



RANCANG BANGUN SEPEDA LISTRIK RODA TIGA DENGAN SISTEM HYBRID PANEL SURYA BATERAI UNTUK TRANSPORTASI INKLUSIF

Moh Bima Fahrosyid Rizki Abdillah¹⁾, Ferly Isnomo Abdi²⁾

¹⁾Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia
E-mail: mohbima.22059@mhs.unesa.ac.id

²⁾Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia
E-mail: ferlyisnomo@unesa.ac.id

Abstract

The increasing use of fossil-fuel-powered vehicles has led to high carbon emissions and air pollution, making it necessary to develop more environmentally friendly and inclusive transportation options. This study aims to design and build a three-wheeled electric bicycle with a solar panel–battery hybrid system as an efficient, stable, and accessible transportation alternative for a wide range of users. The research method employed was Research and Development (R&D), which included the design, assembly, functional testing, and vehicle performance analysis phases. The developed system utilizes a 650 W BLDC motor, a 48 V 20 Ah Sealed Lead Acid (SLA) battery, and a 200 Wp flexible monocrystalline solar panel as an additional energy source. Testing was conducted in three speed modes—Eco, Medium, and Sport—as well as battery charging tests using the solar panel while the vehicle was stationary. The results showed that Eco mode produced the highest average range of 54.4 km, followed by Medium mode at 46.2 km and Sport mode at 38.5 km. Additionally, charging the battery using the solar panel in a horizontal position took an average of 333 minutes. The results of the study show that the solar panel–battery hybrid system is capable of effectively supporting the operation of electric bicycles and providing a more environmentally friendly, energy-efficient, and inclusive transportation alternative.

Keywords: Electric tricycles, Hybrid systems, Solar panels, Batteries, Inclusive transportation.

Abstrak

Meningkatnya penggunaan kendaraan berbahan bakar fosil menyebabkan tingginya emisi karbon dan pencemaran udara sehingga diperlukan pengembangan transportasi yang lebih ramah lingkungan dan inklusif. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sepeda listrik roda tiga dengan sistem *hybrid* panel surya–baterai sebagai alternatif transportasi yang efisien, stabil, dan dapat diakses oleh berbagai kalangan pengguna. Metode penelitian yang digunakan adalah *Research and Development* (R&D) yang meliputi tahap perancangan, perakitan, pengujian fungsi, serta analisis kinerja kendaraan. Sistem yang dikembangkan menggunakan motor BLDC 650 W, baterai *Sealed Lead Acid* (SLA) 48 V 20 Ah, dan panel surya *monocrystalline* fleksibel 200 Wp sebagai sumber energi tambahan. Pengujian dilakukan pada tiga mode kecepatan, yaitu Eco, Medium, dan Sport, serta pengujian pengisian baterai menggunakan panel surya pada kondisi kendaraan diam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mode Eco menghasilkan jarak tempuh rata-rata tertinggi sebesar 54,4 km, diikuti mode Medium sebesar 46,2 km dan mode Sport sebesar 38,5 km. Selain itu, pengisian baterai menggunakan panel surya pada posisi horizontal memerlukan waktu rata-rata 333 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem *hybrid* panel surya–baterai mampu mendukung operasional sepeda listrik secara efektif serta memberikan alternatif transportasi yang lebih ramah lingkungan, hemat energi, dan inklusif.

Kata kunci: Sepeda listrik roda tiga, Sistem *hybrid*, Panel surya, Baterai, Transportasi inklusif.



PENDAHULUAN

Sektor transportasi merupakan salah satu penyumbang utama emisi gas rumah kaca dan pencemaran udara akibat tingginya penggunaan kendaraan berbahan bakar fosil. Peningkatan jumlah kendaraan bermotor menyebabkan konsumsi energi fosil semakin tinggi serta berdampak pada penurunan kualitas lingkungan (Jelti et al., 2023). Oleh karena itu, diperlukan pengembangan moda transportasi yang lebih efisien, hemat energi, dan ramah lingkungan. Salah satu alternatif yang terus dikembangkan adalah kendaraan listrik karena memiliki efisiensi energi yang tinggi dan emisi operasional yang rendah.

Sepeda listrik menjadi pilihan transportasi yang potensial karena memiliki biaya operasional rendah dan sesuai digunakan untuk mobilitas jarak dekat hingga menengah. Namun, keterbatasan kapasitas baterai dan ketergantungan terhadap sumber listrik konvensional masih menjadi kendala utama yang memengaruhi fleksibilitas penggunaannya (Mahendra & Fahrudin, 2025). Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan pemanfaatan energi terbarukan melalui integrasi panel surya sebagai sumber energi tambahan dalam sistem pengisian daya baterai (Pratama et al., 2024). Selain aspek energi, pengembangan kendaraan listrik juga perlu memperhatikan stabilitas dan aksesibilitas pengguna. Sepeda listrik roda dua memiliki keterbatasan dalam menjaga keseimbangan sehingga kurang optimal digunakan oleh lansia maupun pengguna dengan keterbatasan mobilitas. Konfigurasi roda tiga menawarkan stabilitas dan keamanan yang lebih baik serta menyediakan ruang yang memadai untuk pemasangan baterai dan panel surya. Dengan demikian, sepeda listrik roda tiga berpotensi menjadi sarana transportasi yang lebih inklusif dan ramah lingkungan (Rayyan et al., 2025).

