SINERGI *Vol. 24, No.2, pp.302-313, Oktober 2026*
DOI : http://dx.doi.org/10.31963/sinergi.v24i2.6449

Analisis Range Maksimal *Electric Shuttle Bus 14 Seats* Pada Kondisi Variasi Pembebanan

Zaki Abdullah[1], Sriyono [2]

[1] Pendidikan Teknik Otomotif, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung 40154, Indonesia
[2] Pendidikan Teknik Otomotif, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung 40154, Indonesia
[*]E-mail korespondensi: zaki.abdullah2@upi.edu

Abstract *This research explores how much actual passenger payload impacts the maximum driving range of a 14-seat electric shuttle bus. Over three consecutive days, we conducted experimental testing by synchronizing two main instruments: a Dynojet chassis dynamometer to monitor mechanical performance at a steady speed of 40–45 km/h, and a Hioki PW6001 Power Analyzer to record electrical power surges right before the wheels started spinning (0 km/h). Each payload scenario was tested for 10 km with three repetitions. The results reveal an important operational reality: added weight significantly accelerates battery depletion. When operating completely empty, the bus ran at its peak efficiency, consuming 9.67% of the battery per 10 km, allowing an estimated driving range of 103.41 km. However, when loaded to half capacity, consumption rose to 11.33%. Ultimately, under a full load of 14 passengers, the battery discharge rate jumped to 12.00% per 10 km. As a result, the vehicle's maximum range was drastically slashed to just 83.33 km. There is a range degradation of nearly 20 km compared to its ideal condition because the motor has to work harder against higher rolling resistance. These findings send a clear message that manufacturer specifications alone are not enough for real-world operations. Moving forward, energy management systems in electric buses must be smartly designed to incorporate real-time passenger counts for accurate range predictions.*

Keywords: *electric shuttle bus; payload variations; range degradation; chassis dynamometer; power analyzer*

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi seberapa besar dampak variasi jumlah penumpang terhadap batas jarak tempuh maksimal (range) sebuah electric shuttle bus berkapasitas 14 kursi. Selama tiga hari berturut-turut, kami melakukan pengujian eksperimental dengan menyinkronkan dua instrumen utama: casis dinamometer *Dynojet* untuk memantau performa mekanis saat bus melaju konstan di 40–45 km/jam, dan Power Analyzer Hioki PW6001 untuk merekam lonjakan daya kelistrikan sesaat sebelum roda berputar (0 km/jam). Setiap skenario beban diuji sejauh 10 km dengan tiga kali pengulangan. Hasil pengujian mengungkap sebuah realitas lapangan yang penting: penambahan bobot sangat memengaruhi seberapa cepat baterai terkuras. Saat beroperasi tanpa penumpang, bus melaju paling efisien dengan mengonsumsi baterai 9,67% per 10 km, yang memungkinkannya menjelajah hingga jarak estimasi 103,41 km. Namun, ketika bus diisi setengah kapasitas, konsumsinya naik menjadi 11,33%. Puncaknya, pada kondisi muatan penuh (14 penumpang), laju pengosongan baterai melonjak ke angka 12,00% per 10 km. Akibatnya, potensi jarak tempuh kendaraan terpangkas drastis menjadi hanya 83,33 km. Terdapat degradasi jarak tempuh hampir 20 km dibandingkan kondisi idealnya karena motor harus bekerja ekstra melawan tingginya hambatan gulir. Temuan ini memberikan pesan yang jelas bahwa spesifikasi pabrikan tidak bisa dijadikan patokan tunggal. Ke depannya, sistem manajemen energi bus listrik harus dirancang lebih pintar dengan memperhitungkan jumlah penumpang agar prediksi jarak tempuhnya lebih akurat saat beroperasi.

Kata kunci : ; electric shuttle bus; variasi beban; degradasi jarak tempuh; sasis dinamometer; power analyzer

I. PENDAHULUAN

Saat ini, pengembangan kendaraan listrik menjadi salah satu langkah krusial untuk menciptakan sistem transportasi yang lebih ramah lingkungan, terutama untuk menggantikan armada transportasi massal yang selama ini masih bergantung pada bahan bakar fosil [1]. Di sektor bus listrik, efisiensi operasional sangat bergantung pada seberapa akurat kita bisa memprediksi konsumsi energinya [2]. Namun, di lapangan, tantangannya tidak sesederhana itu karena ada banyak faktor dinamis yang membuat konsumsi energi sering kali berfluktuasi [3]. Salah satu variabel yang paling

memengaruhi performa baterai dan jarak tempuh adalah perubahan beban penumpang yang terus berubah-ubah saat bus beroperasi [4].

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa beban tambahan seperti jumlah penumpang secara nyata membebani motor penggerak (seperti jenis BLDC), yang kemudian berdampak pada turunnya efisiensi motor tersebut [5]. Ketika kendaraan membawa muatan, beban kerja yang harus ditanggung motor meningkat, yang secara otomatis memicu lonjakan konsumsi daya listrik per kilometernya [6]. Bagi sebuah *electric shuttle bus* berkapasitas 14 kursi, perbedaan antara kondisi kosong (*curb weight*) dan saat penuh penumpang sangat signifikan. Jika dinamika beban ini tidak diperhitungkan dengan cermat, maka estimasi jarak tempuh yang tersisa sering kali menjadi tidak akurat, yang pada akhirnya mengganggu jadwal operasional [7].

