

Perancangan Multilevel Boost Converter Empat Tingkat Untuk Pengisian Baterai Mobil Listrik

Muhammad Reza Pahlevi¹⁾, Ayong Hiendro²⁾, Syaifurrahman³⁾

¹⁾Mahasiswa Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura

^{2,3)}Dosen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura

Program Studi Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro

Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura

Email: pahlevi77@gmail.com

ABSTRAK

Multilevel boost converter adalah sebuah konverter DC-DC berbasis PWM yang mengkombinasikan antara *boost converter* konvensional dan fungsi *switched capacitor* untuk menghasilkan tegangan output yang berbeda dan stabil dengan hanya menggunakan 1 *driven switch*, 1 induktor, 2N-1 dioda dan 2N-1 kapasitor. Keuntungan *multilevel boost converter* dibandingkan *boost converter* konvensional yaitu memiliki rating tegangan yang lebih kecil pada komponen, dan rasio konversi yang luas untuk menaikkan tegangan DC dengan nilai *duty cycle* yang kecil. Penelitian ini bertujuan untuk merancang *multilevel boost converter* 4 tingkat untuk pengisian baterai mobil listrik dan membandingkan kinerjanya dengan *boost converter* konvensional. Penelitian dimulai dengan merancang *boost converter* menggunakan program simulasi Matlab Simulink untuk mendapatkan nilai komponen yang optimal untuk digunakan. Dari hasil simulasi, dibuat bentuk fisik rangkaian *boost converter* konvensional dan *multilevel boost converter* 4 tingkat untuk dilakukan pengujian lebih lanjut. Pada pengujian menaikkan tegangan secara otomatis didapat *error* rata-rata yang terjadi pada *boost converter* konvensional adalah sebesar $\pm 1.2375V$, sedangkan untuk *multilevel boost converter* adalah sebesar $\pm 1.61125V$. Rata-rata kenaikan tegangan per 10% *duty cycle* dalam keadaan tanpa beban pada *boost converter* konvensional adalah 24,93V sedangkan pada *multilevel boost converter* adalah sebesar 36,34V. Rata-rata efisiensi dengan menggunakan beban 100 Ω , 200 Ω dan 300 Ω secara berurut pada *boost converter* konvensional adalah 83,75%, 83,52% dan 85,49%, sedangkan pada *multilevel boost converter* adalah 28,35%, 49,41% dan 70,11%. Kemampuan pengisian *boost converter* konvensional adalah sebesar 0,02A dan kemampuan pengisian *multilevel boost converter* adalah sebesar 0,06A namun kemampuan pengisian yang diperlukan adalah sebesar 3A. *Boost converter* konvensional dan *multilevel boost converter* 4 tingkat berhasil dirancang dan dibuat namun belum berhasil untuk melakukan pengisian baterai mobil listrik.

Kata kunci: *boost converter*, *boost converter* konvensional, *multilevel boost converter*, PWM, baterai.

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi komponen dan rangkaian elektronika telah mampu menghasilkan sistem penyedia daya tegangan searah (Direct Current/DC), yang dihasilkan melalui konversi tegangan DC masukan ke bentuk tegangan DC keluaran yang lebih tinggi atau lebih rendah. Konversi tegangan DC ini biasa disebut sebagai DC-DC converter [1].

Salah satu jenis dari DC-DC converter ini adalah *boost converter*. *Boost converter* adalah konverter yang menghasilkan tegangan output lebih besar dari tegangan inputnya. Tegangan output yang dihasilkan dari *boost converter* memiliki polaritas yang sama dengan tegangan input. Konverter ini bekerja secara periodik saat saklar terbuka dan tertutup [2].

Pada aplikasi tegangan tinggi, *boost converter* konvensional memerlukan peralatan semikonduktor ber-rating tegangan tinggi yang menghasilkan rugi-rugi konduksi yang tinggi dan rugi-rugi switching yang tinggi pula. Oleh karena itu, *multilevel converter* sangat penting sebagai alternatif untuk aplikasi dalam daya tinggi [3]. Konverter *boost multilevel* adalah sebuah konverter DC-DC berbasis PWM yang mengkombinasikan antara *boost converter* konvensional dan fungsi *switched capacitor* untuk menghasilkan tegangan output yang berbeda dan stabil dengan hanya menggunakan 1 *driven switch*, 1 induktor, 2N-1 dioda dan 2N-1 kapasitor [4].

Keuntungan *multilevel boost converter* dibandingkan *boost converter* konvensional yaitu memiliki rating tegangan yang lebih kecil pada komponen, dan rasio konversi yang luas untuk menaikkan tegangan DC dengan nilai *duty cycle* yang kecil [3]. Maka dari itu, hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan perbandingan dari hasil keluaran

multilevel boost converter dan *boost converter* konvensional dalam pengisian baterai mobil listrik.

