



UJI EKSPERIMENTAL TORSI DAN DAYA MOTOR BLDC 48 V BERBASIS *BATTERY PACK* LiFePO₄ MENGGUNAKAN METODE *PRONY BRAKE*

Ahmad Ilham Ramadhani^{a*}, Dominicus Danardono Dwi Prija Tjahjana^b, Ngafwan^a

^aJurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jl. A. Yani, Pabelan, Kartasura, Sukoharjo, Jawa Tengah 57169, Indonesia

^bJurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami No.36, Jebres, Jebres, Surakarta, Jawa Tengah 57126, Indonesia

*Corresponding authors at: air436@ums.ac.id (A. I. Ramadhani) Tel.: +6285-696-760-761

INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diajukan pada 07 Februari 2026

Direvisi pada 24 Juni 2026

Disetujui pada 16 Juli 2026

Tersedia daring pada 22 Juli 2026

Kata kunci:

Motor listrik, LiB, daya, torsi, prony brake

Keywords:

Motor listrik, LiB, power, torque, prony brake

ABSTRAK

Nilai torsi dan daya menjadi faktor utama dalam menentukan karakteristik sistem penggerak *Brushless Direct Current* (BLDC) motor dengan suplai energi listrik dari baterai ion *lithium* (LiB). Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan torsi dan daya motor BLDC 48 V yang suplai oleh baterai *lithium iron phosphate* (LiFePO₄/LFP) menggunakan metode *prony brake*. Metode *prony brake* dilakukan dengan variasi beban W_1 s.d. W_5 dan variasi 200, 400, 600, 800, dan 1000 rpm. Pengujian eksperimental dirangkai menggunakan motor BLDC dan LiB baterai *pack* LFP. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa baterai *pack* yang digunakan berjenis LFP dengan kode rangkaian "15S12P". Baterai *pack* LFP memiliki rentang tegangan 44,19 V - 55 V (*charging*) dan rentang tegangan 35,12 V - 53,12 V (*discharging*). Nilai torsi dan daya mengalami peningkatan seiring dengan penambahan rpm pada setiap variasi beban. Pada rentang operasi ini, sistem menunjukkan perubahan torsi dan daya yang lebih stabil. Nilai torsi tertinggi pada 1000 rpm (0,50 Nm; 0,55 Nm; 0,60 Nm; 0,63 Nm; 1,12 Nm) dan daya pada 1000 rpm (43,68 W; 46,77 W; 49,14 W; 50,68 W; dan 87,97 W). Informasi mengenai nilai torsi dan daya motor BLDC yang disuplai oleh baterai LFP, dapat menjadi salah satu acuan utama dalam mendukung pengembangan kendaraan rendah emisi.

ABSTRACT

Torque and power values are the main factors in determining the characteristics of the Brushless Direct Current (BLDC) motor drive system with electrical energy supply from lithium ion batteries (LiB). The aim of the research is to determine the torque and power of a 48 V BLDC motor powered by a lithium iron phosphate (LiFePO₄/LFP) battery using the Prony brake method. The prony brake method was carried out with load variations of W_1 to W_5 and variations of 200, 400, 600, 800, and 1000 rpm. Experimental testing was set up using a BLDC motor and an LFP LiB battery pack. The experimental results showed that the battery pack used was an LFP type with a circuit code of "15S12P". The LFP battery pack has a voltage range of 44.19 V - 55 V (charging) and a voltage range of 35.12 V - 53.12 V (discharging). The torque and power values increased with increasing rpm at each load variation. In this operating range, the system showed more stable changes in torque and power. The highest torque value at 1,000 rpm (0.50 Nm; 0.55 Nm; 0.60 Nm; 0.63 Nm; 1.12 Nm) and power at 1,000 rpm (43.68 W; 46.77 W; 49.14 W; 50.68 W; and 87.97 W). Information regarding the torque and power of a BLDC motor powered by an LFP battery can serve as a key reference to support the development of low-emission vehicles.

1. PENGANTAR

Kendaraan bermotor yang paling umum digunakan masyarakat adalah kendaraan bensin, seperti sepeda motor dan mobil karena efisiensi dan harganya yang relatif rendah (Wijianto dkk., 2025). Jenis kendaraan bermotor umumnya menggunakan sistem *internal combustion engine* (ICE) (Krivoshapov dkk., 2020). Sistem penggerak *internal combustion engine* merupakan sistem kompleks dengan mengubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi mekanik (Syahputra dkk., 2026). Mesin bensin ataupun mesin diesel sering digunakan oleh masyarakat untuk aktivitas setiap hari, sehingga terjadi peningkatan jumlah pengguna kendaraan bermotor (Prasetha dkk., 2025). Adanya peningkatan kendaraan bermotor konvensional, menyebabkan masalah pada lingkungan, terutama pada kualitas dan polusi udara. Hasil penelitian yang berkaitan emisi gas buang menunjukkan bahwa terdapat emisi gas buang berbahaya pada atmosfer, meliputi CO₂, SO_x, dan NO_x (Zola dkk., 2023). Jumlah kendaraan konvensional yang meningkat berkorelasi dengan kuantitas emisi gas buang yang

tinggi apabila dibandingkan dengan ketersediaan udara bersih. Masalah utama yang ada pada kendaraan konvensional dapat diselesaikan dengan konversi sistem penggerak menggunakan motor BLDC (Aliffrananda dkk., 2021). Pemanfaatan teknologi *motor listrik* didasarkan pada prinsip konversi energi listrik yang disuplai dari LiB menjadi energi mekanis. Keberadaan kendaraan listrik yang ada saat ini dengan jenis *electric vehicle* atau motor BLDC membutuhkan karakterisasi torsi – daya pada variasi beban tertentu.

Penelitian tentang penggunaan *motor listrik* yang bersumber dari suplai LiB, telah menjadi fokus utama dalam pengembangan riset kendaraan listrik (Supriyono dkk., 2025). Hal ini disebabkan karena kemampuan LiB dalam menyediakan kepadatan energi yang tinggi, *long cycle*, dan kemampuan pengisian ulang yang efisien (Le dkk., 2025). Penelitian lain juga menunjukkan bahwa pemanfaatan *motor listrik* dengan LiB dapat secara signifikan meningkatkan efisiensi energi, kinerja torsi, dan keandalan kendaraan listrik dibandingkan dengan sistem penggerak konvensional (Tosun dkk., 2024). Berdasarkan penelitian yang ada, dapat dianalisis bahwa *motor listrik* dan LiB memiliki keterkaitan erat sebagai sistem penggerak. Sehingga *motor listrik* tidak dapat beroperasi secara maksimal jika tidak mendapatkan suplai energi listrik dari LiB. Perkembangan penelitian korelasi keduanya masih perlu untuk dilengkapi dengan fokus utama peninjauan nilai torsi dan daya yang dihasilkan. Studi eksperimental sederhana berbasis *prony brake* untuk motor BLDC 48 V dengan suplai *battery pack* LFP masih terbatas, khususnya yang melaporkan rpm aktual, torsi, daya mekanis, dan ketidakpastian pengukuran.

