

RANCANG BANGUN DC TO DC BUCK CONVERTER DENGAN SISTEM KENDALI PI PADA NI ELVIS II DAN ANTARMUKA BERBASIS LABVIEW

Afaf Fadhil Rifai¹, Wahyudi Purnomo², Revirda Eka Putri³

^{1,2,3}Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika, Politeknik Manufaktur Bandung
Jl. Kanayakan No.21 Dago, Jawa Barat, Indonesia
Email: ¹afaffadhil@gmail.com, ²yud.prn@gmail.com

Abstrak

Pemahaman konsep dasar merupakan suatu hal penting dalam elektronika, terutama tentang media pembelajaran komponen elektronika daya. Dengan adanya kebutuhan mahasiswa untuk mempelajari model rangkaian elektronika daya dengan menggunakan pengatur umpan balik, dibutuhkan suatu media yang dapat mendukung hal tersebut. Salah satu perkembangan teknologi komponen dan rangkaian elektronika yang dapat dipelajari adalah konversi tegangan DC yaitu DC ke DC buck converter. Model pembelajaran ini menggunakan perangkat lunak yaitu LabVIEW dan perangkat keras pengendali serta akuisisi data yaitu NI ELVIS II. Rangkaian DC ke DC buck converter dapat menurunkan tegangan keluaran bervariasi dengan rentang nilai 6 – 18VDC dari tegangan masukan senilai 24VDC. Pengujian umpan balik pengendali PI pada percobaan sistem menghasilkan selisih kesalahan sebesar 0.1567% dengan menggunakan parameter pengendali PI sebesar $K_p = 3.00$ dan $T_i = 0.01$. Hasil pengujian dengan pengendali PI ini menunjukkan respon sesuai yang diharapkan dan mampu diaplikasikan pada sistem rangkaian buck converter. Pengujian antarmuka sistem DC to DC converter tipe buck dinilai layak untuk dijadikan alat bantu pembelajaran dengan nilai kualitas antarmuka secara keseluruhan sebesar 83.8% yang telah diujikan kepada responden mahasiswa.

Kata Kunci: DC to DC Buck Converter, Pengendali PI, LabVIEW, NI ELVIS II

Abstract

Understanding basic concepts is an important thing in electronics, especially regarding the teaching aid of power electronic components. Given the need for students to study the model of electronic schematic with feedback controller, a media that can support this is needed. One of the developments in component technology and electronic circuits that can be studied is the DC voltage conversion, namely the DC to DC buck converter. This teaching aid model uses software, namely LabVIEW and the control and data acquisition hardware, namely NI ELVIS II. DC to DC buck converter schematic that can reduce the variable output voltage with a value range of 6 - 18VDC from an input voltage of 24VDC. PI feedback controller testing in the system experiment resulted in a difference of 0.1567% error using the PI controller parameter of $K_p = 3.00$ and $T_i = 0.01$. The test results with the PI controller show the expected response and can be applied to the buck converter circuit system. Testing the interface of the buck type DC to DC converter system is considered feasible as a learning aid with an overall interface quality value of 83.8% with student responds.

Keywords: DC to DC Buck Converter, PI Controller, LabVIEW, NI ELVIS II

I. PENDAHULUAN

Otomasi merupakan teknologi yang berkaitan dengan penggunaan operasi kontrol produksi secara mekanis, elektronis dan sistem yang berbasis komputer (Groover, 2008 dalam Fergia, 2018). Sistem otomasi memiliki beberapa elemen dasar yang digunakan untuk mengoperasikan beberapa proses, salah satunya adalah elektronika. Elektronika dan teknologinya merupakan bidang kunci kemajuan teknologi segala perangkat baik di bidang industri maupun pendidikan (Pratikto, dkk., 2018). Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika merupakan salah satu jurusan yang membekali lulusan dengan penguasaan dan penerapan teknologi rekayasa otomasi manufaktur dan mekatronika serta memenuhi standar kompetensi industri manufaktur. Dikarenakan elektronika memiliki peranan pada otomasi, maka perlu untuk mahasiswa Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika mengenal dan mengetahui perkembangan teknologi elektronika untuk meningkatkan kompetisinya di bidang elektronika industri. Pemahaman konsep dasar merupakan suatu hal penting dalam elektronika, terutama tentang media pembelajaran komponen elektronika. Jika mahasiswa belum menguasai konsep dasar tersebut, kemungkinan mahasiswa akan mengalami kesulitan dalam proses mengembangkan apa yang telah mereka pelajari (Pratama, 2015). Dengan adanya kebutuhan mahasiswa untuk mempelajari media pembelajaran komponen elektronika, dibutuhkan suatu media yang dapat mendukung hal tersebut. Salah satu perkembangan teknologi komponen dan rangkaian elektronika yang dapat dipelajari adalah konversi tegangan DC yaitu DC to DC buck converter (Buntulayuk dkk., 2017). Untuk menjaga keluaran yang dihasilkan rangkaian buck converter konstan, diperlukannya suatu pengendalian pada keluaran rangkaian. Kontroler PI merupakan salah satu metode pengontrolan yang digunakan untuk menghasilkan keluaran yang konstan (Sutedjo dkk., 2016). Untuk menunjang pengenalan dan pengetahuan tentang DC to DC buck converter, dibutuhkan media yaitu antarmuka pengguna atau user interface (UI) yang informatif. Antarmuka pengguna selalu dikaitkan dengan tampilan layar, sebab desain yang baik menjadi indikator terpenting untuk membuat pengguna merasa tertarik menggunakan antarmuka tersebut (Larasati, 2010 dalam Hartawan, 2019).

