

Manajemen dan Pemantauan Energi Motor BLDC pada Mobil Listrik Berbasis IoT

Aditya Ilham Pradana¹, Eka Prasetyono², Ony Asrarul Qudsi³, Era Purwanto⁴, Sutedjo⁵, Syechu Dwitya Nugroho⁶, Lucky Pradigta S.R.⁷, Diah Septi Y.⁸

Abstract—This paper presents a system design as a management and monitoring of energy consumption in BLDC motors that are applied to electric vehicle. Energy consumption settings are applied using the Pulse Amplitude Modulation principle by adjusting the input voltage on a BLDC motor. This setting uses a DC-DC converter with Buck Converter topology. This converter is designed with a maximum current capability of 20 A and an output voltage that varies from a range of 24 V - 56 V. To ensure the output voltage is always on the set point, the duty cycle of Buck Converter is set using proportional controls. The regulated energy consumption is monitored with modern technology, namely by using low energy components and with the IoT Devices principle. Based on the results obtained, this method can reduce energy consumption up to 36%, as well as monitoring stable energy consumption at reading sensor.

Intisari—Makalah ini menyajikan sebuah desain sistem sebagai pengatur dan pemantau konsumsi energi pada motor BLDC yang diterapkan pada mobil listrik. Pengaturan konsumsi energi yang diterapkan menggunakan prinsip *Pulse Amplitude Modulation* dengan mengatur tegangan masukan pada motor BLDC. Pengaturan ini menggunakan konverter DC-DC dengan topologi *Buck Converter*. Konverter ini didesain dengan kemampuan arus maksimum 20 A serta tegangan keluaran yang bervariasi dari 24 V hingga 56 V. Untuk memastikan tegangan keluaran sesuai dengan *set point*, *duty cycle Buck Converter* diatur menggunakan kontrol *proportional*. Konsumsi energi yang diatur dipantau dengan teknologi yang modern, yaitu dengan menggunakan komponen *low energy* serta dengan prinsip *IoT Devices*. Berdasarkan hasil yang didapat, penggunaan metode ini dapat mengurangi konsumsi energi dengan baik mencapai 36%, serta dengan pembacaan sensor dalam pemantauan konsumsi energi yang stabil.

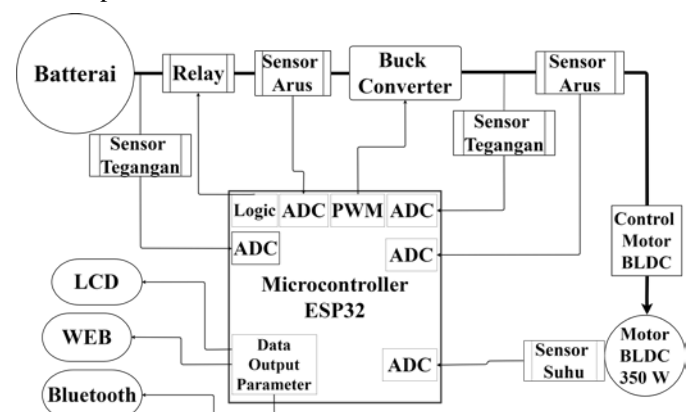
Kata Kunci—Pengaturan, Konsumsi Energi, Motor BLDC, IoT, Monitoring.

I. PENDAHULUAN

Dalam dunia globalisasi saat ini perkembangan teknologi semakin meningkat dengan cepat, inovasi-inovasi terus bermunculan di segala lini, salah satunya dalam dunia mobil

listrik. Perkembangan teknologi pada mobil listrik menyebabkan persaingan dalam menciptakan mobil listrik.

Berbagai riset dilakukan guna menghasilkan mobil listrik yang unggul dalam *performance*, keandalan, spesifikasi, serta efisiensi energinya. Untuk menciptakan mobil listrik yang unggul, beberapa hal yang perlu untuk diperhatikan adalah jenis dan kapasitas baterai, jenis motor BLDC, serta beberapa fitur pendukung untuk memudahkan pengemudi saat berkendara. Namun, proses perubahan energi listrik (baterai) menjadi energi gerak (motor BLDC) sering diabaikan, sehingga rugi-rugi energi pada proses ini sangat banyak terbuang. Selain itu, fitur pendukung seperti pemantauan (*monitoring*) konsumsi energi [1] pada mobil listrik masih kurang *ter-update* sehingga pengemudi sedikit kesulitan dalam memantau kapasitas baterai dan jumlah konsumsi energi yang telah terpakai.



Gbr. 1 Diagram blok keseluruhan sistem.