Berangkat dari masalah tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis secara langsung bagaimana pengaruh variasi beban terhadap jarak tempuh maksimal (*range*) pada *electric shuttle bus* 14 kursi. Berbeda dengan riset-riset sebelumnya yang mayoritas menggunakan pendekatan simulasi perangkat lunak [1], [6], peneliti melakukan pengujian secara empiris di lapangan. Peneliti ini menggunakan *dynojet* sebagai sasis dinamometer untuk mensimulasikan hambatan jalan yang nyata, serta menggunakan *power analyzer Hioki PW6001* untuk merekam parameter kelistrikan—seperti daya, arus, dan efisiensi energi secara *real-time*. Kami berharap data hasil pengujian ini dapat memberikan gambaran yang lebih akurat mengenai perilaku bus listrik di bawah beban yang bervariasi, sehingga bisa menjadi masukan berharga bagi operator dalam mengelola energi armada secara lebih efisien ke depannya.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan melalui serangkaian pengujian eksperimental yang bertempat di Laboratorium Workshop Otomotif, Universitas Pendidikan Indonesia. Fokus utama dari metode ini adalah mengukur korelasi antara variasi beban penumpang terhadap jarak tempuh maksimal (*range*) yang dapat dicapai oleh *electric shuttle bus* 14 kursi dalam kondisi operasional yang terukur.

Prosedur pengujian dilakukan dengan membagi kondisi pembebanan ke dalam tiga skenario utama guna merepresentasikan kondisi operasional riil di lapangan:

1. Kondisi Beban Kosong: Kendaraan diuji tanpa beban penumpang selain pengemudi, yang berfungsi sebagai data dasar (*baseline*) untuk melihat performa efisiensi optimal kendaraan.
2. Kondisi Beban Menengah: Kendaraan diuji dengan beban penumpang sebesar 50% dari kapasitas maksimal, untuk melihat gradasi peningkatan konsumsi daya akibat penambahan bobot.
3. Kondisi *Full* Beban: Kendaraan diuji dengan kapasitas penuh (14 penumpang atau bobot yang setara), guna menganalisis batas efisiensi dan degradasi jarak tempuh paling ekstrem.

Guna menjamin validitas data dan meminimalkan bias atau *error* dalam pengukuran, setiap skenario variasi beban dilakukan pengulangan pengujian sebanyak tiga kali (*three-run replication*). Pada setiap sesi *running*, kendaraan dioperasikan pada batas jarak tempuh sejauh 10 km dalam kondisi yang terkendali. Pengambilan data dilakukan menggunakan instrumen presisi tinggi di mana beban hambatan jalan (*road load*) disimulasikan secara konstan menggunakan Dynojet, sedangkan parameter elektrikal seperti profil arus (Ampere), tegangan (Volt), serta total konsumsi energi (kWh) direkam secara *real-time* menggunakan Power Analyzer Hioki PW6001.

Data yang terkumpul dari tiga kali putaran pengujian pada setiap kondisi beban kemudian diolah dengan mencari nilai rata-ratanya untuk menghasilkan efisiensi energi spesifik (Wh/km). Dengan membandingkan hasil dari ketiga kondisi tersebut, penelitian ini akan menghasilkan kurva penurunan jarak tempuh yang menunjukkan seberapa besar pengaruh nyata dari penambahan beban terhadap efisiensi keseluruhan sistem penggerak listrik bus tersebut.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

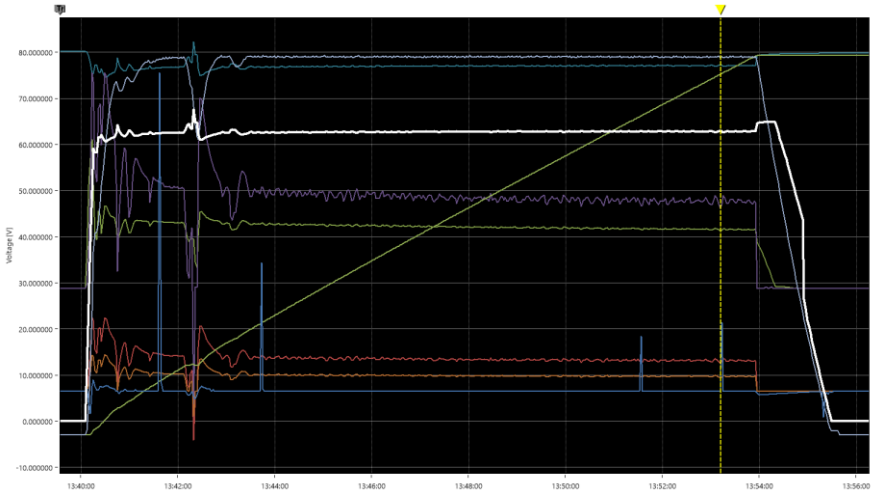
Pengujian dalam penelitian ini dilaksanakan selama tiga hari berturut-turut di Laboratorium Workshop Otomotif, Universitas Pendidikan Indonesia, guna memastikan konsistensi dan validitas data. Proses pengambilan data dibagi ke dalam dua parameter utama: performa mekanis dan karakteristik elektrikal sistem penggerak.

Prosedur Pengambilan Data

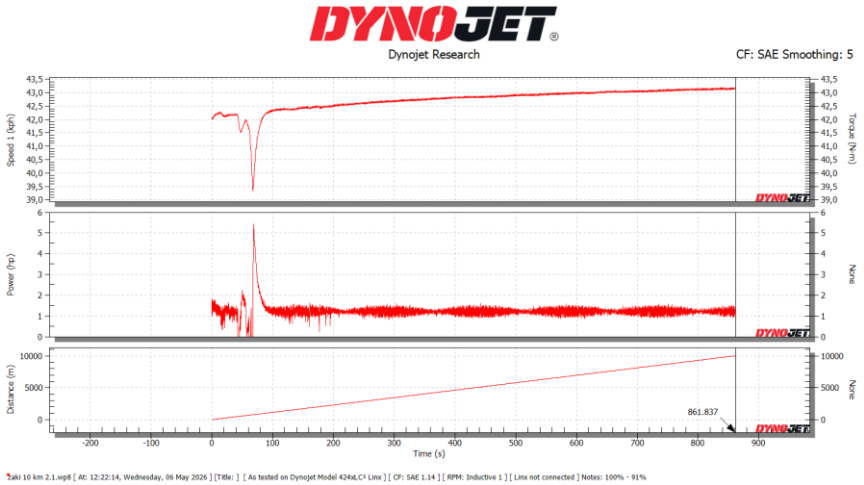
Pengambilan data dilakukan secara simultan dengan memadukan sasis dinamometer Dynojet dan Power Analyzer Hioki PW6001. Data mekanis pada *Dynojet* direkam saat *shuttle bus* melaju stabil pada kecepatan konstan 40 hingga 45 km/jam, yang merepresentasikan profil kecepatan paling efisien untuk bus perkotaan. Sebaliknya, perekaman data elektrikal justru difokuskan saat kendaraan dalam posisi diam (0 km/jam) sesaat sebelum melaju. Langkah ini krusial untuk mendapatkan *baseline* murni mengenai konsumsi daya awal, memantau lonjakan arus (*inrush current*) saat motor pertama kali berputar, serta mendeteksi penurunan tegangan (*voltage sag*) sebelum sistem dibebani oleh putaran roda di atas sasis dinamometer. Pengujian dilakukan dengan jarak tetap sejauh 10 km untuk setiap siklus (*running*).

