

Rancang Bangun Buck Converter Efisiensi Tinggi Dengan Pengendali Arduino Nano Berbasis Simulasi Multisim 14.2

Ahmad Mushawwir Alfikri¹; Sofitri Rahayu¹

1. Institut Teknologi PLN, Institut Teknologi PLN, Menara PLN, Jl. Lingkar Luar Barat, Duri Kosambi, Cengkareng, Jakarta Barat, DKI Jakarta 11750, Indonesia

**)Email: musha1811233@itpln.ac.id*

Received: 31 Desember 2022 | Accepted: 29 Januari 2024 | Published: 29 Januari 2024

ABSTRACT

A DC converter is needed to adjust the voltage generated by the PV cell so that it can be connected to the battery. DC converter devices have various efficiencies depending on the type of topology, as well as the selection of electronic components that make up the DC converter which has an impact on a lot of wasted energy in the electrical conversion process. According to Chapman (2005:105), the Buck Converter topology has an efficiency of up to 85%. A common challenge found in all types of DC converters is how to design a DC converter with high work efficiency. The author designed a Buck Converter with an efficiency of up to 90%, which can be integrated with a 20Wp PV Cell as input and a 12V50Ah VRLA Battery as output. The design begins by making a circuit simulation on the NI Multisim 14.2 software. Based on the simulation, a Buck Converter prototype was made with an Arduino Nano controller. Input Voltage Variation Test resulted that the maximum efficiency of the Buck Converter Simulation is 98% and the maximum efficiency of the Buck Converter Prototype is 92%. Duty Cycle Variation Test resulted that the maximum efficiency of Buck Converter Simulation is 99.3% and the maximum efficiency of Buck Converter Prototype is 96.4%. Load Variation Test resulted that the maximum efficiency of Buck Converter Simulation is 97.3% and the maximum efficiency of Buck Converter Prototype is 91.8%.

Keywords: *Buck Converter, Efficiency, Arduino Nano, NI Multisim 14.2*

ABSTRAK

Diperlukan perangkat Konverter DC untuk menyesuaikan tegangan yang dihasilkan PV Cell agar bisa dihubungkan ke Baterai. Perangkat Konverter DC memiliki efisiensi yang beragam tergantung dari jenis topologi, serta pemilihan komponen elektronika penyusun Konverter DC yang berdampak pada banyak energi yang terbuang dalam proses konversi listrik. Menurut Chapman (2005:105), topologi Buck Converter memiliki efisiensi mencapai 85%. Tantangan umum yang didapatkan pada semua jenis Konverter DC adalah bagaimana merancang suatu Konverter DC dengan efisiensi kerja yang tinggi. Penulis merancang Buck Converter dengan efisiensi mencapai 90%, yang dapat diintegrasikan dengan PV Cell 20Wp sebagai masukan dan Baterai VRLA 12V50Ah sebagai keluaran. Perancangan dimulai dengan membuat simulasi rangkaian pada software NI Multisim 14.2. Berdasarkan simulasi tersebut, dilakukan pembuatan prototipe Buck Converter dengan pengendali Arduino Nano. Pengujian dengan variasi tegangan masukan menghasilkan efisiensi maksimum Simulasi Buck Converter sebesar 98% dan efisiensi maksimum Prototipe Buck Converter sebesar 92%. Pengujian dengan variasi Duty Cycle menghasilkan efisiensi maksimum Simulasi Buck Converter sebesar 99,3% dan efisiensi maksimum Prototipe Buck Converter sebesar 96,4%. Pengujian dengan variasi beban menghasilkan efisiensi maksimum Simulasi Buck Converter sebesar 97,3% dan efisiensi maksimum Prototipe Buck Converter sebesar 91,8%.

Kata kunci: *Buck Converter, Efisiensi, Arduino Nano, NI Multisim 14.2*

1. PENDAHULUAN

Pada Laboratorium PLTS Institut Teknologi PLN, terdapat PV Cell dengan kapasitas 20Wp yang mampu menghasilkan tegangan dan arus listrik searah yang selanjutnya dihubungkan ke Baterai VRLA 12V50Ah. Namun tegangan listrik yang dihasilkan oleh PV Cell 20 Wp tidak stabil tergantung dengan intensitas cahaya. Dibutuhkan perangkat Konverter DC, agar PV Cell 20Wp mampu menyuplai arus listrik ke baterai secara berkelanjutan dengan tegangan yang stabil sesuai dengan spesifikasi baterai. Tantangan umum yang didapatkan pada semua jenis Konverter DC adalah bagaimana merancang suatu Konverter DC dengan efisiensi kerja yang tinggi. Menurut Chapman & Musunuri (2005:105) dan juga dilansir oleh Würth Elektronik GmbH (2021), Konverter DC terbagi menjadi beberapa topologi, salah satunya Buck Converter yang memiliki efisiensi mencapai 85%. [6][10] Masalah efisiensi berhubungan dengan seberapa banyak energi yang terbuang dalam proses konversi listrik, dan dipengaruhi oleh pemilihan komponen elektronika yang digunakan. Kesalahan dalam penggunaan komponen, dapat menimbulkan hasil konversi yang buruk dan memicu kerusakan peralatan Konverter DC serta kerusakan peralatan listrik DC lain yang terhubung dengan Konverter DC.