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengkaji sepeda listrik roda tiga maupun sistem pengisian baterai berbasis panel surya. Penelitian mengenai sepeda listrik roda tiga telah dilakukan oleh Febritasari et al., (2023), sedangkan pengembangan sistem pengisian baterai sepeda listrik menggunakan panel surya telah diteliti oleh Pratama et al., (2024) dan Asrori et al., (2023). Namun, penelitian yang mengintegrasikan sistem *hybrid* panel surya-baterai pada sepeda listrik roda tiga sekaligus mengevaluasi kinerjanya sebagai sarana transportasi inklusif masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dibatasi pada perancangan dan pengujian sepeda listrik roda tiga menggunakan motor BLDC 650 W, baterai SLA 48 V 20 Ah, dan panel surya monocrystalline 200 Wp. Pengujian difokuskan pada analisis jarak tempuh pada mode Eco, Medium, dan Sport serta waktu pengisian baterai menggunakan panel surya pada kondisi kendaraan diam. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengevaluasi kinerja sepeda listrik roda tiga dengan sistem *hybrid* panel surya-baterai untuk transportasi inklusif. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi pengembangan kendaraan listrik

berbasis energi terbarukan yang lebih efisien, ramah lingkungan, dan mudah diakses oleh berbagai kelompok masyarakat.

TINJAUAN PUSTAKA Sepeda Listrik Roda Tiga

Sepeda listrik roda tiga (*tricycle electric vehicle*) merupakan kendaraan listrik ringan yang dirancang menggunakan tiga roda sebagai sistem penopang utama untuk meningkatkan stabilitas, keseimbangan, dan keamanan dibandingkan sepeda listrik roda dua. Konfigurasi tiga roda memungkinkan distribusi beban yang lebih merata sehingga kendaraan tetap stabil saat beroperasi pada kecepatan rendah, berhenti, maupun ketika membawa muatan (Hasbulloh et al., 2023). Secara umum, sepeda listrik roda tiga terdiri atas rangka, motor listrik, baterai, kontroler, sistem transmisi, dan roda penggerak yang bekerja secara terintegrasi untuk menghasilkan performa kendaraan yang efisien. Selain meningkatkan keamanan berkendara, dimensi rangka yang lebih luas dibandingkan kendaraan roda dua juga memungkinkan pemasangan baterai berkapasitas besar, sistem kontrol, serta komponen pendukung lainnya tanpa mengurangi kenyamanan pengguna. Karakteristik tersebut menjadikan sepeda listrik roda tiga sebagai sarana transportasi yang mudah dioperasikan dan cocok digunakan oleh berbagai kelompok pengguna, termasuk lansia dan penyandang disabilitas (Rayyan et al., 2025). Di sisi lain, penggunaan energi listrik sebagai sumber tenaga utama menjadikan kendaraan ini lebih ramah lingkungan karena tidak menghasilkan emisi gas buang secara langsung serta berpotensi mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil sehingga mendukung pengembangan sistem transportasi berkelanjutan (Ardiansyah et al., 2026)



Gambar 1. Ilustrasi Kendaraan Roda Tiga
Sumber : (Dokumentasi pribadi)

Berdasarkan ilustrasi pada Gambar 1 Berdasarkan konstruksinya, sepeda listrik roda tiga memiliki tiga titik tumpu yang memberikan stabilitas dan keamanan lebih baik selama beroperasi. Kendaraan ini banyak digunakan untuk kebutuhan logistik, transportasi skala kecil, serta mobilitas lansia dan penyandang disabilitas karena mampu membawa beban yang relatif besar dan beroperasi secara efisien di lingkungan perkotaan dengan infrastruktur terbatas. Selain itu, ruang pemasangan yang lebih luas memungkinkan integrasi sumber energi terbarukan seperti panel surya untuk membantu memenuhi kebutuhan energi kendaraan dan meningkatkan efisiensi penggunaan baterai. Dengan keunggulan



tersebut, sepeda listrik roda tiga berpotensi menjadi solusi transportasi yang aman, efisien, dan ramah lingkungan guna mendukung pengembangan sistem transportasi berkelanjutan (Hasbulloh et al., 2023).

Motor Brushless Direct Current (BLDC)

Motor *Brushless Direct Current* (BLDC) merupakan salah satu jenis motor listrik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik melalui interaksi medan magnet tanpa menggunakan sikat (*brush*) dan komutator mekanis sebagaimana pada motor DC konvensional. Motor BLDC terdiri atas dua komponen utama, yaitu stator yang berisi lilitan kumparan sebagai pembangkit medan magnet berputar dan rotor yang umumnya menggunakan magnet permanen. Proses komutasi pada motor BLDC dilakukan secara elektronik melalui pengendali (*electronic speed controller* atau ESC) yang mengatur urutan arus pada kumparan stator berdasarkan posisi rotor. Penggunaan sistem komutasi elektronik tersebut mampu meningkatkan efisiensi konversi energi, mengurangi rugi-rugi mekanis akibat gesekan sikat, serta meningkatkan keandalan dan umur pakai motor dibandingkan motor DC konvensional (Nurdamayanti et al., 2022). Selain itu, motor BLDC memiliki karakteristik torsi awal yang tinggi, respons dinamis yang cepat, tingkat kebisingan yang rendah, serta kemampuan pengaturan kecepatan yang presisi sehingga banyak digunakan pada kendaraan listrik, robotika, sistem otomasi industri, dan berbagai aplikasi yang memerlukan efisiensi energi tinggi (Sayed et al., 2024).