2. Metodologi Penelitian

2.1 Baterai

Baterai yang digunakan adalah baterai Sony model US18650VTC6. Baterai ini adalah baterai *lithium ion rechargeable* dengan tegangan nominal 3,6 volt, dan kapasitas nominal 3130 mAh, 11,3 Wh. Spesifikasi lebih lanjut dari baterai tersebut adalah sebagai berikut:

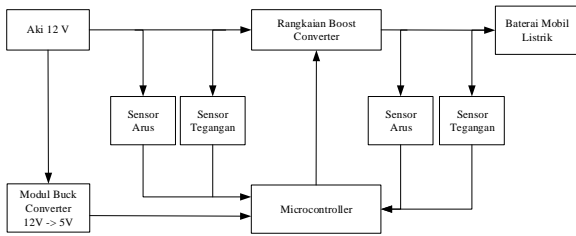
- Bahan : *Lithium Ion*
- *Rated Capacity* : 3000 mAh
- Tegangan Nominal : 3,6 volt
- *Charge Up Voltage* : $4,2 \pm 0,05$ volt
- *Charge Current* : 3 Ampere

Baterai dirangkai dengan susunan 13 seri dan 6 paralel, sehingga parameter baterai menjadi:

- Tegangan Nominal : $3,6 \times 13 = 46,8$ volt
- *Charge Up Voltage* : $(4,2 \pm 0,05) \times 13 = (54,6 \pm 0,65)$ volt

2.2 Rancangan Awal Boost Converter

Boost converter akan dibuat dalam 2 versi, yaitu *boost converter* konvensional dan *multilevel boost converter* 4 tingkat. Kedua *boost converter* akan dikontrol dengan Arduino. Secara umum, sistem *boost converter* yang akan dibuat ditunjukkan pada gambar 1:



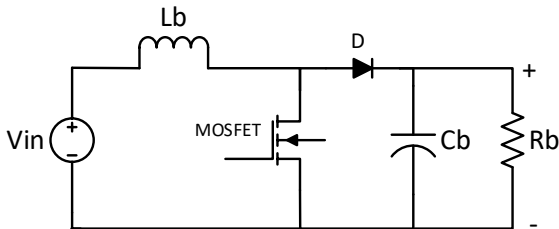
Gambar 1 Diagram blok sistem boost converter

Adapun komponen yang digunakan untuk boost converter yang akan dirancang ditentukan dengan parameter sebagai berikut:

- Frekuensi switching (f) : 31372,55 Hz
- Tegangan Input (V_i) : 12 volt
- Tegangan Output (V_o) : 54,6 volt
- Arus Output (I_o) : 3 Ampere
- Ripple Arus yang diinginkan (ΔI) : 10% (0,3 A)
- Ripple Tegangan yang diinginkan (ΔV) : 1% (0,546 V)

2.3 Rancangan dan Simulasi Boost Converter Konvensional

Untuk perancangan boost converter konvensional, pertama-tama akan dilakukan simulasi menggunakan program MATLAB Simulink. Rancangan yang akan digunakan untuk melakukan simulasi ini dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2 Rancangan Simulink boost converter konvensional

Untuk melakukan simulasi Simulink, maka akan dilakukan perhitungan duty cycle dan besaran komponen yang akan digunakan menggunakan parameter yang telah ditentukan.

Duty Cycle:

$$V_{out} = \frac{V_{in}}{1 - D}$$

$$D = 1 - \frac{V_{in}}{V_{out}}$$

$$D = 1 - \frac{12}{54,6} = 0,78$$

Induktor:

$$L = \frac{V_{in} \cdot D}{f \cdot \Delta I}$$

$$L = \frac{12 \cdot 0,78}{31372,55 \cdot 0,3}$$

$$L = 994,5 \mu H \approx 1 \text{ mH}$$

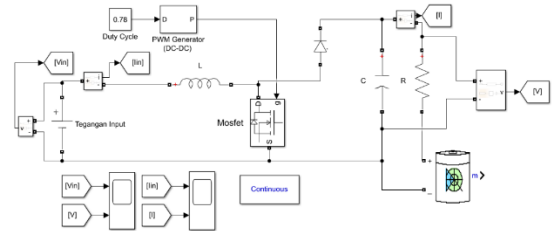
Kapasitor:

$$C = \frac{I_{out} \cdot D}{f \cdot \Delta V_{out}}$$

$$C = \frac{3 \cdot 0,78}{31372,55 \cdot 0,546}$$

$$C = 136,61 \mu F \approx 140 \mu F$$

Rangkaian dari Simulink yang digunakan menggunakan komponen dengan nilai sesuai dengan perhitungan yang digunakan. Pada keluarannya, diberi beban berupa baterai sesuai dengan yang diinginkan dan diseri dengan resistor 100Ω. Simulasi dari Simulink boost converter konvensional ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3 Simulink boost converter konvensional

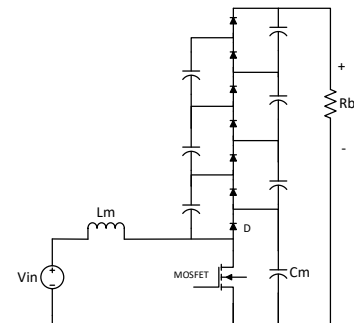
Dari hasil simulasi yang telah dilakukan dan dengan melihat ketersediaan komponen dipasaran, maka komponen untuk rangkaian boost converter konvensional dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 Komponen rancangan boost converter konvensional

