



PERANCANGAN MODUL PRAKTIKUM PENGATURAN MOTOR LISTRIK BERBASIS PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA

Pamor Gunoto¹⁾, Endang Susanti²⁾, M. Nurdin³⁾, Toni Yuliansyah⁴⁾, Hidayah Novitasari⁵⁾
^{1,2,3,4,5)}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Riau Kepulauan
Corresponding Author E-mail: pamorgunoto@ft.unrika.ac.id

ABSTRAK

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan salah satu solusi energi terbarukan yang semakin berkembang dalam aplikasi beban dinamis, termasuk motor listrik. Penelitian ini merangkum panduan praktikum PLTS untuk motor listrik yang memuat dasar teori, perancangan sistem, komponen utama, serta prosedur instalasi dan pengujian. Metode yang digunakan adalah studi literatur dan praktik langsung yang dilakukan melalui rangkaian panel surya, regulator, baterai, sensor RPM, pengukur beban, serta motor DC/BLDC. Hasil pengujian menunjukkan daya aktual masuk ke baterai sebesar 51 W x 5 jam dengan energi harian aktual 255 Wh/hari. Motor BLDC dapat dioperasikan secara stabil baik pada arah reverse maupun forward dengan daya maksimum 85,2 W (27 V, 3,06 A) dan daya 57 W (28 V, 2,03 A) pada putaran maksimum. Baterai 360 Wh mampu mendukung operasi motor selama ±4,2 jam tanpa pengisian dari panel surya. Hasil praktikum menunjukkan bahwa stabilitas suplai energi sangat dipengaruhi oleh kondisi intensitas cahaya dan kapasitas penyimpanan energi, sehingga pemilihan regulator dan baterai menjadi faktor krusial dalam mempertahankan performa motor.

Kata kunci : PLTS, Motor Listrik BLDC, Panel Surya, Energi Terbarukan

ABSTRACT

Solar Power Plant (PLTS) is one of the renewable energy solutions that is increasingly developing in dynamic load applications, including electric motors. This research summarizes a practical guide for Solar Power Plants (PLTS) used to drive electric motors, covering basic theory, system design, main components, as well as installation and testing procedures. The method used involves literature study and direct practice carried out through a series of solar panels, charge controllers, batteries, RPM sensors, load measuring devices, and DC/BLDC motors. The test results show that the actual power charged into the battery is 51 W × 5 hours, resulting in a daily actual energy of 255 Wh/day. The BLDC motor can operate stably in both reverse and forward directions with a maximum power of 85.2 W (27 V, 3.06 A) and 57 W (28 V, 2.03 A) at maximum rotation. A 360 Wh battery is capable of supporting motor operation for approximately ±4.2 hours without charging from the solar panel. The practical results indicate that the stability of the energy supply is highly influenced by light intensity conditions and energy storage capacity. Therefore, the selection of the charge controller and battery becomes a crucial factor in maintaining motor performance.

Keyword: Solar Power Plant (PLTS), BLDC Electric Motor, Solar Panel, Renewable Energy

1. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan tulang punggung peradaban modern dengan permintaan yang terus meningkat seiring pertumbuhan populasi dan kemajuan teknologi. Ketergantungan pada bahan bakar fosil menyebabkan emisi gas rumah kaca dan perubahan iklim, sehingga diperlukan transisi menuju sumber energi terbarukan.

Pengembangan energi terbarukan di Indonesia sebenarnya memiliki peluang yang sangat besar. Di Indonesia, potensi energi terbarukan seperti energi panas bumi, tenaga air, dan biomassa sangat besar. Namun, penggunaan energi terbarukan masih rendah dan terkonsentrasi di daerah-daerah tertentu saja. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan teknologi dan infrastruktur, serta masih tingginya biaya investasi untuk pembangunan sumber energi terbarukan [1].

