

PERANCANGAN KONVERTER DC-DC DUA ARAH SISIPAN DENGAN KONTROL DAN MONITORING BERBASIS IoT

Hanif Fadahlurrahman^{*)}, Darjat dan Hadha Afrisal

Program Studi Sarjana Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail: fadhlurrahmanhanif.hf@gmail.com

Abstrak

Pembangkitan energi terbarukan seperti energi surya, menghasilkan energi listrik dengan tegangan yang fluktuatif. Dengan demikian diperlukan sistem konverter untuk meningkatkan efisiensi pada sistem panel surya. Konverter dengan topologi buck-boost sisipan yang dirancang akan mengatur arah aliran daya masuk (charging) dan arah keluar (discharging) baterai. Pada Tugas Akhir ini berfokus pada perancangan Konverter DC-DC Dua Arah Sisipan Online yang berfungsi menghubungkan antara media penyimpanan dan DC Bus serta memperhalus arus keluaran dengan pergeseran fasa pada sinyal PWM-nya sebesar 180°. Fitur pergeseran fasa diatur menggunakan sistem minimum ATMEGA328P. Konverter DC-DC Dua Arah Sisipan ini terdapat juga fungsi pemantauan online. Fitur online monitoring yang dirancang akan menampilkan nilai tegangan DC Bus dan tegangan baterai, sedangkan fitur controlling online memungkinkan pengguna untuk mengubah mode konverter dari buck ke boost atau sebaliknya secara manual. Hasil Pengujian menunjukkan bahwa Konverter DC-DC Dua Arah Sisipan dapat menghasilkan tegangan yang stabil dengan rata-rata efisiensi 88% untuk mode buck dan 92% untuk mode boost. Pada aplikasi blynk dapat menampilkan nilai tegangan DC Bus dan tegangan Baterai serta pengguna dapat mengubah mode konverter secara manual.

Kata kunci: Konverter DC-DC Dua Arah Sisipan, charging, discharging, online, ATMEGA328P, phase shift, blynk.

Abstract

Renewable energy such as solar energy, produces electrical energy with fluctuating voltages. Thus, a converter system is needed to increase the efficiency of the solar panel system. The converter with an insert buck-boost topology is designed to regulate the direction of the incoming power flow (charging) and the direction of the battery discharge (discharging). This final project focuses on designing an Bidirectional DC-DC Interleaved Converter with Online Feature which functions to connect the storage media and the DC Bus and smoothers the output current with a phase shift of the PWM signal of 180°. The phase shift feature is set using the ATMEGA328P minimum system. There is also an online monitoring function. The online monitoring feature that is designed will display the DC Bus voltage value and battery voltage, while the online controlling feature allows users to change the converter mode from buck to boost or vice versa manually. The test results show that the Bidirectional DC-DC Interleaved Converter can produce stable voltage with average efficiency 88% for buck mode and 92% for boost mode. Blynk application can display the DC Bus voltage and battery voltage values and user can change the converter mode manually.

Keywords: Bidirectional DC-DC Interleaved Converter, charging, discharging, online, ATMEGA328P, phase shift, blynk.

1. Pendahuluan

Kebutuhan manusia akan energi listrik terus meningkat setiap tahunnya. Mulai tahun 2013 kebutuhan listrik per kapita sebanyak 0,84 GWH (*Giga Watt Hour*) dan terus meningkat hingga pada tahun 2019 sebanyak 1,08 GWH (*Giga Watt Hour*) per kapitanya [1]. Hal ini berbanding lurus dengan laju pertumbuhan penduduk Indonesia, sesuai dengan sensus penduduk di Indonesia yang meningkat sebanyak 32,57 juta jiwa dari 2010 hingga 2020 [2]. Maka dari itu perludilakukan suatu pengembangan dalam bidang energi terbarukan seperti yang telah

direncanakan oleh Pemerintah dengan program upaya pemanfaatan energi terbarukan sebesar 23% [3]. Salah satu sumber energi terbarukan adalah energi matahari. Energi matahari merupakan energi alternatif untuk menghasilkan energi listrik melalui efek *photovoltaic* pada sel surya [4]. Namun pada penerapannya, sel surya sendiri menghasilkan tegangan yang berfluktuasi sesuai dengan suhu dan iradiasi yang berubah-ubah[5].

Oleh karena itu, dibutuhkan suatu konverter dua arah yang mampu meregulasi kebutuhan beban. Ketika daya dari panel surya sudah cukup untuk memenuhi kebutuhan

beban, maka konverter berada pada mode *buck* dan akan mengalirkan kelebihan daya untuk disimpan ke baterai, sebaliknya jika daya dari panel masih kurang untuk memenuhi kebutuhan beban maka konverter akan mengalirkan daya dari baterai [6]. Terdapat berbagai topologi konverter salah satunya adalah topologi konverter sisipan. Topologi ini mampu menghasilkan listrik DC yang memiliki *ripple* cenderung lebih kecil dibanding topologi konvensional [7]. Hal ini mampu memperpanjang umur peralatan listrik rumah hibrida karena listrik DC yang dihasilkan lebih stabil. *Pulse Width Modulation (PWM)* digunakan sebagai pemacu Konverter DC-DC Dua Arah Sisipan dengan pergeseran fasa sebesar 180 [8] .

