

Analisis Efisiensi Konsumsi Daya Melalui Penerapan Mode *Deep Sleep* pada Sistem Pompa Air IoT Bertenaga Surya

Power Consumption Efficiency Analysis Using Deep Sleep Mode in a Solar-Powered IoT-Based Water Pump System

Nabilih Widya Liliani Eka Saputri¹, Royb Fatkhur Rizal*²

^{1,2}Program Studi D4 Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi, Universitas Negeri Malang
Jl. Semarang No.5, Malang, 65145, Indonesia

Corresponding author: fatkhurizal.fv@um.ac.id
¹nabilih.widya.2205317@students.um.ac.id

Received on 14-04-2026, accepted on 04-05-2026, published on 31-07-2026

Abstrak

Integrasi teknologi *Internet of Things* (IoT) dengan sistem energi terbarukan memungkinkan proses pemantauan dan pengendalian dilakukan secara otomatis, menjadikannya sangat ideal untuk diterapkan di lokasi terpencil yang tidak terjangkau jaringan listrik konvensional. Sistem yang dikembangkan memiliki kemampuan untuk memantau ketinggian air dan mengontrol pengoperasian pompa secara otomatis, dengan data yang dikirimkan ke *platform Home Assistant* untuk pemantauan secara *real-time*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penerapan mode *deep sleep* terhadap nilai arus, tegangan, serta konsumsi daya pada sistem pompa air berbasis IoT bertenaga surya. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen dengan model *One Group Pre-test–Post-test Design* untuk membandingkan kinerja sistem sebelum dan sesudah penerapan mode *deep sleep*. Parameter listrik yang diukur meliputi arus dan tegangan untuk menganalisis pengaruhnya terhadap konsumsi daya sistem. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan mode *deep sleep* berhasil mengurangi konsumsi arus hingga 0,0538A, sementara nilai tegangan tetap stabil dan tidak mengalami perubahan yang signifikan. Selain itu, sistem mampu mencapai efisiensi penghematan daya sebesar 51,24%. Hasil ini membuktikan bahwa mode *deep sleep* efektif dalam meningkatkan efisiensi energi tanpa memengaruhi karakteristik tegangan sistem. Dengan demikian, penerapan mode *deep sleep* efektif dalam meningkatkan persentase penghematan daya dan memperpanjang masa operasional sistem pompa air berbasis IoT bertenaga surya.

Kata kunci: Arus, *Internet of Things* (IoT), Mode *Deep sleep*, Sistem Pompa Air, Tegangan.

Abstract

The integration of *Internet of Things* (IoT) technology with renewable energy systems enables automated monitoring and control processes, making it ideal for deployment in remote areas that are not connected to conventional electrical grids. The developed system is capable of monitoring water levels and automatically controlling pump operations, with data transmitted to the *Home Assistant* platform for *real-time* monitoring. This study aims to analyze the effect of implementing *deep sleep* mode on current, voltage, and power consumption in a solar-powered IoT-based water pump system. The research method used is an experimental method employing a *one-group pre-test–post-test design* to compare system performance before and after the implementation of *deep sleep* mode. The electrical parameters measured include current and voltage to analyze their impact on system power consumption. The results show that the implementation of *deep sleep* mode successfully reduced current consumption to 0.0538A, while the voltage remained stable without significant changes. Additionally, the system achieved a power-saving efficiency of 51.24%. These results prove that *deep sleep* mode effectively

improves energy efficiency without affecting voltage characteristics. Therefore, the implementation of deep sleep mode is effective in increasing the power-saving percentage and extending the operational lifetime of the solar-powered IoT-based water pump system.

Keywords: Current, Internet of Things (IoT), Deep Sleep Mode, Water Pump System, Voltage

I. INTRODUCTION

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) telah mendorong inovasi di berbagai sektor, termasuk sektor pertanian serta sektor distribusi air yang juga menggunakan energi terbarukan sebagai sumber energinya. Implementasi sistem IoT memungkinkan proses pemantauan dan pengendalian sistem secara *real-time*, sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan keandalan operasional sistem khususnya pada sistem yang beroperasi secara mandiri [1], [2]. Salah satu contoh penerapannya yaitu sistem pompa air berbasis IoT yang menggunakan tenaga surya sebagai sumber energi utamanya. Sistem ini menjadi salah satu solusi yang banyak dikembangkan khususnya di daerah yang tidak terjangkau jaringan listrik karena tidak bergantung pada jaringan listrik konvensional. Sistem ini terdiri dari panel surya yang digunakan sebagai sumber energi utama dengan memanfaatkan energi matahari yang kemudian dikonversi menjadi energi listrik berdasarkan prinsip efek *photovoltaic*, yang selanjutnya digunakan untuk mengoperasikan pompa air [3], [5]. Energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya tersebut dapat digunakan secara langsung untuk menyuplai beban, atau dapat disimpan terlebih dahulu dalam baterai [6]. Dengan menggunakan kombinasi panel surya dan baterai, sistem pompa air dapat beroperasi secara mandiri tanpa bergantung pada jaringan listrik konvensional [4].

Sistem pompa air ini beroperasi dalam dua kondisi utama, yaitu kondisi aktif ketika pompa bekerja dan kondisi siaga ketika pompa tidak beroperasi. Pada kondisi siaga, terdapat komponen yang tetap aktif yaitu mikrokontroler [7]. Hal ini menunjukkan bahwa konsumsi daya listrik tetap berlanjut meskipun tidak adanya aktifitas pemompaan air. Kondisi ini sesuai dengan penelitian yang menunjukkan bahwa mikrokontroler terus mengonsumsi arus dan daya meskipun sistem dalam berbagai mode operasi, sehingga tetap terjadi konsumsi energi meskipun sistem pada kondisi tidak beroperasi [8]. Berdasarkan hal tersebut, kondisi ini dapat berpengaruh pada efisiensi konsumsi daya dan durasi operasional sistem, khususnya pada sistem yang bergantung pada tenaga surya dengan pasokan energi yang tidak stabil. Apabila konsumsi daya pada kondisi siaga berlangsung dalam durasi yang lama, maka energi yang tersimpan pada baterai akan cepat berkurang [9]. Diperlukan adanya strategi manajemen daya yang efektif guna meningkatkan efisiensi penggunaan daya sehingga perangkat dapat beroperasi secara optimal dalam jangka waktu yang lebih lama. Maka, penerapan metode manajemen daya menjadi salah satu aspek yang perlu diperhatikan dalam meningkatkan efisiensi konsumsi daya pada sistem IoT [10].

