

IMPLEMENTASI SINGLE STAGE REDUCER-*BUCK CONVERTER* PADA MOBIL LISTRIK DUA PENUMPANG

Gigih Prabowo¹⁾, Era Purwanto¹⁾, Syechu Dwitya Nugraha¹⁾, Fifi Hesty Sholihah¹⁾
dan Ony Asrarul Qudsi¹⁾

¹⁾Teknik Elektro Industri, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, jalan Raya ITS
Sukolilo Kampus PENS, Surabaya, 60111
E-mail: fifi@pens.ac.id

Abstract

The research focuses on the development of Low-Cost Green Car (LCGC) and zero emission vehicle concepts in several countries as a response to declining oil reserves and environmental pollution concerns. Context of electric vehicles adopting these concepts, electric motors have become the primary and only viable choice, even though innovations in electric motor control often considered expensive. This research aims to develop an economical electric motor control system using a 60V/10kW DC motor with a 12V input voltage and control by an STM32F407 Microcontroller that generates PWM signals. It is equipped with a 20x4 LCD for monitoring current and output voltage. The control system involves a basic switching motor driver that sends PWM signals from the microcontroller to the IGBT driver 2SP0115T, including two operating modes (forward and reverse) controlled through the gearbox and throttle pedal. The system also includes a 60 to 12.5V Reducer DC-DC *Buck converter* as a power source for accessory features in the electric vehicle, such as the speedometer, headlights, taillights, turn signals, horn, and power windows. With this implementation, a compact electric vehicle has been successfully created that utilizes a DC motor with a Reducer DC-DC *Buck converter* all powered by a single battery source.

Keywords: *buck converter, reducer, electric car*

Abstrak

Penelitian fokus pada perkembangan konsep kendaraan LCGC dan zero emission di beberapa negara sebagai respons terhadap penurunan cadangan bahan bakar minyak dan masalah pencemaran lingkungan. Dalam konteks mobil listrik yang mengadopsi konsep ini, motor listrik menjadi satu-satunya pilihan utama, meskipun inovasi dalam kendali motor listrik seringkali dianggap mahal. Penelitian ini bertujuan mengembangkan kendali motor listrik ekonomis menggunakan motor DC seri 60V/10kw dengan tegangan input 12V dan kontrol Mikrokontroler STM32F407 yang menghasilkan sinyal PWM, serta dilengkapi dengan LCD 20x4 untuk pemantauan arus dan tegangan output. Sistem kendali melibatkan driver motor DC dengan switching dasar yang mengirim sinyal PWM dari mikrokontroler ke driver IGBT 2SP0115T, termasuk dua mode operasi (maju dan mundur) yang dikendalikan melalui persneleng dan pedal gas. Sistem ini juga mencakup Reducer DC-DC *Buck converter* 60 ke 12,5V sebagai sumber daya untuk fitur-fitur aksesoris pada mobil listrik. Dengan implementasi ini, berhasil menciptakan mobil listrik yang menggunakan motor DC dengan Reducer DC-DC *Buck converter* dalam satu sumber daya baterai.

Kata Kunci: *buck converter, reducer, mobil listrik*

PENDAHULUAN

Kendaraan listrik telah muncul sebagai alternatif yang menjanjikan dalam menghadapi tantangan global terkait dengan polusi udara dan penipisan sumber daya fosil yang semakin meningkat. Dalam konteks mobilitas berkelanjutan yang semakin mendesak, pengembangan kendaraan listrik yang efisien dan ramah lingkungan menjadi perhatian utama dalam industri otomotif. Mobil listrik dua penumpang, yang sering disebut sebagai kendaraan kompak, kini menjadi opsi yang sangat diminati karena kemampuannya untuk memberikan mobilitas yang efisien di lingkungan perkotaan, konsumsi energi yang lebih efisien, serta berkontribusi pada pengurangan emisi gas rumah kaca. Meskipun begitu, untuk memaksimalkan potensi kendaraan listrik, salah satu tantangan utama yang harus diatasi adalah peningkatan efisiensi sistem konversi daya yang digunakan dalam menggerakkan kendaraan ini.

