

Rancang Bangun PLTS Sebagai Sumber Penggerak Prototype Kereta Listrik pada Sistem Pengangkutan Kelapa Sawit

Al Rajib ¹, Annur Fadil ², Suryanto ³ dan A.M. Shiddiq Yunus ⁴

^{1,2,3,4} Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar 90245, Indonesia
*E-mail korespondensi: shiddiq@poliupg.ac.id

Abstract: Indonesia, as one of the world's largest palm oil producers, requires an efficient and environmentally friendly transportation system for fresh fruit bunches (FFB). In many plantations, the transportation process is still carried out manually or using fossil-fuel-based vehicles, which increases operational costs and contributes to carbon emissions. This study aims to design and develop a solar power plant (PLTS)-based electric rail cart prototype for transporting palm oil fresh fruit bunches. The research method consisted of field surveys, system planning and design, prototype fabrication and assembly, and performance testing. The drive system utilizes a 48 V, 500 W DC motor connected through a chain, sprocket, and pulley-V belt transmission with a 1:9 gear ratio. Electrical energy is supplied by a 460 Wp solar photovoltaic system and stored in a 48 V, 120 Ah battery. Performance testing was conducted for five days to evaluate photovoltaic efficiency, DC motor efficiency, and overall system efficiency under different load conditions. The results showed that the maximum photovoltaic efficiency reached 16.23%, while the DC motor efficiency achieved 81.10% at a load of 400 kg. The maximum overall system efficiency was recorded at 68.24% at a load of 150 kg. Under a 400 kg load condition, the system was able to operate for approximately 3 hours until the battery capacity reached the minimum discharge limit of 20%. These results indicate that the implementation of a solar-powered electric rail cart has strong potential as an efficient and environmentally friendly transportation solution for palm oil plantations while supporting the utilization of renewable energy in the agricultural sector.

Keywords: Palm oil, Solar energy, PLTS, DC motor, System efficiency, FFB hauling

Abstrak: Indonesia sebagai salah satu produsen kelapa sawit terbesar di dunia memerlukan sistem transportasi tandan buah segar (TBS) yang efisien, cepat, dan ramah lingkungan. Proses pengangkutan TBS di perkebunan masih banyak dilakukan secara manual atau menggunakan kendaraan berbahan bakar fosil yang berpotensi meningkatkan biaya operasional dan emisi karbon. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai sumber penggerak prototipe kereta listrik untuk sistem pengangkutan kelapa sawit. Metode penelitian yang digunakan meliputi survei lapangan, tahap perencanaan dan perancangan sistem, pembuatan dan perakitan prototipe, serta pengujian kinerja sistem. Sistem penggerak menggunakan motor listrik DC 48 V berdaya 500 W yang ditransmisikan melalui rantai, sproket, dan pulley-V belt dengan rasio 1:9. Energi listrik disuplai oleh sistem PLTS berkapasitas 460 Wp dan disimpan pada baterai 48 V berkapasitas 120 Ah. Pengujian dilakukan selama lima hari untuk mengevaluasi performa panel surya, efisiensi motor DC, serta efisiensi sistem secara keseluruhan pada berbagai variasi beban. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi maksimum panel fotovoltaik mencapai 16,23%, efisiensi motor DC sebesar 81,10% pada beban 400 kg, dan efisiensi sistem maksimum sebesar 68,24% pada beban 150 kg. Pada kondisi beban 400 kg, sistem mampu beroperasi selama ±3 jam hingga kapasitas baterai mencapai batas minimum 20%. Hasil ini menunjukkan bahwa pemanfaatan PLTS sebagai sumber energi penggerak kereta listrik berpotensi menjadi solusi transportasi TBS yang lebih efisien, ramah lingkungan, serta mendukung penerapan energi terbarukan di sektor perkebunan kelapa sawit.

Kata Kunci: Kelapa sawit, Energi surya, PLTS, Motor listrik DC, Efisiensi sistem, Pengangkutan TBS

I. PENDAHULUAN

Indonesia adalah salah satu negara yang memiliki potensi energi terbarukan yang besar dan layak untuk dikembangkan. Karena Indonesia berada di khatulistiwa, sebagian besar wilayahnya akan menerima cahaya matahari selama sepuluh hingga dua belas jam setiap hari. Dengan intensitas penyinaran rata-rata 4,5 kilowatt jam per meter persegi per hari, potensi energi matahari sebagai sumber

listrik alternatif di Indonesia sangat perlu dimanfaatkan. Teknologi pertanian dan perkebunan berusaha meningkatkan produktivitas pertanian dan perkebunan dengan mengoptimalkan penyerapan energi surya [1].