Bedasarkan penjabaran diatas, maka pada Tugas Akhir ini telah dirancang Konverter DC-DC Dua Arah Sisipan dengan menggunakan sistem minimum ATMEGA328P sebagai pembangkit PWM dan ESP32 sebagai kontrol dan monitoring konverter. ATMEGA328P dipilih karena kemudahan dalam memprogram dan banyak referensi yang ada. Konverter DC-DC Dua Arah Sisipan online ini diharapkan mampu menghasilkan *ripple* arus keluaran yang lebih halus dan memudahkan pengguna untuk memonitoring konverter secara *realtime*.

2. Metode

2.1. Perancangan Driver MOSFET

TLP250 merupakan rangkaian *Integrated Circuit (IC)* yang berfungsi sebagai pemisah rangkaian secara optik dan sebagai penguat sinyal [9]. *Range* tegangan keluaran TLP250 10-35 VDC dan arus output maksimum sebesar 1,5 A.

Sinyal PWM keluaran dari mikrokontroller hanya 5 VDC, sehingga perlu menggunakan TLP250 untuk menguatkan sinyal PWM dan memisahkan antara rangkaian daya dan rangkaian pembangkit PWM. Berikut merupakan datasheet TLP250 yang ditunjukkan pada Table 1.

Table 1. Spesifikasi TLP250[10]

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Input Forward Current	I_F	10	mA
Forward Voltage	V_{FM}	1.6	A
Supply Voltage	V_R	15 - 30	V
Propagation Delay Time	t	0.15 - 0.5	μ s

2.2. Perancangan Rangkaian Switch PWM

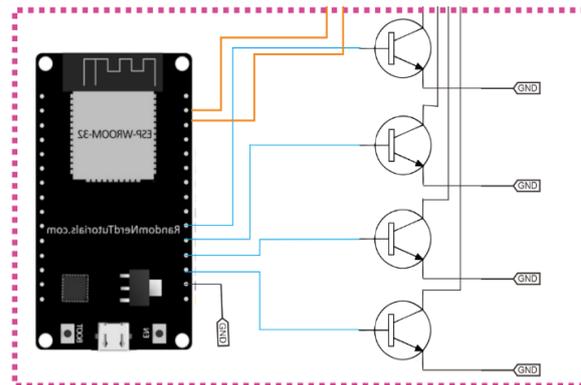
Rangkaian switch PWM berfungsi sebagai saklar input sinyal PWM pada rangkaian driver MOSFET. Digunakan transistor 2N3904 dengan spesifikasi pada tabel 2.

Transistor ini akan mengaktifkan atau menonaktifkan sinyal yang masuk ke TLP250, sehingga TLP250 pada mode *buck* dan mode *boost* akan diatur dan menyala

bergantian sesuai perintah yang diberikan. Rangkaian *switch PWM* ini digambarkan pada Gambar 1.

Table 2. Spesifikasi 2N3904[11]

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Collector-Base Voltage	V_{CBO}	60	V
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	40	V
Emitter-Base Voltage	V_{EBO}	6	V
Collector Current	I_C	200	mA



Gambar 1. Rangkaian *switch PWM*

2.3. Perancangan Rangkaian Daya

Konverter DC-DC Dua Arah Sisipan yang dirancang dalam tugas akhir ini bertujuan untuk mengendalikan arah energi dari DC Bus menuju dan keluar dari baterai. Perancangan Konverter DC-DC Dua Arah Sisipan pada tugas akhir ini terdiri dari beberapa bagian, yaitu bagian suplai driver TLP250, bagian rangkaian daya yang merupakan Konverter DC-DC Dua Arah Sisipan, bagian rangkaian kontrol yang terdiri dari mikrokontroller pembangkit PWM, mikrokontroller monitoring konverter secara online, dan blok penyimpanan daya. Spesifikasi rangkaian *boost converter* dapat dilihat pada Table 3.

Table 3. Spesifikasi rangkaian *boost converter*

Spesifikasi	Nilai
Tegangan DC Bus	60 V
Tegangan Charging	24 V
Kapasitas Baterai	100Ah
Tegangan Baterai	24 V
Frekuensi	20 kHz
Duty Cycle	10%-70%

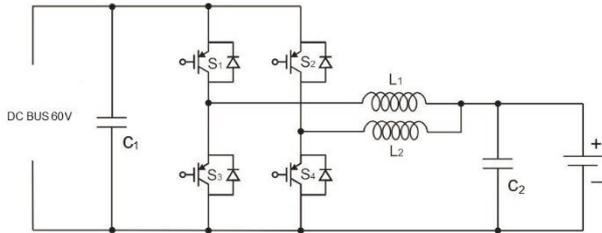
Terdapat 4 komponen penyusun rangkaian konverter, yaitu induktor, kapasitor, diode MUR1560[12], *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (MOSFET)* K3878[13]. Komponen penyusun *boost converter* yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Table 4.