Konverter daya banyak diimplementasikan pada mobil listrik. *Buck converter* digunakan pada motor BLDC kendaraan listrik untuk mengatur tegangan pengereman, meningkatkan efisiensi energi, dengan kontrol tegangan keluaran konstan melalui mikrokontroler ATmega 8. Dalam rangkaian sederhana dan biaya efisien, penelitian bertujuan menghasilkan *buck converter* untuk meningkatkan efisiensi pengereman regeneratif kendaraan listrik (Pulungan, 2018). *Buck converter* juga dapat diimplementasikan pada pembangkit listrik energi baru terbarukan, seperti pembangkit listrik tenaga surya. *Buck converter* dipakai untuk mengurangi tegangan output dari panel surya dan mengatur stabilitas tegangan keluaran. Penelitian yang telah dilakukan oleh (Martha, 2018) menunjukkan hasil pengujian bahwa tegangan output *buck converter* tetap stabil pada 14,4 volt meskipun ada variasi tegangan masukan. Selain itu, lama pengisian baterai sangat dipengaruhi oleh fluktuasi cuaca yang memengaruhi kapasitas panel surya dalam menghasilkan energi untuk mengisi baterai.

Buck converter adalah konverter daya yang memiliki efisiensi tinggi. Analisa performa *buck converter* telah dilakukan oleh (Baharudin, 2020) mengenai performa *buck converter*. Peneliti tersebut membandingkan performa antara simulasi dengan eksperimen *hardware*. Perbandingan antara *buck*, *boost*, dan *buck-boost converter* telah dilakukan oleh (Sholihah, 2021). Pada penelitian tersebut dibandingkan antara ketiga konverter pada pembangkit listrik energi baru terbarukan yang sama. Hasilnya adalah *buck converter* memiliki efisiensi yang lebih besar.

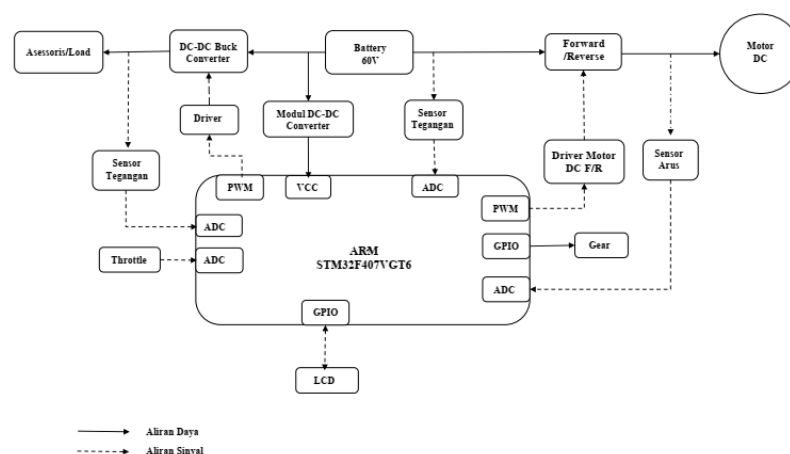
Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan kendali motor listrik yang lebih ekonomis menggunakan motor DC seri 60V/10kw. Kendali motor ini dikenal sebagai *single stage dc chopper* dengan tegangan input sebesar 12V yang dikendalikan oleh Mikrokontroler STM32F407 untuk menghasilkan sinyal PWM. Selain itu, kontrol ini juga dilengkapi dengan LCD 20x4 untuk memantau arus dan tegangan output yang dihasilkan oleh motor listrik.

Driver motor DC dalam sistem ini menggunakan rangkaian *switching* dasar, di mana sinyal PWM dihasilkan oleh mikrokontroler dan dikirimkan ke driver IGBT 2SP0115T. Sistem kendali ini juga mencakup dua mode operasi, yaitu maju (*forward*) dan mundur (*reverse*), yang dapat dikendalikan melalui persneleng dan pedal gas (*throttle*) untuk mencapai kecepatan yang diinginkan.

Sistem ini juga melibatkan *Reducer* DC-DC *Buck converter* 60 ke 12,5V sebagai sumber daya untuk berbagai fitur aksesoris pada mobil listrik, seperti speedometer, lampu depan (*headlamp*), lampu belakang (*stoptlamp*), lampu sein, klakson, dan jendela otomatis (*power window*). Reducer ini dilengkapi dengan kendali *increment* dan *decrement* untuk mengatur *duty cycle* secara otomatis sesuai dengan *set point* pada *output*.

Dengan implementasi sistem ini, telah berhasil menciptakan mobil listrik dengan penggerak motor DC yang dilengkapi dengan Reducer DC-DC *Buck converter* dalam satu sumber daya baterai.

