

# SISTEM INTEGRASI SENSOR SUHU, KELEMBABAN, ARUS DAN TEGANGAN UNTUK *MONITORING* KONDISI LUMINER LED PJU

Endah Setyaningsih<sup>1\*</sup>, Joni Fat<sup>2</sup>, Yohanes Calvinus<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Elektro, Universitas Tarumanagara

\*Email: [endahs@ft.untar.ac.id](mailto:endahs@ft.untar.ac.id)

(corresponding author)

<sup>2</sup> Program Studi Teknik Elektro, Universitas Tarumanagara

Email: [jonif@ft.untar.ac.id](mailto:jonif@ft.untar.ac.id)

<sup>3</sup> Program Studi Teknik Elektro, Universitas Tarumanagara

Email: [yohanesc@ft.untar.ac.id](mailto:yohanesc@ft.untar.ac.id)

Masuk: 01-09-2023, revisi: 10-10-2023, diterima untuk diterbitkan: 30-10-2023

## ABSTRAK

Saat ini semakin banyak masyarakat menggunakan luminer LED untuk pencahayaan jalan umum (PJU). Kelebihan luminer LED yaitu memiliki umur pakai yang panjang dan efisiensi energi. Namun yang perlu diperhatikan untuk luminer LED PJU adalah suhu dan kelembapan. Terutama untuk penggunaannya diiklim tropis seperti di Indonesia. Suhu dan kelembapan tinggi akan menyebabkan degradasi terhadap efisiensi dan umur lampu. Hal ini menjadi tantangan bagi pabrikan luminer LED PJU, yaitu harus memastikan bahwa suhu dan kelembapannya terjaga sesuai spesifikasi luminer LED PJU tersebut. Selama ini pabrikan melakukan *monitoring* secara manual, yaitu dengan pengukuran suhu secara berkala menggunakan alat thermogun saat pengujian luminer LED PJU. Melalui penelitian ini, dibuat alat yang dapat memantau suhu, kelembapan dan juga arus dan tegangan berbasis internet untuk membantu pabrikan luminer LED memperoleh data setiap saat secara cepat. Pemantauan dapat dilakukan juga melalui handphone yang mempunyai aplikasi android. Melalui metoda ini luminer LED PJU dapat dipantau baik pada saat sebelum atau sesudah dipasang pada ketinggian tiang sesuai yang diinginkan. Data yang terkumpul menjadi basis data yang dapat ditampilkan dalam bentuk tabel ataupun grafik. Jadi tujuan penelitian ini adalah menghasilkan basis data yang akan menjadi masukan bagi pabrikan dalam mengevaluasi dan mendesain produk luminer LED PJU. Metoda pembuatan sistem berupa perancangan dengan mengintegrasikan sensor suhu, kelembapan, arus, dan tegangan menjadi suatu sistem dan mengimplementasikannya. Sistem akan di-*insert* ke bagian dalam dari luminer LED PJU. Setelah melalui pengujian di laboratorium dan lapangan diperoleh hasil penelitian berupa alat *monitoring* untuk luminer LED PJU yang mempunyai keandalan yang baik.

**Kata Kunci:** integrasi sensor; iklim tropis; kelembapan; luminer LED PJU; suhu

## ABSTRACT

Currently, more people are using LED luminaires for public street lighting (PJU). The advantages of LED luminaires are that they have a long life and energy efficiency. However, what needs to be considered for PJU LED luminaires is temperature and humidity. Especially for use in tropical climates like Indonesia. High temperatures and humidity will cause degradation to the efficiency and lamp life. This is a challenge for PJU LED luminaire manufacturers, namely that they must ensure that the temperature and humidity are maintained according to the specifications of the PJU LED luminaire. So far, manufacturers have carried out monitoring manually, namely by periodically measuring the temperature using a thermogun when testing PJU LED luminaires. Through this research, a tool was created that can monitor temperature, humidity, current and voltage with internet-based to help LED luminaire manufacturers obtain data quickly and real time. Monitoring can also be done via a handphone that has an Android application. Through this method, PJU LED luminaires can be monitored either before or after they are installed at the desired pole height. The collected data becomes a database that can be displayed in table or graphic form. So, the aim of this research is to produce a database that will be input for manufacturers in evaluating and designing PJU LED luminaire products. The system creation method is in the form of design by integrating temperature, humidity, current and voltage sensors into a system and implementing it. The system will be inserted into the inside of the PJU LED luminaire. After going through testing in the laboratory and field, research results were obtained in the form of a monitoring tool for PJU LED luminaires that has good reliability.

