PERANCANGAN SISTEM MONITORING DAN KONTROL BERBASIS *INTERNET OF THINGS* UNTUK PENERANGAN JALAN UMUM CATU DAYA *HYBRID* (TENAGA SURYA DAN MIKRO HIDRO)

1st Ambar Meilisa S
Fakultas Teknik Elektro
Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
ambarmeilisa@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Porman Pangaribuan
Fakultas Teknik Elektro
Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
pormanpangaribuan@telkomuniversity.ac.id

3rd Ekki Kurniawan
Fakultas Teknik Elektro
Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
ekkikurniawan@telkomuniversity.ac.id

Lampu Penerangan Jalan Umum (PJU) berperan penting dalam menunjang keselamatan pengguna jalan, terutama pada malam hari. Namun, sistem PJU konvensional masih menghadapi permasalahan konsumsi energi yang tinggi dan kurang efisien. Penelitian ini merancang sistem monitoring dan kontrol otomatis PJU *hybrid* berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mengombinasikan sumber energi surya dan mikrohidro. Sistem menggunakan sensor INA219 dan LDR untuk memantau tegangan, arus, dan intensitas cahaya, dengan pengaturan sudut panel surya yang diatur otomatis oleh servo berdasarkan data LDR, serta kontrol lampu otomatis melalui RTC. Seluruh data dimonitoring secara *real-time* melalui platform Blynk. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem bekerja dengan akurasi pembacaan tegangan di atas 94% dan arus di atas 90%, serta sistem kontrol lampu berjalan sesuai jadwal RTC dan mampu menghemat energi lebih dari 50%. Penyesuaian sudut panel juga berfungsi optimal dalam kisaran 60°, 90°, hingga 120° untuk mendukung penyerapan cahaya matahari secara maksimal. Secara keseluruhan, sistem ini meningkatkan efisiensi energi, mengurangi biaya operasional, dan mendukung pemanfaatan energi terbarukan secara efektif melalui teknologi IoT.

Kata kunci: Internet of Things (IoT), Penerangan Jalan Umum (PJU), Tenaga Surya, Tenaga Mikrohidro, Hybrid, Monitoring, Kontrol, Real-time, Efisiensi Energi.

I. PENDAHULUAN

Lampu Penerangan Jalan Umum (LPJU) merupakan elemen penting untuk meningkatkan keselamatan dan kenyamanan pengguna jalan, terutama pada malam hari [1]. Namun, sistem PJU konvensional sering kali menghadapi tantangan konsumsi energi yang tinggi dan efisiensi yang rendah. Salah satu solusi untuk mengatasi hal ini adalah dengan penerapan teknologi berbasis energi terbarukan [2].

PJU *hybrid* yang menggabungkan tenaga surya dan mikro hidro dapat menjadi solusi inovatif dan ramah lingkungan. Sistem ini memungkinkan panel surya menghasilkan energi pada siang hari, sedangkan PLTMH dapat beroperasi secara terus-menerus selama tersedia aliran air yang cukup [3]. Kombinasi dua sumber energi ini menghasilkan sistem yang lebih stabil dan andal dibandingkan hanya mengandalkan satu sumber energi [4]. Meskipun demikian, pengelolaan PJU *hybrid* masih memiliki kendala, terutama pada proses monitoring dan kontrol yang belum *real-time* dan masih dilakukan secara manual [5][6].

Penelitian ini mengembangkan sistem monitoring dan kontrol berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk PJU *hybrid* sebagai solusi atas tantangan tersebut. Sistem ini memanfaatkan RTC (*Real-Time Clock*) untuk penjadwalan operasional lampu secara otomatis antara pukul 17.30 hingga 05.00 WIB. Selain itu, sistem ini juga dirancang untuk memantau tegangan dan arus yang dihasilkan oleh panel surya, generator mikro hidro dan hybrid secara *real-time* melalui *mobile app* (Blynk) dengan menggunakan sensor INA219. Sistem juga dilengkapi dengan sensor LDR untuk mendeteksi intensitas cahaya matahari dan mengatur posisi panel surya secara otomatis melalui servo motor guna memaksimalkan penyerapan cahaya matahari. Sistem ini diharapkan dapat menjadi solusi yang efisien, ramah lingkungan, dan andal dalam pengelolaan penerangan jalan umum.