Analisis Variasi Beban Kosong (Curb Weight)

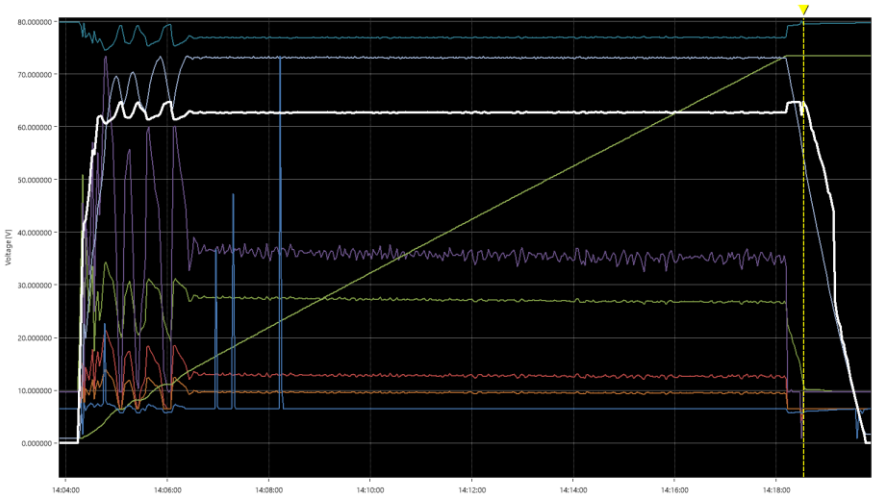
Sebagai basis analisis (*baseline*), pengujian tahap pertama dilakukan tanpa beban penumpang. Pada *running* pertama, kapasitas baterai (*State of Charge*/SOC) awal berada di posisi penuh (100%). Setelah menempuh 10 km, SOC tersisa 91% (penurunan 9%). Pengujian langsung dilanjutkan ke *running* kedua dengan sisa SOC 91% dan berakhir di 81% (penurunan 10%). Terdapat sedikit kenaikan konsumsi daya akibat faktor termal dinamis, di mana suhu motor dan inverter yang mulai menghangat menaikkan resistansi kumparan. Pada *running* ketiga (SOC 81% ke 71%), penurunan kembali stabil di angka 10%. Hal ini menunjukkan sistem telah mencapai keseimbangan termal (*thermal equilibrium*). Secara keseluruhan, rata-rata konsumsi energi *shuttle bus* tanpa beban adalah sebesar 9,67% SOC per 10 km.