Salah satu solusi yang dapat digunakan yaitu dengan memanfaatkan fitur penghematan daya pada mikrokontroler. ESP32 merupakan salah satu mikrokontroler yang sering digunakan dalam sistem IoT karena memiliki kemampuan multifungsi, komunikasi nirkabel serta memiliki fitur manajemen daya yang mendukung penghematan daya [11], [12]. Salah satu fitur penghematan daya yang dimiliki oleh ESP32 yaitu mode *deep sleep*, dimana mode ini mampu menonaktifkan sebagian besar komponen internal pada ESP32 guna menekan konsumsi daya [13]. Penerapan mode ini terbukti mampu mengurangi konsumsi arus secara signifikan pada perangkat IoT, terutama ketika perangkat dalam kondisi siaga. Beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa penerapan mode hemat daya seperti *deep sleep* dapat meningkatkan efisiensi konsumsi daya dan memperpanjang operasional baterai [14]. Berdasarkan hal tersebut, penerapan mode *deep sleep* juga mempengaruhi karakteristik kelistrikan dari sistem secara keseluruhan. Perubahan nilai arus dan tegangan antara kondisi aktif dan kondisi siaga tersebut menggambarkan konsumsi daya listrik sistem pada kedua kondisi tersebut. Nilai arus dan tegangan menjadi parameter utama untuk mengetahui konsumsi daya yang digunakan pada sistem ini, karena penerapan mode *deep sleep* membuat sebagian besar komponen pada ESP32 dalam kondisi tidak aktif, sehingga arus yang mengalir menurun secara signifikan. Dengan demikian, perbandingan kedua parameter utama tersebut antara kedua kondisi sistem (aktif dan siaga) menunjukkan seberapa besar pengaruh penerapan mode *deep sleep* terhadap penurunan konsumsi daya pada sistem pompa air berbasis IoT bertenaga surya.

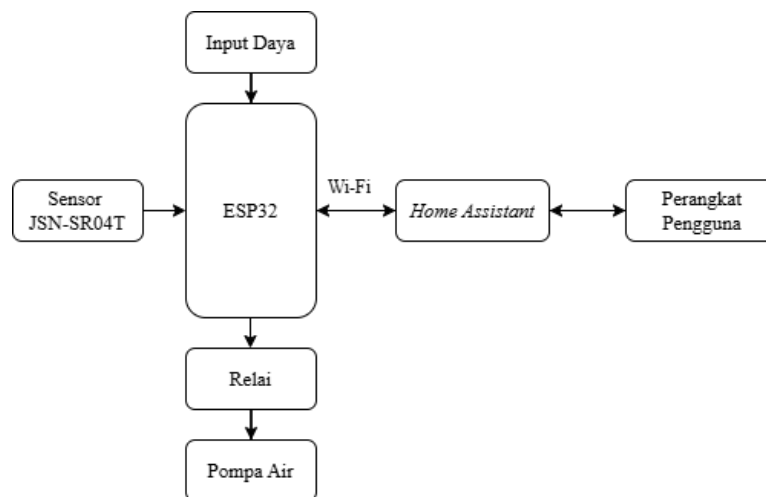
Berbagai penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem pompa air yang memanfaatkan tenaga surya sebagai sumber energi utamanya yang terintegrasi dengan teknologi *Internet of Things* (IoT) untuk memudahkan pemantauan sistem. Penelitian pertama pada [1] membahas tentang perancangan sistem pompa air bertenaga surya yang terintegrasi dengan IoT guna melakukan pemantauan parameter listrik seperti tegangan, arus dan daya. Pada penelitian pertama memanfaatkan tenaga surya sebagai sumber energi

utamanya yang juga memanfaatkan baterai sebagai tempat penyimpanan energi, sehingga kinerja sistem dapat dipantau melalui jarak jauh. Pada penelitian lainnya juga melakukan pengembangan *prototype* sistem pompa air bertenaga surya untuk kebutuhan irigasi yang dilengkapi dengan sensor dan *monitoring* penggunaan air, selain itu dilengkapi juga dengan sistem kontrol otomatis yang dapat mempermudah proses operasional [15]. Selanjutnya, penelitian pada [16] mengkaji tentang implementasi mode *deep sleep* pada sistem pendeteksi asap rokok. Namun pada penelitian tersebut mode *deep sleep* diterapkan pada sistem pendeteksi asap rokok. Selain itu, pada dua penelitian di awal masih berfokus pada aspek *monitoring*, kontrol dan efisiensi operasional sistem, serta belum mengkaji tentang optimasi konsumsi daya dan penghematan daya pada sistem, khususnya melalui penerapan mode *deep sleep*.

Berdasarkan permasalahan tersebut, rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh penerapan mode *deep sleep* terhadap nilai arus dan tegangan pada sistem ini, serta untuk mengetahui seberapa besar pengaruh mode *deep sleep* terhadap penurunan konsumsi daya pada sistem pompa air berbasis IoT bertenaga surya. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui seberapa besar tingkat penghematan daya sistem dalam bentuk persentase. *Novelty* dalam penelitian ini terletak pada analisis kuantitatif terhadap efektivitas penerapan mode *deep sleep* dalam meningkatkan efisiensi konsumsi daya pada sistem pompa air berbasis IoT bertenaga surya. Berbeda pada penelitian sebelumnya yang berfokus pada implementasi sistem dan aspek monitoring, penelitian ini mengkaji konsumsi daya melalui pengukuran parameter listrik seperti arus dan tegangan pada kondisi sebelum dan sesudah penerapan mode *deep sleep*. Selain itu, penelitian ini juga menghitung persentase penghematan daya pada sistem pompa air berbasis IoT bertenaga surya yang telah diterapkan mode *deep sleep*. Secara akademis, penelitian ini bertujuan untuk memperkaya literatur terkait penerapan mode *deep sleep* pada sistem IoT, khususnya dalam sistem pompa air yang memanfaatkan tenaga surya sebagai sumber energi utamanya.