Menggunakan sumber energi terbarukan harus menjadi prioritas utama di era modern yang semakin menuntut penggunaan energi yang ramah lingkungan. Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dapat mengkonversi energi surya menjadi listrik [2]. PLTS menggunakan sel fotovoltaik (PV) untuk mengubah sinar matahari menjadi listrik, memberikan solusi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan untuk memenuhi kebutuhan energi. Sistem PLTS telah digunakan dalam berbagai industri seiring dengan kemajuan teknologi, termasuk sebagai sumber energi penggerak motor listrik. Motor listrik sangat penting untuk transportasi dan industri modern karena sangat efisien dibandingkan dengan mesin berbahan bakar fosil. Penggunaan PLTS sebagai sumber daya motor listrik adalah solusi inovatif yang tidak hanya mengurangi ketergantungan kita pada bahan bakar fosil tetap [2]-[3].

Pemanfaatan PLTS sebagai sumber energi untuk motor listrik juga memiliki keuntungan ekonomi [3]. Penggunaan energi matahari yang melimpah dan gratis dapat menurunkan biaya operasional secara signifikan. PLTS dapat menjadi alternatif yang andal untuk menyediakan listrik untuk kebutuhan penggerak motor listrik seperti pada sistem transportasi, irigasi pertanian, atau industri kecil di daerah yang sulit dijangkau oleh jaringan listrik PLN [4].

Menurut Fara, tandan buah sawit (TBS) harus segera diangkut ke pabrik kelapa sawit karena merupakan bahan utama proses produksi pabrik karena rentan terhadap pembusukan. Sangat penting untuk mempersiapkan alat transportasi yang baik karena tumpukan buah di lokasi di mana hasil sudah dipotong dan tidak segera diangkut dapat meningkatkan Asam Lemak Bebas (ALB) [5]. Namun, sebagian besar proses panen dan pengangkutan TBS kelapa sawit masih dilakukan secara manual. Permasalahan dengan kegiatan ini adalah banyaknya buah yang rusak dan tercecer di jalan. Keadaan tanah di dalam kebun dan jalan yang menuju kebun juga memengaruhi masalah ini. Pengangkutan semakin menjadi sulit dan membutuhkan waktu yang lama jika tanahnya becek atau gambut. Sebagian besar petani sawit mengeluh tentang hal ini, yang memerlukan solusi [6].

Karena persentase buah kelapa sawit yang hilang saat pengangkutan cukup tinggi, pengangkutan tandan buah segar (TBS) kelapa sawit sangat penting untuk sistem perkebunan kelapa sawit. Membangun sistem pengangkutan kelapa sawit mekanis adalah salah satu solusi untuk masalah ini [6]. Saat ini, banyak orang sedang berusaha membuat kendaraan yang digerakkan oleh tenaga listrik. Hal ini bisa terjadi karena pasokan sumber energi fosil semakin menipis. Akibatnya, untuk mengatasi hal ini, diperlukan inovasi untuk menemukan sumber energi alternatif, yang dikenal sebagai energi baru terbarukan atau EBT [7].

Teknologi kereta listrik bertenaga surya telah diterapkan di berbagai negara sebagai upaya menuju transportasi yang lebih hijau. Misalnya, kereta bertenaga surya pertama di dunia yang beroperasi sejak Desember 2017 dilengkapi dengan panel surya fleksibel di atapnya, mampu menghasilkan daya hingga 6,5 kW untuk mengisi baterai kereta. Selain itu, panel surya tambahan di atap gudang penyimpanan kereta mampu menghasilkan hingga 30 kW, yang juga digunakan untuk mengisi ulang baterai kereta [8]. Penerapan serupa di Indonesia dapat menjadi langkah maju dalam modernisasi sistem transportasi yang lebih efisien dan ramah lingkungan [9]-[10].

Dengan mempertimbangkan potensi energi surya yang melimpah serta kebutuhan untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan dalam industri kelapa sawit, “Rancang Bangun PLTS Sebagai Sumber Penggerak Prototype Kereta Listrik Pada Sistem Pengangkutan Kelapa Sawit” menjadi solusi yang layak dan strategis. Inovasi ini tidak hanya berpotensi meningkatkan efisiensi operasional, tetapi juga mendukung komitmen nasional dan global dalam pengurangan emisi karbon serta penerapan energi terbarukan. Selain itu, penggunaan kereta listrik dapat mengurangi beban fisik pekerja yang sebelumnya harus mengangkut atau memuat buah kelapa sawit secara manual.