**Keywords:** sensor integration; tropical climate; humidity; PJU LED luminaires; temperature

## 1. PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Jalan merupakan akses aktifitas yang sangat penting dan sebagai sarana transportasi yang menghubungkan satu kawasan dengan kawasan lainnya juga ikut serta mengantarkan roda ekonomi bangsa. Di malam hari, keberadaan Penerangan Jalan Umum (PJU) menjadi elemen penting untuk memastikan kelancaran, keselamatan dan keamanan pengguna jalan (Fat dkk., 2023; Robbins & Fotios, 2020; Santosa dkk., 2017; Setyaningsih dkk., t.t.). Seiring perkembangan teknologi, luminer LED PJU menjadi pilihan utama karena efisiensi energi dan umur pemakaian yang panjang dibandingkan dengan luminer HPS/lampu konvensional (Bachanek dkk., 2021; Davidovic & Kostic, 2022; Peña-García & Sędziwy, 2020). Selain efisiensi energi penggunaan luminer LED PJU juga meningkatkan kinerja pencahayaan (Valetti dkk., 2021). Namun, di iklim tropis seperti Indonesia, di mana suhu dan kelembaban tinggi, lampu LED PJU dihadapkan pada berbagai tantangan. Menurut (Raul dkk., 2018) suhu dan kelembapan tinggi dapat mempercepat degradasi LED, mengakibatkan penurunan performa dan usia pakai dan menyebabkan korosi dan kerusakan pada komponen listrik. Lampu LED dapat mengalami kerusakan lebih cepat dan memiliki umur yang lebih pendek di bawah kondisi arus dan tegangan yang tidak stabil. Hal ini tentu berakibat pada biaya pemeliharaan yang tinggi dan mengganggu kelancaran operasional jalan.

Penggunaan luminer LED PJU selain bergantung dari karakteristik chip LED, yang tetap harus diperhatikan bahwa luminer LED PJU peka terhadap perubahan suhu antara panas yang dihasilkan oleh komponen LED tersebut dengan cuaca (Hui SYR dkk, 2012), (Ji EK dkk, 2015). Untuk itu luminer LED PJU sangat perlu dilakukan test secara fotometri (*photometric*), kelistrikan (*electrical*), dan suhu (*thermal*) yang pada dikenal sebagai PET theory (Hui dkk., 2012b)

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dibuat sistem yang mengintegrasikan sensor suhu, kelembapan, arus, dan tegangan untuk memantau kondisi luminer LED PJU secara *real-time*. Pemantauan untuk mengetahui pengaruh perubahan suhu di luar rumah lampu yang akan berdampak pada komponen LED chip yang berada di dalam rumah lampu. Data yang dikumpulkan oleh sensor berupa basis data yang dapat diolah dan dianalisis untuk penelitian selanjutnya, juga sebagai masukan bagi produsen luminer LED PJU untuk menganalisis produknya.

Pada umumnya luminer LED PJU berada di area terbuka yang pemasangan tiangnya memiliki ketinggian tertentu (Gambar 1), sehingga dapat dengan mudah dipengaruhi oleh perubahan iklim (suhu dan kelembapan), terutama di iklim tropis seperti Indonesia. Pemasangan tiang luminer LED PJU tergantung pada tipe jalan. Misal untuk jalan arteri atau jalan tol, ketinggian tiang antara 8 m sampai dengan 13 m.

Perubahan suhu yang tinggi dan perubahan kelembapan yang mendadak dapat mengakibatkan beberapa komponen elektronik mudah rusak. Hal ini sejalan dengan pernyataan bahwa bangunan untuk iklim tropis lembab juga memiliki konsep dan arsitektur bangunan yang berbeda dengan iklim berbeda (Hardiman, 2012). Begitu juga dengan konsep desain rumah lampu yang menjadi penelitian bagi produsen lampu agar dapat menghasilkan desain luminer lampu yang dapat membuat perangkat LED chip tahan lama terhadap perubahan cuaca di iklim tropis Indonesia. Berdasarkan penelitian terhadap *Mid-Power-White Light LEDs* terhadap suhu dan kelembapan, menunjukkan bahwa terdapat penurunan nilai lumen (lumen degradation) terhadap kenaikan suhu dan kelembapan dalam pengujian tes aging (*ageing test*), setelah 1000 jam (Chu dkk., 2017; J. Huang dkk., 2015)

Di bagian dalam luminer LED PJU dapat terjadi peningkatan panas. Akumulasi panas dapat memperpendek masa hidup lampu LED secara signifikan. Produsen lampu LED PJU secara terus-menerus berupaya mencari solusi untuk meningkatkan efisiensi pembuangan panas di bagian dalam luminer agar tercipta suhu optimum yang dapat meningkatkan kerja lampu LED (D. S. Huang dkk., 2016; Meneghini dkk., 2007). Dengan adanya sistem integrasi sensor, informasi yang terkumpul dari sensor-sensor tersebut dapat membantu dalam memantau kinerja lampu LED dalam luminer LED, mengoptimalkan pengaruh suhu dan kelembapan di dalam rumah lampu yang dapat menyebabkan lampu LED PJU mengalami percepatan kerusakan. Sistem ini membantu produsen rumah lampu untuk dapat meninjau efektivitas dan performa kerja lampu LED PJU yang diproduksi sehingga diharapkan mampu memberikan kontribusi dalam perbaikan desain rumah lampu LED PJU berikutnya.