Aspek torsi dan daya pada *motor listrik* merupakan dua faktor utama dalam implementasi kendaraan listrik. Torsi dapat didefinisikan sebagai gaya yang diperlukan untuk menggerakkan kendaraan dari posisi diam. Torsi *motor listrik* digunakan untuk memutar sistem penggerak utama (*shaft motor*) yang saling terhubung dengan komponen penggerak lainnya (Tuan dkk., 2021). Sedangkan daya merupakan kemampuan sumber energi untuk mensuplai listrik ke *motor listrik* untuk menghasilkan torsi. LiB berperan sebagai faktor kunci dalam pengoperasian sistem *motor listrik* yang tepat dan beroperasi dengan baik (Nurfida dkk., 2025).

Karakteristik torsi dan daya yang dihasilkan dipengaruhi oleh kemampuan LiB dalam menyuplai energi listrik. Sebagai permulaan sebelum implementasi skala massal, dapat dilakukan eksperimen menggunakan pendekatan *prony brake* pada skala laboratorium Nilai torsi menggunakan pendekatan *prony brake* dipengaruhi oleh variasi beban yang diterapkan dan variasi kecepatan putaran *motor listrik*. Poros *motor listrik* menerima hambatan dari beban total saat poros berputar. Hal ini dapat memengaruhi besar torsi yang dihasilkan (Irbabunnuha dkk., 2020). Nilai torsi yang diperoleh pada eksperimen kemudian digunakan sebagai acuan dalam menghitung daya *motor listrik* yang dibutuhkan dengan persamaan. Oleh karena itu, dengan adanya informasi yang komprehensif antara torsi dan daya, maka dapat menjadi acuan utama pada kendaraan listrik.

Eksperimen penelitian terdiri dari simulasi pembebanan berdasarkan variasi beban W_1 s.d. W_5 dan pada variasi putaran awal 200, 400, 600, 800, dan 1000 rpm pada *motor listrik*. Setiap variasi rpm disimulasikan secara mekanis pada beban statis. Hasil pengamatan dan perhitungan torsi yang dihasilkan menggunakan metode pendekatan *prony brake* kemudian digunakan sebagai acuan utama dalam menghitung daya. Keterkaitan antara torsi dan daya *motor listrik* dapat digunakan untuk mengevaluasi pemanfaatan LiB. Penelitian ini bertujuan menghitung torsi dan daya mekanis motor BLDC 48 V yang disuplai *battery pack* LFP 15S12P. Penelitian eksperimen menggunakan metode *prony brake* pada beberapa variasi beban dan kecepatan putar dengan pengulangan sebanyak tiga kali dan hasil yang telah diverifikasi. Kontribusi utama studi ini adalah penyajian prosedur uji sederhana berbasis laboratorium serta evaluasi hubungan beban–putaran–torsi–daya pada sistem penggerak listrik skala kecil. Hasil penelitian diharapkan mampu menghasilkan informasi mengenai nilai torsi dan daya motor BLDC yang disuplai oleh baterai LFP, sehingga dapat menjadi salah satu acuan utama dalam mendukung pengembangan kendaraan rendah emisi.

2. METODE

Pada penelitian ini, terdapat beberapa alat dan bahan yang digunakan, meliputi; *motor brushless BLDC motor BM 1109 2000W/48V*, BMS BY12WF03-B, baterai pack LFP 48V/20Ah, timbangan *crane scale* 300 kg, variasi beban, *pulley* aluminium, *DC multifunction tester*, dan *tachometer* DT6236B. Penelitian dilakukan secara eksperimen dengan pengujian langsung pada *motor listrik*. Penelitian pemanfaatan LiB terhadap *motor listrik* dilakukan melalui tahapan *assembly* konfigurasi LiB 48V/20Ah sebagai sumber energi listrik, dan pengujian pada variasi beban W_1 s.d. W_5 dengan variasi 200, 400, 600, 800, 1000 rpm. untuk menganalisis torsi dan daya yang dihasilkan *motor listrik*.

2.1 Assembly konfigurasi LiB 48V/20Ah

LiB yang digunakan dalam penelitian ini termasuk jenis *Lithium Ferro Phosphate* (LFP) dengan spesifikasi pada Tabel 1 LiB LFP disusun berdasarkan tegangan kerja *motor listrik* 48V. Sehingga LiB disusun secara seri dengan skematik 15 sel silinder secara rangkaian seri dan 12 sel silinder secara rangkaian paralel. Adapun perhitungan *voltage* dan *kapasitas* mengacu pada persamaan (1) dan (2), berikut (Julien dkk., 2015);

$$V_{\text{pack}} = V_{\text{cell}} \times N_s \quad (1)$$

$$C_{\text{pack}} = C_{\text{cell}} \times N_p \quad (2)$$

Baterai yang telah berhasil diassembly selanjutnya dilakukan pengujian *preliminary general test method* yakni *standard cycle*. Pengujian *standard cycle* bertujuan untuk memastikan kondisi batas dari baterai ion *lithium* yang digunakan. *Standard cycle* berfungsi untuk mengetahui karakteristik tegangan baik batas bawah maupun batas atas pada *pack* yang diuji. Metode pengujian *standard cyle* dilakukan pada temperatur ruangan dengan ketentuan laju pengisian dan pengosongan sebesar 0,3C. Beberapa aspek yang diuji pada *standard cycle* meliputi, kemampuan *charging - discharging* dan *energy - capacity at room temperature*. Baterai LFP memiliki kapasitas 20Ah/48V dengan rincian tegangan 3,2 V/cell dan kapasitas 1,67 Ah/cell. Parameter lain dari LiB LFP ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1: Spesifikasi LiB LFP

Parameter	Nilai / Keterangan
Jenis Baterai	LiFePO ₄
Konfigurasi Sel	15S12P
Tegangan per cell	3,2 V
Kapasitas per cell	1,67 Ah
Tegangan <i>Pack</i>	48 V
Kapasitas <i>Pack</i>	20Ah
Arus pengisian	0,3C
Model	<i>Pack Battery</i>
Berat (kg)	12 kg

2.2 Konfigurasi motor listrik

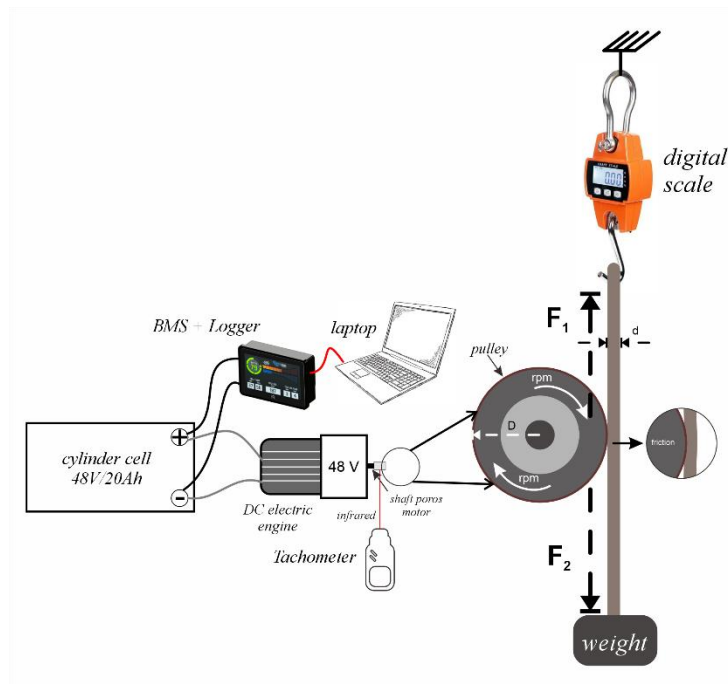
Komponen sistem penggerak yang digunakan pada penelitian ini yakni *motor brushless BLDC motor BM 1109 2000W/48V* dan BMS BY12WF03-B. Spesifikasi komponen sistem penggerak ditunjukkan pada Tabel 2 berdasarkan beberapa parameter;