METODE PENELITIAN



Gambar 1. Blok Diagram Sistem

Dalam blok diagram yang telah disajikan, terlihat bahwa kendali utama pada sistem ini dipegang oleh mikrokontroler STM32F4. Mikrokontroler ini dilengkapi dengan perangkat tambahan berupa gear yang terhubung dengan rangkaian *limit switch*, yang berperan penting sebagai pengendali mode motor, baik maju (*forward*) maupun mundur (*reverse*). Selanjutnya, terdapat pedal gas throttle yang beroperasi dengan prinsip mirip dengan potensiometer dan terhubung dengan ADC dari mikrokontroler. Untuk mengkalibrasi pedal ini agar sesuai dengan tegangan VCC throttle sebesar 3,3V, sinyal PWM digunakan. Selain itu, dalam sistem ini juga terdapat komponen *optocoupler* yang berfungsi sebagai pemisah *grounding* antara mikrokontroler dan *driver*, yang diberi suplai VCC 5V. Driver yang digunakan adalah driver IGBT 2SP0115T2A0 yang bekerja dengan suplai VCC sebesar 15V. Driver ini bertanggung jawab dalam mengontrol gerbang gate pada IGBT, dengan rentang pengaturan tegangan antara 0 hingga 15V, dan menghubungkannya dengan metode H-Bridge.

Sementara itu, dalam rangkaian juga terdapat komponen dc-dc *buck converter* 60V ke 12V/300W yang berfungsi sebagai sumber daya untuk aksesoris listrik pada mobil listrik. Ini penting mengingat sistem listrik mobil listrik menggunakan sumber tegangan DC 12V. Selain itu, terdapat dua sensor arus yang digunakan untuk mengukur arus pada output motor DC, yaitu sensor arus Tamura L01Z400S05. Di sisi lain, sensor tegangan AMC1100 digunakan untuk membaca tegangan pada output baterai dan output dari reducer dc-dc *buck converter*. Semua data ini dapat dipantau melalui LCD 20x4 untuk pemantauan arus dan tegangan pada motor DC serta *reducer* dc-dc *buck converter*.

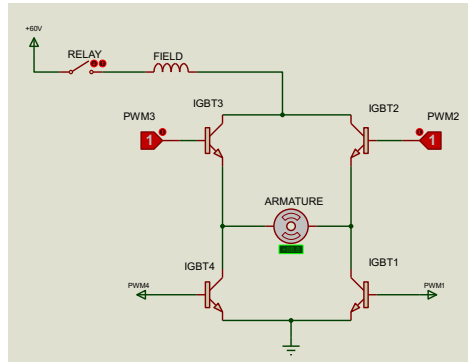
1. MOTOR DC

Motor DC jenis penguat terpisah yang digunakan pada penelitian ini memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 1
Spesifikasi Motor DC

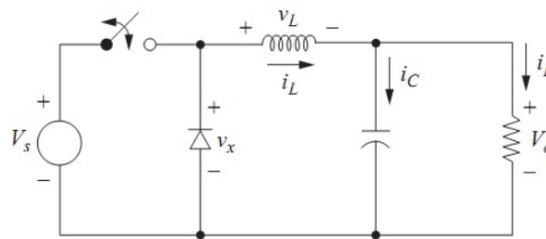
<i>Parameter</i>	<i>Value</i>
Nominal Power Rate	5 kW
Operating Voltage	60V
Model	ZT/C5A48J
Current	130A
Type	Traction Motor
Protect Feature	Totally Enclosed
Torque	17N.m
Speed	2800rpm
Exciting	Separately Excited

Motor tersebut memiliki empat terminal, yang terdiri dari kumparan jangkar dan kumparan medan yang dihubungkan secara seri. Pengaturan ini bertujuan untuk mengubah arah putaran motor dengan membalik polaritas pada salah satu kumparan, yang dalam hal ini adalah kumparan jangkar.



Gambar 2. Gambar Wiring Motor

2. Buck converter



Gambar 3 Rangkaian Buck converter

Rangkaian DC-DC *buck converter* ini terdiri dari beberapa komponen, termasuk induktor, kapasitor, resistor, dan MOSFET sebagai saklar. Dalam perancangan *buck converter* yang efisien. Perancangan *buck converter* dapat dihitung dari spesifikasi awal yang ditentukan seperti ditunjukkan pada tabel II.