Energi surya misalnya, memiliki potensi yang sangat besar yaitu sekitar 4,8 kWh/m² atau setara dengan 112.000 GWp. Namun, dari potensi tersebut, yang baru dimanfaatkan hanya sekitar 10 MWp [2], sehingga menunjukkan adanya kesenjangan besar antara potensi dan realisasi pemanfaatan energi surya di Indonesia. Kondisi ini menunjukkan bahwa meskipun sumber daya tersedia melimpah, pemanfaatannya belum optimal. Tantangan infrastruktur dan pendanaan menjadi hambatan utama yang perlu diatasi agar transisi energi dapat berjalan lebih merata dan efektif di seluruh wilayah Indonesia.

Tantangan infrastruktur dan pendanaan menjadi hambatan utama yang perlu diatasi agar transisi energi dapat berjalan lebih merata dan efektif di seluruh wilayah Indonesia. Salah satu upaya yang terus dikembangkan untuk mengatasi keterbatasan tersebut adalah pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), karena memanfaatkan radiasi matahari

yang melimpah, bersih, dan dapat dimanfaatkan hampir di seluruh wilayah Indonesia. Dalam implementasinya, salah satu komponen utama yang berperan penting dalam PLTS adalah modul surya, yang berfungsi menangkap dan mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik [4]. Namun, keluaran daya panel surya bersifat fluktuatif akibat kondisi cuaca sehingga memerlukan sistem pengatur dan penyimpan daya yang andal untuk aplikasi beban dinamis seperti motor listrik.

Motor listrik, khususnya jenis Brushless DC (BLDC), memiliki efisiensi tinggi dan kemampuan kendali presisi sehingga cocok dikombinasikan dengan sistem PLTS. Integrasi kedua teknologi ini memungkinkan pemanfaatan energi surya secara langsung untuk menghasilkan kerja mekanik.

Penelitian ini merancang modul praktikum yang menggabungkan sistem pembangkit listrik tenaga surya dan pengaturan motor listrik dalam satu modul pembelajaran secara terpadu. Sehingga mahasiswa mampu merancang sistem PLTS skala kecil, melakukan instalasi, memahami karakteristik komponen, serta menguji kinerja motor listrik BLDC yang dioperasikan dengan energi surya. Modul praktikum ini juga memberikan dasar bagi mahasiswa untuk memahami manajemen energi, karakteristik beban, serta pengaruh kondisi lingkungan terhadap performa sistem apabila diterapkan pada kendaraan listrik.

Penelitian terdahulu umumnya hanya mengembangkan modul praktikum PLTS dan motor listrik secara terpisah. Selain itu juga modul praktikum motor listrik masih menggunakan sumber listrik konvensional (PLN) sehingga tidak dapat diketahui karakteristik operasional motor listrik menggunakan energi terbarukan berupa energi surya.

2. LANDASAN TEORI

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dan motor listrik merupakan dua teknologi inti yang saling melengkapi dalam upaya pemanfaatan energi terbarukan untuk aplikasi penggerak mekanis. Bagian ini membahas prinsip kerja PLTS, karakteristik motor listrik yang sesuai dengan keluaran arus searah panel surya, serta peran komponen pendukung dalam menjaga stabilitas dan efisiensi sistem secara keseluruhan.

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

PLTS bekerja berdasarkan efek fotovoltaik yang mengubah cahaya matahari menjadi listrik DC menggunakan sel surya berbahan semikonduktor. Sistem PLTS terdiri dari komponen utama yaitu panel surya, solar charge controller (SCC), inverter, baterai, serta rangkaian proteksi. Panel surya memiliki beberapa jenis, seperti monokristalin, polikristalin, dan thin-film, masing-masing dengan karakteristik efisiensi dan biaya yang berbeda.

2.1 Motor Listrik BLDC

Motor Brushless DC (BLDC) adalah motor listrik dengan efisiensi tinggi, torsi besar, serta kontrol kecepatan yang presisi. Motor BLDC sangat cocok dikombinasikan dengan PLTS karena membutuhkan suplai DC dan memiliki efisiensi mekanis yang baik. Tantangan utama adalah memastikan motor mendapatkan suplai daya stabil, sehingga dibutuhkan regulator dan baterai untuk menjaga kestabilan tersebut.



