

Kendali *Boost converter* Berbasis *Fuzzy sugeno*

Muldi Yuhendri¹, Irvan Zakaria Candra*)², Asnil³, Citra Dewi⁴

^{1,2,3,4} Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang, Indonesia

*)Corresponding author, irvanzakariacandr@gmail.com

| Abstrak | INFO. |
|---|---|
| <p>Beragam peralatan listrik menggunakan suplai tegangan searah untuk pengoperasiannya. Sumber tegangan tegangan searah ini bisa diperoleh dari baterai, panel surya dan sebagainya. Beragam rating tegangan searah yang digunakan oleh peralatan listrik. Untuk mendapatkan nilai tegangan yang lebih besar dari sumber, dapat digunakan konverter dc-dc <i>boost</i>. Untuk mendapatkan tegangan keluaran konverter <i>boost</i> yang sesuai kebutuhan, maka tegangan keluaran konverter <i>boost</i> tersebut perlu dikendalikan. Paper ini mengusulkan sistem pengendalian tegangan keluaran konverter <i>boost</i> menggunakan <i>fuzzy sugeno</i> yang diimplementasikan dengan Arduino Mega 2560. Sistem yang diusulkan diuji dan diverifikasi melalui eksperimen dengan tegangan input 12 Volt dan tegangan keluaran bervariasi dari 15 Volt sampai maksimal 24 Volt. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa sistem kendali tegangan keluaran konverter <i>boost</i> yang diusulkan menggunakan <i>fuzzy sugeno</i> telah sukses mengendalikan tegangan keluaran konverter <i>boost</i> sesuai dengan nilai referensinya. Hal ini dapat dilihat dari <i>error</i> tegangan keluaran yang dihasilkan maksimum hanya 0,31 volt yang diperoleh pada saat tegangan referensi 24 Volt.</p> | <p>Info. Artikel: No. 351 Received. January, 23, 2023 Revised. January, 27, 2023 Accepted. February, 01, 2023 Page. 50 – 59</p> <p>Kata kunci:</p> <ul style="list-style-type: none">✓ Fuzzy sugeno✓ Konverter boost✓ Kendali tegangan✓ Arduino✓ Matlab |
| <p>Abstract</p> <p><i>Various electrical equipment uses a direct voltage supply for its operation. This direct voltage source can be obtained from batteries, solar panels and so on. Various direct voltage ratings used by electrical equipment. To get a higher voltage value from the source, a dc-dc boost converter can be used. To get the boost converter output voltage as needed, the boost converter output voltage needs to be controlled. This paper proposes a boost converter output voltage control sistem using fuzzy sugeno which is implemented with Arduino Mega 2560. The proposed sistem is tested and verified through experiments with an input voltage of 12 Volts and an output voltage varying from 15 Volts to a maximum of 24 Volts. The experimental results show that the boost converter output voltage control sistem proposed using the Sugeno fuzzy has been successful in controlling the boost converter output voltage according to its reference value. This can be seen from the resulting maximum output voltage error of only 0.31 volts which is obtained when the reference voltage is 24 Volts.</i></p> | |

PENDAHULUAN

Beragam peralatan listrik menggunakan sumber tegangan searah / direct current (DC) sebagai sumber dayanya, seperti motor dc, peralatan elektronika dan sebagainya [1]. Tegangan DC ini dapat diperoleh dari berbagai macam penyedia daya listrik, seperti baterai, panel surya, fuel cell, termogenerator dan sebagainya [2]. Peralatan-peralatan listrik yang menggunakan tegangan DC ini memiliki standar tegangan yang beragam, mulai dari 1,5 Volt, 3 Volt, 4,5 Volt, 6 Volt, 9 Volt, 12 Volt, 60 Volt dan sebagainya [3][4]. Untuk beberapa keperluan, dibutuhkan sumber tegangan DC yang bervariasi, seperti untuk kendali motor listrik dan sebagainya. Untuk mendapatkan tegangan DC sesuai dengan standar tegangan yang dibutuhkan oleh peralatan, maka dibutuhkan sumber tegangan yang dapat menghasilkan tegangan sesuai dengan standar tegangan dari peralatan tersebut. Salah satu cara untuk mendapatkan tegangan DC yang sesuai dengan standar tegangan yang dibutuhkan oleh peralatan tersebut adalah dengan menggunakan konverter dc-dc, yaitu peralatan yang dapat menghasilkan tegangan keluaran lebih besar atau lebih kecil dari tegangan inputnya [5][6]. Beragam jenis konverter dc-dc yang telah dikembangkan, seperti Berdasarkan perbandingan nilai *input* dan

outputnya ada beberapa jenis konverter DC –DC, yaitu Buck converter yang menghasilkan tegangan keluaran lebih kecil dibandingkan tegangan masukan, Boost converter yang menghasilkan tegangan keluaran lebih besar dibandingkan tegangan masukan. Buck – Boost converter yang dapat menghasilkan tegangan keluaran lebih kecil dan lebih besar dari tegangan masukan dan SEPIC converter yang menghasilkan tegangan keluaran lebih kecil atau lebih besar dari tegangan masukan, tetapi polaritas tegangan keluaran berlawanan dengan polaritas tegangan masukan [7][8].

