

Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Datalogger Pemakaian kWh Beban AirNav Denpasar

Aditya Kurniawan¹ KGS. M. Ismail² Suse Lamtiar³

DIV Teknik Listrik Bandara, Teknik Penerbangan, Politeknik Penerbangan Indonesia Curug,
Tangerang, Banten, Indonesia^{1,2,3}

Email: didotkdoang@gmail.com¹ kgs.ismail@ppicurug.ac.id² suselamtiar@ppicurug.ac.id³

Abstrak

Pencatatan konsumsi energi listrik pada Gedung Sistem Suplai Energi (SSE) AirNav Indonesia Cabang Denpasar selama ini masih dilakukan secara manual sebulan sekali dengan jarak tempuh titik ukur sejauh 1.498 meter dari ruang teknisi operasional. Kondisi ini memicu keterlambatan pelaporan, risiko kesalahan pencatatan (*human error*), serta lambatnya deteksi penurunan faktor daya di bawah 0,85 yang berpotensi menimbulkan denda daya reaktif. Penelitian ini dilakukan karena fasilitas navigasi penerbangan membutuhkan suplai daya yang kontinu serta pemantauan parameter kelistrikan real-time tanpa penarikan kabel fisik baru. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem monitoring serta *datalogger* pemakaian energi listrik (kWh) berbasis Node-RED dan Modbus TCP/IP melalui jaringan seluler. Metode yang digunakan adalah *Research and Development* (R&D) dengan enam tahapan sistematis. Metode ini dipilih karena memungkinkan perancangan sistem secara terstruktur dari analisis kebutuhan hingga pengujian validasi lapangan. Hasil penelitian menunjukkan sistem berhasil memantau parameter secara *real-time* dan mencatatnya ke berkas CSV dengan akurasi rata-rata keseluruhan sebesar 99,34% (tegangan 99,97%, arus 99,12%, frekuensi 99,99%, daya aktif 98,22%, daya semu 99,24%, daya reaktif 98,18%, jenis beban 100%, faktor daya 99,36%, dan energi 100%). Sistem ini terbukti efektif menggantikan pencatatan manual dan mempermudah evaluasi energi. Penelitian lanjutan disarankan untuk memperpanjang durasi pengujian ketahanan perangkat, menambahkan basis data terpusat, serta mengintegrasikan sistem pencadangan otomatis.

Kata Kunci: Datalogger, kWh, Modbus TCP/IP, Monitoring Energi, Node-RED, Power Meter PM5350



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

PENDAHULUAN

Keandalan sistem navigasi penerbangan sangat bergantung pada kontinuitas dan kualitas suplai energi listrik. Seluruh fasilitas operasional di AirNav Indonesia Cabang Denpasar—mulai dari sistem komunikasi, navigasi, hingga pengamatan penerbangan (*surveillance*)—membutuhkan pasokan energi yang stabil dan terpantau dengan baik. Pada instalasi Gedung Sistem Suplai Energi (SSE), pencatatan konsumsi listrik masih dilakukan secara manual setiap tanggal 15 setiap bulan. Prosedur ini sering mengalami keterlambatan akibat keterbatasan personel jaga dan jarak titik kWh meter yang berada sekitar 1.498 meter dari ruang teknisi *standby*. Selain itu, penurunan faktor daya (*power factor*) di bawah standar batas minimum PLN (0,85) sempat terjadi pada Februari dan Maret 2025 dan baru teridentifikasi pasca-pencatatan berkala, sehingga menimbulkan risiko denda kVAR. Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) dan instrumentasi digital telah memungkinkan otomatisasi pemantauan daya listrik secara daring dan terpusat. Berbagai penelitian terdahulu telah menguji integrasi sensor kelistrikan dengan mikrokontroler, seperti perancangan prototipe monitoring daya berbasis Arduino (Sulistyowati et al., 2020), sistem pemantauan konsumsi listrik rumah tangga berbasis transmisi LoRa dan Node-RED (Wardani et al., 2023), serta monitoring kWh meter untuk konsesi bandara (Maharani & Santosa, 2024). Pemanfaatan platform Node-RED juga terbukti efektif dalam memvisualisasikan parameter tegangan dan arus secara dinamis (Rosalin & Aribowo, 2023).