Dari penelitian sebelumnya, telah dibuat beberapa buck converter diantaranya adalah rancang bangun modul DC-DC converter dengan pengendali PI (Sutedjo dkk., 2016) dan rancang bangun buck

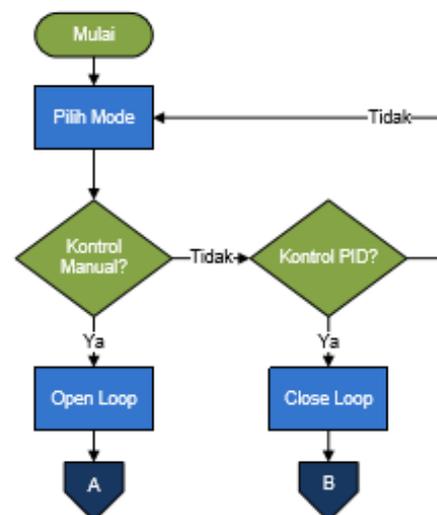
converter pada solar charger berbasis Cohen Coon (Azizah, 2019), namun penelitian-penelitian tersebut hanya berfokus pada keluaran yang akan dihasilkan oleh rangkaian. Selain itu, terdapat penelitian yang digunakan untuk media pembelajaran yaitu pengembangan trainer sebagai alat praktikum pengujian rangkaian pembangkit PWM, buck converter, boost converter dan buck-boost converter, penelitian tersebut menghasilkan trainer untuk alat praktikum, namun tidak memiliki sistem antarmuka yang menghubungkan antara pengguna dengan rangkaian buck converter (Rinawan, 2018).

Berdasarkan uraian di atas, maka dari itu dilakukan penelitian tugas akhir dengan judul “Rancang Bangun DC to DC Buck Converter dengan Sistem Kendali PI pada NI ELVIS II dan Antarmuka Berbasis LabVIEW” yang bertujuan untuk memanfaatkan LabVIEW dan NI ELVIS II dengan rangkaian buck converter. Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan nilai keluaran tegangan yang bervariasi, keluaran tegangan yang konstan dengan pengendali PI, efisiensi yang tinggi, serta antarmuka yang informatif melalui media LabVIEW sehingga pengguna mudah memahami materi yang berkaitan dengan buck converter.

II. METODE

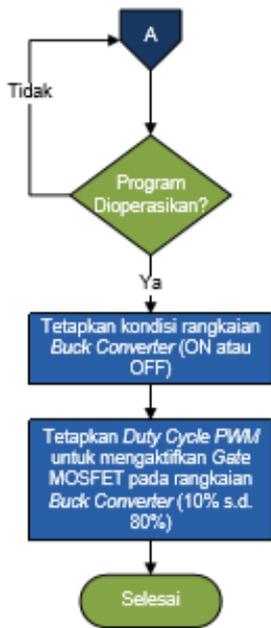
Perancangan Sistem

Perancangan sistem digunakan perangkat akuisisi data yaitu NI ELVIS II. Pemrograman dilakukan menggunakan perangkat lunak LabVIEW 2017. Gambar berikut merupakan diagram alir dari program yang dibuat.



Gambar 1. Diagram alir memilih mode kendali pada rangkaian buck converter

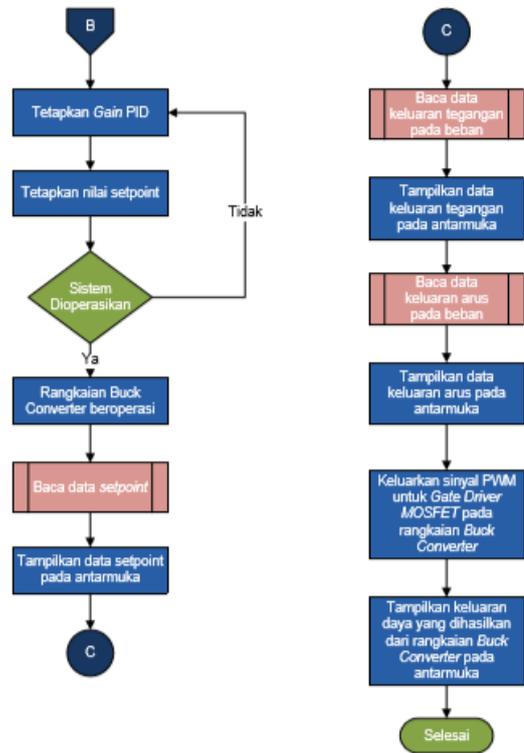
Program kendali ini terbagi menjadi dua mode, yaitu mode open loop dan mode close loop. Jika mode open loop dipilih, maka program kendali akan bekerja seperti diagram alir pada gambar berikut.