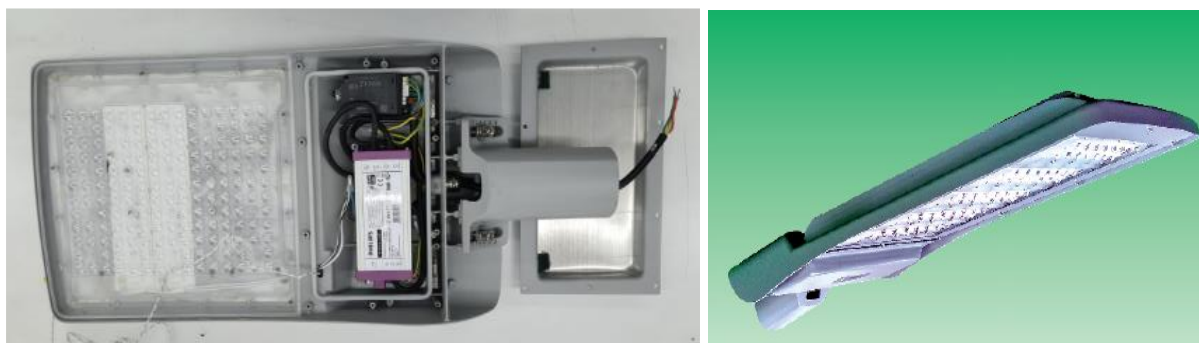


Gambar 1. Luminer LED PJU berada di area lapang terbuka sangat rentan terhadap cuaca (Dokumen Pribadi, 2022)

Area komponen elektronik berada pada area yang kecil dan tertutup rapat (Gambar 2) dengan standar IP 66 yaitu anti air dan anti debu. Ini sesuai dengan (IEC 60529-IP Code), yang telah mengembangkan peringkat *ingress protection* (IP) yang menilai ketahanan penutup terhadap intrusi debu atau cairan. Peringkat tersebut digunakan secara luas di seluruh industri. Perangkat elektronik yang berada dalam area tersebut sangat rentan terhadap perubahan suhu dan kelembapan di induksi dari rumah lampu yang terbuat dari bahan plastik campuran dengan aluminium ini. Untuk itu sistem integrasi sensor suhu, kelembapan, arus dan tegangan akan ditempatkan di area tertutup tersebut untuk memantau dari bagian dalam luminer. Pemantauan ini dengan tujuan untuk mengetahui berapa besar pengaruh suhu, kelembapan, arus dan tegangan terhadap perubahan cuaca di dalam luminer LED PJU. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan pada sebuah produk tipe lampu dan didapatkan bahwa performansi lampu LED dipengaruhi oleh luminer lampu (Setyaningsih dkk., 2023).

### Rumusan Masalah

Rumusan masalah penelitian yaitu bagaimana melakukan integrasi sensor suhu, kelembapan, arus, dan tegangan sebagai alat *monitoring* untuk luminer LED PJU yang mempunyai keandalan yang baik dan menghasilkan nilai suhu, kelembapan, arus, dan tegangan yang tervalidasi secara statistik.

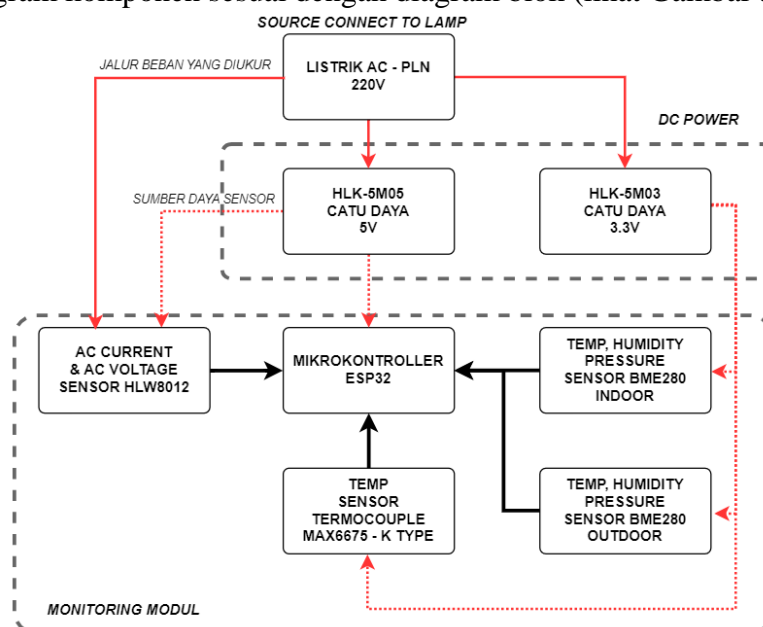


Gambar 2. Luminer LED PJU (Gambar kiri dalam kondisi tutup terbuka)