Meskipun penelitian sistem monitoring kelistrikan telah banyak dilakukan, sebagian besar masih berorientasi pada skala laboratorium atau area perumahan dengan jaringan lokal terbatas. Terdapat kesenjangan (*research gap*) dalam penyediaan sistem monitoring industri pada fasilitas navigasi penerbangan yang lokasinya terpisah jauh (1,4 km) tanpa ketersediaan infrastruktur LAN/kabel data antar-gedung. Kebaruan (*novelty*) dari penelitian ini terletak pada integrasi instrumen *industrial-grade* Power Meter Schneider PM5350 melalui konversi Modbus RS-485 ke Modbus TCP/IP, yang ditransmisikan melintasi jarak 1.498 meter menggunakan router seluler ke server Node-RED, dilengkapi fungsi *datalogger* otomatis dan deteksi karakteristik beban kapasitif/induktif secara *real-time*. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang, mengimplementasikan, dan menguji keandalan sistem monitoring serta *datalogger* energi listrik beban Gedung SSE AirNav Denpasar berbasis Node-RED dan Modbus TCP/IP, guna menghilangkan ketergantungan pencatatan manual serta meningkatkan akurasi data operasional.

Penelitian Terdahulu yang Relevan

Tabel 1. Penelitian terdahulu

No	Penulis/ Tahun	Judul	Tujuan	Metode	Hasil	Kontribusi dan Relevansi
1	Sulistiyowati et al. (2020)	Prototipe Sistem Monitoring Instalasi Daya Listrik	Memantau daya listrik secara terpusat pada instalasi bangunan	Eksperimen laboratorium berbasis mikrokontroler	Prototipe mampu membaca tegangan dan arus listrik dengan akurasi memadai	Memberikan rujukan awal integrasi instrumen ukur daya digital
2	Wardani et al. (2023)	Sistem Monitoring Daya Listrik untuk Konsumen Lingkungan Perumahan Menggunakan LoRa SX1278 dan Node- RED	Mengirim data daya nirkabel jarak jauh pada area perumahan	Eksperimental kuantitatif dengan modul LoRa	Data berhasil ditransmisikan dan divisualisasikan pada dashboard Node-RED	Menjadi acuan pemanfaatan platform dashboard Node-RED
3	Maharani & Santosa (2024)	Rancangan Alat Monitoring KWH Meter Untuk Mengetahui Penggunaan Daya Bulanan Pada Konsesi Airlines	Memonitor penggunaan kWh bulanan pada konsesi bandara	R&D (<i>Research and Development</i>)	Sistem mempermudah pencatatan berkala kWh konsesi penerbangan	Relevan terhadap konteks fasilitas bandara dan pencatatan kWh
4	Rosalin & Aribowo (2023)	Monitoring Arus dan Tegangan Berbasis Node-RED dan ESP8266	Memantau parameter arus dan tegangan secara <i>real- time</i>	Rancang bangun eksperimental IoT	Visualisasi dashboard Node- RED responsif dan stabil	Memperkuat justifikasi keandalan Node-RED dalam pengolahan data
5	Hudan et al. (2018)	Rancang Bangun Sistem Monitoring Daya Listrik Berbasis IoT	Memantau penggunaan energi listrik secara mandiri	Prototyping berbasis IoT	Pengguna dapat melihat grafik konsumsi daya harian	Memberikan landasan identifikasi parameter beban listrik

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) yang disederhanakan menjadi enam tahapan terstruktur: (1) identifikasi potensi dan masalah, (2) pengumpulan data kelistrikan di lokasi, (3) desain arsitektur produk perangkat keras dan

