

# Analisis Konsumsi Daya Mobil Listrik Dengan Penggerak Motor *Brushed* DC

Rusaldi Hendra<sup>1</sup>, Erry Yadie<sup>2</sup>, Arbain<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda

erryyadie@gmail.com

**Abstrak-** Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis konsumsi daya pada mobil listrik yang menggunakan mesin penggerak motor *brushed* DC. Dengan diketahui konsumsi dayanya pada kecepatan konstan tertentu dan kapasitas baterai yang digunakan, maka dapat dihitung jarak maksimum yang dapat ditempuh. Pada penelitian ini digunakan motor *brushed* DC 1000 W sebagai penggerak utama. Sumber energy menggunakan baterai berjenis *Lead Acid* dengan kapasitas 48 volt 30 ampere hour (Ah). Pengendalian kecepatan menggunakan pedal *throttle* yang menggunakan *hall sensor*. Keluaran sensor dihubungkan dengan Arduino Uno yang berfungsi untuk mengendalikan rangkaian *driver*. Pengukuran tegangan suplai, konsumsi arus, dan kecepatan motor, masing-masing menggunakan sensor tegangan (*opto coupler* dan pembagi tegangan), sensor arus (ACS712), dan sensor kecepatan (*phototransistor* dan resistor). Hasil pengukuran diproses oleh dua buah Arduino yang kemudian mengirimkan data ke laptop melalui *transceiver* LoRa. Dengan alat ukur buatan sendiri yang hasil pengukurannya mempunyai toleransi kesalahan hingga 3 % dari hasil pengukuran alat ukur referensi, diperoleh kesimpulan bahwa untuk mendapat kecepatan konstan 4 m/s diperlukan tambahan daya sebesar 11 % dibanding pada kecepatan 2 m/s. Tetapi dengan kapasitas baterai yang sama, dan tambahan daya 11 % tersebut, jarak yang ditempuh mencapai hampir dua kali lipat yang dapat ditempuh dengan kecepatan 2 m/s.

**Kata kunci:** Mobil listrik, konsumsi daya, kapasitas baterai, jarak tempuh

## I. PENDAHULUAN

Di Indonesia, transportasi memegang peranan penting dalam pembangunan karena berfungsi sebagai sarana mobilitas masyarakat. Mobil pribadi maupun angkutan umum merupakan salah satu jenis moda transportasi yang banyak digunakan. Tiap tahunnya jumlah mobil di Indonesia bertambah, maka bertambah pula penggunaan bahan bakar. Akibatnya, polusi udara juga bertambah. Berbagai usaha telah dilakukan untuk mengurangi polusi, termasuk pengembangan dan produksi mobil listrik yang diharapkan mampu mengurangi jumlah emisi gas rumah kaca [1].

Agar mobil listrik dapat dijalankan, energi listrik diperoleh dari baterai yang tersedia dalam berbagai jenis seperti Lithium Ion (Li-Ion), Lithium Polymer (Li-Po), Lead Acid (Accu), dan Nickel-Metal Hydride (Ni-MH). Tiap jenis baterai memiliki spesifikasi, kelebihan, dan kekurangannya sendiri-sendiri. Faktor-faktor yang dipertimbangkan dalam memilih baterai di antaranya adalah biaya awal, *lifetime*, *massa*, volume, sensitivitas suhu, akses perawatan, dan akses ke produk [2].

Agar diketahui berapa besar kemampuan baterai dalam menyimpan dan memberikan energi yang diperlukan oleh mobil listrik, konsumsi daya listrik yang diambil dari baterai perlu diukur dan dianalisis. Dengan mengetahui konsumsi daya listrik yang dipakai, jarak yang dapat ditempuh oleh mobil listrik dengan kecepatan tertentu akan dapat diketahui.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Mobil Listrik

Mobil listrik adalah mobil yang digerakkan oleh motor listrik dengan energi listrik yang berasal dari baterai [3]. Sebagaimana mobil pada umumnya, mobil listrik dikendalikan oleh pedal akselerasi dan rem. Pedal akselerasi mengeluarkan sinyal masukan untuk konverter daya listrik yang mengatur aliran daya dari baterai ke motor. Motor juga bisa berfungsi sebagai generator pengisian baterai maupun sebagai perangkat pengereman. Dibanding mesin berbahan bakar minyak, motor listrik menghasilkan torsi yang besar ketika dijalankan dari saat mobil berhenti, sehingga percepatan dan daya mobil listrik melampaui mobil mesin pembakaran dalam [3].