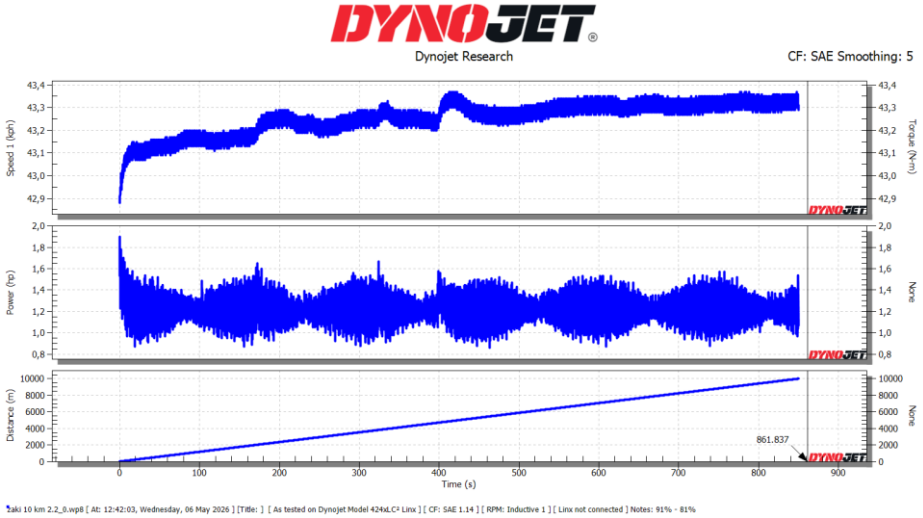
Gambar 1. Grafik power analyzer run 1



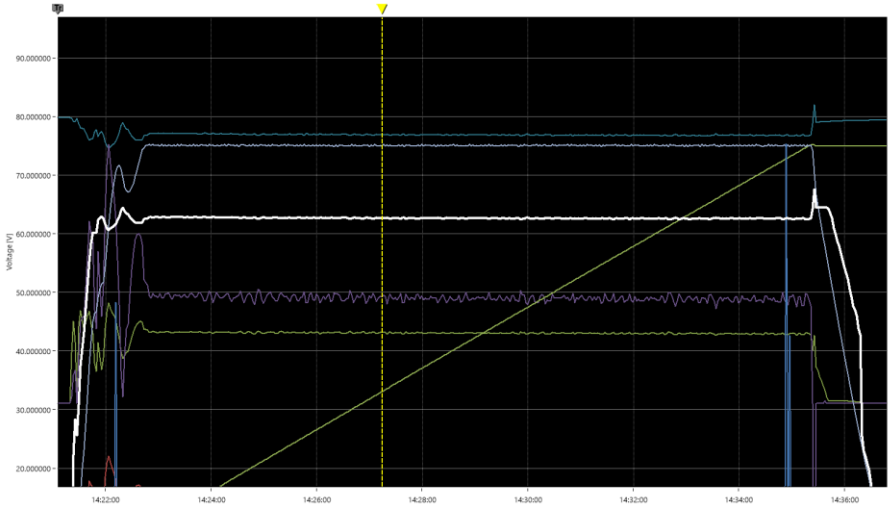
Gambar 2. Grafik Dyno jet run 1



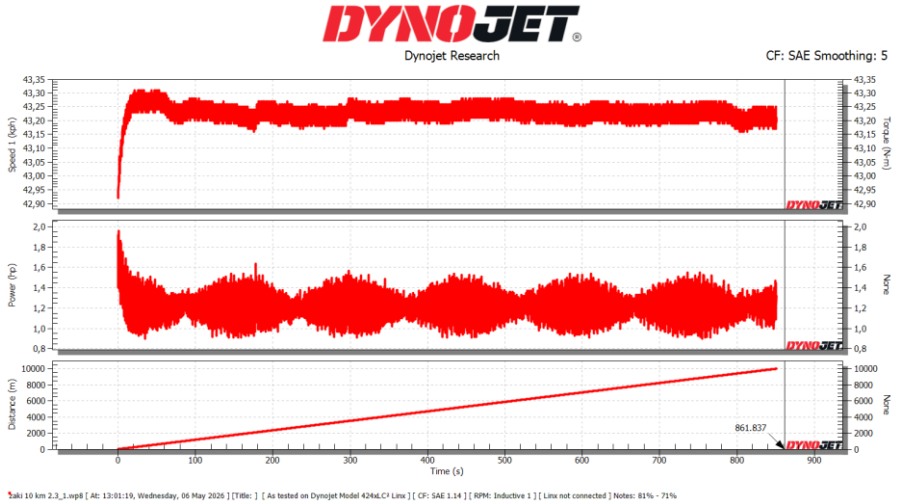
Gambar 3. Grafik Power Analyzer run 2



Gambar 4. Grafik Dyno Jet Run 2



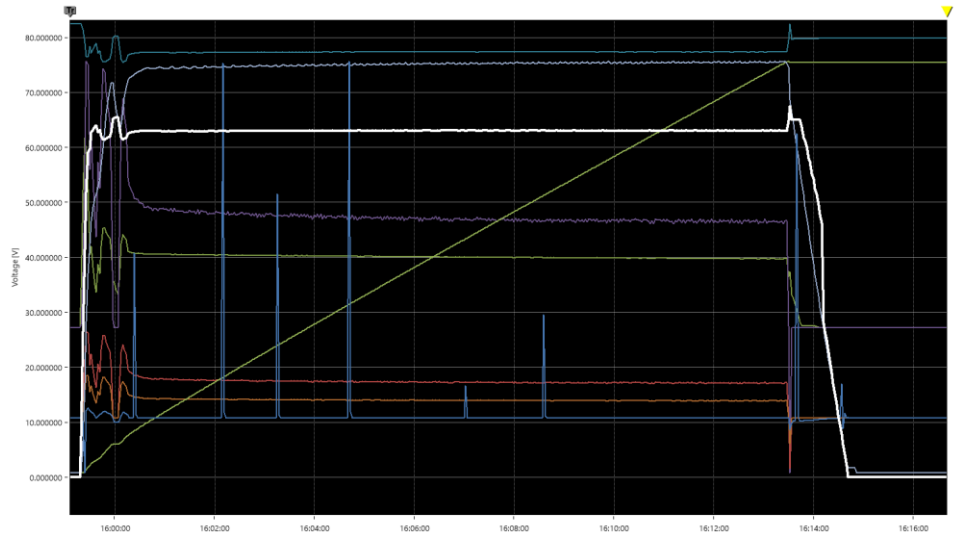
Gambar 5. Grafik Power Analyzer Run 3



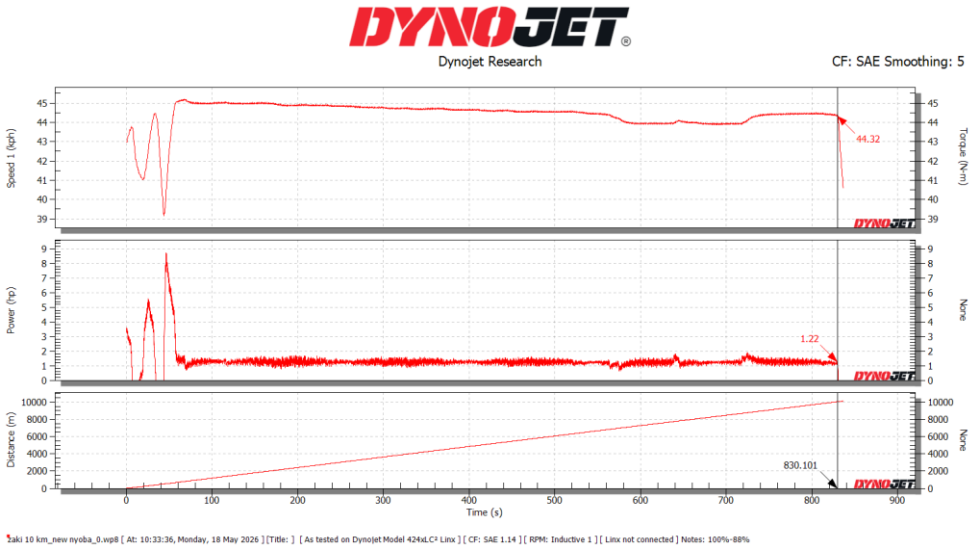
Gambar 6. Grafik Dyno Jet Run 3

Analisis Variasi Beban Menengah (50% Kapasitas)