Perancangan Buck Converter sebagai *Solar Charger* PV Cell 20Wp pernah dilakukan oleh Umi Azizah, dimana perancangan ini berbasis Metode Cohen Coon dengan beban resistif bervariasi dan Baterai 12V. Metode Cohen Coon adalah salah satu metode untuk menentukan K_p , K_i , dan K_d pada kontrol PID. Metode tersebut diharapkan bisa digunakan sebagai pengendali tegangan keluaran dengan mengatasi overshoot arus dan tegangan output. Rancangan Buck Converter ini menghasilkan arus maksimum sebesar 0,62 A pada beban 10,8 Ohm dan mencapai efisiensi tertinggi pada beban 27 Ohm yaitu sebesar 84%. [5]

Disisi lain, telah dilakukan penelitian peningkatan efisiensi DC Converter dengan teknik Zero Voltage Switching (ZVS) untuk Koreksi Faktor Daya Beban Nonlinier oleh Rahmad Hidayat. Metode ZVS ini menerapkan pensaklaran tegangan nol sewaktu turn-on, dengan bantuan komponen induktor resonansi L_r dan kapasitor resonansi C_r . Hasil pengujian dan analisa menunjukkan bahwa terjadi peningkatan rata-rata efisiensi konverter dc-dc penaik tegangan yang digunakan sebagai koreksi faktor daya beban nonlinier dengan penerapan metode Zero Voltage Switching (ZVS) sebesar 4%. [7]

Pemodelan Simulasi Buck Converter dapat dirancang dengan menggunakan beberapa perangkat lunak seperti Matlab/Simulink, Proteus, NI Multisim, ataupun LTSpice. Buck Converter juga dapat diintegrasikan dengan microcontroller seperti IC555 Timer, STM32F4, IC TL494, ataupun ATmega328P sebagai pengendali Buck Converter. Hal ini telah dilakukan oleh Hilmansyah, yang melakukan rancang bangun Buck Converter berbasis microcontroller STM32F4 dan didesain dengan menggunakan aplikasi MATLAB/Simulink, memiliki komponen TLP521 sebagai pengaman rangkaian daya, IGBT FGH75T65UPD sebagai saklar, dan IR2111 sebagai gate driver untuk IGBT. Buck Converter yang bekerja dengan frekuensi 100kHz ini dirancang untuk menerima input tegangan sebesar 35 V dengan keluaran bervariasi mulai dari 3,5 V sd. 31,5 V. Riak Tegangan diatur sebesar 0,1% dan Riak Arus sebesar 10%. Hasil pengujian memberikan informasi bahwa perubahan Duty Cycle berbanding lurus dengan Tegangan Output, Arus Output, dan Efisiensi. [8]

Diperlukan beberapa pengujian untuk mengetahui kualitas Buck Converter yang dirancang. Kualitas Buck Converter dapat diukur dari sisi Efisiensi, Regulasi Tegangan, Rugi-Rugi Daya, dan Kesalahan Relatif atau Error Ratio antara Pemodelan Simulasi dengan Prototipe Fisik Buck Converter. Sebagaimana yang telah diteliti oleh Nur Fadila Supi'i, dimana Buck Converter diuji terhadap variasi beban resistif (100 Ohm, 220 Ohm, 470 Ohm, 1 kOhm, dan 3 kOhm), nilai induktansi (23,2 mH dan 41,6 mH), serta nilai Duty Cycle (10%, 25%, 50%, 75%, dan 90%).

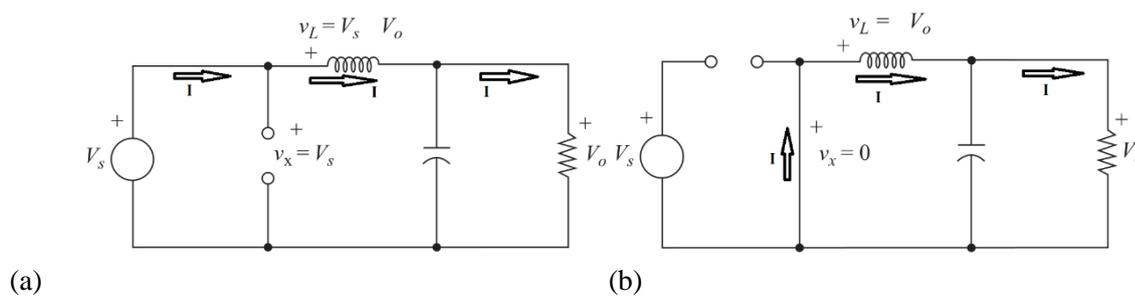
Tegangan Output terkecil yang dihasilkan adalah 37 Volt dengan beban resistif sebesar $1k\Omega$ dan Duty Cycle 10%. Tegangan Output tersebut mendekati nilai tegangan yang diharapkan yaitu 30 Volt pada kondisi Duty Cycle 9,375%. Sehingga nilai error yang didapatkan berdasarkan pengujian sebesar 18,9%. Efisiensi terbesar dihasilkan ketika diberi beban resistif $1k\Omega$ dengan Tegangan Output 37 Volt dan Duty Cycle 10% yaitu sebesar 88,125%. [9]

