

Kendali Tegangan *Boost Converter* Berbasis *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS)

Muhammad Zainul Fikri*)¹, Muldi Yuhendri ²

^{1,2} Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

² Instrumentation, Control and Automation Research Group (ICARG) Universitas Negeri Padang

*)Corresponding author, Muhammadzainulfikri2@gmail.com

Abstrak

Berbagai macam pembangkit tenaga listrik menghasilkan daya listrik dalam bentuk tegangan searah, seperti panel surya, fuel cell, baterai dan sebagainya. Peralatan ini menghasilkan daya listrik dengan tegangan yang bervariasi. Disisi lain, beragam peralatan listrik juga menggunakan tegangan searah dengan berbagai level tegangan, seperti, 12 Volt, 24 Volt, 60 Volt dan sebagainya. Untuk mendapatkan tegangan searah yang sesuai dengan kebutuhan beban, maka tegangan searah yang dihasilkan pembangkit perlu dikendalikan. Pengendalian tegangan searah ini banyak diimplementasikan dengan menggunakan konverter daya. Penelitian ini bertujuan untuk merancang pengendalian tegangan searah dengan menggunakan konverter boost berbasis *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) dengan tegangan output lebih besar dari tegangan inputnya. Sistem kendali tegangan output konverter boost ini diimplementasikan dengan Arduino mega 2560. Sistem kendali tegangan output konverter boost yang dibuat dalam penelitian ini diuji dengan tegangan yang bervariasi dan beban yang bervariasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa system kendali tegangan output converter boost berbasis ANFIS telah dapat mengendalikan tegangan output konverter sesuai dengan nilai referensi, baik dalam kondisi beban yang bervariasi maupun pada kondisi tegangan referensi yang bervariasi. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa alat yang dibuat telah bekerja dengan baik sesuai dengan tujuan.

Abstract

Various types of power plants produce electricity in the form of direct voltage, such as solar panels, fuel cells, batteries and so on. This equipment generates electrical power with varying voltages. On the other hand, various electrical equipment also uses direct voltage with various voltage levels, such as 12 Volts, 24 Volts, 60 Volts and so on. To get a direct voltage that matches the load requirements, it is necessary to control the direct voltage generated by the generator. Direct voltage control is mostly implemented by using a power converter. This study aims to design direct voltage control using a boost converter based on the Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) with an output voltage greater than the input voltage. The boost converter output voltage control system is implemented with Arduino mega 2560. The boost converter output voltage control system made in this study was tested with various voltages and various loads. The test results show that the boost converter output voltage control system based on ANFIS has been able to control the converter output voltage according to the reference value, both under varying load conditions and under varying reference voltage conditions. The results of this test indicate that the tool made has worked well in accordance with the purpose.

INFO.

Info. Artikel:

No. 415

Received. June, 19, 2023

Revised. July, 12, 2023

Accepted. July, 19, 2023

Page. 416 - 427

Kata kunci:

- ✓ Konverter boost
- ✓ ANFIS
- ✓ Kendali tegangan
- ✓ Matlab
- ✓ Arduino

PENDAHULUAN

Salah satu sumber energi yang sangat banyak dipergunakan dalam berbagai bidang kebutuhan adalah energi listrik, baik untuk rumah tangga, industry maupun sektor lainnya, seperti untuk penerangan, penggerak, pemanas, pendingin ataupun untuk pengkondisian udara [1]. Secara umum, peralatan-peralatan yang dioperasikan dengan energi listrik umumnya menggunakan tegangan dalam bentuk arus listrik searah yang disebut juga dengan *direct current* (DC) atau arus listrik bolak balik yang disebut juga dengan *alternating current* (AC), baik dalam bentuk satu fasa maupun tiga fasa [2].

Tegangan searah pada umumnya digunakan untuk peralatan elektronik berdaya kecil atau untuk mesin listrik DC. Penyediaan sumber tegangan searah dapat dilakukan dengan menggunakan pembangkit tenaga listrik yang menghasilkan tegangan searah, seperti generator DC, pembangkit listrik tenaga surya, thermos generator, baterai dan sebagainya [3]. Selain itu, sumber tegangan searah juga dapat diperoleh dengan cara mengkonversikan tegangan AC menjadi tegangan DC menggunakan konverter daya jenis rectifier.

Pembangkit listrik yang menghasilkan tegangan DC ini menghasilkan tegangan yang bervariasi. Di sisi lain, peralatan-peralatan listrik yang menggunakan sumber tegangan searah juga memiliki rating tegangan yang berbeda-beda pula. Misalnya motor DC yang dijual di pasaran ada yang memiliki rating tegangan 12 Volt, 24 Volt, 60 Volt dan sebagainya [4]-[5]. Untuk mendapatkan tegangan DC yang sesuai dengan kebutuhan beban, maka dapat digunakan beberapa peralatan, salah satunya adalah konverter DC-DC yang dapat mengkonversikan tegangan DC ke tegangan DC dengan input atau output yang dapat divariasikan [6]. Berdasarkan rasio tegangan input dan outputnya, telah banyak jenis converter DC-DC yang telah dikembangkan, seperti converter buck yang memiliki tegangan output lebih kecil dari input [7], converter boost dengan tegangan output yang lebih besar dari input dan sebagainya [8]-[9]. Dalam penelitian ini, jenis converter DC-DC yang dipilih untuk dikembangkan adalah jenis converter boost. Berdasarkan struktur komponennya, ada beberapa jenis converter boost yang telah dikembangkan, antara lain converter boost konvensional [10]-[11], quadratic boost converter [12], cascade boost converter [9], multi input boost converter [13], multilevel boost converter [14], Quasi Z-Source Boost Converters [15] dan sebagainya. Semua jenis converter boost yang telah dikembangkan memiliki fitur kelebihan dan kekurangan masing-masing. Jenis converter boost yang akan dikembangkan dalam penelitian ini adalah jenis konvensional, karena struktur komponennya lebih sederhana dan lebih mudah diterapkan.

