



Rancang Bangun *Monitoring* Sumber Energi Listrik pada Kapal Berbasis IoT

Tenokto Nyatasa Byan^{1*}, Hadi Setiyawan², Jaka Septian Kustanto³, Edi Kurniawan⁴, Teguh Pribadi⁵

¹⁻⁵Program Studi Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal, Politeknik Pelayaran Surabaya, Indonesia

*Penulis Korespondensi: nyatasabyan@gmail.com

Abstract. *This study aims to design and develop an Internet of Things (IoT)-based electrical energy source monitoring system for ships to support the utilization of renewable energy, particularly Wind Power Generation (WPG). The background of this research is the continued use of manual monitoring systems, which are less effective, prone to recording errors, and unable to provide real-time data monitoring. The developed system utilizes a ZMPT101B voltage sensor, an ACS712 current sensor, an ESP32 microcontroller, a 20×4 I2C LCD, and the Node-RED platform for data visualization and storage. This study employs a quantitative experimental method, including hardware design, software development, and static and dynamic testing. Testing was conducted at two locations, namely the Merchant Marine Polytechnic of Surabaya and Kenjeran Beach, Surabaya, for 8 hours. The results show that the system performed successfully, displaying real-time data through both the LCD and Node-RED dashboard while also enabling automatic data logging without data loss. The ACS712 sensor exhibited an error range of 2.38%–7.14%, while the ZMPT101B sensor showed an average error of approximately 0.8%. Based on these results, the developed IoT-based monitoring system is considered feasible for shipboard electrical monitoring and has the potential to improve operational efficiency in electrical monitoring activities.*

Keywords: *Electrical Monitoring; ESP32; Internet of Things (IoT); Wind Power Generation (WPG); Wind Turbine.*

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem monitoring sumber energi listrik berbasis Internet of Things (IoT) pada kapal, khususnya untuk mendukung pemanfaatan energi terbarukan seperti Wind Power Generation (WPG). Latar belakang penelitian ini adalah masih digunakannya sistem monitoring manual yang kurang efektif, rentan kesalahan pencatatan, dan tidak dapat memantau data secara real time. Sistem yang dikembangkan menggunakan sensor ZMPT101B untuk tegangan, ACS712 untuk arus, mikrokontroler ESP32, LCD 20×4 I2C, serta platform Node-RED untuk visualisasi dan penyimpanan data. Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif eksperimental yang mencakup perancangan perangkat keras, pengembangan perangkat lunak, serta pengujian statis dan dinamis. Pengujian dilakukan di dua lokasi, yaitu Politeknik Pelayaran Niaga Surabaya dan Kenjeran selama 8 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem berjalan dengan baik dan mampu menampilkan data secara real time melalui LCD dan dashboard Node-RED serta melakukan pencatatan data otomatis tanpa kehilangan data. Tingkat kesalahan sensor ACS712 berada pada rentang 2,38%–7,14%, sedangkan sensor ZMPT101B memiliki rata-rata error sekitar 0,8%. Berdasarkan hasil tersebut, sistem monitoring yang dikembangkan dinyatakan layak digunakan dan berpotensi meningkatkan efisiensi pemantauan listrik di kapal.

Kata Kunci: ESP32; Internet Segala (IoT); Kincir Angin; Monitoring Kelistrikan; PLTB.

1. LATAR BELAKANG

Perkembangan teknologi di bidang kelistrikan dan sistem otomasi telah mendorong pemanfaatan Internet of Things (IoT) dalam berbagai sektor industri, termasuk industri maritim. Pada kapal, sistem kelistrikan memiliki peran yang sangat penting karena hampir seluruh peralatan navigasi, komunikasi, keselamatan, dan operasional mesin bergantung pada ketersediaan energi listrik yang stabil. Oleh karena itu, diperlukan sistem *monitoring* yang mampu memberikan informasi kondisi kelistrikan secara cepat, akurat, dan *real-time* guna mendukung keselamatan serta efisiensi operasional kapal.

Seiring meningkatnya kebutuhan energi listrik, penggunaan sumber energi terbarukan mulai dikembangkan sebagai alternatif untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar adalah energi angin yang dapat dimanfaatkan melalui Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) atau kincir angin. Pada lingkungan maritim, ketersediaan angin yang relatif stabil menjadikan kincir angin sebagai salah satu alternatif sumber energi yang dapat dimanfaatkan untuk membantu penyediaan energi listrik di kapal.

Meskipun demikian, pemanfaatan energi angin memerlukan sistem pemantauan yang mampu mengawasi parameter kelistrikan yang dihasilkan, seperti tegangan dan arus listrik. *Monitoring* secara manual menggunakan alat ukur konvensional memiliki beberapa kelemahan, antara lain membutuhkan waktu lebih lama, rentan terhadap kesalahan pencatatan (human error), serta kurang efektif untuk pemantauan secara berkelanjutan. Selain itu, awak kapal khususnya electrician harus melakukan pengecekan secara langsung pada panel distribusi listrik untuk mengetahui kondisi sistem, sehingga kurang efisien dalam pelaksanaan tugas.