Untuk topologi konverter sisipan dapat dilihat pada Gambar 2, topologi ini menggunakan topologi sisipan

dimana menggabungkan dua *buck* dan *boost* secara paralel[14].

Table 4. Komponen penyusun *boost converter*

Komponen	Tipe/Nilai
MOSFET	K3878
Dioda	MUR1560
Induktor	2mH
Kapasitor	470µF/100V dan 1000 µF/50V
Resistor	47 Ω, 56 Ω, 100 Ω, 400 Ω, dan 470 Ω.



Gambar 2. Rangkaian konverter sisipan[15]

Realisasi konverter sisipan yang telah dibuat pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Realisasi rangkaian konverter

2.4. Perancangan Rangkaian Kendali

Perancangan rangkaian kendali pada penelitian ini dibagi menjadi 2 bagian yaitu, perancangan rangkaian pembangkit PWM yang menggunakan sistem minimum ATMEGA328P serta rangkaian kontrol dan monitoring konverter online. Berikut merupakan penjelasan tiap bagian perancangan rangkaian kontrol pada penelitian ini.

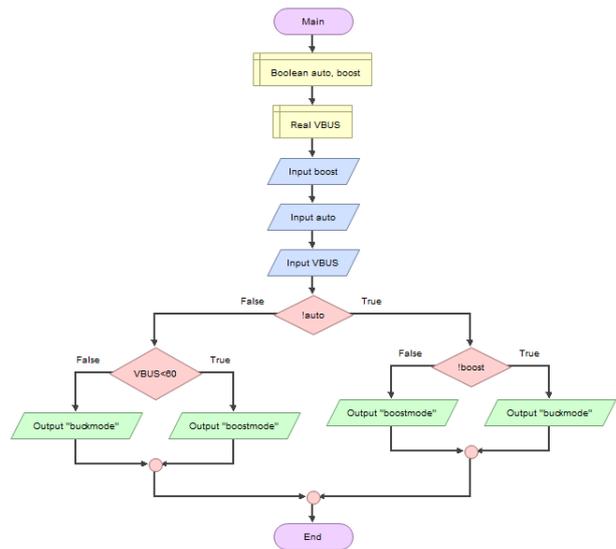
2.5.1. Sistem Minimum ATMEGA328P

Pada pembangkitan sinyal PWM pada perancangan tugas akhir ini menggunakan *Port Register* atau biasa disebut *Port Manipulation* untuk menghasilkan sinyal PWM yang seolah-olah memiliki pergeseran fasa sebesar 180°. *Port* yang digunakan adalah PORTB pada ATMEGA328P yang mengarah ke pin D8 sampai D13. Untuk mode *boost*, pin yang digunakan adalah pin 10 dan 11 sedangkan untuk mode *buck*, pin yang digunakan adalah pin 8 dan 9.

2.5.2. Kontrol dan Monitoring Online (ESP32)

Kontrol dan monitoring online pada konverter menggunakan mikrokontroler ESP32. Fitur ini bertujuan untuk menampilkan pembacaan sensor tegangan pada DC Bus dan baterai diaplikasi *blynk*. Selain fitur tersebut terdapat fitur kontroling yang memungkinkan pengguna untuk merubah mode konverter.

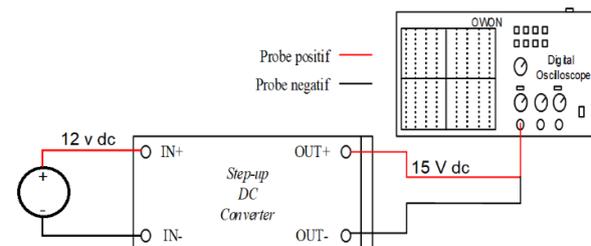
Terdapat dua mode konverter yaitu mode auto dan mode manual. Mode *buck* dan mode *boost* pada mode *auto* diatur secara otomatis oleh ESP32 berdasarkan tegangan DC busnya. Ketika DC bus lebih dari 60 V maka switch PWM pada mode *buck* akan aktif dan switch PWM pada mode *boost* akan non-aktif, sebaliknya ketika DC bus kurang dari 60 V maka switch PWM pada mode *buck* akan non-aktif dan switch PWM pada mode *boost* akan aktif. Untuk mode manual, pengguna dapat mengatur kondisi konverter dari mode *buck* ke *boost* maupun dari mode *boost* ke *buck*. Diagram alir dari rangkaian kontrol dan monitoring online ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir Kontrol Monitoring Konverter

3. Hasil dan Analisis

3.1. Pengujian Rangkaian Daya



Gambar 5. Pengujian rangkaian suplai driver MOSFET

Pengujian rangkaian suplai *driver* MOSFET bertujuan untuk mengetahui gelombang dan nilai tegangan keluaran rangkaian suplai.