Jenis Komponen	Komponen yang Digunakan
Lb	1 mH
Cb	100μF, 100V
MOSFET	IRFP260N
D	Schottky SR5200

2.4 Rancangan dan Simulasi Multilevel Boost Converter

Seperti boost converter konvensional, multilevel boost converter 4 tingkat yang akan dirancang pertama-tama akan dilakukan simulasi menggunakan MATLAB Simulink. Rancangan yang akan digunakan untuk melakukan simulasi ini dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4 Rancangan Simulink multilevel boost converter

Untuk melakukan simulasi, maka akan dilakukan perhitungan duty cycle dan besaran komponen yang akan digunakan menggunakan parameter yang telah ditentukan.

Duty Cycle:

$$D = 1 - \frac{N \times V_{in}}{V_{out}}$$

$$D = 1 - \frac{4 \times 12}{54,6} = 0,12$$

Resistor:

$$R = \frac{V_{out}}{I_{out}}$$

$$R = \frac{54,6}{3} = 18,2\Omega$$

Induktor:

$$L_{min} = \frac{R_{out} \times (1 - D)^2}{2 \times N^2} \times D \times T$$

$$L_{min} = \frac{18,2 \times (1 - 0,12)^2}{2 \times 4^2} \times 0,12 \times \frac{1}{31372,55}$$

$$L_{min} = 1,68 \mu H$$

$$L = 10 \times L_{min}$$

$$L = 10 \times 1,68 = 16,8 \mu H$$

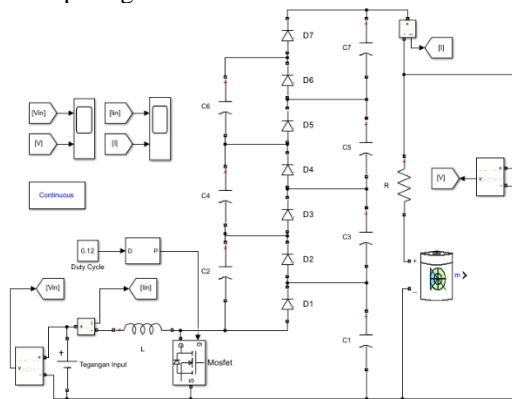
Kapasitor:

$$C = \frac{I_{out} \cdot D}{f \cdot \Delta V_{out}}$$

$$C = \frac{31372,55 \cdot 0,546}{3 \cdot 0,12}$$

$$C = 21,02 \mu F \approx 20 \mu F$$

Simulink multilevel boost konverter 4 tingkat ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5 Simulink multilevel boost konverter

Dari hasil simulasi yang dilakukan, terlihat hasil yang kurang diharapkan. Tegangan keluaran multilevel boost konverter yang diharapkan adalah sebesar 54,6V sesuai dengan perhitungan duty cycle yang dilakukan. Akan tetapi, tegangan keluaran dari multilevel boost konverter berkisar pada 59V dan arus input menghasilkan ripple sebesar kurang lebih 5A.

Karena keluaran menunjukkan hasil dengan ripple tegangan dan arus yang cukup besar, maka dilakukan penyesuaian induktor dan kapasitor. Penyesuaian ini dilakukan dengan metode trial and error untuk mendapat hasil keluaran yang diinginkan. Hasilnya, dengan menyesuaikan induktor menjadi 1 mH dan kapasitor menjadi 470 μF sesuai dengan yang tersedia di pasaran, dan pada beban resistor diubah menjadi 100 Ω.

Setelah penyesuaian yang dilakukan, tegangan keluaran adalah sekitar 59V. Ripple arus berkurang dari hasil simulasi sebelumnya. Ripple arus masukan berkurang dari yang sebelumnya 5A menjadi sekitar 0,4A saja, dan ripple pada arus keluaran menjadi sekitar 0,02A.

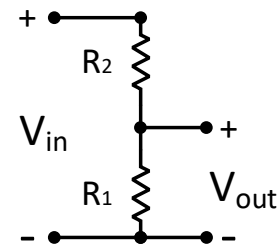
Maka dari hasil ini, nilai komponen yang akan dipakai, adalah dari hasil trial and error yang dilakukan. Komponen untuk rangkaian multilevel boost konverter dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2 Komponen rancangan multilevel boost konverter

Jenis Komponen	Komponen yang Digunakan
Lm	1 mH
Cm	470μF, 400V
MOSFET	IRFP260N
D	Schottky SR5200

2.5 Rangkaian Pembagi Tegangan

Rangkaian pembagi tegangan adalah rangkaian yang akan digunakan sebagai sensor tegangan untuk memberi umpan balik ke rangkaian kontrol. Rancangan yang akan digunakan dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6 Rancangan pembagi tegangan

