



Pengujian konsumsi daya baterai litium-ion pada sepeda motor listrik dengan variasi kemiringan lintasan

Power consumption test of lithium-ion batteries on electric motorcycles with variations of track slope angle

A.T. Zain*, D.D. Suranto, A. Irawan, C.N. Karimah

Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Jember, Jl. Mastrip PO BOX 164, Jember, Indonesia. HP. 082333962659

*E-mail: alextaufiqurrohman@polije.ac.id

ARTICLE INFO

Article History:

Received 11 January 2023

Accepted 10 March 2023

Available online 01 April 2023

Keywords:

BLDC motor

Electric Vehicle

Li-Ion Batteries



ABSTRACT

The development of electric vehicles in Indonesia, especially the BEV (Battery Electric Vehicle) type, has received serious attention and support from the government. This is evidenced by the issuance of Presidential Regulation Number 55 of 2019 concerning the acceleration of the Battery-Based Electric Motor Vehicle Program for Road Transportation. Electric vehicles designed and developed in this study use an on-wheel BLDC type electric motor, Li-Ion batteries and are equipped with a watt hour meter to monitor battery consumption. The results of testing the accuracy and precision of the watt hour meter show a good value. This is evidenced by the difference in the measurement value of the watt hour meter against the Avometer and the difference between each repetition of the data 5 times which is below 1 Volt and 1 Ampere. Other test results show that the track with a large slope will also experience a large voltage drop, namely 0.8 V at a slope of 100 and the maximum current flowing is 8.35 A. Meanwhile, when the slope of the track is 70 and 60, the battery voltage decreases and the current flowing respectively are 0.5 V and 8.12 A; as well as 0.2 V and 7.84 A.

Dinamika Teknik Mesin, Vol. 13, No.1, April 2023, p. ISSN: 2088-088X, e. ISSN: 2502-1729

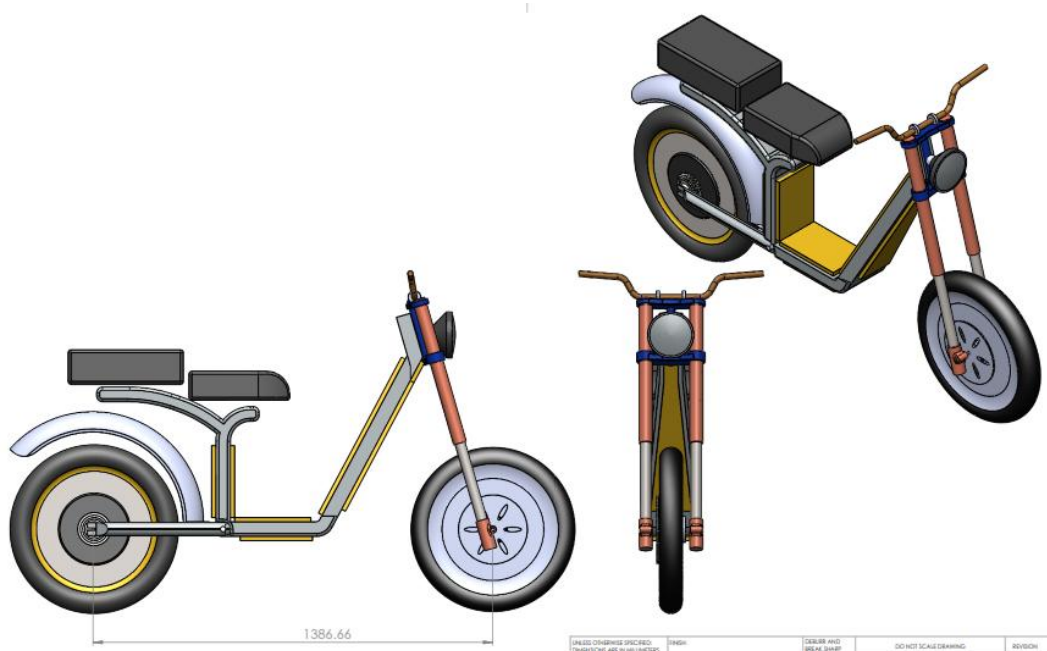
1. PENDAHULUAN

Jumlah kendaraan listrik di dunia selalu mengalami peningkatan setiap tahunnya, baik jenis BEV (Battery Electric Vehicle) maupun PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle). Namun demikian, mobil listrik jenis BEV memiliki jumlah penyebaran yang selalu lebih tinggi dibandingkan dengan mobil listrik jenis PHEV setiap tahunnya (International Energy Agency, 2019; Nur dan Kurniawan, 2021). Mobil listrik jenis BEV (*Battery Electric Vehicle*) merupakan jenis mobil listrik yang sumber energinya secara keseluruhan benar-benar hanya disuplai oleh baterai saja. Dengan demikian, pengemudi mobil jenis BEV harus cermat dalam memperhitungkan jarak dengan kapasitas baterai yang tersisa. Sedangkan mobil listrik jenis PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle) adalah jenis mobil listrik yang memadukan dua mesin sekaligus yakni mesin konvensional dengan sumber energi BBM serta mesin listrik dengan sumber energi listrik dari baterai (Aziz dkk., 2020; Subekti dkk., 2014; Sudjoko, 2021).

Pengembangan kendaraan listrik di Indonesia, khususnya tipe BEV mendapatkan perhatian dan dukungan serius dari pemerintah. Hal ini dibuktikan dengan terbitnya Peraturan Presiden Nomor 55 Tahun 2019 tentang percepatan program kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai untuk Transportasi Jalan; Rencana Induk Riset Nasional Tahun 2017 – 2045 terkait penggunaan kendaraan listrik sebagai transportasi umum. Serta pembangunan beberapa infrastruktur pendukungnya meliputi industri baterai; industri kendaraan listrik serta Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU) meskipun jumlahnya belum sebanyak Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) (Menteri Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi, 2017; Percepatan Program Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai (Battery Electric Vehicle), 2019; Yatriendi dkk., 2022).