Gambar 2. Motor Listrik Brushless Direct Current (BLDC)
 Sumber : (Dokumentasi pribadi)

Berdasarkan konstruksinya, motor BLDC sangat sesuai diterapkan pada kendaraan listrik karena memiliki rasio daya terhadap berat yang tinggi, efisiensi yang dapat mencapai lebih dari 85%, serta kebutuhan perawatan yang relatif rendah akibat tidak adanya kontak mekanis antara sikat dan komutator. Pada sistem kendaraan listrik roda tiga, motor BLDC berfungsi sebagai penggerak utama yang mengubah energi listrik dari baterai menjadi energi mekanik untuk menghasilkan putaran roda. Performa motor sangat dipengaruhi oleh besarnya beban kendaraan, torsi yang dibutuhkan, dan daya yang tersedia. Oleh karena itu, proses perancangan sistem penggerak memerlukan perhitungan gaya, torsi, dan daya untuk memastikan motor yang digunakan mampu memenuhi kebutuhan operasional kendaraan secara optimal.

Besarnya gaya yang diperlukan untuk menggerakkan kendaraan dapat dihitung menggunakan Hukum II Newton, yaitu:

$$F = m \times g$$

Dengan:

F = gaya berat kendaraan (N)

m = massa total kendaraan dan beban (kg)

g = percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

Setelah gaya yang bekerja diketahui, kebutuhan torsi motor dapat ditentukan menggunakan persamaan:

$$T = F \times r$$

atau berdasarkan hubungan antara daya dan putaran:

$$T = \frac{60 \times P}{2\pi \times n}$$

dengan:

T = torsi motor (Nm)

F = gaya penggerak (N)

r = jari-jari roda atau lengan momen (m)

P = daya motor (W)

n = putaran motor (rpm)

Selanjutnya, untuk menentukan daya rencana yang digunakan dalam proses perancangan, diperlukan faktor koreksi guna mengantisipasi variasi beban selama operasi. Daya rencana dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$P_{rencana} = F_c \times P$$

Dengan:

$P_{rencana}$ = daya rencana (W)

F_c = faktor koreksi

P = daya hasil perhitungan (W)

Penggunaan faktor koreksi bertujuan untuk menjamin bahwa motor yang dipilih mampu bekerja secara aman dan andal pada berbagai kondisi operasi, termasuk saat terjadi kenaikan beban sesaat maupun kondisi kerja maksimum. Nilai faktor koreksi yang digunakan disesuaikan dengan karakteristik pembebanan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Faktor koreksi daya

Daya yang akan ditransmisikan	yang	akan	Faktor koreksi
Daya diperlukan	rata-rata	yang	1,2-2,0
Daya diperlukan	maksimum	yang	0,8-1,2
Daya normal			1,0-1,5

Sumber: (Suga, 2004)

Sistem Hybrid Panel Surya–Baterai

Sistem hybrid panel surya–baterai pada sepeda listrik roda tiga merupakan kombinasi sumber energi yang memanfaatkan panel surya sebagai pembangkit listrik tambahan dan baterai sebagai media penyimpanan energi utama. Energi listrik yang dihasilkan panel surya akan digunakan untuk membantu mengisi baterai atau menyuplai kebutuhan daya kendaraan saat kondisi radiasi matahari mencukupi, sehingga dapat mengurangi beban



penggunaan baterai dan memperpanjang jarak tempuh kendaraan. Untuk mendukung proses penyaluran daya, sistem ini dilengkapi dengan controller yang berfungsi mengatur distribusi energi dari panel surya dan baterai menuju motor penggerak secara optimal. Penggunaan sistem *hybrid* ini mampu meningkatkan efisiensi energi, mengurangi frekuensi pengisian baterai dari jaringan listrik, serta mendukung penerapan transportasi yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan (Asrori et al., 2023).

Dalam sistem penggerak kendaraan, energi listrik yang tersimpan pada baterai dan dihasilkan oleh panel surya digunakan untuk menggerakkan motor BLDC melalui controller yang mengatur kecepatan dan torsi sesuai kebutuhan operasi. Daya dari motor kemudian diteruskan melalui gearbox untuk menyesuaikan rasio putaran dan meningkatkan torsi yang dibutuhkan kendaraan, terutama saat membawa beban atau melewati medan tertentu. Selanjutnya, torsi tersebut ditransmisikan oleh poros menuju roda penggerak, sementara rangka berfungsi sebagai struktur utama yang menopang seluruh komponen sistem, termasuk panel surya, baterai, motor, dan transmisi. Integrasi komponen-komponen tersebut menghasilkan sistem *hybrid* yang mampu memanfaatkan energi secara lebih efisien, menjaga performa kendaraan tetap stabil, serta meningkatkan keandalan operasional sepeda listrik roda tiga pada berbagai kondisi penggunaan (Nurdamayanti et al., 2022).