Gambar 2. Diagram alir mode kendali manual

Dalam diagram alir mode manual, program diawali dengan memilih dioperasikan. Selain itu, kondisi rangkaian buck converter dalam keadaan mati/OFF. Sambungkan stekker power supply pada sumber listrik jika rangkaian ingin diaktifkan. Kemudian tetapkan duty cycle PWM pada antarmuka.

Jika mode close loop yang dipilih, maka program akan bekerja seperti diagram alir pada gambar berikut.

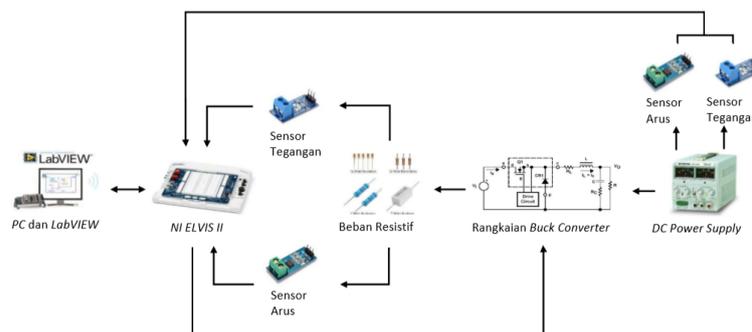


Gambar 3. Diagram alir mode kendali PI

Dalam diagram alir mode kendali PI, program diawali dengan memilih memasukkan parameter PI dan set point keluaran tegangan yang diinginkan, kemudian program dijalankan. Rangkaian buck converter akan aktif dan antarmuka akan menampilkan nilai set point dan nilai keluaran yang dihasilkan dalam bentuk numerik dan grafik. Nilai set point dan nilai keluaran yang dihasilkan akan dibandingkan dan diolah oleh program PI. Keluaran nilai PI diubah menjadi sinyal PWM yang dihubungkan oleh gate driver IR2110 pada MOSFET. Nilai keluaran PI tersebut dalam antarmuka sebagai indikator kinerja keluaran tegangan yang dikendalikan.

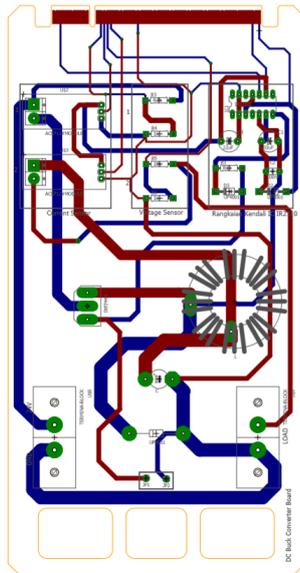
Perancangan Alat

Perancangan alat dari rancang bangun DC to DC buck converter dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4. Gambaran umum sistem dari rancang bangun DC to DC buck converter

Rancang bangun DC to DC buck converter ini menggunakan perangkat lunak LabVIEW 2017 dan menggunakan perangkat keras NI ELVIS II untuk pengendalian dan akuisisi data sistem.



Gambar 5. Desain PCB papan prototipe NI ELVIS II

Rangkaian buck converter mendapatkan tegangan masukan dari DC Power Supply sebesar +24VDC. Rangkaian buck converter tersebut kemudian akan dijadikan berupa plug in PCB yang dapat dipasangkan pada perangkat keras NI ELVIS II yang akan memberikan sinyal PWM untuk gate driver MOSFET pada rangkaian buck converter dengan frekuensi sebesar 30kHz. Rangkaian buck converter akan diberikan beban resistif untuk pengujian. Terdapat dua sensor tegangan dan dua sensor arus yang terpasang pada rangkaian buck converter. Sensor tersebut mengeluarkan tegangan sebagai bentuk pembacaan tegangan dan arus pada masukan dan keluaran rangkaian buck converter. Tegangan keluaran sensor tersebut akan masuk ke NI ELVIS II untuk dibaca dan diolah sebagai umpan balik pengendalian PI dan akan ditampilkan pada antarmuka.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