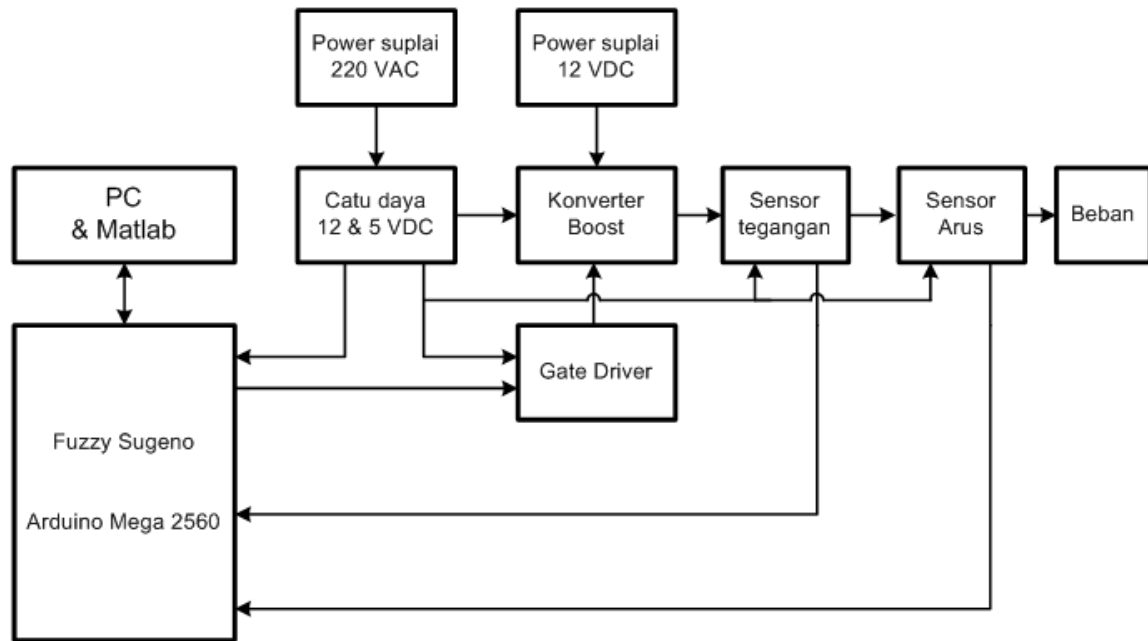
Untuk peralatan yang membutuhkan tegangan yang lebih besar dari tegangan yang disediakan sumber, maka dapat digunakan konverter boost. Tegangan keluaran konverter boost ini dapat dinaikkan atau dikendalikan dengan cara mengatur lebar pulsa modulasi switch power semikonduktor yang digunakan pada konverter tersebut [9]. Pengaturan lebar pulsa modulasi untuk power semikonduktor ini disebut juga dengan Pulse Width Modulation (PWM) [10][11]. Untuk mendapatkan tegangan yang sesuai dengan kebutuhan, maka tegangan keluaran boost ini harus dikendalikan melalui pengaturan PWM dari semikonduktor yang digunakan pada konverter tersebut. Beragam metode pengendalian tegangan keluaran boost telah dibahas oleh peneliti lain, seperti kendali tegangan keluaran konverter boost menggunakan metode controller PI [12][13][14][15], sliding mode control [7][16], Fuzzy logic controller [17] dan sebagainya. Setiap metode memiliki kelebihan dan kekurangan. Controller PI memiliki kelebihan mudah dalam implementasi tapi kurang handal dalam menghadapi dinamika perubahan beban [18], sebaliknya metode-metode berbasis kecerdasan buatan dapat meningkatkan kehandalan sistem dalam menghadapi dinamika perubahan beban. Berdasarkan kelebihan dan kekurangan masing-masing, maka dalam paper ini, diusulkan pengaturan tegangan keluaran konverter boost berbasis kecerdasan buatan dengan menggunakan fuzzy sugeno, yaitu suatu metode sistem inferensi fuzzy yang nilai outputnya berupa single tone [19]. Penggunaan metode fuzzy sugeno diharapkan dapat meningkatkan kehandalan sistem kendali yang dirancang dalam mengendalikan tegangan keluaran konverter boost. Sistem kendali tegangan keluaran konverter boost berbasis fuzzy sugeno ini diimplementasikan dengan Arduino mega 2560.

METODE PENELITIAN

Penelitian tentang sistem kendali tegangan keluaran konverter boost berbasis fuzzy sugeno ini dilakukan dalam bentuk eksperimen. Sistem kendali akan diterapkan pada konverter boost dengan input 12 Volt dan tegangan keluaran maksimal 24 Volt. Sistem kendali tegangan keluaran konverter boost berbasis fuzzy sugeno yang diusulkan diimplementasikan dengan menggunakan mikrokontroler Arduino mega 2560. Arduino akan diprogram dengan menggunakan Simulink matlab yang memungkinkan pembuatan fuzzy sugeno dengan menggunakan fuzzy toolbox yang ada pada Matlab. Simulink merupakan sebuah modul dari matlab yang biasa digunakan untuk mensimulasikan sistem dinamik dengan cara grafis berbentuk digram blok, sistem dinamik dapat dimodelkan dengan diagram blok sistem sinyal, summing junction, block gain, source dan sink. Simulink matlab telah menyediakan komponen untuk mempermudah dalam mendesain tampilan program [8]. Tampilan di dalam Simulink Matlab dapat diatur dengan cara mengambil tools yang akan dipakai pada form yang sudah tersedia. Rancangan kendali tegangan konverter boost menggunakan fuzzy sugeno yang diusulkan dalam penelitian ini dapat dilihat pada blok diagram dalam Gambar 1.

Gambar 1 menunjukkan blok diagram sistem kendali tegangan keluaran konverter boost berbasis fuzzy sugeno menggunakan Arduino Mega 2560. Sistem kendali yang diusulkan terdiri dari board Arduino mega 2560 yang berfungsi sebagai pusat kontrol dan pengolah data, rangkaian konverter boost, rangkaian driver gate sebagai perantara antara pin PWM Arduino dengan pin gate semikonduktor yang ada pada konverter, rangkaian catu daya tegangan DC 12 dan 5 Volt sebagai sumber suplai tegangan untuk Arduino, driver gate dan beban. Sistem juga dilengkapi dengan sensor arus dan sensor tegangan yang berfungsi untuk mendapatkan data tegangan dan arus keluaran inverter yang akan dikendalikan. Nilai tegangan dari sensor ini akan dijadikan sinyal feedback sistem kendali dalam mengendalikan tegangan keluaran konverter. Mikrokontroler Arduino mega 2560 ini dilengkapi dengan pin input analog sebagai terminal untuk sensor tegangan dan arus dan pin PWM untuk pulsa modulasi konverter boost [20]. Mikrokontroler Arduino Mega 2560 yang digunakan dalam penelitian ini akan diprogram

dengan software Matlab, dimana sistem kendali tegangan berbasis *fuzzy sugeno* ini akan dibuat dalam Simulink matlab, sedangkan model *fuzzy sugeno* dibuat dengan menggunakan *fuzzy logic toolbox* yang ada dalam matlab. *Fuzzy logic toolbox* ini kompatibel dengan Simulink matlab sebagai media pembuatan sistem kendali. Selain sebagai tempat pembuatan sistem kendali, penggunaan Simulink matlab untuk Arduino ini juga dapat difungsikan sebagai tempat menampilkan data yang diinginkan, seperti data tegangan yang diperoleh dari sensor [21]. Data dalam Simulink matlab ini dapat ditampilkan dengan mudah dalam bentuk angka ataupun grafik dengan bantuan blok blok yang ada dalam library Simulink Matlab. Untuk menghubungkan Arduino dengan Simulink matlab, maka pada software matlab tersebut ditambahkan *Simulink support for Arduino hardware* [8].