## 2. METODE PENELITIAN

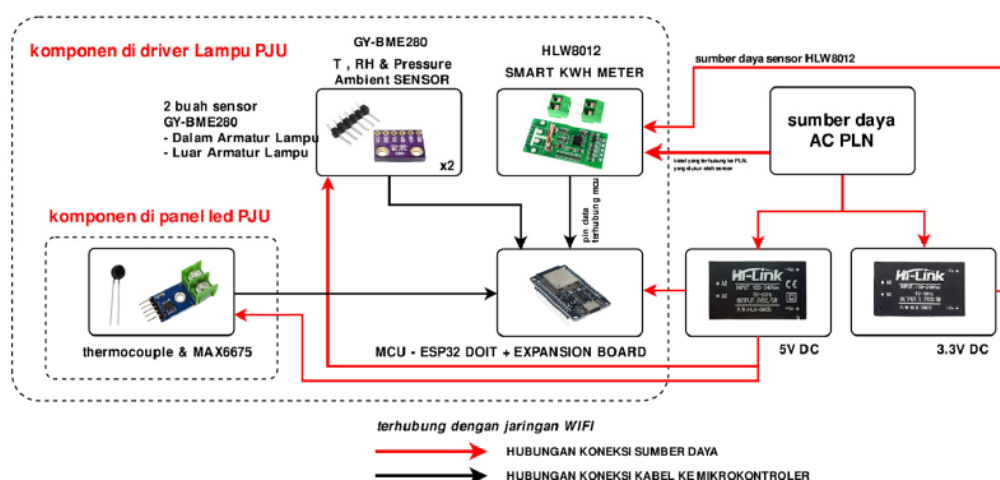
Metode penelitian yang dilakukan berupa desain dan implementasi alat monitoring kondisi luminer LED PJU dengan mengintegrasikan berbagai sensor, yaitu sensor suhu, sensor kelembapan, sensor arus, dan sensor tegangan. Hasilnya berupa prototip alat *monitoring* yang ter-*insert* pada luminer LED PJU. Untuk merealisasikannya melalui tahapan, sebagai berikut:

1. Studi Pustaka untuk memahami konsep tentang berbagai sensor yang diperlukan sebagai dasar untuk membuat diagram blok dan menentukan spesifikasi alat.
2. Menyiapkan luminer LED PJU sebagai media untuk meng-*insert* berbagai sensor dan komponen elektronik lain sesuai spesifikasi alat.
3. Membuat diagram komponen sesuai dengan diagram blok (lihat Gambar 3)



Gambar 3. Diagram blok sensor terintegrasi dalam luminer LED PJU

4. Mendesain alat *monitoring* sesuai dengan diagram komponen dan spesifikasi yang telah ditentukan (lihat Gambar 4).
5. Merancang perangkat lunak dan menyiapkan wi-fi.
6. Melakukan pengujian terhadap setiap modul sensor dan dilanjutkan ke sistem, untuk mengecek keandalan alat.
7. Membaca data suhu, kelembapan, arus, dan tegangan melalui selular/*handphone* dengan aplikasi Android.



Gambar 4. Diagram komponen sensor terintegrasi dalam luminer LED PLED

8. Melakukan kalibrasi terhadap nilai suhu dan kelembapan dari modul sensor suhu dan kelembapan serta nilai arus dan tegangan dari modul sensor arus dan tegangan.
9. Melakukan validasi data menggunakan validasi statistik terhadap data hasil *monitoring*
10. Mengimplementasikan prototipe ke lapangan sebenarnya, yaitu dipasang pada tiang setinggi 5 m di area terbuka di lokasi mitra, yaitu PT Kreasi Mustika.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Sensor Terintegrasi

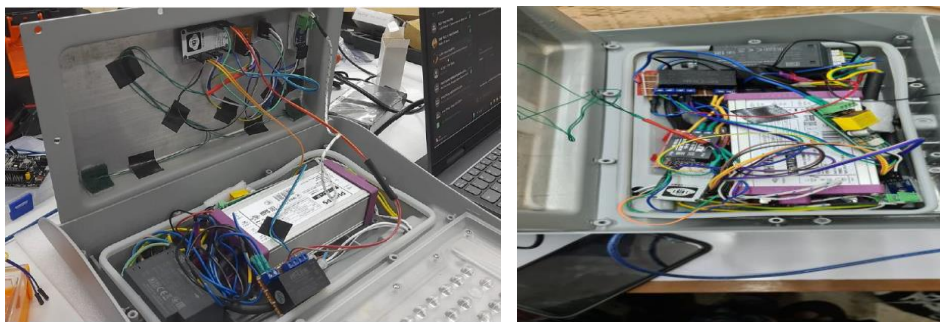
Berdasarkan desain diagram blok (Gambar 3), maka semua sensor diintegrasikan menjadi prototipe alat monitoring kondisi lumier LED PLED. Alat monitoring yang dihasilkan tidak mengganggu hubungan koneksi listrik dari luminer LED PLED. Alat hanya menggunakan cabang dari sumber tegangan PLN/tegangan AC untuk digunakan menghidupkan modul perangkat pemroses (mikrokontroler), modul *monitoring* dan sensor untuk mengambil data suhu, kelembapan, arus dan tegangan. Mikrokontroler yang menggunakan tipe ESP32 dipergunakan untuk mengumpulkan data sensor dan mengirimkannya ke penyimpanan data melalui internet.

