

Control of DC-DC Buck Converter Based on Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)

Muharani Syafitri^{1*}, Muldi Yuhendri²

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

*Corresponding Author, muharani.syafitri06@gmail.com

Received 2024-05-04; Revised 2024-09-02; Accepted 2024-10-11

Abstract

Various electrical equipment uses direct voltage (DC) as its power source, such as electronic equipment, dc motors and so on. Direct voltage (DC) used in electrical equipment usually consists of various voltage ratings ranging from 1.5 volts, 3 volts, 6 volts 12 volts and others. To get a direct voltage (DC) that suits the needs of the equipment, the direct voltage needs to be controlled. Direct voltage control is usually implemented using a power converter. In this research, the buck converter output voltage control based on Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) will be implemented using Arduino Atmega 2560. The buck converter output voltage control system made in this research will be tested through experiments with an input voltage of 24 Volts and a maximum output of 18 Volts. The experimental results show that the ANFIS-based buck converter output voltage control system has been able to control the buck converter output voltage according to the desired reference voltage value.

Keywords: Buck Converter ; ANFIS ; Voltage control ; Arduino

1. Introduction

Dalam kehidupan sehari-hari energi listrik merupakan sumber energi yang banyak dimanfaatkan oleh manusia. Beragam peralatan listrik dan elektronik menggunakan energi listrik sebagai sumber energi utamanya. Pembangkit tenaga listrik yang menghasilkan energi listrik harus memenuhi standar-standar kelistrikan yang dibutuhkan beban. Standar yang harus diperhatikan pada energi listrik yaitu tegangan dan frekuensi [1]. Untuk standar tegangan, terbagi menjadi dua jenis tegangan yaitu tegangan bolak-balik (AC) dan tegangan searah (DC) [2]. Berbagai peralatan listrik menggunakan tegangan searah (DC) sebagai sumber dayanya, seperti motor dc, peralatan elektronika dan lainnya. Tegangan DC dapat diperoleh dari berbagai macam penyedia listrik, seperti baterai, panel surya, fuel cell, termogenerator dan bisa juga dari tegangan AC yang disearahkan. Tegangan DC yang digunakan pada peralatan listrik biasanya terdiri dari berbagai rating tegangan. Untuk beberapa keperluan dibutuhkan sumber tegangan DC yang bervariasi sesuai dengan kebutuhan beban. Salah satu cara untuk mendapatkan tegangan DC yang sesuai dengan kebutuhan peralatan tersebut adalah dengan menggunakan konverter daya DC ke DC. Ada beberapa jenis konverter DC-DC yaitu penaik tegangan (boost converter), penurun tegangan (buck converter), penaik dan penurun tegangan (buck-boost converter) [3].

Dalam penelitian ini akan digunakan DC-DC konverter jenis buck converter. Buck converter merupakan konverter DC-DC yang berfungsi untuk menurunkan tegangan DC [4], konverter ini digunakan untuk mendapatkan tegangan DC output yang lebih kecil dari tegangan sumbernya. Buck converter tersusun dari MOSFET (saklar aktif) dan dioda (saklar pasif) [5]. Untuk mendapatkan tegangan output yang sesuai dengan kebutuhan peralatan maka buck converter perlu dikendalikan. Berbagai macam metode

pengendalian tegangan output buck converter telah dibahas oleh peneliti-peneliti sebelumnya, seperti penggunaan metode *controller PI* [6], *controller PID* [7], *Fuzzy logic* [8], dan lainnya. Setiap metode kendali memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Kontroler PI memiliki kemudahan dalam implementasi tetapi kurang handal dalam menghadapi dinamika perubahan beban [9]. Pada penelitian sebelumnya yaitu Implementasi Kendali Tegangan Output Buck Converter Berbasis Simulink Matlab, pada penelitian ini tidak menggunakan pengendalian untuk tegangan buck converter sehingga tidak dapat digunakan pada beban yang berbeda-beda [2]. Penelitian selanjutnya dengan judul Rancang Bangun Buck Converter dengan Kontrol PID Berbasis Mikrokontroler Arduino, pada penelitian ini buck converter menghasilkan tegangan output konstan sebesar 36 Volt [7].

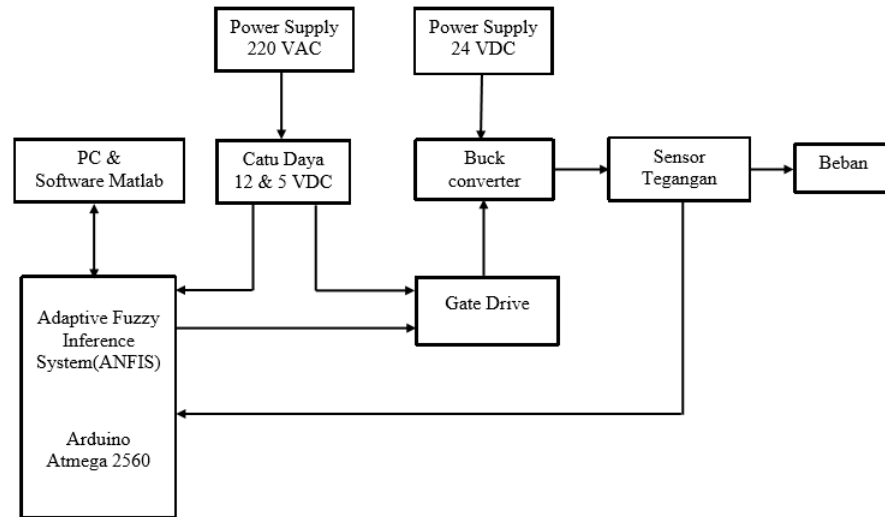
Pada penelitian yang diusulkan ini, pengendalian tegangan output *buck converter* akan dikendalikan menggunakan metode kecerdasan buatan yaitu *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS). ANFIS merupakan suatu sistem yang menggabungkan kemampuan jaringan syaraf tiruan dan logika fuzzy [10] [11]. Jaringan syaraf tiruan merupakan bagian dari sistem kecerdasan buatan, yang merupakan salah satu representasi buatan dari otak manusia yang selalu mencoba untuk mensimulasikan proses pembelajaran pada otak manusia [12]. Logika fuzzy adalah suatu cara untuk menggambarkan input ke dalam suatu output [13]. ANFIS merupakan jaringan adaptif yang berbasis pada sistem kesimpulan fuzzy. Dengan menggunakan prosedur hybrid learning, ANFIS dapat membangun suatu mapping input-output yang berdasarkan pada pengetahuan manusia (pada bentuk aturan fuzzy if-then) dengan fungsi keanggotaan yang tepat. ANFIS memanfaatkan kelebihan yang ada pada logika fuzzy dan jaringan syaraf tiruan menjadi satu kesatuan yang lebih kuat [10]. Pemilihan kendali ANFIS untuk pengendalian tegangan output buck converter diharapkan dapat menghasilkan tegangan output yang lebih valid dibandingkan dengan metode lainnya.