Gambar 1. Motor BLDC

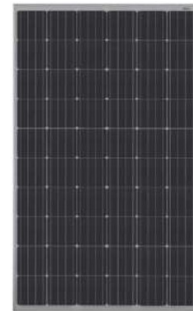
Prinsip kerja motor BLDC yaitu arus DC dialirkan ke kumparan pada rotor, menciptakan medan magnet di sekelilingnya.

Medan magnet yang dihasilkan rotor akan berinteraksi dengan medan magnet dari magnet permanen di rotor. Keunggulan motor BLDC seperti efisiensi tinggi, putaran yang stabil, torsi yang memadai pada berbagai beban, tidak menggunakan sikat, serta konsumsi daya yang relatif rendah membuatnya sangat cocok untuk aplikasi tenaga surya yang menuntut efisiensi energi maksimal [6].

2.2 Komponen Pendukung Sistem PLTS

Beberapa komponen penting dalam sistem PLTS meliputi antara lain :

1. **Panel Surya (*Solar Panel*)** berfungsi menangkap energi matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik yaitu tegangan DC. Perubahan ini melalui proses efek fotovoltaik.



Gambar 2. Panel surya

2. **SCC (PWM atau MPPT)** yang mengatur proses pengisian baterai dan menjaga panel bekerja pada titik daya maksimum baterai yang berfungsi sebagai penyimpanan energi.





Gambar 3. SCC jenis PWM dan MPPT

3. **Baterai (Aki)** merupakan komponen penyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya agar dapat digunakan saat panel surya tidak menerima cahaya matahari. Baterai digunakan pada sistem PLTS Off-grid ataupun Hybrid. Kapasitas baterai menentukan ketersediaan cadangan energi listrik yang akan digunakan.



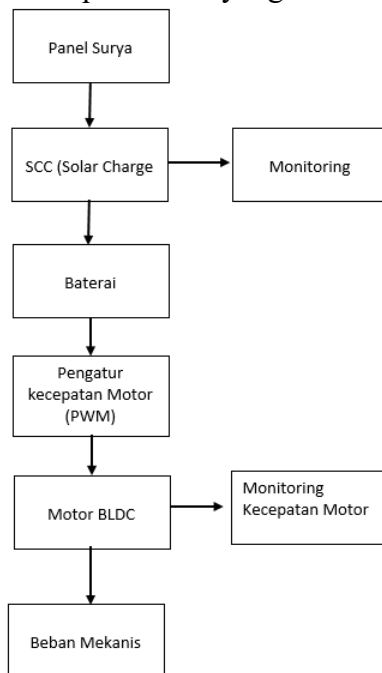
Gambar 4. Baterai (aki)

3. METODE PENELITIAN

Pada perancangan ini metode penelitian terdiri dari metode perancangan dan metode pengujian.

3.1 Diagram Blok Sistem

Blok diagram dibuat dengan tujuan untuk acuan dalam pembuatan alat yang dibuat. Berikut merupakan diagram blok dari modul praktikum yang dibuat :



Gambar 5. Blok diagram modul praktikum

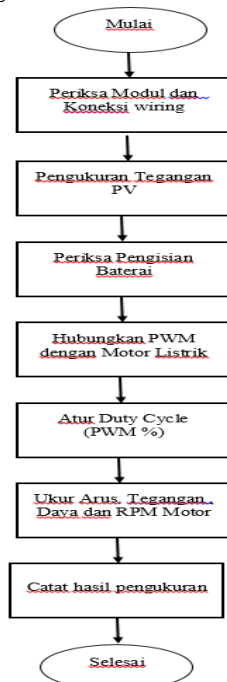
Keterangan diagram blok modul praktikum PLTS pada pengaturan motor BLDC adalah sebagai berikut :