Tabel II Spesifikasi *Buck converter*

Parameter	Value
Range tegangan input	40-60 V
Tegangan output	12 V
Frekuensi switching	40 kHz
Arus output/beban	20 A
Ripple tegangan	0.1 %

1) Duty cycle

$$D = \frac{V_o}{V_s} = \frac{12}{60} = 0,2 = 20 \%$$

2) Nilai Resistor

$$R = \frac{V_o}{I_o} = \frac{12}{20} = 0,6\Omega$$

3) Nilai Induktor

$$IL(avg) = \frac{V_o}{R} = I_o = 20 A$$

$$\Delta iL = 20\% \times IL(avg)$$

$$= \frac{20}{100} \times 20 = 4 A$$

$$L = \left[\frac{1}{f} \right] \times (V_{S(max)} - V_o) \times \left(\frac{V_o + V_f}{V_{S(max)} + V_f} \right) \times \frac{1}{\Delta iL}$$

$$= \left[\frac{1}{40000} \right] \times (60 - 12) \times \left(\frac{12 + 1,6}{60 + 1,6} \right) \times \frac{1}{4}$$

$$= 0,000025 \times 48 \times 0,22077922 \times 0,25 = 66,2337 \mu H$$

4) Nilai Kapasitor

$$\Delta V_o = \frac{\Delta Q}{\Delta V_o} = \frac{\Delta iL \cdot T}{8 C_o}$$

$$\text{Dimana, } \Delta V_o = \pm 0,1\% \times V_o = 0,001 \times V_o$$

$$= \pm 0,1\% \times 12 = 0,001 \times 12 = 0,012 V$$

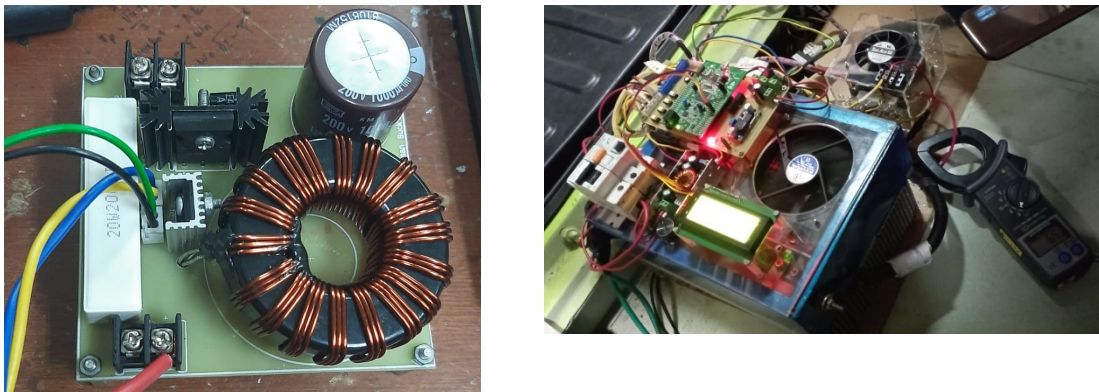
$$C_o = \frac{\Delta Q}{\Delta V_o} = \frac{\Delta iL \cdot T}{8 \Delta V_o} = \frac{\Delta iL}{8 \times f \times \Delta V_o}$$

$$= \frac{4}{8 \times 40000 \times 0,012} = 0,001041 = 1041 \mu F$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. PENGUJIAN BUCK CONVERTER

Pengujian ini bertujuan untuk mengumpulkan data yang menjelaskan performa *buck converter* pada setiap *duty cycle* yang berbeda. Pengujian dilakukan dengan menggunakan beban resistor tetap sebesar 1 ohm dengan daya keluaran 4 kW. Tegangan input untuk *buck converter* adalah 56 V, dengan *duty cycle* yang bervariasi dari 10% hingga 40%. Gambar 4a di bawah ini menunjukkan bentuk fisik dari rangkaian *Buck converter*, sedangkan Gambar 4b menggambarkan pengujian *Buck converter* dengan pengendali PWM, menggunakan suplai input DC-DC *Buck converter* dengan daya sebesar 56V yang mampu mencapai arus hingga 25A.