Buck converter dirancang dengan tegangan input 24 volt dan tegangan output maksimalnya sebesar 18 volt. Pengendalian tegangan *output buck converter* pada penelitian ini diimplementasikan dengan menggunakan Arduino Atmega 2560. Untuk pemograman kendali ANFIS akan dilakukan dengan menggunakan software simulink matlab. Pengujian sistem kendali tegangan output buck converter akan dilakukan dengan dua cara yaitu pengujian tanpa kontrol dan pengujian menggunakan kontrol. Pengujian menggunakan kontrol dilakukan dengan tegangan output yang bervariasi dan beban yang bervariasi. Penggunaan kendali ANFIS pada buck converter ini diharapkan dapat menghasilkan respon tegangan output yang lebih baik dibandingkan metode kendali lainnya.

2. Material and methods

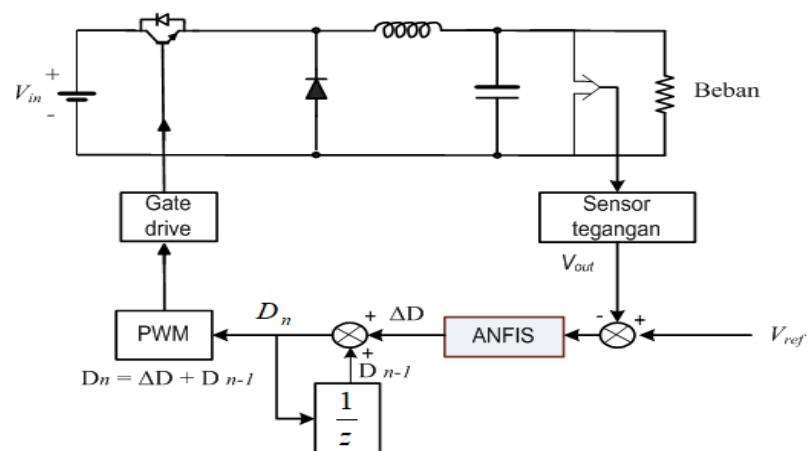
Penelitian ini dilakukan dalam bentuk eksperimen, menggunakan kendali *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) untuk mengendalikan tegangan keluaran *dari buck converter*. Pada penelitian ini *buck converter* dengan tegangan input 24 volt akan diturunkan tegangannya hingga menghasilkan tegangan output maksimal yaitu 18 volt. Buck converter ini bekerja dengan proses switching on dan off pada MOSFET berdasarkan nilai duty cycle [14]. Waktu on dan off sebuah semikonduktor pada PWM ditentukan oleh duty cycle, yaitu perbandingan waktu switch on dengan periode [15]. Perancangan sistem kendali tegangan *output buck converter* berbasis ANFIS yang diimplementasikan dengan Arduino Atmega 2560 yang berfungsi sebagai prosesor kerja utama pada rangkaian tersebut. Pada penelitian ini terdapat rangkaian gate drive sebagai penghubung antara rangkaian *buck converter* dengan arduino Atmega 2560. Rangkaian *buck converter* ini, juga dilengkapi dengan sensor tegangan pada sisi output

buck converter untuk mendapatkan data tegangan *output buck converter* yang nantinya berfungsi sebagai *feedback* untuk kendali ANFIS. Perancangan kendali tegangan *output buck converter* berbasis ANFIS dapat dipresentasikan dengan diagram blok yang ditunjukkan pada Gambar 1 berikut.