Baterai Sealed Lead Acid (SLA)

Baterai *Sealed Lead Acid* (SLA) merupakan salah satu jenis baterai yang masih banyak digunakan pada kendaraan listrik skala kecil, termasuk sepeda listrik, karena memiliki biaya yang relatif rendah, tingkat keamanan yang baik, serta perawatan yang minimal akibat desainnya yang tertutup (*sealed*) (Raybian Nur, 2024). Baterai ini bekerja berdasarkan reaksi elektrokimia antara timbal (Pb) dan asam sulfat (H_2SO_4) untuk menyimpan dan melepaskan energi listrik. Selain mampu menghasilkan arus awal yang besar untuk mendukung akselerasi dan kebutuhan daya saat kendaraan mulai bergerak, baterai SLA juga memiliki konstruksi yang kuat dan risiko kebocoran elektrolit yang rendah sehingga lebih aman digunakan pada kendaraan listrik (Pratama et al., 2024). Dalam penelitian ini digunakan baterai SLA merek Tian Neng sebanyak empat unit dengan spesifikasi masing-masing 12 V dan 20 Ah yang dirangkai secara seri untuk menghasilkan tegangan sistem sebesar 48 V dengan kapasitas tetap 20 Ah. Konfigurasi tersebut dipilih karena mampu memenuhi kebutuhan daya motor dan sistem kelistrikan kendaraan serta mendukung integrasi dengan panel surya pada sistem *hybrid* panel surya–baterai. Meskipun memiliki densitas energi dan efisiensi yang lebih rendah dibandingkan baterai lithium-ion, baterai SLA tetap menjadi alternatif yang ekonomis dan andal untuk aplikasi kendaraan listrik roda tiga yang berorientasi

pada biaya rendah dan kemudahan implementasi (Yudhistira et al., 2022).



Gambar 3. Baterai Sealed Lead Acid (SLA)
Sumber: (Rys, 2024)

Untuk mengetahui kapasitas energi total baterai yang tersedia, dapat digunakan persamaan:

$$E = V \times Ah$$

dengan:

E = energi baterai (Wh)

V = tegangan baterai (V)

Ah = kapasitas baterai (Ah)

Pada penelitian ini, kapasitas energi total baterai yang digunakan adalah:

$$E = 48 \times 20 = 960 \text{ Wh}$$

Nilai tersebut menunjukkan bahwa sistem baterai mampu menyimpan energi sebesar 960 Wh untuk mendukung operasional kendaraan listrik roda tiga.

Panel Surya *Monocrystalline*

Panel surya *monocrystalline* merupakan jenis panel surya yang menggunakan sel fotovoltaik berbahan silikon kristal tunggal (*single-crystal silicon*) dengan struktur kristal yang seragam dan tingkat kemurnian tinggi sehingga mampu menghasilkan efisiensi konversi energi yang lebih baik dibandingkan panel surya *polycrystalline* maupun *thin-film* (Ratshitanga et al., 2024). Efisiensi panel surya *monocrystalline* umumnya berada pada kisaran 20–24%, menjadikannya sangat sesuai untuk aplikasi yang memiliki keterbatasan ruang pemasangan namun membutuhkan daya keluaran yang tinggi, seperti kendaraan listrik berbasis energi surya. Dalam penelitian ini digunakan panel surya *monocrystalline* tipe *flexy* berkapasitas 200 Wp dengan tegangan *open circuit* (V_{oc}) sekitar 22 V, arus *short circuit* (I_{sc}) sekitar 6 A, tegangan pada titik daya maksimum (V_{mpp}) sebesar 18 V, dan arus pada titik daya maksimum (I_{mpp}) sebesar 5,6 A. Panel ini dirancang untuk bekerja optimal pada kondisi *Standard Test Condition* (STC), yaitu iradiasi matahari sebesar 1000 W/m² dan suhu sel 25°C. Penggunaan panel surya *monocrystalline* pada sistem *hybrid* panel surya–baterai dipilih karena memiliki rasio daya terhadap luas permukaan yang tinggi, performa yang lebih baik pada kondisi intensitas cahaya yang bervariasi, serta umur pakai yang dapat mencapai lebih dari 20 tahun (Febritasari et al., 2023). Pada sepeda listrik roda tiga, panel surya berfungsi sebagai sumber energi tambahan yang membantu proses pengisian baterai selama



kendaraan beroperasi atau saat terpapar sinar matahari, sehingga dapat mengurangi konsumsi energi dari jaringan listrik, meningkatkan efisiensi penggunaan baterai, dan mendukung pengembangan sistem transportasi yang lebih hemat energi serta ramah lingkungan (Asrori et al., 2023).