Pada desain ini, dengan diagram blok seperti pada Gbr. 1, telah dilakukan pengujian pada mobil listrik, *buck converter* digunakan dalam proses perpindahan energi dari baterai ke motor BLDC [2]. Pengaturan tegangan keluaran pada baterai menggunakan prinsip *Pulse Amplitude Modulation* sehingga tegangan masukan motor akan bervariasi sesuai dengan *set point* yang ditentukan [3]. Perubahan tegangan masukan pada motor ini menghasilkan jumlah konsumsi energi yang bervariasi [4]. Metode inilah yang digunakan untuk mengatur konsumsi energi guna meningkatkan efisiensi mobil listrik. Selain pengaturan konsumsi energi, desain ini juga dilengkapi dengan pemantauan konsumsi energi. Pemantauan dilakukan menggunakan beberapa sensor dan komponen *low energy*, dengan memanfaatkan komponen SMD serta *low noise filter* sehingga didapatkan pembacaan sensor yang akurat serta terintegrasi dengan *IoT devices* [5]. Pengembangan *IoT devices* ini sangat membantu dalam proses riset, karena pemantauan kondisi mobil listrik dapat diakses melalui web

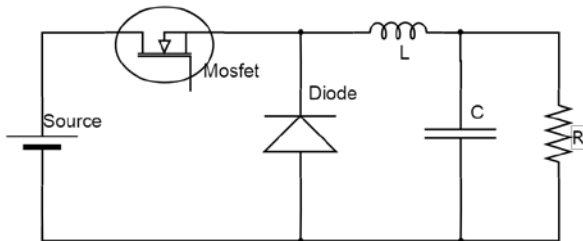
¹Mahasiswa, Jurusan Teknik Elektro Industri, Departemen Elektro, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Jl Raya ITS, Sukolilo Surabaya 60111 (telp: +62-85-630 70694; fax: +62-31-594 6114; e-mail: adityailham87@gmail.com)

^{2,3,4,5,6,7,8}Dosen, Jurusan Teknik Elektro Industri, Departemen Elektro, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Jl Raya ITS, Sukolilo Surabaya 60111 (telp: +62-31-594 7280; fax: +62-31-594 6114; e-mail: eka@pens.ac.id, ony@pens.ac.id, era@pens.ac.id, sutedjo@pens.ac.id, syechu@pens.ac.id, lucky@pens.ac.id, diahsepti@pens.ac.id)

sehingga tidak hanya pengemudi saja yang dapat menganalisis kondisi mobil listrik. Selain digunakan dalam riset, teknologi ini juga dapat diaplikasikan dalam perlombaan mobil listrik.

II. DESAIN MANAJEMEN SISTEM

Manajemen sistem didesain menggunakan konverter DC-DC dengan topologi *buck converter* atau topologi penurunan tegangan. *Buck converter* memiliki karakteristik menurunkan tegangan masukan dengan mengatur *duty cycle* (D) pada proses *switching* semikonduktor. Rangkaian *buck converter* diperlihatkan pada Gbr. 2.



Gbr. 2 Rangkaian *buck converter*.

A. Desain Buck Converter

Ketika *switching* pada semikonduktor berada pada kondisi *open*, keluaran mendapat energi dari kapasitor dan induktor sebagai penyimpan energi sementara. Rangkaian *buck converter* saat *switching* dalam kondisi *open* diperlihatkan pada Gbr. 3(a).

$$V_L = -V_o \tag{1}$$

$$V_L = L \frac{di_L}{dt} \tag{2}$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{-V_o}{L} \tag{3}$$

diubah dalam bentuk arus induktor

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_L}{\Delta t} \tag{4}$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_L}{(1-D)T} \tag{5}$$

Hasil dari Δi_L saat *switching* dalam kondisi *open* adalah

$$\Delta i_L(Open) = \frac{(-V_o)(1-D)T}{L} \tag{6}$$

Saat *switching* dalam kondisi *close*, maka diode berada dalam kondisi *reverse bias* sehingga masukan langsung memberikan energi pada induktor, kapasitor, serta keluaran seperti pada Gbr. 3(b).

Tegangan pada induktor adalah

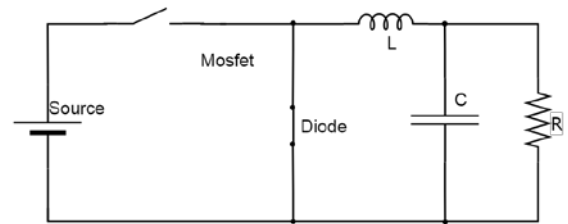
$$V_L = V_s - V_o \tag{7}$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L} \tag{8}$$

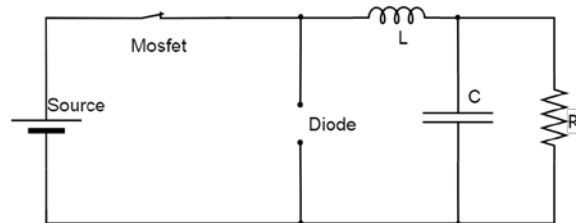
$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_L}{DT} \tag{9}$$

Penyelesaian untuk Δi_L saat *switching* dalam kondisi *close* adalah

$$\Delta i_L(Close) = \frac{(V_s - V_o)DT}{L} \tag{10}$$



(a)



(b)

Gbr. 3(a) Rangkaian *buck converter* saat *switch open*, (b) Rangkaian *buck converter* saat *switch close*.