Berdasarkan pemaparan penelitian diatas, dapat dipahami bahwa telah dilakukan berbagai penelitian peningkatan efisiensi Buck Converter melalui proses Rancang Bangun, dimana hasil penelitian digarap dari beberapa model pengujian. Namun nilai efisiensi Buck Converter yang didapatkan belum mencapai 90%. Dengan pertimbangan demikian, Penulis merancang Konverter DC dengan topologi Buck Converter dengan efisiensi mencapai 90% berbasis simulasi pada perangkat lunak NI Multisim 14.2. Selanjutnya penulis membuat prototipe (rancang bangun) Buck Converter tersebut dengan pengendali microcontroller Arduino Nano sehingga Buck Converter dapat menghasilkan Tegangan Keluaran 13,5V sesuai dengan spesifikasi tegangan Baterai VRLA12V50Ah. Peneliti juga akan menguji performa Buck Converter dengan beberapa variasi Tegangan Masukan dan dalam menyuplai beberapa variasi beban, yang selanjutnya disesuaikan dengan simulasi dengan harapan efisiensi mencapai 90%.

2. METODE/PERANCANGAN PENELITIAN

2.1. Buck Converter

Buck Converter adalah topologi konverter dc-dc jenis penurun tegangan. *Buck Converter* terdiri dari sebuah Saklar Semikonduktor yang dapat berupa Thyristor atau Transistor, dioda, induktor filter dan kapasitor filter. Prinsip kerja *buck converter* terbagi menjadi dua fase, yaitu fase ON dan fase OFF. [6]



Gambar 1. Rangkaian Buck Converter. (a) Pada saat Fase Switch ON; (b) Pada saat Fase Switch OFF.

Ketika pada fase ON atau saklar pada kondisi nyala, arus sumber mengalir melalui induktor filter L menuju kapasitor filter C dan output beban resistor. Pengisian muatan yang terjadi pada kapasitor filter mengakibatkan kenaikan tegangan pada kapasitor filter sehingga nilai Tegangan Keluaran beban resistor mendekati nilai tegangan masukan. [1][2][4][5]

Ketika pada fase OFF atau saklar pada kondisi padam, terjadi pengosongan pada kapasitor, karena pengisian terhenti oleh padamnya saklar, dan energi yang tersimpan di kapasitor dilepaskan dalam bentuk arus listrik yang mengalir ke beban resistor. Lalu pada inductor filter, terjadi pembalikan polaritas sehingga energi yang tersimpan pada induktor akan menjadi arus yang mengalir terbalik. Namun karena saklar pada kondisi padam dan adanya dioda Zener yang memblokir jalannya arus, mengakibatkan arus mengalir ke arah beban resistor. Proses pengisian dan pengosongan inilah yang menyebabkan tegangan keluaran selalu lebih rendah dari tegangan masukannya. [1][2][4][5]

Menurut Rashid (2001:213) dan Hart (2011:198), terdapat beberapa tahapan yang perlu dilalui untuk merancang sutau Buck Converter [1][4], yaitu:

1. Menentukan Tegangan Masukan dan Tegangan Keluaran Buck Converter.

$$D = \frac{V_o}{V_s} \dots \dots \dots (2.1)$$

2. Menentukan Arus Keluaran atau Resistansi Pembebanan

$$I_L = I_o = \frac{V_o}{R} \dots \dots \dots (2.2)$$

Ket: $D = Duty\ Cycle\ (\%)$
 $V_o = Tegangan\ Keluaran\ (V)$
 $V_s = V_i = Tegangan\ Masukan\ (V)$
 $R = Resistansi\ Keluaran/Resistansi\ Beban\ (\Omega)$
 $I_o = I_L = Arus\ Rata-Rata\ Induktor = Arus\ Keluaran\ (A)$

3. Menentukan Frekuensi Pensaklaran
Frekuensi Pensaklaran yang lebih rendah dapat menghasilkan riak tegangan dan riak arus yang besar dan memicu rendahnya efisiensi Buck Converter. Untuk itu Buck Converter dirancang bekerja pada frekuensi diatas 10kHz atau lebih tinggi dari itu agar Rugi-Rugi Pensaklaran dapat dikurangi.

4. Menentukan Riak Arus Keluaran
Riak Arus Induktor tidak dapat dihindari, sebagai akibat dari adanya proses pemotongan tegangan masukan dari komponen Saklar Semikonduktor pada Buck Converter yang berbeban. Riak Arus Keluaran yang ideal harus bernilai sekecil mungkin untuk mencegah hasil filtering arus yang buruk dan besarnya rugi-rugi konduksi. Pada Umumnya Riak Arus Induktor ditentukan dengan nilai 1% sd. 5% dari Nilai Rata-Rata Arus Induktor atau Arus Keluaran.

5. Menentukan Riak Tegangan Keluaran
Riak Tegangan Keluaran tidak dapat dihindari, sebagai akibat dari adanya proses pemotongan tegangan masukan dari komponen Saklar Semikonduktor pada Buck Converter. Riak Tegangan Keluaran yang ideal harus bernilai sekecil mungkin untuk mencegah hasil filtering arus yang buruk dan besarnya rugi-rugi konduksi. Pada Umumnya Riak Tegangan Keluaran ditentukan dengan nilai 1% sd. 10% dari Nilai Tegangan Keluaran.