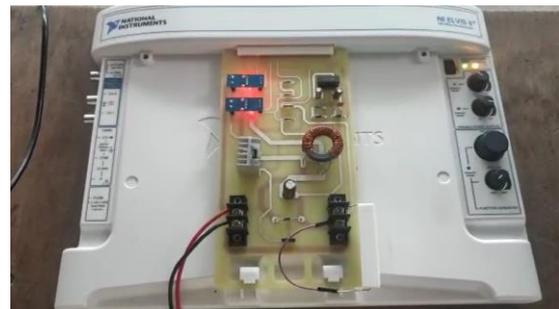
Visualisasi Model Sistem

Berdasarkan perancangan model sistem yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, maka direalisasikan model sistem *DC to DC buck converter*. Model sistem ini berupa *PCB (Printing Circuit Board)* berukuran 21 x 11.5 cm. *PCB* tersebut terdapat rangkaian *buck converter* yang terdiri dari beberapa komponen elektronika yang terhubung dengan perangkat keras dan perangkat

akuisisi data *NI ELVIS II*. Bagian-bagian model sistem ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 1. Bagian-bagian model sistem

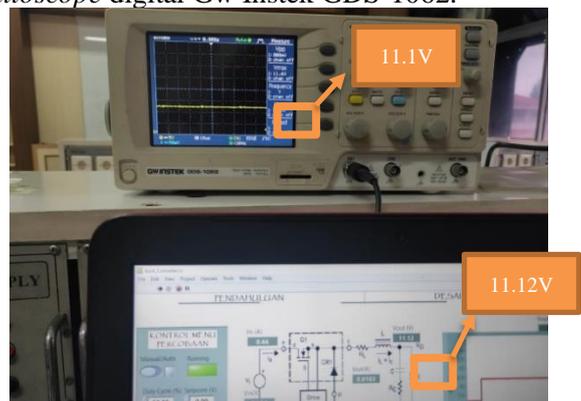


Gambar 2. Pemasangan PCB pada NI ELVIS II

Pengujian Rangkaian Buck Converter

Pengujian rangkaian *buck converter* dilakukan dengan pengujian pembacaan tegangan keluaran pada *oscilloscope* dan pengujian performa dari rangkaian dengan menggunakan beban resistif.

Pengujian pembacaan tegangan keluaran pada *oscilloscope* dilakukan untuk mengetahui dan menguji keakuratan pembacaan sensor tegangan yang dengan membandingkan pembacaan menggunakan *oscilloscope* yang ditampilkan pada *oscilloscope* digital Gw Instek GDS-1062.



Gambar 3. Perbandingan pembacaan tegangan keluaran pada antarmuka dan *oscilloscope*

Gambar di atas menunjukkan pembacaan tegangan keluaran pada antarmuka yaitu bernilai 11.12V dan pembacaan tegangan keluaran pada *oscilloscope* yaitu bernilai 11.1V. Ini membuktikan bahwa hasil pembacaan pada kedua perangkat tersebut akurat dan menunjukkan hasil yang sama. Pengujian rangkaian *buck converter* bertujuan untuk mengetahui fungsi dari rangkaian *buck converter* yang dikendalikan secara manual atau *open loop* dan menganalisis linearitas hubungan antara tegangan

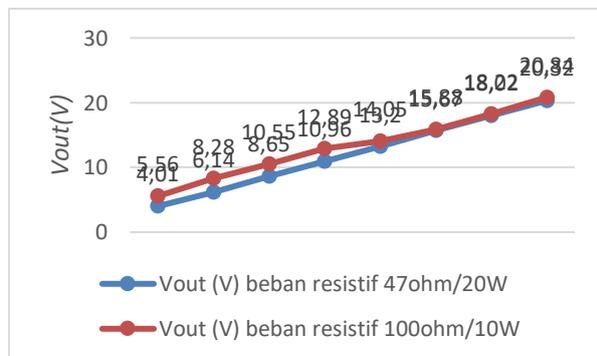
yang dimasukkan berupa persentase *duty cycle PWM* dan tegangan keluaran yang dihasilkan dari rangkaian *buck converter*. Dalam proses pengujian, dibutuhkan rangkaian *buck converter* (terdapat pada *PCB*), beban resistif, tegangan *DC 24 V*, *NI ELVIS II*, dan laptop. Pengujian dilakukan dengan menggunakan beban resistif $47\Omega/20W$ dan $100\Omega/10W$.

Tabel 1. Data pengujian rangkaian *buck converter* menggunakan beban resistif $47\Omega/20W$

No	PWM (%)	Vin (V)	Vout (V)	Iin (mA)	Iout (mA)	Pin (W)	Pout (W)	Efficiency (%)
1	20%	24	4.01	20	91.8	0.48	0.37	76.69%
2	30%		6.14	44.8	140.2	1.08	0.86	80.06%
3	40%		8.65	82.6	187.5	1.98	1.62	81.81%
4	50%		10.96	127.8	233	3.07	2.55	83.26%
5	60%		13.2	181.1	280	4.35	3.70	85.04%
6	70%		15.67	250	330	6.00	5.17	86.19%
7	80%		18.02	330	390	7.92	7.03	88.73%
8	90%		20.32	410	440	9.84	8.94	90.86%