Untuk mendapat nilai R1 dan R2, dilakukan proses trial and error. Nilai yang diinginkan pada rancangan harus cukup besar agar tidak menarik arus yang besar, serta memiliki perbandingan yang dapat membagi tegangan dengan baik. Dari pertimbangan tersebut, maka nilai resistansi yang digunakan adalah 1000Ω dan 20000Ω. Dengan nilai ini, keluaran dari pembagi tegangan ini adalah sebagai berikut:

$$V_{out} = \frac{V_{in} \times R_1}{R_1 + R_2}$$

$$V_{out} = \frac{V_{in} \times 1000}{1000 + 20000}$$

$$V_{out} = V_{in} \frac{1}{21}$$

$$V_{out} = \frac{1}{21} V_{in}$$

Pembagi tegangan ini diperlukan karna tegangan maksimum yang bisa masuk ke Arduino adalah 5 V. Dengan besaran pembagi tegangan diatas, maka tegangan keluaran maksimum yang dapat dibaca oleh Arduino adalah sebagai berikut:

$$5 = \frac{1}{21} V_{in}$$

$$V_{in} = 5 \times 21$$

$$V_{in} = 105$$

Maka tegangan keluaran maksimum yang bisa dibaca oleh Arduino adalah 105 V.

2.6 Rangkaian Kontrol

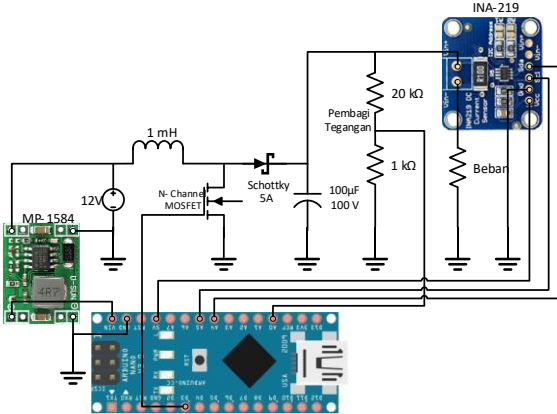
Rangkaian kontrol pada boost konverter akan digunakan sebagai pembangkit sinyal PWM, sensor arus, sensor tegangan, serta sebagai pengatur duty cycle otomatis dari umpan balik yang didapat. Untuk penelitian

ini, akan digunakan Arduino Nano ATMEGA328P sebagai rangkaian kontrol dan sensor arus INA 219.

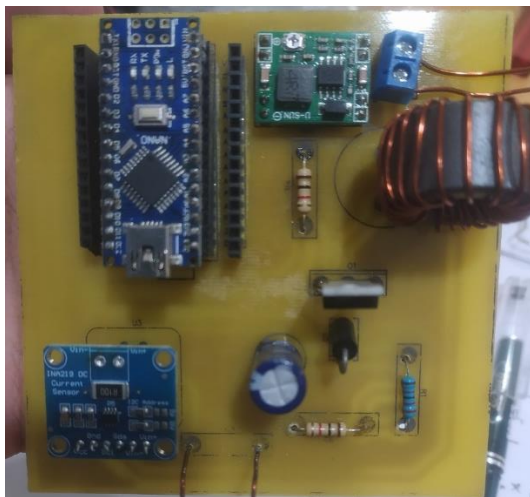
3. Hasil dan Analisis

3.1 Implementasi Hasil Rancangan

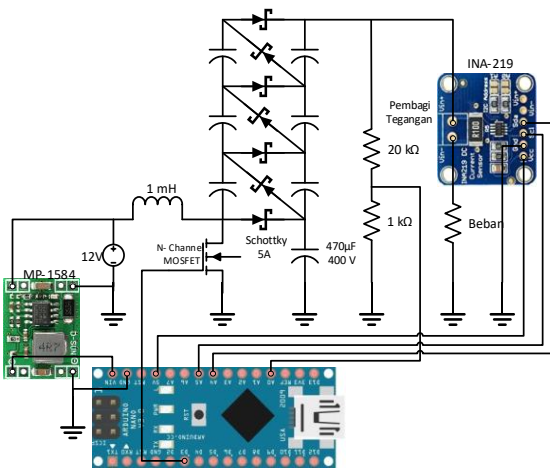
Dari hasil rancangan boost converter konvensional dan multilevel boost converter pada bagian sebelumnya, dibuatlah bentuk fisik yang akan digunakan untuk melakukan pengujian. Boost converter hasil rancangan ini dapat dilihat pada gambar 7, 8, 9 dan 10.



Gambar 7 Boost converter konvensional



Gambar 8 Bentuk fisik boost converter konvensional



Gambar 9 Multilevel boost converter



Gambar 10 Bentuk fisik multilevel boost converter

3.2 Pengujian Pengatur Tegangan Otomatis

Pengujian pengatur tegangan otomatis bertujuan untuk mengetahui tingkat keakuratan rangkaian kontrol dalam mengatur duty cycle dari PWM pada saat menaikkan tegangan ke nilai yang diinginkan. Pengujian dilakukan dengan cara mengatur nilai tegangan yang diinginkan pada rangkaian setting tegangan dan rangkaian kontrol PWM akan menaikkan atau menurunkan duty cycle dari PWM secara otomatis hingga tegangan keluaran sesuai dengan nilai tegangan yang diinginkan. Hasil dari pengujian pengaturan tegangan otomatis ini ditampilkan pada tabel 3 untuk boost converter konvensional, dan tabel 4 untuk multilevel boost converter.