### B. Motor *Brushed* DC

Motor *brushed* DC merupakan motor listrik dengan menggunakan sistem mekanis commutated dengan sumber arus searah (DC). Motor *brushed* DC memiliki beberapa komponen utama untuk dapat mengkonversikan energi listrik menjadi energi mekanik yaitu *stator*, *rotor* dan sistem komutasi mekanis. Prinsip kerja dari motor *brushed* DC ini dimulai jika arus lewat pada suatu konduktor melingkar sehingga timbul medan magnet di sekitar konduktor. Timbulnya medan magnet memicu adanya dorongan dan tarikan antara *rotor* dan *stator* sehingga menimbulkan gaya. Akibat adanya gaya, maka timbul torsi yang membuat motor berputar dengan kecepatan  $\omega$  radian/detik.

### C. Daya Listrik

Daya listrik (*electrical power*) merupakan jumlah energi yang diserap atau yang dihasilkan dalam suatu rangkaian. Sumber energi seperti tegangan listrik dan arus akan menghasilkan daya listrik pada suatu rangkaian sedangkan beban yang terhubung dengan rangkaian akan menyerap daya listrik tersebut. Persamaan yang digunakan untuk menghitung daya listrik dari sebuah rangkaian listrik adalah sebagai berikut [4]:

$$P = V \times I \tag{1}$$

Keterangan:

- P : Daya (Watt)
- V : Tegangan (Volt)
- I : Arus (Ampere)

**D. Baterai**

Pada mobil listrik, baterai berfungsi untuk menyimpan dan menyuplai energi listrik. Baterai adalah sel listrik yang di dalamnya berlangsung proses elektrokimia yang dapat bersifat *reversible* (dapat berkebalikan) dengan efisiensinya yang tinggi [4]. Dalam proses elektrokimia *reversible*, dapat terjadi perubahan energi kimia menjadi energi listrik (proses pengosongan) dan sebaliknya dari energi listrik menjadi energi kimia (proses pengisian) dengan cara proses regenerasi dari elektroda - elektroda yang dipakai, yaitu dengan melewatkan arus listrik dalam arah polaritas yang berlawanan di dalam sel. Karena itu, dapat dikatakan bahwa baterai menghasilkan listrik melalui proses kimia [2].

Berdasarkan proses terjadinya, baterai dibagi menjadi baterai primer dan sekunder. Baterai primer adalah baterai yang hanya dapat digunakan sekali saja lalu dibuang. Material elektrodanya tidak bersifat *reversible* [4]. Sementara, baterai sekunder adalah baterai yang dapat digunakan beberapa kali karena proses kimia yang terjadi di dalam baterai adalah *reversible*, sehingga bahan aktif dapat kembali ke kondisi semula setelah dilakukan pengisian sel. Baterai sekunder terdiri dari beberapa jenis, di antaranya: baterai Lithium-Ion (Li-Ion), baterai Lithium Polymer (Li-Po), baterai *Lead Acid* (Accu), baterai Nickel-Metal Hydride (Ni-MH) [2]. Baterai *Lead Acid* atau biasa disebut aki merupakan salah satu jenis baterai yang menggunakan asam timbal (*lead acid*) sebagai bahan kimianya [2].

**E. Kapasitas Baterai**

Kapasitas baterai merupakan jumlah energi maksimum yang dihasilkan oleh sebuah baterai pada kondisi tertentu [3]. Kemampuan penyimpanan baterai dapat berbeda dari kapasitas nominalnya. Hal ini bisa disebabkan oleh umur baterai, keadaan baterai, parameter *charging/discharging*, dan temperaturnya. Satuan untuk kapasitas baterai adalah Ampere hours (Ah), yaitu waktu yang dibutuhkan baterai untuk secara kontinyu mengalirkan arus atau nilai *discharge* pada tegangan nominal baterai.

**F. Waktu Pemakaian Baterai Untuk Mobil Listrik**

Berdasarkan kapasitas penyimpanan listriknya (dalam satuan Ah), sebuah baterai yang digunakan untuk mensuplai daya motor listrik pada mobil listrik akan mempunyai batas waktu jika energi listriknya dikeluarkan terus-menerus. Hubungan antara kapasitas baterai, arus kerja motor listrik, dan lama waktu suplainya ditunjukkan dalam persamaan [5]:

$$\text{Waktu pemakaian baterai} = \frac{\text{Kapasitas baterai}}{\text{Arus kerja motor}} \tag{2}$$

Dengan memperhitungkan dieffisiensi baterai, maka waktu pemakaian akan berkurang.