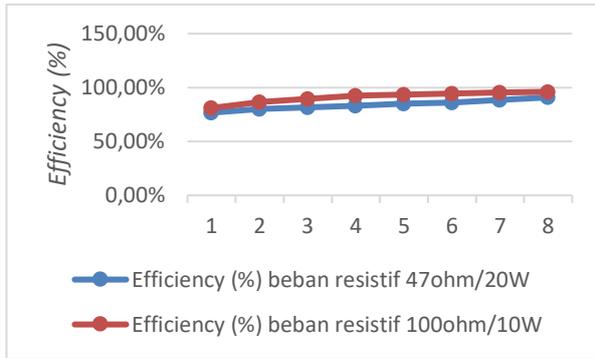
Tabel 1. Data pengujian rangkaian *buck converter* menggunakan beban resistif $100\Omega/10W$

No	PWM (%)	Vin (V)	Vout (V)	Iin (mA)	Iout (mA)	Pin (W)	Pout (W)	Efficiency (%)
1	20	24	5.56	16.9	59.1	0.41	0.33	81.01%
2	30		8.28	35.1	88.1	0.84	0.73	86.59%
3	40		10.55	55	112.2	1.32	1.18	89.68%
4	50		12.89	79.7	137.1	1.91	1.77	92.39%
5	60		14.05	93.3	149.3	2.24	2.10	93.68%
6	70		15.88	115.6	165	2.77	2.62	94.44%
7	80		18.22	146.9	184.9	3.53	3.37	95.55%
8	90		20.84	187.8	207.7	4.51	4.33	96.03%



Gambar 4. Perbandingan nilai tegangan keluaran antara beban resistif $47\Omega/20W$ dengan beban resistif $100\Omega/10W$

Berdasarkan gambar grafik di atas, dapat dilihat bahwa perubahan beban yang diberikan mempengaruhi tegangan keluaran yang dihasilkan dari rangkaian *buck converter*. Nilai tegangan keluaran dengan beban resistif $100\Omega/10W$ mengalami kenaikan dibandingkan dari nilai beban resistif $47\Omega/20W$. Namun, untuk nilai arus yang dihasilkan mengalami penurunan dikarenakan besarnya nilai tegangan dan nilai resistansi akan mempengaruhi nilai arus. Berdasarkan perbedaan hasil nilai keluaran tersebut, tentu akan mempengaruhi nilai efisiensi dari percobaan kedua beban resistif tersebut.



Gambar 5. Perbandingan nilai efisiensi antara beban resistif 47Ω/20W dengan beban resistif 100Ω/10W.

Berdasarkan gambar grafik di atas, dapat dilihat bahwa perubahan beban yang diberikan mempengaruhi nilai efisiensi yang dihasilkan. Nilai efisiensi dengan beban resistif 100Ω/10W mengalami kenaikan dibandingkan dari nilai beban resistif 47Ω/20W. Hal ini dikarenakan daya yang dihasilkan dari resistif 100Ω/10W mengalami kenaikan yang dipengaruhi dari nilai tegangan dan nilai arus yang dihasilkan oleh rangkaian *buck converter*. Nilai rata-rata efisiensi yang dihasilkan dari keluaran rangkaian sebesar 84.08% untuk beban resistif 47Ω/20W dan 91.17% untuk beban resistif 100Ω/10W.

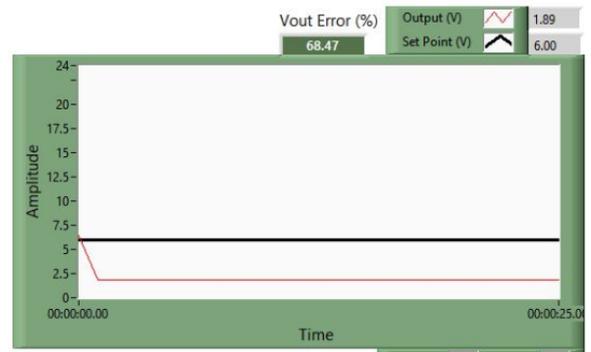
Pengujian Respon Sistem Kendali PI

Pengujian sistem ini bertujuan untuk mengetahui kinerja keseluruhan dari perangkat keras dan perangkat lunak serta mengetahui respon sistem dengan menggunakan pengendali *PI*. Pengujian respon sistem dilakukan dengan beberapa variasi parameter *PI*. Pengujian ini dilakukan dengan memasukkan nilai setpoint yaitu berupa nilai tegangan keluaran yang diinginkan dari rangkaian *buck converter*.

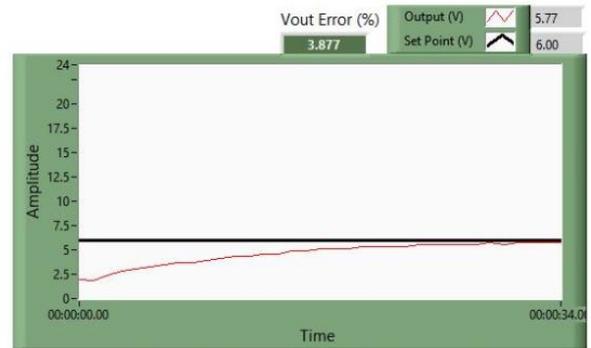
Pengujian respon sistem dilakukan dengan memasukkan nilai *setpoint* 6V dan nilai parameter *PI* yang berbeda-beda. Berikut merupakan tabel data pengujian performa kendali *PI*.