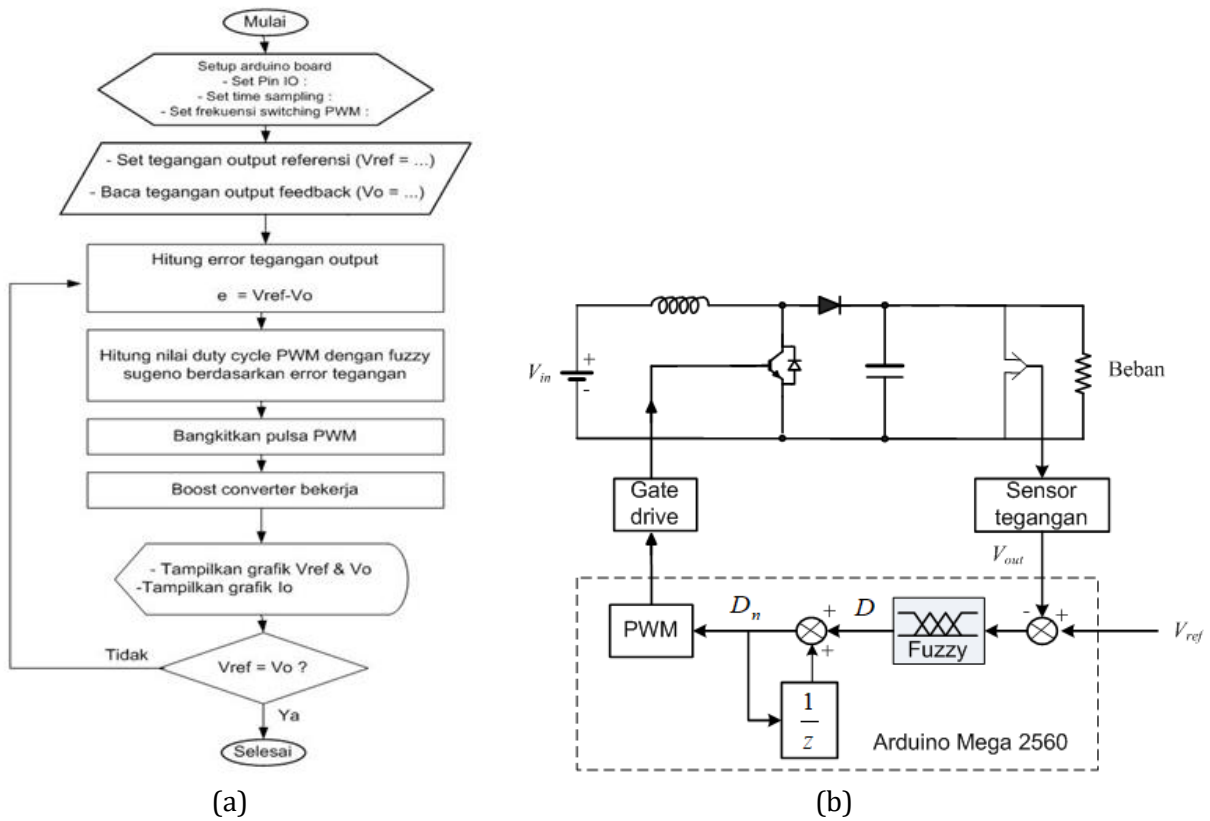


Gambar 1. Blok diagram kendali tegangan keluaran konverter *boost* dengan *fuzzy sugeno*

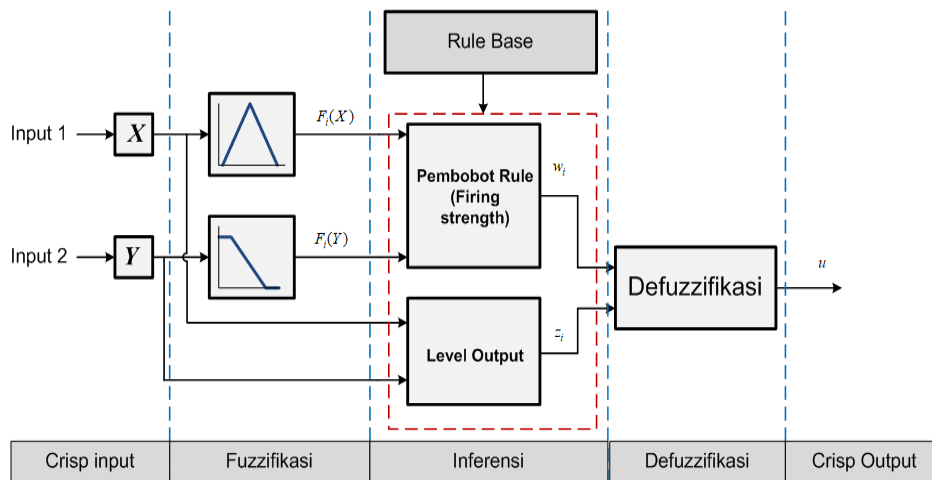
Pengaturan tegangan keluaran konverter *boost* berbasis *fuzzy sugeno* dilakukan dengan mengatur pulsa modulasi switch konverter melalui pengaturan *duty cycle* dari PWM yang akan memodulasi *switch* konverter. Proses pengaturan tegangan keluaran konverter *boost* dengan *fuzzy sugeno* ditunjukkan oleh diagram alir yang ada dalam Gambar 2(a). Dalam sistem kendali ini, *Fuzzy sugeno* digunakan untuk menentukan nilai *duty cycle* PWM berdasarkan *error* tegangan keluaran, dimana nilai *error* tegangan tersebut diperoleh dari perbandingan nilai tegangan referensi dengan nilai feedback tegangan dari sensor tegangan, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2(b).

Gambar 2(b) menunjukkan bahwa *fuzzy sugeno* yang digunakan dalam penelitian ini memiliki satu input yaitu *error* tegangan keluaran konverter *boost* dan satu output yaitu nilai *duty cycle* (D) untuk pulsa PWM. *Fuzzy sugeno* akan menentukan nilai D berdasarkan nilai *error* tegangan. Proses penentuan nilai output pada *fuzzy sugeno* melalui tiga tahapan, yakni fuzzifikasi, inferensi dan defuzzifikasi, seperti yang ditunjukkan oleh struktur *fuzzy sugeno* pada Gambar 3.