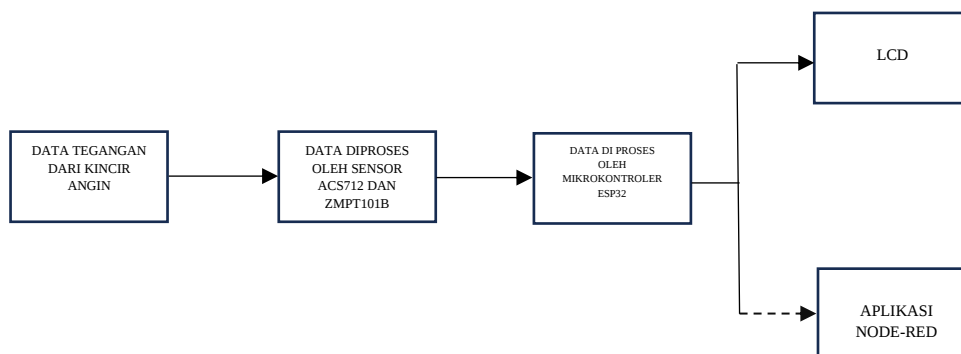
Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan suatu sistem *monitoring* berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu melakukan pengukuran dan pengiriman data secara otomatis. Dalam penelitian ini digunakan sensor tegangan ZMPT101B untuk mengukur tegangan listrik dan sensor arus ACS712 untuk mengukur arus listrik yang dihasilkan oleh sistem kincir angin. Data hasil pengukuran kemudian diproses oleh mikrokontroler ESP32 dan ditampilkan pada LCD 20x4 sebagai *monitoring* lokal serta *dashboard* Node-RED sebagai *monitoring* jarak jauh melalui jaringan internet.

Selain mampu melakukan *monitoring* secara *real-time*, sistem yang dirancang juga dilengkapi dengan fitur penyimpanan data (data logging) yang memungkinkan seluruh hasil pengukuran tersimpan secara otomatis. Fitur ini memberikan keuntungan dalam proses dokumentasi, analisis historis sistem kelistrikan, evaluasi performa sumber energi listrik, serta membantu proses perawatan dan deteksi dini terhadap gangguan yang mungkin terjadi pada sistem kelistrikan kapal.

Berdasarkan uraian tersebut, penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul "Rancang Bangun *Monitoring* Sumber Energi Listrik pada Kapal Berbasis IoT". Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan sistem *monitoring* yang mampu memantau kinerja sumber energi listrik yang berasal dari kincir angin secara *real-time*, akurat, dan dapat diakses dari jarak jauh, sehingga dapat meningkatkan efisiensi kerja awak kapal serta mendukung pemanfaatan energi terbarukan di bidang maritim.

2. METODE PENELITIAN

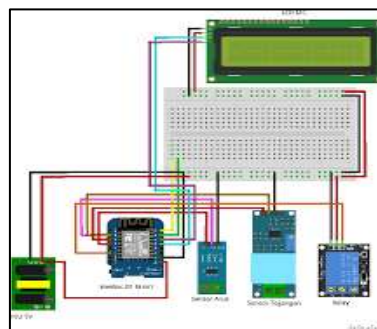
Jenis penelitian yang digunakan adalah kuantitatif eksperimental yang dilakukan penelitian terapan atau praktis karena memiliki tujuan yang jelas untuk menerapkan pengetahuan dan teknologi dalam konteks praktis. Penelitian ini juga bertujuan untuk memudahkan awak kapal khususnya *electrician* karena dapat meringankan pekerjaan diatas kapal. Dengan menggunakan Sensor Arus ACS712 dan teknologi IoT, penelitian ini merancang solusi praktis untuk memantau dan *memonitoring* beban energi listrik yang berada diatas kapal. Rancangan sistem dalam penelitian ini menggunakan diagram blok alat



Gambar 1. Diagram Blok Alat.

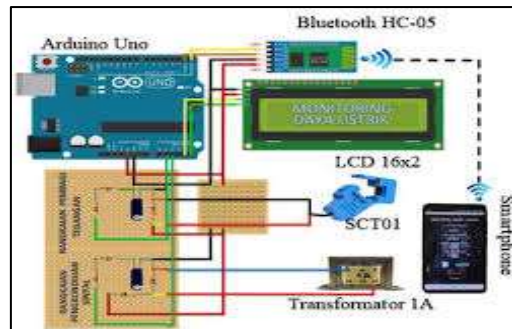
Sumber: Dokumentasi Penulis (2024)

Pada sketsa diagram blok alat tersebut aplikasi node-red memiliki peranan penting atau komponen utama dalam alat tersebut. Terdapat juga beberapa komponen pendukung lainnya yaitu sensor-sensor, mikrokontroler, LCD, dan juga android. Komponen pendukung tersebut memiliki fungsi masing – masing yang nantinya akan mengirimkan kembali data untuk diolah oleh aplikasi node-red, yang menghasilkan output untuk ditampilkan pada LCD maupun android.