Tabel 2. Data pengujian performa kendali *PI*

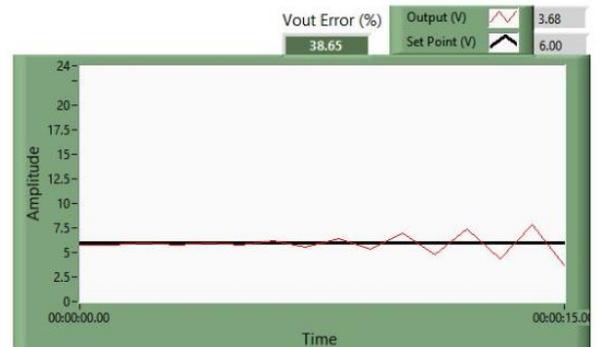
Set point (V)	Parameter PI		Tegangan Keluaran (V)	Waktu Penyelesaian (s)	Error (%)
	Kc	Ti			
6	1.00	0.00	1.89	25	68.47
	1.00	0.01	5.77	34	3.88
	4.00	0.01	3.68	15	38.65
	3.00	0.01	5.99	20	0.157



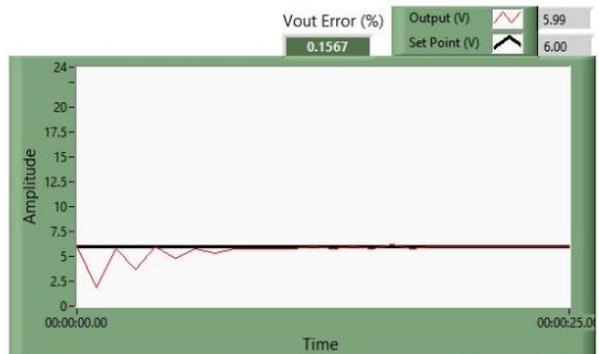
Gambar 6. Grafik pengujian pertama respon sistem dengan nilai Kc=1.00 dan Ti=0.00



Gambar 7. Grafik pengujian kedua respon sistem dengan nilai Kc=1.00 dan Ti=0.01



Gambar 8. Grafik pengujian ketiga respon sistem dengan nilai Kc=4.00 dan Ti=0.01



Gambar 9. Grafik pengujian keempat respon sistem dengan nilai Kc=3.00 dan Ti=0.01

Dari tabel dan gambar data di atas, dengan memasukkan nilai parameter *PI* berbeda-beda, terdapat selisih *error* dari masing-masing parameter yang dimasukkan. Nilai *error* terbesar yang dihasilkan yaitu sebesar 68.47% dengan nilai $K_c = 1.00$ dan nilai $T_i = 0.00$. Sedangkan untuk nilai *error* terkecil yaitu sebesar 0.1557% dengan nilai $K_c = 3.00$ dan nilai $T_i = 0.01$. Dari data tersebut, dapat disimpulkan bahwa nilai parameter *PI* yang cocok digunakan untuk sistem kendali rangkaian *converter* adalah nilai $K_c = 3.00$ dan nilai $T_i = 0.01$.

Evaluasi Antarmuka

Tujuan dari pembuatan antarmuka sistem *DC to DC buck converter* adalah untuk media pembelajaran, sehingga perlu adanya pengujian kualitas sebagai alat bantu belajar. Untuk mengukur kualitas antarmuka tersebut, digunakan metode *EMPI*, dimana penilai harus mengisi kuesioner yang berkenaan dengan media pembelajaran. Penyebaran kuesioner dilakukan pada dua kelas berjumlah 48 orang dengan syarat mahasiswa/I Politeknik Manufaktur Bandung Jurusan Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika. Dipilih penilai berjumlah 10 orang (minimal 10% dari populasi). Bobot tiap kuesioner dinilai dengan menggunakan skala Likert, dimana bobot dibagi menjadi 5 kategori yaitu.

- Bobot 5 – Sangat Setuju (SS)
- Bobot 4 – Setuju (S)
- Bobot 3 – Netral (N)
- Bobot 2 – Tidak Setuju (TS)
- Bobot 1 – Sangat Tidak Setuju (STS)

Nilai tiap pertanyaan dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$nilai = \frac{\sum_i \text{jumlah responden} \text{ bobot dari responden } i}{\text{jumlah reponden} \times 5} \times 100\%$$

Tabel hasil pengisian kuesioner yang dilakukan oleh penilai dapat dilihat pada Tabel 4. Berdasarkan hasil Tabel 4, secara keseluruhan nilai rata-rata yang dapat menjadi nilai akhir dari penilaian yaitu 83.8% untuk kualitas antarmuka rangkaian *buck converter* sebagai media pembelajaran. Nilai terendah terdapat pada pernyataan “Aksi dari pengguna mendapatkan feedback (reaksi) dari antarmuka rangkaian *buck converter*” yaitu bernilai 74% dan nilai tertinggi terdapat pada pernyataan “Tampilan pada antarmuka memiliki tema yang konsisten” yaitu bernilai 94%.