6. Menentukan Induktansi Induktor Filter

$$L = \frac{V_o(1-D)}{\Delta i_L f} \dots \dots \dots (2.3)$$

7. Menentukan Kapasitansi Kapasitor Filter

$$C = \frac{1-D}{8L \frac{\Delta V_o}{V_o} f^2} \dots \dots \dots (2.4)$$

Ket: $L = Induktor\ Filter\ (H)$
 $C = Kapasitor\ Filter\ (F)$
 $\Delta V_o = Riak\ Tegangan\ Keluaran\ (V)$

ΔI_L = Riak Arus Keluaran

f = Frekuensi (kHz)

8. Menentukan Saklar Semikonduktor

Saklar Semikonduktor yang digunakan harus memiliki tegangan kerja (VCE atau VDS) yang sesuai dengan spesifikasi Tegangan Masukan Buck Converter. Saklar Semikonduktor yang digunakan harus memiliki arus kerja (IC atau ID) yang sesuai dengan spesifikasi Arus Keluaran Buck Converter. Saklar Semikonduktor harus memiliki frekuensi kerja yang sesuai dengan spesifikasi frekuensi pensaklaran pada Buck Converter. Apabila Buck Converter bekerja pada frekuensi tinggi, disarankan menggunakan Saklar Semikonduktor seperti MOSFET atau IGBT. Untuk frekuensi rendah, pensaklaran dapat dicapai dengan menggunakan BJT. Nilai Resistansi Saklar Semikonduktor (RCE atau RDS) harus bernilai serendah mungkin untuk mengurangi rugi-rugi konduksi.

9. Menentukan Dioda Flyback

Dioda Flyback diperlukan untuk mengatasi pelepasan tegangan balik dari Induktor Filter ketika saklar semikonduktor dalam fase OFF, karena berpotensi merusak saklar semikonduktor. Dioda Flyback membentuk jalur rangkaian sehingga pelepasan tegangan memiliki arah yang berlawanan dan arus simpanan induktor mengalir pada jalur yang terbentuk dan menuju ke beban. Sangat disarankan menggunakan Dioda Schottky sebagai Dioda Flyback mengingat Buck Converter bekerja pada frekuensi diatas 10kHz, dan rendahnya Vbo Dioda Schottky dibandingkan Dioda lainnya, sehingga jatuh tegangan keluaran Buck Converter dapat diminimalkan.

10. Menentukan Komponen Pengendali Saklar

Komponen Pengendali Saklar harus mampu menghasilkan gelombang pemicu saklar dengan frekuensi yang sesuai dengan spesifikasi frekuensi pensaklaran yang telah ditentukan. Komponen Pengendali Saklar dapat berupa IC555 Timer, STM32F4, IC TL494, ataupun ATmega328P.

2.2. Arduino Nano

Arduino Nano adalah salah satu jenis perangkat keras berbentuk unit papan kontrol yang dapat berfungsi sebagai otak pengendali rangkaian elektronika. Arduino Nano didukung dengan Chip CPU Mikrokontroler ATmega328P berbasis Atmel AVR. Pada dasarnya, Arduino Nano memiliki komponen Crystal Oscillator yang memungkinkan Arduino Nano mampu menghasilkan gelombang dengan frekuensi mencapai 16MHz. Namun pada aturan bawaan Arduino Nano, pin D3, D9, D10, dan D11 mampu menghasilkan sinyal PWM dengan frekuensi maksimal 490 Hz. Sedangkan pin D5 dan D6 mampu menghasilkan sinyal PWM dengan frekuensi maksimal 980 Hz. Untuk menghasilkan gelombang pulsa dengan frekuensi diatas aturan bawaan pin tersebut, diperlukan program khusus yang dibuat pada perangkat lunak Arduino IDE. [11]



Gambar 2. Arduino Nano.

2.3. NI Multisim 14.2

NI Multisim 14.2 adalah sebuah perangkat lunak simulasi dan desain rangkaian elektronika daya, digital, dan analog berbasis SPICE (Simulator Program with Integrated Circuit Emphasis). NI Multisim memiliki keunggulan dibandingkan perangkat lunak simulasi rangkaian elektronika lainnya, yaitu library komponen yang lengkap sesuai datasheet komponen aslinya dan mampu memeriksa sifat dari keseluruhan rangkaian dengan melakukan analisis AC/DC ataupun transien. Perangkat lunak NI Multisim yang digunakan pada penelitian Buck Converter ini adalah NI Multisim versi 14.2. [12]

2.4. Efisiensi pada Buck Converter

Efisiensi adalah nilai perbandingan antara Daya Keluaran dengan Daya Masukan dari suatu sistem. Apabila keseluruhan daya yang disuplai suatu sistem diserap oleh beban, maka dapat dikatakan efisiensi energi dari sistem tersebut bernilai 100%. [4] Rumus Efisiensi adalah:

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100\% = \frac{V_o \times I_o}{V_i \times I_i} \times 100\% \dots \dots \dots (2.5)$$

Ket: η = Efisiensi (%)
 P_i = Daya Masukan (W)
 P_o = Daya Keluaran (W)

Pada rangkaian Buck Converter, terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi perubahan efisiensi. Secara garis besar, faktor tersebut dibagi menjadi 2 yaitu faktor Rugi-Rugi Konduksi terkait pembebanan dan faktor Rugi-Rugi Pensaklaran. [3]

1. Rugi-Rugi Konduksi, penyebabnya seperti:
 - Resistansi Drain-Source Transistor ketika dalam fase Konduksi mengalirkan arus.
 - Jatuh Tegangan Maju (*Forward Voltage Drop*) Dioda Schottky yang pada umumnya bernilai 0,4 sd. 0,7 dan hanya terjadi ketika berada pada fase Konduksi.
 - Resistansi Ekuivalen Belitan Induktor.
 - Resistansi Seri Ekuivalen Kapasitor.