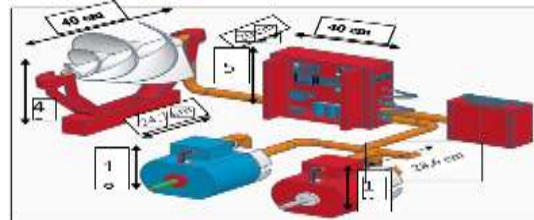
Gambar 2. Rangkaian Elektronika (Hardware).

Selanjutnya merupakan design sederhana alat beserta komponen yang ada di dalamnya.



Gambar 3. Design sederhana Alat dan Komponen.

Rencana pengujian pada penelitian ini menguji pengujian statis, pengujian dinamis. Pengujian alat akan dilakukan untuk menguji seberapa jauh alat itu bekerja dengan baik dan optimal. Pengujian alat tersebut yaitu mulai dari menguji masing – masing komponen atau masing – masing sensornya. Selanjutnya, akan diuji alat itu secara utuh apakah sesuai dengan fungsinya atau tidak. Alat tersebut memiliki fungsi *monitoring*.



Gambar 4. Perancangan 3D Hardware.

Rancangan mekanik ini juga berfungsi sebagai mempersiapkan cara pengujian alat baik statis maupun dinamis. Pada gambar 4 tersebut merupakan gambar 3D dari alat yang akan dirancang. Dengan rancangan 3D dapat mempermudah agar rancangan mekanik dapat sesuai seperti yang diinginkan peneliti. Rancangan mekanik ini merupakan tahap selanjutnya dari perancangan *hardware*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Pengujian Statis

a. Pengujian Statis ESP 32



Gambar 5. Pengujian Statis ESP 32.

Sumber: Dokumentasi Penulis

Pada gambar 4 pengujian dinyatakan berhasil apabila lampu indikator pada *board* menyala dan program dapat diunggah serta dijalankan tanpa *error*. Berdasarkan hasil pengujian, ESP32 mampu beroperasi dengan baik dan layak digunakan sebagai pusat kendali pada sistem. *Mikrokontroler* ini berhasil menjalankan perannya dalam mengendalikan sistem dengan menerima data dari seluruh sensor, memproses data tersebut, kemudian mengirimkannya ke platform Node-RED secara *real-time*. Keberhasilan ini menunjukkan bahwa ESP32 sesuai digunakan sebagai pengendali utama pada sistem *monitoring* berbasis *IoT*.

b. Pengujian LCD 12C 20X4



Gambar 6. Pengujian Statis LCD I2C 20x4.

Sumber: Dokumentasi Penulis

Pada gambar 5 pengujian dilakukan dengan memberikan perintah program untuk menampilkan teks pada layar LCD. Pengujian dinyatakan berhasil apabila LCD mampu menampilkan karakter atau kata sesuai dengan perintah yang diberikan tanpa gangguan tampilan. Hasil menunjukkan LCD berfungsi dengan baik dan mampu menampilkan data *monitoring* secara jelas. LCD I2C 20x4 mampu menampilkan informasi parameter sistem secara lokal. Data yang ditampilkan sesuai dengan hasil pembacaan sensor, sehingga operator tetap dapat memantau kondisi alat meskipun tanpa membuka *dashboard monitoring*. Fungsi ini meningkatkan kemudahan pengoperasian sistem di lapangan.

c. Pengujian Statis Node-RED



Gambar 7. Pengujian Aplikasi Node-Red.

Pengujian dinyatakan berhasil apabila *dashboard* Node-RED dapat menerima data dari ESP32 secara stabil, menampilkan parameter kelistrikan secara *real-time*, serta tidak terjadi *error* pada alur komunikasi maupun tampilan antarmuka.

Berdasarkan hasil pengujian, platform Node-RED mampu bekerja dengan baik sebagai media *monitoring* jarak jauh. *Dashboard* berhasil menampilkan data pembacaan sensor secara akurat sesuai data yang diterima dari ESP32. Selain itu, proses pembaruan data berlangsung secara kontinu tanpa adanya gangguan koneksi selama pengujian berlangsung.