II. KAJIAN TEORI

A. Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid*

Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* (PLTH) adalah jenis pembangkit listrik yang mengintegrasikan lebih dari satu sumber energi, baik yang terbarukan maupun yang tidak terbarukan. PLTH ini memanfaatkan energi terbarukan sebagai sumber utama, yang kemudian dipadukan dengan panel surya. Kombinasi sumber energi ini dapat bervariasi, termasuk hidro (generator), arus laut, genset, turbin angin, dan berbagai sumber lainnya [7].

B. *Internet of Things* (IoT) dalam Monitoring dan Kontrol

Internet of Things adalah sebuah konsep di mana objek terhubung ke internet dapat mengumpulkan dan berbagi data satu sama lain dan dengan sistem yang terhubung. Jenis objek atau perangkat yang dapat terhubung ke internet termasuk sensor, perangkat *wearable*, kendaraan, peralatan rumah tangga, dan lain-lain [8].

Pada sistem PJU *hybrid*, *Internet of Things* (IoT) dimanfaatkan untuk memantau tegangan, arus. Serta mengontrol lampu secara otomatis berdasarkan waktu yang diatur melalui modul RTC. Selain itu, intensitas cahaya matahari dideteksi oleh sensor LDR untuk menentukan sudut optimal panel surya, yang kemudian disesuaikan secara otomatis menggunakan servo motor. Seluruh data dapat dimonitoring secara *real-time* melalui platform blynk,

sehingga sistem dapat diakses dengan mudah dan efisien.

III. METODE

A. Diagram Blok

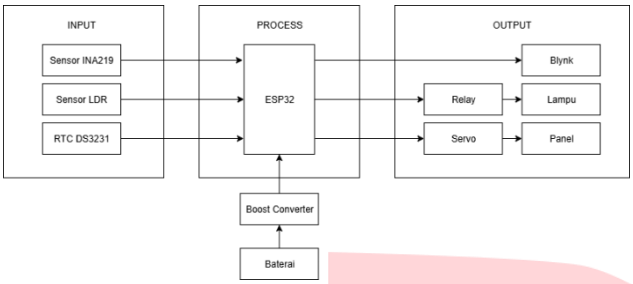
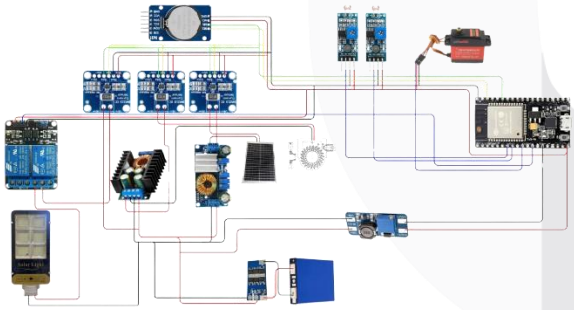


Diagram blok menggambarkan alur kerja sistem monitoring dan kontrol otomatis PJU *hybrid* berbasis IoT, yang terdiri dari tiga bagian utama: input, proses, dan output. Bagian input mencakup sensor INA219 untuk mengukur tegangan dan arus, sensor LDR untuk mendeteksi cahaya matahari, serta RTC DS3231 untuk penjadwalan lampu. Seluruh data diproses oleh ESP32 yang mendapat suplai daya dari baterai melalui *boost converter*. Hasil proses digunakan untuk mengontrol relay sesuai jadwal RTC, menggerakkan servo untuk menentukan sudut posisi panel surya berdasarkan data LDR, serta mengirim data secara *real-time* ke platform Blynk.

B. Desain Perangkat Keras

Gambar berikut memperlihatkan rancangan perangkat keras sistem yang digunakan dalam penelitian, mencakup komponen utama dan koneksi antar perangkat. Desain ini disusun untuk mendukung implementasi sistem pada penelitian ini.