Gambar 4. Panel Surya Monocrystalline

Sumber: (Setiawan & Budiyanto, 2021)

Untuk memperkirakan daya keluaran panel surya pada kondisi tertentu, dapat digunakan persamaan:

$$P = V \times I$$

dengan:

P = daya keluaran panel surya (W)

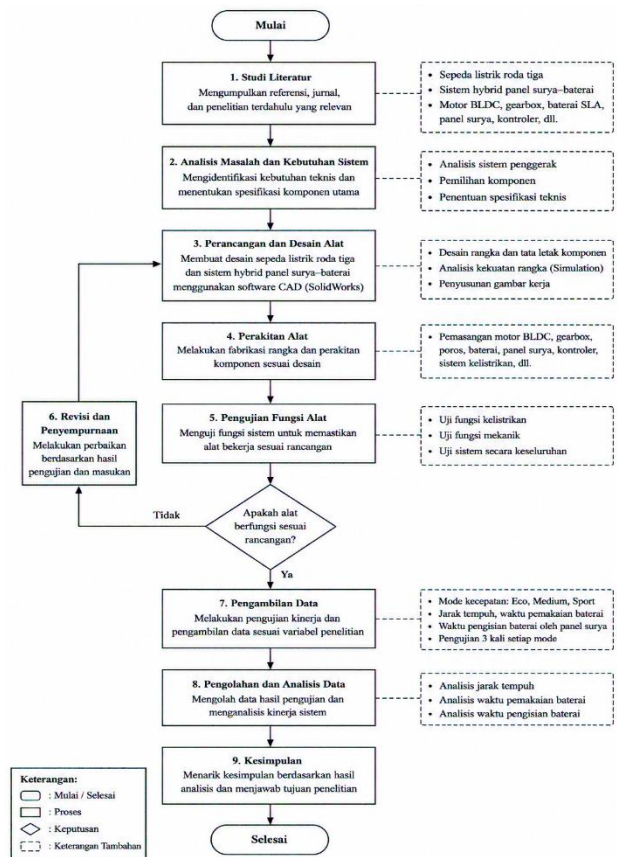
V = tegangan keluaran panel (V)

I = arus keluaran panel (A)

Persamaan tersebut digunakan untuk menganalisis kemampuan panel surya dalam menyuplai energi pada sistem hybrid panel surya–baterai yang digunakan pada sepeda listrik roda tiga.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) yang bertujuan untuk merancang, membangun, dan menguji kinerja sepeda listrik roda tiga dengan sistem *hybrid* panel surya–baterai sebagai sarana transportasi inklusif. Tahapan penelitian diawali dengan studi literatur untuk mengidentifikasi kebutuhan sistem, karakteristik kendaraan listrik roda tiga, serta teknologi panel surya dan baterai yang relevan. Selanjutnya dilakukan analisis kebutuhan sistem penggerak yang meliputi pemilihan motor BLDC, gearbox, baterai, panel surya, dan komponen pendukung lainnya. Berdasarkan hasil analisis tersebut, dilakukan proses perancangan menggunakan perangkat lunak CAD sehingga diperoleh desain rangka, sistem transmisi, dan tata letak komponen yang sesuai dengan kebutuhan operasional kendaraan.



Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

Sumber: (Data diolah peneliti)

Berdasarkan diagram alir pada Gambar 5, setelah tahap perancangan selesai dilakukan proses fabrikasi dan perakitan sepeda listrik roda tiga yang meliputi pemasangan rangka, motor BLDC, gearbox, poros, baterai SLA 48 V 20 Ah, panel surya *monocrystalline* 200 Wp, kontroler, serta sistem kelistrikan pendukung lainnya. Tahap ini bertujuan untuk merealisasikan desain yang telah dibuat menggunakan perangkat lunak *SolidWorks*, termasuk hasil analisis kekuatan rangka yang dilakukan sebelum proses manufaktur. Setelah seluruh komponen terpasang, dilakukan uji fungsi untuk memastikan sistem mekanik dan kelistrikan dapat bekerja sesuai dengan rancangan. Apabila ditemukan ketidaksesuaian atau komponen yang belum berfungsi secara optimal, dilakukan perbaikan dan penyempurnaan hingga kendaraan dapat beroperasi dengan baik dan memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan sebelum memasuki tahap pengujian kinerja dan pengambilan data.

Pengujian kinerja kendaraan dilakukan menggunakan tiga mode kecepatan, yaitu Eco, Medium, dan Sport sebagai variabel bebas. Variabel terikat yang diamati meliputi jarak tempuh kendaraan, waktu operasional baterai, serta waktu pengisian daya menggunakan panel surya. Selama pengujian, digunakan variabel kontrol berupa baterai SLA 48 V 20 Ah, panel surya *monocrystalline* 200 Wp, beban pengendara sebesar 50 kg, kondisi jalan datar, dan



pengujian sebanyak tiga kali pada setiap mode kecepatan. Pengujian jarak tempuh dilakukan pada kondisi kapasitas baterai 95% hingga 50%, sedangkan pengujian pengisian baterai menggunakan panel surya dilakukan pada kondisi kendaraan diam dengan rentang waktu pukul 07.00–17.00 WIB. Data hasil pengujian kemudian dianalisis untuk mengevaluasi pengaruh mode kecepatan terhadap konsumsi energi kendaraan serta efektivitas sistem hybrid panel surya–baterai dalam mendukung operasional sepeda listrik roda tiga.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Perancangan dan Perhitungan Komponen