Tabel 2: Spesifikasi motor listrik

Parameter	Nilai / Keterangan
Jenis motor	BLDC BM 1109
Tegangan	48V
Daya	2000 W
RPM maksimal	4200 rpm
<i>Controller Motor</i>	BY12WF03-B
Jumlah kabel	15 output

2.3 Prosedur pengambilan data

Pengujian eksperimen dengan metode *prony brake* dilakukan pada *motor listrik* dengan variasi beban dan variasi rpm. Metode *prony brake* digunakan untuk mengetahui torsi dengan adanya hambatan dalam bentuk gesekan menggunakan variasi beban. Hambatan yang diberikan dapat didefinisikan sebagai beban, sehingga dapat digunakan dalam menghitung torsi menggunakan persamaan 3. Alat dan bahan penelitian dirangkai menjadi komponen eksperimen pada Gambar 1.

Gambar 1: Mekanisme pengujian metode *prony brake*

Pelaksanaan eksperimen meliputi beberapa tahapan yakni menerapkan beban bervariasi sebesar W_1 s.d. W_5 . Variasi beban tersebut kemudian dihubungkan pada *belt* yang dirangkai secara vertikal pada *scale crane*. Selanjutnya *belt* didekatkan pada *pulley* hingga bersentuhan. *Pulley* akan berputar searah dengan putaran *shaft motor*, sehingga antara *belt* dan *pulley* terjadi *friction* sebagai gaya hambat pada *motor listrik*. Selama proses pengujian akan terjadi perubahan berat pada beban yang diakibatkan adanya gesekan *belt* pada *pulley*. Beban W dalam satuan kg dikonversi menjadi gaya atau berat karena dipengaruhi oleh massa benda dan percepatan gravitasi.

Tabel 3: Spesifikasi alat pengujian *prony brake*

Parameter	Nilai / Keterangan
W_1 s.d. W_5	$W_1 = 26,5$ N, $W_2 = 27,5$ N, $B_3 = 31,0$ N, $W_4 = 35,0$ N, dan $W_5 = 41,5$ N,
Diameter luar <i>pulley</i>	50 mm
Diameter dalam <i>pulley</i>	16 mm
Alat uji RPM	<i>tachometer</i> DT6236B
Putaran	0,05 – 1999,9 rpm
Alat uji beban	<i>crane scale</i> 300 kg
Min timbangan	300 gram
Kapasitas	300 kg
Akurasi	20 – 50 gr
Material V <i>belt</i>	premium <i>polyester</i>
Pengulangan uji	3 kali
Panjang sabuk	1 meter

2.4 Perhitungan dan analisis data

Pengujian yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui perubahan F dan rpm yang dihasilkan. Perubahan nilai F yang diperoleh pada pengujian, selanjutnya dimasukkan dalam persamaan 3 untuk menentukan besar torsi (Nm) (Tjandra dkk., 2023);

$$T = (F_1 - F_2) \times \frac{D_p}{2} \quad (3)$$

Keterangan;

T = torsi (Nm),

F_1 = beban yang terbaca pada timbangan (N),

F_2 = beban pada W (N),

D_p = diameter luar *pulley* (mm).

Nilai F_1 diperoleh dengan membaca perubahan berat pada *crane scale*, sedangkan F_2 diperoleh dari berat benda uji. Diameter luar *pulley* 50 mm dipakai tetap karena area kontak aktif antara *belt* dengan *pulley* berada diameter luar. Sedangkan diameter dalam *pulley* 16 mm, bersentuhan dengan poros motor listrik. Perubahan nilai F yang diperoleh pada pengujian, selanjutnya dimasukkan dalam persamaan 3 untuk menentukan besar torsi (Nm). Nilai torsi *motor listrik* selanjutnya dimasukkan dalam persamaan 4 untuk menentukan besar daya (W) (Denis dkk., 2020);

$$P = \frac{2 \times \pi \times N \times T}{60} \quad (4)$$

Keterangan;

P = daya (W),

N = putaran *pulley* (rpm),

T = torsi (Nm).

2.5 Ketidakpastian pengukuran

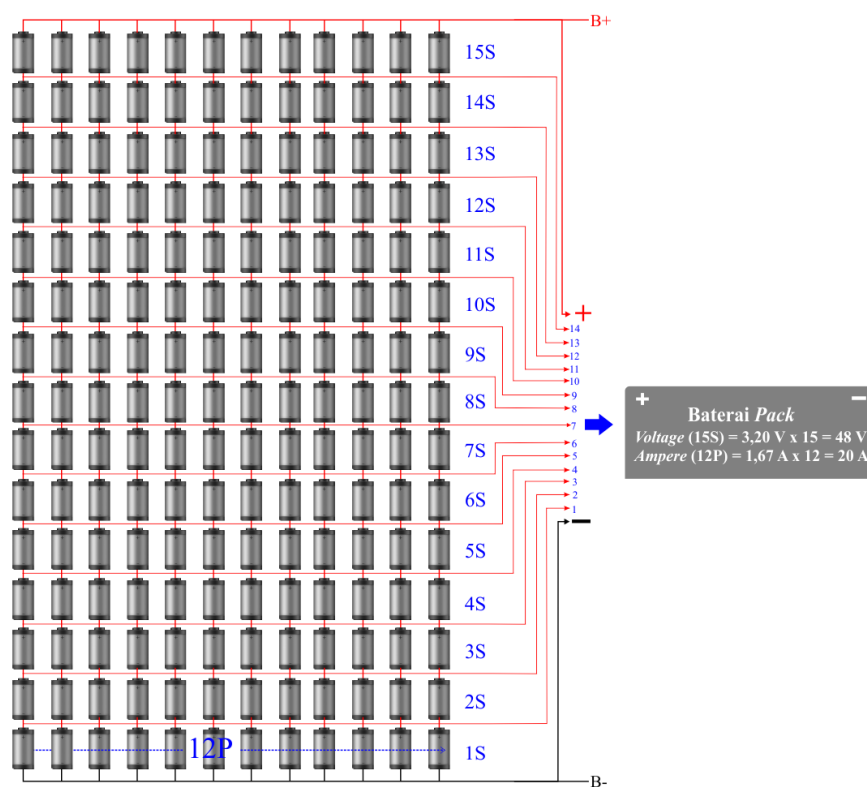
Ketidakpastian pengukuran pada pengujian torsi dan daya motor BLDC 48 V menggunakan metode *prony brake* dipengaruhi oleh variasi koefisien gesek akibat akurasi alat ukur dan fluktuasi tegangan *battery pack* LFP selama pembebanan. Faktor-faktor tersebut dapat menyebabkan deviasi pada nilai torsi dan daya yang terukur. Namun, melalui kalibrasi instrumen dan pengulangan pengujian, data yang diperoleh dapat digunakan untuk merepresentasikan karakteristik *motor listrik* pada kondisi uji Tabel 3. Nilai ketidakpastian dapat diketahui sebagai berikut, berat ($\pm 0,1$ N), diameter *pulley* ($\pm 0,05$ mm), kecepatan putar ($\pm 0,1$ rpm), dan simpangan baku ($\pm 0,1$).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisa LiB LFP Pack

Pengujian baterai mengacu pada standard ISO 18243 tentang prosedur pengujian baterai ion *lithium*. Prosedur pengujian digunakan untuk menentukan karakteristik penting pada kinerja, keamanan, dan keandalan *pack* dan sistem LiB sebelum dilakukan pengujian, baterai harus dikondisikan dengan beberapa parameter yang diterapkan di *battery control unit* (BCU) dan dapat dihubungkan dengan alat pengujian. LiB yang akan diuji *device under test* (DUT) perlu distabilkan untuk pada suhu pengujian selama minimal 12 jam.