Komponen utama pendukung yaitu:

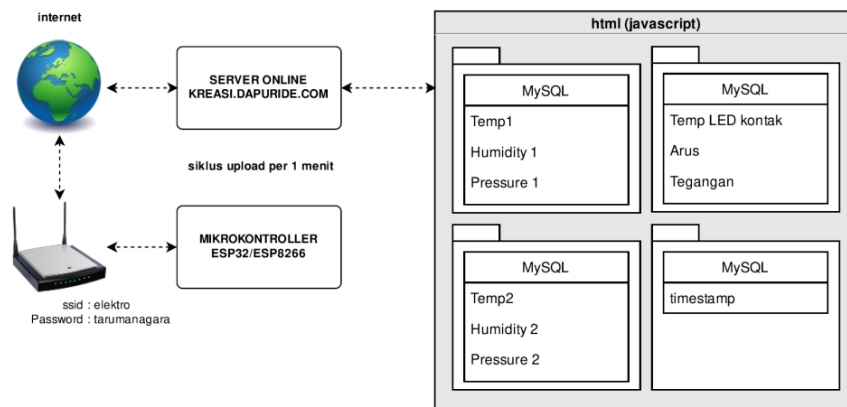
1. Sensor dan ESP32: Sensor GY-BME280 digunakan untuk mengukur suhu, tekanan, dan kelembapan di rumah lampu, sementara sensor MAX6675 digunakan untuk mengukur suhu lampu, dan sensor HLW8012 digunakan untuk mengukur arus dan tegangan listrik. ESP32 berfungsi sebagai mikrokontroler yang mengambil data dari sensor-sensor ini.
2. Sisi server (*Backend*), bagian ini terdiri dari komponen server dan database yang berfungsi untuk mengelola data dari sensor-sensor tersebut dan membuatnya tersedia untuk *website*.
3. Website (*Frontend*), adalah antar-muka pengguna akhir yang memungkinkan pengguna untuk memantau data sensor secara visual. Ini akan menampilkan data dalam bentuk tabel dan memberikan fungsionalitas pemantauan secara *real-time*.

Penempatan sensor suhu, kelembapan dan tekanan udara menggunakan tipe GY-BME280 sebanyak 2 pcs. Sensor pertama merupakan sensor suhu ( $t_1$ ), kelembapan ( $h_1$ ) dan tekanan udara ( $p_1$ ) berada di luar luminer lampu. Sensor kedua merupakan sensor suhu ( $t_2$ ), kelembapan ( $h_2$ ) dan tekanan udara ( $p_2$ ) berada di dalam luminer lampu, yaitu di area LED *driver* (adaptor). Sensor suhu permukaan modul LED ( $t_{led}$ ) menggunakan sensor *thermocouple* NTC & Max6675 yang disolder pada papan PCB modul luminer LED. Mikrokontroler yang digunakan untuk dapat

mengumpulkan data sensor dan mengirimkan data melalui internet yaitu Mikrokontroler ESP32 dari perusahaan Espressif. Untuk menghidupkan sensor dan mikrokontroler dibutuhkan konversi sumber tegangan AC ke DC dalam 2 jenis tegangan DC yaitu 5V dan 3.3V dengan menggunakan modul *switching power supply series Hi-Link*. Gambar modul dan sensor tampak pada Gambar 4. Terdapat kendala pada saat integrasi sensor suhu, kelembapan, arus dan tegangan yaitu ruangan yang sempit dari luminer LED PJU, sehingga pengabelan menjadi hambatan utama. Antar komponen sensor dan antar modul dihubungkan dengan menggunakan pin dan soket agar tidak terlepas. Kendala lain yaitu pada saat ruangan yang digunakan untuk meng-insert ditutup, maka kekuatan internet jadi melemah pada saat terhubung mikrokontroler ESP32. Oleh karena itu posisi lampu tidak boleh terlalu jauh dengan sumber internet (wifi pemancar). Tantangan utama dalam integrasi sensor adalah ruang yang sempit untuk meletakkan keseluruhan mikrokontroler, sensor dan modul. Hasil integrasi semua sensor terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil integrasi sensor suhu, kelembapan, arus dan tegangan



Gambar 6. Jaringan komunikasi mikrokontroler dan *database* di website kreasi.dapuride.com