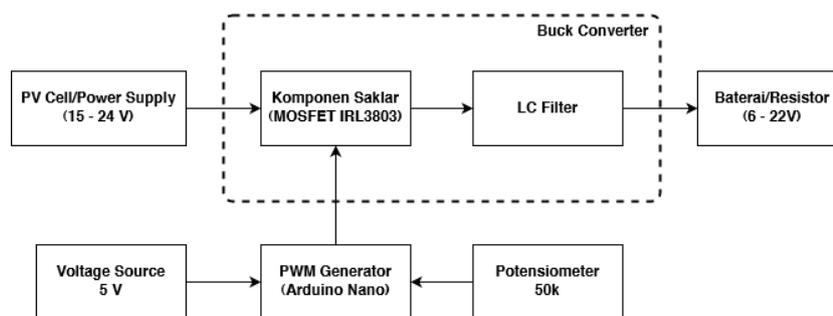
2. Rugi-Rugi Pensaklaran, penyebabnya seperti:
 - Kelebihan Tegangan dan Arus.
 - Rugi-Rugi Frekuensi.
 - Rugi-Rugi Arus Bocor Transistor.
 - Rugi-Rugi Pengendalian Gate MOSFET ketika peralihan fase ON dan OFF.
 - Rugi-Rugi Pengendali (*Controller*).

2.5. Perancangan Alat

Perancangan diawali dengan pengumpulan Data Spesifikasi PV Cell dan Baterai. PV Cell akan menjadi sisi masukan bagi Buck Converter, sedangkan Baterai akan menjadi sisi keluaran bagi Buck Converter. Selanjutnya, spesifikasi Buck Converter ditentukan berdasarkan penjelasan tahapan perancangan Buck Converter menurut Rashid dan Hart. [1][4]. Komponen yang dibutuhkan pada perancangan Buck Converter adalah:

1. 1 buah MOSFET IRL3803
2. 1 buah Arduino Nano
3. 1 buah Dioda Schottky SB530
4. 1 buah Dioda Zener 1N5231
5. 6 buah Induktor Filter 100 μ H
6. 1 buah Kapasitor Filter 1 μ F
7. 2 buah Fuse 6A
8. 1 buah Potensiometer 50k
9. Kabel NYA 1,5mm
10. PCB Dot Matrix

Selanjutnya, penulis menentukan variabel pada pengujian efisiensi Buck Converter yang dirancang. Setelah selesai menentukan spesifikasi rancangan dan variabel uji rancangan, penulis menyusun pemodelan Rangkaian Buck Converter pada perangkat lunak simulasi NI Multisim 14.2 dan pemodelan prototipe fisik Buck Converter beserta dengan model pengujiannya. Berikut Blok Diagram Rancangan Buck Converter:



Gambar 3. Blok Diagram Buck Converter

Buck Converter mendapatkan tegangan masukan dari PV Cell ataupun Power Supply dengan rentang 15 sd. 24V. Tegangan Masukan merupakan Tegangan DC, yang selanjutnya melalui proses pemotongan (DC Chopping) oleh Komponen Saklar yaitu MOSFET IRL3803. Dalam melakukan pemotongan tegangan, MOSFET IRL3803 dikendalikan oleh Arduino Nano yang menghasilkan sinyal PWM dengan tegangan 5V pada terminal Gate MOSFET IRL3803. Durasi pemotongan tegangan masukan oleh MOSFET IRL3803 proporsional dengan durasi aktif sinyal PWM yang dihasilkan oleh Arduino Nano. Durasi aktif atau Duty Cycle sinyal PWM dapat ditentukan dengan mengatur knob Potensiometer yang terintegrasi dengan Arduino Nano. Apabila Duty Cycle diatur 50%, maka Tegangan Masukan Buck Converter akan dipotong oleh MOSFET IRL3803 menjadi Tegangan DC dengan bentuk sinyal pulsa yang apabila nilainya dirata-ratakan akan bernilai 50% dari Tegangan Masukan. Pemerataan tegangan dicapai dengan proses filtering oleh komponen LC Filter pada Buck Converter, untuk mengurangi riak arus dan tegangan. Tegangan DC Rata-Rata tersebut merupakan Tegangan Keluar yang kemudian dihasilkan oleh Buck Converter, dengan rentang nilai 6 sd. 22V. Terminal Keluaran Buck Converter berperan sebagai sumber tegangan bagi beban yang tersambung dengan Buck Converter, yaitu Baterai dan Resistor.