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini difokuskan untuk mendapatkan desain; sistem kendali; assembly; serta performa kendaraan listrik dan baterai. Desain merupakan salah satu tahap awal dalam mengembangkan kendaraan listrik roda dua. Pada penelitian ini, sudah dikembangkan desain gambar teknik terkait kendaraan listrik roda dua yang nantinya akan dipabrikasi. Adapun desain gambar teknik yang telah dikembangkan yakni kendaraan listrik roda dua tipe retro klasik. Pemilihan desain ini disesuaikan dengan mempertimbangkan ketersediaan komponen dan sumber daya yang ada serta melihat pangsa pasar yang lebih luas untuk menjadi prototipe kendaraan listrik roda dua (Suranto dkk, 2023).



Gambar 1. Desain sepeda motor listrik yang akan dikembangkan

Penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif analitik. Penelitian kendaraan listrik roda dua diawali dengan menentukan dan merancang desain kendaraan listrik. Desain dilakukan menggunakan software Solid Work. Desain yang sudah didapat selanjutnya dirancang dan dirakit. Setelah rangka body dan komponen sepeda listrik dirakit, sistem kendali kendaraan listrik dirancang. Sistem kendali ini nantinya yang akan menentukan kecepatan putar aktuator, yakni motor listrik BLDC, berdasarkan tarikan gas oleh pengemudi pada bagian setir. Sistem kendali ini juga yang akan menentukan energi listrik yang dibutuhkan sesuai dengan beban yang ada (Efendi, 2020; Suendri dkk., 2018). Rancangan sistem monitoring tegangan baterai akan didesain dan dirakit pada penelitian ini (Afif dan Pratiwi, 2015; Otong dkk., 2019). Selanjutnya performa kendaraan listrik dan konsumsi daya baterai dengan variasi kemiringan lintasan dilakukan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Spesifikasi sepeda motor listrik yang dihasilkan

Pada penelitian ini, diputuskan bahwa desain sepeda motor listrik yang akan dirancang dan dikembangkan adalah seperti pada Gambar 2. Hal ini didasarkan pada ketersediaan bahan baku serta alat produksinya. Berikut ini merupakan gambar sepeda motor listrik yang telah dirancang dan dikembangkan:



Gambar 2. Sepeda motor listrik yang telah dirancang dan dikembangkan

Sedangkan spesifikasinya adalah seperti pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Spesifikasi sepeda motor listrik yang telah dirancang dan dikembangkan

Parameter	Spesifikasi
Jenis Motor	BLDC 1KW, <i>Controller Hand Throttle</i>
Baterai	Li-Ion Pack, 48 V, 19 Ah
Kecepatan Maksimal	±60 km/jam (Jalan mendatar)
Profil Roda Depan	R14 80/80
Profil Roda Belakang	R14 80/90
Jenis Rem Depan	<i>Disk brake 25 cm</i>
Jenis Rem Belakang	<i>Disk brake 18 cm</i>
Suspensi Depan	<i>Shock Assy</i>
Suspensi Belakang	<i>Shock Spring</i>
Rangka	Baja
Bodi	<i>Stainless coating, Spakbor Belakang Stainless, Spakbor depan cat galvanis</i>
Dimensi	P x L x T = 180 cm x 70 cm x 100 cm

Sebagai komponen utama pada kendaraan listrik, penentuan jenis motor listrik merupakan bagian yang krusial. Motor listrik yang dipilih harus sesuai dengan kegunaan kendaraan listrik yang akan dirancang, baik dari segi jenis, kapasitas, maupun metode kendalinya. Berdasarkan pertimbangan tersebut, penelitian ini menggunakan motor listrik jenis BLDC dengan kapasitas 1 kW, dengan tegangan 48 Volt dan kuat arus 19 Ampere. Hal ini dikarenakan sepeda motor listrik dirancang untuk digunakan pada jalan kota, penggunaan yang santai (tidak memerlukan daya dan torsi yang terlalu tinggi), serta mudah dikendalikan (Efendi, 2020; Suendri dkk., 2018). Motor BLDC yang digunakan, langsung terpasang pada poros roda atau dikenal dengan *on wheel*. Hal ini tentu akan mengoptimalkan tenaga yang dihasilkan. Karena tidak adanya mekanisme penyalur tenaga, rugi-rugi tenaga dapat diminimalkan.

3.2 Pengujian akurasi dan presisi *watt hour meter*

Watt hour meter merupakan alat yang dapat menampilkan besaran listrik umumnya tegangan dan arus dalam waktu yang bersamaan. *Watt hour meter* pada sepeda motor listrik dapat digunakan untuk memantau daya yang telah digunakan (dalam Watt dan *Watt Hour*), Kuat arus (dalam Ampere) yang sedang digunakan, tegangan yang ada pada baterai (dalam Volt) serta lama penggunaan atau pengoperasian sepeda motor listrik. Penelitian ini menggunakan *watt hour meter* Feacefair PZEM-015, berikut ini tampilannya:



Gambar 3. *Watt hour meter* yang digunakan

Sebelum digunakan, *watt hour meter* perlu diperiksa akurasi dan presisinya. Akurasi merupakan kedekatan data pengukuran antara *watt hour meter* dengan alat ukur standart. Karena yang menjadi fokus pengukuran adalah tegangan dan kuat arus, maka yang menjadi perhatian adalah tegangan dan kuat arus yang diukur dengan *watt hour meter* terhadap hasil ukur dengan avometer digital standart yakni ANEENG DM850 (Jumrianto dkk., 2019).