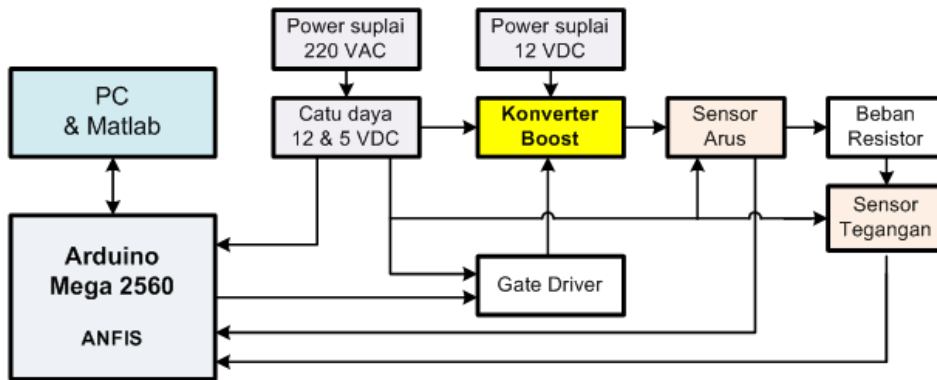
Untuk mendapatkan tegangan konverter boost yang sesuai dengan referensi atau nilai set point, maka tegangan output converter ini perlu dikendalikan. Beberapa metode kendali telah dikembangkan untuk pengendalian tegangan output converter boost, seperti metode PI [16], sliding mode control [1],[17] dan system kendali berbasis kecerdasan buatan. Beberapa metode kecerdasan buatan yang telah diterapkan untuk system kendali tegangan output converter boost antara lain fuzzy Mamdani [18]-[19], Fuzzy sugeno [20], jaringan syaraf tiruan [21]-[22] dan sebagainya. Sistem kendali tegangan output converter boost yang diusulkan dalam penelitian ini adalah menggunakan metode kecerdasan buatan, yaitu metode Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS). Algoritma ANFIS merupakan gabungan dari fuzzy sugeno dengan jaringan syaraf tiruan [23]-[24]. Mirip dengan konsep jaringan syaraf tiruan, ANFIS termasuk jenis kecerdasan buatan yang dibentuk dengan metode pelatihan terbimbing, sehingga lebih mudah dalam pembuatannya [25]-[26]. Penggunaan fungsi keanggotaan fuzzy pada lapisan input memungkinkan ANFIS menghasilkan output yang lebih presisi dibandingkan fuzzy Mamdani ataupun fuzzy sugeno. Pemilihan ANFIS untuk metode kendali tegangan output converter boost diharapkan dapat menghasilkan tegangan output converter boost yang lebih valid dibandingkan dengan metode lain.

Sistem kendali tegangan output converter boost yang diusulkan dalam penelitian ini dirancang dengan menggunakan Arduino mega 2560 sebagai pusat kendalinya. Metode kendali converter boost berbasis ANFIS diprogram dengan menggunakan Simulink matlab. Konverter boost dirancang untuk tegangan input 12 Volt sedangkan outputnya bervariasi dari 15 Volt sampai 70 Volt. Validasi metode kendali tegangan output converter boost akan diuji dengan tegangan output yang bervariasi dan beban yang bervariasi. Tujuan metode ANFIS ini untuk menganalisa sistem kendali tegangan output converter yang telah dibuat. Hasil dari percobaan ini bermanfaat untuk menambah wawasan tentang sistem kendali tegangan output converter sehingga dapat mengetahui apa yang harus dilakukan dalam melakukan metode ini.

METODE PENELITIAN

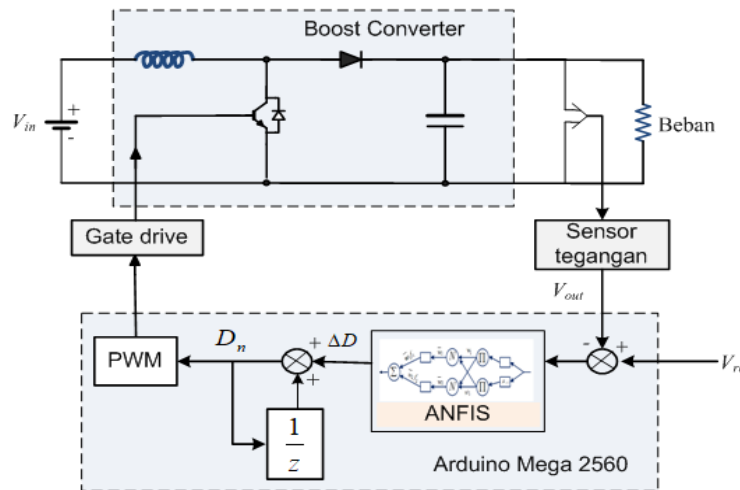
Penelitian tentang sistem kendali tegangan output konverter boost berbasis ANFIS dilakukan dalam bentuk eksperimen di laboratorium dengan tahapan yang mencakup perancangan, pembuatan dan pengujian. Perancangan dipresentasikan dengan diagram blok yang ditunjukkan oleh Gambar 1 berikut. Rancangan sistem kendali tegangan output konverter boost berbasis ANFIS terdiri dari Arduino

Mega 2560 yang berfungsi sebagai alat kontrol utama pada rangkaian tersebut, rangkaian converter boost yang dilengkapi dengan sensor arus dan sensor tegangan yang dipasang pada sisi output konverter untuk mendapatkan data tegangan dan arus output konverter, catu daya searah dengan level tegangan 12 Volt sebagai penyuplai daya bagi rangkaian driver gate dan tegangan 5 Volt sebagai penyuplai daya bagi Arduino, sensor arus dan tegangan. Arduino akan diprogram dengan software matlab untuk mengimplementasikan ANFIS sebagai controller tegangan output konverter boost.



Gambar 1. Blok diagram kendali tegangan output konverter *boost* dengan ANFIS

Pengendalian tegangan output konverter boost berbasis ANFIS dilakukan dengan mengatur duty cycle (D) pulsa PWM yang akan memodulasi switch power semikonduktor yang ada pada konverter tersebut. Nilai duty cycle ditentukan oleh ANFIS berdasarkan error tegangan output, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2 berikut.