Gambar 4 (a) Hardware *buck converter* (b) pengujian *buck converter*Tabel III Hasil pengujian *Buck converter*

<i>Duty</i> (%)	V_{output} (V)	I_o (A)	V_s (V)	P_{out} (W)
10	4,6	3,9	56	17,94
16	8,3	8,2	56	68,06
20	10,15	9,1	56	92,36
26	13,2	11,13	56	146,91
30	14,3	12,9	56	184,47
36	17	15,2	56	258,4
40	19,6	17,5	56	343
42	20,7	18,55	56	383,98

Pada table terlihat bahwa V_{output} meningkat secara linier seiring dengan peningkatan *duty cycle*. I_o juga mengalami peningkatan seiring dengan kenaikan *duty cycle*, menunjukkan bahwa *buck converter* mampu menghasilkan arus keluaran yang lebih besar dengan *duty cycle* yang lebih tinggi. Ini sesuai dengan prinsip operasi *buck converter* di mana lebih banyak energi dialihkan dari sumber ke beban saat *duty cycle* lebih tinggi. P_{out} (daya keluaran) juga meningkat seiring dengan peningkatan *duty cycle*, mengindikasikan bahwa *buck converter* efisien dalam mengkonversi daya dari sumber ke beban. Data menunjukkan bahwa semakin tinggi *duty cycle*, semakin besar daya yang dihasilkan oleh *buck converter*.

2. Pengujian *Buck converter* dengan Beban Asesoris Mobil Listrik

Pengujian ini bertujuan agar mengetahui hasil arus output pada masing-masing beban, pada beban divariasikan sehingga mengetahui arusnya kemudian dikombinasikan dengan beberapa beban, pada hasil pengukuran pada tegangan output di konstan kan pada tegangan 12,5 V dengan divariasikan masing-masing beban, diketahui di hasil pengujian didapatkan arus minimum yang dibutuhkan untuk beban lampu utama, lampu spedo, dan *power steering* arus yang dihasilkan

sebesar 1,6 A dengan tegangan di 12,5 V, untuk beban *power window* dengan lampu speedometer didapatkan hasil arus sebesar 8,9 A.

Tabel IV *Buck converter* dengan Beban Asesoris Mobil Listrik

<i>V_{in}</i> (V)	<i>V_o</i> (V)	<i>I_o</i> (A)	Keterangan
63,1	12,54	1,6	Lampu Spedometer dan Lampu kota
63,1	12,54	1,7	Lampu Spedometer, Lampu kota, dan <i>Power Steering</i>
63,1	12,54	3,7	Lampu Spedometer, Lampu kota, dan AC Kipas
63,1	12,54	6,6	Lampu Spedometer, Lampu Kota, dan lampu utama.
63,1	12,55	7,7	Lampu Spedometer, Lampu utama, lampu kota, dan Sein
63,1	12,54	7,8	Lampu Spedometer, Lampu utama, lampu kota, dan Sein Hazard
63,1	12,55	8,9	Lampu Spedometer, Lampu utama, lampu kota, dan <i>Power window</i>

SIMPULAN

DC-DC *Buck converter* yang telah dibuat mampu hingga 350watt jauh dari desain yang telah direncanakan yaitu sebesar 200watt, dengan tegangan input 56 V dari power suplai output yang dihasilkan sebesar 20 V dengan arus 18,05 A pada saat *duty cycle* 25%. Kinerja *buck converter* yang dihasilkan stabil dan efisien dalam mengubah tegangan sumber menjadi daya keluaran, dengan peningkatan seiring dengan kenaikan *duty cycle*.

DAFTAR PUSTAKA

- Baharudin, Nor & Tunku Mansur, Tunku Muhammad Nizar & Hamid, F & Ali, Rosnazri & Irwanto, Muhammad. (2018). Performance Analysis of DC-DC *Buck converter* for Renewable Energy Application. *Journal of Physics: Conference Series*. 1019. 012020. 10.1088/1742-6596/1019/1/012020
- Martha, E., Asnil, A., & Eliza, F. (2018). Accumulator charging System Using *Buck converter*. *INVOTEK: Jurnal Inovasi Vokasional Dan Teknologi*, 18(1), 117-124. <https://doi.org/https://doi.org/10.24036/invotek.v18i1.248>
- Pulungan, A. B., Sukardi, S., & Ramadhani, T. (2018). *Buck converter* Sebagai Regulator Aliran Daya Pada Pengereman Regeneratif. *Jurnal EECCIS (Electrics, Electronics, Communications, Controls, Informatics, Systems)*, 12(2), pp. 93–97. <https://doi.org/10.21776/jeccis.v12i2.551>
- Sholihah, Fifi Hesty, K.T.C. Palguna, M.F.J. Athalla. (2021). Analisis Pemilihan Konverter Daya DC-DC pada Pembangkit Listrik EBT. *Suara Teknik: Jurnal Ilmiah*, 12(2), 6-10. <http://dx.doi.org/10.29406/stek.v12i2.3012>