Gambar 4. Avometer yang digunakan

Sedangkan presisi merupakan kedekatan data tiap pengulangan terhadap nilai rata-rata hasil pengukuran dengan *watt hour meter* (Jumrianto dkk., 2019). Sama dengan pemeriksaan akurasi, pemeriksaan presisi juga dilakukan pada data hasil pengukuran tegangan dan kuat arus yang diulangi masing-masing 5 kali untuk tiap kondisi yang berbeda. Kondisi yang berbeda disini diartikan sebagai variasi bukaan *hand throttle*. Bukaan *hand throttle* adalah sebesar 24 mm. Berikut hasil pengukuran nilai akurasi dan presisi untuk variabel tegangan (dalam volt):

Tabel 2. Hasil pengukuran nilai akurasi dan presisi untuk variabel tegangan

No	Posisi <i>Hand Throttle</i>	<i>Watt Hour Meter</i>		Tegangan (Volt)		Akurasi		Presisi	
		Data ke-n	Rata-rata	Data ke-n	Rata-rata	Data ke-n	Rata-rata	Data ke-n	Rata-rata
1	Tertutup Penuh (0 mm)	71,28	70,21	71,87	70,79	0,59	0,62	1,07	0,65
		70,77		71,32		0,55		0,56	
		70,02		70,64		0,62		0,19	
		69,8		70,31		0,51		0,41	
		69,2		69,82		0,62		1,01	
2	Terbuka 1/3 Bagian (8 mm)	68,9	68,25	69,73	68,84	0,83	0,54	0,65	0,50
		68,7		69,41		0,71		0,45	
		68,4		68,91		0,51		0,15	
		67,95		68,37		0,42		0,30	
		67,32		67,76		0,44		0,93	
3	Terbuka 2/3 Bagian (16 mm)	66,82	66,11	67,14	66,47	0,32	0,35	0,71	0,44
		66,51		66,91		0,40		0,40	
		66,09		66,45		0,36		0,02	
		65,73		66,03		0,30		0,38	
		65,42		65,84		0,42		0,69	
4	Terbuka Penuh (24 mm)	65,09	64,26	65,41	64,57	0,32	0,31	0,83	0,52
		64,68		64,93		0,25		0,42	
		64,32		64,62		0,30		0,06	
		63,88		64,12		0,24		0,38	

63,35	63,77	0,42	0,91
-------	-------	------	------

Pengukuran pada variabel tegangan ini menggunakan 4 variasi keadaan, yakni pada saat *hand throttle* tertutup penuh (0 mm), terbuka 1/3 bagian (8 mm), terbuka 2/3 bagian (16 mm), dan terbuka penuh (24 mm). Pengukuran dapat dilakukan pada posisi tertutup penuh karena yang terbaca pada alat ukur adalah nilai tegangan yang ada pada baterai. Sehingga dalam keadaan motor listrik standby, alat ukur sudah dapat menampilkan data nilai tegangan. Perhitungan nilai akurasi didapatkan dari persamaan:

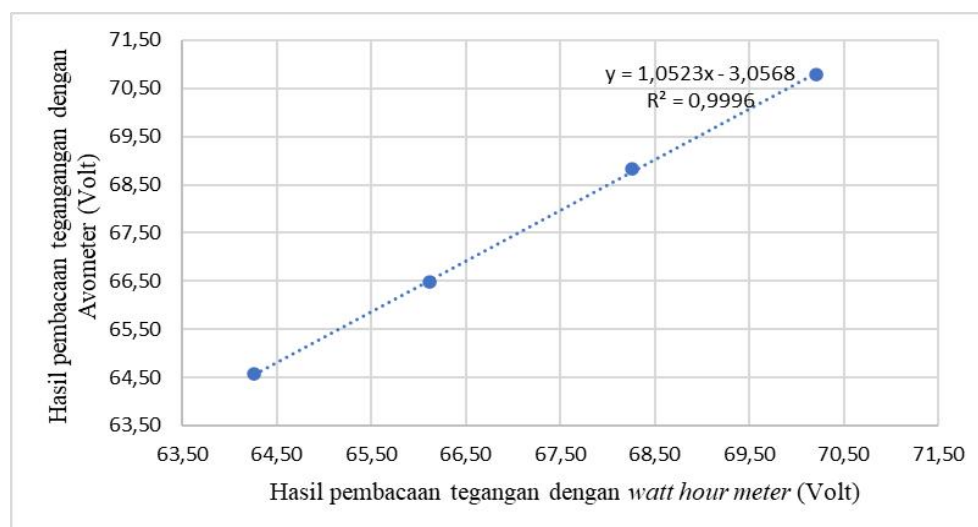
$$V_{Acc} = |V_{WHM} - V_{AVO}| \tag{1}$$

Sehingga nilai rata-ratanya adalah:

$$\overline{V_{Acc}} = \frac{\sum_{i=1}^{n=5} V_{Acc_n}}{n} \tag{2}$$

Dimana V_{Acc} adalah nilai akurasi tegangan yang terukur, $\overline{V_{Acc}}$ adalah rata-rata nilai akurasi tegangan yang terukur, V_{WHM} adalah hasil pengukuran nilai tegangan dengan *watt hour meter*, V_{AVO} adalah hasil pengukuran nilai tegangan dengan avometer digital.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa dari semua keadaan, hasil pengukuran sudah cukup akurat. Hal ini ditunjukkan oleh selisih hasil pengukuran antara menggunakan *watt hour meter* terhadap avometer yang kesemuanya tidak lebih dari 1 Volt. Ini terjadi karena basis pengukuran yang digunakan, keduanya sudah menggunakan sensor tegangan yang selanjutnya akan diubah menjadi sinyal digital untuk ditampilkan pada layar (Jumrianto dkk., 2019; Ramadani dkk., 2021). Perbedaan yang kecil disebabkan oleh masing-masing alat yang memiliki tingkat ketelitian dan resolusi yang berbeda. Hasil akurasi yang baik juga ditunjukkan oleh plot grafik linieritas berikut:



Gambar 5. Hubungan pengukuran tegangan dengan *watt hour meter* terhadap avometer

Gambar 5. Tersebut menunjukkan hubungan yang berbanding lurus, yakni semakin tinggi nilai hasil pengukuran tegangan dengan *watt hour meter* maka akan diikuti pula dengan naiknya hasil pengukuran tegangan dengan avometer. Tidak hanya berbanding lurus, nilai koefisien determinasi yang didapat juga sudah sangat baik, yakni 0,9996 yang mengindikasikan linieritas yang tinggi antar kedua sumbu dan menunjukkan bahwa perbedaan hasil pengukuran dari kedua alat tidak terlampau jauh.