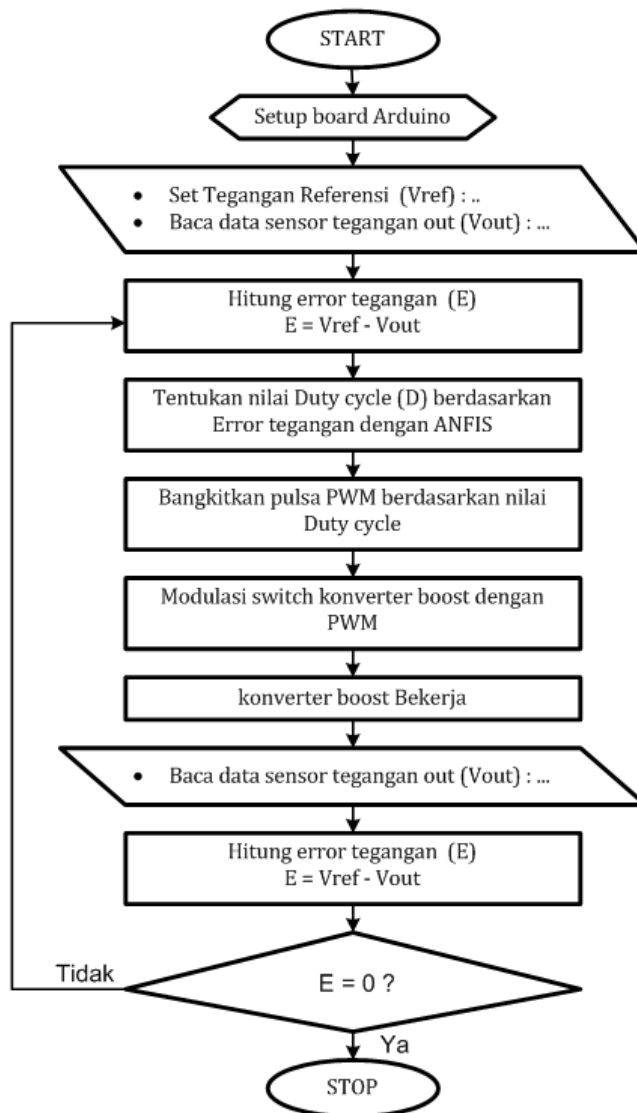


Gambar 2. Skema sistem kendali tegangan konverter *boost* berbasis ANFIS

Data output tegangan konverter yang diperoleh dari sensor akan digunakan sebagai sinyal feedback dalam mengendalikan tegangan output agar sesuai dengan tegangan referensi. Sinyal feedback tegangan ini akan dibandingkan dengan tegangan referensi dan error yang diperoleh dari perbandingan tersebut akan dijadikan input bagi ANFIS dalam menentukan nilai perubahan duty cycle ΔD . Nilai perubahan duty cycle ΔD ini akan menentukan nilai duty cycle yang akan menjadi pulsa PWM D_n dengan perhitungan menggunakan persamaan berikut :

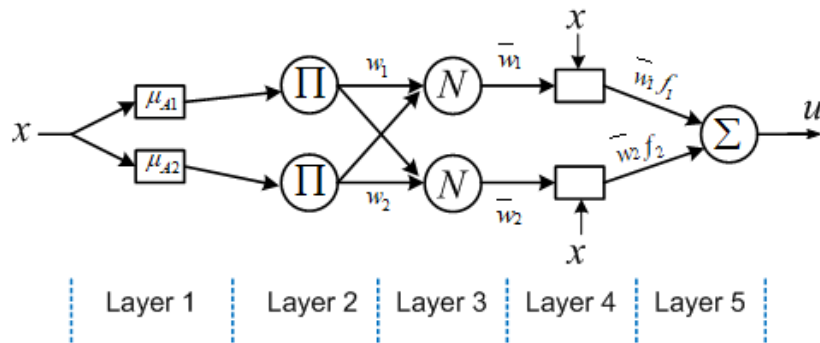
$$D_n = \Delta D + D_{n-1} \tag{1}$$

Dimana D_{n-1} merupakan nilai duty cycle sebelumnya. Nilai duty cycle D_n akan diubah menjadi pulsa PWM melalui pin PWM Arduino. Sinyal PWM yang dihasilkan akan digunakan untuk memodulasi terminal gate switch semikonduktor yang digunakan pada converter boost. Hal ini akan membuat converter bekerja tegangan tegangan output sesuai dengan tegangan referensi. Pengendalian tegangan output konverter boost dengan ANFIS diuraikan dalam flowchart pada Gambar 3 berikut ini.



Gambar 3. Flowchart sistem kendali tegangan konverter boost berbasis ANFIS

Untuk mendapatkan nilai perubahan error duty cycle dari ANFIS, maka terlebih dahulu dilakukan pembuatan model ANFIS menggunakan toolbox *fuzzy logic* yang ada dalam software matlab. ANFIS merupakan salah satu metode kecerdasan buatan yang merupakan gabungan dari jaringan saraf tiruan dengan fuzzy sugeno. Model ANFIS dapat dibuat melalui proses training data seperti yang dilakukan pada proses pembuatan model jaringan syaraf tiruan. Secara umum, struktur ANFIS terdiri dari lima layer, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4 berikut.

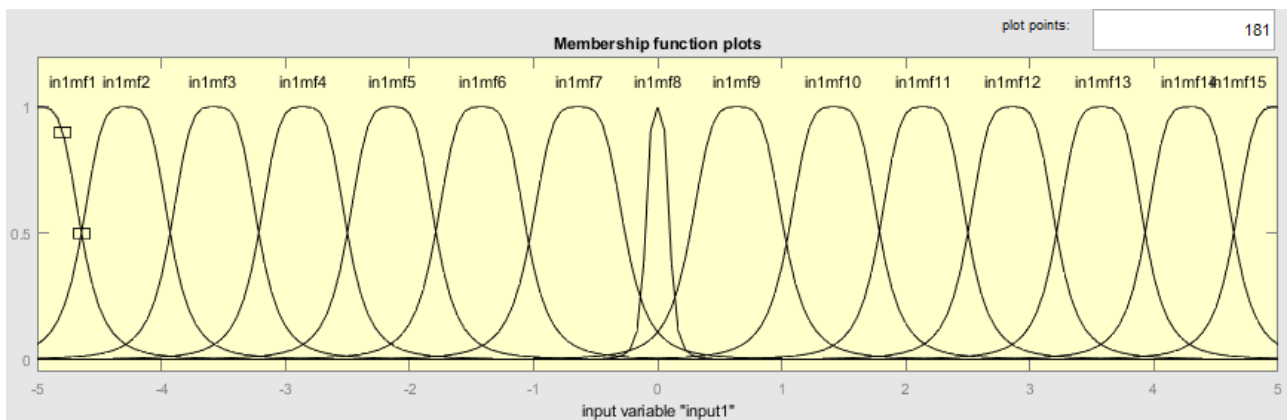


Gambar 4. Struktur ANFIS

Gambar 4 menunjukkan struktur ANFIS untuk satu input dan satu output dengan lima layer. Pada layer pertama dilakukan fuzzifikasi data input. Output lapis pertama merupakan derajat keanggotaan dari fungsi keanggotaan fuzzy yang dirancang pada layer 1, yang dirumuskan dengan :

$$O_{1,i} = \mu_{A_i}(x) \tag{2}$$

Dalam penelitian ini, input ANFIS adalah error tegangan output konverter boost. Pada layer pertama ANFIS, data error tegangan difuzzifikasi dengan fungsi keanggotaan fuzzy dalam bentuk Gaussian yang dipresentasikan dengan 15 fungsi keanggotaan, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 5. Parameter masing-masing fungsi keanggotaan dibangkitkan secara otomatis berdasarkan training data yang dilakukan dengan menggunakan toolbox ANFIS.