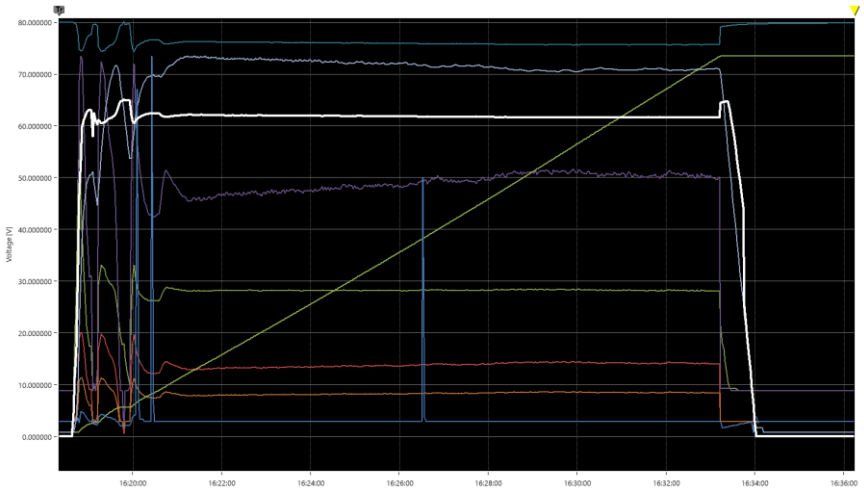
Pengujian dilanjutkan dengan simulasi beban 7 penumpang (50% kapasitas). Pada *running* pertama (SOC 100% ke 88%), konsumsi daya melonjak menjadi 12%. Penambahan bobot ekstra meningkatkan gaya tekan kendaraan dan hambatan gulir (*rolling resistance*) pada roda, yang memaksa motor BLDC menarik arus lebih besar untuk memproduksi torsi. Sama seperti pola sebelumnya, saat memasuki *running* kedua (SOC 88% ke 77%) dan ketiga (SOC 77% ke 66%), sistem mencapai suhu operasional optimal sehingga konsumsi baterai sedikit menurun dan stabil di angka 11%. Rata-rata konsumsi energi untuk beban menengah ini meningkat menjadi 11,33% SOC per 10 km.