- a. **Panel Surya**
 Komponen utama dari PLTS yang dapat menghasilkan energi listrik searah (DC). Panel surya terbuat dari bahan semikonduktor (*silicon*) yang apabila disinari oleh cahaya matahari dapat menghasilkan arus listrik.
- b. **Solar Charge Controller (SCC)**
 Kontroler yang digunakan mengatur pengisian arus dari panel surya ke baterai dan sebaliknya. Kontroler juga mengatur kelebihan mengisi tegangan ke baterai dan kelebihan tegangan (membatasi arus) dari panel surya.
- c. **Baterai**
 Adalah sebagai penyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya yang akan digunakan apabila sinar matahari tidak ada.
- d. **Speed Adjuster**
 Adalah digunakan untuk pengaturan kecepatan motor BLDC berbasis PWM (*Pulse Width Modulation*) bekerja dengan cara mengubah *duty cycle* yang diberikan ke driver motor BLDC. Semakin besar *duty cycle* PWM maka semakin besar tegangan rata-rata yang diterima motor sehingga kecepatan putar motor (RPM) motor meningkat.
- e. **Motor BLDC (Brushless Direct Current Motor)**
 Adalah motor listrik arus searah yang tidak menggunakan sikat dan komutator mekanis untuk proses komunikasi, sehingga digunakan rangkaian driver untuk pengendali elektronik.

Gambar 6 dibawah ini menunjukkan papan modul praktikum yang telah dibuat.

3.3 Praktikum Langsung

Dilakukan melalui instalasi dan pengkabelan sistem panel surya, regulator, baterai, dan motor listrik. Pengukuran mencakup tegangan, arus, daya panel, dan performa motor (RPM dan beban). Kemudian dilakukan pengujian modul praktikum dengan menggunakan berbagai data masukan. Berikut merupakan proses pengujian dan pelaksanaan praktikum dengan mengikuti flowchart sebagai berikut :



Gambar 8. Flowchart pengujian modul praktikum

Praktikum diawali dengan penegasan tujuan utama yaitu agar peserta mampu menyusun rangkaian tenaga surya secara tepat, menerapkan prosedur keselamatan kerja, mengoperasikan panel trainer PLTS, serta melakukan pengukuran performa motor listrik pada berbagai kondisi radiasi. Pemahaman terhadap tujuan ini penting karena seluruh tahapan praktikum memadukan aspek teori, kelistrikan, mekanik, dan instrumen pengukuran yang membutuhkan ketelitian tinggi.

Kemudian dilakukan menggunakan multimeter dalam beberapa tahap untuk mengukur parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, dan daya yang mengalir ke motor.

Seluruh perangkat ini membentuk rangkaian PLTS yang saling terintegrasi dan memberikan gambaran nyata mengenai cara kerja sistem tenaga surya dalam aplikasi beban dinamis.

3.4 Penerapan K3

Aspek keselamatan kerja menjadi bagian yang sangat ditekankan, mengingat kegiatan praktikum melibatkan sistem kelistrikan dan sumber daya DC yang memiliki risiko apabila tidak ditangani dengan tepat. Penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) seperti sarung tangan isolasi, pelindung wajah, dan sepatu keselamatan menjadi wajib. Peserta juga harus memastikan seluruh koneksi tersambung dengan benar, tidak ada kutub yang terbalik, dan tidak ada kerusakan pada kabel atau komponen. Kesalahan kecil seperti pemasangan terminal yang salah dapat menyebabkan panas berlebih, kerusakan peralatan, hingga risiko kecelakaan, sehingga standar keselamatan harus dipatuhi secara ketat.