Gambar 5. Fungsi keanggotaan fuzzy pada layer 1 ANFIS

Setelah output layer 1 diperoleh, selanjutnya pada layer kedua dilakukan proses implikasi fuzzy dengan menggunakan metode perkalian untuk menentukan nilai pembobot dari neuron-neuron yang akan menghubungkan layer dua dengan layer 3. Output layer 2 ANFIS berupa nilai pembobot dirumuskan dengan :

$$O_{2,i} = w_i = \mu_{A_i}(x)\mu_{A_n}(x) \tag{3}$$

Dimana w merupakan nilai pembobot dari neuron. Pada layer 3 dilakukan normalisasi pembobot yang dirumuskan dengan :

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2} \tag{4}$$

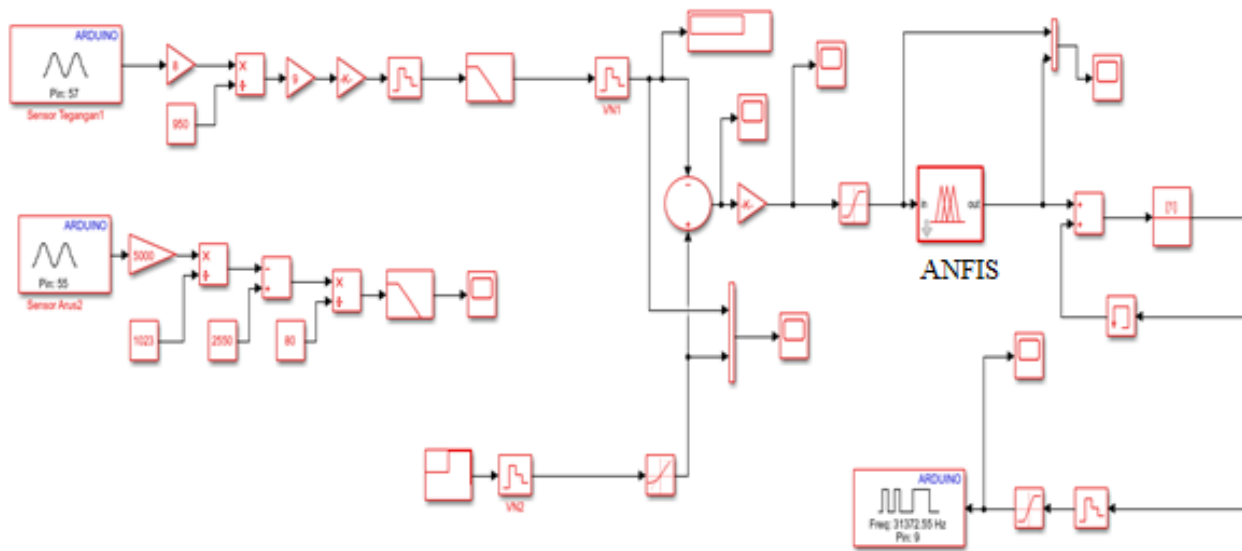
Nilai pembobot masing masing neuron dicari waktu training data dalam membuat model ANFIS. Pada layer ke empat dilakukan perhitungan level output fuzzy dengan metode inferensi sugeno, yang dirumuskan dengan Persamaan berikut :

$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (a_i x + c_i) \tag{5}$$

Selanjutnya pada layer 5 dilakukan defuzzikasi untuk mendapatkan nilai output ANFIS. Nilai output ANFIS dapat dihitung dengan Persamaan :

$$O_{5,i} = u = \frac{\sum_i \bar{w}_i f_i}{\sum_i \bar{w}_i} \tag{6}$$

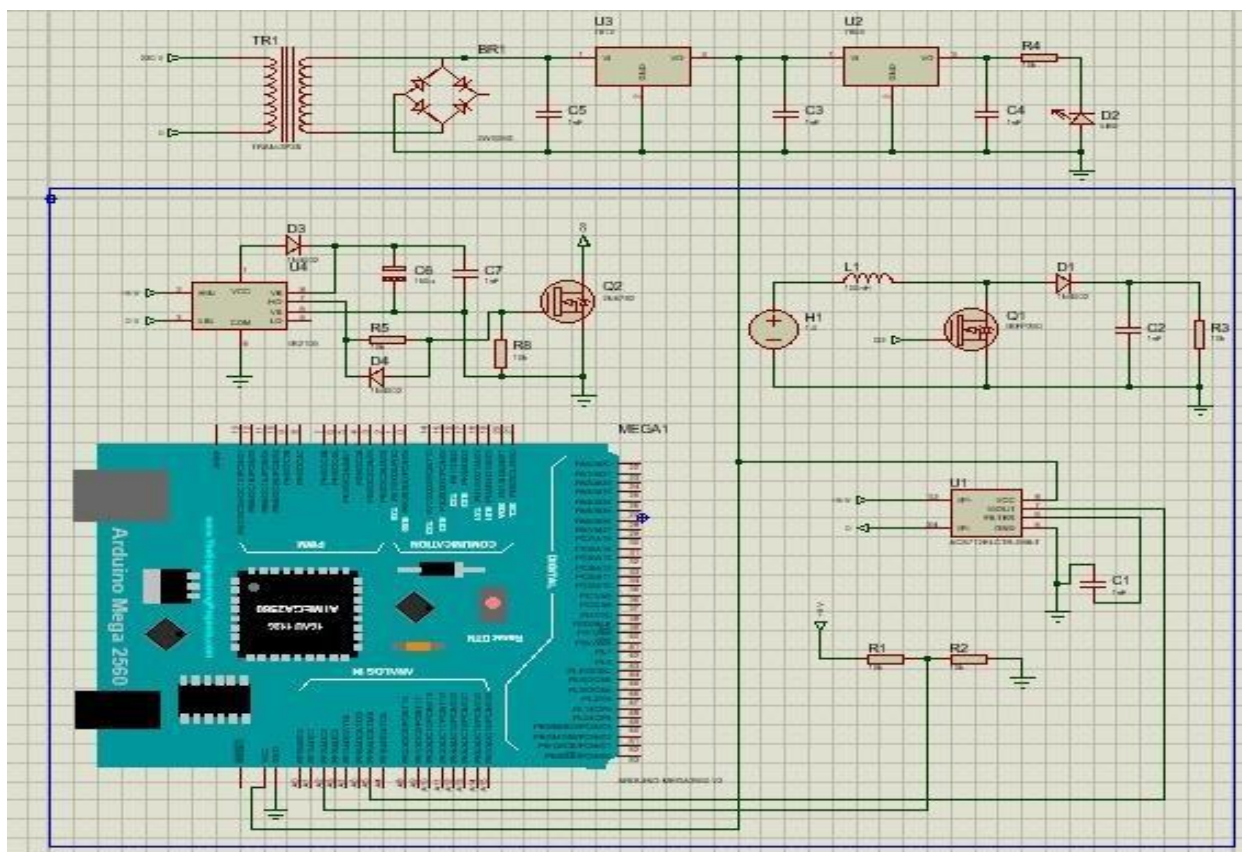
Output ANFIS dalam penelitian ini adalah perubahan nilai duty cycle, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2 di atas. Setelah perubahan nilai duty cycle diperoleh dari output ANFIS, maka selanjutnya nilai duty cycle untuk PWM converter boost dihitung dengan Persamaan 1. Agar ANFIS dapat menghasilkan output sesuai dengan yang diinginkan, maka model ANFIS dibuat dengan data training yang sesuai menggunakan toolbox fuzzy dalam software Matlab. Model ANFIS ditraining sampai errornya mendekati target error training yang diinginkan. Setelah model ANFIS diperoleh, selanjutnya model tersebut dimasukan ke dalam program kendali tegangan output converter boost yang dibuat dalam Simulink Matlab. Gambar 6 menunjukkan program kendali tegangan output converter boost berbasis ANFIS yang dibuat dalam Simulink Matlab.