LiB sebagai sumber energi listrik disusun secara rangkaian seri dan paralel sehingga membentuk baterai *pack*. Berdasarkan hasil perakitan, diperoleh baterai *pack* LFP dengan kode "15S12P". Kode "15S" menunjukkan bahwa terdapat 15 rangkaian seri dan kode "12P" menunjukkan bahwa terdapat 12 rangkaian paralel ditunjukkan Gambar 2. Berdasarkan perhitungan persamaan 1 dan 2, baterai tersebut memiliki *working voltage* 48V/20Ah. Prosedur pengujian digunakan untuk menentukan karakteristik yang penting bagi kinerja, keamanan, dan keandalan *pack* dan sistem baterai ion litium.



Gambar 2: Rangkaian seri dan paralel LiB LFP

LiB yang telah disusun selanjutnya diuji *standard cycle* mengacu pada ISO 18243, meliputi *charging – discharging* pada arus konstan 0,3C. Pengujian *standard cycle* bertujuan untuk memastikan kondisi batas dari baterai yang digunakan yakni dengan mengetahui karakteristik tegangan batas bawah maupun batas atas pada LiB *pack* sesuai kondisi pengujian LiB LFP pada Tabel 4. Pengujian *charging* dilakukan untuk mengetahui kemampuan LiB LFP dalam menerima muatan yang masuk. Sedangkan pengujian *discharging* dilakukan untuk mengetahui kemampuan LiB LFP dalam mengeluarkan muatan.

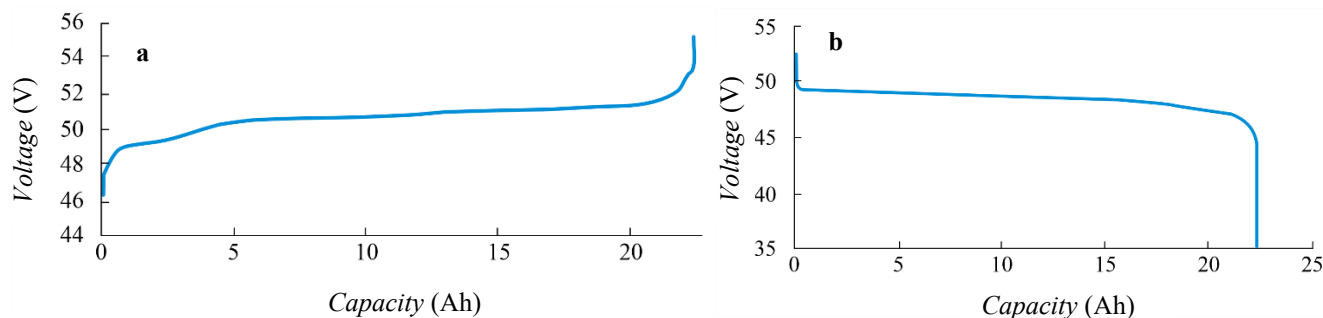
Tabel 4: Kondisi pengujian LiB LFP

Parameter	Nilai / Keterangan
Suhu ruangan	25°C
Metode	Constant Current (CC)
Charging	0,3C
Discharging	0,3C
Waktu jeda	1 jam
Tegangan awal	46,26 V

Hasil pengujian *standard cycle* menunjukkan bahwa kapasitas pengisian/*charging* baterai adalah 22,44 Ah dan kapasitas pengosongan/*discharging* 22,33 Ah. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh selisih kedua proses tersebut 0,11 Ah. Perbedaan kapasitas yang terukur pada baterai *pack* dengan kapasitas nominal 20 Ah dapat terjadi karena beberapa faktor teknis, yakni (a) kapasitas 20 Ah merupakan kapasitas nominal yang diperoleh pada kondisi pengujian tertentu, sedangkan pengujian pada arus rendah (0,3C) umumnya baterai dapat menerima muatan lebih banyak karena rugi-rugi polarisasi, (b) kapasitas *charging* dan *discharging* yang dihitung dari arus selama proses pengisian dan pengosongan yang mencakup seluruh muatan listrik yang masuk-keluar baterai, (c) fabrikasi sel dapat menyebabkan kapasitas aktual baterai melebihi spesifikasi nominal, dan (d) akurasi alat ukur meliputi kalibrasi dan kondisi awal baterai yang belum benar-benar berada pada *State of Charge* (SOC) 0% saat pengujian dapat menyebabkan adanya peningkatan nilai kapasitas yang terukur.

Secara perhitungan terdapat perbedaan 2,4% (kapasitas *charging*) dan 2,3% (kapasitas *discharging*) dari kapasitas target 20Ah. Untuk baterai LFP kelebihan kapasitas sekitar 5–15% dari nilai nominal masih sering dijumpai dan umumnya menunjukkan kualitas sel yang baik. Hal ini bersesuaian dengan penelitian Bašić dkk., (2023) menjelaskan bahwa kapasitas baterai *lithium-ion* yang diperoleh melalui pengujian sangat dipengaruhi oleh arus pengisian dan pengosongan, sehingga kapasitas aktual dapat berbeda dari kapasitas nominal yang digunakan sebagai nilai referensi. Kapasitas efektif baterai *lithium-ion* meningkat ketika pengujian dilakukan pada laju arus yang lebih rendah karena rugi-rugi polarisasi dan efek internal baterai menjadi lebih kecil. Fenomena kapasitas aktual yang melebihi kapasitas nominal juga diperoleh Yazvinskaya dkk., (2021) yang menemukan adanya peningkatan kapasitas pada tahap awal umur baterai LiFePO₄ akibat proses aktivasi elektrokimia dan redistribusi litium pada elektroda. Oleh karena itu, nilai kapasitas *charging* dan *discharging* menunjukkan bahwa baterai berada dalam kondisi baik dan mampu menyimpan dan mengeluarkan muatan.

Selama proses pengujian *standard cycle*, baterai akan mengalami peningkatan dan penurunan kapasitas akibat proses *charging* dan *discharging*. Profil perubahan yang terjadi ditunjukkan pada Gambar 3 yang menyatakan hubungan antara kapasitas (Ah) dan tegangan (V). Peningkatan kapasitas pada LiB ditunjukkan pada Gambar 3a, menunjukkan tegangan bawah 44,19 V dan tegangan atas 55 V. Kurva tegangan terhadap kapasitas menunjukkan profil pengisian baterai *lithium-ion* yang bersesuaian dengan karakteristik *constant current* (CC). Jika ditinjau dari grafik hasil pengujian dapat dikategorikan menjadi tiga bagian; (a) bagian awal 0 – 3 Ah, (b) bagian tengah 3 – 20 Ah, dan (c) bagian akhir >20Ah.