II. METODE PENELITIAN

A. Survei Lapangan

Pada tahap awal, penelitian ini diawali dengan kegiatan survei lapangan untuk memperoleh data dan informasi mengenai kondisi aktual lokasi penelitian, meliputi intensitas penyinaran matahari, kontur medan, serta kebutuhan operasional alat yang akan dirancang. Data hasil survei digunakan sebagai dasar dalam melakukan analisis menyeluruh terhadap rancangan sistem, yang mencakup fungsi utama, spesifikasi teknis, dan peluang peningkatan kinerja alat. Setelah itu, dilakukan kajian literatur secara mendalam dengan menelaah berbagai sumber ilmiah seperti buku, jurnal, dan hasil penelitian terdahulu guna membangun dasar teori yang kuat bagi proses perancangan, perhitungan teknis, dan pembuatan alat. Seluruh tahapan tersebut bertujuan untuk menghasilkan rancangan yang tidak hanya memenuhi aspek teknis, tetapi juga efisien, andal, serta sesuai dengan kondisi dan kebutuhan lapangan.

B. Tahap Perencanaan

Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai sistem penggerak pada prototipe kereta listrik pengangkut kelapa sawit ini menggunakan konfigurasi sistem off-grid yang sepenuhnya mengandalkan energi dari sinar matahari. Sistem ini bekerja dengan mengubah energi radiasi matahari menjadi energi listrik melalui panel surya, yang selanjutnya digunakan untuk menggerakkan motor listrik pada prototipe kereta. Selain itu, energi listrik yang dihasilkan disimpan dalam baterai sebagai cadangan, sehingga kereta tetap dapat beroperasi secara efisien meskipun pada kondisi cuaca mendung atau malam hari ketika intensitas cahaya matahari berkurang. Adapun tahap perancangan ini terbagi menjadi 5 bagian yaitu :

1. Perancangan Motor DC

Untuk menentukan spesifikasi motor DC yang digunakan pada sistem penggerak kereta dengan beban sebesar 400 kg, dilakukan beberapa tahapan perhitungan.

Tahap pertama adalah menghitung gaya tarik kereta (F) yang diperoleh dari hasil perkalian antara massa beban (m) dan percepatan gravitasi (g), sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (1) :

$$F = m \times g \quad (1)$$

dengan m merupakan massa (kg) dan g adalah percepatan gravitasi bumi (m/s^2).

Selanjutnya, untuk menentukan kecepatan linear (v) dari roda penggerak, digunakan hubungan antara jari-jari roda (r) dan kecepatan sudut (ω), seperti ditunjukkan pada Persamaan (2) :

$$v = r \times \omega \quad (2)$$

dengan r adalah jari-jari roda (m) dan ω merupakan kecepatan sudut (rad/s).

Tahap berikutnya adalah menghitung daya motor DC yang dibutuhkan P_{motor} , dengan mempertimbangkan gaya gesek dan efisiensi sistem transmisi. Perhitungannya ditunjukkan pada Persamaan (3):

$$P_{motor} = \frac{\mu \times F \times v}{0.85} \quad (3)$$

di mana μ adalah koefisien gesek, F merupakan gaya gesek (N), dan nilai 0,85 merupakan faktor efisiensi sistem transmisi.

2. Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Tahap perancangan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dilakukan melalui beberapa langkah perhitungan untuk menentukan kapasitas komponen utama seperti panel surya, baterai, *solar charge controller* (SCC), dan ukuran kabel.

a. Menentukan Kebutuhan Daya (Wh)

Langkah awal adalah menghitung total kebutuhan daya listrik (E_{total}) berdasarkan daya total beban (P_{total}) dan lama waktu operasi (t), yang dinyatakan dengan Persamaan (4) :

$$E_{total} = P_{total} \times t \quad (4)$$

dengan P_{total} merupakan daya total beban (Watt) dan t adalah waktu operasi (jam atau detik).

b. Menentukan Kapasitas Panel Surya (Wp)

Kapasitas panel surya yang diperlukan (P_{panel}) dihitung menggunakan Persamaan (5):

$$P_{panel} = \frac{E_{total}}{H_{efektif} \times \eta_{panel}} \quad (5)$$

di mana $H_{efektif}$ adalah intensitas efektif penyinaran matahari (jam puncak penyinaran), dan η_{panel} merupakan efisiensi panel surya, biasanya bernilai sekitar 0,8 atau 80%.