Gambar 6. Program kendali tegangan output konverter boost berbasis ANFIS

Program kendali tegangan output converter boost berbasis ANFIS yang dibuat dalam Simulink Matlab ini akan diupload ke dalam board Arduino Mega 2560 sebagai prosesor utama system kendali tersebut. Gambar 6 menunjukkan ada dua pin input analog yang digunakan untuk system kendali tegangan output converter boost berbasis ANFIS, yaitu untuk sensor tegangan dan sensor arus. Sinyal dari sensor tegangan ini akan dibandingkan dengan sinyal tegangan referensi yang dibuat dalam program Simulink matlab dan error yang dihasilkan dari perbandingan antara sinyal referensi dengan sinyal feedback tersebut akan dijadikan input ANFIS untuk menentukan nilai outputnya berupa nilai perubahan duty cycle. Nilai duty cycle yang dihasilkan oleh system kendali diubah menjadi sinyal PWM

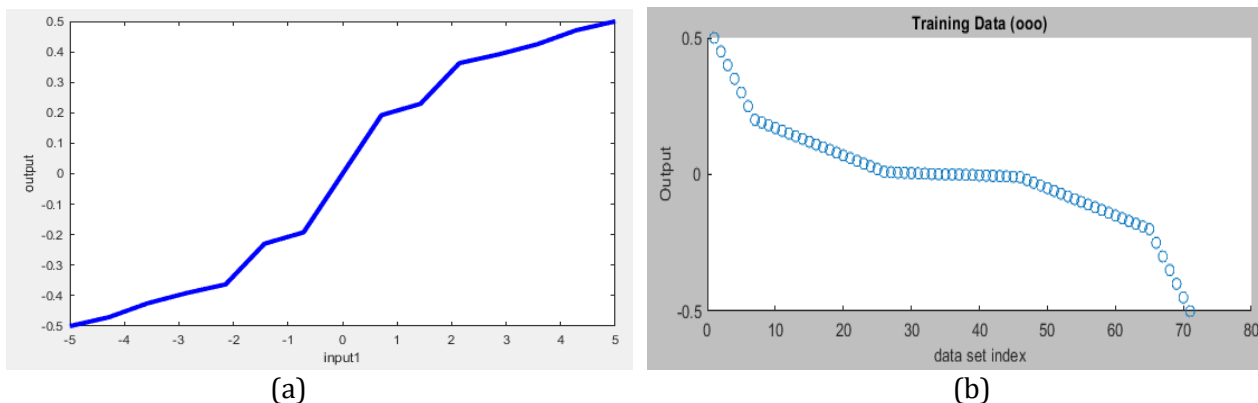
melalui pin output PWM Arduino, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 6. Sinyal PWM yang dihasilkan Arduino ini akan diperkuat oleh rangkaian gate drive menggunakan IC IR2110 untuk memodulasi gate MOSFET yang digunakan sebagai switch pada rangkaian converter boost, seperti yang ditunjukkan oleh skema rangkaian hardware pada Gambar 7 berikut. Dengan konsep seperti ini, maka converter akan menghasilkan tegangan sesuai dengan nilai tegangan referensi yang diset dalam program.



Gambar 7. Skema rangkaian hardware konverter boost

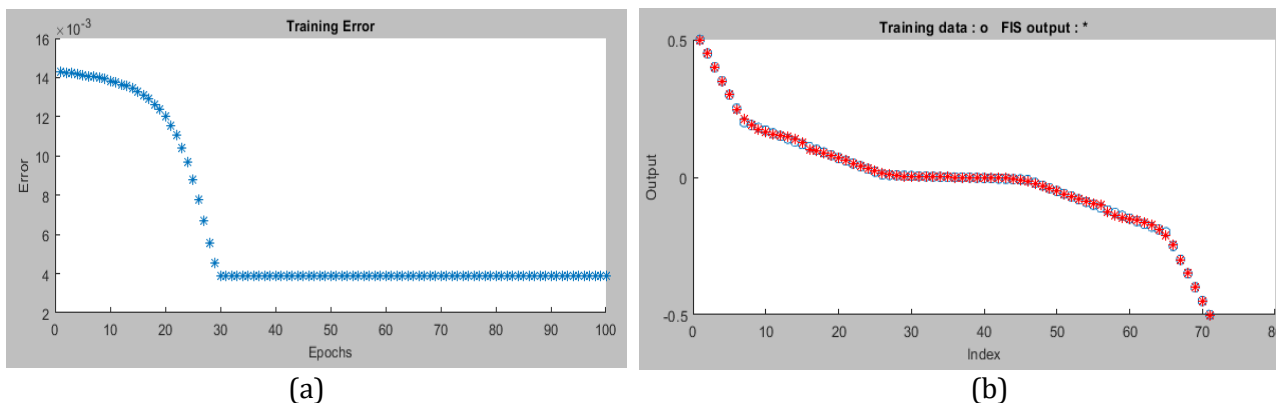
HASIL DAN PEMBAHASAN

Kendali tegangan output konverter *boost* berbasis ANFIS diuji dengan berbagai percobaan, yakni pengujian tegangan referensi konstan dengan beban yang bervariasi dan pengujian beban konstan dengan tegangan referensi bervariasi. Sistem kendali dikatakan valid jika tegangan output yang dihasilkan sudah sesuai dengan tegangan referensi. Sebelum melakukan pengujian sistem kendali tegangan berbasis ANFIS, terlebih dahulu dilakukan pembuatan model ANFIS dengan menggunakan toolbox *fuzzy logic* yang ada dalam software Matlab. Model ANFIS ditraining dan diuji dengan data yang telah disiapkan. Model ANFIS dikatakan valid jika error training sudah mendekati nilai error training yang diinginkan. Error training merupakan perbandingan antara nilai output ANFIS dengan nilai target output yang diinginkan waktu training data. Model ANFIS ditraining dengan 70 pasangan data, yang terdiri dari data input berupa error tegangan dan data output berupa nilai perubahan duty cycle. Data training dirancang sesuai dengan nilai minimum dan maximum dari input dan output ANFIS yang akan digunakan dalam sistem kendali tegangan output converter boost. Input ANFIS berupa error tegangan dibatasi dengan nilai maximum -5 dan maximum 5, sedangkan output ANFIS berupa perubahan nilai duty cycle dibuat dalam rentang -0,5 sampai 0,5. Pasangan data training input dan output ANFIS ditunjukkan oleh Gambar 8(a) dibawah ini, sedangkan data training sebanyak 70 data dengan nilai outputnya ditunjukkan oleh Gambar 8(b).