Keberhasilan pengujian ini menunjukkan bahwa Node-RED layak digunakan sebagai sistem *monitoring* berbasis Internet of Things (IoT) pada *prototype monitoring* beban energi listrik kapal. Sistem ini mempermudah operator dalam melakukan pemantauan kondisi kelistrikan secara digital melalui laptop maupun smartphone secara efisien dan *real-time*.

d. Pengujian sensor tegangan ZMPT101B



Gambar 8. Pengujian statis sensor ZMPT101B.

Sumber: Dokumentasi Penulis

Pada gambar 7 gambar pertama sensor ZMPT101B, gambar kedua perbandingan dengan multimeter dan gambar ke tiga hasil pada layar *dashboard*. Pembacaan nilai tegangan dilakukan melalui serial *monitor* atau *dashboard monitoring* untuk memastikan nilai tegangan terbaca dan berubah sesuai kondisi beban. Pengujian dinyatakan berhasil apabila sensor mampu menampilkan nilai tegangan. Hasil pengujian memperlihatkan bahwa sensor mampu membaca tegangan dengan baik, sehingga layak digunakan sebagai bagian dari sistem *monitoring*.

e. Pengujian Sensor Arus ACS712



Gambar 9. Pengujian Statis Sensor Arus ACS712.

Sumber: Dokumentasi Penulis

Pada gambar 8 gambar pertama perbandingan pengujian dengan multimeter, gambar kedua sensor arus ACS712 dan gambar ketiga *dashboard* pada layar laptop. Pengujian dinyatakan berhasil apabila sensor mampu menunjukkan perubahan nilai arus secara stabil sesuai dengan kondisi beban, tanpa adanya pembacaan acak atau gangguan sinyal. Berdasarkan hasil pengujian, sensor dapat mendeteksi perubahan arus dengan baik dan stabil.

Pengujian Dinamis

Tabel 1. Tabel perhitungan error sensor Arus (A).

Arus (A)	Arus Monitoring (A)	Nilai Error Antara Sensor Dengan Multimeter (%)
0,44	0,46	4,55
0,42	0,43	2,38
0,45	0,48	6,67
0,41	0,43	4,88
0,44	0,47	6,82
0,46	0,48	4,35
0,42	0,45	7,14
0,45	0,47	4,44

Sumber: Dokumentasi Penulis

Pada Tabel 1 merupakan perhitungan dari sensor arus, berdasarkan hasil perhitungan *error* sensor arus, nilai *error* tertinggi berada pada 7,14% pada arus rendah, sedangkan *error* terkecil berada pada 2,38% pada arus yang lebih tinggi. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa sensor ACS712 mampu membaca arus listrik dengan tingkat akurasi yang cukup baik pada sistem *monitoring* PLTB. sensor arus ACS712 mampu membaca perubahan arus sesuai variasi beban yang diberikan. Nilai pembacaan pada *dashboard* memiliki selisih kecil terhadap nilai referensi, sehingga sensor memiliki tingkat akurasi yang baik. Sensor ini berfungsi penting dalam mengetahui kebutuhan daya motor dan performa keluaran sistem PLTB selama beroperasi.

Sensor arus ACS712 menunjukkan kemampuan pembacaan arus yang baik terhadap variasi beban. Ketika beban meningkat, nilai arus yang terbaca juga mengalami kenaikan secara proporsional. Hal ini menunjukkan bahwa sensor memiliki respons linear dan cukup akurat untuk digunakan dalam pengukuran konsumsi daya motor maupun arus.

Tabel 2. Perhitungan error sensor tegangan.

Tegangan (V)	Tegangan Monitoring (V)	Nilai Error Antara Sensor Dengan Multimeter (%)
10.8	10.7	0.92
11.0	10.9	0.91
11.3	11.2	0.88
11.6	11.5	0.86
11.8	11.7	0.84
12.0	11.9	0.83
12.1	12.0	0.82
12.2	12.1	0.82

Sumber: Dokumentasi Penulis

Pada Tabel 2 merupakan perhitungan dari sensor tegangan, Hasil perhitungan menunjukkan bahwa sensor tegangan memiliki *error* rata-rata sekitar 0,8%, sehingga sensor ini cukup akurat untuk digunakan dalam memonitor tegangan keluaran sistem PLTB. sensor tegangan ZMPT101B dapat menampilkan nilai tegangan secara stabil pada sistem *monitoring*. Hasil pembacaan menunjukkan bahwa sensor mampu mendeteksi perubahan tegangan dari sumber daya, baterai, maupun keluaran inverter. Dengan demikian, sensor tegangan berperan penting untuk memantau kestabilan suplai listrik agar sistem bekerja dalam batas aman.