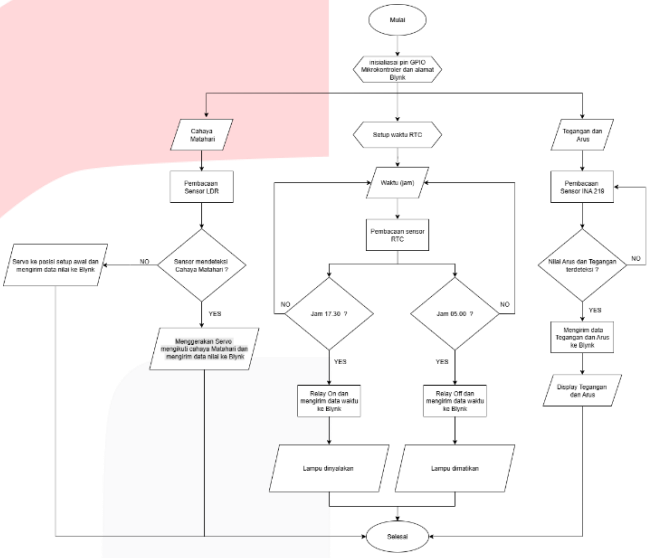


C. Spesifikasi Komponen

Bagian ini memuat spesifikasi komponen-komponen yang digunakan dalam implementasi sistem pada penelitian ini yang disajikan dalam tabel berikut:

No	Jenis Komponen	Komponen
1.	Panel Surya	Panel Surya Polycrystalline
2.	Generator Mikrohidro	BLDC Mini Generator DC 50V 500W
3.	Modul MPPT	MPPT SCC DC *Step Down* 5A
4.	Modul *Step Down*	*Step Down* XL4016 *Module*
5.	Sensor	Sensor LDR, Sensor INA219
6.	RTC (*Real Time Clock*)	RTC DS3231
7.	Relay	SRD
8.	Motor Servo	TD8120MG
9.	Mikrokontroler	ESP32
10.	*Boost Converter*	MT3608 Modul DC
11.	BMS (*Battery Management System*)	BMS 1S 3.2v 25A LifePo4
12.	Baterai	3.2v 30AH lifepo4
13.	Lampu	LED

D. Desain Perangkat Lunak



Berdasarkan *flowchart*, sistem diawali dengan inisialisasi pin GPIO, mikrokontroler, dan koneksi ke aplikasi Blynk. Selanjutnya, sistem membaca input dari sensor LDR untuk mendeteksi intensitas cahaya matahari, modul RTC untuk penjadwalan operasional lampu, serta sensor INA219 untuk mengukur tegangan dan arus dari sistem PJU *hybrid*. Jika sensor LDR mendeteksi cahaya, servo akan menyesuaikan posisi panel surya dan mengirimkan data ke Blynk. RTC akan mengaktifkan relay pada pukul 17.30 untuk menyalakan lampu dan mematikannya kembali pada pukul 05.00. Sementara itu, data tegangan dan arus dari INA219 ditampilkan secara *real-time* melalui aplikasi Blynk.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini dibahas hasil pengujian data mengenai sistem monitoring dan kontrol berbasis IoT untuk PJU *hybrid* (tenaga surya dan mikrohidro).

A. Uji Fungsi Monitoring

Monitoring Tegangan dan Arus Panel Surya

Waktu (WIB)	Tegangan (V)	Blynk	Error (%)	Akurasi (%)	Arus (A)	Blynk	Error (%)	Akurasi (%)
08.30	4.26	4,19	1,64	98,36	1,12	1,13	0,89	99,11
10.00	4.26	4,19	1,64	98,36	1,12	1,14	1,79	98,21
11.30	4.27	4,19	1,87	98,13	1,13	1,14	0,88	99,12
13.00	4.27	4,19	1,87	98,13	1,14	1,15	0,88	99,12
14.30	4.20	4,19	0,24	99,76	0,41	0,43	4,88	95,12
16.00	4.09	4,07	0,49	99,51	0,15	0,16	6,67	93,33
17.30	2,10	2,03	2,26	97,74	0	0	0	100
19.00	0,9	0,92	1,05	98,95	0	0	0	100
20.30	0,65	0,63	3,07	96,93	0	0	0	100
22.00	0,37	0,39	5,40	94,60	0	0	0	100