Perancangan sepeda listrik roda tiga dengan sistem hybrid panel surya–baterai diawali dengan perhitungan kebutuhan daya dan komponen utama sistem penggerak. Berdasarkan massa total kendaraan dan penumpang sebesar 245 kg, diperoleh gaya berat kendaraan sebesar 2.403 N. Motor BLDC yang digunakan memiliki daya 650 W dengan putaran nominal 3200 rpm sehingga menghasilkan torsi sebesar 1,94 Nm. Untuk menjamin keamanan operasi dan mengantisipasi beban dinamis selama kendaraan digunakan, diterapkan faktor koreksi sebesar 2,5 sehingga diperoleh torsi rencana sebesar 5 Nm. Selain itu, hasil perhitungan daya rencana menunjukkan nilai sebesar 1,105 kW yang digunakan sebagai dasar dalam pemilihan komponen transmisi dan sistem penggerak. Hasil tersebut menunjukkan bahwa motor BLDC 650 W masih mampu memenuhi kebutuhan operasional kendaraan roda tiga yang dirancang untuk membawa hingga tiga penumpang dengan sistem penggerak listrik berbasis baterai dan panel surya.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Motor Penggerak

No	Parameter	Rumus	Nilai
1.	Massa total kendaraan dan penumpang (m)	-	245 kg
2.	Percepatan gravitasi (g)	-	9,81 m/s ²
3.	Gaya berat total kendaraan (F)	$F = m \times g$	2.403 N
4.	Daya motor (P)	-	650 W (0,65 kW)
5.	Putaran motor (n)	-	3200 rpm
6.	Torsi motor (T)	$T = \frac{60 \times p}{2\pi \times n}$	1,94 Nm
7.	Faktor koreksi torsi (Ft)	-	2,5
8.	Torsi rencana (Trencana)	$T_{rencana} = Ft \times T$	5 Nm

9.	Faktor koreksi daya (Fc)	-	1,7
10.	Daya rencana (Prencana)	$P_{rencana} = F \times P$	1,105 kW

Sumber: (Diolah oleh peneliti)

Hasil Perancangan Poros dan Gearbox

Berdasarkan hasil perhitungan mekanis, diperoleh momen puntir poros sebesar 198 kg.mm. Material poros yang digunakan adalah baja S45C dengan kekuatan tarik 58 kg/mm² dan faktor keamanan yang disesuaikan terhadap kondisi pembebanan. Hasil perhitungan menunjukkan tegangan geser yang diizinkan sebesar 4,83 kg/mm², sedangkan diameter minimum poros yang diperoleh dari perhitungan adalah 11,6 mm. Untuk meningkatkan faktor keamanan dan menyesuaikan ukuran standar manufaktur, digunakan diameter poros aktual sebesar 20 mm. Setelah dilakukan analisis tegangan geser, diperoleh nilai tegangan geser kerja sebesar 0,126 kg/mm², jauh lebih kecil dibandingkan tegangan geser yang diizinkan, sehingga poros dinyatakan aman terhadap beban puntir yang bekerja selama pengoperasian kendaraan. Pada sistem transmisi digunakan gearbox dengan rasio 1:3 yang diperoleh dari perbandingan roda gigi 17 dan 51 gigi. Rasio tersebut mampu menurunkan putaran motor dari 3200 rpm menjadi 1066 rpm sekaligus meningkatkan torsi yang diteruskan ke roda penggerak sehingga kendaraan memiliki kemampuan akselerasi dan daya angkut yang lebih baik.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Gearbox

No	Parameter	Simbol	Nilai
1.	Jumlah gigi penggerak (pinion)	Z ₁	17 gigi
2.	Jumlah gigi yang digerakkan	Z ₂	51 gigi
3.	Rasio gearbox	i	3
4.	Rasio transmisi	-	1 : 3
5.	Putaran input motor	n ₁	3200 rpm
6.	Putaran output gearbox	n ₂	1066 rpm
7.	Fungsi gearbox	-	Menurunkan putaran dan meningkatkan torsi
8.	Status desain gearbox	-	Sesuai kebutuhan sistem

Sumber: (Data diolah peneliti)

Tabel 4. Hasil Perhitungan Poros

No	Parameter	Simbol	Nilai
1.	Daya motor	P	0,65 kW
2.	Putaran poros	n	3200 rpm
3.	Momen puntir	T	198 kg.mm
4.	Kekuatan tarik material S45C	σ_B	58 kg/mm ²
5.	Faktor keamanan material	Sf ₁	6



6.	Faktor keamanan bentuk poros	sf_2	2
7.	Tegangan geser yang diizinkan	$\tau\alpha$	4,83 kg/mm ²
9.	Faktor koreksi tumbukan	K_t	3
9.	Faktor koreksi lentur	C_b	2,5
10.	Diameter minimum poros hasil perhitungan	d	11,6 mm
11.	Diameter poros yang digunakan	d_{aktual}	20 mm
12.	Tegangan geser aktual	τ	0,126 kg/mm ²
13.	Status keamanan poros	-	Aman