### ***Realtime Data Collection***

Proses ini berupa mengumpulkan data secara *realtime* ke dalam suatu penyimpanan data koleksi. Sistem pengumpulan data menggunakan suatu software yaitu MySQL yang berada pada suatu domain internet dengan alamat <http://kreasi.dapuride.com>. Gambar 6 menunjukkan jaringan komunikasi mikrokontroler dan database di website kreasi.dapuride.com. Pembacaan data suhu, kelembapan, arus, dan tegangan melalui selular/*handphone* dengan aplikasi android dengan *link website* nya yaitu kreasi.dapuride.com. Data yang ditampilkan di alamat tersebut dapat dipergunakan untuk diunduh oleh mitra dan dijadikan sebagai data untuk pengembangan rumah lampu/luminer LED PJU. Contoh cuplikan hasil data dari basis data yang diambil pada 1 Desember 2023, pukul 12.144.26 sd 13.03.41 dapat dilihat pada Gambar 7.



ID	Temperature 1	Temperature 2	LED Temperature	Pressure 1	Pressure 2	Humidity 1	Humidity 2	Current	Voltage	Timestamp
40902	38.57	50.51	65.77	1008.55	1007.95	16.17	8.37	0.49	220	2023-12-01 13:03:41
40901	38.65	50.51	65.66	1008.58	1007.96	16.14	8.38	0.49	220	2023-12-01 13:02:40
40900	38.65	50.51	65.63	1008.58	1007.98	16.04	8.37	0.49	220	2023-12-01 13:01:38
40899	38.74	50.51	65.73	1008.61	1007.98	15.86	8.37	0.49	220	2023-12-01 13:00:37
40898	38.73	50.52	65.6	1008.64	1008.07	15.76	8.37	0.49	220	2023-12-01 12:59:35
40897	38.87	50.53	65.75	1008.62	1008.04	15.55	8.37	0.49	220	2023-12-01 12:58:33

Gambar 7. Contoh cuplikan data dari basis data yang dapat dibaca dari website kreasi.dapuride.com menggunakan aplikasi android.

Selanjutnya dilakukan kalibrasi terhadap nilai suhu dan kelembapan dari modul sensor suhu dan kelembapan serta nilai arus dan tegangan dari modul sensor arus dan tegangan, seperti terlihat pada Gambar 8. Jika selisih yang didapatkan antara sensor dengan alat ukur terkalibrasi terlalu besar maka sensor perlu digantikan dengan komponen lainnya. Namun bila memiliki perbandingan yang sama besar dan selalu konstan antara nilai kecil dan besar, data yang sensor dapat dipergunakan sebagai acuan data. Sebelum alat monitoring dipasang di lapangan, data khususnya suhu juga dibaca menggunakan alat *thermal imaging* (telah dikalibrasi), seperti terlihat pada Gambar 9.



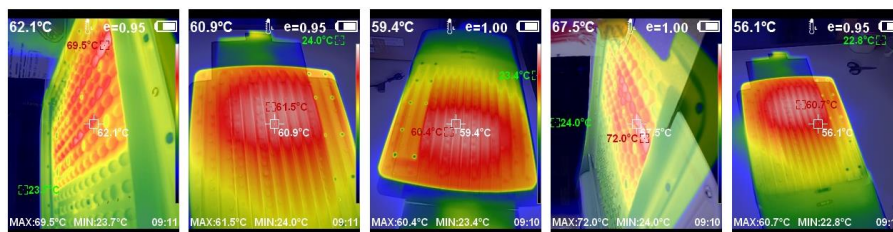
Gambar 8. Data suhu, kelembapan, arus dan tegangan dilakukan kalibrasi dengan alat ukur terkalibrasi

Data yang telah melalui pengujian dan kalibrasi selanjutnya dilakukan validasi statistik terhadap data hasil monitoring. Proses validasi menggunakan data acak sebanyak  $N = 1000$  dan dalam menguji validitas data menggunakan taraf signifikansi 5%. Cuplikan data acak ini terlihat pada Gambar 10.

Sebelum prototip dipasang dilapangan, telah dilakukan uji di laboratorium Teknik Elektro Universitas Tarumanagara dengan lumener menyala selama 24 jam. Pengujian ini dilakukan selama 15 hari untuk melihat kemampuan/keandalan dan kinerja dari lumener LED PJU yang telah di-*insert* alat monitoring dalam skala laboratorium. Setelah tidak ada anomali/keandalannya baik, maka lumener LED PJU telah siap diterapkan di lapangan/area terbuka.

Gambar 11, menunjukkan implementasi prototip ke lapangan, yaitu dipasang pada tiang setinggi 5 m di area terbuka di lokasi mitra, yaitu di PT Kreasi Mustika, yang berada di daerah Cikupa Tangerang. Luminer LED PJU dinyalakan selama 24 jam dalam 1 (satu) bulan. *Monitoring*/pembacaan hasil data dilakukan melalui *handphone* dengan aplikasi Android dengan website kreasi.dapuride.com.

