

Kajian Efisiensi Energi Sistem Prototype Lumina Drive Integrasi Motor DC dan LED dalam Rangkaian Paralel

Tazkia Hayati^{1*}, Nurhamidah², Suhadi³, Neneng Anjeli⁴, Putri⁵

^{1,2,3,4,5} Universitas Islam Negeri Raden Fatah Palembang

^{1*} radefa.tazkiah23@gmail.com, ² nurhamidah_uin@radenfatah.ac.id

ARTICLE INFO

Article history:

Received 18 November 2025

Revised 01 March 2026

Accepted 25 April 2026

Available online 07 July 2026

Keywords:

Energy Efficiency ; Motor DC and LED ;
Parallel Circuit



This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.
Copyright © 2025 by Author. Published by Physical Society
Indonesia

ABSTRACT

This study aims to evaluate the energy efficiency level of the Lumina Drive device, a system that integrates two direct current (DC) motors and light-emitting diode (LED) with a single voltage source in a parallel circuit configuration. The Lumina Drive prototype was designed to demonstrate the process of converting electrical energy from a battery to rotational kinetic energy in the DC motor and light energy in the LED. The research method used was a quantitative experiment by measuring the voltage, current, input energy, and output energy of each component using a multimeter. Data were obtained through direct testing using a 9-volt battery voltage source, two DC motors and one LED unit. The test results showed that the total input energy of the system was 96.12J, while the output energy consisting of the kinetic energy of the two DC motors and the electrical energy in the LED reached 9.7201 J, resulting in an overall efficiency of 10.11%. This efficiency value indicates that some of the input energy was successfully converted into useful energy, while the rest was lost due to mechanical losses, motor shaft friction, and internal circuit resistance. Nevertheless, Lumina Drive is effective as a learning medium to understand the concept of converting electrical energy into rotational kinetic energy and light energy in a parallel circuit. These findings provide a basis for the development of more efficient prototypes in further research.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi tingkat efisiensi energi pada perangkat Lumina Drive, yaitu sistem yang mengintegrasikan dua motor arus searah (DC) dan dioda pemancar cahaya (LED) dengan satu sumber tegangan dalam konfigurasi rangkaian paralel. Prototipe Lumina Drive dirancang untuk memperlihatkan proses konversi energi listrik dari baterai menuju energi kinetik rotasi pada motor DC dan energi cahaya pada LED. Metode penelitian yang digunakan ialah eksperimen kuantitatif melalui pengukuran tegangan, arus, energi masuk, dan energi keluar pada setiap komponen dengan menggunakan multimeter. Data diperoleh melalui pengujian langsung menggunakan sumber tegangan baterai 9 volt, dua motor DC dan satu unit LED. Hasil pengujian menunjukkan bahwa total energi masuk sistem sebesar 96.12J, sedangkan energi keluaran yang terdiri atas energi kinetik kedua motor DC dan energi listrik pada LED mencapai 9.7201 J, sehingga menghasilkan efisiensi keseluruhan sebesar 10,11%. Nilai efisiensi ini menunjukkan bahwa sebagian energi masukan berhasil dikonversi menjadi energi berguna, sementara sisanya hilang akibat rugi mekanik, gesekan poros motor, serta resistansi internal rangkaian. Meskipun demikian, Lumina Drive efektif digunakan sebagai media pembelajaran untuk memahami konsep konversi energi listrik menjadi energi kinetik rotasi dan energi cahaya dalam rangkaian paralel. Temuan ini memberikan dasar bagi pengembangan prototipe yang lebih efisien pada penelitian selanjutnya.

1. INTRODUCTION

Perkembangan teknologi elektronika modern menuntut hadirnya sistem yang efisien dalam konsumsi listrik namun tetap mampu memberikan kinerja optimal. Salah satu pendekatan untuk memenuhi kebutuhan tersebut adalah dengan mengintegrasikan beberapa komponen elektronika ke dalam satu sumber daya yang sama. Motor DC dan LED merupakan dua komponen yang umum digunakan pada perangkat portabel, mainan edukatif, robotika dasar, dan sistem kelistrikan skala kecil. Penggunaan rangkaian paralel memungkinkan kedua komponen memperoleh tegangan yang sama sehingga dapat beroperasi secara bersamaan dalam satu sistem sumber tegangan.

Dalam penelitian ini digunakan prototipe Lumina Drive, yaitu perangkat sederhana yang menggabungkan dua motor DC dan satu LED dalam satu sumber tegangan tunggal dengan konfigurasi paralel. Lumina Drive dirancang sebagai alat demonstrasi untuk menunjukkan bagaimana energi listrik dapat dikonversi secara bersamaan menjadi energi mekanik melalui motor DC dan energi cahaya melalui LED. Karena seluruh komponen bekerja dalam satu sistem tegangan yang sama, perangkat ini menjadi objek yang tepat untuk menganalisis pembagian arus, perilaku beban listrik, serta efisiensi energi pada rangkaian paralel.