Gambar 5 merupakan rangkaian pengujian suplai *driver* MOSFET. Pengujian dilakukan dengan mengukur tegangan keluaran dengan probe osiloskop dan mengamati gelombang keluarannya. Hasil pengujian rangkaian suplai *driver* MOSFET dapat dilihat pada Gambar 6



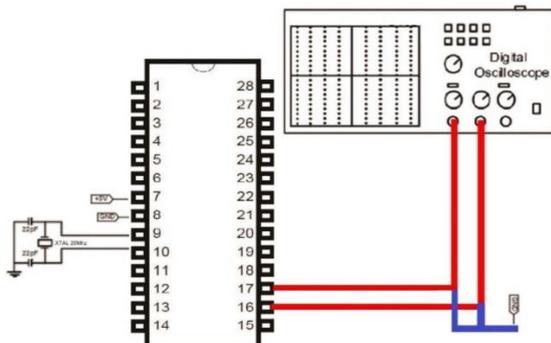
Gambar 6. Gelombang tegangan keluaran rangkaian suplai *driver* MOSFET

3.2. Pengujian Rangkaian Pembangkit PWM

Pengujian rangkaian pembangkit PWM terdiri dari 2 pengujian, yaitu pengujian pada *mode buck* dan pada *mode boost* dengan pergeseran fasa PWM 180°. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik *output* sinyal PWM hasil pemrograman yang telah dirancang dengan frekuensi sinyal *carrier* 20 kHz.

3.2.1. Pengujian Pergeseran fasa *boost mode*

Pengukuran dilakukan menggunakan dua *channel Oscilloscope*, dengan *probe* sinyal yang diilustrasikan dengan kabel merah masuk ke pin digital 11 dan pin digital 10 ATMEGA328P, sedangkan *probe ground* yang diilustrasikan dengan kabel biru masuk ke pin *ground* ATMEGA328P.



Gambar 7. Rangkaian pengujian *output mode boost* pada pin digital 10 dan 11

Pengujian dilakukan pada pin digital 10 dan 11 ATMEGA328P dan pin VDD sebagai referensi. Pada pengujian ini diuji 3 sinyal PWM dengan *duty cycle* yang berbeda. Hasil gelombang *output* sinyal PWM ATMEGA328P dapat dilihat pada Gambar 8, 9, dan 10



Gambar 8. Gelombang keluaran PWM pada *mode boost* dengan *duty cycle* 50%



Gambar 9. Gelombang keluaran PWM pada *mode boost* dengan *duty cycle* 60%



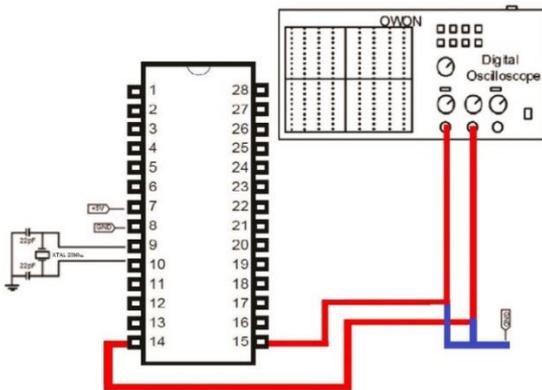
Gambar 10. Gelombang keluaran PWM pada *mode boost* dengan *duty cycle* 80%

Gambar 8, Gambar 9, dan Gambar 10 menunjukkan perbedaan gelombang digital 10 dan 11 ATMEGA328P yang ditampilkan di osiloskop. Pin digital 11 mengalami pergeseran fasa sebesar 180° dibanding pin digital 10 dengan tujuan agar saat dihubungkan dengan rangkaian

daya, arus salah satu induktor akan bergeser sehingga menghasilkan riak arus keluaran yang lebih kecil.

3.2.2. Pengujian Pergeseran Fasa *Buck Mode*

Pengujian ke dua dilakukan menggunakan dua *channel Oscilloscope*, dengan *probe* sinyal yang diilustrasikan dengan kabel merah masuk ke pin digital 8 dan pin digital 9 ATMEGA328P, sedangkan *probe ground* yang diilustrasikan dengan kabel biru masuk ke pin *ground* ATMEGA328P. Pada pengujian *mode buck* diuji 3 PWM dengan *duty cycle* yang berbeda.



Gambar 11. Rangkaian pengujian *output* ATMEGA328P *phase shift*

Pengujian dilakukan pada pin digital 8 dan 9 ATMEGA328P dan pin VDD sebagai referensi. Hasil gelombang *output* sinyal PWM ATMEGA328P dapat dilihat pada gambar 12, 13, dan 14.



Gambar 12. Gelombang keluaran PWM pada *mode buck* dengan *duty cycle* 20%



Gambar 13. Gelombang keluaran PWM pada *mode buck* dengan *duty cycle* 30%

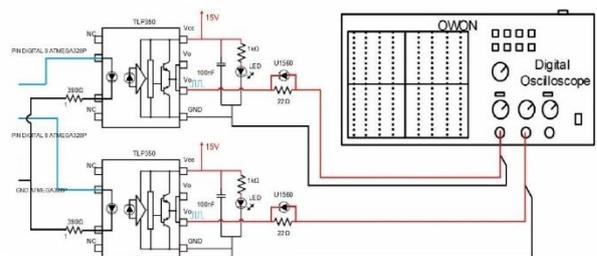


Gambar 14. Gelombang keluaran PWM pada *mode buck* dengan *duty cycle* 40%

Gambar 12, Gambar 13, dan Gambar 14 menunjukkan perbedaan gelombang digital 8 dan 9 ATMEGA328P yang ditampilkan di osiloskop. Pin digital 9 mengalami pergeseran fasa sebesar 180° dibanding pin digital 8 dengan tujuan agar saat dihubungkan dengan rangkaian daya, arus salah satu induktor akan bergeser sehingga menghasilkan riak arus keluaran yang lebih kecil.