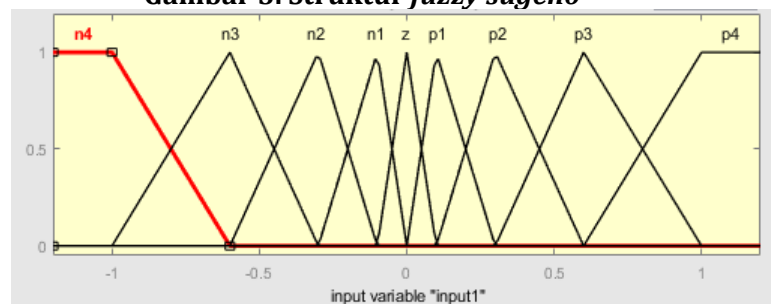
Pada bagian fuzzifikasi dilakukan konversi data crisp input dan output menjadi variabel linguistik melalui fungsi keanggotaan fuzzy. *Fuzzy sugeno* yang dibuat dalam penelitian ini memiliki satu input, yaitu *error* tegangan konverter *boost*. *Error* tegangan keluaran konverter *boost* ini dipresentasikan dengan sembilan fungsi keanggotaan fuzzy yang terdiri dari tujuh fungsi keanggotaan dalam bentuk segitiga dan dua fungsi keanggotaan dalam bentuk trapesium, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.



Gambar 2. Sistem kendali konverter *boost* berbasis *fuzzy sugeno* (a). diagram alir, (b) skema sistem kendali berbasis *fuzzy sugeno*



Gambar 3. Struktur *fuzzy sugeno*



Gambar 4. Fungsi keanggotaan input *Fuzzy sugeno*

Fuzzy sugeno yang dirancang dalam penelitian ini memiliki satu output, yaitu nilai duty cycle untuk PWM switch konverter *boost*. Untuk fungsi keanggotaan output *fuzzy sugeno* dipresentasikan dengan single tone dengan nilai seperti yang diuraikan dalam Tabel 1, dimana dalam penelitian ini ada sembilan single tone yang digunakan untuk mempresentasikan nilai duty cycle sebagai fungsi keanggotaan output fuzzy. Setiap single tone dipresentasikan dengan variable linguistic dengan nilai tertentu. Tabel 1 menunjukkan ada sembilan single tone output fuzzy dengan rentang nilai -5 sampai 5 dengan variable linguistic O1 sampai dengan O9.

Tabel 1. Fungsi keanggotaan output

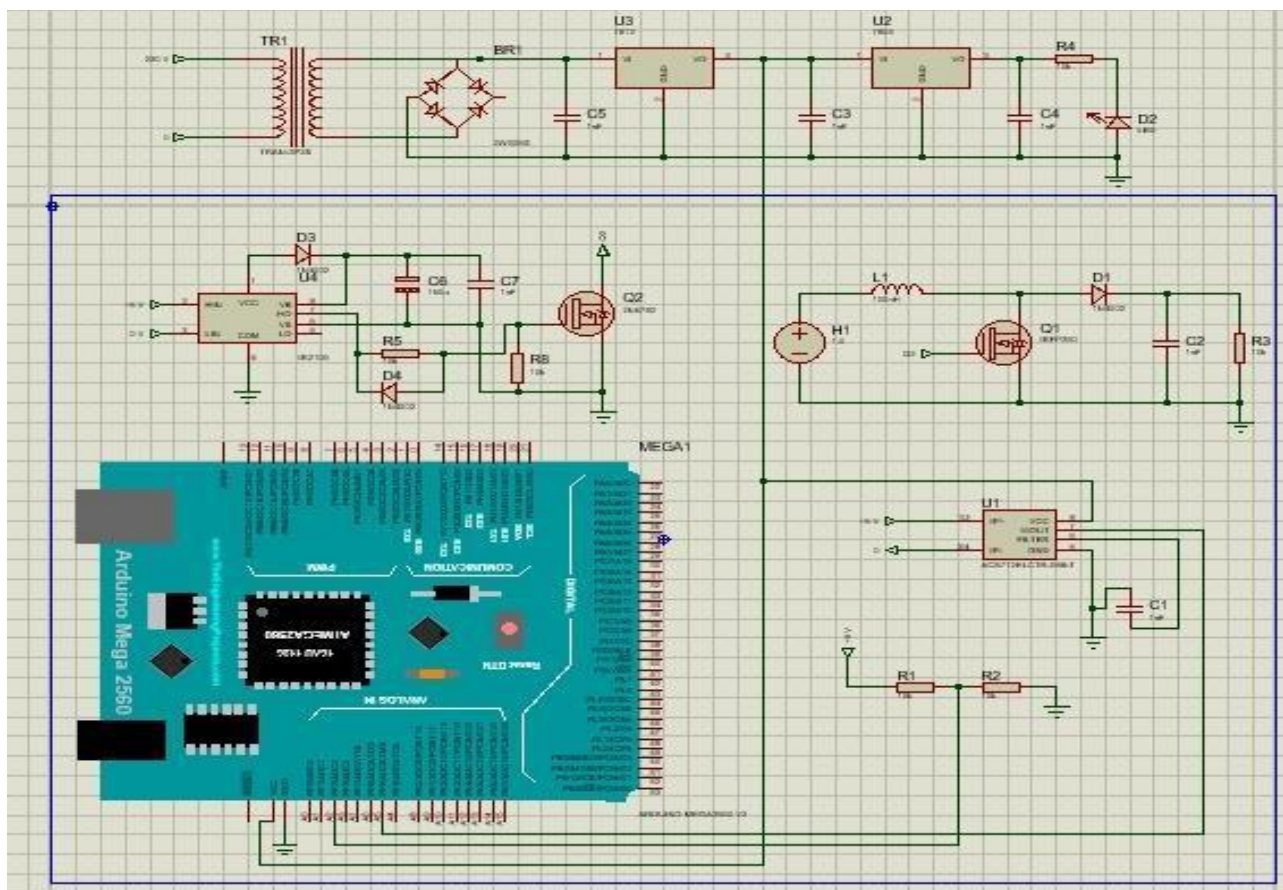
| variabel | simbol | nilai |
|----------|--------|-------|
| Output 1 | O1 | -5 |
| Output 2 | O2 | -1 |
| Output 3 | O3 | -0.5 |
| Output 4 | O4 | -0.05 |
| Output 5 | O5 | 0 |
| Output 6 | O6 | 0.05 |
| Output 7 | O7 | 0.5 |
| Output 8 | O8 | 1 |
| Output 9 | O9 | 5 |

Selanjutnya pada proses inferensi dilakukan penentuan nilai output berdasarkan rule base yang ada. Level nilai output *fuzzy sugeno* ini akan ditentukan oleh aturan yang ada dalam rule base dan pembobotan dari rule tersebut. Ada Sembilan aturan yang dibuat dalam rule base untuk *fuzzy sugeno* yang digunakan dalam penelitian ini, seperti yang diuraikan dalam Tabel 2. Setelah proses inferensi, selanjutnya dilakukan proses defuzzifikasi, yaitu proses konversi nilai output dalam bentuk linguistic (O1 sampai O9) menjadi data numerik untuk nilai Duty cycle. Nilai duty cycle dari output *fuzzy sugeno* ini akan dikonversikan menjadi pulsa PWM (*Pulse Width Modulation*) melalui pin PWM yang ada pada Arduino mega 2560 dengan frekuensi switching yang tinggi sesuai dengan frekuensi yang dibutuhkan untuk modulasi switch konverter *boost*.