Gambar 8. Data training ANFIS. (a) Pasangan data input dan output, (b) jumlah data training dengan nilai output

Data yang ditunjukkan dalam Gambar 8 ditraining dengan toolbox ANFIS yang ada dalam toolbox fuzzy logic pada software Matlab. ANFIS ditraining dengan fungsi keanggotaan fuzzy pada layer 1 menggunakan fungsi gaussian dengan jumlah 15 fungsi keanggotaan, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 5. Training ANFIS dilakukan dengan pengulangan/*epoch* sebanyak 100 kali dengan target error training 0,001. Metode training dipilih dalam bentuk hybrid. Hasil training ANFIS ditunjukkan oleh Gambar 9. Model ANFIS yang dibuat untuk system kendali tegangan output converter boost menghasilkan error training 0,004 pada epoch 30, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 9(a). Hasil ini menunjukkan bahwa error training ANFIS sudah mendekati error yang diizinkan, yaitu 0,001. Setelah model ANFIS dianggap valid, selanjutnya model tersebut diuji dengan input sesuai dengan data input training. Hasil pengujian model ANFIS menunjukkan bahwa output yang dihasilkan ANFIS sudah sesuai dengan data target output, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 9(b).



Gambar 9. Hasil training ANFIS. (a) Error training, (b) Pengujian output ANFIS

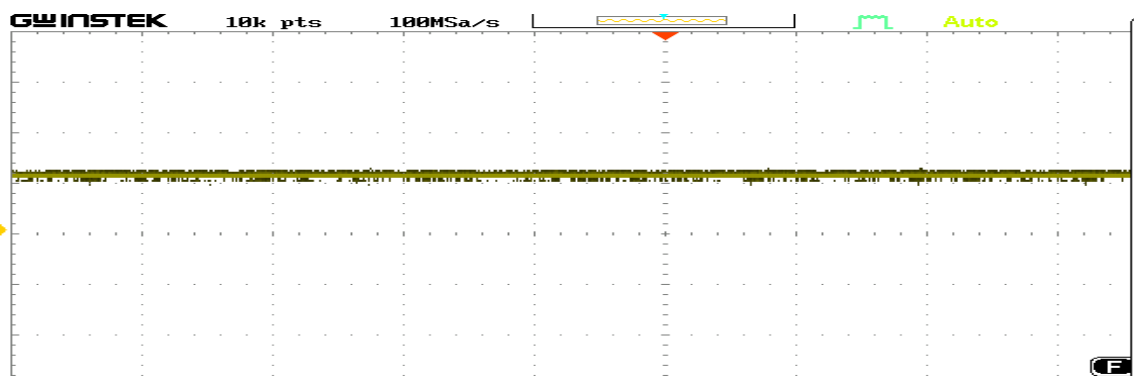
Setelah model ANFIS untuk system kendali tegangan output converter boost dianggap valid, selanjutnya model ANFIS tersebut dimasukkan dalam program system kendali converter boost yang dibuat dalam simulink Matlab, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 6. Program yang ada dalam Simulink tersebut diupload ke dalam board Arduino mega 2560 yang digunakan sebagai pusat controller dalam penelitian ini. Selanjutnya dilakukan pengujian hardware untuk memvalidasi system kendali tegangan output converter boost berbasis ANFIS yang telah dimasukkan dalam board Arduino. Dalam pengujian, konverter *boost* dirangkai dengan beban berupa resistor variabel, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 10. Dalam pengujian ini, konverter *boost* diberi tegangan input sebesar 12 Volt yang diambil dari power suplai DC, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 10.

PC dengan Simulink Matlab



Gambar 10. Instalasi hardware pengujian konverter *boost*

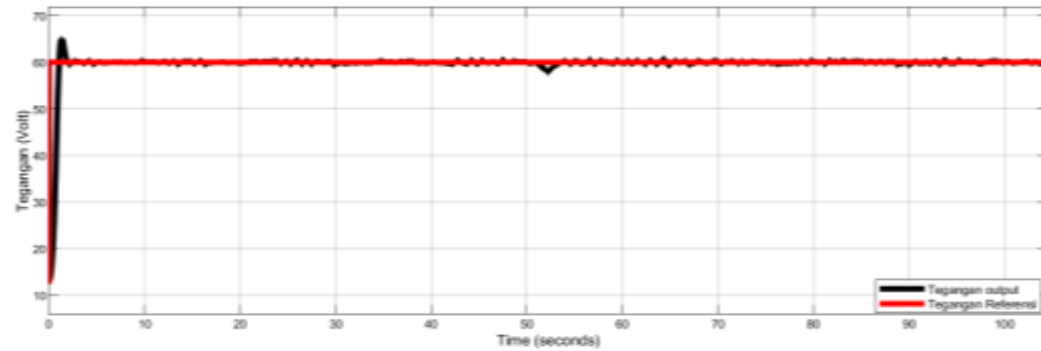
Pengujian pertama dilakukan dengan perlakuan tegangan referensi konstan dan beban dibuat bervariasi. Pengujian ini dilakukan untuk melihat kehandalan system kendali dalam mempertahankan tegangan output konverter boost agar tetap sesuai dengan nilai referensi walaupun beban divariasikan. Jika tidak dikendalikan, maka tegangan output converter boost akan turun ketika beban dinaikan. Pengujian dilakukan dengan tegangan input konverter sebesar 12 Volt, seperti yang ditunjukkan oleh grafik tegangan dari osiloskop digital dengan voltage/div 10 volt pada Gambar 11 berikut.



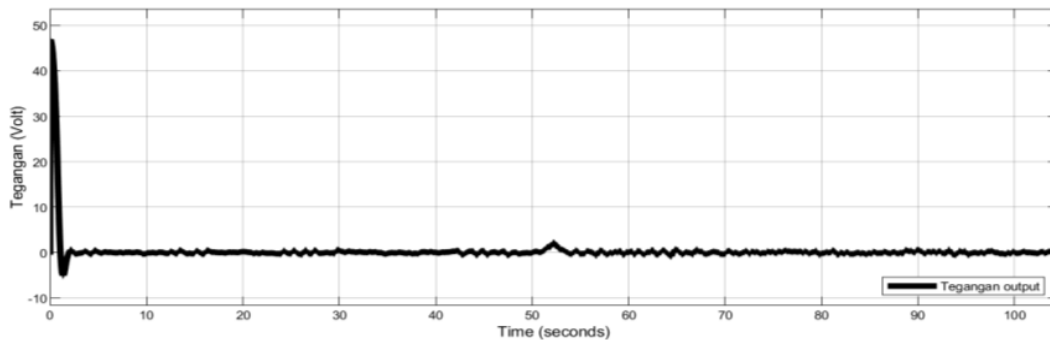
Gambar 11. Grafik tegangan input converter pada osiloskop