Gambar 3: Grafik *standard cycle* LIB; (a) proses *charging* dan (b) proses *discharging*

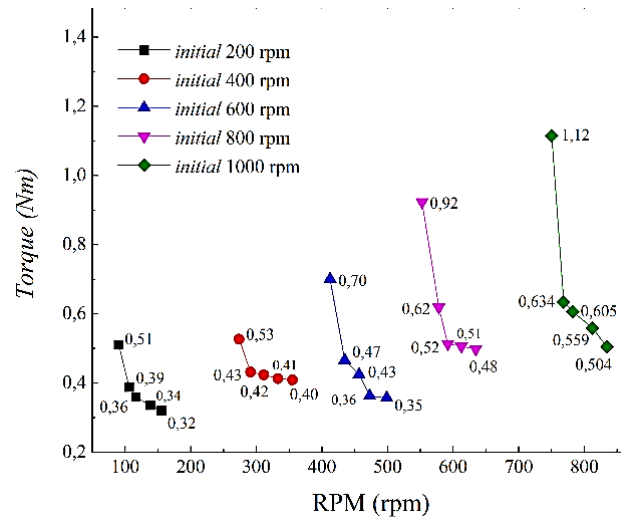
Bagian awal 0 – 3Ah telah terjadi kenaikan tegangan pada rentang 46 – 49 V. Hal ini menunjukkan adanya proses pengisian arus yang konstan. Dalam proses tersebut telah terjadi interkalasi ion lithium pada fase *internal*. Pada fase ini, struktur LiB cenderung menyesuaikan untuk memulai inisiasi pengisian. Bagian Tengah 3 – 20 Ah, telah terjadi kenaikan grafik menjadi relatif landai dengan kenaikan tegangan 49 – 51. Hal ini menunjukkan adanya fenomena *quasi-equilibrium* melalui difusi ion *lithium* dan reaksi elektrokimia pada LiB. Fenomena yang terjadi pada bagian awal dan tengah bersesuaian dengan penelitian trend grafik pengisian yang mengindikasikan adanya hubungan nonlinier antara tegangan dan *state of charge* (SoC) (Ding dkk., 2024). Bagian akhir >20Ah telah terjadi peningkatan tegangan hingga 55V. Pada fase ini menunjukkan adanya transisi ke fase *constant voltage* dan resistansi internal yang mulai meningkat akibat adanya polarisasi elektroda dan keterbatasan difusi ion pada struktur kristal. Fenomena ini juga berkaitan dengan munculnya reaksi samping seperti pertumbuhan lapisan SEI dan peningkatan impedansi sel, yang berkontribusi terhadap degradasi dan penurunan umur pakai baterai (Xiao dkk., 2020). Berdasarkan hasil penelitian dapat dianalisis bahwa LiB yang telah dilakukan proses *charging*, dapat digunakan sebagai sumber energi listrik untuk *motor listrik*. Fenomena tersebut bersesuaian dengan penelitian pemanfaatan LiB pada kendaraan listrik yang mengalami penambahan kapasitas selama proses pengisian (Sinaga dkk., 2023).

Penurunan kapasitas pada LiB ditunjukkan pada Gambar 3b, Kurva tegangan terhadap kapasitas menunjukkan grafik *discharging* LiB. Jika ditinjau dari grafik hasil pengujian dapat dikategorikan menjadi tiga bagian; (a) bagian awal 0 – 2 Ah, (b) bagian tengah 2 – 20 Ah, dan (c) bagian akhir >20Ah. Bagian awal 0 – 2Ah telah terjadi penurunan tegangan awal yang pada rentang 53 – 49 V. Fenomena ini menunjukkan adanya relaksasi LiB setelah kondisi penuh. Selanjutnya terjadi penurunan kapasitas secara landai pada 2 – 20 Ah yang ditandai dengan penurunan tegangan 49 – 48 V. Kondisi LiB pada bagian tengah menunjukkan adanya pengosongan yang relatif stabil. Fenomena ini mengindikasikan keseimbangan antara difusi ion lithium dan reaksi elektrokimia. Selanjutnya pada bagian akhir >20Ah terjadi penurunan tajam pada 22,33 Ah. Hal ini terjadi pada tegangan 45V. Dapat dijelaskan bahwa telah terjadi kondisi *cut-off* akibat peningkatan resistansi internal dan deplesi ion aktif. Kondisi yang terjadi bersesuaian dengan penelitian LiB saat pengosongan bahwa bentuk kurva berkaitan dengan polarisasi tinggi dan potensi degradasi material LiB (Wu dkk., 2025). Berdasarkan hasil penelitian dapat dianalisis bahwa LiB yang telah dilakukan proses pengosongan, dapat digunakan sebagai sumber energi listrik untuk *motor listrik*. Fenomena tersebut bersesuaian dengan penelitian pemanfaatan LiB pada kendaraan listrik yang mengalami pengurangan kapasitas selama proses pengosongan (Masrufaiyah dkk., 2017).

Pengujian kedua pada *preliminary* baterai ion *lithium* adalah *performance test* yakni *energy and capacity at room temperature*. Pengujian *performance test* bertujuan untuk mengukur kapasitas DUT dalam satuan Ah pada laju arus konstan yang telah disesuaikan dengan kapasitas terukur $C/3$ dalam satuan Ah. Pengujian dilakukan dengan memenuhi *standard charging/discharging rate* sebesar 0,3C, baterai *pack* pada temperatur ruangan ($25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$), dan kondisi awal baterai *pack* berada pada tegangan kerja baterai. Baterai yang mengalami pengisian dan pengosongan menghasilkan suhu akhir tertinggi *charging* : $32,56^{\circ}\text{C}$ ($< 45^{\circ}\text{C}$) dan suhu tertinggi *discharging* : $31,31^{\circ}\text{C}$ ($< 45^{\circ}\text{C}$). Dapat dianalisis bahwa temperatur baterai masih di bawah batas normal. Sehingga proses pengisian yang dilakukan masih dalam kategori aman. Sun dkk., (2022) berpendapat temperatur lingkungan mempengaruhi terhadap karakteristik baterai selama digunakan. Hasil eksperimen yang telah dilakukan menunjukkan temperatur yang dapat menjaga kinerja baterai tetap optimal pada temperatur berkisar antara 10°C - 40°C .