Perhitungan *buck converter* ini harus sesuai dengan kondisi penggunaan motor BLDC. Sinyal keluaran yang terlalu banyak mengandung derau (*noise*) akan mengurangi efisiensi perubahan energi dari energi listrik menjadi energi gerak. Dari beberapa rumus turunan tersebut diperoleh beberapa data perhitungan yang digunakan pada *buck converter* yang disajikan pada Tabel I.

TABEL I
DATA PARAMETER *BUCK CONVERTER*

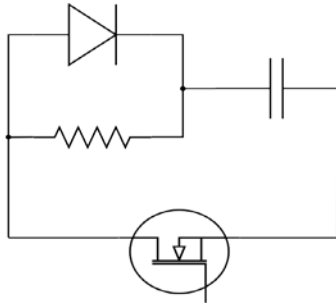
No	Parameter	Nilai	Unit
1	Tegangan sumber maks.	56	Volt
2	Arus keluaran	20	Ampere
3	Frekuensi	40	KHz
4	<i>Duty Cycle</i>	42,8	%
5	Resistor	1,2	Ohm
6	Δi_L	4	Ampere
7	<i>Ripple Arus</i>	0,2	%
8	Induktor	87,125	uH
9	Arus Maks.	22	Ampere
10	<i>Ripple tegangan</i>	0,1	%
11	Δv_o	2,4	Volt
12	Arus puncak diode	46,728	Ampere
13	Arus rms diode	30,57	Ampere
14	Arus rms kapasitor	23,119	Ampere
15	kapasitor	5,129	uF

B. Desain Perhitungan Rangkaian *Snubber*

Switching yang dihasilkan oleh komponen semikonduktor adalah 40 kHz sehingga dengan kecepatan tersebut dapat mengakibatkan tegangan *snubber* yang sangat tinggi. Tegangan ini dapat menyebabkan kerusakan pada rangkaian *buck converter* dan mengurangi umur rangkaian sehingga perlu didesain rangkaian *snubber* untuk mengurangi tegangan *snubber*, seperti Gbr. 4.

Pada penggunaan *snubber* diperlukan beberapa komponen tambahan sebagai pemangkas *spike* tegangan *snubber*. Dari

(11) dan (12) didapatkan beberapa parameter seperti pada Tabel II.



Gbr. 4 Rangkaian snubber.

$$C_{snubber} > \frac{I_{on} \times T_{fall}}{2 \times V_{off}} \quad (11)$$

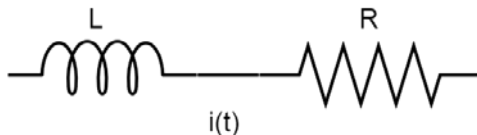
$$R_{snubber} < \frac{D \times T}{2 \times C_{snubber}} \quad (12)$$

TABEL II
DATA PARAMETER RANGKAIAN SNUBBER

No	Parameter	Nili	Unit
1	I_{on}	8,57	Ampere
2	V_{off}	24	Volt
3	T	25	us
4	T_{fall}	14,3	us
5	$C_{snubber}$	2,55	uF
6	$R_{snubber}$	2,37	Ohm

C. Desain Induktor

Induktor sebenarnya terdiri atas dua komponen yang dimodelkan, yaitu induktans Z_L dan R seperti pada Gbr. 5. R adalah nilai resistans dari kawat tembaga, sehingga induktor memiliki hambatan berupa Z_L dan R . Semakin kecil nilai R pada induktor, maka kualitas dari induktor semakin baik.



Gbr. 5 Pemodelan induktor.

Perhitungan jumlah lilitan induktor diperlihatkan pada (13).

$$N = \frac{L \times I_{max}}{B_{max} \times A_c} \quad (13)$$

dengan

N = jumlah lilitan

B_{max} = medan magnet (Tesla)

A_c = core Cross Section Area (mm^2).

Nilai arus rata rata dan arus maksimum pada induktor dapat dihitung menggunakan (14).

$$I_L = I_o = \frac{V_o}{R} \quad (14)$$

$$I_{max} = I_L + \frac{\Delta I_L}{2} \quad (15)$$

dengan

$I_L(Average)$ = arus induktor rata rata (Ampere)

- I_o = arus keluaran (Ampere)
- V_o = tegangan keluaran (Volt)
- R = tahanan (Ohm)
- I_{max} = arus maksimum induktor (Ampere)
- ΔI_L = ripple arus induktor (Ampere)
- I_L = arus induktor (Ampere).

Untuk menghitung panjang lilitan di setiap *split*, dapat digunakan (16).

$$AWG = \frac{\sqrt{I_{in}^2 + (\frac{\Delta I_L}{2})^2}}{n} \quad (16)$$

$$l = ((n \times k) + 40\% (n \times k)) \times n \quad (17)$$

dengan

l = panjang lilitan (m/*split*)

n = jumlah *split*

k = keliling lingkaran *bobbin* (mm)

AWG = *standard wire gauge* (Ampere).