3.2.3. Pengujian Driver MOSFET

Pengujian *Driver* MOSFET TLP250 dilakukan menggunakan osiloskop digital 2 kanal pada sisi *high driver* MOSFET dengan titik referensi *ground*. Rangkaian pengujian *driver* MOSFET TLP250 ditunjukkan pada Gambar 15.

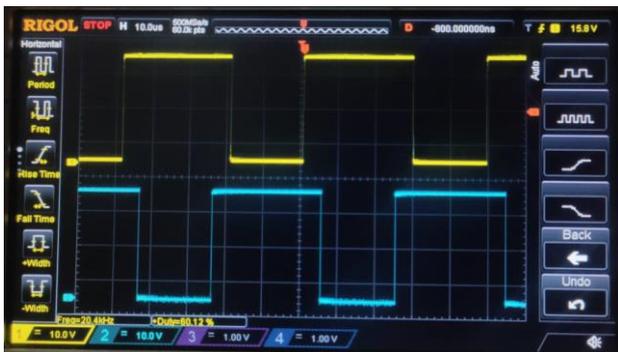


Gambar 15. Rangkaian pengujian *driver* TLP250

Pengukuran dilakukan guna memastikan rangkaian *Driver* MOSFET TLP250 mendapat *supply* yang diinginkan dari mikrokontroller ATMEGA328P. Pengamatan gelombang keluaran dilakukan dengan sampel *duty cycle* 20% dan 80% pada pin 6 atau pin 5 TLP250 dengan $V/div = 5\text{ V}$, $T/div = 25.0\text{ us}$ dan faktor pengali *probe* osiloskop 1x. Gelombang keluaran *driver* MOSFET TLP250 yang mendapat *supply* sinyal PWM dari mikrokontroller ATMEGA328P melalui pin digital 9 dan pin digital 8 ditunjukkan pada Gambar 16.



Gambar 16. Gelombang keluaran *driver* TLP250 dengan *duty cycle* 40%



Gambar 17. Gelombang keluaran *driver* TLP250 dengan *duty cycle* 60%

Gambar 16 dan Gambar 17 menunjukkan keluaran *driver* MOSFET TLP250 membentuk pola yang sama dengan pola sinyal pemucuan PWM yang dibangkitkan oleh ATMEGA328P dengan *duty cycle* 40% dan 60%, namun dengan tegangan yang lebih tinggi. Keluaran TLP250 memiliki 3 div dalam skala $V/div = 5\text{ V/div}$, sehingga diperoleh tegangan keluaran *driver* MOSFET adalah sebagai berikut.

$$V_{MOSFET\ Driver} = 3 \times 5\text{ V/div} \times 1$$

$$V_{MOSFET\ Driver} = 15\text{ Volt}$$

Tegangan keluaran *driver* MOSFET yang dihasilkan mampu memicu *switching* MOSFET K3878 berdasarkan *datasheet* memerlukan tegangan pemucuan (V_{GS}) 15V – 25V.

3.3. Pengujian Rangkaian Daya

Pada pengujian rangkaian ini bertujuan untuk memastikan konverter yang dirancang sudah bekerja. Pengujian dilakukan dengan mengukur nilai tegangan masukan, arus masukan, tegangan keluaran, dan arus keluaran. Berikut merupakan gambar rangkaian pengujian Konverter DC-DC Dua Arah Sisipan pada mode *buck* dan mode *boost*.

3.3.1. Pengujian mode *buck*

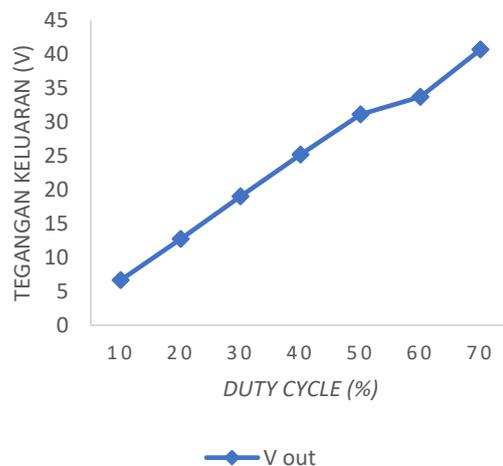
Pada pengujian mode *buck* pin 8 dan pin 9 ATMEGA328P berperan memberikan sinyal PWM dengan pergeseran fasa 180° . Pada pengujian mode *buck* dilakukan dengan sumber tegangan dari DC Bus. Pengujian menggunakan variasi resistor yaitu $47\ \Omega$, $56\ \Omega$, dan $100\ \Omega$ serta variasi *duty cycle* 10%-70%. Berikut merupakan hasil pengujian rangkaian konverter DC-DC Dua Arah Sisipan.