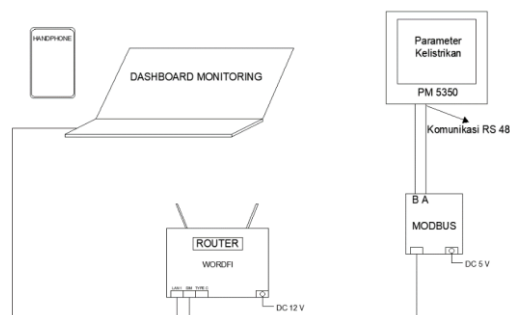
lunak, (4) validasi desain melalui uji fungsional, (5) perbaikan desain, dan (6) pengujian produk akhir (desain tervalidasi). Penelitian dilaksanakan di Gedung Sistem Suplai Energi (SSE) PT Angkasa Pura yang menyuplai panel distribusi listrik AirNav Indonesia Cabang Denpasar, berlangsung dari Februari hingga Agustus 2026. Objek pengukuran adalah sembilan parameter kelistrikan, yaitu tegangan (V), arus (I), frekuensi (Hz), daya aktif (kW), daya semu (kVA), daya reaktif (kVAR), faktor daya (PF), jenis beban, dan energi kumulatif (GWh). Peralatan utama yang digunakan meliputi: Power Meter industri Schneider Electric PowerLogic PM5350 (akurasi kelas 0,5S), konverter RS-485 to Ethernet/Modbus TCP, router WiFi berbasis kartu SIM 4G LTE, serta komputer server (Intel Core i5, RAM 8 GB) yang menjalankan sistem operasi dengan modul Node-RED Dashboard 2.0 dan *node-red-contrib-modbus*. Prinsip kerja sistem dirancang dalam tiga blok utama:

1. Akuisisi Data: Power Meter PM5350 membaca sinyal tegangan dan arus dari panel distribusi, kemudian mentransmisikan data melalui register Modbus RS-485 ke konverter serial-to-ethernet pada port TCP 502.
2. Transmisi dan Pemrosesan: Router seluler mengirimkan paket data TCP/IP melintasi jarak 1.498 meter menuju server di ruang teknisi. Node-RED melakukan *polling* data setiap 1 detik, memetakan alamat register (tegangan: 3035, arus: 3009, daya aktif: 3059, daya reaktif: 3067, daya semu: 3075, faktor daya: 3083, frekuensi: 3109, dan energi: 3203), serta mengonversi nilai *floating-point* 32-bit menjadi nilai desimal.
3. Penyajian dan Logging Data: Nilai parameter ditampilkan secara visual pada *dashboard* berbasis web dan secara simultan dicatat ke dalam berkas PM5350.csv setiap satu menit.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Sistem monitoring dan *datalogger* diimplementasikan dengan menghubungkan terminal komunikasi RS-485 PM5350 ke konverter Modbus TCP, kemudian dialirkan ke router seluler berdaya 12 VDC. Pada ruang teknisi berjarak 1.498 meter, komputer server menjalankan Node-RED untuk menangkap aliran data Modbus TCP dan menyajikannya ke halaman web localhost:1880/dashboard.



Gambar 1. Diagram Blok Arsitektur Sistem Monitoring dan Datalogger Beban SSE

Sistem menampilkan visualisasi sembilan parameter secara simultan dan memperbarui indikator status beban secara otomatis. Apabila daya reaktif bernilai negatif, dashboard menetapkan status beban "Kapasitif" (*leading*), dan sebaliknya "Induktif" (*lagging*) jika bernilai positif. *Datalogger* berhasil menyimpan data pembacaan setiap satu menit ke dalam berkas PM5350.csv yang dapat langsung diunduh melalui tombol *Download Data* pada antarmuka pengguna tanpa memutus koneksi server.