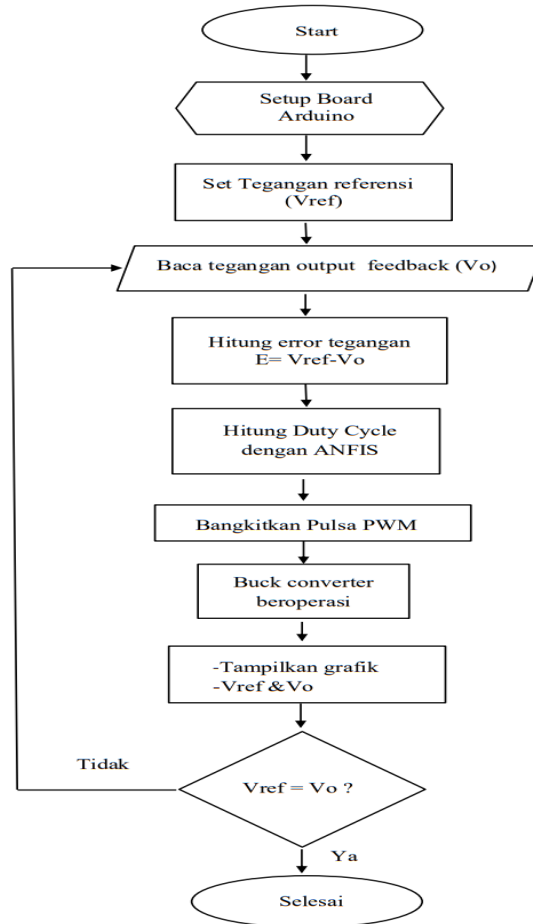
Gambar 1: Diagram blok

Gambar 1 di atas menunjukkan blok diagram sistem kendali tegangan *output buck converter* berbasis ANFIS. Prinsip kerja pengendalian tegangan *output buck converter* berbasis ANFIS dilakukan dengan mengatur pulsa PWM *switch* semikonduktor yang ada pada *buck converter*, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2 berikut. Input ANFIS adalah error tegangan, error tegangan ini merupakan selisih antara tegangan referensi dengan feedback tegangan output. Feedback tegangan output diperoleh dari sensor tegangan yang dipasang pada sisi output *buck converter*. Output ANFIS berupa nilai perubahan dut cycle, nilai duty cycle untuk pulsa PWM akan bertambah dan berkurang sesuai dengan error tegangan. Duty cycle akan menghasilkan pulsa PWM pada Arduino, pulsa PWM yang dihasilkan akan dinaikkan tegangannya melalui rangkaian gate drive sesuai dengan tegangan yang dibutuhkan untuk mengaktifkan MOSFET. Dengan begitu *buck converter* akan menghasilkan nilai tegangan yang sesuai dengan nilai tegangan referensi.



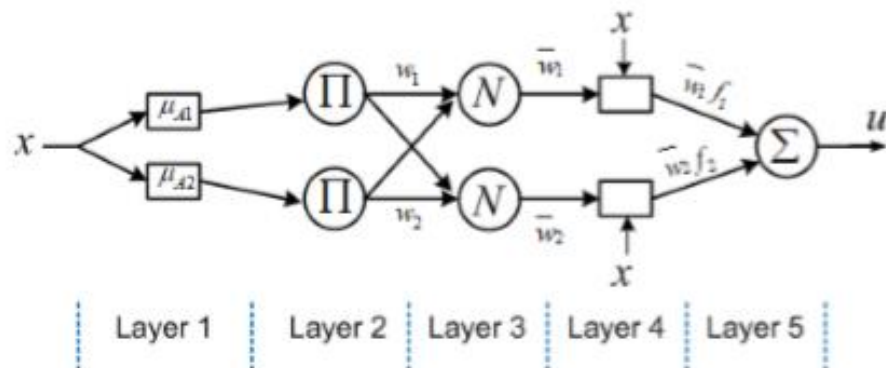
Gambar 2: Skema sistem kendali tegangan output buck converter dengan ANFIS

Diagram alir (flowchart) sistem kendali tegangan output buck converter berbasis ANFIS dapat dilihat pada gambar 3 berikut.



Gambar 3: Flowchart

Gambar 3 di atas merupakan flowchart dari sistem kendali tegangan output buck converter berbasis ANFIS. Pada penelitian ini menggunakan kendali ANFIS untuk mengatur pulsa PWM pada rangkaian buck converter. Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) merupakan suatu sistem yang menggabungkan kemampuan jaringan syaraf tiruan dan logika fuzzy [10]. Secara umum, struktur ANFIS terdiri dari lima lapis [16], seperti yang ditunjukkan pada gambar 4 berikut.



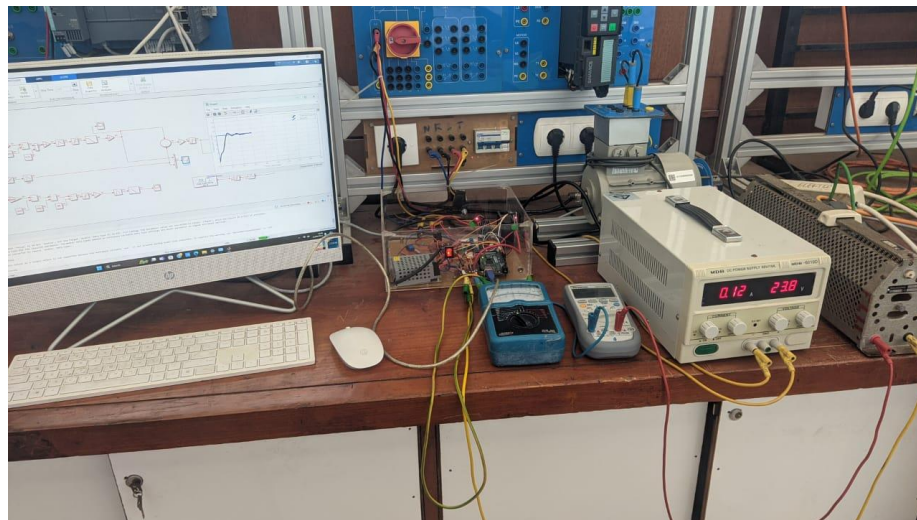
Gambar 4: Struktur ANFIS

Pada gambar 4 di atas terlihat bahwa struktur ANFIS dengan satu input dan satu output. Struktur ANFIS terdiri dari lima lapis dan setiap lapis memiliki fungsi yang berbeda-beda. Lapis pertama disebut dengan fuzzifikasi, output lapis pertama berupa derajat