Table 5. Data hasil pengujian mode *buck* pada beban 56 ohm

Duty Cycle (%)	Vin (V)	Iin(A)	Vout(V)	Iout(A)	Efisiensi (%)
10	64.3	0.012	6.66	0.11	90.3
20	64.3	0.05	12.75	0.23	90.56
30	64.3	0.10	19.03	0.32	91.98
40	64.3	0.18	25.2	0.45	93.45
50	64.3	0.31	31.13	0.56	86.77
60	64.3	0.34	33.73	0.6	90.23
70	64.3	0.53	40.7	0.71	84.76

Efisiensi pada Table 5, dilakukan dengan membandingkan daya keluaran dengan daya masukan $\frac{P_{out}}{P_{in}}$ yang hasilnya diubah menjadi persentase.

Perbandingan variasi dari *duty cycle* dengan tegangan keluaran pengukuran ditunjukkan pada gambar 18.



Gambar 18. Grafik variasi *duty cycle* dan tegangan keluaran *buck mode* pada resistor $56\ \Omega$ dengan V_{in} 64.3 V.

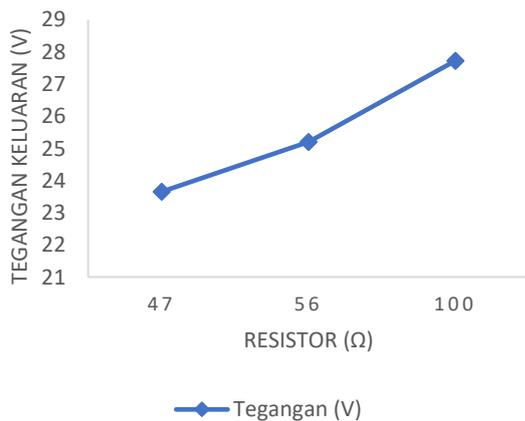
Bedasarkan Gambar 18, menunjukkan grafik hubungan antara duty cycle dengan tegangan keluaran dari mode buck. Duty cycle mempengaruhi tegangan keluaran, semakin naik nilai duty cycle maka tegangan keluarannya semakin tinggi begitu juga dengan sebaliknya. Pada mode buck tegangan sisi keluaran selalu lebih kecil dibandingkan dengan tegangan pada sisi input.

Table 6. Data hasil pengujian mode buck pada beban 47, 56, dan 100 dengan duty cycle 40 %

Beban (Ω)	Duty Cycle (%)	Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	Efisiensi (%)
47	40	60.3	0.19	23.65	0.5	94.54
56	40	60.3	0.18	25.2	0.45	93.45
100	40	60.3	0.13	27.72	0.27	90.32

Efisiensi pada Table 6, dilakukan dengan membandingkan daya keluaran dengan daya masukan $\frac{P_{out}}{P_{in}}$ yang hasilnya diubah menjadi persentase.

Perbandingan variasi beban dengan tegangan keluaran digambarkan pada Gambar 19.



Gambar 19. Grafik variasi beban dan tegangan keluaran mode buck

Bedasarkan Gambar 19, menunjukkan grafik hubungan antara beban dengan tegangan keluaran dari konverter mode buck. Hubungan antara beban dengan tegangan keluaran semakin tinggi juga. Mode buck menyebabkan tegangan keluaran selalu lebih kecil dari tegangan masukan.

3.3.2. Pengujian Mode Boost

Pada pengujian mode boost pin 10 dan pin 11 ATMEGA328P berperan memberikan sinyal PWM dengan pergeseran fasa 180°. Pengujian mode boost dilakukan dengan sumber suplai DC. Pengambilan data menggunakan variasi resistor yaitu 400 Ω, dan 470 Ω, serta

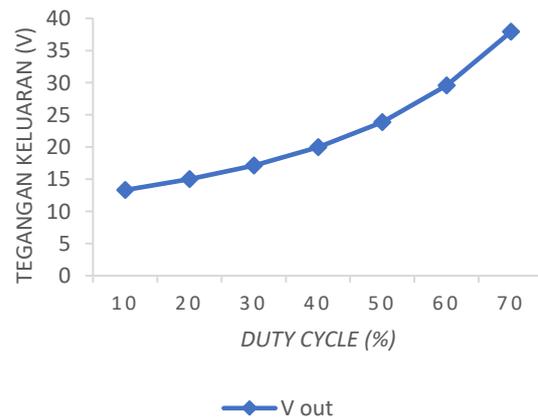
variasi duty cycle 10%-70%. Berikut merupakan hasil pengujian rangkaian Konverter DC-DC Dua Arah Sisipan.

Table 7. Data hasil pengujian mode boost dengan beban 470 ohm.