**G. Kecepatan**

Kecepatan adalah besaran vektor yang menunjukkan seberapa cepat suatu benda dapat berpindah dari suatu tempat ke tempat lainnya. Satuan yang digunakan adalah meter per detik / meter per *second* (m/s). Untuk menentukan sebuah kecepatan dapat digunakan persamaan kecepatan rata-rata. Kecepatan rata-rata adalah perubahan posisi (perpindahan) yang ditempuh oleh benda tiap satuan waktu, yang secara matematis dapat ditunjukkan dalam persamaan [4]:

$$\bar{v} = \Delta s / \Delta t \tag{3}$$

Keterangan:

- $\bar{v}$  : Kecepatan rata-rata (m/s)
- $\Delta s$  : Jarak (m)
- $\Delta t$  : Selang waktu (s)

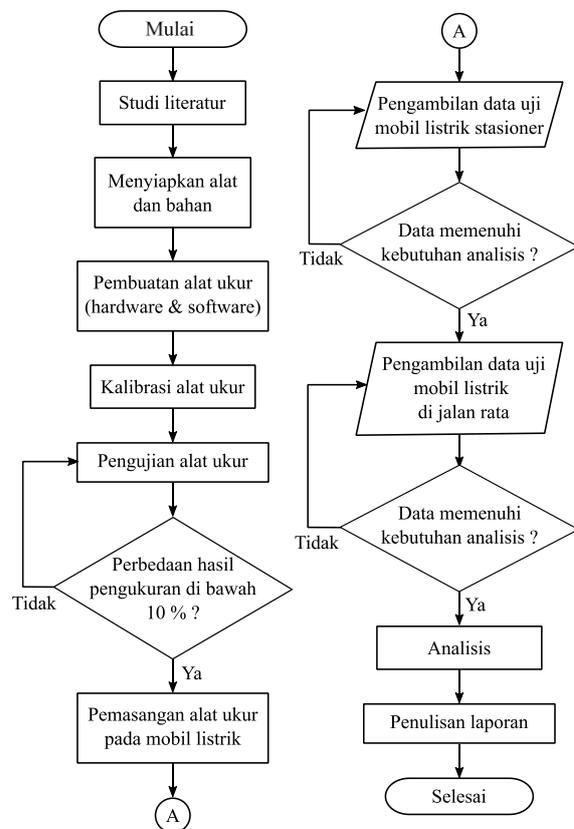
**III. METODE PENELITIAN**

**A. Waktu dan Lokasi**

Penelitian dilaksanakan pada bulan Februari 2020 sampai dengan bulan Agustus 2020, bertempat di Laboratorium Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Samarinda.

**B. Langkah Penelitian**

Langkah-langkah penelitian yang dilaksanakan selama periode waktu tersebut di atas ditunjukkan pada [Gambar 1](#).



Gambar 1. Langkah-langkah penelitian

C. *Data Motor dan Baterai*

Data motor penggerak dan baterai yang digunakan pada mobil listrik berturut-turut ditunjukkan pada [Tabel 1](#) dan [Tabel 2](#).

TABEL 1  
SPESIFIKASI MOTOR BRUSHED DC

Tegangan (V)	Current (A)	Putaran (rpm)	Daya Keluaran (W)
48	20.8	3000	1000

TABEL 2  
SPESIFIKASI BATERAI

Parameter Baterai	Baterai <i>Lead Acid</i>	
	1 buah	4 buah terhubung seri
I (Ah)	30 Ah	30 Ah
V (V)	12 V	48 V