keanggotaan dari fungsi keanggotaan fuzzy, yang dirumuskan dengan persamaan $O_{1,i} = \mu_{A_i}(x)$. Pada penelitian input ANFIS adalah error tegangan output buck converter. Pada lapis pertama ANFIS, data error tegangan di fuzzifikasi dengan dengan 25 fungsi keanggotaan dalam bentuk Gaussian. Parameter masing-masing fungsi keanggotaan pada pada penelitian ini akan dibangkitkan secara otomatis berdasarkan training data yang dilakukan dengan menggunakan toolbox ANFIS pada software matlab. Setelah output lapis pertama diperoleh, selanjutnya pada lapis kedua dilakukan proses implikasi fuzzy, lapis kedua ini merupakan hasil kali dari semua masukan yang ada pada lapis pertama. Output layer kedua dapat dirumuskan dengan persamaan $W_i = \mu_{A_i}(x) \cdot \mu_{A_n}(x)$. Pada lapis ketiga dilakukan normalisasi pembobot yang dirumuskan dengan persamaan $\bar{W}_i = \frac{W_i}{W_1 + W_2}$. Pada lapis keempat dilakukan perhitungan level output fuzzy dengan metode inferensi sugeno, yang dirumuskan dengan persamaan $\bar{W}_i f_i = \bar{W}_i (a_i x + c_i)$. Selanjutnya pada lapis kelima dilakukan defuzzifikasi untuk mendapatkan nilai output, nilai output dapat dihitung dengan persamaan $\sum_i \bar{W}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i}$.

3. Results and discussion

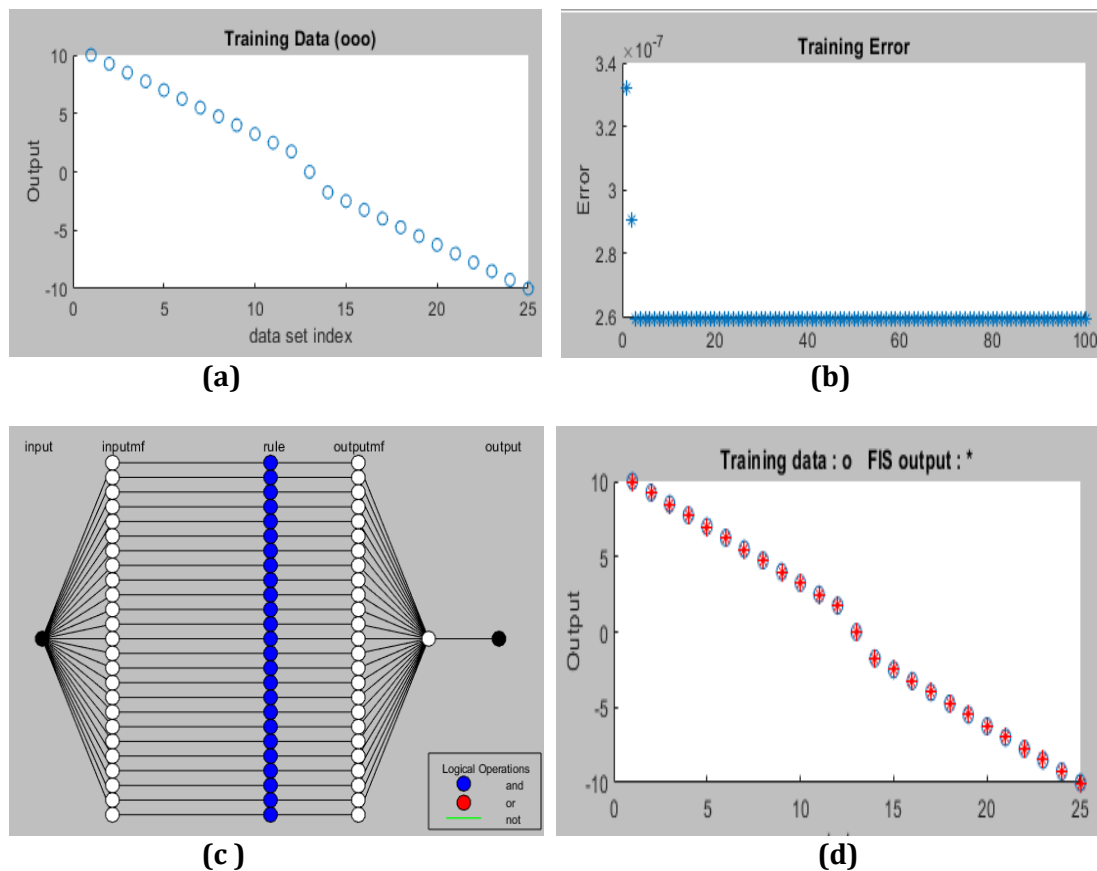
Setelah perancangan sistem kendali tegangan output selesai, langkah selanjutnya adalah pengujian. Pengujian dilakukan dengan menggunakan rangkaian buck converter, yang telah terhubung dengan beberapa komponen seperti pc (simulink matlab), volt meter, ampere meter, power supply dc, dan resistor variable. Rangkaian pengujian dapat dilihat pada gambar 5 berikut.