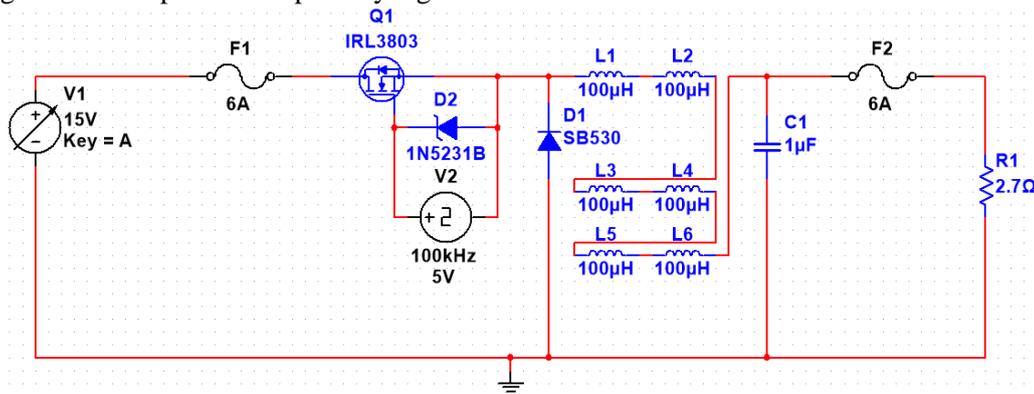
2.6. Model Pengujian

Penelitian yang dilakukan menggunakan metode kuantitatif, sehingga data yang terkumpul dianalisis dan diolah berdasarkan metode analisis statistik ataupun berlandaskan perhitungan matematis dengan sumber data berupa angka-angka hasil pengujian. Setelah mendapatkan Data berupa Tegangan Masukan (V_i), Arus Masukan (I_i), Tegangan Keluaran (V_o), dan Arus Keluaran (I_o) dari Pengujian Simulasi dan Prototipe, penulis melakukan pengolahan Data untuk mendapatkan Data Sekunder berupa Daya Masukan (P_i) dan Daya Keluaran (P_o). Setelah mendapatkan Data berupa Daya Masukan (P_i) dan Daya Keluaran (P_o) dari Pengolahan Data Simulasi dan Prototipe, penulis melakukan pengolahan Data Sekunder untuk mendapatkan nilai efisiensi Rangkaian Buck

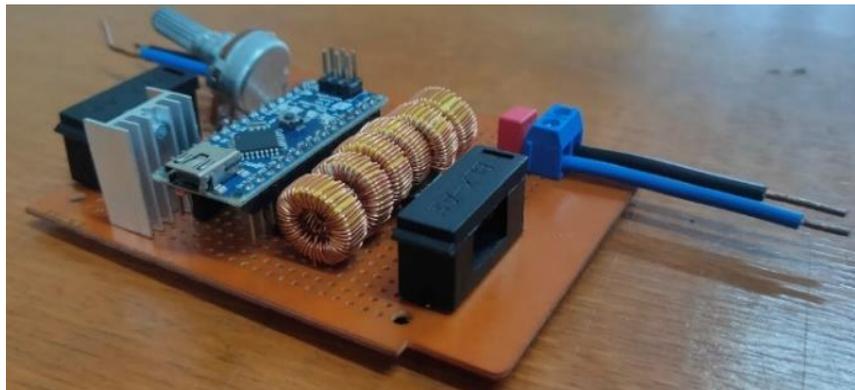
Converter. Nilai Efisiensi Simulasi dan Prototipe Buck Converter selanjutnya dibandingkan dan diuraikan pada pembahasan dan analisis data. Untuk perhitungan nilai efisiensi kerja Buck Converter, dapat dilakukan dengan persamaan (2.5).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan Simulasi Rangkaian Buck Converter dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak NI Multisim 14.2. Arus listrik yang mampu dihasilkan Buck Converter apabila dihubungkan dengan baterai VRLA adalah 5 A sesuai dengan spesifikasi baterai, namun arus listrik mampu berubah sesuai dengan besar dan jumlah beban yang terhubung. Setelah berhasil melakukan simulasi Rangkaian Buck Converter pada perangkat lunak NI Multisim 14.2, penulis merancang prototipe Buck Converter. Rangkaian Prototipe Buck Converter dibuat diatas PCB Dot Matrix dengan menggunakan komponen-komponen yang telah dibahas.



Gambar 4. Simulasi Buck Converter



Gambar 5. Prototipe Buck Converter

Tabel 1. Spesifikasi Buck Converter 13,5V

Spesifikasi Teknik	Keterangan
Tegangan Masukan/Tegangan Sumber (Vi)	15 V – 24 V
Tegangan Keluaran (Vo)	6 V – 22 V 13,5 V (<i>Regulated</i> , dengan beban Baterai VRLA)
Arus Keluaran (Io)	~ 5 A
Frekuensi Sistem (f)	100 kHz
Riak Tegangan Keluaran (ΔV_O)	1%
Riak Arus Induktor (ΔI_L)	10%
Proteksi Tegangan Mikrokontroler	Berlebih Ada (5V)
Proteksi Arus Berlebih Rangkaian	Ada (6A)

Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali untuk masing-masing variabel atur pada penelitian efisiensi Buck Converter. Pada Simulasi Rangkaian ini, Tegangan Masukan dapat diatur dengan mengubah parameter “value” pada “DC_INTERACTIVE_VOLTAGE”, Duty Cycle dapat diatur dengan mengubah parameter “Duty Cycle” pada “CLOCK_VOLTAGE”, dan Nilai Pembebanan dapat diatur dengan mengubah parameter “Resistance” pada “Resistor”. Pada Pengujian Prototipe, Prototipe dihubungkan dengan Catu Daya atau PV Cell 20Wp sebagai sumber dan Baterai VRLA dan Resistor Keramik 20W sebagai beban. Pada Pengujian model ini, Tegangan Masukan dapat diatur dengan mengubah knob tegangan keluaran Catu Daya, *Duty Cycle Buck Converter* (dengan masukan PV Cell 20Wp) dapat diatur dengan mengubah knob Potensiometer yang terhubung menuju Arduino Nano pada *Buck Converter*, dan Nilai Pembebanan dapat diatur dengan mengganti jenis Resistor yang terhubung pada terminal output *Buck Converter*.