Sedangkan hasil nilai presisi dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini:

$$V_{Prec} = |V_{WHM} - V_{WHM}| \tag{3}$$

Sehingga nilai rata-ratanya adalah:

$$\overline{V_{Prec}} = \frac{\sum_{i=1}^{n=5} V_{Prec_n}}{n} \tag{4}$$

Dimana V_{Prec} adalah nilai presisi tegangan yang terukur, $\overline{V_{Prec}}$ adalah rata-rata nilai presisi tegangan yang terukur, V_{WHM} adalah hasil pengukuran nilai tegangan dengan *watt hour meter*, $\overline{V_{WHM}}$ adalah rata-rata hasil pengukuran nilai tegangan dengan *watt hour meter*.

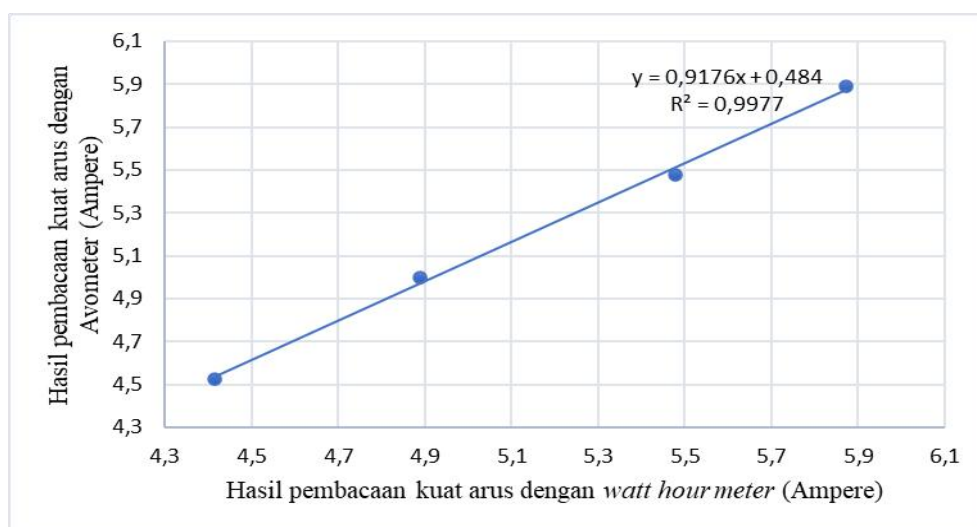
Hasil perhitungan menunjukkan bahwa dari semua keadaan, hasil pengukuran sudah memiliki presisi yang baik. Hal ini ditunjukkan oleh selisih hasil setiap pengukuran terhadap nilai rata-ratanya yang kesemuanya tidak lebih dari 1 Volt. *Watt hour meter* yang digunakan masih baru dan masih memiliki sensitivitas yang baik terhadap hasil pengukuran, terutama sensor tegangan yang masih sangat akurat dalam mendeteksi perubahan nilai tegangan. Berikut merupakan data hasil pengukuran nilai akurasi dan presisi untuk variabel kuat arus:

Tabel 3. Hasil pengukuran nilai akurasi dan presisi untuk variabel kuat arus

No	Posisi <i>Hand Throttle</i>	Kuat Arus (Ampere)							
		<i>Watt Hour Meter</i>		Avometer Digital		Akurasi		Presisi	
		Data ke-n	Rata-rata	Data ke-n	Rata-rata	Data ke-n	Rata-rata	Data ke-n	Rata-rata
1	Terbuka 1/4 Bagian (6 mm)	4,43		4,52		0,09		0,014	
		4,32		4,61		0,29		0,096	
		4,48	4,416	4,44	4,526	0,04	0,11	0,064	0,0688
		4,51		4,57		0,06		0,094	
		4,34		4,49		0,15		0,076	
		4,89		4,88		0,01		0,002	
2	Terbuka 1/2 Bagian (12 mm)	4,95		4,98		0,03		0,062	
		5,02	4,888	4,97	4,998	0,05	0,12	0,132	0,0784
		4,77		5,12		0,35		0,118	
		4,81		5,04		0,23		0,078	
		5,41		5,37		0,04		0,068	
		5,32		5,49		0,17		0,158	
3	Terbuka 3/4 Bagian (18 mm)	5,57	5,478	5,42	5,476	0,15	0,11	0,092	0,0904
		5,61		5,51		0,10		0,132	
		5,48		5,59		0,11		0,002	
		5,81		5,89		0,08		0,062	
		5,79		5,74		0,05		0,082	
		5,88	5,872	5,92	5,888	0,04	0,05	0,008	0,0576
4	Terbuka Penuh (24 mm)	5,91		5,87		0,04		0,038	
		5,97		6,02		0,05		0,098	