II. RESEARCH METHOD

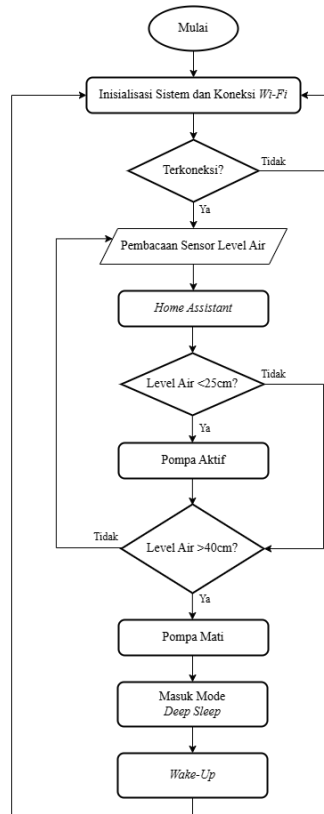
Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan eksperimen, yang bertujuan untuk menganalisis pengaruh penerapan mode *deep sleep* terhadap nilai arus, tegangan serta penurunan konsumsi daya pada sistem pompa air berbasis IoT bertenaga surya. Desain penelitian yang digunakan yaitu metode *pre-experimental* dengan model *One Group Pretest-Posttest Design*, yaitu dengan membandingkan kondisi sistem sebelum dan sesudah penerapan mode *deep sleep*. Sistem ini terdiri dari panel surya sebagai sumber energi utama, baterai sebagai sistem penyimpanan energi, mikrokontroler ESP32 sebagai pengendali utama, sensor JSN-SR04T dan pompa air dc sebagai beban utama sistem.



Gambar 1. Blok Diagram Sistem

Berdasarkan blok diagram sistem di atas, blok input daya terdiri dari panel surya dan baterai yang merupakan suplai utama sistem yang menghasilkan energi dari panel surya yang kemudian disimpan ke dalam baterai. Sensor JSN-SR04T sebagai komponen yang mendeteksi ketinggian air pada tangki penyimpanan lalu mengirimkan pembacaan sensor ke ESP32. Berdasarkan hasil pembacaan tersebut, ESP32 mengendalikan relai yang berfungsi sebagai saklar otomatis yang terhubung ke pompa air. Selain itu, ESP32 juga terhubung dengan jaringan *Wi-Fi* dan melakukan pengiriman data ke *platform Home Assistant* yang dapat diakses melalui perangkat pengguna. Dengan demikian, pengguna dapat melakukan

pemantauan dan pengendalian sistem pompa air melalui jarak jauh.



Gambar 2. Flowchart Sistem Kerja

Berdasarkan flowchart kerja sistem, proses dimulai dari inisialisasi sistem dan koneksi *Wi-Fi*, pada proses ini ESP32 melakukan konfigurasi awal sistem dan memastikan bahwa jaringan telah terhubung. Apabila sistem belum terkoneksi *Wi-Fi*, maka proses ini akan terus dilakukan hingga terjalin koneksi yang stabil. Setelah sistem terkoneksi, maka sistem akan melakukan pembacaan sensor ketinggian air pada tangki. Data pembacaan tersebut akan dikirim ke platform *Home Assistant* agar dapat dipantau secara *real-time*. Berdasarkan data tersebut, sistem akan melakukan pengambilan keputusan otomatis, ketika ketinggian air <25cm maka relai akan diaktifkan sehingga pompa mulai menyala untuk melakukan pengisian pada tangki air. Setelah itu sistem akan terus melakukan pembacaan sensor dan mengambil keputusan terhadap status *task*, ketika pengisian air telah selesai dengan ketinggian air >40cm maka sistem akan otomatis masuk ke mode *deep sleep* untuk menghemat energi. Setelah durasi *deep sleep* selesai, maka sistem akan otomatis aktif kembali dan mengulangi siklus kerja tersebut.

Proses penelitian dimulai dengan melakukan perancangan dan perakitan perangkat. Kemudian dilakukan penulisan kode program yang mencakup pengaturan mode *deep sleep*, logika kerja sistem, serta pengaturan interval *sleep* dan *wake-up*. Tahap berikutnya yaitu pengujian awal (*pre-test*), tahap ini mencakup pencatatan nilai arus dan tegangan sistem pada kondisi aktif atau tanpa penerapan mode *deep sleep*. Setelah itu dilakukan tahap perlakuan, tahap ini dilakukan menerapkan mode *deep sleep* pada sistem. Kemudian dilakukan pengujian lanjutan (*post-test*), pada tahap ini dilakukan pencatatan data nilai arus dan tegangan pada sistem guna memperoleh data setelah mode *deep sleep* diterapkan. Pencatatan data dilakukan secara berkala selama 7 hari dengan interval waktu tertentu dan pada waktu yang sama setiap harinya untuk memastikan konsistensi kondisi sistem selama pengujian. Data yang diperoleh merupakan nilai arus dan tegangan yang terukur pada digital multimeter untuk keseluruhan beban sistem. Selanjutnya data tersebut akan digunakan untuk menghitung daya listrik yang digunakan serta untuk menentukan persentase penghematan daya antara kondisi *pre-test* dan *post-test*. Analisis data dilakukan secara kuantitatif dengan cara membandingkan hasil pengukuran kondisi *pre-test* dan *post-test* untuk mengetahui seberapa efektif metode tersebut dalam meningkatkan efisiensi energi sistem ini.

III. RESULTS AND DISCUSSION

Penelitian ini dilakukan dalam dua kondisi, yaitu kondisi sebelum penerapan mode *deep sleep* (*pre-test*) dan kondisi setelah diterapkan mode *deep sleep* (*post-test*). Pengambilan data dilakukan ketika pompa air tidak beroperasi untuk mengamati konsumsi daya sistem dalam kondisi siaga. Parameter listrik yang diukur meliputi arus dan tegangan dengan interval waktu 10 detik dengan jumlah pengulangan sebanyak 150 kali untuk masing-masing kondisi. Hasil data mentah yang diperoleh selama penelitian selanjutnya diolah melalui perhitungan rata-rata menjadi 10 data representatif per hari untuk mempermudah proses analisis, sehingga total data akhir yang digunakan dalam pengujian statistik adalah 70 pasang data.