Kemajuan penelitian di bidang efisiensi energi telah mendorong pengembangan perangkat yang lebih ringkas, hemat daya, dan mudah direalisasikan. Motor DC dan LED dipilih karena konsumsi daya yang rendah serta kemudahan integrasinya ke dalam berbagai aplikasi. Penggabungan kedua komponen ini dalam satu sumber tegangan tunggal dengan konfigurasi paralel tidak hanya menyederhanakan rancangan, tetapi juga berpotensi meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi listrik. Efisiensi energi pada sistem seperti ini ditentukan oleh kemampuan rangkaian dalam mengubah energi listrik menjadi energi mekanik pada motor DC dan energi cahaya pada LED dengan kerugian daya minimal. Dalam rangkaian paralel, tegangan pada masing-masing komponen bernilai sama, namun arus yang mengalir ditentukan oleh karakteristik beban masing-masing. Perbedaan nilai impedansi inilah yang menghasilkan distribusi arus berbeda sehingga dapat memengaruhi kinerja keseluruhan sistem. Oleh karena itu, analisis efisiensi energi diperlukan untuk memahami bagaimana pembagian arus dalam konfigurasi paralel memengaruhi performa total perangkat (Alhani & Anayi, 2023). Penelitian ini secara khusus menganalisis efisiensi energi pada alat Lumina Drive yang mengintegrasikan motor DC dan LED berbasis sumber tegangan tunggal.

Pada alat Lumina Drive, efisiensi energi dianalisis dengan membandingkan total energi keluaran yang dihasilkan oleh motor DC dan LED terhadap energi masukan dari sumber tegangan tunggal. Karena rangkaian disusun secara paralel, setiap komponen menerima tegangan yang sama, sedangkan arus terbagi sesuai karakteristik bebannya masing-masing. Energi keluaran pada sistem ini merupakan penjumlahan energi mekanik dari kedua motor DC dan energi cahaya dari LED, sedangkan energi masukan berasal dari total energi listrik yang disuplai baterai selama alat beroperasi. Nilai efisiensi kemudian dihitung melalui perbandingan antara energi keluaran total dan energi masukan. Efisiensi yang tinggi menunjukkan bahwa sistem mampu mengonversi energi listrik menjadi energi mekanik dan cahaya dengan kerugian minimal, sedangkan efisiensi yang rendah menggambarkan adanya kehilangan energi yang signifikan akibat faktor mekanis, resistif, maupun distribusi arus pada cabang-cabang beban.

Hasil penelitian yang dilakukan oleh (Marzuki & Purwanto, 2024) menjelaskan bahwa penggunaan rangkaian paralel dalam sistem gabungan antara motor DC dan LED dapat meningkatkan efisiensi karena arus terdistribusi lebih stabil serta resistansi total menurun. Selanjutnya, studi dari (Azim et al., 2024) menyebutkan bahwa integrasi beberapa komponen elektronika pada satu sumber tegangan dapat mengurangi rugi daya akibat perbedaan tegangan antar beban, sehingga konversi energi menjadi lebih efisien.

Studi terbaru menunjukkan bahwa pengendalian dan pengaturan daya pada sistem multi-beban memiliki peran penting dalam meningkatkan efisiensi energi. Metode seperti *Pulse Width Modulation* (PWM) dan konverter DC–DC berefisiensi tinggi terbukti mampu menjaga kestabilan tegangan serta mengoptimalkan distribusi daya pada tiap cabang rangkaian (Agrawal et al., 2022). Pada sistem dengan lebih dari satu beban listrik, kestabilan tegangan sangat krusial agar setiap komponen menerima energi sesuai kebutuhannya dan tidak terjadi rugi daya akibat fluktuasi arus. Prinsip ini relevan untuk dikaitkan dengan prototype Lumina Drive, yang mengoperasikan dua motor DC dan satu LED secara paralel pada satu sumber tegangan tunggal.

Selain itu, penelitian terbaru mengenai driver LED menunjukkan bahwa desain rangkaian yang tepat dapat menurunkan kehilangan energi hingga 20–30% dibandingkan dengan sistem konvensional, terutama pada kondisi beban ringan (Shaker et al., 2024). Temuan ini menekankan bahwa karakteristik beban seperti LED sangat dipengaruhi oleh kualitas pengaturan daya, sehingga sistem paralel sederhana seperti Lumina Drive juga berpotensi ditingkatkan efisiensinya pada masa depan.