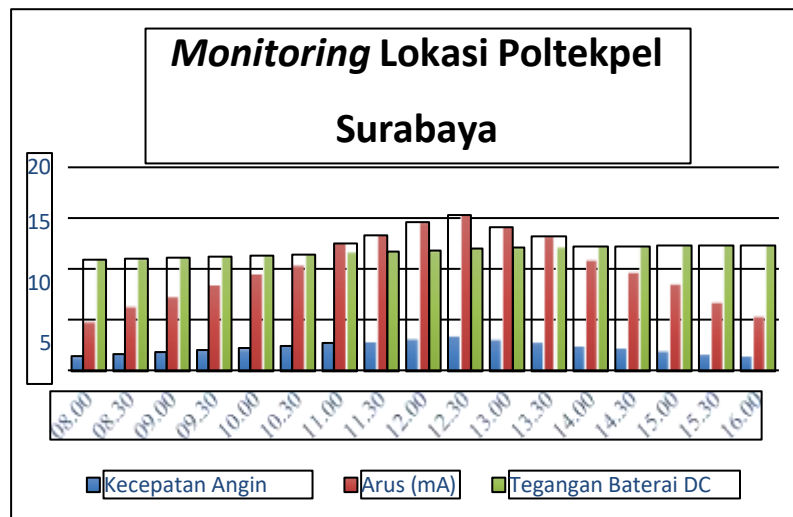
Sensor tegangan ZMPT101B mampu membaca perubahan tegangan dari baterai, generator, maupun keluaran inverter secara stabil. Hasil pembacaan tegangan sangat penting untuk mengetahui kualitas suplai daya pada sistem. Tegangan yang stabil menunjukkan sistem bekerja normal, sedangkan penurunan tegangan dapat mengindikasikan penurunan kapasitas baterai, beban berlebih, atau keluaran generator yang tidak mencukupi. Oleh karena itu, sensor tegangan berperan penting dalam menjaga keandalan operasi sistem. keluaran sistem PLTB. Data arus menjadi parameter penting untuk menilai efisiensi sistem dan mendeteksi kondisi *overload*.

Penyajian Data

Data yang ditampilkan meliputi hasil pengujian turbin angin, baterai, serta *monitoring* motor. Penyajian data akan menampilkan hasil dari pengujian turbin angin yaitu *cut in speed*, *rated speed*, dan data *monitoring* selama 8 jam pada dua lokasi berbeda. Data selanjutnya dari baterai dengan melihat waktu lama *charging* dan lama motor berjalan dengan baterai dengan melalui perhitungan. Data selanjutnya dari *monitoring* motor dilakukan selama 30 menit melihat suhu, getaran, arus, tegangan.

Tabel 3. *Monitoring Turbin Angin Lokasi Poltekpel Surabaya.*

Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Arus (mA)	Tegangan Baterai DC (V)
08.00	1,3	4,8	10,8
08.30	1,5	6,2	10,9
09.00	1,7	7,1	11,0
09.30	1,9	8,3	11,1
10.00	2,1	9,4	11,2
10.30	2,3	10,2	11,3
11.00	2,6	12,4	11,5
11.30	2,8	13,2	11,6
12.00	3,1	14,5	11,7
12.30	3,4	15,2	11,9
13.00	3,0	14,0	12,0
13.30	2,7	13,1	12,0
14.00	2,4	10,8	12,1
14.30	2,2	9,6	12,1
15.00	1,9	8,5	12,2
15.30	1,6	6,7	12,2
16.00	1,4	5,3	12,2

**Gambar 10.** *Monitoring Lokasi Poltekpel Surabaya.*

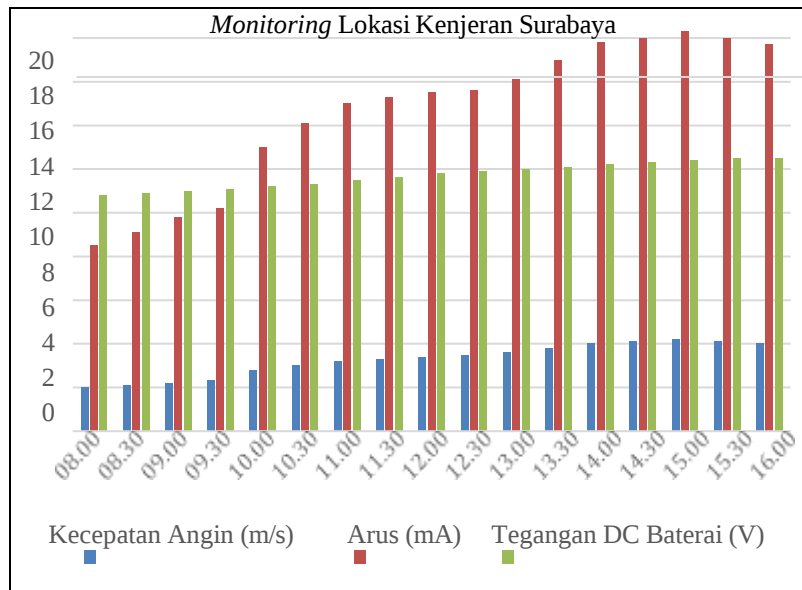
Sumber: Dokumentasi Penulis

Berdasarkan tabel 3 dan gambar 9, pengujian kincir angin yang berlangsung selama 8 jam, yaitu mulai pukul 08.00 sampai 16.00 WIB dengan pencatatan data setiap 30 menit, menunjukkan adanya perubahan kecepatan angin pada rentang 1,3 m/s hingga 3,4 m/s. Nilai arus yang dihasilkan generator dipengaruhi secara langsung oleh kecepatan angin yang