Selama pengujian mitra juga dilibatkan dalam pembacaan data, karena mitra adalah pemilik luminer LED PJU yang lebih mengetahui spesifikasi dari produknya. Peran mitra adalah memberikan masukan jika ada data yang tidak sesuai dengan spesifikasinya.



Gambar 9. Hasil pembacaan data suhu menggunakan *thermal imaging*

1	timestamp	id	t1	t2	tl	p1	p2	h1	h2	arus	tegangan	y
2	#####	15558	39,66	58,27	69,96	1011,2	1010,38	15,51	7,41	0,63	226	2439,02
3	#####	742	37,81	49,57	73	1009,5	1009,1	20,56	20,91	1,63	223,1	2445,18
4	#####	42678	29,95	42,89	48,96	1008,66	1007,62	67,23	26,96	0,49	220	2452,76
5	#####	32938	38,78	56,31	70,47	1008,36	1007,52	14,87	4,86	0,63	235	2436,8
6	#####	30404	40,01	57,94	71,72	1007,39	1006,51	15,07	5,07	0,63	226	2430,34
7	#####	16689	40,81	60,75	73,29	1009,56	1008,86	15,24	6,38	0,62	235	2450,51
8	#####	42942	30,49	43,74	51,62	1009,29	1008,17	61,99	25,47	0,5	220	2451,27
9	#####	23284	37,87	55,96	69,75	1009,83	1008,96	16,1	5,84	0,62	235	2439,93
10	#####	40413	39,1	50,96	66,63	1009,12	1008,56	15,06	8,57	0,48	220	2418,48
997	#####	21663	40,51	58,58	72,07	1009,04	1008,2	21,86	6,39	0,64	226	2443,29
998	#####	21400	39	56,61	70,41	1012,25	1011,45	21,66	6,14	0,64	218	2436,16
999	#####	1904	38,65	52,68	70	1010,45	1009,99	21,37	15,74	1,64	223	2443,52
1000	#####	5470	38,34	52,29	68,5	1012,17	1011,57	16,8	10,36	1,63	224,2	2435,86
1001	#####	36856	40,88	58,47	73,49	1006,35	1005,56	15,28	5,02	0,63	226	2431,68
1002												
1003			0,149572	0,204394	0,096361	0,885964	0,117304	0,037228	0,12074	0,115301	0,257394	
1004			VALID	VALID	VALID	VALID	VALID	INVALID	VALID	VALID	VALID	

Gambar 10. Cuplikan data acak dengan N=1000 sampel dan menguji validitas data untuk taraf signifikansi 5%.



Gambar 11. Proses memasang luminer LED PJU di lokasi mitra.



#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa integrasi sensor suhu, kelembapan, arus, dan tegangan sebagai alat *monitoring* untuk luminer LED PJU mempunyai keandalan yang baik. Keandalan yang baik diperoleh melalui berbagai pengujian pada tiap modul maupun sistem dalam skala laboratorium sebelum diimplementasikan di lapangan/area terbuka di lokasi mitra.

Pengujian di laboratorium dilakukan selama 24 jam dalam rentang 2 minggu dan pada saat di lapangan area terbuka dilakukan selama 1 (satu) bulan. Hasilnya data terbaca dengan nilai yang akurat dan tervalidasi secara statistik yang dapat dibaca melalui website [kreasi.dapuride.com](http://kreasi.dapuride.com) dengan aplikasi android dari selular. Nilai suhu, kelembapan, tegangan, dan arus juga dilakukan kalibrasi menggunakan alat yang terkalibrasi. Khusus data suhu dibaca juga melalui alat *thermal imaging* yang juga telah terkalibrasi.

Sebagai saran dalam penelitian selanjutnya adalah peneliti harus mengetahui dengan rinci spesifikasi dan dimensi bagian dalam dari rumah lampu/lumener LED PJU yang akan digunakan. Hal ini sangat berpengaruh terhadap pilihan komponen/modul sensor, suplai daya serta mikrokontroler yang akan di-*insert* ke bagaian dalam rumah lampu tersebut.

#### Ucapan Terima Kasih (*Acknowledgement*)

Tim Penelitian mengucapkan terima kasih kepada Kemdikbudristek atas dana hibah penelitian tahun 2023 melalui Skema Riset Terapan-Jalur Hilirisasi berdasarkan Surat Keputusan Nomor 0536/E5/PG.02.00/2023. Terima kasih juga kepada mitra yaitu PT Kreasi Mustika dan terima kasih kepada pimpinan dan staff LPPM Universitas Tarumanagara yang telah memfasilitasi kegiatan penelitian ini sehingga berjalan dengan lancar dan sukses.