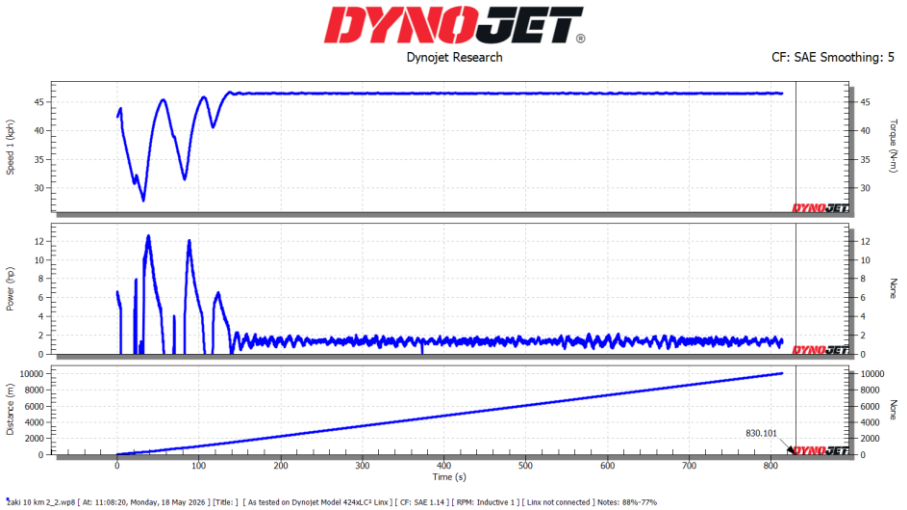
Gambar 7. Grafik Power Analyzer run 1



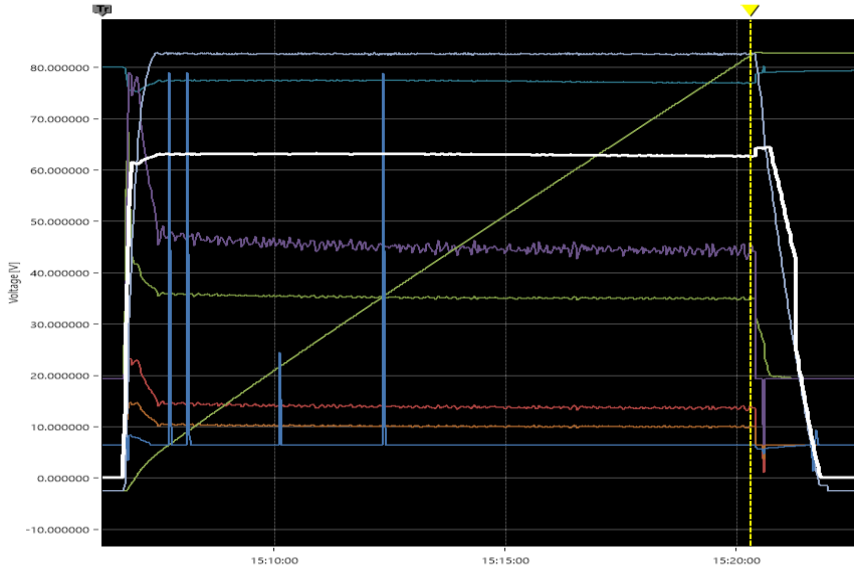
Gambar 8. Grafik Dyno Jet Run 1



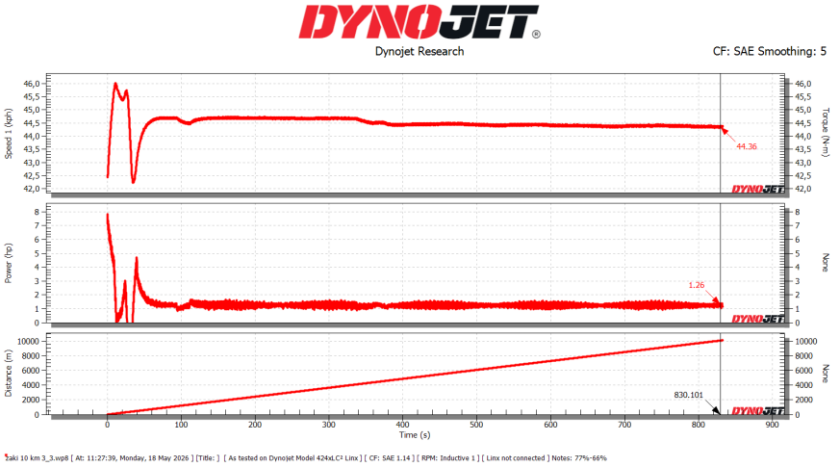
Gambar 9. Grafik Power Analyzer Run 2



Gambar 10. Grafik Dyno Jet Run 2



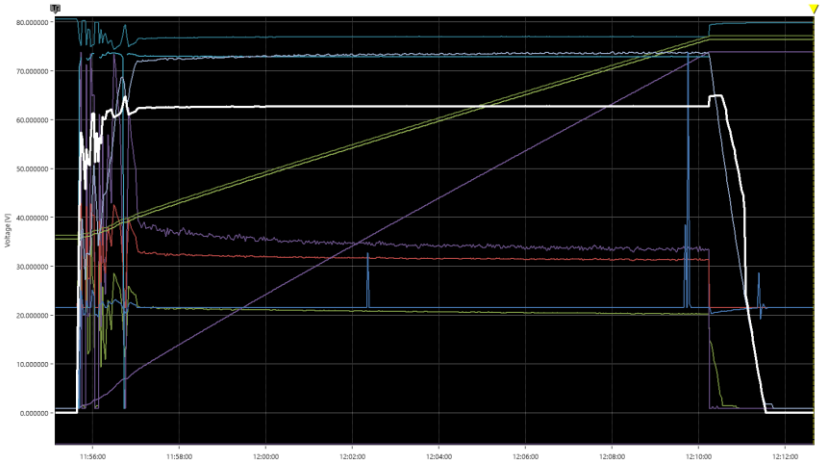
Gambar 11. Grafik Power Analyzer Run 3



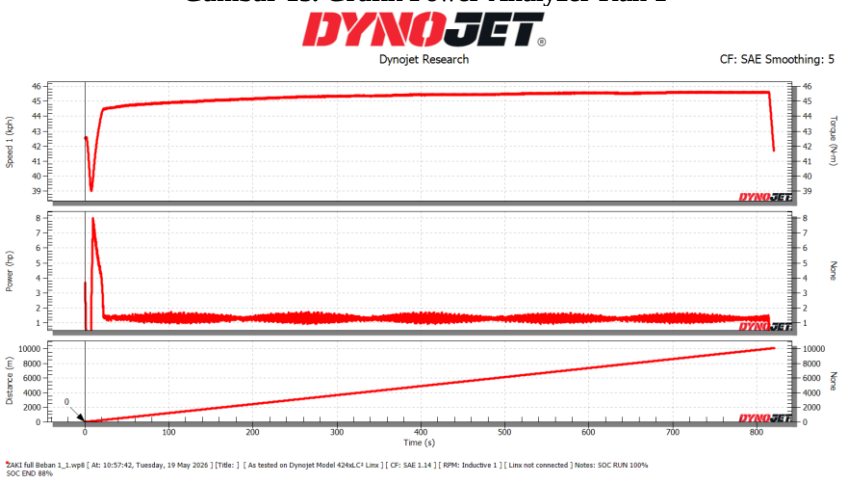
Gambar 12. Grafik Dyno Jet Run 3

Analisis Variasi Beban Full (Kapasitas Penuh / 14 Penumpang)

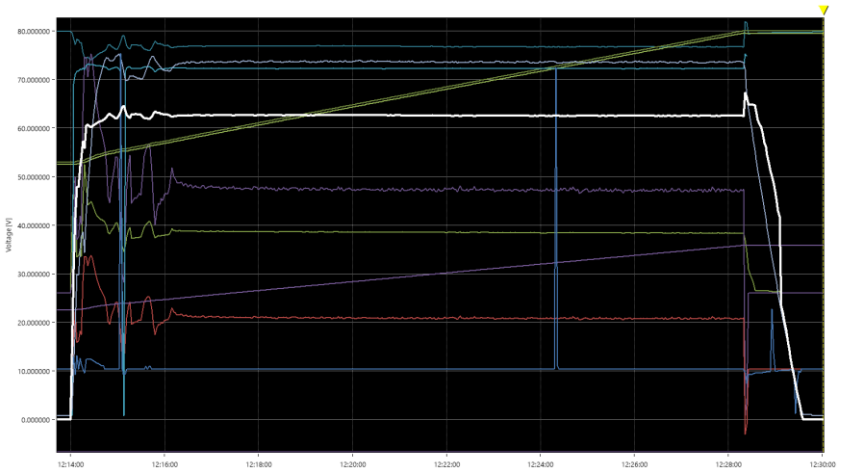
Pada kondisi ekstrem dengan muatan maksimal, *shuttle bus* menunjukkan karakteristik pelepasan energi yang sangat linear. Dari *running* pertama (SOC 100% ke 88%), *running* kedua (SOC 88% ke 76%), hingga *running* ketiga (SOC 76% ke 64%), penurunan kapasitas baterai secara konstan berada di angka 12%. Konsistensi ini membuktikan bahwa ketika beban inersia mencapai titik puncak, motor dan inverter bekerja mendekati kapasitas batas atasnya secara terus-menerus. Fluktuasi suhu tidak lagi memberikan dampak efisiensi yang signifikan karena konsumsi energi murni didominasi oleh besarnya beban mekanis eksternal. Rata-rata konsumsi daya pada kondisi ini adalah 12,00% SOC per 10 km.