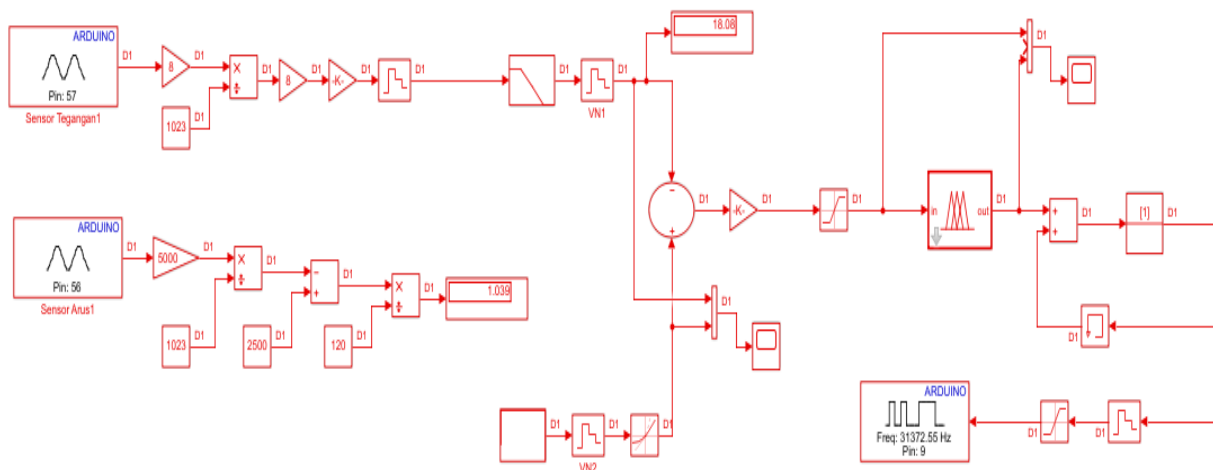
Tabel 2. Rule base

| Input | Output |
|-------|--------|
| N4 | O1 |
| N3 | O2 |
| N2 | O3 |
| N1 | O4 |
| Z | O5 |
| P1 | O6 |
| P2 | O7 |
| P3 | O8 |
| P4 | O9 |

Pulsa PWM yang dihasilkan oleh pin arduino ini akan memodulasi switch konverter *boost* yang sudah diperkuat oleh rangkaian gate drive. Rangkaian gate drive yang dipakai dalam penelitian ini menggunakan IC IR2110, sedangkan switch power semikonduktor yang dipakai untuk konverter *boost* adalah MOSFET, seperti yang ditunjukkan oleh skema rangkaian hardware yang ada dalam Gambar 4. Rangkaian hardware ini juga dilengkapi oleh rangkaian catu daya 5 volt dan 12 volt, sensor arus dan sensor tegangan sebagai input Arduino, Input Arduino yang digunakan terdiri dari dua pin analog untuk sensor arus dan sensor tegangan, sedangkan output Arduino menggunakan pin PWM sebagai konektor untuk membangkitkan pulsa PWM yang disalurkan ke rangkaian gate drive.



Gambar 5. Skema rangkaian hardware



Gambar 6. Program sistem kendali tegangan konverter *boost* berbasis fuzzy sugeno

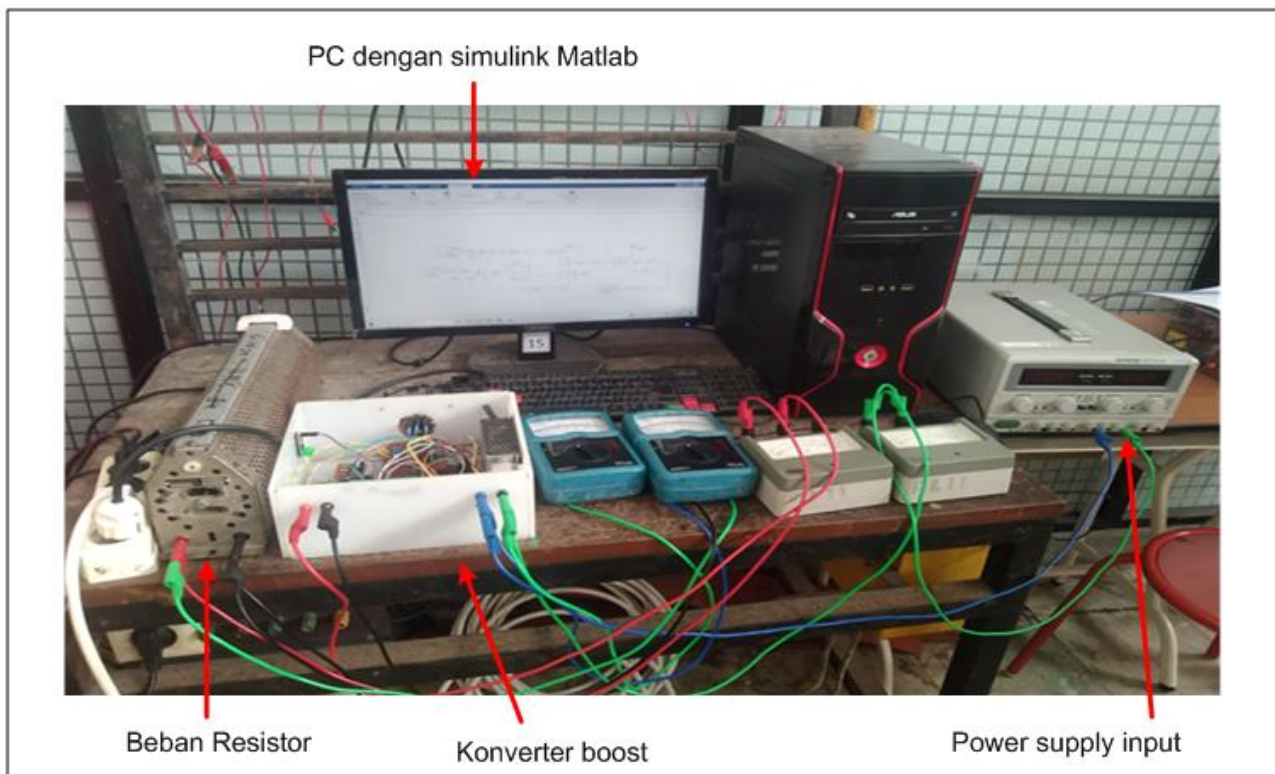
Arduino Mega 2560 yang digunakan sebagai pusat controller dan pengolah data dalam penelitian ini diprogram dengan simulink Matlab. Program yang dibuat merupakan program sistem kendali MPPT berbasis FLC. Gambar 6 menunjukkan blok program sistem kendali tegangan keluaran konverter *boost* berbasis *fuzzy sugeno* yang dibuat dalam simulink Matlab. Program yang dibuat dalam Simulink matlab terdiri dari dua blok pin input analog untuk sensor arus dan tegangan dan satu blok pin output untuk pulsa PWM. Keluaran pin *analog input* divalidasi untuk mendapatkan nilai arus dan tegangan yang sesuai dengan nilai realnya dan ditambahkan ditambahkan filter *low pass* untuk mendapatkan nilai