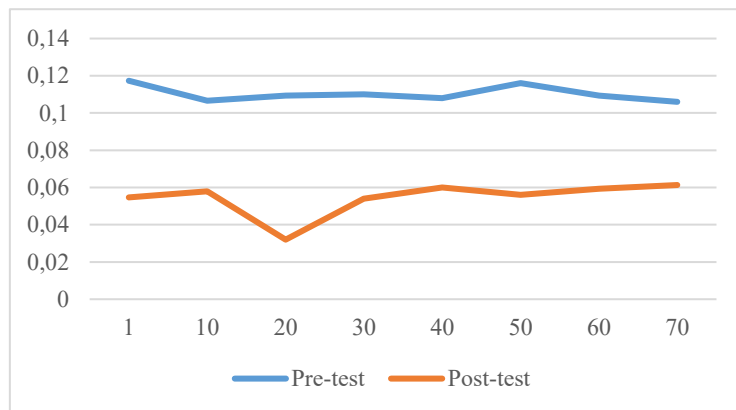
A. Hasil Pengukuran Arus

Pengukuran arus dilakukan untuk mengetahui seberapa besar arus listrik yang dikonsumsi oleh sistem saat perangkat beroperasi. Nilai arus yang mengalir pada sistem merupakan salah satu parameter penting dalam analisis konsumsi daya, dikarenakan nilai arus tersebut berpengaruh pada besarnya daya listrik yang digunakan oleh sistem pompa air ini. Maka dari itu, dengan melakukan pengukuran arus tersebut dapat diketahui perbedaan nilai arus serta pengaruh mode *deep sleep* pada sistem pompa air ini. Sebagian data hasil pengukuran arus pada kondisi *pre-test* dan *post-test* disajikan pada Tabel 1. sebagai representasi dari keseluruhan data yang diperoleh selama proses penelitian.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Arus

Arus <i>Pre-test</i> (A)	Arus <i>Post-test</i> (A)
0,114	0,055
0,111	0,061
0,113	0,043
0,116	0,053
0,112	0,037
0,111	0,047
0,113	0,053
0,096	0,052
0,11	0,054
0,109	0,032

Pada proses pengukuran arus didapatkan total 70 pasang data *pre-test* dan *post-test* dengan nilai rata-rata arus pada kondisi *pre-test* yaitu sebesar 0,1105 A. Sedangkan pada kondisi *post-test* atau setelah sistem diterapkan mode *deep sleep* memiliki nilai rata-rata arus sebesar 0,0538 A.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Arus

Pada Gambar 3. menunjukkan grafik perbandingan arus antara kondisi *pre-test* dan *post-test*. Sumbu horizontal mempresentasikan nomor pengujian, sedangkan sumbu vertikal mempresentasikan nilai arus dalam satuan *Ampere* (A). Berdasarkan grafik di atas terlihat bahwa penurunan arus berlangsung secara konsisten di semua titik pengamatan, yang menunjukkan bahwa penerapan mode *deep sleep* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap efisiensi konsumsi daya sistem. Terlihat bahwa pada kondisi *post-test*

atau kondisi setelah diterapkan mode *deep sleep*, sistem mengalami penurunan nilai arus. Penurunan nilai arus berbanding lurus dengan berkurangnya konsumsi daya, sehingga efisiensi energi meningkat serta memperpanjang masa pakai sumber daya menjadi lebih lama [17]. Pola grafik yang cukup stabil juga menandakan bahwa sistem beroperasi dalam keadaan yang teratur tanpa adanya fluktuasi yang ekstrem.

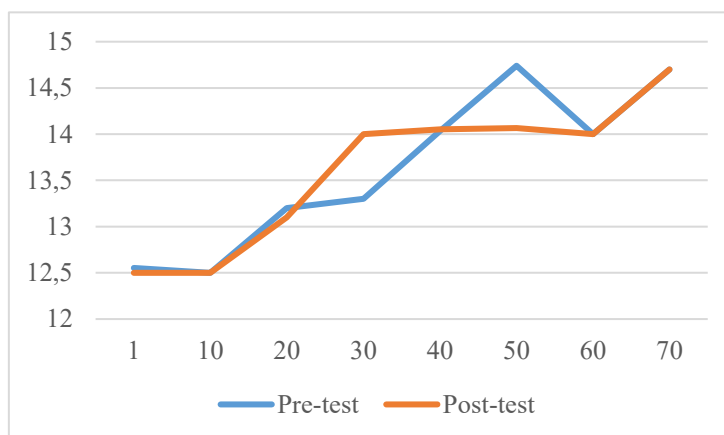
B. Hasil Pengukuran Tegangan

Pencatatan nilai tegangan dilakukan bersamaan dengan nilai arus yang dilakukan secara berkala dengan interval 10 detik selama periode pengujian. Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui apakah penerapan mode *deep sleep* juga berpengaruh secara langsung terhadap nilai tegangan sistem. Selain itu, pengukuran tegangan juga dilakukan untuk mengetahui apakah perubahan konsumsi daya yang terjadi disebabkan oleh variasi nilai tegangan atau hanya diakibatkan oleh perubahan nilai arus. Sebagian data hasil pengukuran tegangan pada kondisi *pre-test* dan *post-test* disajikan pada Tabel 2. sebagai representasi dari keseluruhan data yang diperoleh selama proses penelitian.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Tegangan

Tegangan <i>Pre-test</i> (V)	Tegangan <i>Post-test</i> (V)
13,06	13,25
13,1	13,22
13,1	13,16
13,1	13
13,1	13
13,1	13
13,14	13
13,28	13
13,2	13,05
13,2	13,1

Pada proses pengukuran nilai tegangan didapatkan 70 pasang data *pre-test* dan *post-test*. Berdasarkan hasil pengukuran tegangan sistem pada kedua kondisi menunjukkan bahwa tegangan relatif stabil pada kisaran 13V. Rata-rata tegangan pada kondisi *pre-test* sebesar 13,83 V, sedangkan rata-rata pada kondisi *post-test* sebesar 13,85. Hal tersebut membuktikan bahwa variasi daya dipengaruhi oleh perubahan nilai arus, serta penerapan mode *deep sleep* tidak memengaruhi nilai tegangan pada sistem.