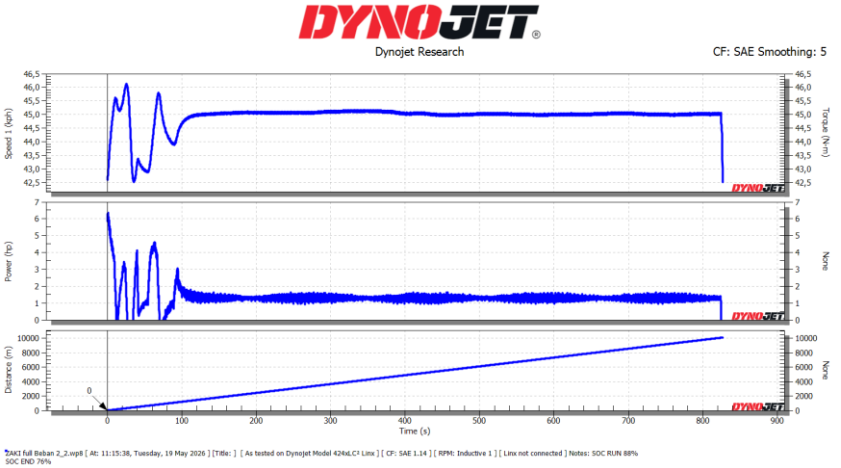
Gambar 13. Grafik Power Analyzer Run 1



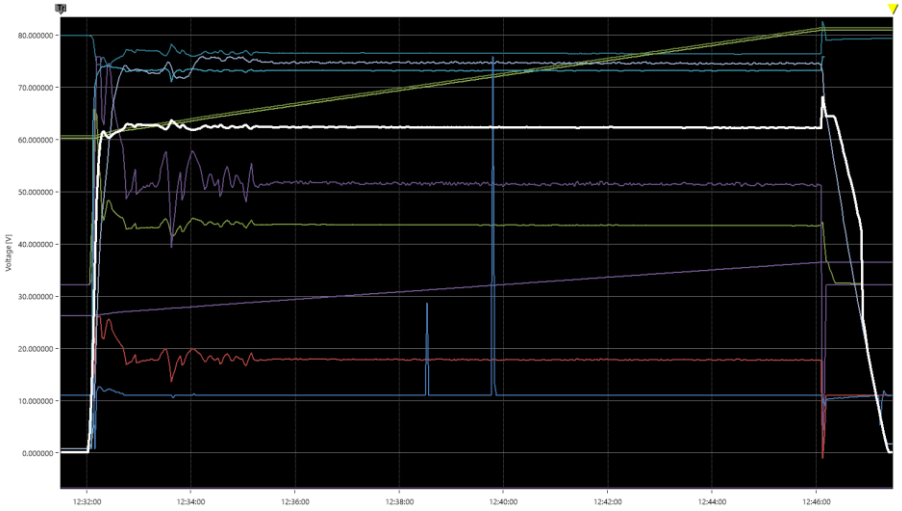
Gambar 14. Grafik Dyno Jet Run 1



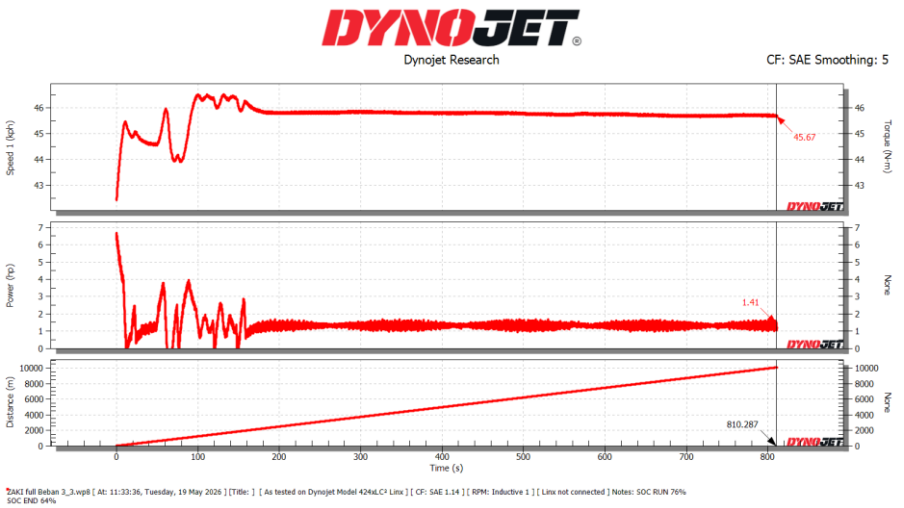
Gambar 15. Grafik Power Analyzer Run 2



Gambar 16. Grafik Dyno Jet Run 2



Gambar 17. Grafik Power Analyzer Run 3



Gambar 18. Grafik Dyno Jet Run 3

Proyeksi Jarak Tempuh Maksimal Menggunakan Ekstrapolasi

Untuk mengetahui batas kemampuan jelajah (*range*) kendaraan dari kondisi baterai penuh (100%) hingga kosong (0%) pada setiap variasi pembebanan, dilakukan perhitungan menggunakan metode ekstrapolasi linear. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$JarakMaksimal = \left(\frac{JarakPengujian}{\Delta SOC_{rata-rata}} \right) \times 100\%$$

Berdasarkan persamaan tersebut, proyeksi jarak tempuh maksimal untuk masing-masing kondisi pembebanan adalah:

1. **Beban Kosong:** (10 Km / 9,67%) x 100% = 103,41 km
2. **Beban Menengah:** (10 km / 11,33%) x 100% = 88,26 km
3. **Beban Full:** (10 km/ 12,00%) x 100% = 83,33 km

Hasil perhitungan ini dirangkum dalam tabel komparatif berikut guna mempermudah analisis pelemahan jarak tempuh (*range degradation*):

Tabel 1. Komparasi Penurunan SOC dan Estimasi Jarak Tempuh Maksimal (Berdasarkan Uji 10 km)

Kondisi Beban	Penurunan SOC Run 1	Penurunan SOC Run 2	Penurunan SOC Run 3	Rata-rata Penurunan SOC per 10 km	Estimasi Jarak Tempuh Maksimal
Beban Kosong	9%	10%	10%	9,67%	103,41 km
Beban Menengah	12%	11%	11%	11,33%	88,26 km
Beban Full	12%	12%	12%	12,00%	83,33 km