Gambar 9. Peralatan K3

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada hasil dan pembahasan ini akan dilakukan pengujian dan pengukuran semua komponen yang dipakai pada modul praktikum ini. Berikut spesifikasi komponen-komponen yang dipakai pada modul praktikum yaitu :

Tabel 1. Spesifikasi komponen modul praktikum

No	Nama	QT Y	Kapasitas
1	Panel Surya @50 Wp	4	200 Wp
2	SCC	1	24 V/30 A
3	Baterai 12V/15 Ah	2	24 V/15 Ah
4	Motor BLDC	1	350 W

4.1 Pengukuran Kapasitas Panel Surya

Pengujian dilakukan secara bertahap, mulai dari kondisi intensitas radiasi tinggi hingga kondisi menurun. Pada saat radiasi tinggi, motor listrik dapat beroperasi secara stabil karena panel surya menghasilkan tegangan dan arus yang mencukupi. Pengukuran tegangan pada panel surya yaitu sebagai berikut :

Tabel 2. Pengukuran panel surya 4 x 50 Wp

No	Intensitas Cahaya (W/m ²)	V	I	P
1	350	18,2	3,85	70,7
2	400	18,4	4,40	80,96
3	500	18,8	5,50	103,4
Rata-rata				

Dari tabel 2 diatas bahwasanya semakin meningkat intensitas cahaya

maka tegangan, arus dan daya yang dihasilkan panel surya juga semakin besar.

4.2 Perhitungan Kapasitas Baterai

Perhitungan kapasitas baterai dapat mengetahui seberapa lama baterai dapat digunakan oleh motor BLDC dengan tanpa pengisian arus oleh panel surya. Spesifikasi baterai adalah : 24 V x 15 Ah = 360 Wh.

Tabel 3. Pengukuran penggunaan baterai

No	Daya Motor (W)	Speed Motor (rpm)	Lama (jam)
1	100	1000	3,6
2	150	1500	2,4
3	200	2000	1,8

Dari tabel 3 diatas diperoleh bahwa semakin besar kecepatan motor maka daya yang diperlukan juga semakin besar sehingga baterai akan semakin cepat menurun kapasitasnya.

4.3 Pengukuran Motor BLDC

Pengujian dilakukan pada dua kondisi putaran maksimum, yaitu arah *forward* dan *reverse*, dengan variasi beban untuk mengamati hubungan antara tegangan (V), arus (I), dan daya (P) motor.

Motor BLDC bekerja dengan memanfaatkan interaksi antara medan listrik dan medan magnet yang menimbulkan gaya elektromagnetik. Interaksi ini menghasilkan gaya tarik-menarik dan tolak-menolak, yang menghasilkan torsi dan menyebabkan rotor berputar.

Berikut adalah hasil pengukuran dan perhitungan parameter listrik motor BLDC pada kedua kondisi tersebut.

1. Perhitungan Tegangan

Perhitungan tegangan motor pada putaran *reverse* maksimum dilakukan dengan persamaan:

Gambar 10. Pengukuran tegangan motor *reverse*

$$V = P / I$$

$$V = 85,2 / 3,06$$

$$V = 27 \text{ V}$$

Perhitungan tegangan motor *forward* maksimum dilakukan dengan persamaan :

Gambar 11. Pengukuran tegangan motor *forward*

$$V = P \div I$$

$$V = 57 \div 2,03 \text{ V} = 28 \text{ V}$$

a. Perhitungan Arus

Perhitungan arus motor pada putaran *reverse* maksimum dilakukan dengan persamaan:

$$I = P \div V$$

$$I = 85,2 \div 27 \text{ I} = 3,06 \text{ A}$$

Perhitungan arus motor pada putaran *forward* maksimum dilakukan dengan persamaan:

$$I = P \div V$$

$$I = 57 \div 28$$

$$I = 2,03 \text{ A}$$

b. Perhitungan Daya

Perhitungan daya motor pada putaran *reverse* maksimum dilakukan dengan berperan dalam menstabilkan proses pengisian baterai, serta bagaimana motor BLDC merespon suplai arus searah dari panel dan baterai. Penjelasan mengenai fungsi setiap komponen dalam sistem membantu peserta memahami alur energi dan karakteristik kerja rangkaian sebelum memasuki tahap praktik. Setelah memahami teori, peserta mempelajari berbagai

peralatan yang digunakan selama kegiatan, ktermasuk panel surya, panel trainer, kabel PV, regulator, baterai, sensor RPM, multimeter, dan