Gambar 5: Instalasi hardware pengujian buck converter

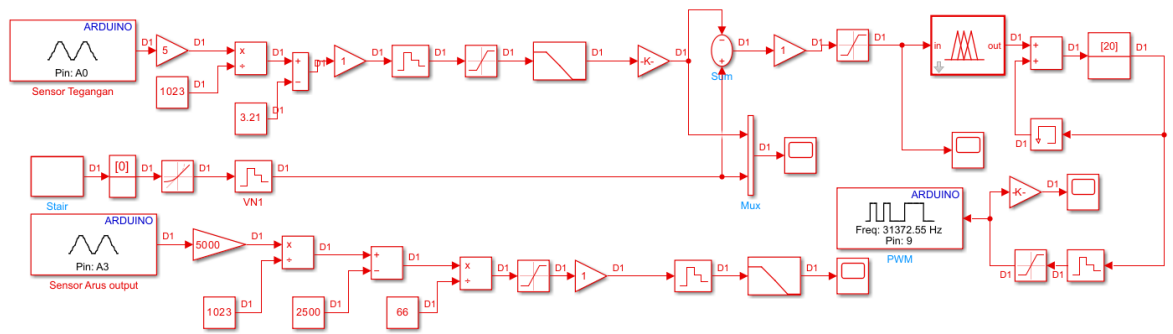
Gambar 5 di atas merupakan rangkaian alat untuk menguji tegangan output pada buck converter. Pengujian dilakukan dengan kendali ANFIS yang sudah di program pada software simulink matlab. Pada pengujian ini tegangan input pada buck converter adalah 24 volt. Pengujian dilakukan dengan beberapa percobaan, yakni pengujian tanpa kontrol dan pengujian menggunakan kontrol. Pengujian dengan menggunakan kontrol dilakukan dengan beberapa variasi, yakni pengujian tegangan referensi konstan dengan beban yang divariasikan dan pengujian beban konstan dengan tegangan referensi yang divariasikan. Pada pengujian ini sistem kendali ANFIS dikatakan valid jika tegangan output yang dihasilkan sudah sesuai dengan tegangan referensi. Sebelum dilakukan pengujian sistem kendali tegangan output buck converter berbasis ANFIS, terlebih dahulu dilakukan pembuatan model ANFIS menggunakan toolbox fuzzy logic yang ada pada software matlab. Model ANFIS ditraining dengan 25 pasang data, yang terdiri dari

data input yang berupa nilai error tegangan dan ouput yang berupa nilai perubahan duty cycle. Model ANFIS dikatkan valid jika nilai error training sudah tercapai. Training data ANFIS ditunjukkan pada gambar 6 berikut.



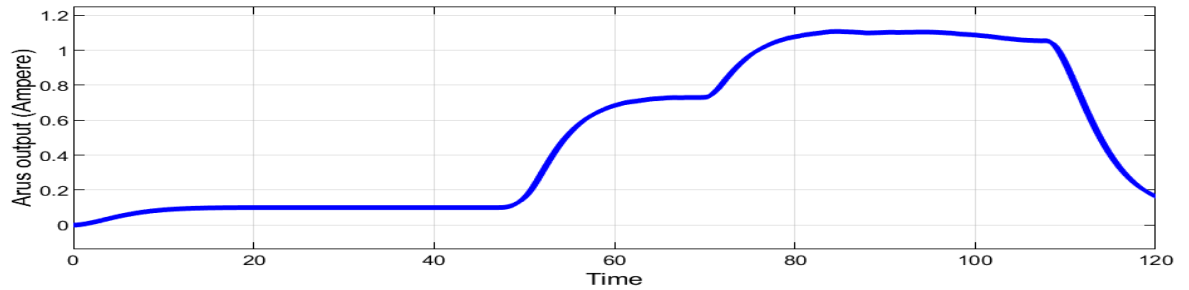
Gambar 6: (a) Training Data, (b) Training Error, (c) Struktur ANFIS Training Data, (d) Output training data

Gambar 6 merupakan hasil training data ANFIS. Gambar 6(a) menunjukkan data training yang digunakan. Gambar 6(b) menunjukkan error training data. Gambar 6(c) merupakan bentuk struktur ANFIS dari hasil training data, dan gambar 6 (d) menjukkan output target training data. Hasil pengujian model ANFIS menunjukkan bahwa ouput yang dihasilkan ANFIS sudah sesuai dengan data target output. Setelah model ANFIS valid, selanjutnya model ANFIS tersebut dimasukkan ke dalam program sistem kendali buck converter yang telah dibuat pada software simulink matlab. Program yang telah dibuat pada simulink tersebut akan diupload ke dalam board Arduino Atmega 2560 yang digunakan sebagai pusat kontrol dalam penelitian ini. Berikut ini merupakan program kendali tegangan ouput buck converter berbasis ANFIS yang telah dibuat pada simulink matlab.

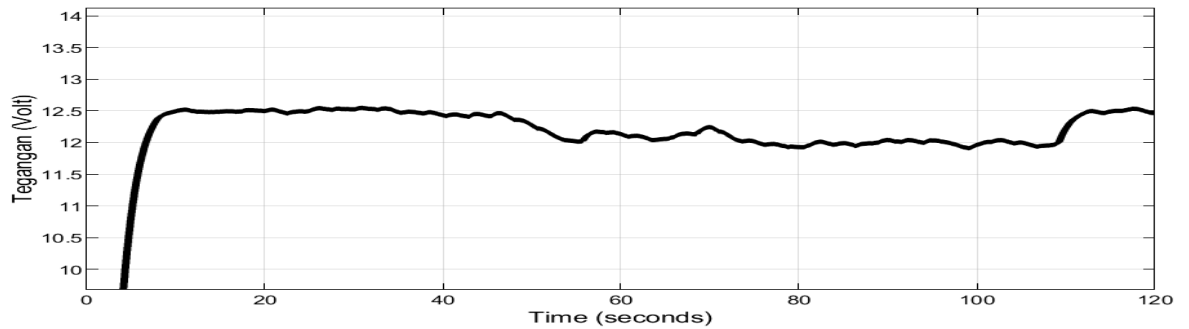


Gambar 7: Program sistem kendali tegangan buck converter berbasis ANFIS

Gambar 7 di atas merupakan program sistem kendali tegangan output buck converter berbasis ANFIS yang telah dibuat pada simulink matlab. Pengujian pertama adalah pengujian buck converter tanpa kontrol. Hasil pengujian buck converter tanpa kontrol dapat dilihat pada gambar berikut.