Tabel 2. Nilai Efisiensi Buck Converter dengan Variasi Tegangan Masukan

Tegangan Masukan (V)	Simulasi			Prototipe		
	Pi (W)	Po (W)	η (%)	Pi (W)	Po (W)	η (%)
15	1,860	1,823	98,0	1,884	1,733	92
17,35	1,874	1,823	97,3	1,915	1,757	91,8
19,5	1,893	1,823	96,3	1,985	1,786	90
21,31	1,907	1,823	95,6	1,918	1,702	88,8
24	1,932	1,823	94,3	1,999	1,771	88,6

Tabel 3. Nilai Efisiensi Buck Converter dengan Variasi *Duty Cycle*

<i>Duty Cycle</i> (%)	Simulasi			Prototipe		
	Pi (W)	Po (W)	η (%)	Pi (W)	Po (W)	η (%)
40	17,350	16,616	95,8	32,900	28,875	87,8
50	27,413	26,596	97	0,875	0,770	88
60	39,732	39,140	98,5	1,357	1,214	89,5
70	53,959	53,400	99	1,410	1,327	94,1
80	71,135	70,656	99,3	1,342	1,294	96,4

Tabel 2. Nilai Efisiensi Buck Converter dengan Variasi Pembebanan

Beban	Simulasi			Prototipe		
	Pi (W)	Po (W)	η (%)	Pi (W)	Po (W)	η (%)
100 Ω 20W	1,874	1,823	97,3	1,915	1,757	91,8
150 Ω 20W	1,239	1,207	97,4	1,301	1,191	91,5
200 Ω 20W	0,953	0,903	94,8	1,008	0,917	90,9
250 Ω 20W	0,774	0,724	93,5	0,815	0,734	90
300 Ω 20W	0,651	0,599	92,1	0,687	0,611	88,9

Pada Tabel 2 terlihat bahwa Rancang Bangun Buck Converter berhasil mencapai efisiensi sebesar 90%, dengan puncak efisiensi pada Simulasi sebesar 98% dan pada Prototipe sebesar 92%. Efisiensi menurun seiring pertambahan nilai Tegangan Masukan. Hal ini disebabkan karena sistem Buck Converter bekerja lebih keras untuk mengonversi tegangan yang lebih tinggi atau lebih jauh selisih konversi nilai tegangannya dibandingkan dengan tegangan yang lebih rendah atau lebih dekat selisih konversi nilai tegangannya. Konversi tegangan dari 15 V menuju 13,5 V dicapai lebih ringan dikarenakan Buck Converter cukup mendisipasi tegangan sebesar 1,5 V, sehingga disipasi daya sistem lebih sedikit. Sedangkan konversi tegangan dari 24 V menuju 13,5V dicapai lebih berat dikarenakan Buck Converter harus mendisipasi tegangan sebesar 10,5 V, yang dalam arti lain terjadi jatuh tegangan pada keseluruhan komponen Buck Converter sebesar 10,5 V. Terjadinya jatuh tegangan pada komponen menandakan adanya rugi-rugi dalam bentuk disipasi daya. Semakin besar jatuh tegangan, maka disipasi daya semakin besar yang berujung pada menurunnya efisiensi. Apabila Buck Converter bekerja lebih berat, mengakibatkan efisiensi sistem menurun.

Pada Tabel 3 terlihat bahwa Rancang Bangun Buck Converter berhasil mencapai efisiensi sebesar 90%, dengan puncak efisiensi pada Simulasi sebesar 99,3% dan pada Prototipe sebesar 96,4%. Efisiensi meningkat seiring pertambahan nilai Duty Cycle. Hal ini disebabkan karena MOSFET Buck Converter memiliki durasi kerja (berada dalam keadaan ON atau aktif) lebih lama pada nilai Duty Cycle yang lebih tinggi. Artinya prinsip pemotongan tegangan (*DC Voltage Chopping*) pada proses konversi tegangan berlangsung lebih lama, dan menghasilkan Tegangan Keluaran yang lebih tinggi dan mendekati nilai Tegangan Masukan. Apabila selisih konversi tegangan semakin dekat, maka Buck Converter hanya perlu mendisipasi sedikit tegangan untuk mencapai nilai Tegangan Keluaran yang diinginkan. Sehingga disipasi daya mengecil, menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi.

Pada Tabel 4 terlihat bahwa Rancang Bangun Buck Converter berhasil mencapai efisiensi mendekati 90%, dengan puncak efisiensi pada Simulasi sebesar 97,3% dan pada Prototipe sebesar 91,8%. Efisiensi menurun seiring pertambahan nilai resistor. Hal ini disebabkan karena semakin besar nilai Resistor, maka arus keluaran Buck Converter akan semakin kecil. Sehingga, dengan nilai Duty Cycle yang tetap, tegangan keluaran Buck Converter menjadi tetap namun arus keluaran mengecil seiring pertambahan resistansi beban. Artinya, seiring pertambahan Resistor, Daya Keluaran Buck Converter yang merupakan hasil perkalian tegangan keluaran dan arus keluaran menjadi semakin rendah, yang mengakibatkan efisiensi Buck Converter menurun seiring pertambahan nilai Resistansi Beban.