sinyal tegangan dan arus yang lebih presisi. Untuk nilai tegangan referensi dibuat dari blok konstanta yang ada dalam Simulink. Selanjutnya nilai tegangan referensi ini dibandingkan dengan nilai tegangan dari output converter dan *error* yang dihasilkan dijadikan input untuk *Fuzzy sugeno*. *Output* dari *Fuzzy sugeno* merupakan nilai *duty cycle*. Nilai *duty cycle* yang baru diperoleh dari penambahan nilai dari *cycle* dengan nilai *duty cycle* sebelumnya. Selanjutnya nilai *duty cycle* yang baru dijadikan *input* blok pin PWM yang akan menghasilkan pulsa PWM untuk modulasi konverter *boost*. Berdasarkan prinsip ini maka konverter akan bekerja mengatur tegangan keluaran sesuai dengan tegangan referensi yang dibuat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

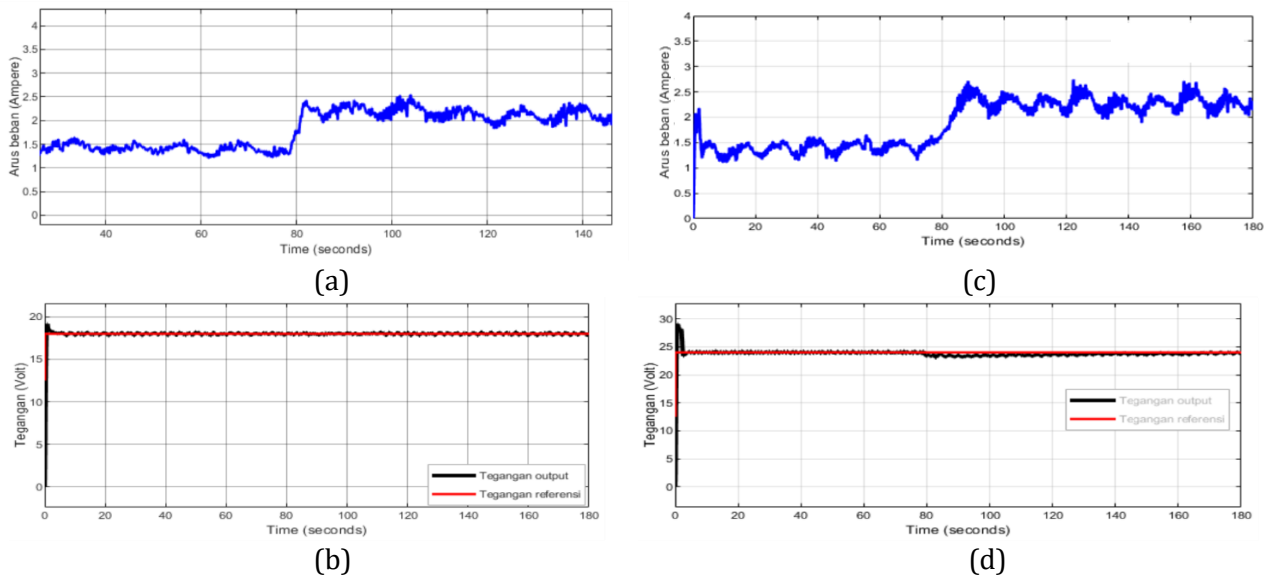
Sistem kendali tegangan keluaran konverter *boost* berbasis *fuzzy sugeno* yang dirancang dalam penelitian ini diuji dengan berbagai percobaan, yakni pengujian tegangan konstan dengan beban bervariasi dan pengujian beban konstan dengan tegangan bervariasi. Sistem kendali tegangan keluaran konverter *boost* berbasis *fuzzy sugeno* dikatakan valid jika tegangan keluaran yang dihasilkan konverter sudah sesuai dengan nilai tegangan referensi. Dalam pengujian, konverter *boost* dirangkai dengan beban berupa resistor variabel, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 7. Dalam pengujian ini, konverter *boost* diberi tegangan input sebesar 12 Volt yang diambil dari power suplai DC, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 7.

Sebelum pengujian sistem kendali tegangan keluaran, sebelumnya dilakukan validasi nilai tegangan dan arus yang diinputkan pada Arduino, dimana data tegangan dan arus ini ditampilkan dalam Simulink matlab. Validasi dilakukan dengan membandingkan nilai tegangan dan arus yang terbaca dalam Simulink Matlab dengan nilai arus dan tegangan yang terbaca oleh alat ukur. Setelah nilai tegangan dan arus dalam Simulink matlab dinyatakan valid dan sama dengan nilai tegangan dan arus pada alat ukur, selanjutnya baru dilakukan pengujian sistem kendali tegangan konverter *boost* berbasis *fuzzy sugeno*.



Gambar 7 . Instalasi hardware pengujian konverter *boost*

Pengujian pertama dilakukan dengan perlakuan tegangan referensi konstan dan beban dibuat bervariasi. Tahap pertama, tegangan referensi dibuat konstan sebesar 18 Volt, sedangkan tahap kedua tegangan referensi dibuat konstan 24 Volt. Pada setiap tahap, arus beban divariasikan dari 1,5 Ampere menjadi 2 Ampere. Hasil pengujian pertama ini ditunjukkan oleh Gambar 8.