3.2 Menentukan Torsi dan Daya Menggunakan Pendekatan Metode Prony Brake

Metode *prony brake* termasuk pendekatan mekanis skala kecil yang dapat digunakan untuk mengetahui nilai torsi motor listrik. Pada penelitian ini, eksperimen dilakukan menggunakan uji beban statis dengan nilai W_1 hingga W_5 dan rpm yang bervariasi pada Tabel 4. Saat proses pengujian putaran *shaft* pada *motor listrik* diatur sesuai dengan *initial rpm* awal 200, 400, 600, 800, dan 1000 rpm, sebelum diberikan beban. Selanjutnya ketika diberikan pembebanan statis, maka terdapat gesekan/*friction* antara *belt* dan area kontak *pulley*. Akibat gesekan tersebut, maka putaran *shaft* akan menjadi lebih rendah yang berkorelasi dengan tingkat rpm motor listrik menjadi lebih rendah pula. Hal ini menyebabkan terjadinya pergeseran rpm tidak berada tepat di *initial rpm* awal, ditunjukkan Gambar 4. Hasil pengujian menunjukkan hubungan bahwa semakin besar putaran *shaft* pada *motor listrik*, maka nilai torsi secara umum cenderung meningkat pada rentang uji tertentu. Hasil ini dapat diketahui pada beban tertinggi W_5 , nilai torsi yang dihasilkan meningkat mulai 0,51 Nm; 0,53 Nm; 0,70 Nm; 0,92 Nm, dan 1,12 Nm pada setiap variasi rpm. Sedangkan pada variasi beban statis menunjukkan peningkatan torsi motor listrik. Hal ini dapat diketahui putaran tertinggi 1000 rpm, nilai torsi yang dihasilkan meningkat mulai 0,50 Nm; 0,55 Nm; 0,60 Nm; 0,63 Nm, dan 1,12 Nm pada setiap variasi beban. Peningkatan nilai torsi tidak selalu terjadi pada semua titik beban uji. Sebagai contoh pada W1 terdapat penurunan nilai torsi pada 600 rpm ketika diuji beban yang sama. Penurunan nilai torsi yang terjadi disebabkan karena area kontak antara *belt* dan *pulley* mengalami perubahan berupa gaya gesek statis yang berubah menjadi gesek kinetis secara tidak stabil. Selain itu penurunan nilai torsi dapat disebabkan terjadinya slip sesaat pada kopling/sabuk akibat perubahan beban dinamis sebelum sistem mencengkeram kembali pada rpm yang lebih tinggi.



Gambar 4: Torsi hasil uji *prony brake* dengan variasi beban

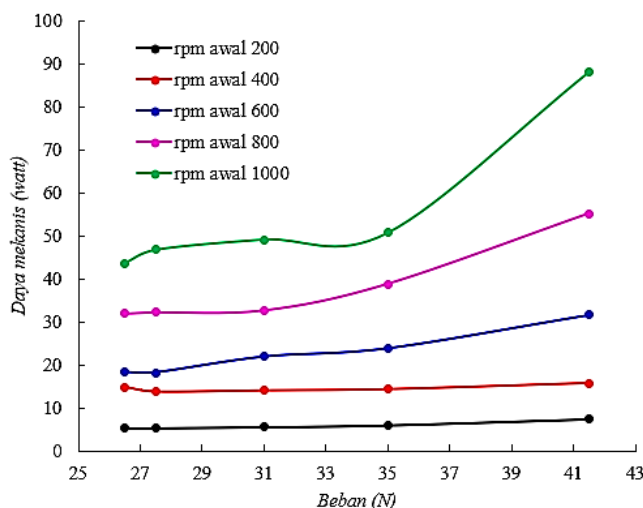
Nilai daya mekanis aktual rata-rata pada Tabel 5 dan Gambar 5, diperoleh menggunakan persamaan 4. Sebagai ilustrasi perhitungan, maka dapat diambil contoh pada beban B_2 27,5 N, rpm target = 1000 rpm, rpm aktual = 812,45 rpm, dan torsi 0,55 Nm, kemudian nilai tersebut dimasukkan pada persamaan untuk menentukan daya mekanis $P = \frac{2 \times \pi \times N \times T}{60}$, sehingga diperoleh daya mekanis 46,7W. Metode perhitungan pada persamaan tersebut selanjutnya digunakan untuk menentukan daya mekanis pada setiap variasi beban dan variasi rpm.

Tabel 5: Hasil pengujian rpm aktual, torsi, daya mekanis, dan ketidakpastian pada variasi beban

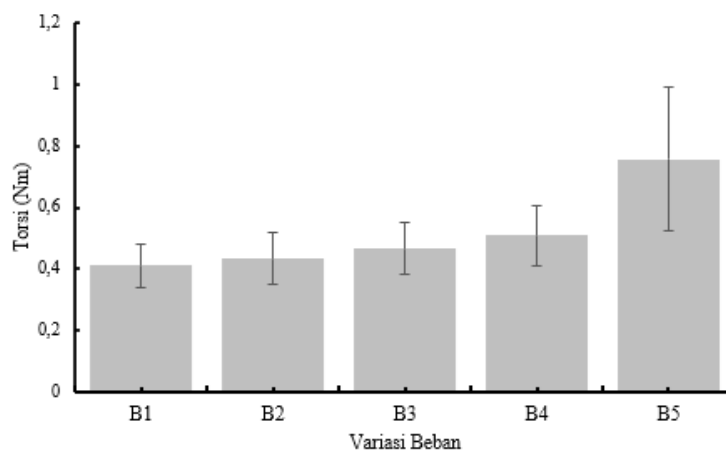
Beban (N)	RPM target (rpm)	RPM aktual rata-rata (rpm)	Torsi aktual rata-rata (Nm)	Daya aktual rata-rata (W)	SD
26,5	200	156,04	0,32	5,23	0,01
27,5	200	148,78	0,34	5,29	0,005
31,0	200	146,91	0,36	5,54	0,01
35,0	200	146,72	0,39	5,99	0,011
41,5	200	140,25	0,51	7,49	0,02
26,5	400	355,41	0,4	14,88	0,025
27,5	400	323,31	0,41	13,87	0,017
31,0	400	321,48	0,42	14,13	0,02
35,0	400	320,27	0,43	14,41	0,015
41,5	400	283,96	0,53	15,75	0,005
26,5	600	498,75	0,35	18,27	0,011
27,5	600	483,03	0,36	18,20	0,005
31,0	600	486,74	0,43	21,91	0,015
35,0	600	484,94	0,47	23,86	0,005
41,5	600	432,65	0,7	31,70	0,005
26,5	800	634,68	0,48	31,89	0,005
27,5	800	602,87	0,51	32,18	0,01
31,0	800	600,05	0,52	32,66	0,1
35,0	800	598,3	0,62	38,83	0,005
41,5	800	572,88	0,92	55,16	0,02
26,5	1000	834,68	0,5	43,68	0,026
27,5	1000	812,45	0,55	46,77	0,015
31,0	1000	782,54	0,6	49,14	0,011
35,0	1000	768,6	0,63	50,68	0,02
41,5	1000	750,44	1,12	87,97	0,023

Tinggi atau rendahnya nilai torsi motor listrik dapat mempengaruhi daya yang dihasilkan dan karakteristik baterai yang digunakan sebagai sumber energi listrik. Berdasarkan rentang pengujian ini dapat dianalisis bahwa semakin besar putaran *shaft motor*, maka semakin besar daya yang dihasilkan oleh motor listrik pada beban yang sama. Hal ini dapat diketahui pada beban tertinggi W_5 , daya yang dihasilkan meningkat mulai 7,49 W; 15,75 W; 31,7 W; 55,16 W; dan 87,97 W pada setiap variasi rpm. Sedangkan pada variasi beban statis menunjukkan peningkatan daya yang dihasilkan oleh motor listrik. Hal ini dapat diketahui putaran tertinggi 1000 rpm, daya yang dihasilkan meningkat mulai 43,68 W; 46,77 W; 49,14 W; 50,68 W; dan 87,97 W pada setiap variasi beban. Pada hasil pengujian ini terjadi kecenderungan peningkatan daya motor listrik akibat adanya perubahan beban dan putaran mesin. Uji eksperimental yang dilakukan pada penelitian ini hanya pada beban ringan/terbatas dan fokus utama dalam pengujian yakni menerapkan metode *prony brake* sebagai metode uji berbasis skala laboratorium. Nilai standard deviasi SD merupakan ukuran statistik untuk menentukan persebaran data data dalam suatu kelompok terhadap nilai rata-rata. Menentukan nilai SD menggunakan persamaan $s = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$, Nilai standar deviasi yang kecil menunjukkan bahwa data berkumpul di sekitar rata-rata dan sebaliknya jika nilai yang besar menunjukkan data lebih bervariasi dan jauh

dari nilai perhitungan. Pada Tabel 5 diperoleh nilai untuk masing-masing perlakuan. Nilai yang diperoleh menunjukkan bahwa torsi yang diperoleh pada pengulangan pengujian telah mendekati nilai rata-rata aktual.