Gambar 2. Antarmuka Dashboard Monitoring Real-Time Berbasis Node-RED

Pengujian validasi akurasi dilakukan pada enam waktu pengamatan (pukul 11.23, 11.34, 11.46, 12.00, 12.51, dan 13.06 WITA). Hasil komparasi pembacaan pada pengamatan sampel (pukul 11.23 WITA) disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Pembacaan Layar PM5350 dan Dashboard Sistem (Sampel 11.23 WITA)

No	Parameter	Satuan	Display PM5350	Dashboard Sistem	Selisih
1	Tegangan	V	234,04	234,15	0,11
2	Arus	A	69,59	69,43	0,16
3	Frekuensi	Hz	49,98	49,98	0,00
4	Daya Nyata	kW	43,02	42,65	0,37
5	Daya Semu	kVA	47,15	47,64	0,49
6	Daya Reaktif	kVAR	-23,16	-24,04	0,88
7	Jenis Beban	-	Kapasitif	Kapasitif	0,00
8	Faktor Daya	-	0,874	0,870	0,004
9	Energi Listrik	GWh	3,2586	3,2586	0,000

Rekapitulasi perhitungan tingkat akurasi rata-rata dari seluruh pengamatan disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi Rata-Rata Tingkat Akurasi Pembacaan Sistem Monitoring

No	Parameter	Nilai Akurasi Rata-Rata (%)
1	Frekuensi	99,99
2	Tegangan	99,97
3	Energi Listrik	100,00
4	Jenis Beban	100,00
5	Faktor Daya	99,36
6	Daya Semu	99,24
7	Arus	99,12
8	Daya Nyata	98,22
9	Daya Reaktif	98,18
Rata-rata Keseluruhan		99,34

Pembahasan

Berdasarkan data olahan pada Tabel 3, tingkat keakuratan keseluruhan sistem mencapai rata-rata 99,34%. Parameter frekuensi (99,99%) dan akumulasi energi listrik (100,00%) menunjukkan stabilitas paling sempurna. Hal ini disebabkan oleh pembacaan langsung dari register internal PM5350 tanpa melalui operasi konversi aritmetika turunan di dalam modul logika Node-RED. Parameter daya aktif (98,22%), daya semu (99,24%), dan daya reaktif

(98,18%) menunjukkan variasi simpangan yang sedikit lebih tinggi dibandingkan parameter tegangan dan arus. Secara teoritis, nilai daya merupakan hasil kalkulasi perkalian vektor antara tegangan, arus, dan sudut fase. Fluktuasi dinamis beban operasional bandara menyebabkan perbedaan fraksi detik pada saat pengambilan cuplikan data (*sampling time*) antara internal meter dan penerimaan paket Modbus TCP, sehingga terjadi deviasi kecil saat pembulatan desimal. Namun demikian, akurasi di atas 98% membuktikan sistem masih berada dalam batas toleransi instrumentasi industri.

Dalam konteks komparasi penelitian (*what else*), hasil ini menunjukkan keunggulan signifikan dibandingkan arsitektur transmisi nirkabel jarak pendek berbasis mikrokontroler murah seperti pada studi Sulistyowati et al. (2020) atau transmisi LoRa (Wardani et al., 2023) yang rentan terhadap *packet loss* di lingkungan berhalangan padat (*dense obstacle*). Pemanfaatan jaringan seluler dengan konversi Modbus TCP pada penelitian ini terbukti stabil mentransmisikan data sejauh 1.498 meter tanpa kehilangan paket data selama masa observasi, serta mengatasi kendala geografis dan biaya penarikan kabel serat optik baru di kawasan bandar udara.