#### REFERENSI

- Bachanek, K. H., Tundys, B., Wiśniewski, T., Puzio, E., & Maroušková, A. (2021). Intelligent street lighting in a smart city concept—a direction to energy saving in cities: An overview and case study. *Energies*, 14(11). <https://doi.org/10.3390/en14113018>
- Chu, C. W., Chao, W. C., Yang, C. C., Wu, P. J., Chen, C. Y., Kuo, Y. P., & Lee, L. L. (2017). Optimal Design of LED Street Lighting with Road Conditions. *Proceedings - 2016 3rd International Conference on Computing Measurement Control and Sensor Network, CMCSN 2016*, 9–11. <https://doi.org/10.1109/CMCSN.2016.43>
- Davidovic, M., & Kostic, M. (2022). Comparison of energy efficiency and costs related to conventional and LED road lighting installations. *Energy*, 254, 124299. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2022.124299>
- Fat, J., Setyaningsih, E., Calvinus, Y., Reinard, V., & Hendisutio, A. (2023). Temperature, Humidity, Voltage and Current Data Logger for LED Street Light Luminaire. *AIP Conference Proceedings*, 2680(1). <https://doi.org/10.1063/5.0127315/2928467>
- Hardiman, G. (2012). Pertimbangan Iklim Tropis Lembab dalam Konsep Arsitektur Bangunan Modern. *Jurnal Arsitektur Universitas Bandar Lampung*, 2(2). <https://doi.org/10.36448/JAUBL.V2I2.307>
- Huang, D. S., Liao, Y. S., Kuo, H. J., Kuo, F. J., & Lin, M. T. (2016). Simulation of a high-power LED lamp for the evaluation and design of heat dissipation mechanisms. *Microsystem Technologies*, 22(3), 523–529. <https://doi.org/10.1007/s00542-015-2580-x>
- Huang, J., Golubovi'cgolubovi'c, D. S., Koh, S., Yang, D., Li, X., Fan, X., Zhang, G. Q., Golubovi'cgolubovi'c, D. S., Yang, D., & Fan, ) X J. (2015). Degradation mechanisms of mid-power white-light LEDs under high-temperature-humidity conditions. *ieeexplore.ieee.org*, 15(2). <https://doi.org/10.1109/TDMR.2015.2418345>

- Hui, S. Y. R., Chen, H., & Tao, X. (2012a). An extended photoelectrothermal theory for LED systems: A tutorial from device characteristic to system design for general lighting. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 27(11), 4571–4583. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2012.2188648>
- Hui, S. Y. R., Chen, H., & Tao, X. (2012b). *An Extended Photoelectrothermal Theory for LED Systems: A Tutorial from Device Characteristic to System Design for General Lighting*.
- Ji, E. K., Song, Y. H., Lee, M. J., & Yoon, D. H. (2015). Thermally stable phosphor-in-glass for enhancement of characteristic in high power LED applications. *Materials Letters*, 157, 89–92. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2015.05.092>
- Meneghini, M., Mura, G., Buso, S., Trevisanello, L.-R., Meneghini, M., Mura, G., Sanna, C., Spiazzi, G., Vanzì, M., Meneghesso, G., & Zanoni, E. (2007). Thermal stability analysis of high brightness LED during high temperature and electrical aging. *spiedigitallibrary.org*. <https://doi.org/10.1117/12.732398>
- Peña-García, A., & Sędziwy, A. (2020). Optimizing Lighting of Rural Roads and Protected Areas with White Light: A Compromise among Light Pollution, Energy Savings, and Visibility. *LEUKOS - Journal of Illuminating Engineering Society of North America*, 16(2), 147–156. <https://doi.org/10.1080/15502724.2019.1574138>
- Raul, D., Ghosh, K., Me, R., & Ghosh, K. (2018). Performance of chip-on-board and surface-mounted high-power LED luminaires at different relative humidities and temperatures. *journals.sagepub.com*, 51(8), 1249–1262. <https://doi.org/10.1177/1477153518819040>
- Robbins, C. J., & Fotios, S. (2020). Motorcycle safety after-dark: The factors associated with greater risk of road-traffic collisions. *Accident Analysis & Prevention*, 146, 105731. <https://doi.org/10.1016/J.AAP.2020.105731>
- Santosa, S. P., Mahyuddin, A. I., & Sunoto, F. G. (2017). Anatomy of Injury Severity and Fatality in Indonesian Traffic Accidents. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 49(3), 412–422.
- Setyaningsih, E., Calvinus, Y., & Pramudia, B. A. (2023). CSL19 Design Excellence Analysis for Street Lights with Previous Products. *AIP Conference Proceedings*, 2680(1). <https://doi.org/10.1063/5.0128005/2928416>
- Setyaningsih, E., Suryo Putranto, L., Soegijanto, & Soelami, F. X. N. (t.t.). *Analysis of The Visual Safety Perception and The Clarity of Traffic Signs and Road Markings in Presence of Road Lighting in Straight and Curved Road*.
- Valetti, L., Floris, F., & Pellegrino, A. (2021). Renovation of Public Lighting Systems in Cultural Landscapes: Lighting and Energy Performance and Their Impact on Nightscapes. *Energies*, 14(2). <https://doi.org/10.3390/EN14020509>