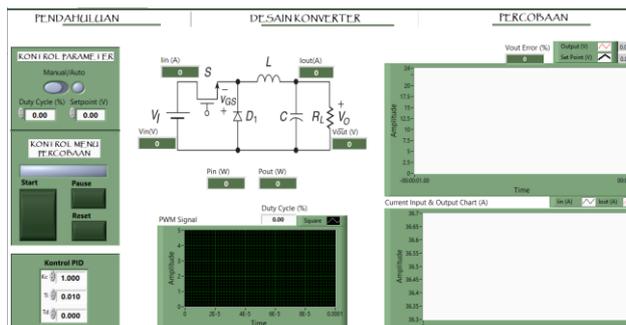
IV. PENUTUP

Kesimpulan

Rancang bangun *DC to DC buck converter* yang terhubung dengan perangkat keras *NI ELVIS II* dan perangkat lunak *LabVIEW 2017* telah dibuat dan dapat menurunkan tegangan keluaran bervariasi dengan rentang nilai 6 – 18V dari tegangan masukan senilai 24V. Pengujian pada *duty cycle* 20 – 90% dan beban resistif 47Ω/20W menghasilkan nilai rata-rata efisiensi sebesar 91.17% dan untuk beban resistif 100Ω/10W sebesar 84.08%. Pengujian pengendali *PI* pada percobaan sistem menghasilkan selisih kesalahan sebesar 0.1567% dengan menggunakan parameter pengendali *PI* sebesar $K_c = 3.00$ dan $T_i = 0.01$. Antarmuka sistem *DC to DC buck converter* dinilai layak untuk dijadikan alat bantu pembelajaran dengan nilai kualitas antarmuka secara keseluruhan sebesar 83.8%.

Saran

Penelitian ini perlu ditingkatkan dalam beberapa hal yaitu pemilihan sensor arus jenis lain agar pembacaan nilai arus lebih stabil. Beban pada rangkaian lebih variatif, tidak hanya beban resistif namun juga dengan beban induktif, kemudian perlu meningkatkan kualitas gambar pada sistem antarmuka agar terlihat lebih jelas.



Gambar 10. Tampilan antarmuka LabVIEW

Tabel 4. Hasil evaluasi antarmuka

No	Evaluasi Antarmuka Pengguna	Nilai
	Butir-butir yang Dinilai	
1	Aplikasi antarmuka dapat dipasang pada kebanyakan PC/Laptop mahasiswa.	80%
2	Materi-materi pengajaran tertata pada bagiannya masing-masing.	90%
3	Icon, gambar, label, dan simbol mudah dipahami dan dirasa mempresentasikan keadaan nyatanya.	84%
4	Aksi dari pengguna mendapatkan feedback (reaksi) dari antarmuka rangkaian <i>buck converter</i> .	74%
5	Menu-menu pada antarmuka mudah dipahami.	76%
6	Komposisi komponen-komponen pada jendela antarmuka nyaman dipandang.	76%
7	Pengguna diberikan kewenangan untuk menghentikan aktivitas pada antarmuka yang sedang berlangsung.	86%
8	Tampilan pada antarmuka memiliki tema yang konsisten.	94%
9	Antarmuka dapat direkayasa dan dikembangkan oleh pengguna.	80%
10	Pengguna dapat menyimpan nilai parameter yang ditetapkan pada antarmuka.	80%
11	Pengguna dapat mengatur komponen-komponen pada antarmuka.	82%
12	Pengguna merasa mudah untuk mengerti bacaan pada antarmuka rangkaian <i>buck converter</i> .	78%
13	Tiap-tiap halaman pada antarmuka menyediakan informasi penting mengenai teori dan implementasi bahan ajar.	88%
14	Pengguna merasa nyaman saat membaca teks pada antarmuka.	80%
15	Alur bacaan pada antarmuka mudah untuk diikuti.	84%
16	Secara umum, kualitas gambar dan grafik yang digunakan pada antarmuka memiliki kualitas yang bagus dan nyaman dilihat.	88%
17	Bahan bacaan yang tertera pada antarmuka cukup untuk membuat pengguna mengerti maksud dari bahan ajar.	82%
18	Pengguna merasa mudah untuk menuju menu yang diinginkan pada antarmuka rangkaian <i>buck converter</i> .	92%
19	Pengguna merasa nyaman dengan struktur navigasi berbasis tabulasi menu (tree like).	82%
20	Konten dari antarmuka rangkaian <i>buck converter</i> dirasa dapat diadaptasikan pada mahasiswa.	86%
21	Konten pada antarmuka tidak menyinggung isu SARA.	92%
22	Pengguna merasa antarmuka rangkaian <i>buck converter</i> mampu meningkatkan kompetensi mahasiswa khususnya dalam pemahaman rangkaian elektronika daya.	90%
Rata-rata		83.8%