Gambar 4. Grafik Perbandingan Tegangan

Pada Gambar 4. menunjukkan grafik perbandingan tegangan antara kondisi *pre-test* dan *post-test*. Sumbu horizontal mempresentasikan nomor pengujian, sedangkan sumbu vertikal mempresentasikan nilai tegangan dalam satuan *Volt* (V). Garis dengan warna biru menunjukkan nilai tegangan pada kondisi *pre-test*, sedangkan garis berwarna oranye menunjukkan nilai tegangan pada kondisi *post-test*. Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat bahwa nilai tegangan untuk kedua kondisi menunjukkan pola yang cukup mirip dan tidak memperlihatkan perbedaan yang signifikan. Hal ini membuktikan bahwa penerapan mode *deep sleep* tidak memberikan pengaruh terhadap perubahan nilai tegangan pada sistem.

Pada kondisi *pre-test*, tegangan meningkat secara bertahap seiring dengan bertambahnya titik pengukuran, dimulai dari 12,5V dan mencapai puncak sekitar 14,7V. sementara itu, di kondisi *post-test* tegangan juga mengalami kenaikan yang sama, dimulai dari sekitar 12,5V dan mencapai puncak sekitar 14,7V pada akhir pengukuran. Terdapat perbedaan kecil di beberapa titik, seperti pada data ke-30 dan ke-50, cenderung tidak signifikan dan masih berada dalam batas toleransi. Hal ini menunjukkan bahwa variasi tersebut disebabkan oleh faktor eksternal, seperti fluktuasi pada sumber energi matahari atau kondisi lingkungan sekitar, bukan akibat penerapan mode *deep sleep*.

C. Perhitungan Daya

Untuk melakukan perhitungan daya harus terlebih dahulu diketahui nilai arus dan tegangannya. Berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan didapat total nilai arus dan tegangan yang diperoleh dari 70 data pada kedua kondisi dengan nilai sebagai berikut:

Tabel 3. Nilai rata-rata arus dan tegangan pada kondisi pengujian

Kondisi Pengujian	Arus (A)	Tegangan (V)
<i>Pre-test</i>	0,1105	13,83
<i>Post-test</i>	0,0538	13,85

Pada Tabel 3. Menunjukkan nilai rata-rata pada variabel arus dan tegangan pada masing-masing kondisi pengujian yang didapat dari 70 pasangan data. Berdasarkan hasil tersebut, dapat diketahui bahwa rata-rata nilai arus pada kondisi pengujian *post-test* mengalami penurunan jika dibandingkan dengan kondisi pengujian *pre-test*. Hal ini menandakan bahwa terdapat peningkatan efisiensi dalam konsumsi daya setelah perlakuan (penerapan mode *deep sleep*). Di sisi lain, nilai rata-rata tegangan pada kedua kondisi pengujian tidak mengalami perubahan yang signifikan. Setelah total nilai serta rata-rata nilai arus dan tegangan pada masing-masing pengujian telah diketahui, maka dapat dilakukan perhitungan daya menggunakan persamaan berikut:

$$P = V \times I \quad (1)$$

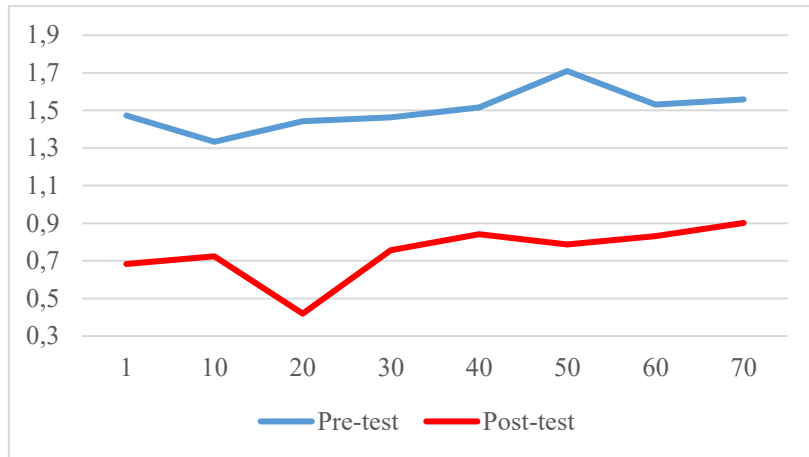
Daya listrik dengan satuan watt (P) dapat dihitung dengan cara mengalikan nilai tegangan (V) dengan nilai arus (I). Dengan menggunakan persamaan di atas, maka diperoleh perhitungan daya sebagai berikut:
Daya *Pre-test*

$$P_{pre} = 13,83 \times 0,1105 = 1,528 \text{ watt}$$

Daya *Post-test*

$$P_{post} = 13,85 \times 0,0538 = 0,745 \text{ watt}$$

Hasil perhitungan daya di atas menunjukkan bahwa konsumsi daya pada sistem mengalami penurunan yang cukup signifikan setelah penerapan mode *deep sleep*. Penurunan daya ini berbanding lurus dengan hasil pengukuran arus yang juga mengalami penurunan pada kondisi *post-test*. Hal tersebut terjadi dikarenakan ketika sistem masuk mode *deep sleep* maka sebagian komponen internal dari ESP32 dalam kondisi non-aktif, sehingga konsumsi arus menjadi lebih rendah yang berdampak pada penurunan daya. Hal ini membuktikan bahwa penerapan mode *deep sleep* menjadi solusi yang cukup efektif untuk mengurangi konsumsi daya pada sistem yang terintegrasi dengan IoT. Jika diterapkan dalam jangka waktu yang lama, penurunan daya akan memberikan dampak positif terhadap penghematan energi serta memperpanjang waktu operasional baterai.



Gambar 5. Grafik Perbandingan Konsumsi Daya

Pada Gambar 5. menunjukkan grafik perbandingan penggunaan daya antara kondisi *pre-test* dan *post-test*. Garis dengan warna biru menggambarkan kondisi sistem sebelum penerapan mode *deep sleep* (*pre-test*), sedangkan garis dengan warna merah menggambarkan kondisi sistem setelah penerapan mode *deep sleep* (*post-test*). Sumbu horizontal mempresentasikan nomor pengukuran, sedangkan sumbu vertikal mempresentasikan nilai daya dalam satuan Watt (W).