c. Menentukan Kapasitas Baterai (Ah)

Kapasitas baterai yang dibutuhkan (C_b) diperoleh dari Persamaan (6):

$$C_b = \frac{E_{total}}{V_{baterai} \times \eta_{baterai}} \quad (6)$$

dengan $V_{baterai}$ adalah tegangan nominal baterai (V) dan $\eta_{baterai}$ merupakan efisiensi baterai, umumnya 80% atau 0,8.

d. Menentukan Kapasitas Solar Charge Controller (A)

Solar charge controller berfungsi mengatur pengisian baterai agar tetap stabil. Kapasitas arus SCC ($I_{controller}$) dihitung dengan Persamaan (7):

$$I_{controller} = \frac{P_{panel}}{V_{baterai}} \quad (7)$$

di mana P_{panel} adalah daya keluaran panel (Wp) dan $V_{baterai}$ merupakan tegangan baterai (V).

e. Menentukan Kapasitas *Miniature Circuit Breaker* (MCB) (A)

Kapasitas MCB (I_{maks}) ditentukan berdasarkan arus maksimum dengan faktor keamanan 1,25 , sebagaimana dinyatakan pada Persamaan (8):

$$I_{MCB} = 1.25 \times I_{maks} \quad (8)$$

di mana I_{maks} adalah arus maksimum sistem.

f. Menentukan Ukuran Kabel

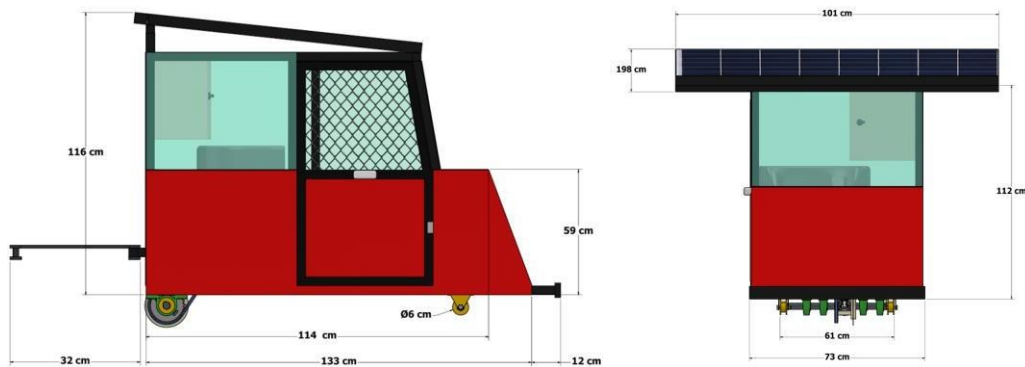
Untuk menentukan ukuran kabel yang sesuai, dilakukan perhitungan arus menggunakan Persamaan (9):

$$I_{controller} = p/v \quad (9)$$

dengan P adalah daya listrik (Watt) dan V merupakan tegangan sistem (Volt).

3. Perancangan Kereta Listrik

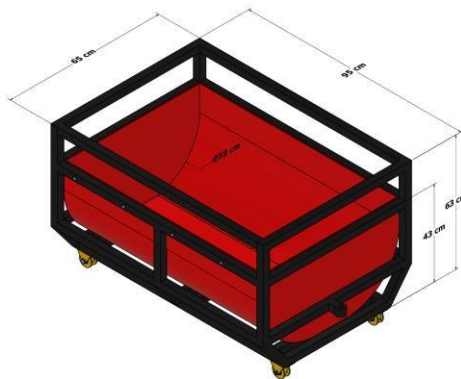
Desain dua dimensi dibuat menggunakan perangkat lunak *Autodesk Inventor*, menampilkan tampak samping dan tampak depan kereta. Rangka utama memiliki dimensi panjang 145 cm, lebar 73 cm, dan tinggi 116 cm. Panel surya ditempatkan di bagian atas sebagai sumber energi utama untuk menggerakkan motor listrik.



(a) Tampak Samping (b) Tampak Depan
Gambar 1. Desain prototipe kereta listrik pengangkut kelapa sawit.