speed controller. Seluruh peralatan ini harus digunakan dengan benar untuk memastikan sistem bekerja optimal dan aman persamaan :

$$P = V \times I$$

$$P = 27 \times 3,06 \text{ P} = 85,2 \text{ W}$$

Perhitungan dasar daya motor pada putaran *forward* maksimum dilakukan dengan persamaan :

$$P = V \times I$$

$$P = 28 \times 2,03$$

$$P = 57 \text{ W}$$

Hasil praktikum menunjukkan bahwa kinerja motor BLDC sangat bergantung pada kondisi radiasi matahari. Pada saat intensitas radiasi tinggi, motor dapat berputar dengan kecepatan stabil karena panel surya menghasilkan tegangan yang cukup untuk menggerakkan motor secara langsung, bahkan sebelum energi

tambahan dari baterai diperlukan. Ketika radiasi matahari menurun, tegangan panel mengalami penurunan sehingga RPM motor mulai berfluktuasi. Pada kondisi ini, baterai berperan dalam menyediakan suplai daya tambahan untuk menjaga kestabilan putaran motor. Namun, pada kondisi radiasi yang sangat rendah, suplai energi lebih banyak bergantung pada baterai sehingga durasi pengoprasian motor sangat bergantung pada kapasitas penyimpanan baterai tersebut. Data praktikum juga menunjukkan adanya hubungan erat antara peningkatan tegangan input dengan kenaikan RPM motor, di mana regulasi tegangan berperan besar dalam menjaga agar putaran motor tetap dalam rentang kerja yang stabil.

c. Panduan Praktikum PLTS untuk Motor Listrik BLDC

Kegiatan praktikum dalam penelitian ini memberikan gambaran langsung mengenai proses instalasi, pengujian, dan analisis sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) yang digunakan untuk menggerakkan motor listrik.

Pada tahap awal, peserta diperkenalkan dengan teori dasar mengenai bagaimana panel surya menghasilkan energi, bagaimana regulator berperan dalam menstabilkan proses pengisian baterai, serta bagaimana motor BLDC merespon suplai arus searah dari panel surya dan baterai. Energi dari baterai kemudian diarahkan ke rangkaian motor melalui speed adjuster yang memungkinkan pengaturan kecepatan putaran motor.

Setelah seluruh komponen terpasang dengan benar, sistem siap diuji di bawah berbagai kondisi cahaya.



Gambar 12. Instalasi panel surya

Pengujian dilakukan secara bertahap, mulai dari kondisi intensitas radiasi tinggi hingga kondisi menurun. Pada saat radiasi tinggi, motor listrik dapat beroperasi secara stabil karena panel surya menghasilkan tegangan dan arus yang cukup.

Selama pengujian, sensor RPM digunakan untuk melakukan pemantauan kecepatan putaran motor secara real time. Sensor ini menunjukkan respons motor terhadap perubahan suplai daya secara langsung; penurunan intensitas cahaya menyebabkan penurunan tegangan yang kemudian langsung terlihat pada penurunan RPM. Dalam beberapa kondisi, awan yang menutupi matahari menunjukkan dampak signifikan pada kinerja panel dan motor.

Penggunaan multimeter untuk mengukur tegangan dan arus memperkuat analisis bahwa sistem PLTS sangat bergantung pada kondisi cahaya lingkungan dan membutuhkan baterai sebagai stabilisator utama dalam menjaga kinerja motor.

Format lembar kerja yang disediakan memungkinkan peserta mencatat data pengujian secara sistematis, mencakup tegangan keluaran panel, arus menuju motor, RPM, dan kondisi beban. Catatan ini membantu peserta dalam menganalisis variasi performa motor terhadap kondisi energi yang berubah. Data tersebut menunjukkan bahwa



panel surya dapat menyediakan energi yang cukup untuk mengoperasikan motor BLDC, namun fluktuasi intensitas cahaya memiliki pengaruh langsung terhadap kecepatan putaran motor sehingga sistem membutuhkan kombinasi panel, regulator, dan baterai yang bekerja secara terpadu.