Cross section area (qw) dan diameter kawat tembaga dapat dihitung menggunakan (18) dan (19).

$$qw = \frac{IL}{J} \quad (18)$$

$$dw = \sqrt{\frac{4}{\pi} \times qw} \quad (19)$$

dengan

J = energi magnetik (A/mm^2)

Q_w = *cross section area* (mm^2)

D_w = diameter kawat (mm).

Dari desain induktor didapat beberapa parameter yang digunakan dalam pembuatan induktor pada Tabel III.

TABEL III
DATA PARAMETER DESAIN INDUKTOR

No	Parameter	Nilai	Unit
1	$I_L(Avg)$	20	Ampere
2	V_o	24	Volt
3	R	1,2	Ohm
4	L	87,125	uH
5	I_{max}	22	Ampere
6	N	22	putaran
7	AWG	1,2717	ampere
8	L	1,95	m/ <i>split</i>
9	Q_w	0,2826	mm^2
10	D_w	0,6	mm
11	n	17	<i>split</i>

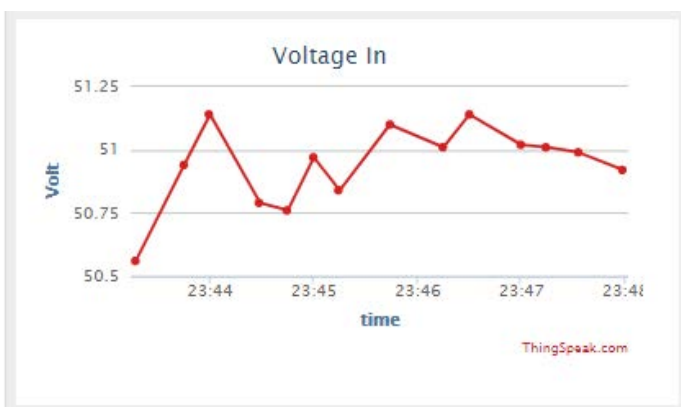
III. DESAIN PEMANTAUAN SISTEM

Dalam makalah ini, pemantauan sistem digunakan sebagai sistem yang dapat memantau jumlah konsumsi energi secara *real time* dan akurat. Beberapa parameter yang diambil dalam pemantauan konsumsi energi ini adalah tegangan dan arus dalam satuan waktu. Data ini diolah dan menghasilkan parameter-parameter baru, yaitu daya, P , dan energi dalam Wh . Untuk mendapatkan data parameter yang akurat dan stabil

digunakan komponen *low energy* berupa komponen SMD dan komponen *low noise* seperti AMC. Hasil dari pembacaan sensor dapat diakses melalui web seperti pada Gbr. 6.



(a)



(b)

Gbr. 6 Tampilan Web (IoT), (a) Parameter arus, (b) Parameter tegangan.

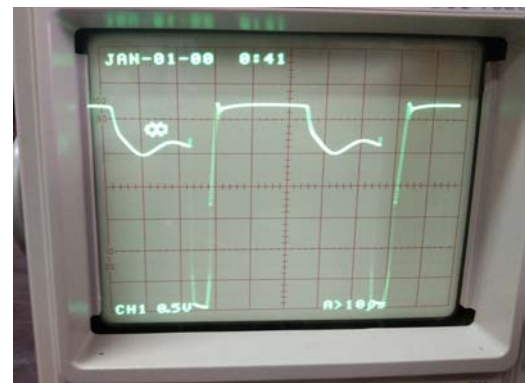
IV. HASIL PENGUJIAN

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi hasil riset yang direncanakan dan dibandingkan dengan hasil secara aktual sehingga dapat menjadi evaluasi dan *troubleshooting* untuk mendapatkan hasil yang lebih baik. Pengujian dilakukan dengan dua metode, yaitu pengujian parsial dan pengujian integrasi. Pengujian parsial meliputi pengujian sensor arus dan tegangan dan pengujian *buck converter*, sedangkan pengujian integrasi adalah pengujian keseluruhan sistem.

A. Pengujian Buck Converter

Pengujian *buck converter* ini bertujuan untuk mengetahui kinerja dari *buck converter* yang telah didesain dan dibuat. Gbr. 7 menunjukkan bentuk gelombang pada *Drain-Source* dengan *duty cycle* 70%. Tampilan gelombang memiliki *ripple* tegangan kecil karena penggunaan kapasitor. Pada Gbr. 7 juga dapat dilihat bahwa *buck converter* bekerja, dilihat dari osilasi pada *Drain-Source* sebelum menyentuh titik nol gelombang.

Pengujian *buck converter* menggunakan masukan tegangan 55 VDC dengan beban lampu pijar 100 watt dan menggunakan PWM digital pada mikrokontroler sebagai *switching trigger* pada rangkaian *buck converter*.



Gbr. 7 Gelombang pada *Drain-Source* Mosfet *Buck Converter*.