4. Perancangan Bak Muatan

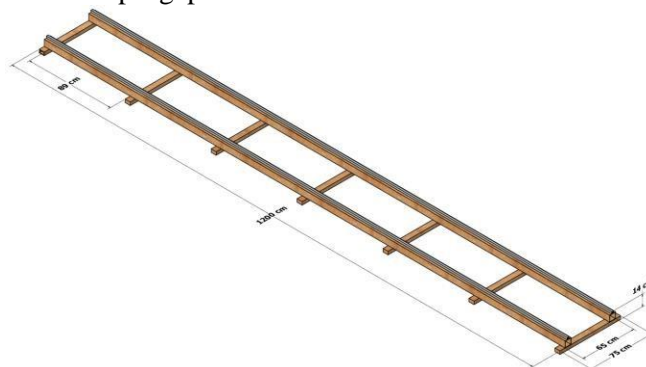
Bak muatan dirancang menggunakan rangka besi hollow sebagai penopang utama dan drum logam yang dibelah dua sebagai wadah muatan berwarna merah. Struktur ini memiliki dimensi panjang 95 cm, lebar 65 cm, dan tinggi 63 cm, berfungsi sebagai tempat pengangkutan kelapa sawit serta penahan beban selama operasi kereta



Gambar 2. Desain Bak Muatan

5. Perancangan Rel Kereta

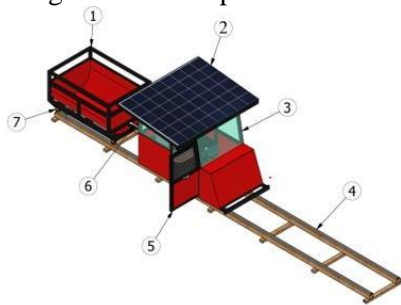
Rel lintasan dibuat dengan menggunakan balok kayu sebagai struktur penopang utama, sedangkan pada bagian atasnya dipasang besi hollow berukuran $1,5 \times 1,5$ cm yang berfungsi sebagai permukaan lintasan roda. Struktur rel ini memiliki dimensi panjang 1200 cm, lebar 75 cm, dan tinggi 14 cm, dan berperan sebagai jalur utama pergerakan kereta listrik sekaligus menjaga kestabilan serta konsistensi jarak antar rel selama pengoperasian.



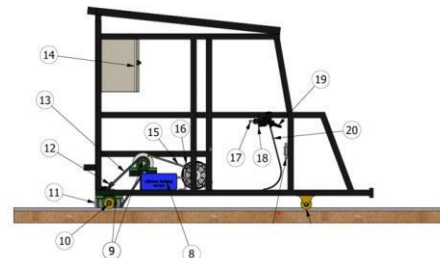
Gambar 3. Desain Rel Kereta

C. Tahap Pembuatan dan Perakitan

Pekerjaan dimulai dengan pembuatan rangka utama kereta listrik beserta gerbong, kemudian dilanjutkan dengan pembuatan rangka untuk sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang akan dipasang pada kereta. Setelah itu, lembaran triplek dipasang pada rangka kereta sebagai penutup dan penguat struktur. Tahap berikutnya meliputi pembuatan rel sebagai lintasan serta pembuatan box panel kontrol yang berfungsi sebagai pusat kendali sistem listrik. Setelah seluruh komponen selesai dibuat, dilakukan perakitan secara keseluruhan sesuai desain agar sistem kereta listrik dapat berfungsi dengan baik dan optimal.



Gambar 4. Bagian Luar Kereta Listrik



Gambar 5. Bagian Dalam Kereta Listrik

Keterangan :

- | | | |
|------------------------|------------------------|----------------------|
| 1. Bak Muatan / Tandan | 8. Baterai | 15. Pully dan V Belt |
| 2. Panel Surya | 9. Bantalan Duduk | 16. Motor Listrik Dc |
| 3. Plastik PVC | 10. Poros Roda | |
| 4. Rel | 11. Piringan Cakram | |
| 5. Pintu | 12. Kalipper Rem | |
| 6. Tuas Penarik | 13. Gear dan Rantai | |
| 7. Roda | 14. Panel Box | |
| | 17. Kunci on – of | |
| | 18. Saklar maju mundur | |
| | 19. Tuas Rem | |
| | 20. Selang Rem | |

D. Tahap Pengujian dan Pengambilan Data

Tahap ini bertujuan untuk memperoleh data mengenai performa sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) serta efisiensi motor DC pada berbagai kondisi pembebanan. Proses pengujian dilaksanakan selama lima hari berturut-turut melalui dua kegiatan utama berikut:

1. Pengujian Panel Surya

Pengambilan data dilakukan dengan mengukur intensitas cahaya matahari, serta tegangan dan arus keluaran dari panel surya 460 Wp selama 5 hari pada rentang waktu 08.00 hingga 16.00 WITA. Kegiatan ini bertujuan untuk mengamati variasi energi surya yang diterima sepanjang hari dan menilai kemampuan panel surya dalam mengonversi energi radiasi matahari menjadi energi listrik. Selain itu, pengujian ini juga dilakukan untuk menentukan efisiensi fotovoltaik (PV) berdasarkan perbandingan antara energi listrik yang dihasilkan dengan energi radiasi matahari yang diterima panel.