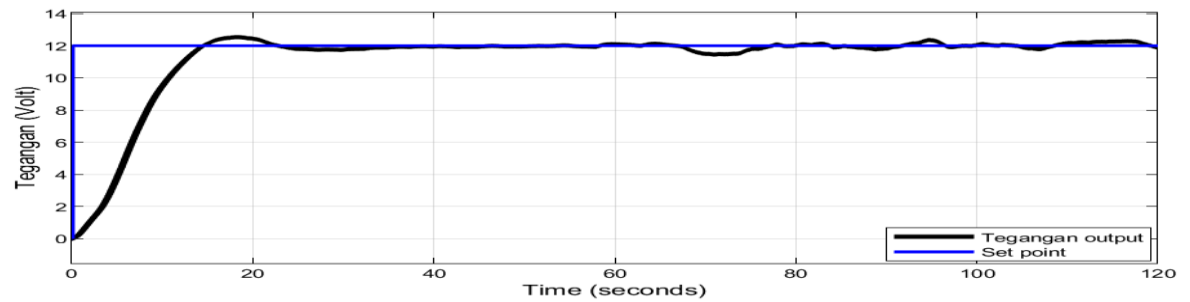


Gambar 8: Nilai arus tanpa kontrol

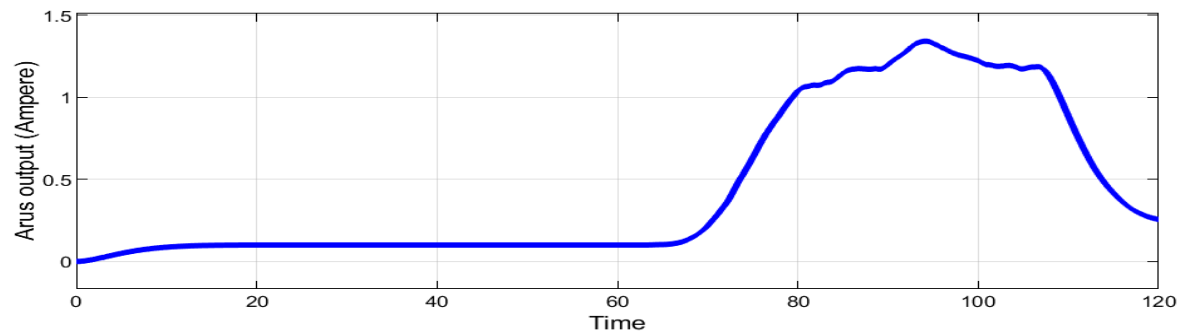


Gambar 9: Tegangan output buck converter tanpa kontrol

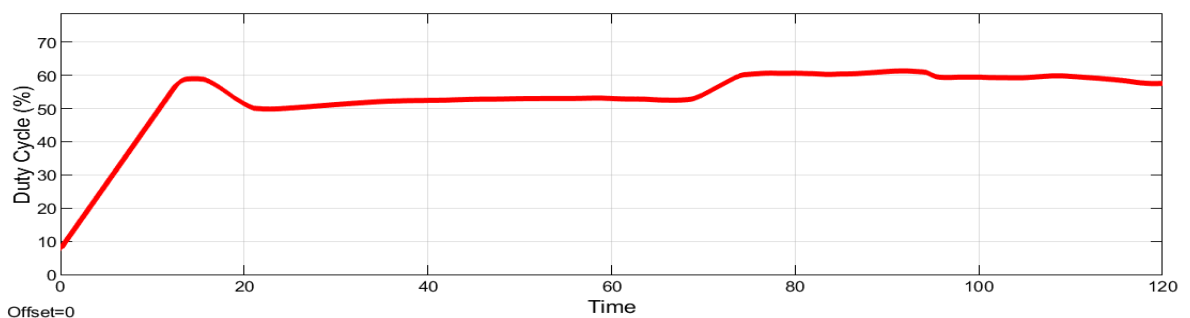
Gambar di atas adalah hasil pengujian tegangan output dan nilai arus buck converter tanpa kontrol. Pada gambar diatas dapat diketahui ketika arus dinaikkan maka nilai tegangan akan turun dan ketika arus diturunkan tegangan akan naik. Hal tersebut membuktikan bahwa rangkaian buck converter berjalan dengan baik dan telah sesuai dengan prinsip kerja pada buck converter, dimana semakin tinggi arus makan nilai tegangan akan menurun dan semakin rendah nilai arus maka nilai tegangan akan naik. Pengujian selanjutnya yaitu pengujian dengan menggunakan kontrol ANFIS. Pengujian dilakukan dengan tegangan referensi konstan sebesar 12 Volt seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10(a), sedangkan beban pada buck converter akan bervariasi mulai dari 0.2 A, dinaikkan hingga 1.4 A, dan diturunkan lagi menjadi 0.3 A, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10 (b).