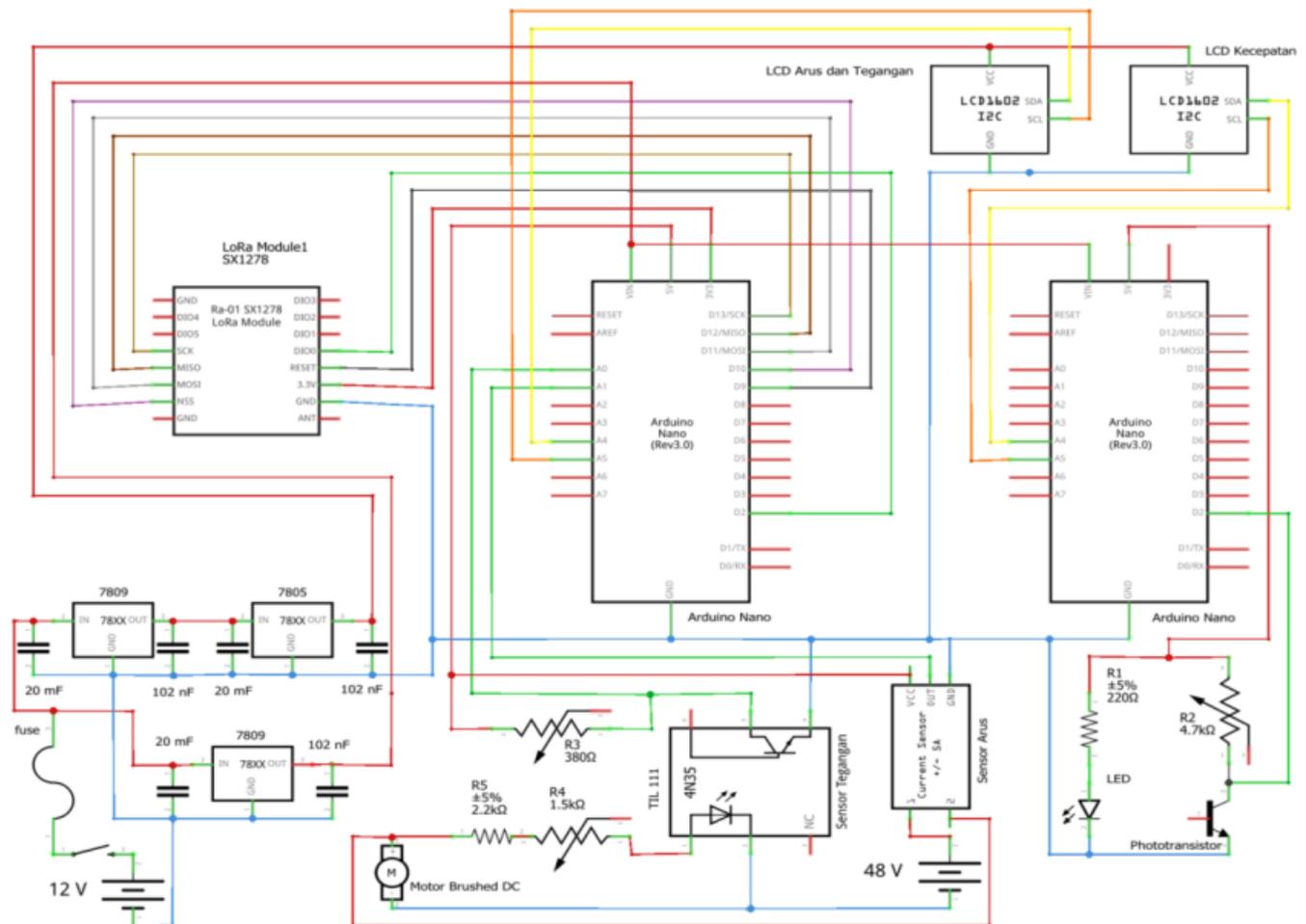
D. *Rangkaian Alat Ukur*

Rangkaian keseluruhan alat ukur dapat dilihat pada [Gambar 2](#). Alat ukur yang dibangun tersebut mampu membaca

tegangan yang diberikan pada motor penggerak dan arus yang dikonsumsi oleh motor. Variabel lain yang diukur adalah kecepatan putar roda, yang dikonversi menjadi kecepatan mobil setelah memperhitungkan keliling roda.

Tegangan dan arus listrik yang diukur oleh sensor pada rangkaian telah dibandingkan dengan alat ukur AVO meter Kyoritsu KEW 1021R dengan kesalahan rata-rata berturut-turut 1,12 % dan 2,88 %. Sedangkan hasil pengukuran sensor kecepatan putar roda dibandingkan dengan hasil pengukuran *tachometer* Hioki FT3045 juga dengan kesalahan rata-rata 1,03 %. Setelah dilakukan perbandingan, kecepatan putar roda dikonversi menjadi kecepatan mobil.