memutar kincir. Pada kecepatan angin rendah (1,2–1,7 m/s), arus yang dihasilkan berada pada rentang 4–7,4 mA. Sedangkan pada kecepatan angin sedang (1,8–2,4 m/s), arus meningkat hingga kisaran 7–11 mA. Pada kecepatan angin yang lebih tinggi (2,5–3,5 m/s), arus yang dihasilkan mencapai 12–15,6 mA. Tegangan baterai selama proses pengujian mengalami peningkatan dari 10,8 V hingga mencapai 12,2 V yang menunjukkan adanya proses pengisian baterai dari energi yang dihasilkan oleh turbin angin.

Tabel 3. *Monitoring Turbin Angin Lokasi Kenjeran Surabaya.*

Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Arus (mA)	Tegangan DC Baterai (V)
08.00	2	8,5	10,8
08.30	2,1	9,1	10,9
09.00	2,2	9,8	11
09.30	2,3	10,2	11,1
10.00	2,8	13	11,2
10.30	3	14,1	11,3
11.00	3,2	15	11,5
11.30	3,3	15,3	11,6
12.00	3,4	15,5	11,8
12.30	3,5	15,6	11,9
13.00	3,6	16,1	12
13.30	3,8	17	12,1
14.00	4	17,8	12,2
14.30	4,1	18	12,3
15.00	4,2	18,3	12,4
15.30	4,1	18	12,5
16.00	4	17,7	12,5



Gambar 11. *Monitoring Lokasi Kenjeran Surabaya.*

Sumber: Dokumentasi Penulis

Pada tabel 4.4 dan gambar 4.11 merupakan hasil dari pengujian tempat kedua. Berdasarkan hasil pengujian selama 8 jam, terlihat bahwa kecepatan angin mengalami perubahan sesuai waktu pengamatan. Pada rentang waktu 08.00–10.00, kecepatan angin berada pada kategori sedang yaitu antara 2,0 m/s hingga 2,3 m/s. Pada kondisi ini arus keluaran generator berada pada kisaran 8,5 mA hingga 10,2 mA, sehingga proses pengisian baterai berlangsung secara bertahap dari 10,8 V menjadi 11,1 V.

Memasuki rentang waktu 10.00–14.00, kecepatan angin meningkat menjadi lebih tinggi yaitu antara 2,8 m/s hingga 3,8 m/s. Peningkatan kecepatan angin ini menyebabkan arus keluaran generator juga meningkat menjadi 13,0 mA hingga 17,0 mA. Tegangan baterai ikut mengalami kenaikan dari 11,2 V hingga 12,1 V, yang menunjukkan proses charging berlangsung lebih optimal. Pada rentang waktu 14.00–16.00, kecepatan angin mencapai titik tertinggi selama pengujian yaitu berada pada kisaran 4,0 m/s hingga 4,2 m/s. Pada kondisi ini generator menghasilkan arus maksimum sebesar 18,3 mA, sedangkan tegangan baterai meningkat hingga mencapai 12,5 V. Hal ini menunjukkan bahwa performa terbaik sistem PLTB terjadi pada periode sore hari ketika kecepatan angin berada pada nilai tertinggi

Analisis Data

Analisis data disusun dari hasil pengujian statis dan dinamis yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya guna menilai kinerja operasional sistem *monitoring* secara keseluruhan. Mengacu pada data pengujian dinamis, sistem IoT yang dikembangkan memperlihatkan tingkat kestabilan kinerja yang sangat baik, di mana mikrokontroler ESP32 mampu menangani pengiriman paket data parameter listrik secara kontinu tanpa terjadi kehilangan data (*packet*

loss) selama periode pengujian berlangsung. Hal ini membuktikan bahwa integrasi antara perangkat keras sensor dengan platform Node-RED memiliki efektivitas yang tinggi dalam mengonversi parameter fisik listrik menjadi informasi digital yang akurat dan dapat diakses dari jarak jauh secara *real-time*.