(a)



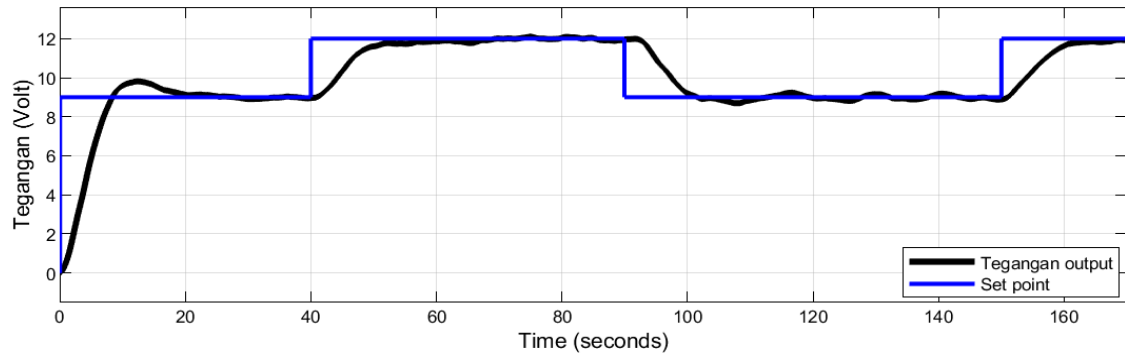
(b)



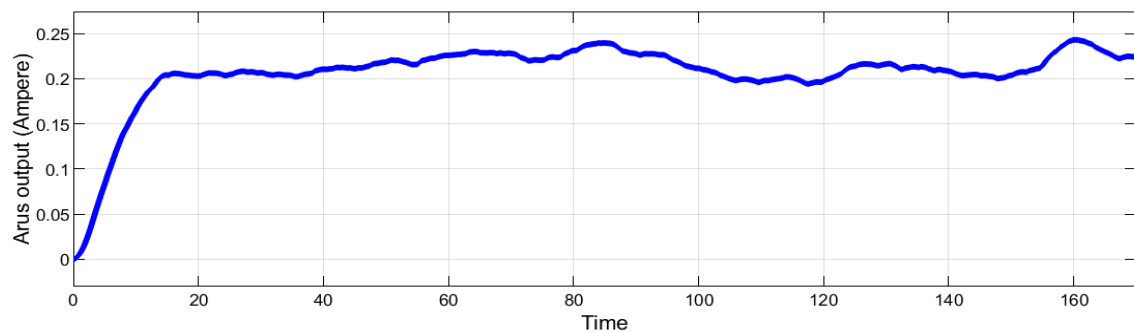
(c)

Gambar 10: Pengujian beban bervariasi, (a) Tegangan output buck converter, (b) Nilai arus, (c) Duty cycle

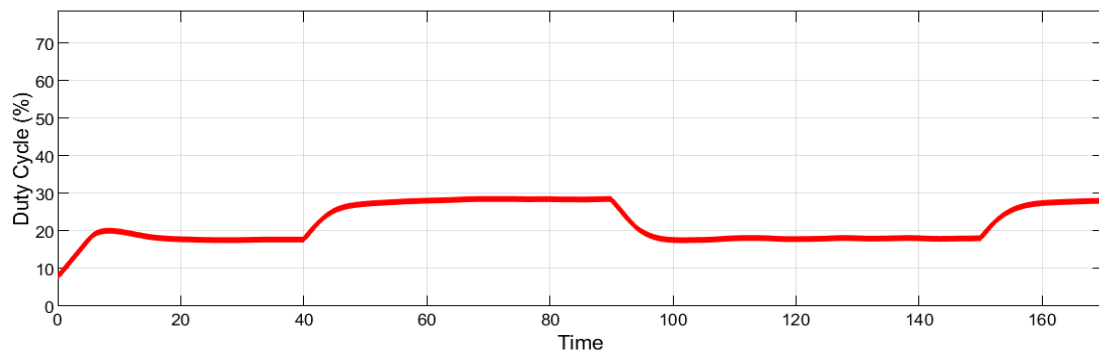
Gambar 10 diatas menunjukkan hasil pengujian buck converter ketika tegangan konstan dan beban divariasikan. Pada gambar diatas terlihat bahwa kendali tegangan output buck converter berbasis ANFIS telah berhasil mengendalikan tegangan output buck converter ,hal tersebut dibuktikan dari grafik tegangan output yang tetap bernilai konstan 12 V meskipun nilai beban divariasikan mulai dari 0.2 A, dinaikkan hingga 1.4A dan diturunkan lagi hingga 0.3 A. Selanjutnya sistem kendali tegangan buck converter berbasis ANFIS kan diuji dengan tegangan referensi yang divariasikan dan beban yang konstan. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar 11 berikut .



(a)



(b)



(c)

Gambar 11 : Hasil pengujian tegangan bervariasi, (a) Tegangan output buck converter, (b) Nilai arus, (c) Duty cycle

Gambar 11 menunjukkan hasil pengujian tegangan output buck converter ketika tegangan referensi divariasikan dan beban konstan. Tegangan referensi divariasikan mulai dari 9 V kemudian dinaikkan pada detik 40 menjadi 12 Volt, dan diturunkan menjadi 9 Volt pada detik 70 dan dinaikkan lagi menjadi 12 Volt pada detik 150. Gambar diatas menunjukkan bahwa tegangan output buck converter dapat mengikuti tegangan referensi yang bervariasi. Untuk nilai duty cycle juga telah berhasil menyesuaikan berdasarkan nilai tegangan referensi. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa sistem kendali tegangan output buck converter dengan kendali ANFIS telah sukses mengendalikan tegangan output buck converter sesuai dengan nilai tegangan referensinya.