TABEL IV
HASIL PENGUJIAN *BUCK CONVERTER*

V _s (Volt)	D (%)	V _o Prakték (Volt)	V _o Teori (Volt)
55	30	13,12	16,5
55	35	16,7	19,25
55	40	19,18	22
55	45	23	24,75
55	50	25,6	27,5
55	55	28,4	30,25
55	60	31,8	33
55	65	37,7	35,75
55	70	46,2	38,5
55	75	54,1	41,25

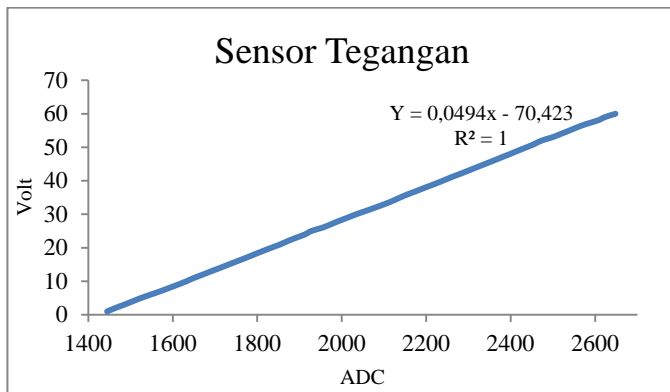
Dari Tabel IV dapat dilihat bahwa *buck converter* bekerja dengan baik, tetapi masih terdapat perbedaan antara perhitungan teori dengan kenyataan.

B. Pengujian Sensor Tegangan

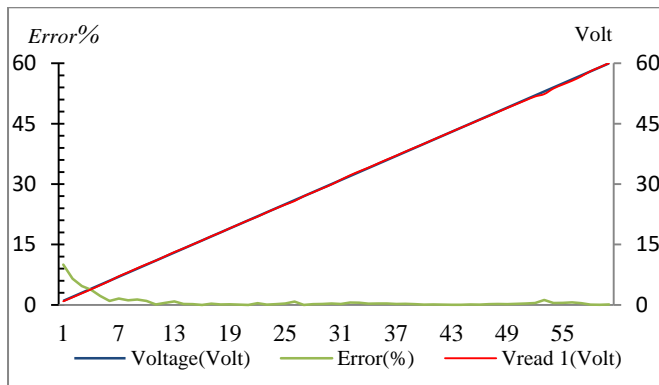
Sensor tegangan yang digunakan adalah pembagi tegangan dengan AMC1100. Pembagi tegangan dan AMC1100 ini digunakan untuk mendeteksi tegangan baterai mobil listrik agar dapat terbaca oleh mikrokontroler. Sensor tegangan didesain hingga tegangan 60 Volt. Pengujian sensor tegangan ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari sensor tersebut. Pengujian sensor tegangan ini menggunakan catu daya maksimum 32 Volt yang disusun seri sehingga maksimal dapat mencapai 64 Volt.

TABEL V
DATA PENGUJIAN DAN KALIBRASI SENSOR TEGANGAN

Nilai ADC	Sensor Tegangan		
	V _{set} (Volt)	V _{read} (Volt)	Error (%)
1444,5	1	0,9	10,00
1524,5	5	4,91	1,80
1632	10	10,14	1,40
1732	15	15,07	0,47
1833	20	20,07	0,35
1928	25	24,8	0,80
2034	30	30,01	0,03
2138	35	35,2	0,57
2239	40	40,11	0,27
2339	45	45,05	0,11



Gbr. 8 Grafik kalibrasi tegangan menggunakan gradien garis.



Gbr. 9 Pengujian sensor tegangan membandingkan dengan voltmeter.

Data pada Tabel V diubah ke dalam bentuk grafik untuk mendapatkan rumus gradien garis yang akan dimasukkan ke dalam program. Rangkaian diuji kembali dengan nilai sebenarnya sehingga didapatkan perbedaan antara pembacaan alat ukur dengan pembacaan rangkaian yang telah dibuat. Perbedaan ini dinamakan *error %*.

Dari Gbr. 8 didapat rumus gradien garis untuk sensor tegangan .

$$Y = (0,0494X) - 70,423 \quad (20)$$

dengan Y merupakan nilai pembacaan sebenarnya, sedangkan X merupakan nilai pembacaan ADC oleh mikrokontroler. Variabel R^2 merupakan variabel linearitas pembacaan sensor. Jika R^2 bernilai sama dengan 1 maka sensor dapat dikatakan linear, sedangkan jika R^2 kurang dari 1, maka terdapat ketidaklinearan pembacaan pada sensor.

Pengujian sensor tegangan dilakukan setelah kalibrasi sensor. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan nilai pembacaan alat ukur voltmeter dengan pembacaan rangkaian sensor tegangan, sehingga jika dibandingkan akan didapatkan nilai *error%*. Berdasarkan Gbr. 9, nilai *error%* yang didapatkan kurang dari 10% pada tegangan rendah, yaitu pada tegangan 1-5 V, sedangkan pada tegangan 6-60V didapatkan nilai *error%* kurang dari 2%, sehingga sensor tegangan dapat dikatakan bekerja dengan baik dan stabil, karena pengoperasian mobil listrik berada pada kisaran 24-56V.