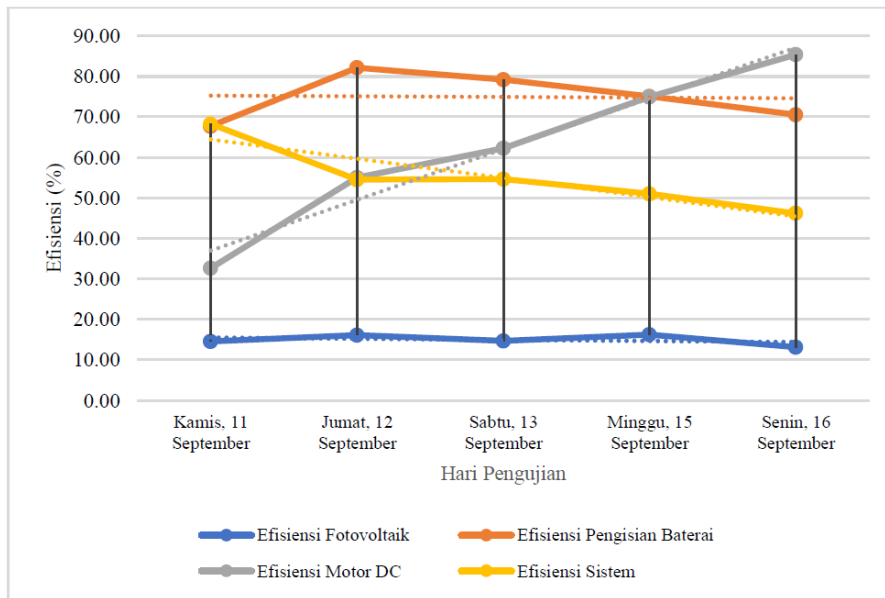
2. Pengujian Motor DC

Setelah pengujian panel surya, dilanjutkan dengan pengukuran pada motor DC melalui pencatatan arus dan tegangan keluaran pada beberapa tingkat beban yang berbeda. Tahap ini bertujuan untuk mengevaluasi performa dan efisiensi motor DC pada berbagai kondisi pembebanan. Pengujian ini juga dilakukan untuk mengetahui efisiensi motor DC pada beban optimalnya, sehingga dapat diperoleh kondisi kerja motor yang paling efektif dalam sistem penggerak berbasis energi surya.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian mengenai rancang bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai sumber penggerak prototipe kereta listrik pada sistem pengangkutan kelapa sawit ini dilaksanakan pada tahun 2025 di area Gedung Energi Terbarukan, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar. Pengujian sistem dilakukan selama lima hari berturut-turut untuk mengevaluasi

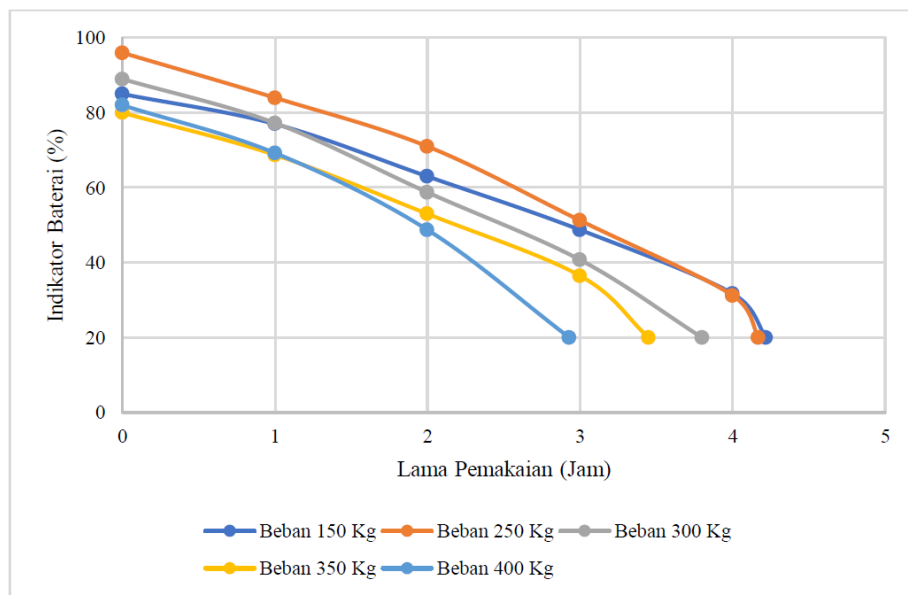
kinerja panel surya, baterai, motor DC, serta efisiensi sistem secara keseluruhan pada berbagai kondisi pembebanan. Data hasil pengujian kemudian dianalisis dan disajikan dalam bentuk grafik hubungan antara efisiensi sistem, variasi beban, serta lama waktu operasi, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. Grafik Hubungan Efisiensi dengan Hari Pengujian