Kegiatan praktikum ini berhasil memberikan pemahaman menyeluruh mengenai integrasi energi surya dengan motor listrik, memperlihatkan tantangan utama dalam pengoperasian sistem, serta mengonfirmasi pentingnya manajemen daya dalam aplikasi PLTS pada beban dinamis seperti motor listrik.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil pengujian pada perancangan ini dapat disimpulkan bahwa :

1. Panduan Praktikum Pembangkit Listrik Tenaga Surya untuk Aplikasi Motor Listrik ini menyajikan pembahasan yang komprehensif mulai dari konsep dasar pembangkit listrik, prinsip kerja PLTS, karakteristik motor listrik (khususnya motor BLDC), komponen pendukung, desain system, hingga langkah- langkah praktikum.
2. Energi surya dapat dimanfaatkan secara efektif dan andal untuk menggerakkan motor listrik. Melalui rangkaian system yang terdiri dari panel surya, PV regulator, baterai penyimpanan daya, pengatur
3. kecepatan, serta motor BLDC, mahasiswa mampu mengamati secara langsung proses konversi energi matahari menjadi energi listrik kemudian menjadi energi mekanik dengan tingkat efisiensi yang dapat dioptimalkan melalui pengaturan yang tepat.
4. Praktikum ini juga memperkuat pemahaman bahwa integrasi PLTS dengan motor listrik bukan hanya solusi teknis, melainkan juga

Langkah strategis menuju pemanfaatan energi terbarukan yang berkelanjutan, ramah lingkungan, dan hemat biaya operasional dalam jangka panjang.

5.2 Saran

Untuk pengembangan praktikum dan peningkatan kualitas pembelajaran di masa mendatang, beberapa saran yang dapat dipertimbangkan adalah sebagai berikut :

1. Penggunaan Maximum Power Point Tracking (MPPT) untuk memaksimalkan efisiensi penyerapan energi surya, terutama pada kondisi cuaca yang berubah-ubah.
2. Penggunaan Maximum Power Point Tracking (MPPT) untuk memaksimalkan efisiensi penyerapan energi surya, terutama pada kondisi cuaca yang berubah-ubah.
3. Memperluas variasi beban praktikum, misalnya dengan menambahkan pompa air, kipas angin, atau kendaraan listrik skala kecil, agar mahasiswa dapat mengamati karakteristik torsi, efisiensi, dan manajemen.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. R. Dandi Alvayed, TRANSISI ENERGI 2050 INDONESIA: JALAN MENUJU MASA DEPAN BERKELANJUTAN, Jakarta Utara: Pustaka Kaji, 2025
- [2] Kementerian ESDM, "Matahari Untuk PLTS di Indonesia," 2012. [Online]. Available: <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/matahari-untuk-plts-di-indonesia>. [Accessed 20 Oktober 2025].
- [3] Kementerian ESDM, "Bukti Nyata Pengembangan Energi Terbarukan, PLTS Ground-Mounted Terbesar di Indonesia Resmi Beroperasi," 2024. [Online]. Available: <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/bukti-nyata-pengembangan-energi-terbarukan-plts-ground-mounted-terbesar-di-indonesia-resmi-beroperasi>.
- [4] B. Bayu Rudiyanto, DASAR-DASAR PEMASANGAN PANEL SURYA, Malang: Unisma Press, 2023.
- [5] I Wayan Sugianta Nirawana, PEMBUATAN TRACKING PANEL SURYA UNTUK PEMANTAUAN LINGKUNGAN DENGAN ARDUINO, Sumedang: CV. Mega Press Nusantara, 2025.
- [6] F. K. H. Sariman, "ANALISA PERFORMA BLDC MOTOR UNTUK BAN SEPEDA DENGAN MENGGUNAKAN SOLAR CELL POLYCRYSTALLINE SEBAGAI SUMBER ENERGI MATAHARI," *Jurnal Syntax Admiration*, vol. 3, No. 10,