Berdasarkan grafik di atas terlihat jelas bahwa penggunaan daya pada kondisi *post-test* (ditunjukkan pada garis berwarna merah) secara konsisten lebih rendah daripada kondisi *pre-test* (ditunjukkan pada garis berwarna biru) di setiap titik pengamatan. Meskipun terdapat fluktuasi pada kedua kondisi, namun tren keseluruhan menunjukkan adanya penurunan konsumsi daya setelah penerapan mode *deep sleep* pada sistem. Grafik tersebut membuktikan bahwa penerapan mode *deep sleep* berhasil menurunkan konsumsi daya selama sistem beroperasi. Dengan demikian, metode yang diimplementasikan terbukti efektif dalam mengoptimalkan konsumsi daya tanpa menyebabkan peningkatan yang signifikan pada variabilitas penggunaan daya.

D. Persentase Penurunan Konsumsi Daya

Persentase penurunan konsumsi daya dihitung untuk mengetahui seberapa efektif penerapan mode *deep sleep* dalam mengurangi konsumsi daya pada sistem ini. Hasil dari perhitungan ini menunjukkan seberapa besar penurunan konsumsi daya yang dicapai akibat penerapan mode *deep sleep*. Nilai yang lebih tinggi mengindikasikan bahwa efisiensi daya yang lebih baik, sehingga memungkinkan sistem untuk beroperasi lebih lama dengan sumber daya yang sama. Perhitungan ini dilakukan dengan menggunakan nilai daya pada kondisi *pre-test* dan kondisi *post-test* dengan persamaan berikut:

$$\frac{P_{pretest} - P_{posttest}}{P_{pretest}} \times 100\% \quad (2)$$

Sehingga diperoleh:

$$\frac{1,528 - 0,745}{1,528} \times 100\% = 51,24\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, diketahui bahwa sistem mampu menghemat konsumsi daya lebih dari 50%, yang menandakan bahwa penerapan mode *deep sleep* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan efisiensi energi serta berpotensi memperpanjang masa operasional sistem. Hal tersebut dikarenakan ketika sistem diterapkan mode *deep sleep* maka beberapa komponen internal pada mikrokontroler ESP32 akan dinon-aktifkan selama periode tertentu yang mengakibatkan penurunan konsumsi arus pada sistem dan berbanding lurus dengan penurunan konsumsi daya.

E. Uji Statistik Wilcoxon Signed-Rank Test

Pada penelitian ini menerapkan metode eksperimental dengan model *One-Group Pre-test Post-test Design*. Maka dari itu metode uji statistik yang digunakan yaitu *Wilcoxon Signed Rank Test*. Uji *Wilcoxon*

Signed Rank Test merupakan uji statistik yang dikembangkan oleh Frank Wilcoxon pada tahun 1945 yang digunakan sebagai alternatif nonparametrik dari *paired t-test* yang digunakan untuk membandingkan dua data berpasangan pada objek yang sama, serta digunakan ketika data tidak berdistribusi normal [18]. Pengujian dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak SPSS dengan tingkat signifikansi sebesar 0,05. Kriteria dalam pengambilan keputusannya yaitu jika nilai signifikansi (Asymp. Sig (2-tailed)) kurang dari 0,005 berarti terdapat yang signifikan antara hasil pengujian *pre-test* dan *post-test*. Sebaliknya, jika nilai signifikansi melebihi 0,05, maka tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua kondisi pengujian. Maka dari itu, metode ini digunakan untuk menganalisis perbandingan perbedaan nilai arus dan tegangan antara kondisi sebelum (*pre-test*) dan kondisi setelah (*post-test*) penerapan mode *deep sleep* pada sistem pompa air berbasis IoT bertenaga surya. Data hasil penelitian yang telah di dapat akan dianalisis menggunakan *software* statistika SPSS. 70 pasang data antara *pre-test* dan *post-test* pada variabel arus dan tegangan akan dianalisis menggunakan metode ini. Hasil uji *Wilcoxon Signed Rank Test* pada variabel arus disajikan pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 4. Hasil Ranks Uji *Wilcoxon Signed Rank Test* pada Variabel Arus

Ranks				
Arus <i>Post-test</i> - Arus <i>Pre-test</i>		<i>N</i>	<i>Mean Rank</i>	<i>Sum of Ranks</i>
	<i>Negative Ranks</i>	70 ^a	35.50	2485.00
	<i>Positive Ranks</i>	0 ^b	.00	.00
	<i>Ties</i>	0 ^c		
	<i>Total</i>	70		

a. *Arus Post-test* < *Arus Pre-test*

b. *Arus Post-test* > *Arus Pre-test*

c. *Arus Post-test* = *Arus Pre-test*

Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 4. pada baris *Negative Ranks* dengan kolom *N* memiliki nilai 70, yang menandakan bahwa pada seluruh sample data penelitian (70 data) mengalami penurunan nilai arus setelah mode *deep sleep* diterapkan (*pre-test*). Sedangkan, pada kolom *Positive Ranks* memiliki nilai 0, yang berarti tidak ada data yang mengalami kenaikan arus setelah mode *deep sleep* diterapkan (*post-test*). Lalu pada baris *Ties* pada kolom *N* juga memiliki nilai 0 yang menandakan bahwa tidak ada satu data pun yang memiliki nilai yang sama pada kondisi *pre-test* dan *post-test*. Nilai *Mean Rank* sebesar 35.50 dan *Sum of Ranks* sebesar 2485.00 menunjukkan bahwa penurunan yang terjadi bersifat konsisten pada seluruh sample data. Hasil ini menunjukkan bahwa implementasi mode *deep sleep* memberikan dampak yang sama terhadap penurunan konsumsi arus pada sistem ini.