Pada sisi motor DC, metode pengendalian yang digunakan sangat memengaruhi efisiensi konversi energi dari listrik menjadi energi mekanik. Penelitian (Agrawal et al., 2022) menunjukkan bahwa teknik kontrol seperti sinusoidal PWM atau *Space Vector Modulation* (SVM) mampu menurunkan rugi switching dan meningkatkan efisiensi konversi daya hingga lebih dari 90%. Berbeda dengan penelitian tersebut, motor DC pada Lumina Drive disuplai langsung dari baterai tanpa mekanisme kontrol lanjutan, sehingga wajar jika terjadi rugi daya lebih besar dan efisiensi mekanik yang rendah. Temuan penelitian terdahulu ini memberikan

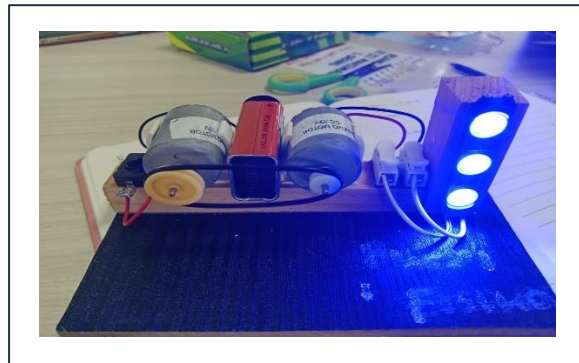
gambaran bahwa performa Lumina Drive dapat ditingkatkan di masa mendatang melalui integrasi teknik kontrol daya yang lebih efisien.

Meskipun demikian, efisiensi total sistem gabungan seperti Lumina Drive tidak hanya bergantung pada rancangan kelistrikannya saja, tetapi juga pada faktor lingkungan seperti suhu kerja, kondisi beban, serta kestabilan pasokan daya. Sistem manajemen energi yang menggunakan metode optimasi dan pemantauan real-time terbukti mampu meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem kelistrikan skala kecil (Shaker et al., 2024).

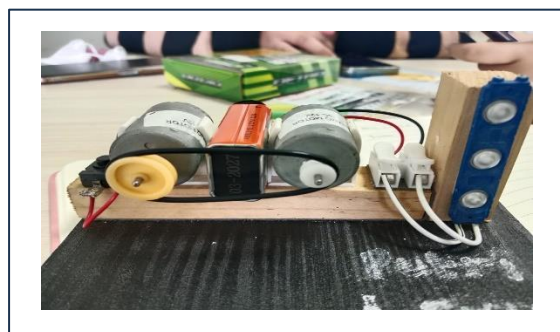
Oleh sebab itu, kajian mengenai efisiensi energi pada alat Lumina Drive menjadi sangat penting untuk mengetahui seberapa besar energi listrik yang dapat dimanfaatkan menjadi energi berguna, serta untuk mengidentifikasi bagian sistem yang menyebabkan rugi daya. Temuan dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi hemat energi berbasis integrasi motor DC dan LED dengan satu sumber tegangan dalam konfigurasi paralel.

2. METHOD

Prototipe Lumina Drive adalah inovasi yang menghubungkan motor DC dan LED dalam satu sistem dengan satu sumber tegangan. Konsep ini memungkinkan dua komponen berbeda—beban motor berfungsi sebagai penggerak mekanik dan LED berfungsi sebagai beban optik. Dengan demikian, prototipe dapat bekerja secara bersamaan tanpa memerlukan sumber daya yang berbeda. Lumina Drive memiliki kemampuan untuk berfungsi sebagai visualiser transformasi energi, yang berarti energi mekanik yang dihasilkan oleh motor DC diubah menjadi cahaya yang dipancarkan oleh LED.