Berdasarkan hasil ekstrapolasi di atas, terlihat jelas korelasi berbanding terbalik antara penambahan beban penumpang dengan jarak tempuh operasional. Pengoperasian *shuttle bus* dalam kondisi muatan penuh mengakibatkan degradasi *range* sebesar kurang lebih **20,08 km** (hampir 20%) jika dibandingkan dengan performa idealnya saat kosong. Penurunan drastis dari 103,41 km menjadi 83,33 km ini divalidasi oleh data arus konstan yang tinggi dari *Power Analyzer Hioki*, yang menunjukkan bahwa sistem harus mengompensasi peningkatan *rolling resistance* di atas dinamometer

dengan menyedot energi secara masif. Temuan ini menegaskan pentingnya intervensi sistem manajemen energi yang adaptif saat armada beroperasi pada jam-jam sibuk.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan serangkaian pengujian eksperimental dan analisis sinkronisasi data elektromekanis yang telah dilakukan, ~~penelitian ini~~ ~~menyimpulkan~~ beberapa hal sebagai berikut:

1. **Korelasi Beban dan Konsumsi Energi:** Terdapat korelasi berbanding lurus antara peningkatan bobot muatan penumpang dengan laju konsumsi energi baterai. *Electric shuttle bus* menunjukkan efisiensi tertinggi pada kondisi tanpa beban (*curb weight*) dengan rata-rata konsumsi 9,67% SOC per 10 km, namun angka konsumsi ini meningkat menjadi 11,33% SOC pada beban menengah (50%) dan mencapai 12,00% SOC pada beban penuh (14 penumpang).
2. **Dampak terhadap Jarak Tempuh (*Range*):** Penambahan muatan secara drastis memangkas potensi jelajah maksimal kendaraan. Berdasarkan metode ekstrapolasi, estimasi jarak tempuh maksimal menyusut dari 103,41 km (kondisi kosong) menjadi hanya 83,33 km saat beroperasi dengan kapasitas penuh.
3. **Degradasi Performa:** Terjadi *range degradation* atau kehilangan potensi jarak tempuh sejauh ±20,08 km (hampir 20%) saat bus dioperasikan dengan beban penuh dibandingkan kondisi idealnya. Hal ini disebabkan oleh peningkatan hambatan gulir (*rolling resistance*) dan kebutuhan torsi yang lebih tinggi yang memicu penarikan arus listrik secara masif dari baterai.
4. **Implikasi Operasional:** Spesifikasi jarak tempuh pabrikan yang berbasis pada kondisi kendaraan kosong tidak dapat dijadikan patokan tunggal dalam operasional nyata. Sistem manajemen energi pada armada bus listrik harus lebih adaptif dengan memasukkan variabel jumlah penumpang aktual sebagai faktor penentu utama dalam prediksi sisa jarak tempuh.
5. **Rencana Keberlanjutan:** Penelitian ini menyarankan perlunya pengembangan algoritma manajemen energi *real-time* yang dapat menyesuaikan *power output* motor berdasarkan data beban sensoris, sehingga efisiensi energi tetap terjaga meskipun dalam kondisi operasional yang fluktuatif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Universitas Pendidikan Indonesia atas dukungan penuh berupa penyediaan fasilitas laboratorium dan instrumen pengujian yang sangat membantu kelancaran penelitian ini. Apresiasi dan rasa terima kasih yang mendalam juga penulis tujukan kepada seluruh tim *shuttle bus EV* atas kerja keras, bantuan teknis di lapangan, serta kebersamaannya yang luar biasa dalam mendampingi penulis dari awal hingga seluruh rangkaian pengujian ini dapat diselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

[1] N. M. Andzaka, M. Munadi, and I. Haryanto, "Pemodelan dan Analisis Sistem Penggerak Kendaraan Listrik Berbabis Matlab/Simulink untuk Transportasi Mahasiswa dalam Kampus," *Jurnal Teknik Mesin S-1*, vol. 13, no. 3, pp. 363-372, 2025.I.S. Jacobs and C.P. Bean, “Fine particles, thin films and exchange anisotropy,” in Magnetism, vol. III, G.T. Rado and H. Suhl, Eds. New York: Academic, 1963, pp. 271-350.

[2] S. Würtz, K. Bogenberger, U. Göhner, and A. Rupp, "Towards Efficient Battery Electric Bus Operations: A Novel Energy Forecasting Framework," *World Electric Vehicle Journal*, vol. 15, no. 1, p. 27, 2024.R. Nicole, “Title of paper with only first word capitalized,” J. Name Stand. Abbrev., in press.

[3] W. Fang, Y. Chi, and J. S. Pan, "Energy Consumption Prediction of Electric Bus Based on CNN-XGBoost," *Journal of Network Intelligence*, vol. 10, no. 2, pp. 1153-1168, 2025.

[4] W. Putra, S. K. Aji, S. Riskitasari, and A. H. Firdaus, "Karakterisasi Konsumsi Energi Motor Bldc terhadap Beban Dinamis pada Kendaraan Listrik Hibrida," *Mars: Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro dan Ilmu Komputer*, vol. 3, no. 4, pp. 379-388, 2025.
[5] Usman, "Pengaruh Berat Beban Terhadap Efisiensi Motor BLDC 3000 Watt Pada Mobil Listrik," *Skripsi, Jurusan Teknik Mesin Universitas Borneo Tarakan*, Tarakan, 2023.
[6] M. A. Kafaj, R. T. Setyawan, and S. Umira, "Pengaruh Kinerja Baterai Mobil Listrik Laksamana V2 Terhadap Variasi Kecepatan dan Beban Kendaraan Menggunakan Simulink," *J-TETA: Jurnal Teknik Terapan*, vol. 4, no. 2, pp. 80-86, 2025.
[7] M. N. G. Azham, "Prediksi Jarak Tempuh Mobil Listrik Menggunakan Sensor Arus," *Laporan Kerja Praktik, Program Studi S1 Teknik Komputer Universitas Dinamika*, Surabaya, 2022.