V. DAFTAR PUSTAKA

- Azis, M. A., Az-zahra H. M., dan Fanani L. 2019. "Evaluasi dan Perancangan User Interface Aplikasi Mobile Layanan Pengaduan Masyarakat Online Menggunakan Human-Centered Design," vol. 3, no. 1, pp. 529–537.
- Azizah, U. 2019. Rancang Bangun Buck Converter Pada Solar Charger Berbasis Cohen Coon. *Skripsi*. Universitas Jember.
- Buntulayuk, H., Samman, F. A., Yusran. 2017. Rancangan DC-DC Converter untuk Penguatan Tegangan. *Jurnal Penelitian Enjinerig* vol. 21, no. 02, pp. 78–82.
- Crozat, S., Hu, O., and Trigano, P. A Method for Evaluating Multimedia Learning Software," no. November 2014.
- Crozat, S., Trigano, P. and Hu, O. 2004. EMPI : A questionnaire based method for the evaluation of multimedia interactive pedagogical software.
- El Ghiffary, M. N., Susanto, T. D. and Prabowo, A. H. 2018. Analisis Komponen Desain Layout, Warna, dan Kontrol pada Antarmuka Pengguna Aplikasi Mobile Berdasarkan Kemudahan Penggunaan (Studi Kasus: Aplikasi Olride), *Jurnal Teknik. ITS*, vol. 7, no. 1.
- Febiawan, I. 2020. Rancang Bangun Kendali Suhu Pemanas Tangki Berpengaduk Kontinu menggunakan Sistem Kendali PID Berbasis NI ELVIS II dan LabVIEW sebagai Media Pembelajaran Interaktif Jenjang Diploma IV.
- Fergia, R. 2018. Perancangan proses winding coil terotomasi produk stator assembly (Panasonic gp 129 jxk) di business unit water pump PT. Panasonic Manufacturing Indonesia, vol. 53, no. 9, pp. 8–24.
- Gunawan. 2009. Rancang Bangun Dc-Dc Buck Converter Dengan Pid Diskrit Sebagai Pengendali Tegangan Keluaran. *Skripsi*. Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- Hartawan, M. S. 2019. Analisa *User Interface* untuk Meningkatkan *User Experience* menggunakan *Usability Testing* pada Aplikasi Android Pemesanan *Test Drive Mobil*," vol. XIV, no. 02, pp. 46–52.
- Kazmierczuk, M. K. 2012. Pulse-Width Modulated DC-DC Power Converters.
- Naufal, G. N. 2019. Simulasi Sistem Pelayanan Magnetik Berbasis Dua Inti Magnet Sebagai Media.
- Nurhadryani, Y., Sianturi, S. K. dan Hermadi I. 2010. Pengujian Usability untuk Meningkatkan Antarmuka Aplikasi Mobile Usability Testing to Enhance Mobile Application User Interface.
- Pratama, H. 2015. Peningkatan Pemahaman Konsep Elektronika Dasar Dengan Livewire Siswa Kelas X Teknik Elektronika Industri SMK Negeri 2 Wonosari. *Skripsi*. Universitas Negeri Yogyakarta.
- Pratikto, Surjanto, A., Kuncoro, C. B. D. 2018. Modul Pembelajaran Penggerak Multi Aktuator Berbasis Arduino Mendukung NI-ELVIS. *Prosiding Seminar Nasional Inovasi dan Aplikasi Teknologi di Industri 2018* pp. 285–290.
- Rachman, M. C. 2018. Rancang Bangun Konverter Buck Boost Dengan Sistem Monitoring Berbasis Labview. *Skripsi*. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Rinawan, S. W. 2018. Pengembangan Trainer sebagai Alat Praktikum Pengujian Rangkaian Pembangkit PWM, Buck Converter, Boost Converter dan Buck-Boost Converter pada Mata Pelajaran Penerapan Rangkaian Elektronika di Kelas XI SMK Muhammadiyah 1 Bantul.
- Samosir, A.S., Tohir, N. I., Haris, A. 2017. Rancang Bangun Catu Daya Digital Menggunakan Buck Converter Berbasis Mikrokontroler Arduino. *Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro* Vol. 11 no. 1 pp: 44-52.
- Sutedjo, Z. Efendi, and D. M. Mursyida. 2016. Rancang Bangun Modul DC – DC Converter Dengan Pengendali PI. Politeknik Elektronika Negeri Surabaya - ITS, pp. 1–5.
- Suteja, B. R. dan Harjoko, A. 2008. *User Interface Design for e-Learning System*. Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi (SNATI). Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.