Sama dengan pengukuran pada variabel Tegangan, pengukuran pada variabel kuat arus ini menggunakan 4 variasi keadaan. Namun perbedaannya adalah pada pengukuran ini *hand throttle* pada semua keadaan harus terbuka yakni pada saat *hand throttle* terbuka 1/4 bagian (6 mm), terbuka 1/2 bagian (12 mm), terbuka 3/4 bagian (18 mm), dan terbuka penuh (24 mm). Hal ini dikarenakan untuk mengukur kuat arus harus ada beban, sehingga motor listrik harus dalam kondisi berputar yang selanjutnya dapat dilakukan dengan membuka *hand throttle*. Persamaan akurasi dan presisi pada variabel kuat arus adalah sama dengan variabel tegangan.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa dari semua keadaan, hasil pengukuran sudah cukup akurat. Hal ini ditunjukkan oleh selisih hasil pengukuran antara menggunakan *watt hour meter* terhadap avometer yang kesemuanya tidak lebih dari 1 Ampere. Ini terjadi karena basis pengukuran yang digunakan, keduanya sudah menggunakan sensor arus yang selanjutnya akan diubah menjadi sinyal digital untuk ditampilkan pada layar (Otong dkk., 2019; Rozaq, 2022; Zain dkk., 2020). Perbedaan yang kecil disebabkan oleh masing-masing alat yang memiliki tingkat ketelitian dan resolusi yang berbeda. Hasil akurasi yang baik juga ditunjukkan oleh plot grafik linieritas seperti pada Gambar 6 berikut:



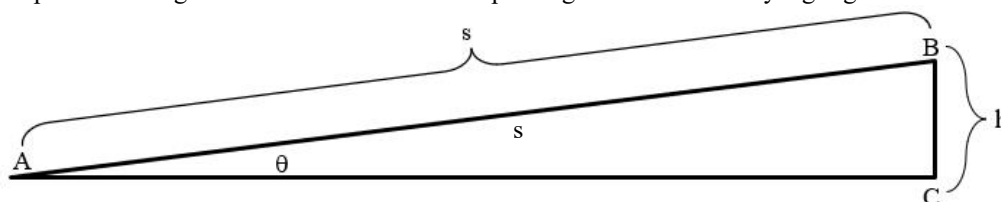
Gambar 6. Hubungan pengukuran kuat arus dengan *watt hour meter* terhadap avometer

Gambar 6. Tersebut menunjukkan hubungan yang berbanding lurus, yakni semakin tinggi nilai hasil pengukuran kuat arus dengan *watt hour meter* maka akan diikuti pula dengan naiknya hasil pengukuran kuat arus dengan avometer. Tidak hanya berbanding lurus, nilai koefisien determinasi yang didapat juga sudah sangat baik, yakni 0,9977 yang mengindikasikan linieritas yang tinggi antar kedua sumbu dan menunjukkan bahwa perbedaan hasil pengukuran dari kedua alat tidak terlampau jauh.

Sedangkan hasil perhitungan nilai presisi menunjukkan bahwa dari semua keadaan, hasil pengukuran sudah memiliki presisi yang baik. Hal ini ditunjukkan oleh selisih hasil setiap pengukuran terhadap nilai rata-ratanya yang kesemuanya tidak lebih dari 1 Ampere. *Watt hour meter* yang digunakan masih baru dan masih memiliki sensitivitas yang baik terhadap hasil pengukuran terutama sensor kuat arus yang masih sangat akurat dalam mendeteksi perubahan nilai kuat arus (Jumrianto dkk., 2019).

3.3 Hasil Pengujian Konsumsi Daya Sepeda Motor Listrik

Tahap akhir dari penelitian ini adalah pengujian performa kendaraan dan konsumsi daya baterai yang didasarkan pada kemiringan lintasan. Berikut ini merupakan gambaran lintasan yang digunakan:



Gambar 7. Ilustrasi kemiringan lintasan, A= titik *start*/ ketinggian awal (m), B= titik *finish*/ ketinggian akhir (m), s= panjang/ jarak lintasan (m), h= ketinggian lintasan (m), θ = sudut kemiringan lintasan ($^{\circ}$).

Dengan menerapkan persamaan trigonometri, yakni:

$$\sin \theta = \frac{h}{s} \tag{5}$$

Maka nilai sudut kemiringan lintasan θ dapat ditentukan dengan persamaan:

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{h}{s}\right) \tag{6}$$

Sebagai batasan, berat total pengendara (pengemudi dan penumpang) diseragamkan yakni 110 kg, lintasan sepanjang 100 m serta waktu tempuh maksimal 30 detik. Terdapat 3 lintasan yang digunakan pada penelitian ini, yakni:

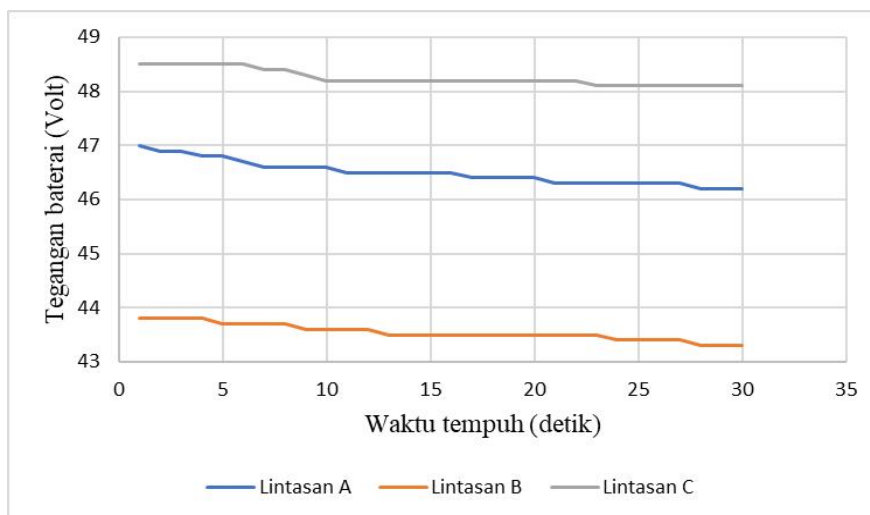
1. Lintasan A: Ketinggian lintasan 18 m. Sehingga kemiringannya adalah 10° .
2. Lintasan B: Ketinggian lintasan 12 m. Sehingga kemiringannya adalah 7° .
3. Lintasan C: Ketinggian lintasan 10 m. Sehingga kemiringannya adalah 6° .