Tabel 3 Hasil pengujian pengatur tegangan otomatis pada boost converter konvensional

Tegangan Masukan (Vin)	Tegangan yang Diinginkan	Tegangan Keluaran (Vout)	Error
12V	20	21.15	1.15
	30	31.04	1.04
	40	40.01	0.01
	50	49.4	0.6
	60	59.6	0.4
	70	68.6	1.4
	80	77.5	2.5
90	87.2	2.8	
Rata-rata			1.2375

Tabel 4 Hasil pengujian pengatur tegangan otomatis pada multilevel boost converter

Tegangan Masukan (Vin)	Tegangan yang Diinginkan	Tegangan Keluaran (Vout)	Error
12V	20	20.35	0.35
	30	30.09	0.09
	40	39.65	0.35
	50	48.4	1.6
	60	58.2	1.8
	70	67.6	2.4
	80	77.1	2.9
90	86.6	3.4	
Rata-rata			1.61125

Dari hasil pengujian ini, didapat bahwa error dari kedua boost converter semakin besar dengan kenaikan tegangan yang diinginkan. Rata-rata error pada boost converter konvensional adalah $\pm 1.2375V$ sedangkan

untuk multilevel boost converter adalah $\pm 1.61125V$. Maka dari hasil ini, dalam pengaturan duty cycle PWM untuk menaikkan tegangan secara otomatis, boost converter konvensional lebih akurat dibandingkan multilevel boost converter.

3.3 Pengujian Tegangan Keluaran

Pengujian tegangan keluaran terhadap duty cycle bertujuan untuk mengetahui kemampuan boost converter dalam menaikkan tegangan. Pengujian dilakukan dengan mengukur tegangan keluaran boost converter tanpa beban setelah diberikan sinyal PWM dengan variasi nilai duty cycle. Nilai duty cycle yang digunakan dimulai dari 10%, 20%, dan seterusnya hingga tegangan keluaran mencapai batas kemampuan boost converter.

Hasil dari pengujian tegangan keluaran ini ditampilkan pada tabel 5 untuk boost converter konvensional dan tabel 6 untuk multilevel boost converter.

Tabel 5 Hasil pengujian tegangan keluaran *boost converter* konvensional

Tegangan Masukan (V)	Duty Cycle	Tegangan Keluaran(V)	Waktu (s)
12.2	10%	31.7	8
12.2	20%	54.9	9
12.2	30%	82.1	11
12.2	40%	106.5	12

Tabel 6 Hasil pengujian tegangan keluaran *multilevel boost converter*

Tegangan Masukan (V)	Duty Cycle	Tegangan Keluaran (V)	Waktu (s)
12.2	10%	58.5	6
12.2	20%	81.5	9
12.2	30%	106.8	12
12.2	40%	142.9	12
12.2	50%	178.1	15
12.2	60%	240.2	18

Dilakukan kembali pengujian tegangan keluaran, namun dengan menggunakan beban resistif $1k\Omega$, $10k\Omega$, dan $20k\Omega$. Hasil dari pengujian ini ditampilkan pada tabel 7 dan 8

Tabel 7 Hasil pengujian tegangan keluaran *boost converter* konvensional dengan beban resistif

Tegangan Input (Vin)	Duty Cycle	Tegangan Keluaran (Vout)		
		$1k\Omega$	$10k\Omega$	$20k\Omega$
12 V	10%	13.75	23.83	29.78
	20%	18.58	40.7	52.9
	30%	24.94	60.5	79.5
	40%	34.46	87.2	104.1

Tabel 8 Hasil pengujian tegangan keluaran *multilevel boost converter* dengan beban resistif

Tegangan Input (Vin)	Duty Cycle	Tegangan Keluaran (Vout)		
		$1k\Omega$	$10k\Omega$	$20k\Omega$
12 V	10%	40.1	48.7	54.7
	20%	46.6	62.9	75.7
	30%	53.3	79.6	100.3
	40%	58.9	99.8	129.7

Nilai tegangan keluaran untuk kedua *boost converter* semakin besar dengan kenaikan resistansi beban yang digunakan. Perbedaan nilai tegangan ini juga bertambah besar seiring kenaikan *duty cycle* yang digunakan.

Dari hasil pengujian ini, didapat bahwa dalam keadaan tanpa beban, per 10% duty cycle, boost converter konvensional dapat menaikkan tegangan sebesar rata-rata $24,93V$, dan multilevel boost converter dapat menaikkan tegangan sebesar rata-rata $36,34V$. Kenaikan tegangan boost converter dipengaruhi oleh besar duty cycle yang digunakan serta besar beban pada keluaran boost converter.