Pada pengujian pertama ini, tegangan output referensi dibuat konstan sebesar 60 Volt seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 9(a), sedangkan beban konverter boost dinaikan mulai dari 5,7 Ampere menjadi 8 Ampere seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 9(c). Gambar 9(a) menunjukkan bahwa system kendali converter boost berbasis ANFIS telah sukses mengendalikan tegangan output converter walaupun bebannya divariasikan. Ketika beban dinaikan pada waktu 52 detik terjadi penurunan tegangan pada kondisi transien, namun tegangan output kembali sesuai dengan nilai referensi pada kondisi tunak, seperti yang ditunjukkan oleh Grafik error tegangan output pada Gambar 9(b). Hasil ini menunjukkan bahwa system kendali converter boost berbasis ANFIS telah sukses mengendalikan tegangan output converter sesuai dengan nilai referensi walaupun bebannya divariasikan. Hasil ini juga

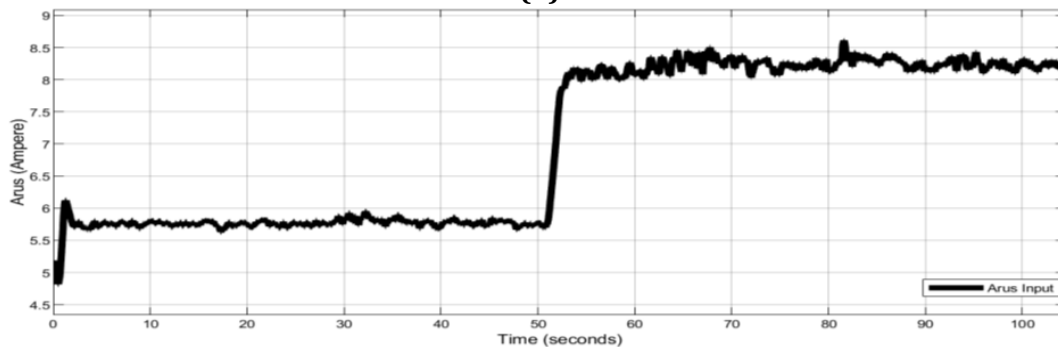
menunjukkan bahwa ANFIS juga telah sukses mengendalikan tegangan output converter boost error mendekati nol pada kondisi tunak dan maksimum sekitar 3 Volt pada kondisi transien, baik pada saat awal start maupun saat terjadi perubahan beban pada converter. Hasil pengujian pertama ini juga menunjukkan bahwa system kendali tegangan output converter berbasis ANFIS telah menghasilkan aksi control dengan rise time sekitar 2 detik, seperti yang ditunjukkan oleh grafik tegangan output pada Gambar 9(a)



(a)



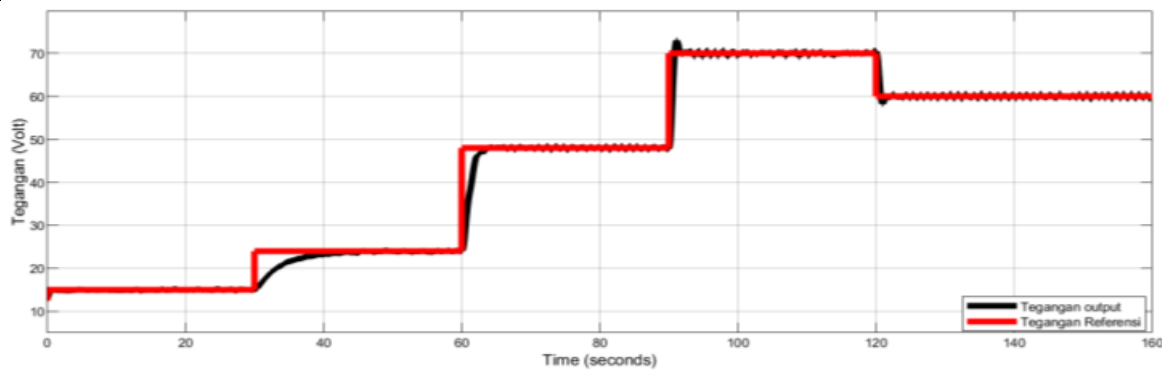
(b)



(c)

Gambar 12. Pengujian beban bervariasi (a) Tegangan output konverter, (b) error tegangan output, (c) arus beban

Selanjutnya system kendali tegangan output converter boost diuji dengan tegangan yang bervariasi. Variasi tegangan output referensi dimulai dari 15 Volt pada kondisi awal, kemudian naik menjadi 24 Volt pada waktu 30 detik dan naik menjadi 48 Volt pada waktu 60 detik dan naik lagi menjadi 70 Volt pada waktu 90 detik dan kemudian diturunkan menjadi 60 Volt pada waktu 120 detik, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 13. Pengujian dilakukan selama 160 detik.



Gambar 13. Hasil pengujian tegangan bervariasi

Gambar 13 menunjukkan bahwa tegangan output konverter dapat mengikuti tegangan referensi yang bervariasi. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem kendali tegangan output konverter boost dengan metode ANFIS telah sukses mengendalikan tegangan output konverter sesuai dengan nilai referensinya. Hasil ini menunjukkan bahwa model ANFIS yang diterapkan untuk kendali tegangan output konverter boost telah berhasil menentukan nilai duty cycle pulsa PWM untuk pengaturan tegangan konverter. Berdasarkan error tegangan output. Sebagaimana dijelaskan sebelumnya bahwa ANFIS yang digunakan memiliki input error tegangan dengan output duty cycle untuk pulsa PWM. Dengan mengatur duty cycle, maka lebar pulsa PWM juga akan terkendali sesuai dengan kebutuhan.