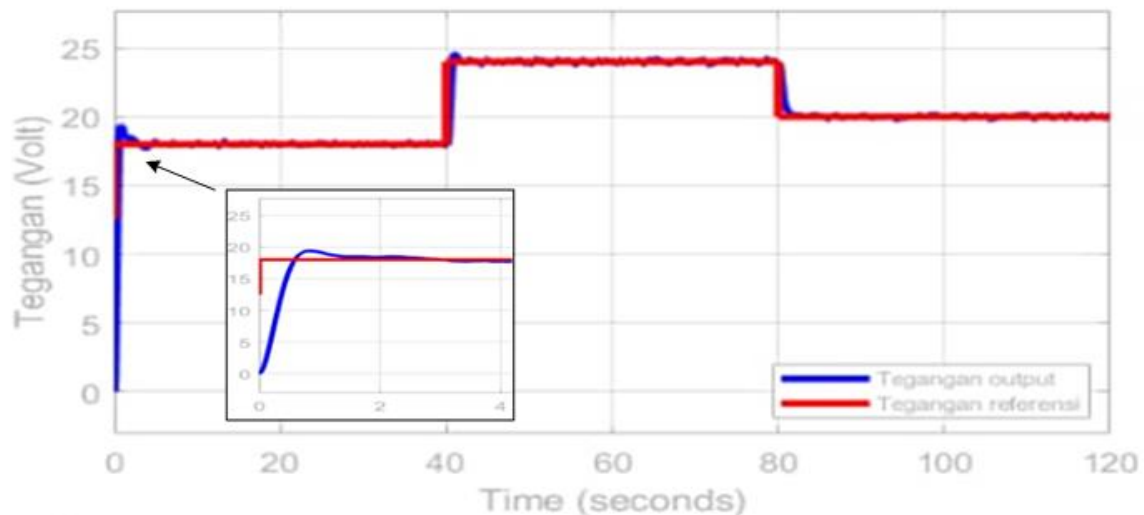


Gambar 8. Pengujian beban bervariasi (a) arus beban pada tegangan 18 Volt, (b) tegangan 18 Volt, (c) arus beban pada tegangan 18 Volt, dan (d) Grafik tegangan 24 Volt

Gambar 8(a) menunjukkan grafik arus beban pada saat tegangan referensi dibuat sebesar 18 Volt, dimana pada kondisi awal arus beban dibuat sebesar 1,5 Ampere, kemudian pada waktu 80 detik arus beban dinaikan menjadi 2 Ampere. Gambar 8(b) menunjukkan grafik tegangan keluaran converter sama nilainya dengan tegangan referensi. Hal ini menunjukkan bahwa desain sistem kendali tegangan keluaran konverter *boost* berbasis *fuzzy sugeno* telah sukses mengendalikan tegangan keluaran sesuai dengan nilai tegangan referensi. Hasil ini juga menunjukkan bahwa sistem kendali tegangan konverter *boost* berbasis *fuzzy sugeno* juga telah sukses mengendalikan tegangan sesuai dengan nilai set point referensi walaupun bebannya berubah-ubah. Pada konverter yang tidak dikendalikan, tegangan keluaran akan turun jika beban dinaikan. Sebaliknya, ketika diterapkan sistem kendali tegangan keluaran berbasis *fuzzy sugeno* maka tegangan keluaran dapat dipertahankan tetap pada nilai referensi. Hasil yang sama juga dapat diperoleh ketika tegangan referensi dinaikan menjadi 24 Volt, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 8(d), dimana tegangan keluaran tetap konstan sebesar 24 Volt sesuai nilai referensi walaupun beban dinaikan dari 1,5 Ampere menjadi 2 Ampere pada waktu 80 detik, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 8(c). Hasil ini menunjukkan bahwa *fuzzy sugeno* yang dirancang untuk sistem kendali tegangan keluaran konverter *boost* telah sukses mengendalikan tegangan keluaran konverter *boost* dalam berbagai variasi. Rancangan *fuzzy sugeno* dengan kambilan fungsi keanggotaan input dan Sembilan fungsi keanggotaan output telah memberikan aksi control yang bagus dalam mengendalikan tegangan keluaran konverter *boost* dalam berbagai variasi percobaan. Hasil ini juga menginformasikan bahwa *fuzzy sugeno* dapat memberikan aksi control yang handal dalam menghadapi dinamika perubahan parameter [17].

Setelah pengujian dengan beban yang bervariasi, selanjutnya dilakukan pengujian sistem kendali tegangan keluaran konverter *boost* dengan tegangan yang bervariasi. Dalam pengujian yang kedua ini, beban converter dibuat konstan sebesar 1 Ampere, sedangkan tegangan referensi converter dibuat bervariasi mulai 18 Volt pada kondisi awal kemudian berubah naik menjadi 24 Volt pada waktu 40 detik dan kemudian turun menjadi 20 Volt pada waktu 80 detik, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 9. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tegangan keluaran konverter dapat mengikuti perubahan tegangan referensi setiap saat dengan *error* pada kondisi tunak maksimal hanya 0,31 Volt yang

diperoleh saat tegangan referensi sebesar 24 Volt. Pada saat tegangan referensi 18 Volt diperoleh tegangan keluaran sebesar 18, 21 Volt dengan *error* 0,21 Volt pada kondisi tunak. Pada saat tegangan referensi 24 Volt diperoleh tegangan keluaran sebesar 24, 31 Volt dengan *error* 0,31 Volt. Sebaliknya, ketika tegangan referensi 20 Volt diperoleh tegangan keluaran sebesar 20, 18 Volt dengan *error* 0,18 Volt. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem kendali tegangan konverter *boost* berbasis *fuzzy sugeno* telah sukses mengendalikan tegangan keluaran converter dalam berbagai variasi tegangan.



Gambar 9. Grafik tegangan dengan tegangan referensi bervariasi

Gambar 9 juga menunjukkan bahwa sistem kendali tegangan konverter *boost* berbasis *fuzzy sugeno* juga memberikan respon yang bagus pada kondisi transien. Hal ini dapat dilihat dari waktu yang dibutuhkan controller mencapai nilai referensi tidak sampai 1 detik, seperti yang ditunjukkan oleh zoom bagian awal grafik pada Gambar 9. Hasil ini menunjukkan bahwa desain *fuzzy sugeno* yang digunakan untuk kendali tegangan keluaran konverter *boost* memberikan respon yang cepat untuk mencapai nilai referensi. Desain *fuzzy sugeno* juga memberikan stabilitas control yang bagus dalam mengendalikan tegangan keluaran konverter *boost*, dimana respon tegangan stabil pada nilai referensi hanya dalam waktu 2 detik, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 9. Semua hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem kendali tegangan keluaran konverter *boost* yang diusulkan dengan *fuzzy sugeno* telah sukses mengendalikan tegangan converter dalam berbagai variasi perubahan parameter.