Hasil pengujian Efisiensi dengan hari pengujian ditunjukkan pada Gambar 6, yang memperlihatkan bahwa nilai efisiensi setiap komponen tidak bersifat konstan maupun linear terhadap waktu pengujian. Efisiensi panel fotovoltaik mengalami fluktuasi dengan nilai tertinggi sebesar 16,23% pada hari Minggu dan terendah 13,15% pada hari Senin. Variasi ini disebabkan oleh perbedaan intensitas radiasi matahari dan kondisi cuaca yang memengaruhi daya keluaran panel. Pola serupa juga terjadi pada efisiensi pengisian baterai, di mana nilai tertinggi mencapai 82,13% pada hari Jumat dan terendah 67,76% pada hari Kamis. Perubahan tersebut berkaitan dengan besarnya arus dan tegangan pengisian yang dihasilkan oleh panel surya, sehingga semakin tinggi intensitas cahaya matahari, maka efisiensi pengisian turut meningkat.

Sementara itu, efisiensi pada motor DC menunjukkan peningkatan seiring bertambahnya beban. Nilai efisiensi meningkat dari 31,03% pada beban 150 kg hingga 81,10% pada beban 400 kg, yang mengindikasikan bahwa motor bekerja lebih optimal pada kondisi beban tinggi karena energi listrik dapat dikonversi lebih efektif menjadi energi mekanik. Namun, efisiensi sistem secara keseluruhan justru mengalami penurunan dengan bertambahnya beban. Nilai tertinggi diperoleh pada beban 150 kg sebesar 68,24%, sedangkan efisiensi terendah tercatat pada beban 400 kg sebesar 46,17%. Penurunan ini disebabkan oleh meningkatnya konsumsi energi baterai seiring bertambahnya beban, sehingga energi efektif yang dimanfaatkan berkurang. Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa efisiensi sistem PLTS dipengaruhi oleh kondisi radiasi matahari, karakteristik pengisian baterai, serta variasi beban motor. Hal ini menegaskan pentingnya penyesuaian kapasitas komponen sistem agar diperoleh kinerja yang optimal dan stabil.



Gambar 7. Grafik Hubungan Antara Penurunan Indikator Baterai (%) terhadap Lama Pemakaian (Jam) dengan beban yang bervariasi

Berdasarkan hasil pengujian yang disajikan pada Gambar 7, kapasitas baterai menunjukkan penurunan seiring dengan bertambahnya waktu operasi pada setiap variasi beban. Pola penurunan bersifat hampir linier dengan kemiringan yang bervariasi, di mana peningkatan beban mempercepat berkurangnya kapasitas baterai. Pada pembebanan 150 kg dengan kapasitas awal baterai sebesar 85% (setara 102 Ah dari total kapasitas maksimum 120 Ah), sistem mampu beroperasi selama 4,22 jam hingga kapasitas akhir mencapai sekitar 20%. Sementara itu, pada pembebanan 400 kg dengan kapasitas awal 82% (sekitar 98 Ah), durasi operasi menurun menjadi 2,93 jam dengan kapasitas akhir yang sama. Hasil ini menunjukkan bahwa kenaikan beban secara langsung memengaruhi durasi pemanfaatan energi.