Tabel 5. Hasil Statistik Uji *Wilcoxon Signed Rank Test* pada Variabel Arus

Test Statistics^a	
	Arus <i>Post-test</i> - Arus <i>Pre-test</i>
<i>Z</i>	-7.273 ^b
<i>Asymp. Sig. (2-tailed)</i>	.000

a. *Wilcoxon Signed Ranks Test*

b. *Based on positive ranks.*

Berdasarkan hasil uji *Wilcoxon Signed Rank Test* untuk variabel arus pada Tabel 6. diperoleh nilai *Z* sebesar -7.273 dengan nilai signifikansi (Asymp. Sig 2-tailed) sebesar 0,000. Nilai signifikansi tersebut jauh lebih kecil dibandingkan tingkat signifikansi 0,05 ($0,000 < 0,05$). Hal ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara nilai arus pada kondisi sebelum (*pre-test*) dan kondisi setelah (*post-test*) mode *deep sleep* diterapkan. Nilai *Z* yang negatif menandakan bahwa arah perubahan cenderung menurun, yang berarti nilai arus setelah perlakuan (penerapan mode *deep sleep*) lebih rendah dibandingkan sebelum perlakuan. Dengan demikian, dapat diartikan bahwa penerapan mode *deep sleep* memberikan pengaruh signifikan dalam mengurangi konsumsi arus pada sistem pompa air berbasis IoT bertenaga surya, sehingga strategi mode penghematan daya menggunakan mode *deep sleep* tepat untuk diterapkan pada sistem pompa air berbasis IoT bertenaga surya. Hasil ini sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh [16] dengan hasil bahwa penerapan mode *deep sleep* mampu menurunkan konsumsi arus pada sistem berbasis IoT. Selain itu, pada penelitian yang dilakukan oleh [19] juga menunjukkan bahwa penerapan mode *deep sleep* mampu menurunkan konsumsi arus meskipun sistem yang digunakan berbasis Arduino Uno. Selanjutnya untuk hasil uji *Wilcoxon Signed Rank Test* pada variabel tegangan disajikan pada Tabel 7. dan Tabel 8.

Tabel 6. Hasil Ranks Uji *Wilcoxon Signed Rank Test* pada Variabel Tegangan

Ranks		N	Mean Rank	Sum of Ranks
Tegangan Post-test – Tegangan Pre-test	Negative Ranks	29 ^a	32.90	954.00
	Positive Ranks	35 ^b	32.17	1126.00
	Ties	6 ^c		
	Total	70		

a. Tegangan Post-test < Tegangan Pre-test

b. Tegangan Post-test > Tegangan Pre-test

c. Tegangan Post-test = Tegangan Pre-test

Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 7. pada baris *Negative Ranks* dengan kolom N memiliki nilai 29, yang menandakan bahwa pada 29 sampel data mengalami penurunan nilai tegangan setelah mode *deep sleep* diterapkan (*pre-test*). Sedangkan, pada kolom *Positive Ranks* memiliki nilai 35, yang berarti bahwa pada 35 sampel data mengalami kenaikan nilai tegangan setelah mode *deep sleep* diterapkan (*post-test*). Lalu pada baris *Ties* pada kolom N memiliki nilai 6 yang menandakan bahwa terdapat 6 sample data yang memiliki nilai yang sama pada kondisi *pre-test* dan *post-test*. Nilai *Mean Rank* pada *Negative Ranks* sebesar 32.90 dengan *Sum of Rank* 954.00, sedangkan pada *Positive Ranks* 32.17 dengan *Sum of Ranks* sebesar 1126.00. Nilai ini menunjukkan bahwa perubahan nilai tegangan yang terjadi setelah perlakuan (penerapan mode *deep sleep*) tidak terjadi secara konsisten, dikarenakan jumlah data yang mengalami kenaikan maupun penurunan relative seimbang serta terdapat beberapa data yang tidak mengalami perubahan.

Tabel 7. Hasil Statistik Uji *Wilcoxon Signed Rank Test* pada Variabel Tegangan

Test Statistics ^a	
	Tegangan Post-test – Tegangan Pre-test
Z	-.575 ^b
Asymp. Sig. (2-tailed)	.565

a. *Wilcoxon Signed Ranks Test*

b. Based on negative ranks

Berdasarkan hasil uji *Wilcoxon Signed Rank Test* untuk variabel tegangan pada Tabel 8. diperoleh nilai Z sebesar -0,575 dengan nilai signifikansi (asyp. Sig 2-tailed) sebesar 0,565. Nilai signifikansi tersebut jauh lebih besar dibandingkan tingkat signifikansi 0,05 ($0,000 < 0,05$). Hal ini menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara nilai tegangan pada kondisi sebelum (*pre-test*) dan kondisi setelah (*post-test*) mode *deep sleep* diterapkan. Nilai Z yang negatif menandakan bahwa arah perubahan cenderung menurun, yang berarti nilai tegangan setelah perlakuan (penerapan mode *deep sleep*) lebih rendah dibandingkan sebelum perlakuan, namun penurunan tersebut sangat kecil dan tidak signifikan secara statistik. Dengan demikian, dapat diartikan bahwa penerapan mode *deep sleep* tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap tegangan sistem. Tidak adanya perbedaan yang signifikan pada nilai tegangan sebelum (*pre-test*) dan sesudah (*post-test*) penerapan mode *deep sleep* ini disebabkan oleh karakteristik sumber tegangan yang digunakan. Pada penelitian ini, sumber energi yang digunakan yaitu baterai yang memiliki tegangan relatif stabil selama proses penelitian.

IV. CONCLUSION

Berdasarkan hasil penelitian serta analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan pada nilai arus antara mode aktif dan mode *deep sleep* pada sistem pompa air berbasis IoT bertenaga surya. Hal tersebut dapat dilihat dari adanya penurunan nilai arus pada kondisi pengujian *post-test* (mode *deep sleep*). Nilai rata-rata arus mengalami penurunan dari 0,1105 A pada kondisi *pre-test* (mode aktif) menjadi 0,0538 A pada kondisi *post-test* (setelah penerapan mode *deep sleep*), yang menunjukkan bahwa metode ini efektif dalam menekan konsumsi arus. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada nilai tegangan antara kedua kondisi pengujian tersebut, dimana nilai tegangan tetap stabil dalam rentang 13 V. Hal ini menunjukkan bahwa penerapan mode *deep sleep* tidak memberikan pengaruh terhadap karakteristik tegangan sistem. Selain itu, penerapan mode *deep sleep* juga sangat membantu dalam menurunkan konsumsi daya dengan nilai persentase penghematan daya sebesar 51,24%. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penerapan

mode *deep sleep* efektif dalam meningkatkan penghematan daya dan berpotensi untuk memperpanjang masa operasional sistem pompa air berbasis IoT bertenaga surya.