Monitoring Tegangan dan Arus Generator Mikrohidro

Waktu (WIB)	Tegangan (V)	Blynk	Error (%)	Akurasi (%)	Arus (A)	Blynk	Error (%)	Akurasi (%)
08.30	13,9	14,55	4,68	95,32	0,75	0,74	1,33	98,67
10.00	13,3	14,21	6,84	93,16	0,72	0,73	1,38	98,62
11.30	12,9	13,76	6,67	93,33	0,72	0,72	0	100
13.00	17,6	18,2	3,40	96,60	0,47	0,43	8,51	91,49
14.30	18,3	18,64	1,86	98,14	0,35	0,36	2,86	97,14
16.00	17,7	18,36	3,72	96,28	0,33	0,31	6,06	93,94
17.30	12,14	12,32	1,48	98,52	0,58	0,57	1,72	98,28
19.00	12,95	13,37	3,24	96,76	0,5	0,46	8,	92
20.30	12,98	13,14	1,23	98,77	0,54	0,5	7,41	92,59
22.00	11,98	12,61	5,26	94,74	0,57	0,52	8,78	91,22

Monitoring Tegangan dan Arus *Hybrid*

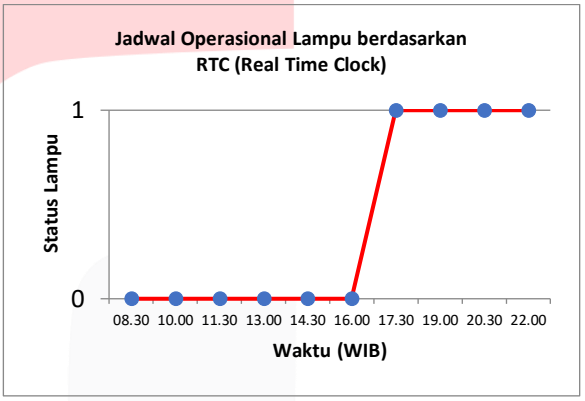
Waktu (WIB)	Tegangan (V)	Blynk	Error (%)	Akurasi (%)	Arus (A)	Blynk	Error (%)	Akurasi (%)
08.30	3,10	2,89	6,78	93,22	1,95	0	0	100
10.00	3,32	3,12	6,02	93,98	1,99	0	0	100
11.30	3,44	3,24	5,81	94,19	2,18	0	0	100
13.00	3,48	3,26	6,32	93,68	2,32	0	0	100
14.30	3,53	3,38	4,25	95,75	1,79	0	0	100
16.00	3,6	3,45	4,17	95,83	1,34	0	0	100
17.30	3,32	3,26	1,81	98,19	1,53	1,59	3,92	96,08
19.00	3,34	3,25	2,70	97,30	1,58	1,65	4,43	95,57
20.30	3,33	3,26	2,10	97,90	1,56	1,7	8,97	91,03
22.00	3,34	3,26	2,40	97,60	1,55	1,67	7,74	92,26

B. Uji Fungsi Kontrol

Kontrol Otomatis Operasional Lampu Berdasarkan RTC

Kontrol otomatis untuk pengendalian lampu PJU berdasarkan waktu dari modul RTC menunjukkan bahwa lampu menyala secara otomatis pada sore hingga dini hari yaitu pukul 17.30–05.00 WIB. Selama periode ini, sistem mengaktifkan relay untuk memastikan pencahayaan jalan tetap tersedia saat intensitas cahaya alami menurun hingga dini hari. Di luar rentang tersebut, pada pukul 05.00–17.00 WIB relay dinonaktifkan sehingga lampu mati secara otomatis untuk menghemat konsumsi energi pada pagi hingga sore hari.