Terdapat beberapa sebab terjadinya perbedaan nilai efisiensi antara Simulasi dengan Prototipe Buck Converter, yaitu Komponen Buck Converter pada Rangkaian Simulasi saling dihubungkan oleh Jumper Ideal yang tidak memiliki Resistansi, sehingga tidak terdapat rugi-rugi pada penghantar antar komponen. Adapun pada Prototipe Buck Converter, Komponen dihubungkan oleh Kabel NYA 1,5mm yang memiliki nilai Resistansi, sehingga terdapat rugi-rugi pada penghantar antar komponen

yang berujung pada menurunnya efisiensi. Selain itu, kesalahan pada saat penyolderan rangkaian Protipe Buck Converter, yang menghasilkan penggumpalan timah pada beberapa titik rangkaian, mengakibatkan bertambahnya nilai resistansi penghantar antar komponen dan meningkatkan rugi-rugi daya. Peningkatan Rugi-rugi Daya berdampak pada menurunnya Efisiensi.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Dari Penelitian ini, Penulis dapat mengambil kesimpulan bahwa:

1. Simulasi Buck Converter pada perangkat lunak NI Multisim 14.2 menghasilkan efisiensi mencapai 90%.
2. Prototipe Buck Converter menghasilkan efisiensi mencapai efisiensi 90%.
3. Pengujian tegangan masukan 15V, 17,35V, 19,5V, 21,31V, dan 24V dengan beban 100 Ω menghasilkan efisiensi maksimum Simulasi Buck Converter sebesar 98% dan efisiensi maksimum Prototipe Buck Converter sebesar 92%.
4. Pengujian Duty Cycle 40%, 50%, 60%, 70%, 80% dengan beban Baterai VRLA 12V50Ah menghasilkan efisiensi maksimum Simulasi Buck Converter sebesar 99,3% dan efisiensi maksimum Prototipe Buck Converter sebesar 96,4%.
5. Pengujian beban 100 Ω , 150 Ω , 200 Ω , 250 Ω , dan 300 Ω dengan tegangan masukan 17,35 V menghasilkan efisiensi maksimum Simulasi Buck Converter sebesar 97,3% dan efisiensi maksimum Prototipe Buck Converter sebesar 91,8%.

4.2. Saran

Adapun saran yang dapat dipaparkan dari hasil penelitian ini adalah:

1. Tiap komponen Buck Converter harus dirangkai sedekat mungkin agar rugi-rugi pada konduktor penghubung rangkaian dapat diminimalkan.
2. Perlunya perbaikan proses penyolderan sehingga tidak menimbulkan penumpukan timah yang berdampak pada bertambahnya resistansi konduktor.
3. Perlunya penambahan komponen Kontrol Umpan Balik (Feedback Control) ke Arduino Nano, sehingga Buck Converter dapat secara langsung menyesuaikan Duty Cycle berdasarkan perubahan pada Beban atau Sumber Tegangan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hart, Daniel W. (2011). Power Electronics. New York: McGraw-Hill.
- [2] Malvino, Albert Paul. (2016). Electronic Principles. New York: McGraw-Hill Education.
- [3] Modak, Rohit; Baghini, M. Shojaei. (2007). Buck Converter. Bombay: VLSI Research Consortium
- [4] Rashid, Muhammad H. (2001). Power Electronics Handbook. San Diego: Academic Press.
- [5] Azizah, Umi. (2019). Rancang Bangun Buck Converter pada Solar Charger berbasis Cohen Coon.
- [6] Chapman, Patrick L., & Musunuri, Surya. (2005). Improvement of Light-Load Efficiency Using Width-Switching Scheme for CMOS Transistors. IEEE POWER ELECTRONICS LETTERS. 105.
- [7] Hidayat, Rahmad & Anang. (2014). Meningkatkan Efisiensi Konverter Dc-Dc Penaik Tegangan Dengan Teknik Zero Voltage Switching (ZVS) Untuk Koreksi Faktor Daya Beban Nonlinier. ISU TEKNOLOGI STT MANDALA VOL.7 NO.1. 1.

- [8] Hilmansyah., & Utomo, Restu Mukti. (2020). Rancang Bangun DC–Konverter DC Berbasis Microcontroller STM32F4 dan Matlab/Simulink. JURNAL TEKNOLOGI TERPADU VOL. 8 NO. 1. 26-33.
- [9] Supi’i, Nur Fadila. (2018). Rancang Bangun Buck Converter DC-DC 320V–30 V.
- [10] Elektronik, Wurth. (2021). SMPS Topology Chart. 1 Agustus 2022. https://www.w-online.com/web/en/index.php/show/media/07_electronic_components/news_1/blog/midcom_blog_photos/SMPSChart.pdf
- [11] Arduino. (2022, 11 April). Arduino Hardware. 17 Juli 2022. <https://www.arduino.cc/en/hardware/>
- Multisim. (2022, 17 Mei). What Is Multisim™?. 25 Juli 2022. <https://www.ni.com/en-id/shop/electronic-test-instrumentation/application-software-for-electronic-test-and-instrumentation-category/what-is-multisim.html>