Penurunan waktu operasi disebabkan oleh meningkatnya arus keluaran motor DC yang diperlukan untuk mempertahankan torsi pada beban yang lebih tinggi. Sesuai karakteristik motor listrik, peningkatan torsi berbanding lurus dengan kebutuhan daya, sehingga konsumsi energi listrik meningkat. Secara teoritis, fenomena ini dijelaskan melalui persamaan $E = P \times t$, di mana energi (E) merupakan hasil kali antara daya (P) dan waktu operasi (t). Dengan kapasitas energi baterai yang tetap, peningkatan daya akibat beban yang lebih besar menyebabkan waktu operasi sistem berkurang. Kinerja motor DC menunjukkan efisiensi tertinggi pada beban optimal, yaitu ketika daya keluaran motor seimbang dengan kemampuan suplai energi baterai tanpa menimbulkan penurunan tegangan yang signifikan. Oleh karena itu, pemilihan kapasitas baterai dan spesifikasi motor yang sesuai sangat penting agar sistem PLTS dapat beroperasi secara efisien, stabil, dan berkelanjutan dalam mendukung pengangkutan kelapa sawit di lapangan.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan Hasil dan Pengujian yang telah dilakukan maka dengan ini dapat diberi kesimpulan sebagai berikut:

1. Proses perancangan PLTS sebagai sumber penggerak prototype kereta listrik pengangkut kelapa sawit dengan panel 460 Wp menunjukkan baterai terisi dari 24 Ah (20%) hingga kapasitas 100Ah (83%) dalam $\pm 7,5$ jam dalam pengujian menggunakan baterai berkapasitas 120 Ah, lebih cepat dari perhitungan teoritis 9–11 jam. Percepatan ini dipengaruhi kinerja BMS yang mengatur pengisian agar lebih efisien dan kapasitas efektif baterai yang lebih kecil dari nominal. Hal ini menegaskan bahwa perencanaan PLTS tidak hanya mempertimbangkan kapasitas panel dan baterai, tetapi juga

karakteristik BMS.

2. Kapasitas PLTS optimal ditunjukkan oleh panel 460 Wp yang mampu mengisi baterai 48 V– 100 Ah dari 20% dalam $\pm 7,5$ jam. Baterai ini dapat menggerakkan motor DC 48 V–500 W selama $\pm 4,22$ jam pada beban 150 kg dan ± 3 jam pada beban 400 kg, dengan efisiensi sistem rata-rata sebesar 54,91%. Konfigurasi ini dinyatakan mencukupi untuk kebutuhan energi penggerak prototype kereta listrik, meskipun variasi beban dan efisiensi sistem tetap perlu diperhitungkan dalam perencanaan kapasitas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Suhendar. (2022). *Dasar - Dasar Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya*.
- [2] International Energy Agency (IEA), *Renewable Energy Market Update 2023: Solar PV Leads the Way*, 2023. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/renewable-energy-market-update-2023>
- [3] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM), *Statistik Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi 2022*. Jakarta: Direktorat Jenderal EBTKE, 2022. [Online]. Available: <https://ebtke.esdm.go.id>
- [4] J. Twidell dan T. Weir, *Renewable Energy Resources*, Edisi ke-3. New York: Routledge, 2015.
- [5] Safitriani, D., Suryapradana, I., & Nugraha, K. . (2023). Proses Produksi Gerobak Tandan Sawit Sebagai Alat Pengangkutan Tandan Buah Segar Sawit Cv Sarana Kasih. *Sebatik*, 27(1), 371–378. <https://doi.org/10.46984/sebatik.v27i1.2298>
- [6] Setiawan, B., Suhendra. Nopriandy, F., & Apriani, W. (2023). Uji Performansi Alat Angkut TBS Kelapa Sawit Menggunakan Penggerak Engine. *Jurnal Program Studi Teknik Mesin UM Metro*, 12(2), 176–181. <https://doi.org/10.24127/trb.v12i2.2454>
- [7] Sundoro., Kartika, R. B., & Desryanto, N. (2024). Prototype Listrik Tenaga Surya Sebagai Sumber Daya Motor Penggerak Awal. *Jurnal Review Pendidikan Dan Pengajaran*, 7(No.2), 4206.
- [8] Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), *Laporan Akhir: Pengembangan Teknologi Energi Surya untuk Transportasi Berkelanjutan di Indonesia*. Jakarta: BPPT Press, 2021.
- [9] Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, *Rencana Induk Transportasi Nasional (RITN) 2022–2042*. Jakarta: Kementerian Perhubungan RI, 2022.
- [10] Ramadhan, S. (2021). *Pemodelan Sistem dan Simulasi Kereta Listrik Tenaga Surya Menggunakan Homer Pro Software*. 1–11.