Sumber: (Data diolah peneliti)

Hasil Perakitan Sepeda Listrik Roda Tiga

Setelah seluruh proses perancangan selesai dilakukan, tahap berikutnya adalah proses fabrikasi dan perakitan kendaraan. Perakitan dimulai dari pembuatan rangka utama menggunakan pipa hollow baja yang dirancang untuk menopang beban kendaraan, sistem penggerak, baterai, serta panel surya. Selanjutnya dilakukan pemasangan motor BLDC 650 W, gearbox rasio 1:3, poros transmisi, roda berukuran 8 inci, baterai SLA 48 V 20 Ah, panel surya monocrystalline fleksibel 200 Wp, serta sistem kontrol dan kelistrikan pendukung lainnya. Integrasi seluruh komponen dilakukan berdasarkan desain yang telah dibuat menggunakan SolidWorks sehingga diperoleh konfigurasi kendaraan yang stabil, aman, dan mampu mendukung penerapan sistem hybrid panel surya–baterai. Hasil akhir perakitan menunjukkan bahwa seluruh komponen dapat terpasang dengan baik dan berfungsi sesuai dengan rancangan yang telah



Gambar 6. Pemasangan Motor BLDC
 Sumber: (Dokumentasi pribadi)



Gambar 7. Pemasangan Gearbox
 Sumber: (Dokumentasi pribadi)



Gambar 8. Pemasangan Roda
 Sumber: (Dokumentasi pribadi)



Gambar 9. Pemasangan Panel Surya
 Sumber: (Dokumentasi pribadi)



Gambar 10. Pemasangan Rangka Panel Surya
 Sumber: (Dokumentasi pribadi)



Gambar 11. Pemasangan Komponen Elektrikal
 Sumber: (Dokumentasi pribadi)



Gambar 12. Pemasangan Baterai SLA
 Sumber: (Dokumentasi pribadi)



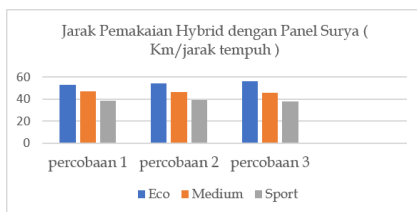
Gambar 13. Hasil Akhir Sepeda Listrik Roda Tiga
 Sumber: (Dokumentasi pribadi)

Hasil Uji Jarak Tempuh Kendaraan

Pengujian jarak tempuh dilakukan untuk mengetahui pengaruh mode kecepatan terhadap konsumsi energi kendaraan. Pengujian dilakukan



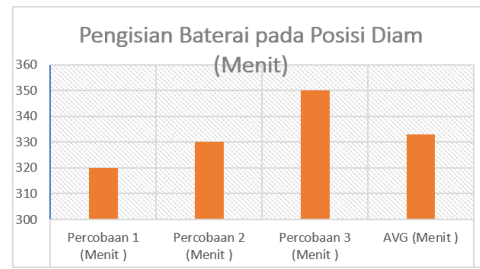
menggunakan tiga mode operasi, yaitu Eco, Medium, dan Sport dengan kondisi baterai dari 95% hingga 50% serta beban pengendara sebesar 50 kg. Hasil pengujian menunjukkan bahwa mode Eco menghasilkan jarak tempuh rata-rata tertinggi sebesar 54,4 km, sedangkan mode Medium menghasilkan jarak tempuh rata-rata 46,2 km dan mode Sport sebesar 38,5 km. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan kendaraan menyebabkan kebutuhan daya motor semakin besar sehingga energi baterai lebih cepat habis dan jarak tempuh menjadi lebih pendek. Konsistensi hasil pada ketiga percobaan juga menunjukkan bahwa sistem hybrid panel surya-baterai memiliki performa yang stabil selama pengoperasian. Dengan demikian, mode Eco menjadi mode yang paling efisien untuk penggunaan harian karena mampu menghasilkan jarak tempuh paling jauh dengan konsumsi energi paling rendah.



Gambar 14 Grafik Jarak Tempuh Berdasarkan Mode Kecepatan
Sumber: (Data diolah peneliti)

Hasil Uji Pengisian Baterai Menggunakan Panel Surya

Pengujian pengisian baterai menggunakan panel surya dilakukan pada kondisi kendaraan diam dengan posisi panel surya horizontal. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui kemampuan panel surya monocrystalline 200 Wp dalam membantu proses pengisian baterai SLA 48 V 20 Ah pada sistem hybrid yang dirancang. Hasil pengujian menunjukkan waktu pengisian selama 320 menit pada percobaan pertama, 330 menit pada percobaan kedua, dan 350 menit pada percobaan ketiga dengan rata-rata waktu pengisian sebesar 333 menit. Perbedaan waktu pengisian yang terjadi dipengaruhi oleh variasi intensitas radiasi matahari, suhu lingkungan, dan kondisi operasional panel surya selama pengujian berlangsung. Meskipun demikian, selisih antarpercobaan relatif kecil sehingga menunjukkan bahwa sistem pengisian memiliki tingkat kestabilan yang baik. Hasil ini membuktikan bahwa panel surya mampu berfungsi sebagai sumber energi tambahan yang efektif dalam mendukung pengisian baterai dan mengurangi ketergantungan terhadap sumber listrik eksternal.