Duty Cycle (%)	Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	Efisiensi (%)
10	12.5	0.033	13.32	0.028	90.65
20	12.5	0.041	14.99	0.031	91.54
30	12.5	0.053	17.11	0.036	93.23
40	12.5	0.071	19.96	0.042	95.12
50	12.5	0.1	23.85	0.05	95.85
60	12.5	0.16	29.55	0.06	87.45
70	12.5	0.27	37.9	0.08	88.23

Efisiensi pada Table 7, dilakukan dengan membandingkan daya keluaran dengan daya masukan $\frac{P_{out}}{P_{in}}$ yang hasilnya diubah menjadi persentase.

Perbandingan variasi dari duty cycle dengan tegangan keluaran pengukuran ditunjukkan pada gambar 20.



Gambar 20. Grafik variasi duty cycle dan tegangan keluaran boost mode pada resistor 470 Ω dengan Vin 12.5 V

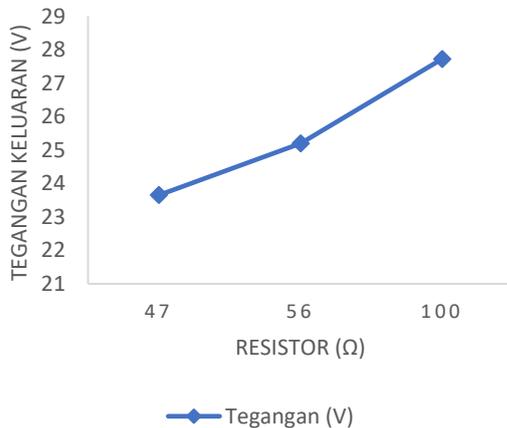
Bedasarkan Gambar 20, menunjukkan grafik hubungan antara duty cycle dengan tegangan keluaran dari mode boost. Duty cycle mempengaruhi tegangan keluaran, semakin naik nilai duty cycle maka tegangan keluarannya semakin tinggi begitu juga dengan sebaliknya. Pada mode boost tegangan sisi keluaran selalu lebih besar dibandingkan dengan tegangan pada sisi input.

Table 8. Data hasil pengujian mode boost pada beban 400, 470, dan 570 dengan duty cycle 60 %

Beban (Ω)	Duty Cycle (%)	Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	Efisiensi (%)
400	60	12.5	0.19	29.4	0.07	90.87
470	60	12.5	0.16	29.55	0.06	87.45
570	60	12.5	0.14	30.90	0.04	89.38

Efisiensi pada Table 8 dilakukan dengan membandingkan daya keluaran dengan daya masukan $\frac{P_{out}}{P_{in}}$ yang hasilnya diubah menjadi persentase.

Perbandingan variasi beban dengan tegangan keluaran digambarkan pada Gambar 21.



Gambar 21. Grafik variasi beban dan tegangan keluaran mode buck

Bedasarkan Gambar 21, menunjukkan grafik hubungan antara beban dengan tegangan keluaran dari konverter mode *boost*. Hubungan antara beban dengan tegangan berbanding lurus, emakin tinggi beban maka tegangan keluaran semakin tinggi juga. Mode *boost* menyebabkan tegangan keluaran selalu lebih tinggi dari tegangan masukan.

3.4. Pengujian Rangkaian Kontrol dan Monitoring Online

3.4.1. Monitoring Konverter



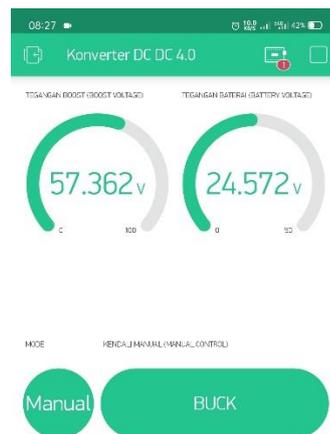
Gambar 22. Tampilan pembacaan tegangan pada sisi boost (DC boost) dan sisi buck (baterai)

Rangkaian pembagi tegangan atau sensor tegangan yang terhubung dengan ESP32 akan memberikan nilai pengukuran tegangan pada sisi *boost* (DC bus) dan sisi buck (baterai) dan akan dikirimkan ke server *blynk*. Setelah nilai pembacaan sensor dikirimkan ke server *blynk*, maka pembacaan sensor dapat ditampilkan melalui aplikasi *blynk*.

Sesuai dengan gambar 22, pembacaan sensor tegangan pada sisi *boost* dan *buck* dapat ditampilkan pada aplikasi *blynk*. Pembacaan ini adalah pembacaan *realtime* dengan pembaharuan tiap 1 detik.

3.4.2. Kontrol Konverter

Pada aplikasi *blynk* terdapat 2 tombol yang dapat diakses oleh pengguna. Tombol pertama adalah tombol auto dan manual. Apabila tombol auto ditekan, maka ESP32 berada pada mode auto konverter. Mode ini adalah mode yang mengatur perubahan konverter dari *buck* ke *boost* atau sebaliknya berdasarkan pembacaan tegangan DC bus. Tombol kedua merupakan tombo manual boost dan manual buck. Tombol ini akan mengubah mode *buck* ke mode *boost* secara manual.