Selain stabilitas pengiriman data, analisis terhadap akurasi sensor menunjukkan hasil yang memenuhi standar operasional pemantauan beban. Pada sensor arus ACS712, ditemukan bahwa nilai error rata-rata berkisar antara 2,38% hingga 7,14%, yang mengindikasikan bahwa sensor tetap memiliki tingkat presisi yang baik meskipun terdapat variasi beban. Sementara itu, sensor tegangan ZMPT101B menunjukkan tingkat akurasi yang lebih tinggi dengan rata-rata error hanya sebesar 0,8%, sehingga sangat handal untuk memantau kestabilan suplai listrik pada sistem distribusi kapal. Secara keseluruhan, data menunjukkan bahwa sistem ini mampu bekerja secara simultan dan tetap stabil meskipun diberikan variasi beban listrik yang berubah secara mendadak, menjadikannya solusi efektif untuk menggantikan metode perhitungan manual oleh kru kapal.

Selanjutnya, hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan protokol komunikasi antara perangkat keras dan *dashboard monitoring* memiliki latensi yang sangat rendah, sehingga mendukung konsep pemantauan *real-time*. Kecepatan pembaruan data pada antarmuka Node-RED memungkinkan operator atau kru kapal untuk segera mendeteksi jika terjadi anomali pada parameter listrik, seperti lonjakan arus atau penurunan tegangan yang drastis. Hal ini sangat krusial dalam konteks operasional kapal, di mana respons cepat terhadap gangguan kelistrikan dapat mencegah kerusakan pada komponen elektrik yang lebih sensitif dan memastikan kelangsungan fungsi navigasi serta keselamatan selama pelayaran.

Selain aspek teknis akurasi, efektivitas sistem ini juga terlihat dari kemampuannya dalam menyederhanakan proses dokumentasi data energi listrik. Melalui fitur penyimpanan data otomatis, sistem menghilangkan ketergantungan pada pencatatan manual yang sering kali rentan terhadap kesalahan manusia (*human error*). Data historis yang tersimpan dengan rapi memberikan dasar yang kuat untuk analisis efisiensi penggunaan beban di masa mendatang, sehingga manajemen energi di atas kapal dapat dioptimalkan secara berkelanjutan. Integrasi teknologi IoT ini terbukti memberikan nilai tambah yang signifikan dibandingkan sistem konvensional dalam hal transparansi dan akurasi informasi operasional.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan pada tahapan perancangan, pembuatan, dan rangkaian pengujian yang telah dilakukan pada *prototype* "Rancang Bangun *Monitoring* Sumber Energi Listrik pada Kapal Berbasis IoT", maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut: Keberhasilan Integrasi Sistem Kontrol dan *Monitoring* Berbasis IoT Sistem kontrol dan *monitoring* sumber listrik telah berhasil dirancang dengan mengintegrasikan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali utama. Sistem ini mampu melakukan akuisisi data dari sensor tegangan ZMPT101B dan sensor arus ACS712 secara *real-time*, kemudian mengolahnya dan mendistribusikan informasi tersebut ke dua output utama: layar LCD 20x4 untuk pemantauan lokal di ruang mesin/panel, serta *dashboard* Node-RED untuk pemantauan jarak jauh melalui jaringan internet. Akurasi Parameter Kelistrikan Melalui pengujian dinamis, sistem menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi dan layak digunakan untuk operasional di kapal. Sensor Tegangan ZMPT101B: Memiliki performa yang sangat stabil dengan nilai *error* rata-rata yang sangat rendah, yaitu sekitar 0,8%. Hal ini membuktikan bahwa sensor mampu memberikan data tegangan yang presisi untuk memantau kestabilan suplai listrik dari generator maupun baterai kapal. Sensor Arus ACS712: Mampu mendeteksi variasi beban dengan respons linear yang baik. Meskipun memiliki nilai *error* yang sedikit lebih tinggi dibandingkan sensor tegangan (berkisar antara 2,38% hingga 7,14%), sensor ini tetap efektif dalam memantau konsumsi arus listrik pada komponen kapal secara akurat. Efisiensi Operasional bagi Awak Kapal (Electrician) Implementasi sistem ini secara signifikan mempermudah tugas *electrician* atau awak kapal dalam memantau parameter kelistrikan yang sebelumnya dilakukan secara manual dengan alat ukur konvensional. Dengan adanya fitur *monitoring* jarak jauh melalui smartphone atau laptop, risiko kesalahan manusia (*human error*.) dalam pencatatan data dapat diminimalisir, dan potensi gangguan listrik dapat dideteksi lebih dini tanpa harus berada secara fisik di depan panel distribusi setiap saat. Keandalan Penyimpanan Data Penggunaan modul Micro SD sebagai unit penyimpanan data log (*data logging*) memastikan bahwa seluruh aktivitas beban listrik terekam dengan baik dalam format file .txt. Hal ini sangat penting untuk keperluan evaluasi penggunaan energi di kapal serta menjadi referensi data saat dilakukan perawatan rutin (*maintenance*) maupun perbaikan sistem kelistrikan kapal.