Gambar 15. Grafik Waktu Pengisian Baterai Menggunakan Panel Surya
Sumber: (Data diolah peneliti)

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil rancang bangun dan pengujian, sepeda listrik roda tiga dengan sistem *hybrid* panel surya-baterai berhasil dikembangkan sebagai kendaraan yang efisien, ramah lingkungan, dan mendukung transportasi inklusif. Sistem yang dirancang mampu memanfaatkan baterai sebagai sumber energi utama dan panel surya sebagai sumber energi tambahan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan daya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mode kecepatan berpengaruh terhadap jarak tempuh kendaraan, di mana mode Eco menghasilkan jarak tempuh rata-rata tertinggi sebesar 54,4 km, mode Medium sebesar 46,2 km, dan mode Sport sebesar 38,5 km. Semakin tinggi mode kecepatan yang digunakan, semakin besar konsumsi energi yang menyebabkan penurunan jarak tempuh, sehingga mode Eco terbukti menjadi mode operasi yang paling optimal dalam hal efisiensi energi dan daya jelajah kendaraan.

Saran

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengoptimalkan sistem hybrid dan penggunaan teknologi baterai yang lebih modern, serta mengembangkan desain rangka, suspensi, dan sistem kontrol berbasis digital untuk meningkatkan kenyamanan, keamanan, dan efisiensi kendaraan. Selain itu, pengujian perlu dilakukan pada berbagai kondisi beban, cuaca, dan medan jalan agar diperoleh data yang lebih komprehensif dan sesuai dengan kondisi penggunaan nyata.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardiansyah, F., Abdi, F. I., Warju, & Ariyanto, S. R. (2026). Fenomena Keterbatasan Suspensi Pasif Sepeda Listrik Roda Tiga terhadap Pencapaian Standar Kenyamanan dan Keamanan pada Bumpy Road. *Automotive Innovations*, 2(1), 11–17.
- Asrori, A., Jatmiko, F. A., Hidayat, M. N., & Perdana, D. (2023). Pengaruh Panel Surya Bentuk Flat dan Flexy Terhadap Daya Pengisian Baterai Sepeda Listrik. *Teknologi Ramah Lingkungan*, 7, 90–100.
- Febritasari, R., Pohan, G. A., Rahmadianto, F., Sutrisno, T. A., Mardika, A. B., Yusuf, A. A. I.,



- Wibowo, A. R., & Sujatmiko, S. (2023). Journal Of Mechanical Engineering , Perancangan Sepeda Roda Tiga Pasca Stroke Dengan Mekanisme Penggerak Elektrik Design of a Post Stroke Tricycle with Electric Mechanism media terapi pasca stroke di rumah sakit , membantu anggota gerak tubuh bawah (lowe. *Mechanical Engineering, Manufactures, Materials And Energy*, 7(1), 14–26. <https://doi.org/10.31289/jmemme.v7i1.7552>
- Hasbulloh, H., Salahudin, X., & Taufik, I. (2023). *Proses Manufaktur Sepeda Listrik Roda Tiga Dengan Tilting Trike Untuk Penyandang Disabilitas*. 1–6.
- Jelti, F., Allouhi, A., Anissa, K., & Aoul, T. (2023). Transition Paths towards a Sustainable Transportation System : A Literature Review. *Sustainability*, 15, 1–25.
- Mahendra, A. W. I., & Fahrudin, A. (2025). Battery Discharge Characteristics in a Modified Electric Bicycle: Karakteristik Pengosongan Baterai pada Sepeda Listrik yang Dimodifikasi. *Innovation Studies*, 26(3). <https://doi.org/10.21070/ijins.v26i3.2140>
- Nurdamayanti, Sartika, L., & Praselia, A. M. (2022). Pengaturan kecepatan motor brushless direct current (bldc) menggunakan metode field oriented control (foc). *Edukasi Elektro*, 06(02), 143–148.
- Pratama, M. R., Jamaaluddin, Sulistiyowati, I., & Anshory, I. (2024). Electric Bicycle Battery Charging System Design Using Solar Panel. *Electrical and Electronic Engineering*, 8(2), 70–80.
- Ratshitanga, M., Ayeleso, A., Krishnamurthy, S., & Rose, G. (2024). Battery Storage Use in the Value Chain of Power Systems. *Energies*.
- Rayyan, L. A., Sumarjo, J., & Pratama, F. A. (2025). Analisis Frame Sepeda Listrik Roda Tiga Bagi Lansia dan Penyandang Disabilitas Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Mechanical and Electrical Technology*, 04(03), 188–198.
- Sayed, K., El-zohri, H. H., Ahmed, A., & Khamies, M. (2024). Application of Tilt Integral Derivative for Efficient Speed Control and Operation of BLDC Motor Drive for Electric Vehicles. *Fractal and Fractional*.
- Yudhistira, R., Khatiwada, D., & Sanchez, F. (2022). A comparative life cycle assessment of lithium-ion and lead-acid batteries for grid energy storage. *Cleaner Production*, 358(April).