Gambar 5: Daya mekanis hasil perhitungan dengan variasi beban



Gambar 6: Hubungan variasi beban terhadap nilai torsi luaran (Nm)

Hasil pengujian pada Gambar 4 dan Gambar 5 menunjukkan hubungan keterkaitan antara beban, rpm, torsi dan daya. Beban statis setiap variasi diujikan pada variasi rpm untuk memperoleh torsi. Saat rpm motor listrik diujicoba pada 200 rpm, maka nilai torsi mengalami peningkatan dan berbanding lurus dengan daya. Pada kondisi ini, sistem penggerak belum mencapai kondisi kerja yang optimal sehingga performa dari motor listrik belum dapat dimaksimalkan. Ketika 400 rpm torsi dan daya relatif stabil dan ketika variasi 600 rpm, menunjukkan adanya peningkatan performa torsi yang lebih tinggi yang sebanding dengan peningkatan daya. Fenomena ini mengindikasikan bahwa sistem penggerak mulai beroperasi secara optimal, di mana keseimbangan antara gaya penggerak dan beban tercapai. Pada variasi 800 rpm, terjadi peningkatan torsi yang cukup tinggi dan menunjukkan adanya peningkatan daya yang cukup besar. Pada variasi 1000 rpm, torsi yang dihasilkan secara langsung berdampak pada peningkatan daya. Karakteristik daya mekanis, kecepatan putar akibat variasi bersesuaian dengan karakteristik utama motor BLDC adalah efisiensi yang tinggi, kepadatan daya yang besar, serta kemampuan menghasilkan torsi yang relatif tinggi. Pada kecepatan rpm tinggi, LiB mengalami proses pengosongan lebih cepat, sehingga kapasitas yang dihasilkan untuk mensuplai motor listrik juga lebih cepat menurun dan habis (Krisma dkk., 2023). Pada rentang operasi ini, sistem menunjukkan perubahan torsi dan daya yang lebih stabil; namun efisiensi konversi tidak dapat disimpulkan karena arus, tegangan di bawah beban, dan daya listrik masukan tidak dilaporkan. Hasil penelitian bersesuaian dengan penelitian yang menegaskan bahwa performa sistem penggerak secara rotasi sangat dipengaruhi oleh interaksi kompleks antara kecepatan, beban, dan efisiensi mekanis (Mousaei dkk., 2023). Pada Gambar 6 menunjukkan *error bar* pada pengujian. Grafik ini menunjukkan bahwa peningkatan variasi beban cenderung menaikkan nilai rata-rata torsi. Namun, pada beban tertinggi alat uji mencapai batas kestabilannya (operational limit), yang dibuktikan dengan *error bar* yang melebar secara signifikan, menandakan variasi data yang tinggi dan tingkat ketidakpastian pengujian yang besar pada titik tersebut.

Keterkaitan antara torsi dan daya pada hasil penelitian dapat menunjukkan bahwa adanya pemanfaatan LiB selama proses uji *prony brake*. Pada awal pengujian, pada LiB terjadi proses *discharging* yang tinggi. Hal ini disebabkan oleh kebutuhan daya motor untuk menghasilkan torsi guna menggerakkan poros motor. Setelah poros motor berputar, LiB cenderung menurun seiring dengan peningkatan rpm. Hal ini disebabkan oleh berkurangnya hambatan pada *pulley*, yang menyebabkan rpm kembali ke kecepatan putaran awal. Fenomena ini konsisten dengan penelitian mengenai torsi, di mana torsi motor meningkat seiring dengan peningkatan beban dan kecepatan (Maghfiroh dkk., 2022). Hasil pengujian menunjukkan perubahan variasi rpm pada kondisi tanpa beban dan rpm tinggi dengan adanya beban. Pengujian dengan metode *prony brake* tergolong salah satu *dynamometer* yang digunakan sebagai alat ukur untuk menguji performa mesin/motor dengan mengukur parameter seperti daya, torsi, dan kecepatan rotasi. Metode ini dapat menjadi salah satu cara dikarenakan konsep sederhana, biaya rendah, dan tetap menunjukkan hasil yang akurat. Metode *prony brake*, bekerja dengan memberikan hambatan mekanis pada poros mesin untuk mengukur torsi. Pemilihan jenis *dynamometer* yang tepat sangat bergantung pada spesifikasi mesin yang diuji serta

tujuan dari pengujian itu sendiri (Musthofa dkk., 2025). Namun disamping kelebihan tersebut, salah satu keterbatasan utama metode *prony brake* dibandingkan *chassis dynamometer* yakni ketidakmampuan merepresentasikan kondisi operasi kendaraan secara nyata karena pengukuran dilakukan langsung pada poros atau sistem pengereman dengan prinsip gesekan statis. Sedangkan, metode *chassis dynamometer* mampu mensimulasikan kondisi jalan sebenarnya, termasuk inersia kendaraan, resistansi saat berjalan, dan beban aerodinamis, sehingga menghasilkan data performa yang lebih representatif terhadap kondisi operasional kendaraan (Noval dkk., 2025).

4. KESIMPULAN

Pemanfaatan *prony brake* sebagai metode untuk mengetahui dan menghitung torsi dan daya pada motor listrik BLDC 48V berbasis baterai *pack* LFP telah berhasil dilakukan. Nilai torsi tertinggi pada 1000 rpm (0,50 Nm; 0,55 Nm; 0,60 Nm; 0,63 Nm; 1,12 Nm) dan daya pada 1000 rpm (43,68 W; 46,77 W; 49,14 W; 50,68 W; dan 87,97 W). Keterbatasan utama metode *prony brake* dibandingkan yakni ketidakmampuan merepresentasikan kondisi operasi kendaraan secara nyata karena pengukuran dilakukan langsung pada poros atau sistem pengereman dengan prinsip gesekan statis. Perlu adanya studi lanjutan untuk menambahkan instrumentasi listrik dalam memperoleh efisiensi sistem dan karakteristik battery *pack* secara lebih akurat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Departemen Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta dan Program Studi Doktor Teknik Mesin, Universitas Sebelas Maret atas dukungan fasilitas selama pengambilan data dan penyusunan artikel dapat diselesaikan dengan baik.

KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan finansial maupun hubungan pribadi yang dapat dianggap memengaruhi hasil atau pembahasan dalam artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aliffrananda, M. H. N., Safaruddin, A. R., Supomo, H., & Regitasyali, S. (2021). Design of Laminated Bamboo Fishing Boat with Local Cultural Heritage using Motor listrik to support Fishing Tourism in Pasuruan, East Java. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 1052(1), 1–16.
- Bašić, H., Bobanac, V., & Pandžić, H. (2023). Determination of Lithium-Ion Battery Capacity for Practical Applications. *Batteries*, 9(9), 1–15.
- Denis, D., Sinuraya, E. W., Sukmadi, T., Triwiyatno, A., Winardi, B., Nugroho, A., & Perkasa, S. B. (2020). Power and Torque Analysis in Electric Vehicle Prototype Design. *International Journal of Advances in Scientific Research and Engineering*, 6(11), 20–30.
- Ding, C., Guo, Q., Zhang, L., & Wang, T. (2024). Intelligent Learning Method for Capacity Estimation of Lithium-Ion Batteries Based on Partial Charging Curves. *Energies*, 17(2686), 1–13.
- Irbabunnuha, M. A., Sholihin, Y. M., & Trisno, M. D. (2020). Rancang Bangun Alat Uji Torsi Tipe Prony Brake Untuk Unjuk Kerja Mesin Motor Bakar Kapasitas 6,6 Kw. *Teknobiz : Jurnal Ilmiah Program Studi Magister Teknik Mesin*, 10(3), 20–24.
- Julien, C., Mauger, A., Vijh, A., & Zaghib, K. (2015). Lithium Batteries: Science and Technology. In *Lithium Batteries: Science and Technology*.
- Krisma, N., Fernandez, H., & Triawan, F. (2023). Separator Technology in Li-Ion Batteries: Materials, Fabrication Techniques, and Performance Tests. *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin*, 24(1), 51–70.
- Krivoshapov, S. I., Nazarov, A. I., Mysiura, M. I., Marmut, I. A., Zuyev, V. A., Bezridnyi, V. V., & Pavlenko, V. N. (2020). Calculation Methods for Determining of Fuel Consumption per Hour by Transport Vehicles. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 977(1), 1–8.
- Le, P. A. (2025). A Review of Construction and Sustainable Recycling Strategies of Lithium-Ion Batteries Across Electric Vehicle Platforms. *RSC Advances*, 15(42), 35687–35725.
- Maghfiroh, H., Titus, A. J., Sujono, A., Adriyanto, F., & Saputro, J. S. (2022). Induction Motor Torque Measurement using Prony Brake. *International Journal of Robotics and Control Systems*, 2(3), 594–605.
- Masrufaiyah, Hantoro, R., Nugroho, G., Biyanto, T. R., & Hamidah, N. L. (2017). Performance of Seawater Activated Battery as Alternative Energy Resources. *IPTEK, Journal of Engineering*, 3(1), 3–8.
- Mousaei, A., & Naderi, Y. (2023). Optimal Predictive Torque Distribution Control System to Enhance Stability and Energy Efficiency in Electric Vehicles. *Sustainability*, 15(15155), 1–19.
- Musthofa, A. F., Hanafi, A. F., Finali, A., Eko, P. U., Studi, P., Rekayasa, T., Banyuwangi, P. N., Studi, P., Manufaktur, T., & Banyuwangi, P. N. (2025). Rancang Bangun Prony Brake Dynamometer untuk Pengujian Engine Mobil Hemat Energi Tim Jogopati. *Jinggo: Jurnal Inovasi Teknologi Manufaktur, Energi, Dan Otomotif*, 3(2), 81–89.
- Noval, R., Sumarsono, D. A., Adhitya, M., Heryana, G., & Zainuri, F. (2025). Performance Evaluation and Accuracy Analysis of a Chassis Dynamometer for Light Electric Vehicles. *World Electric Vehicle Journal*, 16(170), 1–17.

- Nurfida, A., Manik, M., & Zainudin, M. (2025). Pemanfaatan Limbah Baterai Zink Karbon Dengan Menambahkan Air Aki Zuur Untuk Menyalakan Lampu LED 2 Watt. *Sinerji Polmed: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 6(1), 67–74.
- Prasetha, K. F., Suyanto, S., & Sundari, M. S. (2025). Determinants of Technical Efficiency in Indonesian Manufacturing: The Case of Motor-Vehicle Firms. *Jurnal Ekonomi Pembangunan: Kajian Masalah Ekonomi Dan Pembangunan*, 21(2), 81–90.
- Sinaga, D. H., Sembiring, M. A. R., Rudi Salman, Hutajulu, O. Y., & Arwadi Sinuraya. (2023). Calculation of Capacity and Usage Time of Lithium-Ion Batteries on Electric Bikes with 350 W Motor BLDC s. *Fidelity : Jurnal Teknik Elektro*, 5(2), 149–155.
- Sun, W., Jin, P., Liao, X., Ma, X., & Yang, B. (2022). Capacity estimation based on incremental capacity and Gaussian process regression for retired lithium-ion batteries. *E3S Web of Conferences*, 338, 3–7.
- Supriyono, H., Supardi, A., Romadhon, M. R. N., Yulianto, A., & Utomo, U. B. (2025). Designing electric braking system for brushless direct current motor as an electric bicycle propulsion. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 14(2), 986–995.
- Syahputra, I., & Ajiban, M. H. (2026). Pengujian Variasi Kondisi Filter Udara Terhadap Kinerja Mesin Sepeda Motor Sistem Injeksi. *Sinerji Polmed: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 7(1), 38–45.
- Tjandra, S., Suhartono, A., & Salim Suswanto, T. (2023). Simplification of the Prony Brake Dynamometer System Using Brake Caliper Load. *International Journal of Science, Technology & Management*, 4(5), 1351–1357.
- Tosun, E., Keiyinci, S., Yakaryılmaz, A. C., Yıldızhan, Ş., & Özcanlı, M. (2024). Evaluation of Lithium-ion Batteries in Electric Vehicles. *International Journal of Automotive Science and Technology*, 8(3), 332–340.
- Tuan, V. T., Huy, P. N., Phoemsaphawee, S., & Kreuawan, S. (2021). E-Engine for a Long-Tail Boat , an Application in ASEAN (Association of Southeast Asian Nations) -Design and Comparison with Internal Combustion Engine. *World Electric Vehicle Journal*, 12(36), 1–11.
- Wijianto, Sarjito, Subroto, Faishal, A., Supriyono, & Anam, K. (2025). Analysis of the Impact of Installing CAI and IMS on a Motorcycle Engine. *Journal of Applied Engineering Science*, 23(4), 656–663.
- Wu, Y., Zhuang, J., Liu, L., Zeng, F., Li, P., & Cheng, X. (2025). Research on Estimation of State of Charge for Lithium-Ion Batteries Based on TRNN-CTA. *Applied Sciences*, 15(9653), 1–18.
- Xiao, B., Xiao, B., & Liu, L. (2020). State of Health Estimation for Lithium-Ion Batteries Based on the Constant Current – Constant Voltage. *Electronics*, 9(1279), 1–14.
- Yazvinskaya, N. N., Galushkin, N. E., Ruslyakov, D. V., & Galushkin, D. N. (2021). Generalized Peukert Equations use for Finding The Remaining Capacity of Lithium-Ion Cells of Any Format. *Energies*, 14(16), 1–9.
- Zola, G., Siska, :, Nugraheni, D., Andhien, :, Rosiana, A., Dzamar, :, Pambudy, A., & Agustanta, N. (2023). Inovasi Kendaraan Listrik sebagai Upaya Meningkatkan Kelestarian Lingkungan dan Mendorong Pertumbuhan Ekonomi Hijau di Indonesia. *Ekonomi Sumberdaya Dan Lingkungan*, 11(3), 2303–1220.