3.4 Pengujian Efisiensi

Pengujian efisiensi dilakukan untuk mengetahui efisiensi dari *boost converter*. Efisiensi (η) didapat dengan membandingkan daya keluaran terhadap daya masukan *boost converter*. Pengujian dilakukan dengan memberikan variasi duty cycle pada rangkaian *boost converter* yang telah dihubungkan dengan beban resistif. Setelah *boost converter* bekerja, dilakukan pengukuran tegangan dan arus pada masukan dan keluaran dari *boost converter* tersebut. Pengujian menggunakan beban resistif bernilai 100Ω , 200Ω dan 300Ω . Nilai ini dipilih karna dibutuhkan resistansi cukup kecil untuk dapat melakukan pengukuran arus, namun juga cukup besar untuk menahan tegangan keluaran *boost converter*.

Hasil pengujian efisiensi pada boost converter konvensional yang dibuat dapat dilihat pada tabel 9, 10 dan 11.

Tabel 9 Hasil pengujian efisiensi *boost converter* konvensional dengan $R_b = 100\Omega$

Duty Cycle	Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	Efisiensi
10%	12.2	0.16	13.1	0.14	93.95%
20%	12.2	0.19	14.75	0.14	89.09%
30%	12.2	0.19	16.83	0.13	94.39%
40%	12.2	0.31	19.66	0.17	88.37%
50%	12.2	0.42	23.76	0.19	88.10%
60%	12.2	0.85	26.53	0.19	48.61%
Rata-rata					83.75%

Tabel 10 Hasil pengujian efisiensi *boost converter* konvensional dengan $R_b = 200\Omega$

Duty Cycle	Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	Efisiensi
10%	12.2	0.08	13.21	0.07	94.74%
20%	12.2	0.08	14.88	0.06	91.48%
30%	12.2	0.13	17.13	0.08	86.41%
40%	12.2	0.2	21.74	0.1	89.10%
50%	12.2	0.38	28.59	0.15	92.50%
60%	12.2	0.78	34.32	0.13	46.89%
Rata-rata					83.52%

Tabel 11 Hasil pengujian efisiensi *boost converter* konvensional dengan $R_b = 300\Omega$

Duty Cycle	Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	Efisiensi
10%	12.2	0.06	13.23	0.05	90.37%
20%	12.2	0.08	15.18	0.05	77.77%
30%	12.2	0.14	18.58	0.07	76.15%
40%	12.2	0.14	24.15	0.07	98.98%
50%	12.2	0.3	33.02	0.09	81.20%
60%	12.2	0.6	38.09	0.17	88.46%
Rata-rata					85.49%

Pengujian pada resistansi 100Ω dan 200Ω dengan duty cycle 60%, efisiensi yang didapat bahkan tidak sampai 50%. Hal ini terjadi karena kenaikan tegangan keluaran tidak sebanding dengan kenaikan arus masukan. Hal ini mengakibatkan rugi pada daya yang berubah menjadi panas yang dapat dirasakan pada beban yang terpasang serta pada MOSFET yang digunakan.

Selain dari itu, efisiensi dari *boost converter* konvensional yang dirancang sudah cukup baik. Rata-rata efisiensi dengan menggunakan beban 100Ω , 200Ω dan 300Ω secara berurut adalah 83,75%, 83,52% dan 85,49%. Hasil ini lebih baik daripada hasil simulasinya yaitu 83,73%, 75,22% dan 63,26%. Efisiensi dari *boost converter* yang dibuat tidak banyak terpengaruh dengan kenaikan nilai beban resistif yang digunakan. Tegangan keluaran dari *boost converter* konvensional ini juga lebih besar daripada tegangan hasil simulasinya.

Selanjutnya, tabel 12, 13 dan 14 menunjukkan hasil pengujian efisiensi pada *multilevel boost converter*:

Tabel 12 Hasil pengujian efisiensi *multilevel boost converter* dengan $R_b = 100\Omega$

Duty Cycle	Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	Efisiensi
10%	12.2	0.45	12.4	0.13	29.36%
20%	12.2	0.93	19.65	0.18	31.17%
30%	12.2	1.07	21.45	0.18	29.58%
40%	12.2	1.3	23.79	0.16	24.00%
Rata-rata					28.53%

Tabel 13 Hasil pengujian efisiensi *multilevel boost converter* dengan $R_b = 200\Omega$

Duty Cycle	Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	Efisiensi
10%	12.2	0.48	22.16	0.12	45.41%
20%	12.2	0.73	33.07	0.14	51.99%
30%	12.2	0.98	34.12	0.18	51.37%
40%	12.2	1.1	36.43	0.18	48.86%
Rata-rata					49.41%

Tabel 14 Hasil pengujian efisiensi *multilevel boost converter* dengan $R_b = 300\Omega$

Duty Cycle	Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	Efisiensi
10%	12.2	0.37	29.15	0.08	51.66%
20%	12.2	0.62	40.8	0.16	86.30%
30%	12.2	0.77	42.1	0.15	67.22%
40%	12.2	0.9	45.9	0.18	75.25%
Rata-rata					70.11%

Dibandingkan dengan hasil pengujian pada *boost converter* konvensional, efisiensi dari *multilevel boost converter* jauh lebih rendah. Kenaikan tegangan keluaran *multilevel boost converter* menggunakan beban resistif 100Ω , 200Ω dan 300Ω tidak sebesar kenaikan tegangan keluaran tanpa beban. Di sisi lain, arus masukan yang didapat jauh lebih tinggi dibandingkan dengan arus masukan *boost converter* konvensional. Saat pengujian berlangsung, pengukuran tegangan cukup sulit untuk dilakukan karena nilainya yang terus berubah. Untuk rata-rata efisiensi yang didapat dari *multilevel boost converter* dengan beban 100Ω , 200Ω dan 300Ω secara berurut adalah 28,35%, 49,41% dan 70,11%.