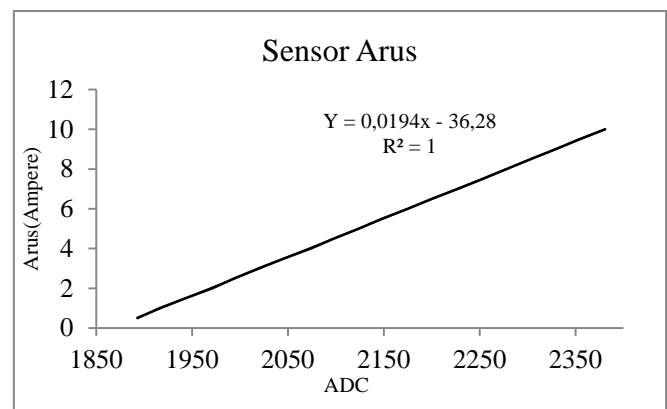
C. Pengujian Sensor Arus

Pengujian sensor arus ACS712 bertujuan untuk mengetahui sensitivitas sensor dan hubungan antara masukan dan keluaran

sensor arus ACS712. Sensor arus digunakan untuk mengetahui arus yang mengalir pada mobil listrik.

TABEL VI
DATA PENGUJIAN DAN KALIBRASI SENSOR ARUS

ADC1	Arus(A)	$I_{read}(A)$	<i>error</i> (%)
1899	0,5	0,48	4,00
1925	1	1,01	1,00
1949	1,5	1,538	2,53
1975	2	2,058	2,90
2000	2,5	2,538	1,52
2025	3	3,038	1,27
2053	3,5	3,608	3,09
2081	4	4,148	3,70
2106	4,5	4,618	2,62
2130	5	5,128	2,56
2154	5,5	5,59	1,64
2179	6	6,108	1,80
2204	6,5	6,58	1,23
2227	7	7,08	1,14
2251	7,5	7,51	0,13
2274	8	8,02	0,25
2297	8,5	8,5	0,00
2320	9	8,99	0,11
2346	9,5	9,48	0,21
2367	10	9,97	0,30



Gbr. 10 Grafik kalibrasi arus menggunakan gradien garis.

Pengujian rangkaian ACS712 dilakukan dua kali. Pengujian pertama untuk mengetahui nilai ADC dengan referensi nilai arus. Nilai ADC yang telah didapatkan digunakan untuk mendapatkan rumus gradien garis. Pengujian kedua bertujuan untuk membandingkan nilai arus yang terbaca pada sensor dengan nilai arus pada amperemeter.

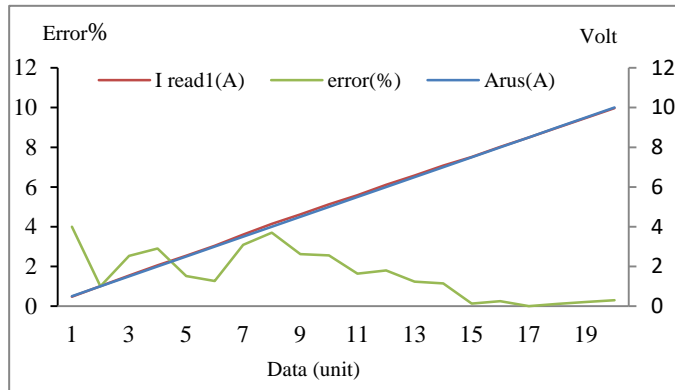
Pengujian ini menggunakan catu daya maksimum 100 Volt dan resistor sebagai bebannya. Penggunaan catu daya dinaikkan dengan langkah 0,5 A. Dengan mendeteksi nilai ADC yang terbaca pada mikrokontroler, didapatkan 20 data sensor arus.

Data pada Tabel VI diubah ke dalam bentuk grafik untuk mendapatkan rumus gradien garis yang akan dimasukkan pada program. Rangkaian diuji kembali dengan nilai sebenarnya sehingga didapatkan perbedaan antara pembacaan alat ukur dengan pembacaan rangkaian yang telah dibuat. Perbedaan ini dinamakan *error%*.

Dari Gbr. 10 diperoleh rumus gradien garis untuk sensor arus.

$$Y = (0,0088X) - 25,964 \quad (21)$$

dengan variabel Y merupakan nilai pembacaan sebenarnya, variabel X merupakan nilai pembacaan ADC oleh mikrokontroler, dan variabel R^2 merupakan variabel linearitas pembacaan sensor. Jika R^2 bernilai sama dengan 1, maka sensor dapat dikatakan linear, sedangkan jika kurang dari 1, maka terdapat ketidaklinearan pembacaan pada sensor.



Gbr. 11 Pengujian sensor tegangan membandingkan dengan amperemeter.