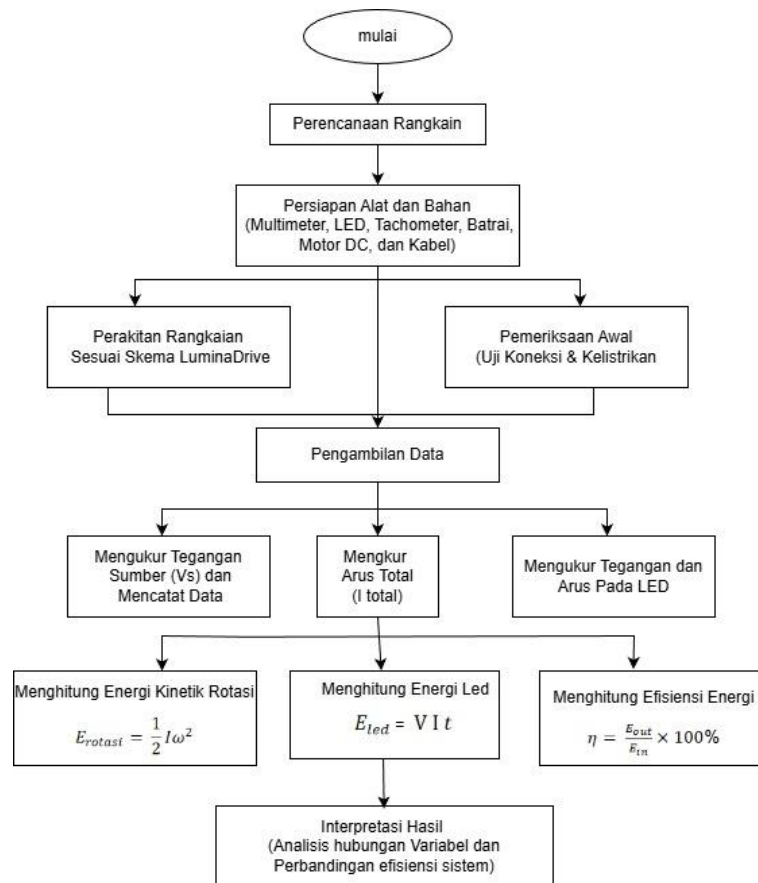


Gambar 1. Prototipe Lumina Drive dalam keadaan menyala



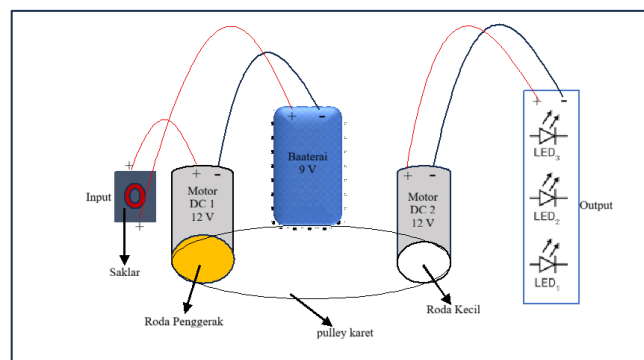
Gambar 2. Prototipe Lumina Drive dalam keadaan mati

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen kuantitatif yang bertujuan untuk mengukur, menganalisis, dan membandingkan besaran listrik dan energi pada setiap komponen dalam prototipe Lumina Drive. Metode eksperimen dipilih karena mampu memberikan data empiris yang akurat mengenai hubungan antara energi input dan energi output pada sistem rangkaian paralel berbasis sumber tegangan tunggal. Pendekatan eksperimen dalam penelitian ini dilakukan dengan cara menguji langsung kinerja prototipe Lumina Drive menggunakan parameter terukur, yaitu tegangan (V), arus listrik (I), dan kecepatan putar motor DC (rpm). Seluruh pengukuran dilakukan menggunakan alat ukur digital berupa multimeter dan tachometer untuk memastikan reliabilitas data.

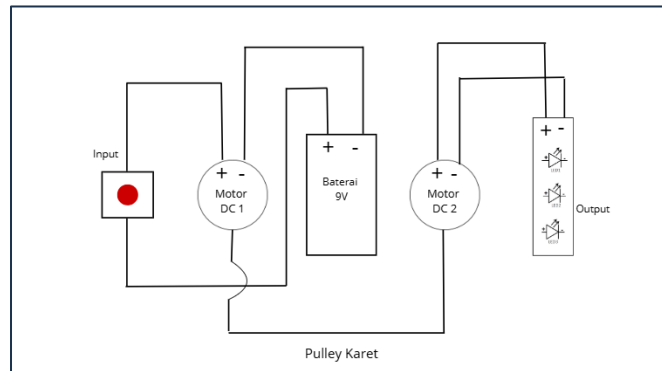


Gambar 3. Flowchart Alur Penelitian

Pengumpulan data dilakukan melalui tahapan pengukuran tegangan dan arus pada masing-masing cabang rangkaian, yaitu cabang Motor DC 1, Motor DC 2, dan cabang LED. Hal ini didasarkan pada karakteristik rangkaian paralel, di mana setiap beban memperoleh tegangan yang sama namun arus terbagi menurut impedansi masing-masing komponen. Nilai tegangan diukur dengan menyusun multimeter secara paralel pada tiap komponen, sementara arus diukur dengan menyusun multimeter secara seri pada masing-masing cabang. Setelah itu, kecepatan putar rotor pada kedua motor DC diukur menggunakan tachometer dengan menempatkan sensor pada poros motor.



Gambar 4. Skema Prototipe LumuninaDrive



Gambar 5. Skema Rangkaian Prototipe LumuninaDrive

Hasil pengukuran parameter listrik digunakan untuk menghitung energi input (E_{in}) dan energi output (E_{out}) pada setiap komponen. Energi input dihitung berdasarkan persamaan dasar:

$$E_{in} = VIt \quad (1)$$

dengan t merupakan durasi operasional prototipe selama 60 detik. Sementara itu, energi output motor DC diperoleh melalui perhitungan energi kinetik rotasi menggunakan persamaan:

$$E_k = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (2)$$

dengan I adalah momen inersia roda motor dan ω adalah kecepatan sudut hasil konversi dari nilai rpm. Energi LED dihitung berdasarkan daya listrik yang diserap komponen selama periode pengoperasian. Data numerik yang telah diperoleh kemudian dianalisis secara kuantitatif untuk menentukan tingkat efisiensi masing-masing komponen, dihitung melalui perbandingan energi output terhadap energi input:

$$\eta = \frac{E_{out}}{E_{in}} \times 100 \% \quad (3)$$

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui seberapa efektif prototipe Lumina Drive dalam mengubah energi listrik menjadi energi mekanik dan energi cahaya, serta mengidentifikasi komponen yang memberikan kontribusi terbesar dan terkecil terhadap total efisiensi sistem.