Gambar 23. Tampilan aplikasi *blynk* pada mode manual buck

Gambar 23 merupakan tampilan ketika mode manual *buck* diaktifkan. Pada mode manual *buck*, ESP32 akan mengaktifkan *switch* PWM pada driver MOSFET mode *buck*. Sehingga pada kondisi ini konverter tidak lagi mengacu pada tegangan DC bus. Pada mode ini konverter akan mengalirkan daya dari DC bus ke baterai (*charge*).

Gambar 24 merupakan tampilan ketika mode manual *boost* diaktifkan. Pada mode manual *boost*, ESP32 akan mengaktifkan *switch* PWM pada driver MOSFET mode *boost*. Sehingga pada kondisi ini konverter tidak lagi mengacu pada tegangan DC bus. Pada mode ini konverter akan mengalirkan daya dari baterai ke DC bus (*discharge*).



Gambar 24. Tampilan aplikasi *blynk* pada mode manual *boost*

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis pada penelitian dapat disimpulkan bahwa konverter DC-DC dua arah sisipan yang dibuat dapat mengalirkan daya dua arah dari sisi baterai ke DC bus dan sebaliknya. Pada pengujian rangkaian daya mode *buck* menggunakan resistor 47, 56, dan 100 ohm dapat menghasilkan rata-rata efisiensi yang tinggi sebesar 88% dan pengujian pada mode *boost* menggunakan resistor 400, 470, dan 570 ohm dapat menghasilkan rata-rata efisiensi yang tinggi sebesar 92%.

Rangkaian kontrol dan monitoring online mampu menampilkan nilai tegangan pada sisi *buck* dan *boost*, serta kontrol manual mampu mengubah mode konverter melalui aplikasi *blynk*.

Referensi

[1]. Direktorat J. Ketenagalistrikan, "Statistik ketenaga listrikan," https://Gatrik.Esdm.Go.Id/Frontend/Download_Index?Kode_Catagory=Statistik., vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2019.

[2]. Suhariyanto, "Catalog : 1101001," *Stat. Indones.* 2020, vol. 1101001, p. 790, 2020, [Online]. Available: <https://www.bps.go.id/publication/2020/04/29/e9011b3155d45d70823c141f/statistik-indonesia-2020.html>.

[3]. S. RI, "Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional Tahun 2020-2024 - Lampiran II: Proyek Prioritas Strategis (Major Project)," 2020.

[4]. A. I. Ramadhan, E. Diniardi, and S. H. Mukti, "Analisis Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 50 WP," *Teknik*, vol. 37, no. 2, p. 59, 2016, doi: 10.14710/teknik.v37i2.9011.

[5]. L. pradipta setiya Raharja, R. P. Eviningsih, I. Ferdiansyah, and D. S. Yanaratri, "Perancangan Dan Implementasi DC-DC Bidirectional Converter Dengan Sumber Energi Listrik Dari Panel Surya Dan Baterai Untuk Pemenuhan Kebutuhan Daya Listrik Beban," *JTT (Jurnal Teknol. Terpadu)*, vol. 7, no. 2, pp. 111–118, 2019, doi: 10.32487/jtt.v7i2.709.

[6]. Y. Yang, T. Guan, S. Zhang, W. Jiang, and W. Huang, "More Symmetric Four-Phase Inverse Coupled Inductor for Low Current Ripples & High-Efficiency Interleaved Bidirectional Buck/Boost Converter," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 33, no. 3, pp. 1952–1966, 2018, doi: 10.1109/TPEL.2017.2745686.

[7]. A. Joseph and J. Francis, "Design and Simulation of Two Phase Interleaved Buck Converter," vol. 4, no. 1, pp. 8–15, 2015.

[8]. C. M. Lai, Y. C. Lin, and D. Lee, "Study and implementation of a two-phase interleaved bidirectional DC/DC converter for vehicle and DC-microgrid systems," *Energies*, vol. 8, no. 9, pp. 9969–9991, 2015, doi: 10.3390/en8099969.

[9]. TOSHIBA, "TLP 250," vol. 250, pp. 1–6, 2002.

[10]. S. T. Data, "General Purpose Transistors MMBT2907LT1," pp. 1–7, 1996.

[11]. D. A. K. S. Anjana Thakur, "An Overview of Different PWM Techniques to Reduce Total Harmonic Distortion of Output in," *Int. J. Recent Res. Electr. Electron. Eng.*, vol. 3, no. 2, pp. 65–69, 2016.

[12]. Intersil, "Mur1540, mur1560, rurp1540, rurp1560," no. 2778, pp. 1–3, 2000.

[13]. TOSHIBA, "K3878 Datasheet," *Source*, pp. 1–6, 2013.

[14]. I. S. Wardani and S. Manan, "Power Supply Inverter Dc-Dc Sebagai Supply Audio Amplifier," *Gema Teknol.*, vol. 18, no. 4, p. 5, 2016, doi: 10.14710/gt.v18i4.21909.

[15]. K. Yakin, "Teori dasar listrik dan rangkaiannya," 2019.