Waktu (WIB)	Status Relay (Lampu)	Kondisi	Keterangan
08.30	OFF (0)	Lampu Mati	Berdasarkan waktu RTC
10.00	OFF (0)	Lampu Mati	Berdasarkan waktu RTC
11.30	OFF (0)	Lampu Mati	Berdasarkan waktu RTC
13.00	OFF (0)	Lampu Mati	Berdasarkan waktu RTC
14.30	OFF (0)	Lampu Mati	Berdasarkan waktu RTC
16.00	OFF (0)	Lampu Mati	Berdasarkan waktu RTC
17.30	ON (1)	Lampu Menyala	Berdasarkan waktu RTC
19.00	ON (1)	Lampu Menyala	Berdasarkan waktu RTC
20.30	ON (1)	Lampu Menyala	Berdasarkan waktu RTC
22.00	ON (1)	Lampu Menyala	Berdasarkan waktu RTC



Pengaturan ini bertujuan untuk mengoptimalkan efisiensi energi dengan mengaktifkan lampu hanya pada saat diperlukan.

Efisiensi Energi dari Penggunaan RTC untuk kontrol lampu

a. Konsumsi Energi Lampu tanpa RTC (aktif 24 jam):
$E_{\text{lampuFull}} = 6{,}66 \times 24 = 159{,}84$ Wh

b. Konsumsi Energi Lampu dengan RTC (aktif 11,5 jam):
$E_{\text{lampuRTC}} = 6{,}66 \times 11{,}5 = 76{,}59$ Wh

c. Penghematan Energi:
$\Delta E = 159{,}84 - 76{,}59 = 83{,}25$ Wh

d. Efisiensi Penggunaan RTC:

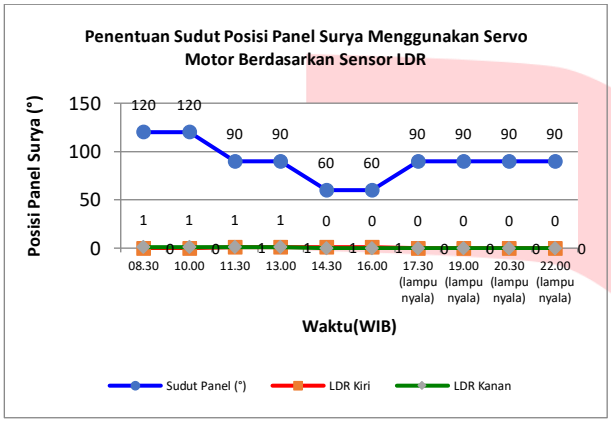
$$\eta = \frac{\Delta E}{E_{\text{LampuFull}}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{83{,}25}{159{,}84} \times 100\% = 52{,}08\%$$

Artinya, sistem kontrol otomatis lampu berdasarkan RTC menghemat lebih dari 50% energi yang digunakan oleh lampu.

Kontrol Otomatis Penentuan Sudut Posisi Panel Surya Menggunakan Servo Motor Berdasarkan Sensor LDR

Waktu (WIB)	LDR Kiri	LDR Kanan	Sudut Servo/Posisi Panel Surya (°)
08.30	0	1	120°
10.00	0	1	120°
11.30	1	1	90°
13.00	1	1	90°
14.30	1	0	60°
16.00	1	0	60°
17.30 (lampu nyala)	0	0	90°
19.00 (lampu nyala)	0	0	90°
20.30 (lampu nyala)	0	0	90°
22.00 (lampu nyala)	0	0	90°



Sistem kontrol otomatis posisi panel surya menggunakan servo motor yang dikendalikan oleh dua sensor LDR di sisi kiri dan kanan panel. Berdasarkan perbedaan intensitas cahaya yang terdeteksi, sistem akan menentukan sudut optimal panel. Pagi hari (08.30–10.00 WIB) menghadap timur (120°), siang hari (11.30–13.00 WIB) ke posisi tengah (90°), dan sore hari (14.30–16.00 WIB) ke arah barat (60°). Setelah pukul 17.00 WIB, panel siarahkan kembali ke posisi netral 90° karena intensitas cahaya menurun dan sistem tidak lagi aktif. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sitem kontrol otomatis penentuan sudut posisi panel surya berjalan sesuai fungsinya dalam menyesuaikan posisi panel untuk penyerapan cahaya matahari secara optimal.