KESIMPULAN

Penelitian ini mengusulkan sistem kendali tegangan keluaran konverter *boost* menggunakan *Fuzzy sugeno* yang diimplementasikan dengan menggunakan Arduino mega 2560 dan diprogram dengan menggunakan simulink matlab. Konverter *boost* dibuat dirancang dan diujicoba dengan tegangan input 12 Volt dengan tegangan keluaran bervariasi sampai maksimal 24 Volt. Desain sistem kendali yang diusulkan divalidasi melalui eksperimen dengan berbagai pengujian, yakni pengujian tegangan konstan dengan beban bervariasi serta pengujian beban konstan dengan tegangan bervariasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem kendali tegangan keluaran konverter *boost* yang diusulkan dengan menggunakan *fuzzy sugeno* telah sukses mengendalikan tegangan sesuai dengan nilai referensi dengan *error* maksimum hanya 0,31 Volt pada kondisi tunak. Sistem kendali tegangan keluaran konverter *boost* berbasis *fuzzy sugeno* juga telah memberikan respon yang bagus pada kondisi transien, dimana tegangan keluaran converter dapat mencapai nilai referensi hanya dalam waktu kurang dari 1 detik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Y. Ahmed, O. Abdel-rahim, and Z. M. Ali, "New High Gain Transformerless DC / DC Boost System," *Electronics*, vol. 11, no. 734, pp. 1-15, 2022.
- [2] F. Alonge, M. Pucci, R. Rabbeni, and G. Vitale, "Dynamic modelling of a quadratic DC/DC single-switch *boost*

- converter," *Electric Power System Research*, vol. 152, pp. 130–139, 2017, doi: 10.1016/j.epsr.2017.07.008.
- [3] M. Rezvanyvardom *et al.*, "Corrigendum to 'Interleaved step-up soft-switching DC-DC Boost converter without auxiliary switches,'" *Energy Reports*, vol. 8, p. 10814, 2022, doi: 10.1016/j.egy.2022.05.283.
- [4] M. Yuhendri, Aslimeri, and M. Muskhir, "Optimum torque control of stand alone wind turbine generator sistem fed single phase boost inverter," *Proc. - 2018 2nd International Conference on Electrical Engineering and Informatics. ICon EEI 2018*, 16-17 October, pp. 148–153, 2018, doi: 10.1109/ICon-EEI.2018.8784319.
- [5] M. A. Mazta, A. S. Samosir, and A. Haris, "Rancang Bangun Interleaved Boost Converter Berbasis Arduino," *Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, vol. 10, no. 1, pp. 22–29, 2016.
- [6] A. Alfaris and M. Yuhendri, "Sistem Kendali dan Monitoring Boost Converter Berbasis GUI (graphical user interface) Matlab Menggunakan Arduino," *JTEIN Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, vol. 1, no. 2, pp. 266–272, 2020, doi: 10.24036/jtein.v1i2.83.
- [7] B. Wang, J. Xu, D. Xu, and Z. Yan, "Implementation of an estimator-based adaptive sliding mode control strategy for a boost converter based battery/supercapacitor hybrid energy storage sistem in electric vehicles," *Energy Conversion and Management*, vol. 151, no. August, pp. 562–572, 2017, doi: 10.1016/j.enconman.2017.09.007.
- [8] A. Anggawan and M. Yuhendri, "Kendali Tegangan keluaran Buck Converter Menggunakan Arduino Berbasis Simulink Matlab," *JTEIN Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, vol. 2, no. 1, pp. 34–39, 2021, doi: 10.24036/jtein.v2i1.110.
- [9] M. Yuhendri, A. Aswardi, and A. Ahyanuardi, "Implementasi Pompa Air Tenaga Surya Menggunakan Inverter Boost Satu Fasa," *INVOTEK*, vol. 20, no. 3, pp. 1–10, 2020, doi: 10.24036/invotek.v20i3.813.
- [10] 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.
- [11] M. Yuhendri and R. Setiawan, "Implementasi DC-DC Boost Converter Menggunakan Arduino Berbasis Simulink Matlab," *JTEIN Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, vol. 1, no. 2, pp. 144–149, 2020, doi: 10.24036/jtein.v1i2.64.
- [12] P. Peri and M. Yuhendri, "Kendali Tegangan Konverter Boost Berbasis Proporsional Integral (PI)," *Ranah Res.*, vol. 5, pp. 23–30, 2022.
- [13] F. Padillah and S. Saodah, "Perancangan dan Realisasi Konverter DC-DC Tipe Boost Berbasis Mikrokontroler ATMEGA 8535," *J. Reka Elkomika*, vol. 2, no. 1, pp. 2337–439, 2014.
- [14] 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," *Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 16, no. 2, p. 136, 2020, doi: 10.36055/tjst.v16i2.8511.
- [15] K. Candra and L. H. Pratomo, "Pengendalian Tegangan Keluaran DC-DC Boost Converter Tipe Voltage Doubler Menggunakan Mikrokontroler STM32F1038CT," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 12, no. 2, pp. 40–46, 2020, doi: 10.15294/jte.v12i2.25662.
- [16] T. T. Sarkar and C. Mahanta, "Estimation Based Sliding Mode Control of DC-DC Boost Converters," *IFAC-Papers On Line*, vol. 55, no. 1, pp. 467–472, 2022, doi: 10.1016/j.ifacol.2022.04.077.
- [17] T. B. Da Silva Moreira, M. V. Silverio Costa, and F. Gonzalez Nogueira, "Output feedback T-S Fuzzy RMPC applied to 3SSC boost converter," *IEEE Latin America Transaction*, vol. 19, no. 9, pp. 1520–1527, 2021, doi: 10.1109/TLA.2021.9468445.
- [18] M. Yuhendri, M. Muskhir, and Taali, "A novel optimum tip speed ratio control of low speed wind turbine generator based on type-2 fuzzy sistem," *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, vol. 8, no. 4, pp. 1189–1197, 2019, doi: 10.11591/eei.v8i4.1450.
- [19] A. Lindo and M. Yuhendri, "Sistem Kendali Daya Maksimum Panel Surya Berbasis Fuzzy Logic Controller," *JTEIN Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, vol. 3, no. 1, pp. 102–110, 2022, doi: 10.24036/jtein.v3i1.207.
- [20] H. Masrepol and M. Yuhendri, "Implementasi MPPT Panel Surya Berbasis Algoritma Perturbasi & Observasi (PO) Menggunakan Arduino," *JTEIN Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, vol. 2, no. 2, pp. 162–167, 2021, doi: 10.24036/jtein.v2i2.155.
- [21] N. Gusriani and M. Yuhendri, "Monitoring Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Arduino Berbasis GUI Matlab," *JTEIN Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, vol. 1, no. 2, pp. 229–233, 2020, doi: 10.24036/jtein.v1i2.76.