3. RESULT AND DISCUSSION

3.1. Result

Pada bagian ini disajikan hasil pengukuran yang meliputi tegangan, arus, energi kinetik rotasi, serta efisiensi dari masing-masing komponen pada prototipe *Lumina Drive*. Data hasil pengukuran diperoleh melalui pengujian langsung pada sistem rangkaian dengan sumber tegangan tunggal sebesar 9 V. Tabel 1 menunjukkan hasil pengukuran tegangan dan arus dari masing-masing komponen.

Table 1. Arus dan tegangan masing-masing komponen		
Komponen	Tegangan (V)	Arus (A)
Motor DC 1	9	0.080
Motor DC 2	9	0.080
LED	9	0.018
Total	9	0.178

Selanjutnya, dilakukan pengukuran energi pada masing-masing motor DC untuk mengetahui besar energi yang dikonsumsi oleh tiap komponen selama prototipe digunakan. Energi pada motor DC dihitung menggunakan

persamaan energi kinetik rotasi, sedangkan energi pada LED dihitung melalui perkalian antara tegangan, arus LED dan waktu pemakaian perangkat prototipe.

Table 2. Tingkat energi masing-masing komponen

Komponen	Energi (E)
Motor DC 1	8.6579×10^{-5}
Motor DC 2	2.86559×10^{-5}
LED	9.72

Setelah diketahui arus, tegangan, dan energi, dilakukan perhitungan energi yang masuk (E_{in}) dan energi yang keluar (E_{out}) untuk menentukan efisiensi energi dari sistem. Energi yang masuk diperoleh dari hasil perkalian antara tegangan sumber, arus total dan lama waktu prototipe digunakan, sedangkan energi keluar merupakan energi kinetik rotasi dari putaran roda motor DC dan energi listrik yang diserap LED selama prototipe menyala.

Table 3. Energi masukan dan energi keluaran masing-masing komponen

Komponen	E_{in} (J)	E_{out} (J)
Motor DC 1	43.2	8.6759×10^{-5}
Motor DC 2	43.2	2.86559×10^{-5}
LED	9.72	9.72
Total	96.12	9.7201 J

Berdasarkan hasil energi masuk dan keluar, maka efisiensi masing-masing komponen dapat dihitung sebagai berikut. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem Lumina Drive bekerja dengan baik dalam menyalakan LED, namun konversi energi listrik menjadi energi mekanik pada motor masih tergolong rendah.

Table 4. Efisiensi energi masing-masing komponen

Komponen	Efisiensi (%)
Motor DC 1	$9.007 \times 10^{-5} \%$
Motor DC 2	$2.98 \times 10^{-5} \%$
LED	10.11 %
Total	10.11 %

3.2. Discussion

Tabel 1 menunjukkan hasil pengukuran tegangan dan arus dari komponen-komponen dalam prototipe Lumina Drive, meliputi motor DC 1 dan Motor DC 2, serta LED. Hasil pengukuran tegangan dan arus menunjukkan bahwa setiap komponen sistem Lumina Drive memperoleh suplai tegangan sebesar 9 V. Nilai arus yang dihasilkan bervariasi, di mana motor DC 1 dan motor DC 2 masing-masing menyerap arus sebesar 0.080 A, sedangkan LED hanya menyerap 0.018 A. Perbedaan nilai arus ini menunjukkan bahwa beban listrik yang digunakan oleh motor DC lebih besar dibandingkan dengan LED. Hal ini sejalan dengan karakteristik motor DC yang memerlukan energi listrik lebih tinggi untuk menggerakkan motor dan mengatasi gaya gesek mekanik.

Tabel 2 menunjukkan hasil perhitungan nilai energi dari masing-masing komponen dalam prototipe Lumina Drive. Pada motor DC 1 dan motor DC 2. Motor DC adalah komponen utama prototipe Lumina Drive yang mengubah energi listrik dari sumber tegangan tunggal menjadi energi mekanik. Medan magnet di kumparan rotor menghasilkan gaya Lorentz ketika motor DC dialiri arus listrik. Ini menyebabkan rotor berputar. Putaran ini kemudian dipindahkan ke roda yang berada di ujung motor. Energi kinetik rotasi, yang merupakan bentuk sebenarnya dari energi keluaran motor, dihasilkan oleh rotasi roda sejalan dengan pendapat (Gultom, 2024) bahwa energi listrik menciptakan medan magnet yang berubah-ubah sehingga mampu menggerakkan sebuah batang besi yang dinamakan rotor untuk berputar mengikuti perubahan medan magnet. Konsumsi energi selama proses bekerja motor DC dipengaruhi oleh besarnya daya serta lama waktu operasi. Lama proses sangat ditentukan oleh kestabilan daya yang dihasilkan motor selama berputar. Ketika daya yang diserap motor meningkat, energi yang digunakan juga bertambah. Sebaliknya, jika daya yang diterima motor menurun, maka energi yang dikonsumsi ikut berkurang. Dengan demikian, jumlah energi yang terpakai tidak hanya dipengaruhi oleh durasi penggunaan, tetapi juga oleh fluktuasi dan besarnya daya yang bekerja pada motor DC selama proses berlangsung (Sartika et al., 2024) Hasil perhitungan menunjukkan bahwa energi yang dihasilkan oleh kedua motor DC pada alat Lumina Drive