3.5 Pengujian Pengisian Baterai

Pengujian pengisian baterai bertujuan untuk mengetahui kemampuan *boost converter* dalam melakukan pengisian baterai. Hal ini dapat dilihat dengan seberapa besar arus keluaran *boost converter* yang akan mengisi daya baterai. Diuji pula seberapa besar arus keluaran yang dihasilkan untuk melakukan pengisian baterai dengan nilai *duty cycle* dari PWM yang berbeda. Pengujian dilakukan dengan memasang baterai yang memerlukan pengisian pada keluaran *boost converter*, kemudian mengukur tegangan dan arus masukan dan keluaran *boost converter* dengan pengaturan nilai PWM yang bervariasi.

Hasil pengujian pengisian baterai pada *boost converter* konvensional dapat dilihat pada tabel 15.

Tabel 15 Hasil pengujian pengisian baterai pada *boost converter* konvensional

Duty Cycle	Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)
10%	12.2	0.05	40.9	0.02
15%	12.2	0.04	40.9	0.02
20%	12.2	0.01	40.9	0.02
25%	12.2	0.03	40.9	0.02
30%	12.2	0.03	40.9	0.02
35%	12.2	0.06	40.9	0.02

Saat baterai diasang ke keluaran *boost converter*, besar tegangan keluaran yang terbaca adalah sebesar tegangan yang ada pada baterai yaitu 40,9V. Baterai yang digunakan dalam pengujian memerlukan tegangan penuh sebesar 42V sehingga dapat dikatakan masih memerlukan pengisian. Jika baterai pada keluaran *boost converter* tidak dipasang, tegangan keluaran dari *boost converter* konvensional dengan duty cycle sebesar 15% adalah 42,1V. Ini berarti tegangan keluaran mulai dari *duty cycle* bernilai 15% cukup untuk melakukan pengisian.

Meskipun arus masukan *boost converter* konvensional berubah-ubah seiring kenaikan *duty cycle*, arus keluaran *boost converter* tetap pada nilai 0,02A. Arus ini menunjukkan kemampuan dari *boost converter* konvensional untuk melakukan pengisian baterai.

Untuk hasil pengujian pengisian baterai pada *multilevel boost converter* dapat dilihat pada tabel 16.

Tabel 16 Hasil pengujian pengisian baterai pada *multilevel boost converter*

Duty Cycle	Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)
10%	12.19	0.27	40.9	0.02
15%	12.15	0.27	40.9	0.06
20%	12.15	0.36	41	0.06
25%	12.15	0.64	41	0.06
30%	12.12	0.65	41	0.05
35%	12.12	0.64	41	0.06

Dari tabel 16, dapat dilihat bahwa arus masukan saat *multilevel boost converter* melakukan pengisian jauh lebih besar dibandingkan arus masukan *boost converter* konvensional. Arus keluaran *multilevel boost converter* juga lebih besar dari arus keluaran *boost converter* konvensional. Kenaikan nilai *duty cycle* pada nilai 10% hingga 25% mempengaruhi besaran arus masukan, namun arus masukan tersebut tidak banyak berubah saat *duty cycle* bernilai 25% hingga 35%. Di sisi lain, perubahan *duty cycle* ini tidak banyak berpengaruh pada arus keluaran *multilevel boost converter*, yaitu berkisar pada 0,06A.

Dari pengujian ini, didapatkan hasil bahwa kemampuan pengisian *boost converter* konvensional adalah sebesar 0,02A dan kemampuan pengisian *multilevel boost converter* adalah sebesar 0,06A. Arus pengisian ini jauh lebih kecil dari arus pengisian yang diinginkan, yaitu sebesar 3A. Dengan hasil ini, maka dapat dikatakan bahwa perancangan *boost converter* untuk melakukan pengisian baterai tidak berhasil untuk dilakukan.

4. Kesimpulan

Dari perancangan, pengujian dan analisa yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. *Boost converter* konvensional dan *multilevel boost converter* 4 tingkat berhasil dirancang dan dibuat namun belum berhasil untuk melakukan pengisian baterai mobil listrik.
2. Dalam pengujian pengatur tegangan otomatis, *error* rata-rata yang terjadi pada *boost converter*

konvensional adalah sebesar $\pm 1.2375V$, sedangkan untuk *multilevel boost converter* adalah sebesar $\pm 1.61125V$.