REFERENCES

- [1] R. W. Ramadhan, S. A. Hulukati, and I. F. Usman, "Prototype Sistem Pompa Air Tenaga Surya Dengan Monitoring Daya Berbasis IoT," *ELECTRICH SAN*, vol. 14, no. November, pp. 206–211, 2025, doi: <https://doi.org/10.37195/electrichsan.v14i1.1385>.
- [2] S. N. Rumokoy et al., "Konsep Desain Sistem Hidroponik Vertikal Berbasis IoT Bertenaga Surya," *J. Elektr.*, vol. 04, no. 01, pp. 13–20, 2025, doi: <https://doi.org/10.65485/elektrik.v4i1.1222>.
- [3] L. Gevorkov, L. Dom, and L. T. Romero, "Review on Solar Photovoltaic-Powered Pumping Systems," 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/en16010094>.
- [4] H. Jody et al., "Pemanfaatan Energi Matahari Menggunakan Panel Surya Untuk Penggerak Pompa Air," Universitas Sam Ratulangi Manado, 2021. [Online]. Available: <http://repo.unsrat.ac.id/id/eprint/3336>
- [5] Sutrisno, H. Witjahjo, and M. F. Saputra, "Perancangan Pompa Air Tenaga Surya," *J. Infotex*, vol. 3, no. 2, pp. 126–1135, 2025, [Online]. Available: <https://ojs.stttxmaco.ac.id/index.php/infotex/article/view/179>
- [6] R. Ferdiansyah, D. N. A. D. Putra, A. D. Nafi, and B. Tamam, "Solar Panel Charger Battery," *J. IDENTIK*, vol. 02, no. 4, pp. 47–55, 2025, [Online]. Available: <https://sihojournal.com/index.php/identik/article/view/579>
- [7] A. Y. Adriansyah and N. K. Ningrum, "IoT-Based Water Quality Monitoring and Control System for Koi Fish Ponds," *JAIC*, vol. 10, no. 1, pp. 923–934, 2026, doi: <https://doi.org/10.30871/jaic.v10i1.11715>.
- [8] S. Refly, H. A. Kusuma, J. T. Elektro, F. Teknik, U. Maritim, and R. Ali, "Analisis Konsumsi dan Fluktuasi Arus dan Daya pada Mikrokontroler Menggunakan Sensor INA219," vol. 11, no. 01, pp. 44–48, 2022.
- [9] G. S. Kuaban, E. Gelenbe, T. Czachórski, P. Czekalski, and J. K. Tangka, "Modelling of the Energy Depletion Process and Battery Depletion Attacks for Battery-Powered Internet of Things (IoT) Devices," *Sensors*, 2023, [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/s23136183>
- [10] S. Benhamaid, A. Bouabdallah, and H. Lakhef, "Recent Advances In Energy Management For Green-IoT : An Up-To-Date And Comprehensive Survey," *J. Netw. Comput. Appl.*, vol. 198, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2021.103257>.
- [11] S. N. Arfiyanti and A. Budiman, "Rancang Bangun Kotak Amal Cerdas Menggunakan ESP32 Dengan Integrasi Sistem Notifikasi Audio Berbasis EPS-Now," *Kolok. Ris. Mhs.*, 2025, [Online]. Available: <https://proceedings.ums.ac.id/korma/article/view/6694>
- [12] N. Indroasyoko, H. Rudiansyah, M. Fauzi, and I. Y. Wulandari, "Implementasi Sistem Kendali Kecepatan Motor Induksi Berbasis IoT (ESP32-Blynk) pada Indoor Wall Climbing," *Remik Ris. dan E-Jurnal Manaj. Inform. Komput.*, vol. 10, no. 1, pp. 105–116, 2026, doi: [10.33395/remik.v10i1.15633](https://doi.org/10.33395/remik.v10i1.15633).
- [13] Espressif Systems, "ESP32 Series Datasheet Version 5.0." Espressif Systems, 2025. [Online]. Available: https://documentation.espressif.com/esp32_datasheet_en.pdf#:~:text=ESP32 is a single 2.4 GHz Wi-Fi-and-Bluetooth,wide variety of applications and power scenarios.
- [14] K. S. Salamah and S. Anwar, "Rancang Bangun Sistem Pendeteksi Banjir Otomatis Berbasis Internet Of Things," *J. Teknol. Elektro*, vol. 12, no. 1, p. 40, 2021, doi: [10.22441/jte.2021.v12i1.008](https://doi.org/10.22441/jte.2021.v12i1.008).
- [15] F. Bisa, M. Mukhsim, and G. Priyandoko, "Perancangan Prototype Sistem Pompa Air Irigasi Tenaga Surya," *JASEE J. Appl. Sci. Electr. Eng.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–11, 2024, doi: <https://doi.org/10.31328/jasee.v5i1.518>.
- [16] M. Fathurahman and M. Rifaldi, "Implementasi Mode Deep Sleep pada Sistem Pendeteksi Asap Rokok Berbasis LoRa di Pesantren," *SPEKTRAL J. Commun. Antennas Propag.*, vol. 5, no. 2, pp. 273–280, 2024, doi: <https://doi.org/10.32722/spektral.v5i2.7244>.
- [17] N. R. Mahardika, I. Nirmala, and K. Sari, "Implementasi mekanisme sleep-wake pada sistem pendeteksi kebocoran gas LPG," *JITEL (Jurnal Ilm. Telekomun. Elektron. dan List. Tenaga)*, vol. 5, no. 3, pp. 221–232, 2025, doi: <https://doi.org/10.35313/jitel.v5.i3.2025.221-232>.
- [18] S. Inayah et al., *Statistika Non Parametrik*. Padang: U ME Publishing, 2025.
- [19] A. F. Sira, M. Hannats, H. Ichsan, and A. S. Budi, "Implementasi Low Power pada Alat Pengisian Penampungan Air Otomatis menggunakan Metode Sleep Mode berbasis Arduino Uno," *Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 6, no. 7, 2022, [Online]. Available: <https://j-ptiik.ub.ac.id/index.php/j-ptiik/article/view/11335%0Ahttp://j-ptiik.ub.ac.id/index.php/j-ptiik/article/download/11335/5012>