Adapun parameter kelistrikan yang didapatkan pada pengujian ini adalah tegangan baterai (Volt), konsumsi kuat arus (Ampere), Konsumsi daya (Watt), dan Energi (Watt.detik). Berikut merupakan data hasil pengujian:

Tabel 4. Hasil pengukuran parameter kelistrikan sepeda motor listrik dengan variasi kemiringan lintasan

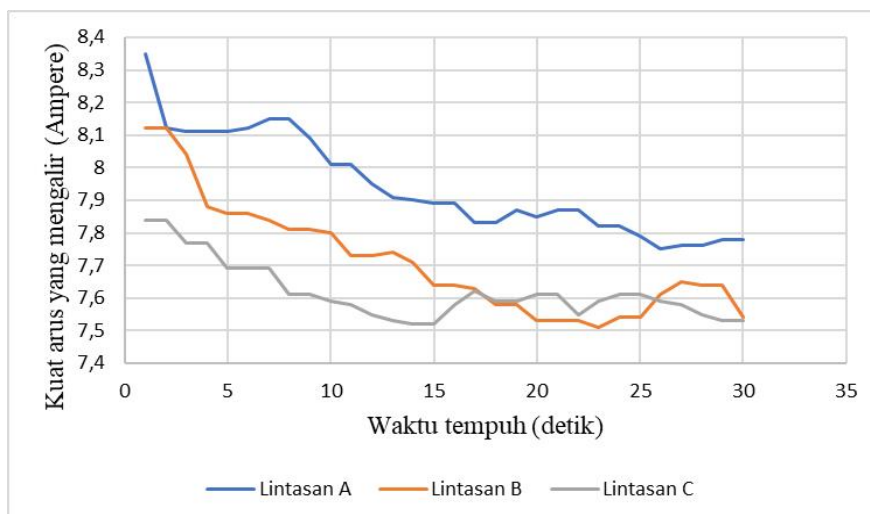
t (detik)	Lintasan A				Lintasan B				Lintasan C			
	V (Volt)	I (Ampere)	P (Watt)	E (Watt. detik)	V (Volt)	I (Ampere)	P (Watt)	E (Watt. detik)	V (Volt)	I (Ampere)	P (Watt)	E (Watt. detik)
1	47	8,35	393	393	43,8	8,12	356	356	48,3	7,84	378	378
2	46,9	8,12	381	762	43,8	8,12	356	712	48,3	7,84	378	756
3	46,9	8,11	380	1140	43,8	8,04	352	1056	48,3	7,77	375	1125
4	46,8	8,11	380	1520	43,8	7,88	345	1380	48,3	7,77	375	1500
5	46,8	8,11	380	1900	43,7	7,86	344	1720	48,3	7,69	371	1855
6	46,7	8,12	380	2280	43,7	7,86	344	2064	48,3	7,69	371	2226
7	46,6	8,15	380	2660	43,7	7,84	343	2401	48,4	6,96	339	2373
8	46,6	8,15	380	3040	43,7	7,81	341	2728	48,4	7,61	368	2944
9	46,6	8,09	377	3393	43,6	7,81	341	3069	48,3	7,61	367	3303
10	46,6	8,01	373	3730	43,6	7,8	340	3400	48,2	7,59	366	3660
11	46,5	8,01	373	4103	43,6	7,73	337	3707	48,2	7,35	355	3905
12	46,5	7,95	370	4440	43,6	7,73	337	4044	48,2	7,55	355	4260
13	46,5	7,91	368	4784	43,5	7,74	337	4381	48,2	7,53	363	4719
14	46,5	7,9	367	5138	43,5	7,71	336	4704	48,2	7,52	363	5082
15	46,5	7,89	367	5505	43,5	7,64	332	4980	48,2	7,52	363	5445
16	46,5	7,89	366	5856	43,5	7,64	332	5312	48,2	7,58	365	5840
17	46,4	7,83	364	6188	43,5	7,63	332	5644	48,2	7,62	367	6239
18	46,4	7,83	363	6534	43,5	7,58	330	5940	48,2	7,59	366	6588
19	46,4	7,87	365	6935	43,5	7,58	330	6270	48,2	7,59	366	6954
20	46,4	7,85	364	7280	43,5	7,53	328	6560	48,2	7,61	367	7340
21	46,3	7,87	365	7665	43,5	7,53	327	6867	48,2	7,61	367	7707
22	46,3	7,87	365	8030	43,5	7,53	327	7194	48,2	7,55	364	8008
23	46,3	7,82	362	8326	43,5	7,51	327	7521	48,1	7,59	365	8418
24	46,3	7,82	362	8688	43,4	7,54	3,27	78,48	48,1	7,71	366	8904
25	46,3	7,79	361	9025	43,4	7,54	327	8175	48,1	7,71	366	9275
26	46,3	7,75	359	9334	43,4	7,61	330	8580	48,1	7,75	365	9698
27	46,3	7,76	353	9531	43,4	7,65	332	8964	48,1	7,83	365	10179
28	46,2	7,76	359	10052	43,3	7,64	331	9268	48,1	7,9	363	10640
29	46,2	7,78	360	10440	43,3	7,64	331	9599	48,1	7,94	362	11049
30	46,2	7,78	359	10770	43,3	7,54	228	6840	48,1	7,91	362	11400

Hasil pengujian menampilkan parameter kelistrikan yang dapat terekam setiap detik. Berikut ini merupakan perbandingan nilai tegangan baterai (V), kuat arus yang mengalir (A), serta konsumsi daya (Watt) dengan variasi kemiringan lintasan:



Gambar 8. Hasil pengukuran nilai tegangan baterai (Volt) tiap detik

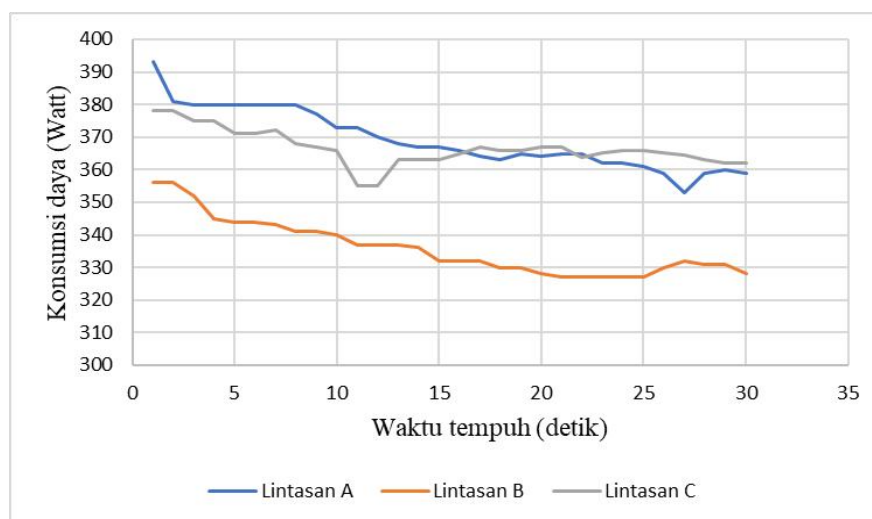
Gambar 8 di atas menunjukkan bahwa untuk semua lintasan akan terjadi penurunan tegangan baterai seiring dengan bertambahnya waktu tempuh. Hal ini dikarenakan sepeda motor listrik secara konsisten membutuhkan energi listrik untuk menyuplai putaran pada motor BLDC (Suendri dkk., 2018). Sedangkan linieritas antara waktu tempuh terhadap tegangan baterai dipengaruhi oleh kuat arus yang mengalir tiap detik. Semakin besar arus yang mengalir, maka tegangan baterai akan semakin berkurang. Jika dilihat dari Tabel 4, pengujian yang menghasilkan penurunan nilai tegangan baterai terbesar ($V_1 - V_{30}$) adalah ketika pengujian yang dilaksanakan di Lintasan A yakni $47 \text{ Volt} - 46,2 \text{ Volt} = 0,8 \text{ Volt}$ selama 30 detik. Hal ini dikarenakan Lintasan A memiliki sudut kemiringan yang paling besar dibandingkan dengan lintasan lainnya. Kemiringan lintasan yang besar akan diikuti dengan peningkatan konsumsi tenaga. Sedangkan pada Lintasan B dan Lintasan C penurunan nilai tegangan baterai secara berurutan adalah $43,8 \text{ Volt} - 43,3 \text{ Volt} = 0,5 \text{ Volt}$ selama 30 detik dan $48,3 \text{ Volt} - 48,1 \text{ Volt} = 0,2 \text{ Volt}$ selama 30 detik. Sedangkan untuk hasil pengukuran nilai kuat arus adalah sebagai berikut:



Gambar 9. Hasil pengukuran nilai kuat arus yang mengalir (Ampere) tiap detik

Berbeda dengan hasil pengukuran nilai tegangan (V), nilai kuat arus (A) memiliki kecenderungan data yang fluktuatif. Hal ini dikarenakan semua lintasan memiliki kemiringan yang tidak konsisten (pada titik tertentu landai, pada titik yang lain cukup curam). Sehingga ketika tanjakan yang cukup curam (sudut kemiringan lebih besar) maka arus yang mengalir akan semakin besar. Hal ini dikarenakan motor listrik membutuhkan torsi yang lebih besar, yang mana kebutuhan torsi tersebut dipengaruhi oleh kuat arus yang mengalir. Selain itu, untuk mulai berjalan, motor listrik selalu membutuhkan torsi yang tinggi, sehingga membutuhkan kuat arus yang besar (Suendri dkk., 2018). Hal inilah yang menyebabkan nilai kuat arus pada awal berjalan selalu memiliki nilai yang paling tinggi dibandingkan ketika sudah mulai berjalan untuk semua kondisi lintasan. Jika dibandingkan, aliran arus terbesar terdapat pada Lintasan A ketika mulai berjalan yakni 8,35 A, diikuti oleh Lintasan B ketika mulai berjalan yakni 8,12 A kemudian Lintasan C ketika mulai berjalan yakni 7,84 A. Hal tersebut dikarenakan

Lintasan A memiliki sudut kemiringan yang paling besar yakni 10^0 , Lintasan B sebesar 7^0 dan Lintasan C sebesar 6^0 . Sedangkan untuk konsumsi daya, data yang didapatkan juga fluktuatif. Hal ini dikarenakan nilai konsumsi daya dipengaruhi oleh kuat arus yang mengalir. Jika kuat arus yang mengalir fluktuatif maka konsumsi dayanya juga menjadi fluktuatif. Berikut merupakan data hasil pengukuran nilai konsumsi daya (Watt) (Ahmadi dkk., 2020; Raafi'u dkk., 2020).