V. KESIMPULAN

1. Berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring dan kontrol otomatis secara *real-time* berbasis *Internet of Things* pada PJU *hybrid*.

2. Sistem menunjukkan kinerja yang baik dalam memantau parameter tegangan dan arus pada panel surya, generator mikrohidro serta *hybrid* dengan nilai rata-rata akurasi pengukuran tegangan dan arus di atas 90%.

3. Sistem kontrol otomatis operasional lampu berjalan dengan baik memastikan lampu PJU menyala dan mati secara otomatis berdasarkan modul RTC sesuai dengan jadwal yang ditentukan yaitu lampu menyala pada pukul 17.30 - 05.00 WIB dan lampu mati pada pukul 05.00 – 17.30 WIB sehingga dapat menghemat energi lebih dari 50%.

4. Penentuan sudut posisi panel surya memiliki peran yang baik dalam menyesuaikan posisi panel surya untuk mendukung penyerapan cahaya matahari secara optimal. Sistem ini mampu mengatur posisi panel surya pada kisaran sudut 60°, 90°, hingga 120°.

VI. SARAN

1. Melakukan pengujian pemantauan dalam kondisi cuaca yang bervariasi untuk mengevaluasi keandalan sistem.

2. Untuk penerapan skala lapangan disarankan menggunakan sensor tegangan dan arus skala industri guna meningkatkan keandalan sistem.

REFERENSI

[1] R. Samsinar, F. Fadliondi, and D. Cahyadi, “Sistem Monitoring dan Perancangan Alat Pendeteksi Kerusakan Lampu Penerangan Jalan Umum (LPJU) Otomatis Berbasis Internet of Thing (Iot),” RESISTOR (Elektronika Kendali Telekomunikasi Tenaga Listrik Komputer), vol. 4, no. 2, p. 169, 2021, doi: 10.24853/resistor.4.2.169-172.

[2] F. Semuel et al., “Review Jurnal : Teknologi & Efektivitas Penggunaaan PJUTS di Indonesia,” vol. 03, no. 02, pp. 51–64, 2024.

[3] E. A. Yulanda, J. T. Susilo, A. Tama, S. Sunardi, D. A. Prakoso, and A. Yanuar, “Perancangan Pembangkit Listrik Hybrid dengan Tenaga Surya dan Tenaga Mikrohidro,” EPIC Journal of Electrical Power Instrumentation and Control, vol. 7, no. 1, pp. 89–97, 2024, doi: 10.32493/epic.v7i1.39647.

[4] L. E. Nuryanto, “Perancangan Sistem Kontrol Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (Pln Dan Plts) Kapasitas 800 Wp,” Orbith, vol. 17, no. 3, pp. 196–205, 2021.

[5] A. Adam, M. Muharnis, A. Ariadi, and J. Lianda, “Penerapan IoT untuk Sistem Pemantauan Lampu Penerangan Jalan Umum,” Elinvo (Electronics, Informatics, and Vocational Education), vol. 5, no. 1, pp. 32–41, 2020, doi: 10.21831/elinvo.v5i1.31249.

[6] R. J. A. Laby, A. Joewono, and P. R. Angka, “Sistem Penerangan Jalan Umum Berbasis IoT (Internet Of Things),” Widya Teknik, vol. 20, no. 2, pp. 95–104, 2021, doi: 10.33508/wt.v20i2.2648.

[7] R. P. Maulana, Maimun, and R. Syahputra, “Analisis Rancang Bangun Pembangkit Listrik Hybrid (Energi Surya Dan Turbin Angin),” Jurnal Tektro, vol. 06, no. 01, pp. 127–131, 2022.

[8] R. Vivin Nahari, R. Alfita, E. Dwi Astuti, M. Pramudia, and D. Rahmawati, FUNDAMENTAL INTERNET OF THINGS (IOT) TEORI DAN APLIKASI. EUREKA MEDIA AKSARA, 2023.