3. Rata-rata kenaikan tegangan per 10% *duty cycle* dalam keadaan tanpa beban pada *boost converter* konvensional adalah 24,93V, sedangkan pada *multilevel boost converter* adalah sebesar 36,34V.
4. Kenaikan tegangan *boost converter* dipengaruhi oleh besar *duty cycle* yang digunakan serta besar beban pada keluaran *boost converter*.
5. Rata-rata efisiensi dengan menggunakan beban 100 Ω , 200 Ω dan 300 Ω secara berurut pada *boost converter* konvensional adalah 83,75%, 83,52% dan 85,49%, sedangkan pada *multilevel boost converter* adalah 28,35%, 49,41% dan 70,11%.
6. Kemampuan pengisian *boost converter* konvensional adalah sebesar 0,02A dan kemampuan pengisian *multilevel boost converter* adalah sebesar 0,06A, namun kemampuan pengisian yang diperlukan adalah sebesar 3A.

Daftar Pustaka

- [1] Buntulayuk, H., Samman, F.A., dan Yusran. 2017. *Rancangan DC-DC Converter untuk Penguatan Tegangan*. Jurnal Penelitian Enjiniring, Vol.21, No.02, h.78-82.
- [2] Febrianto, R., Soedjarwanto, N., dan Zebua, O. 2018. *Rancang Bangun Boost Converter Untuk Proses Discharging Baterai Pada Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (Pjuts)*. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Elektro Terapan, Vol.02, No.01, h.159-163.
- [3] Susetyo, R.D. 2015. *Desain Dan Simulasi Boost Converter Empat Tingkat Dengan Kontrol MPPT Untuk Aplikasi Solar Water Pumping*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [4] Fanani, A.Z., Ashari, M., dan Yuwono, T. 2014. *Desain dan Simulasi Konverter Boost Multilevel sebagai Catu Daya Kendaraan Listrik*. Jurnal Teknik POMITS, Vol.3, No.1, h.B-1-B-5.
- [5] Soedjarwanto, N., Komalasari, E., dan Asadilla, V. 2018. *Rancang Bangun Multilevel Boost Converter Untuk Catu Daya Motor Arus Searah Pada Kendaraan Listrik Berbasis Mikrokontroler*. ELECTRICIAN – Jurnal Rekayasa dan Teknologi, Vol.12, No.3, h.111-117.
- [6] Arsanto, F.H., Handoko, S., dan Winardi, B. 2016. *Perancangan Multilevel Boost Converter Tiga Tingkat Untuk Aplikasi Sel Surya*. TRANSIENT, Vol.5, No.3.
- [7] Irkham, Setiawan, I., dan Nugroho, A. 2018. *Perancangan Boost Converter Sebagai Suplai Inverter Menggunakan DSPIC30F4011 Dengan Metode Kontrol Proportional Integral*. TRANSIENT, Vol.7, No.3.
- [8] Hauke, B. 2014. *Basic Calculation of a Boost Converter's Power Stage*. Texas: Texas Instruments Incorporated.
- [9] Sidiq, R.K. 2015. *Rancang Bangun Sistem Pengisi Baterai Mobil Listrik Berbasis Mikrokontroler ATMEGA16*. Universitas Jember.

- [10] Sony Energy Devices Corporation. 2015. *Lithium Ion Rechargeable Battery Technical Information*. Sony Corporation.
- [11] Djuandi, F. 2011. *Pengenalan Arduino*. Agustus 20, 2021. www.tobuku.com.
- [12] Raju, N.I., Islam, S.H., dan Uddin, A.A. 2012. *Sinusoidal PWM Signal Generation Tehnique for Three Phase Voltage Source Inverter With Analog Circuit and Simulation of PWM Inverter for Standalone Load and Micro-Grid System*. International Journal of Renewable Energy Research, Vol.3, No.3, h.647-658.
- [13] Citarsa, I.B.F., Satiawan, N.W., dan Wiryajati, I.K. 2015. *Pengaruh Teknik Modulasi PWM pada Keluaran Inverter Tiga Fase untuk Pengaturan Kecepatan Variabel Motor Induksi*. Dielektrika, Vol.2, No.1, h.32-39
- [14] Pulungan, A.B., Sukardi, dan Ramadhani, T. 2018. *Buck Converter Sebagai Regulator Aliran Daya Pada Pengereman Regeneratif*. Jurnal EECCIS, Vol.12, No.2, h.93-97.
- [15] Texas Instruments. 2015. *INA219 Zero-Drift, Bidirectional Current/Power Monitor With I2C Interface*. Texas Instruments.
- [16] Pujiriyanto, A. 2004. *Cepat Mahir Matlab*. September 10, 2021. IlmuKomputer.com.

Biografi



Muhammad Reza Pahlevi, lahir di Pontianak pada tanggal 7 Juli tahun 1998. Menempuh Pendidikan Strata 1 (S1) Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura sejak tahun 2016. Memperoleh gelar sarjana pada tahun 2023. Penelitian ini diajukan sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro

konsentrasi Teknik Tenaga Listrik Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.

Menyetujui:
Pembimbing Utama,

Ir. Ayong Hiendro, S.T., M.T., IPM.
NIP. 196911011997021001

Pembimbing Pendamping,

Ir. Syaifurrahman, S.T., M.T., IPM.
NIP. 197009211995121001