TABEL VII
DATA PENGUJIAN INTEGRASI PADA SET POINT 36 V

Time	V (V)	I (A)	J (Joule)	Time	V (V)	I (A)	J (Joule)
0:10	47,48	0,17	213	0:14	32,96	2,55	962,86
0:10	47,4	0,15	220,34	0:14	32,87	2,49	1.044,68
0:10	47,21	0,14	227,04	0:14	17,94	2,81	1.095,13
0:10	47,05	0,16	234,37	0:14	33,02	3	1.194,19
0:11	46,84	0,16	241,66	0:14	46,58	3,12	1.339,47
0:11	40,84	0,29	253,52	0:15	26,98	3,01	1.420,77
0:11	39,02	0,31	265,71	0:18	34,25	2,03	1.490,46
0:11	37,36	0,43	281,78	0:19	33,99	2,31	1.569
0:11	36,49	0,61	304,09	0:19	34,08	2,39	1.650,35
0:12	35,4	0,79	332,12	0:19	34,31	2,11	1.722,8
0:12	34,44	1,18	372,81	0:19	34,78	1,97	1.791,23
0:12	33,68	1,43	420,99	0:19	35,26	2,07	1.864,24
0:12	32,94	1,78	479,71	0:20	35,31	2,24	1.943,42
0:12	32,81	2,14	549,94	0:20	35,38	2,5	2.032,04
0:13	32,24	2,45	628,82	0:20	35,07	2,14	2.107,01
0:13	32,61	2,49	710,13	0:20	35,82	2,01	2.179,01
0:13	32,85	2,45	790,64	0:21	35,84	2,18	2.257,18
0:13	32,52	2,71	878,76	0:21	35,75	2,04	2.330,22

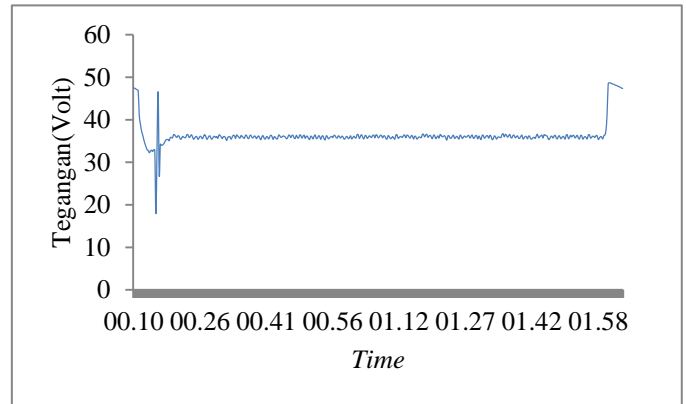
Pengujian sensor arus dilakukan setelah kalibrasi sensor. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan nilai pembacaan alat ukur amperemeter dengan pembacaan rangkaian sensor arus, sehingga didapatkan nilai $error\%$. Berdasarkan Gbr. 11, nilai $error\%$ yang didapatkan adalah kurang dari 4%.

D. Pengujian Integrasi

Pengujian integrasi merupakan pengujian keseluruhan sistem yang diintegrasikan. Pengujian ini dilakukan untuk menguji bahwa sistem ini bekerja sesuai perhitungan.

Pengujian ini dilakukan selama kurang lebih 2 menit dan data pengujian direkam menggunakan *data logger*.

Data pada Tabel VII diolah menjadi bentuk grafik sehingga kinerja sistem ini dapat disajikan dan mudah dipahami. Data yang diolah adalah kinerja dari kontrol P yang digunakan serta jumlah konsumsi energi pada tiap pengujian dengan *set point* berbeda.



Gbr. 12 Keluaran respons kontrol P pada sistem.

TABEL VIII
DATA PENGUJIAN KONSUMSI ENERGI

Set Point	Konsumsi Energi (J)
Open Loop	51.036,91
Close Loop 45 V	42.152,37
Close Loop 40 V	36.271,77
Close Loop 36 V	32.701,81

Dari Gbr. 12 terlihat bentuk keluaran respons kontrol pada sistem mengalami ketidakstabilan di awal, saat kontrol mulai bekerja. Hal ini dikarenakan terdapat *overshoot starting* motor yang mengakibatkan tegangan juga terkena dampak derau yang dihasilkan. Setelah itu, tegangan keluaran terlihat stabil dengan sedikit fluktuasi. Hal ini dapat diabaikan mengingat nilai $error\%$ pada pembacaan sensor tegangan.

