Identifikasi Kualitas Minyak Transformator," *ELECTRANS - J. Tek. Elektr.*, Vol. 11, No. 2, hal. 27-35, Sep. 2012.