Hasil pengukuran tegangan, arus, dan kecepatan putar selain ditampilkan pada layar LCD di dekat kemudi, juga dikirim melalui *transmitter* long range (LoRa). Sebuah komputer laptop yang terhubung dengan *receiver* LoRa akan menerima data ketiga parameter yang diukur tersebut.



fritzing

Gambar 2. Rangkaian pengukuran tegangan, arus, dan kecepatan mobil listrik

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran tegangan dan arus yang dikonsumsi mobil, serta pengukuran kecepatan dilakukan dalam dua cara. Pengukuran pertama yaitu pengukuran stasioner, dilakukan di Laboratorium Jurusan Teknik Elektro, di mana mobil berhenti di tempat, tetapi motor berputar untuk menggerakkan roda belakang melalui rantai dan gir. Pada pengukuran kedua, data diambil saat mobil dijalankan di jalan datar dalam lingkungan kampus Politeknik Negeri Samarinda. Berikut adalah hasil yang diperoleh beserta pembahasannya.

A. Pengukuran Stasioner di Laboratorium

Pengukuran stasioner dilakukan dengan mengganjal bagian bawah mobil, sehingga roda belakang tetap bisa berputar tanpa mobil harus bergerak. Pengukuran ini dilakukan untuk melihat apakah alat ukur bekerja dengan baik, sebelum dilakukan pengukuran pada saat mobil bergerak di jalan. [Gambar 3](#) menunjukkan proses pengukuran stasioner di Laboratorium Jurusan Teknik Elektro



Gambar 3. Pengukuran stasioner di Laboratorium Jurusan Teknik Elektro

Hasil pengukuran dapat dilihat pada [Tabel 3](#). Daya yang dikonsumsi (ditunjukkan pada kolom terakhir) diperoleh dari perkalian tegangan dan arus dalam [Tabel 3](#). Misalnya, untuk baris no 2, dengan  $V = 3$  volt dan  $I = 3$ A, diperoleh  $P = 3 \times 1 = 3$  W.

TABEL 3  
PENGUKURAN STASIONER

No	Waktu (s)	Tegangan (V)	Arus (A)	Kecepatan (m/s)	Daya (W)
1	59	1	0	0	0
2	01	3	1	1	3
3	02	11	2	2	22
4	03	14	3	5	42
5	04	24	5	6	120
6	05	30	4	8	120
7	06	35	5	8	175
8	07	38	5	9	190
9	08	39	5	9	195
10	09	39	5	9	195
11	10	30	4	7	120
12	11	27	4	5	108
13	12	13	3	3	39
14	13	5	1	1	5
15	14	0	0	0	0

Dari [Tabel 3](#) tampak bahwa semakin tinggi tegangan yang diberikan (pedal *throttle* semakin dalam ditekan) kecepatan semakin tinggi, demikian pula arus yang dikonsumsi oleh motor. Maka, daya yang dikonsumsi juga bertambah. Sebaliknya ketika tegangan dikurangi (pedal *throttle* semakin dilepas), kecepatan menjadi berkurang, konsumsi arus listrik menurun, demikian pula daya yang dikonsumsi.

B. Pengukuran Pada Kondisi Mobil Dikemudikan di Jalan Datar

Untuk pengukuran konsumsi tegangan dan arus ketika mobil berjalan di jalan datar, beban motor DC merupakan seluruh berat mobil ditambah seorang pengemudi. Tegangan dan arus yang dikonsumsi diukur pada dua kecepatan, yaitu 2 m/s dan 4 m/s. Proses pengukurannya ditunjukkan pada [Gambar 4](#).



Gambar 4. Pengukuran dengan mobil dijalankan di jalan rata

1). Pengukuran dengan kecepatan rata-rata 2 m/s

Hasil pengukuran pada kondisi mobil melaju di jalan datar dengan kecepatan rata-rata 2 m/s dapat dilihat pada [Tabel 4](#). Seperti halnya pada [Tabel 3](#), daya diperoleh dari perkalian tegangan dan arus.