Pengujian integrasi dilakukan dengan mencoba beberapa *set point*. Dari pengujian diperoleh hasil beberapa data seperti pada Tabel VIII.

$$\eta = \frac{(J_{awal} - J_{akhir})}{J_{awal}} \times 100 \% \quad (22)$$

$$\eta = \frac{(51036,9 - 31701,81)}{51036,91} \times 100 \% \quad (23)$$

$$\eta = 35,92 \% \quad (24)$$

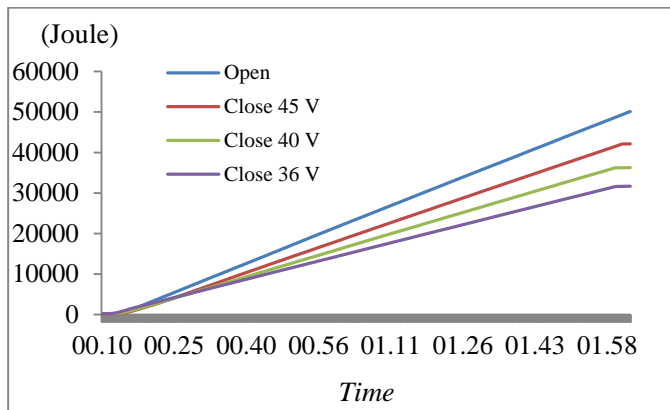
dengan

η = Efisiensi energi (%)

J_{awal} = Jumlah energi saat *open loop* (Joule)

J_{akhir} = Jumlah energi saat *close loop set point 36 V* (Joule).

Dari hasil pengujian ini didapatkan kemampuan alat dengan membandingkan jumlah konsumsi energi saat *open loop* dengan jumlah konsumsi energi saat *close loop 36 V*. Dari perhitungan menggunakan (22) didapat hasil penurunan jumlah konsumsi energi mencapai 36 %.



Gbr. 13 Grafik perbandingan jumlah konsumsi energi pada beberapa *set point*.

Dari Gbr. 13 dapat dilihat bahwa *set point* yang paling rendah, yaitu 36 V, menghasilkan jumlah konsumsi energi paling sedikit, diikuti jumlah konsumsi energi pada *set point* 40 V, *set point* 45 V, dan saat *open loop*. Penggunaan *buck converter* untuk mengatur jumlah konsumsi energi tergantung dari *set point* yang diinginkan. Semakin rendah *set point*, maka konsumsi energi semakin rendah, tetapi semakin mengurangi kinerja mobil listrik.

V. KESIMPULAN

Pemantauan konsumsi energi dengan menggunakan sensor tegangan dan sensor arus mendapatkan pembacaan sensor yang cukup baik. Sensor tegangan hanya mempunyai nilai *error%* kurang dari 2%, sedangkan sensor arus mempunyai nilai *error%* kurang dari 4%. Berdasarkan nilai *error%* yang rendah, pemantauan konsumsi energi dapat dikatakan stabil.

Manajemen konsumsi energi dengan menggunakan metode *Pulse Amplitude Modulation* dapat bekerja dengan baik ketika diimplementasikan pada mobil listrik. Pemilihan *converter*

sebagai pengatur tegangan masukan harus disesuaikan dengan kondisi baterai yang ada. Selain *Buck converter*, *buck boost* dan *boost converter* juga dapat digunakan dalam riset ini. Manajemen sistem bekerja sesuai harapan, yaitu bahwa semakin rendah tegangan yang dimasukkan pada motor BLDC, semakin rendah pula jumlah konsumsi energi. Namun, hal ini juga membatasi kinerja motor BLDC seperti menurunnya kecepatan putaran motor. Penggunaan IoT pada pemantauan sistem sangat berguna dalam beberapa hal, yaitu saat melakukan penelitian dengan kondisi mobil listrik harus berada pada lintasan, peneliti dapat menganalisis dan memantau kinerja dari mobil listrik melalui web. Selain itu, sistem ini dapat digunakan untuk kebutuhan perlombaan, sehingga selain pengemudi, para kru juga dapat memantau kinerja mobil listrik melalui web dengan *IoT Devices* pada sistem.

REFERENSI

- [1] K. Ersan, A. Gorgun, dan Y. Kabalci, "Design and Implementation of a Renewable Energy Monitoring System", *Fourth International Conference on Power Engineering, Energy, and Electrical Drives (POWERENG)*, 2013, hal. 1071-1075.
- [2] Sutedjo, O.A Qudsi, A. Ardianto, D.S. Yanaratri, Suhariningsih, dan M. Darwis, "Design and Implementation Buck Converter for 540WP Solar Charger Using Fuzzy Logic Control", 2018 E3S Web of Conference, 2018, Vol. 3, hal. 1-7.
- [3] H.K. Samitha Ranshara, U.K. Madawala, dan T.H. Liu, "Buck Converter Based Model for a Brushless DC Motor Drive without a DC Link Capacitor," *IET Power Electronics*, Vol. 8, No.4, hal. 628-635, 2015.
- [4] E. Guerro, J. Linares, E. Guzman, H. Sira, G. Guerro, dan A. Martinez, "DC Motor Speed Control Through Parallel DC/DC Buck Converter," *IEEE Latin America Transactions*, Vol. 15, No. 5, hal. 819-826, May 2017.
- [5] Z.K.A. Mohammed dan E.S.A. Ahmed, "Internet of Things Applications, Challenges, and Related Future Technologies," *World Scientific News*, Vol. 67, No. 2, hal. 126-148, 2017.