DAFTAR REFERENSI

- Andrianto, H., Susanthi, Y., & Jonathan, V. (2024). Platform sistem pemantauan penggunaan energi listrik berbasis IoT. *Techné: Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, 23(2). <https://doi.org/10.31358/techne.v23i2.422>
- Aritonang, T. M., Siregar, K. C. M., Darmawan, A. T., Suryanto, E. D., & Saragih, D. P. (2025). Prototype smart IoT safety and energy monitoring system berbasis ESP32 untuk monitoring dan proteksi instalasi listrik secara real-time. *Journal Sains Student Research*, 4(2). <https://doi.org/10.61722/jssr.v4i2.9445>
- Budiarso, C., & Wicaksono, A. (2026). IoT-based electrical monitoring system using PZEM sensor. *Indonesian Journal of Innovation Studies*, 26(4). <https://doi.org/10.21070/ijins.v26i4.2109>
- Hidayat, R., Saputra, W., & Firmansyah, D. (2024). Optimasi akurasi pengukuran arus menggunakan algoritma Kalman filter pada sistem monitoring berbasis IoT. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 13(2), 144–153. <https://doi.org/10.35793/jtek.13.2.2024.42189>
- Jumari, Sholeha, D., Rezeki, N. S., Sinaga, J., & Tarigan, K. (2025). Desain dan penerapan media pembelajaran sistem monitoring energi listrik berbasis Internet of Things menggunakan ESP32. *Impression: Jurnal Teknologi dan Informasi*, 4(3). <https://doi.org/10.59086/jti.v4i3.1319>
- Mubina, F. F., & Firasanto, G. (2023). Pemantauan dan pengendalian pemakaian energi listrik berbasis IoT. *EPIC Journal of Electrical Power Instrumentation and Control*, 5(2). <https://doi.org/10.32493/epic.v5i2.28419>
- Pratama, R. A., & Sari, N. K. (2024). Implementasi sensor PZEM-004T untuk monitoring konsumsi energi listrik real-time berbasis NodeMCU dan Telegram. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 8(1), 45–52. <https://doi.org/10.31294/jite.v8i1.1842>
- Pujianto, P., Tendean, M. T., & Muhtadi, M. Z. Z. (2025). Sistem monitoring energi listrik 3 fasa berbasis IoT dengan protokol Modbus RS-485 menggunakan ESP32. *Journal of Instrumentation and Hardware*, 3(2). <https://doi.org/10.53026/inhardware.v3i2.72>
- Putra, D. A., & Hidayat, T. (2024). Implementasi IoT untuk monitoring konsumsi energi listrik secara real-time berbasis cloud. *Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi*, 12(2), 101–110. <https://doi.org/10.25077/jtik.12.2.101-110.2024>
- Rahman, F., & Kurniawan, B. (2024). Sistem monitoring daya listrik berbasis IoT menggunakan sensor PZEM-004T. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 6(1), 33–40. <https://doi.org/10.35793/jtek.6.1.2024.39822>
- Sirait, R., Hutajulu, E., & Pakpahan, A. (2024). Rancang bangun sistem monitoring pemakaian daya listrik secara real-time berbasis IoT. *ATDS Saintech Journal of Engineering*, 5(2), 13–22. <https://doi.org/10.56667/atds.v5i2.214>
- Siregar, A., Parapat, A. S., Tumangger, P., Suryanto, E. D., & Saragih, D. P. (2025). Rancang bangun sistem monitoring energi listrik berbasis Internet of Things. *Journal Sains Student Research*, 4(2). <https://doi.org/10.61722/jssr.v4i2.9488>
- Suryanto, & Watmah, S. (2024). Pemantauan catu daya untuk proteksi listrik menggunakan ESP32 berbasis Internet of Things. *IMTechno: Journal of Industrial Management and Technology*, 6(2). <https://doi.org/10.31294/imtechno.v6i2.9518>

- Yuniarto, W., Irman, I., Suparno, S., Rusman, R., Diponegoro, M., & Edi, E. (2023). Rancang bangun sistem monitoring dan kontrol energi listrik pada beban 3 fasa menggunakan ESP32 berbasis Internet of Things. *Jurnal Poli-Teknologi*, 22(1). <https://doi.org/10.32722/pt.v22i1.5102>
- Zulfikar, A., Prasetyo, E., & Wijanarko, H. (2025). Monitoring parameter kelistrikan kapal berbasis wireless sensor network dan Internet of Things. *Jurnal Sistem Kelistrikan Maritim*, 7(1), 55–66. <https://doi.org/10.12962/jskm.v7i1.2025>