TABEL 4  
HASIL PENGUKURAN DI JALAN DATAR  
DENGAN KECEPATAN RATA-RATA 2 m/s

No	Waktu (s)	Tegangan (V)	Arus (A)	Kecepatan (m/s)	Daya (W)
1	20	28	34	0	952
2	21	29	28	1	812
3	22	32	20	1	640
4	23	35	18	2	630
5	24	35	18	2	630
6	25	35	18	2	630
7	26	35	18	2	630
8	27	35	18	2	630
9	28	35	18	2	630
10	29	35	17	2	595
11	30	30	13	2	390
12	31	28	13	2	364
13	32	0	0	3	0
14	33	0	0	2	0
15	34	0	0	0	0

Dari [Tabel 4](#), tampak bahwa arus yang terukur sangat besar ketika mobil dijalankan dari keadaan diam. Hal ini terjadi karena beban motor listrik pada saat itu adalah bobot seluruh mobil ditambah seorang penumpang. Akibatnya daya yang dikonsumsi juga sangat besar, hampir mencapai daya maksimum motor sebesar 1000 W. Tetapi ketika mobil sudah bergerak, arus menjadi turun. Selanjutnya relatif tetap pada kisaran 18 A, ketika kecepatan dipertahankan pada 2 m/s.

Kemudian, ketika tegangan diturunkan hingga menjadi 0 V (pedal *throttle* dilepas dan pedal rem ditekan), konsumsi arus dan daya juga menjadi 0. Pada saat itu mobil masih berjalan (mempunyai kecepatan) karena sisa momen gerak sebelumnya.

2). Pengukuran dengan kecepatan rata-rata 4 m/s

Hasil pengukuran pada kondisi mobil melaju di jalan datar dengan kecepatan rata-rata 4 m/s didapatkan dapat dilihat pada [Tabel 5](#).

TABEL 5  
HASIL PENGUKURAN DI JALAN DATAR  
DENGAN KECEPATAN RATA-RATA 4 m/s

No	Waktu (s)	Tegangan (V)	Arus (A)	Kecepatan (m/s)	Daya (W)
1	39	29	34	0	986
2	40	30	30	2	900
3	41	32	27	3	864
4	42	38	23	4	874
5	43	38	20	4	760
6	44	39	19	4	741
7	45	39	20	4	780
8	46	38	18	4	684
9	47	35	15	4	525
10	48	36	15	5	540
11	49	35	16	4	560
12	50	31	13	4	403
13	51	0	0	5	0
14	52	0	0	3	0
15	53	0	0	2	0
16	54	0	0	0	0

Serupa dengan hasil pada [Tabel 4](#), arus mula yang digunakan untuk menggerakkan mobil dari keadaan diam cukup besar, sehingga daya yang dikonsumsi hampir mencapai 1000 W. Kemudian, dengan mempertahankan kecepatan pada 4 m/s arus yang dikonsumsi berkisar 20 A.

Selanjutnya, ketika tegangan dikurangi hingga mencapai 0 V dengan cara melepas pedal *throttle*, sekaligus menekan pedal rem untuk menghentikan mobil, daya menjadi 0 W. Walaupun daya sudah mencapai 0 W, kecepatan tidak langsung mencapai 0 m/s karena masih bergerak akibat momen sisa. Karena kecepatannya adalah 4 m/s, maka waktu yang diperlukan mobil untuk berhenti lebih lama dibanding pada kecepatan 2 m/s.

C. Analisis

1). Kecepatan rata-rata 2 m/s

Berdasarkan [Tabel 4](#), tegangan rata-rata, arus rata-rata, dan daya rata-rata diperoleh dengan mengambil data pada baris 4 hingga 10, di mana kecepatan dipertahankan pada 2 m/s atau 7,2 km/jam dan belum ada pengereman. Maka didapat tegangan rata-rata 35 V, arus rata-rata 18 A, dan daya rata-rata 630 W.

Besar daya yang dikonsumsi mobil pada saat melaju di jalan datar dengan kecepatan 2 m/s adalah 630 W.

Kemudian, lama suplai listrik yang diberikan pada mobil listrik dengan kecepatan 2 m/s atau 7,2 km/jam adalah:

$$\text{Waktu pemakaian baterai} = 30 \text{ Ah} / 18 \text{ A} = 1,66 \text{ jam.}$$