Gambar 10. Hasil pengukuran nilai konsumsi daya (Watt) tiap detik

4. Kesimpulan

Hasil pengujian *watt hour meter* memiliki nilai akurasi dan presisi yang baik. Hal ini ditunjukkan dengan nilai yang berada di bawah 1 Volt dan 1 Ampere, baik ketika dibandingkan terhadap alat ukur standart/ avometer untuk pengukuran nilai akurasi serta ketika dibandingkan dengan setiap pengulangan data untuk pengukuran nilai presisi. Sedangkan untuk hasil pengujian nilai tegangan baterai selalu mengalami penurunan seiring dengan durasi waktu tempuh. Lintasan A menghasilkan penurunan tegangan baterai terbesar, diikuti oleh Lintasan B dan Lintasan C, yakni secara berurutan 0,8 Volt; 0,5 Volt; dan 0,2 Volt masing-masing dengan waktu tempuh 30 detik. Sedangkan untuk konsumsi kuat arusnya memiliki data yang fluktuatif. Hal ini dikarenakan semua lintasan memiliki variasi kemiringan yang berbeda dari titik start sampai titik finish. Jika dibandingkan, aliran arus terbesar terdapat pada Lintasan A ketika mulai berjalan yakni 8,35 A, diikuti oleh Lintasan B ketika mulai berjalan yakni 8,12 A kemudian Lintasan C ketika mulai berjalan yakni 7,84 A. Hal tersebut dikarenakan Lintasan A memiliki sudut kemiringan yang paling besar yakni 100, Lintasan B sebesar 70 dan Lintasan C sebesar 60. Sedangkan untuk konsumsi daya, data yang didapatkan juga fluktuatif. Hal ini dikarenakan nilai konsumsi daya dipengaruhi oleh kuat arus yang mengalir. Jika kuat arus yang mengalir fluktuatif maka konsumsi daya menjadi fluktuatif.

UCAPAN TERIMAKASIH

Tim penulis menyampaikan terimakasih kepada Pusat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (P3M) Politeknik Negeri Jember atas bantuan dana penelitian melalui skema Penelitian Tematik Penugasan Tahun 2022. Selanjutnya disampaikan terimakasih pula kepada PT. Manufactur Dynamic Indonesia atas kerjasama dalam rangkaian kegiatan penelitian yang telah dilaksanakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Afif, M.T., Pratiwi, I.A.P., Analisis perbandingan baterai lithium-ion, lithium-polymer, lead acid dan nickel-metal hydride pada penggunaan mobil listrik – review, *Jurnal Rekayasa Mesin*, 6(2), 95–99, 2015.
- Ahmadi, S., Anam, K., Widjonarko, Peningkatan efisiensi energi pada kendaraan listrik dengan elektronik diferensial berbasis ANN (Artificial Neural Network), *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 8(3), 642, 2020.
- Aziz, M., Marcellino, Y., Rizki, I.A., Ikhwanuddin, S.A., Simatupang, J.W., Studi analisis perkembangan teknologi dan dukungan pemerintah indonesia terkait mobil listrik, *Jurnal Teknik Elektro TESLA*, 22(1), 45–55, 2020.
- Efendi, A., Rancang bangun mobil listrik sula politeknik negeri subang, *Jurnal Pendidikan Teknologi Dan Kejuruan*, 17(1), 75–84, 2020.

- Jumrianto, Wahyudi, Syakur, A., Kalibrasi sensor tegangan dan sensor arus dengan menerapkan rumus regresi linear menggunakan software bascom AVR info articles, *Journal of Systems, Information Technology, and Electronics Engineerin*, 1(1), 1–14, 2019.
- Nur, A.I., Kurniawan, A.D., Proyeksi masa depan kendaraan listrik di indonesia analisis perspektif regulasi dan pengendalian dampak perubahan iklim yang berkelanjutan, *Jurnal Hukum Lingkungan Indonesia*, 7(2), 197–220, 2021.
- Otong, M., Aribowo, D., Wahyudi, R., Perancangan modular baterai lithium ion (Li-ion) untuk beban lampu LED, *Jurnal Ilmiah Setrum Article In Press*, 8(2), 260–273, 2019.
- Raafi'u, B., Darwito, P.A., Zain, A.T., Iskandarianto, F.A., Fauzan, A., Hadi, H.S., Patrialova, S.N., Alam, R.A.B., Design and development of fuzzy-pid controller for four-wheeled mobile robotic stability: a case study on the uphill road, *IPTEK Journal of Engineering*, 6(2), 2337–8530, 2020.
- Ramadani, M.E., Raafi'u, B., Mursid, M., Ash-Shiddieqy, R.H., Zain, A.T., Ladziimaa, A.F., Design and development of monitoring system on carp farming ponds as iot- based water quality control, *ICRACOS 2021 - 2021 3rd International Conference on Research and Academic Community Services, Sustainable Innovation in Research and Community Services for Better Quality of Life towards Society 5*, 148–153, 2021.
- Rozaq, I. A., Sistem monitoring kuat arus, tegangan dan daya solar cell pada alat ukur kualitas air tambak udang vaname, *Jurnal ELKON*, 2(1), 2809–140, 2022.
- Subekti, R.A., Sudibyoy, H., Susanti, V., Saputra, H.M., Hartanto, A., Peluang dan tantangan pengembangan mobil listrik nasional (1st ed., 1), Jakarta, Lipi Press, 2014.
- Sudjoko, C., Strategi pemanfaatan kendaraan listrik berkelanjutan sebagai solusi untuk mengurangi emisi karbon, *Jurnal Paradigma: Jurnal Multidisipliner Mahasiswa Pascasarjana Indonesia*, 2(1), 54–68, 2021.
- Suendri, N. I., Hani, S., dan Priyambodo, S., Analisis performa brushless motor dc pada mobil listrik molista, *Jurnal Elektrikal*, 5(1), 18–25, 2018.
- Suranto, D. J., Anwar, S., Nuruddin, M., Rofi'i, A., Zain, A.T., Analisa perancangan dan pengujian kendaraan listrik roda dua dengan variasi pembebanan, *J-Proteksion, Jurnal Kajian Ilmiah dan Teknologi Teknik Mesin*, 7(2), 47-53, 2023.
- Yatriendi, H., Putra, A.M.N., dan Mughtari, F.A., Overview: perkembangan teknologi pengisian cepat pada kendaraan listrik (teknologi dan infrastruktur), *Seminar Nasional Riset & Inovasi Teknologi*, 128–137, 2022.
- Zain, A.T., Karimah, C.N., Nari, M.I., Nuraisyah, A., Penggunaan sensor fotodetektor untuk pengukuran kandungan gula di dalam larutan nira tebu, *Jurnal Industri Hasil Perkebunan*, 15(1), 29–37, 2020.