relatif kecil dibandingkan dengan energi listrik total yang dikonsumsi sistem. Dalam hal energi kinetik, Motor DC 1 menghasilkan 8.6579×10^{-5} J, sedangkan Motor DC 2 hanya menghasilkan 2.86559×10^{-5} J. Perbedaan ini disebabkan oleh karakteristik fisik kedua motor, yaitu perbedaan RPM, massa, dan diameter roda, yang masing-masing memengaruhi momen inersia dan kecepatan sudut. Nilai energi motor DC yang relatif kecil juga menunjukkan bahwa sebagian besar energi listrik hilang sebagai panas, gesekan, dan rugi-rugi internal motor, yang biasanya cukup besar pada motor DC berukuran mini. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa energi kinetik motor DC berada pada orde 10^{-5} joule. Nilai ini bukan merupakan kesalahan perhitungan, melainkan konsekuensi dari kondisi eksperimental. Motor DC mini yang digunakan memiliki momen inersia rotor dan roda yang sangat kecil, sehingga energi rotasi yang dihasilkan juga kecil meskipun motor mengalirkan arus. Selain itu, sistem transmisi berbasis sabuk karet menyebabkan slip selama putaran berlangsung, sehingga energi mekanik yang sampai ke roda semakin berkurang.

Jika dibandingkan dengan energi yang diserap LED, yaitu sebesar 9,72 J, terlihat bahwa komponen LED merupakan penyumbang konsumsi energi terbesar dalam rangkaian paralel ini. Temuan ini konsisten dengan prinsip bahwa konsumsi energi suatu komponen sangat dipengaruhi oleh daya yang digunakan selama interval waktu tertentu. LED bekerja dengan arus konstan selama 60 detik, sehingga energinya jauh lebih besar dibandingkan energi kinetik yang dihasilkan kedua motor DC yang dayanya fluktuatif dan cenderung kecil. Ini sejalan dengan gagasan yang ditemukan dalam penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa konsumsi energi sistem tidak hanya bergantung pada lamanya operasi, tetapi juga pada stabilitas sistem dan jumlah daya yang digunakan selama proses berlangsung. Sementara motor DC mengalami fluktuasi daya karena perubahan beban dan karakteristik mekanis motor, LED menerima daya yang relatif stabil, sehingga energi totalnya besar. Akibatnya, energi yang dikonsumsi motor DC jauh lebih rendah dibandingkan energi yang dikonsumsi LED.

Tabel 3 memperlihatkan perbandingan energi masuk (E_{in}) dan energi keluar (E_{out}) pada masing-masing komponen. Energi yang masuk kedalam motor merupakan energi yang diserap oleh motor DC selama motor menyala begitupun LED. Energi masukan dari masing-masing komponen ini dihitung melalui perkalian antara besar tegangan sumber yang masuk kedalam rangkaian dikali dengan besar arus dari motor DC dan LED dikali dengan lama waktu operasi. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa kedua motor DC pada alat Lumina Drive menerima arus yang sama ketika dioperasikan dalam rangkaian paralel. Kondisi ini dapat dijelaskan melalui teori dasar kelistrikan, di mana setiap cabang rangkaian paralel selalu memperoleh tegangan yang sama. Sejalan dengan pernyataan (Alexander & Sadiku, 2022) bahwa besarnya energi listrik yang diserap suatu komponen ditentukan oleh hubungan $E = VI t$ sehingga energi masukan bergantung secara langsung pada arus yang mengalir pada komponen tersebut.

Berdasarkan hasil perhitungan efisiensi energi pada masing-masing komponen sistem Lumina Drive menggunakan persamaan (3), diperoleh bahwa nilai efisiensi terbesar terdapat pada LED dengan efisiensi sebesar 10,11%. Hal ini terjadi karena energi yang diserap LED seluruhnya digunakan untuk menghasilkan cahaya tanpa melibatkan proses konversi mekanik yang kompleks. Dengan demikian, rugi-rugi energi pada LED relatif lebih kecil dibandingkan motor DC, sehingga efisiensinya terlihat lebih tinggi.