KESIMPULAN

Sistem kendali tegangan output converter boost dapat dilakukan dengan mengatur pulsa PWM yang akan memodulasi switch semikonduktor yang ada pada converter tersebut. Pengaturan pulsa PWM dapat dilakukan dengan mengatur nilai duty cycle. Penelitian ini mengusulkan metode ANFIS untuk pengendalian tegangan converter boost melalui pengaturan duty cycle pulsa PWM. Sistem kendali berbasis ANFIS diimplementasikan dengan controller Arduino mega 2560. Hasil pengujian menunjukkan bahwa system kendali tegangan converter boost yang diusulkan telah sukses mengendalikan tegangan converter, baik pada saat beban bervariasi atau pada saat tegangan referensi bervariasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. AlZawaideh and I. Boiko, "Analysis of a sliding mode boost converter under fluctuating input source voltage, using LPRS method," *Control Eng. Pract.*, vol. 92, no. February, p. 104132, 2019, doi: 10.1016/j.conengprac.2019.104132.
- [2] A. Ihsan and M. Yuhendri, "Rancang Bangun DC Chopper Satu Kuadran Berbasis Simulink Matlab," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 2, no. 2, pp. 175–181, 2021, doi: 10.24036/jtein.v2i2.160.
- [3] D. V. S. Reddy and S. Thangavel, "Review on power electronic boost converters," *Aust. J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 18, no. 3, pp. 127–137, 2021, doi: 10.1080/1448837X.2021.1935091.
- [4] M. I. Esario and M. Yuhendri, "Kendali Kecepatan Motor DC Menggunakan DC Chopper Satu Kuadran Berbasis Controller PI," *JTEV (Jurnal Tek. Elektro dan Vokasional)*, vol. 6, no. 1, p. 296, 2020, doi: 10.24036/jtev.v6i1.108005.
- [5] A. Binti Mahmor, N. Binti Md Posdzi, R. Binti Abdul Rani, P. Sultan Mizan Zainal Abidin, and N. Perak, "Design and develop a boost converter by using matlab simulink simulation," *Southeast Asian J. Technol. Sci.*, vol. 1, no. 2, pp. 48–53, 2020.
- [6] S. R. Rex and D. M. M. S. R. Praba, "Design of PWM with four transistor comparator for DC-DC boost converters," *Microprocess. Microsyst.*, vol. 72, 2020, doi: 10.1016/j.micpro.2019.07.003.
- [7] A. Anggawan and M. Yuhendri, "Kendali Tegangan Output Buck Converter Menggunakan Arduino Berbasis Simulink Matlab," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 2, no. 1, pp. 34–39, 2021, doi: 10.24036/jtein.v2i1.110.
- [8] S. W. Lee and H. L. Do, "High Step-Up Coupled-Inductor Cascade Boost DC-DC Converter with Lossless Passive Snubber," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 65, no. 10, pp. 7753–7761, 2018, doi: 10.1109/TIE.2018.2803731.
- [9] P. Elisa, A. Hashinta, S. Riyadi, L. H. Pratomo, and F. B. Setiawan, "Analisa Kinerja Boost Converter dan

- Cascaded Boost Converter pada Kondisi Tidak Ideal," *Cyclotron*, vol. 4, pp. 21–25, 2021.
- [10] M. Yuhendri and R. Setiawan, "Implementasi DC-DC Boost Converter Menggunakan Arduino Berbasis Simulink Matlab," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 1, no. 2, pp. 144–149, 2020, doi: 10.24036/jtein.v1i2.64.
- [11] A. Alfaris and M. Yuhendri, "Sistem Kendali dan Monitoring Boost Converter Berbasis GUI (graphical user interface) Matlab Menggunakan Arduino," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 1, no. 2, pp. 266–272, 2020, doi: 10.24036/jtein.v1i2.83.
- [12] G. Li, "A Novel Quadratic Boost Converter With Low Inductor Currents," *CPSS Trans. Power Electron. Appl.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–10, 2020, doi: 10.24295/cpsstpea.2020.00001.
- [13] S. A. Gorji, H. G. Sahebi, M. Movahed, and M. Ektesabi, "Multi-Input Boost DC-DC Converter with Continuous Input-Output Current for Renewable Energy Systems," *2019 IEEE 4th Int. Futur. Energy Electron. Conf. IFEEC 2019*, 2019, doi: 10.1109/IFEEC47410.2019.9014953.
- [14] W. Jiang, S. H. Chincholkar, and C. Y. Chan, "Investigation of a Voltage-Mode Controller for a dc-dc Multilevel Boost Converter," *IEEE Trans. Circuits Syst. II Express Briefs*, vol. 65, no. 7, pp. 908–912, 2018, doi: 10.1109/TCSII.2017.2723660.
- [15] M. Veerachary and P. Kumar, "Analysis and Design of Quasi-Z-Source Equivalent DC-DC Boost Converters," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 56, no. 6, pp. 6642–6656, 2020, doi: 10.1109/TIA.2020.3021372.
- [16] T. T. Arvianto, E. Wahjono, and I. Irianto, "Perancangan boost converter menggunakan kontrol proporsional integral (PI) sebagai suplai tegangan input inverter satu fasa untuk sistem uninterruptible power supply," *Tek. J. Sains dan Teknol.*, vol. 16, no. 2, p. 136, 2020, doi: 10.36055/tjst.v16i2.8511.
- [17] A. Taheri, A. Ghasemian, and H. P. Ren, "Sliding mode control of Boost converter with jump flow switched system," *J. Franklin Inst.*, vol. 357, no. 18, pp. 13734–13752, 2020, doi: 10.1016/j.franklin.2020.10.022.
- [18] M. Velani, K. Santoki, K. Khunt, and S. Pedhadiya, "Simulation of Fuzzy Logic Controller for Boost Converter in Renewable Energy and HVDC Application," *2019 3rd Int. Conf. Recent Dev. Control. Autom. Power Eng. RDCAPE 2019*, pp. 600–603, 2019, doi: 10.1109/RDCAPE47089.2019.8979127.
- [19] N. F. Nik Ismail, I. Musirin, R. Baharom, and D. Johari, "Fuzzy logic controller on DC/DC boost converter," *PECon2010 - 2010 IEEE Int. Conf. Power Energy*, pp. 661–666, 2010, doi: 10.1109/PECON.2010.5697663.
- [20] M. Yuhendri, I. Z. Candra, and C. Dewi, "Kendali Boost converter Berbasis Fuzzy sugeno," vol. 4, no. 1, pp. 50–59, 2023.
- [21] T. K. Nizami and A. Chakravarty, "Neural network integrated adaptive backstepping control of DC-DC boost converter," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 53, no. 1, pp. 549–554, 2020, doi: 10.1016/j.ifacol.2020.06.092.
- [22] B. S. Dhivya, V. Krishnan, and R. Ramaprabha, "Neural network controller for boost converter," *Proc. IEEE Int. Conf. Circuit, Power Comput. Technol. ICCPCT 2013*, pp. 246–251, 2013, doi: 10.1109/ICCPCT.2013.6529052.
- [23] M. R. Alfian, I. M. A. Nrartha, and T. Zubaidah, "ANFIS-based MPPT Controller Design on Boost Converter to Improve Photovoltaic System Performance," *Dielektrika*, vol. 9, no. 2, pp. 88–97, 2022, [Online]. Available: <http://dielektrika.unram.ac.id/index.php/dielektrika/article/view/310>
- [24] P. Cortés-Antonio *et al.*, "Learning rules for Sugeno ANFIS with parametric conjunction operations," *Appl. Soft Comput. J.*, vol. 89, p. 106095, 2020, doi: 10.1016/j.asoc.2020.106095.
- [25] L. Tightiz, M. A. Nasab, H. Yang, and A. Addeh, "An intelligent system based on optimized ANFIS and association rules for power transformer fault diagnosis," *ISA Trans.*, vol. 103, no. xxxx, pp. 63–74, 2020, doi: 10.1016/j.isatra.2020.03.022.
- [26] S. Senthilraja, R. Gangadevi, H. Köten, and R. Marimuthu, "Performance assessment of a solar powered hydrogen production system and its ANFIS model," *Heliyon*, vol. 6, no. 10, 2020, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e05271.