KESIMPULAN

Sistem monitoring dan *datalogger* pemakaian energi listrik (kWh) berbasis Node-RED dan Modbus TCP/IP telah berhasil dirancang, dibangun, dan diuji pada Gedung SSE AirNav Indonesia Cabang Denpasar. Sistem mampu melakukan akuisisi data sembilan parameter kelistrikan secara otomatis, menampilkannya dalam dashboard *real-time*, dan menyimpannya secara periodik ke dalam berkas CSV. Tingkat keakuratan sistem monitoring sangat tinggi dengan rata-rata 99,34%, di mana energi listrik dan jenis beban mencapai kesesuaian 100%, serta tegangan dan frekuensi berada di atas 99,9%. Kebaruan sistem ini terletak pada keberhasilan transmisi data industri Modbus melintasi jarak 1.498 meter via jaringan seluler tanpa memerlukan penarikan kabel transmisi baru, sehingga efektif menghilangkan kendala pencatatan manual dan mempercepat pemantauan faktor daya operasional. Penelitian ini memiliki keterbatasan pada periode pengujian yang terkonsentrasi pada pengamatan jangka pendek serta penyimpanan data yang masih bertumpu pada media penyimpanan lokal komputer server. Oleh karena itu, penelitian lanjutan disarankan untuk memperpanjang durasi pengujian guna menganalisis kestabilan perangkat keras dalam jangka panjang, mengintegrasikan sistem basis data berbasis *cloud* terpusat, serta menambahkan mekanisme pencadangan data (*automated backup*) dan notifikasi alarm interaktif saat terjadi anomali beban.

DAFTAR PUSTAKA

- Damayanti, A. M. (2024). Analisis Sistem Monitoring Konsumsi Energi Listrik Gedung Bertingkat. *EMITOR: Jurnal Teknik Elektro*, 26(1), 90–100. <https://doi.org/10.23917/emitor.v26i1.16040>
- Habibullah, M., Mulyanto, Y., & Sofya, N. D. (2020). Rancang Bangun Aplikasi Pemandu Wisata Museum Sumbawa Berbasis Android Dengan Memanfaatkan Quick Response Code (QR Code). *Jurnal Informatika, Teknologi dan Sains*, 2(2), 136–145. <https://doi.org/10.51401/jinteks.v2i2.596>
- Hudan, I. S., Triyono, B., & Anifah, L. (2018). Rancang Bangun Sistem Monitoring Daya Listrik Pada Kamar Kos Berbasis Internet of Things (IoT). *Jurnal Teknik Elektro*, 7(2), 125–133.
- Lukman, Budiman, T., Kurniawan, E., & Hasibuan, D. R. (2023). Rancang Bangun Sistem Informasi Manajemen Proyek Pada PT ABC. *Jurnal Manajemen Informatika Jayakarta*, 3(2), 128–141.



- Maharani, G. A. K., & Santosa, T. B. (2024). Rancangan Alat Monitoring KWH Meter Untuk Mengetahui Penggunaan Daya Listrik Bulanan Pada Konsesi Airlines di Terminal Bandar Udara Sultan Babullah Ternate. *Jurnal Ilmiah Aviassi Asia*, 18(1), 45–56.
- Nur Diansyah, I. F., Handoko, S., & Windarta, J. (2021). Implementasi Dan Evaluasi Performa Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) On Grid Studi Kasus SMP N 3 Purwodadi. *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 10(4), 701–708.
<https://doi.org/10.14710/transient.v10i4.701-708>
- Raharjo, E. B., Marwanto, S., & Romadhona, A. (2019). Rancangan Sistem Monitoring Suhu dan Kelembapan Ruang Server Berbasis Jaringan Komputer. *Teknika*, 6(2), 61–68.
- Rosalin, B. D., & Aribowo, W. (2023). Monitoring Arus dan Tegangan Pada Pembangkit Listrik Tenaga Ombak Berbasis Node Red dan ESP 8266. *Jurnal Teknik Elektro*, 12(2), 84–91.
<https://doi.org/10.26740/jte.v12n2.p84-91>
- Sugiyono. (2013). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Alfabeta.
- Sulistyowati, R., Erwanti, N. S., & Pratama, A. (2020). Prototipe Sistem Monitoring Instalasi Daya Listrik Gedung Menggunakan Mikrokontroler. *Jurnal Energi & Kelistrikan*, 12(2), 738–742.
- Wardani, S. T. H. A. L., Aribowo, W., & Laksmi, N. V. (2023). Sistem Monitoring Daya Listrik untuk Konsumen di Lingkungan Perumahan Menggunakan LoRa SX1278 dan Internet of Things Berbasis Node-RED. *Jurnal Teknik Elektro*, 12(3), 275–282.