4. Conclusion

Kendali tegangan output buck converter berbasis *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)* yang diimplementasikan dengan menggunakan Arduino Atmega 2560. Pada sistem kendali ini, *buck converter* dengan input 24 Volt menghasilkan tegangan output maksimal yaitu 18 Volt. Sistem kendali telah diuji dengan beberapa percobaan yaitu pengujian tanpa kontrol dan pengujian menggunakan kontrol. Pada pengujian menggunakan kontrol tegangan referensi dan beban pada buck converter akan divariasikan untuk melihat kehandalan sistem ANFIS dalam pengendalian tegangan *output buck converter*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem kendali tegangan *output buck converter* berbasis ANFIS telah sukses mengendalikan tegangan *converter*, baik pada waktu tegangan divariasikan atau pada saat beban divariasikan.

Author contribution

Muharani Syafitri berkontribusi dalam membuat program kendali *buck converter* berbasis ANFIS dan menyiapkan paper. Muldi Yuhendri sebagai pembimbing.

Funding statement

Penelitian ini didanai Universitas Negeri Padang melalui skema Penelitian Dasar Tahun 2024.

Acknowledgements

Author mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada Laboratorium konversi energi listrik Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang yang telah memfasilitasi penelitian ini.

References

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] S. Diusti Dwi Putri and Aswardi, "JTEV (JURNAL TEKNIK ELEKTRO DAN VOKASIONAL) Rancang Bangun Buck-Boost Converter menggunakan Kendali PID," *J. Tek. Elektro dan Vokasional*, vol. 6, no. 02, pp. 1–15, 2020, [Online]. Available: <http://ejournal.unp.ac.id/index.php/jtev/index>
- [4] A. Sukma, P. : Desain, D. Simulasi, A. S. Pratiwi, S. Dwitya Nugraha, and E. Sunarno, "Habibi, A. M. (2021). Rancang Bangun Autofeeder Dan Monitoring Kualitas Air Tambak Udang Vaname Di Ibad Banjar Kemuning Menggunakan Metode Naïve Bayes Berbasis Wireless Sensor Network (Doctoral Dissertation, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya).," *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf. /*, vol. 9, no. 3, pp. 305–310, 2020.
- [5] T. A. Krismadinata, "MSI Transaction on Education Rancang Bangun Instrumentasi Konverter Buck dengan Graphical User Interface MSI Transaction on Education monitoring menggunakan Visual Studio 2010 . Pengembangan penelitian ini terletak pada dan alat ukur . Penambahan LCD digu," vol. 03, no. 03, 2022.
- [6] A. F. Rifai, W. Purnomo, and R. E. Putri, "Rancang Bangun Dc To Dc Buck Converter

- Dengan Sistem Kendali Pi Pada Ni Elvis Ii Dan Antarmuka Berbasis Labview,” *JTT (Jurnal Teknol. Ter.*, vol. 7, no. 2, p. 129, 2021, doi: 10.31884/jtt.v7i2.333.
- [7] N. Fuada and I. Husnaini, “Rancang Bangun Buck Converter dengan Kontrol PID Berbasis Mikrokontroler Arduino,” vol. 4, no. 2, pp. 781–791, 2023.
- [8] A. S. Krismadinata, “MSI Transaction on Education Rancang Bangun Kendali Fuzzy Logic untuk Tegangan Keluaran Buck Converter MSI Transaction on Education,” vol. 4, no. 2, pp. 95–106, 2023.
- [9] M. Yuhendri, I. Z. Candra, and C. Dewi, “Kendali Boost converter Berbasis Fuzzy sugeno,” *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 4, no. 1, pp. 50–59, 2023.
- [10] H. D. Bhakti and H. Abror, “Aplikasi Adaptive Neuro Fuzzy System (ANFIS) Untuk Mem-prediksi Kebutuhan Gas Bumi Indonesia,” *JTIM J. Teknol. Inf. dan Multimed.*, vol. 4, no. 2, pp. 73–84, 2022, doi: 10.35746/jtim.v4i2.198.
- [11] A. B. Dewanto, R. Y. Bachtiar, F. Setiawan, N. Made, and O. Radha, “BEES : Bulletin of Electrical and Electronics Engineering Penerapan Kontroler ANFIS untuk Load Frequency Control,” vol. 3, no. 3, pp. 133–138, 2023.
- [12] F. Rohman, “Prediksi Beban Listrik Dengan Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan Metode Backpropagation,” *J. Surya Energy*, vol. 5, no. 2, pp. 55–60, 2022, doi: 10.32502/jse.v5i2.3092.
- [13] M. R. Hermawan and R. Alam, “Logika Fuzzy Mamdani untuk Mendukung Keputusan Pembelian Laptop Asus M409BA Berdasarkan Spesifikasi yang Tersedia,” *KLIK Kaji. Ilm. Inform. dan Komput.*, vol. 1, no. 3, pp. 99–103, 2020, [Online]. Available: <https://djournals.com/klik>
- [14] F. Alfian, I. Prasetya, W. Indrasari, and R. N. Setiadi, “Simulasi Rangkaian Dc-Dc Buck Converter Pada Sistem Penyimpanan Daya Listrik Panel Surya,” *Pros. Semin. Nas. Fis. Snf2022*, vol. 10, pp. 103–108, 2022, [Online]. Available: <http://journal.unj.ac.id/unj/index.php/prosidingsnf/article/view/23798/12312>
- [15] D. R. Brafianto, I. Wijono, and T. Nurwati, “Aplikasi kontrol fuzzy pada manajemen penyimpanan energi kendaraan listrik,” *Semin. Nas. Fortei7-3ISSN 2621-3540 Forum Pendidik. Tinggi Tek. Elektro Indones. Reg. VII*, pp. 267–272, 2021.
- [16] M. Z. Fikri and M. Yuhendri, “Kendali Tegangan Boost Converter Berbasis Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS),” vol. 4, no. 1, pp. 416–427, 2023.