Jika digunakan dieffisiensi baterai sebesar 20 % maka:

$$\text{Dieffisiensi baterai 20\%} = 20\% \times 1,66 = 0,33 \text{ jam}$$

Sehingga baterai dapat memasok daya dengan lama waktu:

$$\text{Total waktu} = 1,66 \text{ jam} - 0,33 \text{ jam} = 1,33 \text{ jam.}$$

Maka jarak yang dapat ditempuh dengan kecepatan 7,2 km/jam dengan total waktu penggunaan baterai selama 1,33 jam adalah:

$$\text{Jarak} = 7,2 \text{ km/jam} \times 1,33 \text{ jam} = 9,57 \text{ km.}$$

2). Kecepatan rata-rata 4 m/s

Berdasarkan [Tabel 4](#), tegangan rata-rata, arus rata-rata, dan daya rata-rata diperoleh dengan mengambil data pada baris 4 hingga 10, di mana kecepatan dipertahankan pada 4 m/s atau 14,4 km/jam dan belum ada pengereman. Maka didapat tegangan rata-rata 37,57 V, arus rata-rata 18,57 A, dan daya rata-rata 700,57 W. Besar daya yang dikonsumsi pada saat melaju di jalan datar dengan kecepatan 4 m/s adalah 700,57 W.

Selanjutnya, lama suplai listrik yang diberikan pada mobil listrik dengan kecepatan 4 m/s atau 14,4 km/jam adalah:

$$\text{Waktu pemakaian baterai} = 30 \text{ Ah} / 18,57 \text{ A} = 1,62 \text{ jam.}$$

Jika digunakan dieffisiensi baterai sebesar 20 % maka:

$$\text{Dieffisiensi baterai 20\%} = 20\% \times 1,62 = 0,32 \text{ jam}$$

Sehingga baterai dapat memasok daya dengan lama waktu:

$$\text{Total waktu} = 1,62 \text{ jam} - 0,32 \text{ jam} = 1,30 \text{ jam.}$$

Maka jarak yang dapat ditempuh dengan kecepatan 14,4 km / jam dengan total waktu penggunaan baterai selama 1,30 jam adalah :

$$\text{Jarak} = 14,4 \text{ km/jam} \times 1,30 \text{ jam} = 18,72 \text{ km.}$$

3). Perbandingan antara kecepatan rata-rata 2 m/s dan 4 m/s

Dengan membanding hasil yang diperoleh antara kedua data pada 1) dan 2) tampak bahwa untuk mendapatkan kecepatan dua kali lipat, hanya diperlukan peningkatan daya

sebesar  $700.57 - 630 = 70,57$  W. Tetapi jarak yang ditempuh ternyata dapat bertambah sebesar 9,15 km, yang berarti hampir dua kali lipat dari jarak yang ditempuh oleh kecepatan 2 m/s.

#### V. KESIMPULAN

Dari hasil proses rancang bangun alat sampai pembahasan yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Alat ukur yang telah dibuat cukup teliti untuk mengukur parameter tegangan, arus dan kecepatan.
2. Penggunaan arus listrik yang besar pada *start* awal mampu meningkatkan daya dorong kendaraan meskipun daya yang dikonsumsi cukup tinggi.
3. Dengan kecepatan rata-rata 4 m/s diperoleh jarak hampir dua kali lipat dibanding jarak yang ditempuh pada kecepatan 2 m/s dengan daya hanya bertambah sebesar 11 %.

#### REFERENSI

- [1]. A. Herlambang, *Perancangan Mobil Listrik Dua Penumpang Untuk Mendukung Mobilitas Civitas Akademika Universitas Negeri Yogyakarta*, Laporan Proyek Akhir, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta, 2019.
- [2]. M. T. Afif and I. A. P. Pratiwi, "Analisis perbandingan baterai Lithium-Ion, Lithium-Polymer, Lead Acid dan Nickel-Metal Hydride pada penggunaan mobil listrik," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 6 no. 2, 2015, pp. 95-99.
- [3]. M. Udin, M., B. S. Kaloko, dan T. Hardianto, "Peramalan kapasitas baterai Lead Acid pada mobil listrik berbasis Levenberg Marquardt Neural Network," *Jurnal Berkala Sainstek*, vol. 5 no. 2, 2017, pp. 112-117.
- [4]. R. Mulyadi, K. D. Artika, and M. Khalil, "Perancangan sistem kelistrikan perangkat elektronik pada mobil listrik," *Jurnal Elemen*, vol.6 no.1, Juni 2019, pp. 7–12.
- [5]. I. Susanti, Rumiasih., Carlos R.S., and A. Firmansyah, "Analisa penentuan kapasitas baterai dan pengisiannya pada mobil listrik," *Jurnal Elektra*, vol.4 no.2, Juli 2019, pp. 29–37.