Motor DC 1 memiliki efisiensi sebesar 9.007×10^{-5} % sedangkan Motor DC 2 hanya mencapai 2.98×10^{-5} %. Perbedaan ini dapat dijelaskan melalui karakteristik kedua motor. Meskipun keduanya menerima energi input yang sama dalam rangkaian paralel, energi keluaran berupa energi kinetik rotasi sangat dipengaruhi oleh momen inersia dan kecepatan sudut masing-masing motor. Motor DC 1 menghasilkan energi kinetik yang lebih besar dibandingkan Motor DC 2, sehingga menghasilkan nilai efisiensi yang lebih tinggi. Selain itu, rugi-rugi energi seperti gesekan pada poros, hambatan internal lilitan, serta ketidaksempurnaan komponen mekanis turut memperbesar perbedaan efisiensi kedua motor tersebut.

Secara keseluruhan, efisiensi total sistem Lumina Drive sebesar 10.11 % menunjukkan bahwa sebagian besar energi input tidak dapat dikonversi secara efektif menjadi energi keluaran yang terbaca, baik dalam bentuk energi kinetik pada motor DC maupun energi cahaya pada LED. Besarnya rugi-rugi energi ini merupakan karakteristik umum pada sistem skala kecil berbasis motor DC mini, di mana efisiensi konversi energi sering kali rendah akibat faktor mekanik, resistansi bahan, ketidakstabilan arus, serta keterbatasan spesifikasi komponen. Dengan demikian, analisis efisiensi ini memperlihatkan bahwa LED merupakan komponen paling efisien dalam sistem, sedangkan motor DC memiliki efisiensi rendah karena mekanisme konversi energi yang lebih kompleks dan banyaknya rugi-rugi internal. Temuan dalam penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Hendra et al., 2022) yang menunjukkan bahwa efisiensi konversi energi pada sistem dengan mekanisme rotasi sangat dipengaruhi oleh kestabilan putaran, kondisi mekanik, dan variasi beban. Pada penelitian Lumina Drive, motor DC menunjukkan gejala serupa, di mana variasi arus dan beban menyebabkan perbedaan energi input dan output yang signifikan. Hal ini mengindikasikan bahwa kerugian energi pada sistem kecil berbasis motor DC dapat dianalisis menggunakan prinsip yang sama seperti pada generator rotasi.

Sejalan dengan pernyataan (Nurmalia et al., 2021) yang menyebutkan bahwa beberapa faktor penyebab rendahnya efisiensi motor DC dalam penelitian ini dapat disebabkan oleh gesekan poros motor, tidak adanya sistem pereduksi rugi energi, serta karakteristik motor DC yang memang memiliki rugi konversi cukup besar,

nilai efisiensi sistem dipengaruhi oleh perbedaan energi masukan dan energi keluaran yang dihasilkan. Desain fisik komponen motor sangat memengaruhi efisiensi, termasuk diameter magnet permanen, jumlah lilitan, dan kondisi beban. Meskipun penelitian ini dilakukan pada motor BLDC flux axial, prinsip kerugian internal akibat gesekan, kerugian magnetik, dan kerugian tembaga (hilangnya tembaga) juga terjadi pada motor DC biasa.

Hasil penelitian ini memberikan pemahaman penting mengenai perilaku konversi energi pada sistem kelistrikan skala kecil, khususnya pada perangkat yang menggabungkan beban mekanik (motor DC) dan beban elektronik (LED) dalam satu sumber tegangan. Rendahnya energi mekanik yang dihasilkan motor DC dibandingkan energi input menunjukkan bahwa rugi energi internal pada motor mini sangat dominan. Temuan ini sekaligus menunjukkan bahwa Lumina Drive dapat menjadi media pembelajaran yang efektif untuk menjelaskan konsep efisiensi, rugi energi, dan pembagian arus pada rangkaian paralel. Menurut penelitian ini, besar energi input dan kualitas komponen mekanik berkontribusi pada nilai efisiensi. Akibatnya, sistem seperti Lumina Drive dapat digunakan sebagai model untuk memahami bagaimana konversi energi terjadi di dunia nyata, seperti pada perangkat listrik rumah tangga, mainan listrik, dan sistem motor kecil lainnya.

Beberapa keterbatasan ditemukan selama penelitian. Pengukuran arus menggunakan multimeter manual menyebabkan adanya ketidakstabilan nilai arus yang tidak dapat direkam secara kontinu. Motor DC mini memiliki variasi kecepatan yang cukup signifikan akibat fluktuasi arus, sehingga berdampak pada perhitungan energi kinetik rotasi. Penggunaan sabuk karet sebagai media transmisi juga menimbulkan slip dan rugi gesekan yang tidak dapat dihitung secara akurat. Selain itu, kondisi motor DC yang tidak sepenuhnya identik serta toleransi alat ukur seperti tachometer dan multimeter berpotensi menimbulkan error sistematis. Faktor-faktor tersebut menjadi penyebab utama rendahnya efisiensi total sistem dan menjadi batasan yang perlu diperhatikan dalam interpretasi hasil penelitian.

4. CONCLUSION AND RECOMMENDATION

Lumina Drive yang dirancang dengan mengintegrasikan motor DC dan LED pada satu sumber tegangan dalam konfigurasi rangkaian paralel mampu berfungsi dengan baik dalam memperlihatkan proses konversi energi listrik menjadi energi mekanik dan energi cahaya secara bersamaan. Dari hasil pengukuran diperoleh bahwa total energi keluaran sistem sebesar 9.7201 J dari energi masukan 96.12 J, sehingga menghasilkan efisiensi keseluruhan sebesar 10.11 %. Energi kinetik yang dihasilkan oleh motor DC berada pada orde 10^{-5} joule, yang mencerminkan karakteristik fisik motor mini serta kondisi eksperimental. Nilai energi yang rendah ini disebabkan oleh momen inersia rotor dan roda yang sangat kecil, slip pada sabuk karet sebagai transmisi mekanik, serta fluktuasi kecepatan putar akibat ketidakstabilan arus. Rugi-rugi gesekan, rugi tembaga, dan rugi magnetik internal turut memperbesar selisih antara energi masuk dan energi keluar pada motor DC, sehingga efisiensi mekaniknya tampak sangat rendah. Nilai efisiensi ini menunjukkan bahwa sebagian energi listrik masih hilang akibat rugi daya pada motor DC dan resistansi internal rangkaian. Secara keseluruhan, Lumina Drive terbukti efektif sebagai media pembelajaran untuk memperlihatkan prinsip dasar pembagian arus dalam rangkaian paralel serta konsep konversi energi listrik menjadi energi cahaya dan energi mekanik. Meskipun efisiensi total sistem masih rendah, perangkat ini memberikan gambaran empiris mengenai sumber-sumber rugi energi pada motor DC dan potensi optimalisasi desain untuk penelitian selanjutnya.

Penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan menggunakan motor DC yang memiliki spesifikasi lebih seragam serta sistem transmisi mekanik yang lebih stabil seperti roda gigi atau pulley dengan sabuk yang lebih kaku. Penggunaan sensor berbasis mikrokontroler untuk merekam arus dan tegangan secara real-time dapat meningkatkan akurasi data. Selain itu, penelitian dapat diperluas dengan menganalisis pengaruh variasi beban mekanis, variasi tegangan sumber, serta perbandingan antara rangkaian seri dan paralel dalam pembagian energi. Pengembangan ini diharapkan dapat memperbaiki efisiensi sistem dan memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai mekanisme konversi energi pada perangkat listrik skala kecil.

5. ACKNOWLEDGE

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Program Studi Pendidikan Fisika dan Laboratorium Pendidikan Fisika atas fasilitas dan dukungan yang diberikan selama proses penelitian ini.

REFERENCES

- Agrawal, D., Kakde, B., & Karn, R. (2022). Performance Analysis of LED Driver Circuit using DC-DC Converter Topology. *WSEAS Transactions on Systems*, 21, 185–192. <https://doi.org/10.37394/23202.2022.21.20>
- Alexander, C., & Sadiku, M. (2022). *Fundamentals of Electric Circuits (7th ed)*. McGraw-Hill Education.
- Alhani, E., & Anayi, F. (2023). The design of a hybrid DC/DC converter for LED lighting system using a single switch. *Energy Reports*, 10(October), 4491–4502. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.10.081>.

- Gultom, K. H. (2024). *Analisis Efisiensi Energi pada Kendaraan Sepeda Listrik* [Universtas Medan Area]. <https://repositori.uma.ac.id/handle/123456789/26610>
- Hendra, Suhartini, Y., Indriani, A., Hanuary, F., Hernadewita, Hardian, F., & Hermiyetti. (2022). Pembuatan dan Uji Kerja Generator AC Gerak Translasi dan Rotasi untuk Pembangkit Listrik Energi Terbarukan. *Prosiding Simposium Nasional Rekayasa Aplikasi Perancangan Dan Industri*, 229–234. <https://rapi.ums.ac.id/2021>
- Nurmalia, A., Hadi, W., & Cahyadi, W. (2021). Performance Test of Three-Phase Brushless Direct Current Motor Axial Flux with Differences Diameter of Neodymium Type Permanent Magnet. *ELKHA : Jurnal Teknik Elektro*, 13(1), 55–62. <https://doi.org/https://doi.org/10.26418/elkha.v13i1.41693>.
- Sartika, L., Praseyta, A. M., & Novtandy, T. (2024). Pengaruh Kecepatan Motor DC pada Mesin CNC Terhadap Konsumsi Energi di SMKN 2 Tarakan. *Media Elekrika*, 17(2), 121–132. <https://doi.org/https://doi.org/10.26714/me.v17i2.15527>.
- Shaker, H. K., Keshta, H. E., Mosa, M. A., & Ali, A. A. (2024). Energy management system for multi interconnected microgrids during grid connected and autonomous operation modes considering load management. In *Scientific Reports* 14 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-72952-5>.