PENGEMBANGAN SISTEM MONITORING IOT PADA SINTESIS MIKROALGA MENGGUNAKAN PENCAHAYAAN LED SPEKTRAL BERBASIS ENERGI SURYA

I G. Suputra Widharma[1)], I G.N. Sangka[1)], I M. Sajayasa[1)], I K. Darminta[1)], I N. Sunaya[1)], A.A.M. Dewi Anggreni[2)]

[1]Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bali
[2]Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana Bali

E-mail: suputra@pnb.ac.id

Abstract

The development of Internet of Things (IoT) technology provides new opportunities in a more efficient and real-time microalgae cultivation monitoring system. This study aims to develop an IoT monitoring system for microalgae synthesis using solar-based spectral LED lighting. The system is designed using an ESP32 microcontroller integrated with temperature and pH sensors to automatically monitor the condition of the culture media. Monitoring data is sent in JSON format to the ThingsBoard platform via a WiFi network so that it can be monitored in real time. Testing was carried out on a spectral LED lighting system with a photovoltaic solar panel (PLTS) energy source. The results showed that the monitoring system successfully transmitted data with a success rate of 98.6% and an average communication latency of 1.8 seconds. The results of sensor testing showed that the average culture temperature was in the range of 27.3°C–28.6°C with a good level of reading stability. The culture pH value was in the range of 7.1–7.6 during the monitoring process. The ThingsBoard dashboard successfully displayed monitoring data in real time and stably. This research shows that the integration of IoT and solar energy has the potential to support the development of smart cultivation systems in sustainable microalgae cultivation.

Keywords: *synthesis microalgae, solar panel, spectral LED, IoT*

Abstraksi

Pengembangan teknologi Internet of Things (IoT) memberikan peluang baru dalam sistem pemantauan budidaya mikroalga yang lebih efisien dan real-time. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pemantauan IoT untuk sintesis mikroalga menggunakan pencahayaan LED spektral berbasis energi surya. Sistem ini dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan sensor suhu dan pH untuk memantau kondisi media kultur secara otomatis. Data pemantauan dikirim dalam format JSON ke platform ThingsBoard melalui jaringan WiFi sehingga bisa dipantau secara real-time. Pengujian dilakukan pada sistem pencahayaan LED spektral dengan sumber energi dari panel surya fotovoltaik (PLTS). Hasil menunjukkan bahwa sistem pemantauan berhasil mengirimkan data dengan tingkat keberhasilan 98,6% dan rata-rata keterlambatan komunikasi 1,8 detik. Hasil pengujian sensor menunjukkan bahwa suhu rata-rata kultur berada di kisaran 27,3°C–28,6°C dengan tingkat kestabilan pembacaan yang baik. Nilai pH kultur berada di kisaran 7,1–7,6 selama proses pemantauan. Dashboard ThingsBoard berhasil menampilkan data pemantauan secara real time dan stabil. Penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi IoT dan energi surya memiliki potensi untuk mendukung pengembangan sistem budidaya pintar dalam budidaya mikroalga yang berkelanjutan.

Kata kunci: sintesis mikroalga, panel surya, LED spektrum, IoT

PENDAHULUAN

Mikroalga merupakan mikroorganisme fotosintetik yang memiliki potensi besar dalam bidang bioenergi, farmasi, pangan, dan teknologi lingkungan. Pertumbuhan mikroalga dipengaruhi oleh berbagai parameter lingkungan seperti suhu, pH, intensitas cahaya, dan kestabilan media kultur. Monitoring parameter tersebut secara kontinu sangat penting untuk menjaga stabilitas proses sintesis mikroalga. Pada praktik konvensional, monitoring kultur mikroalga masih banyak dilakukan secara manual sehingga memiliki beberapa keterbatasan, seperti rendahnya efisiensi pengamatan, keterlambatan deteksi perubahan kondisi lingkungan, serta tingginya potensi kesalahan pembacaan data. Selain itu, sistem monitoring manual belum mampu mendukung pemantauan jarak jauh secara real-time.

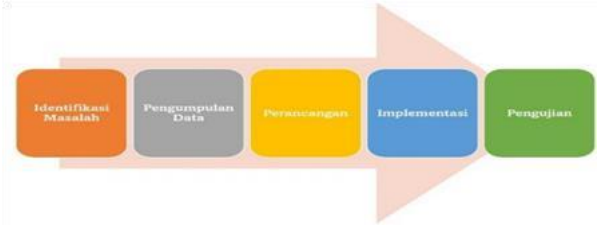
Perkembangan Internet of Things (IoT) memungkinkan proses monitoring dilakukan secara otomatis dan terintegrasi melalui jaringan internet. Teknologi IoT memungkinkan sensor melakukan pengiriman data secara real-time menuju cloud server sehingga parameter lingkungan dapat dipantau secara kontinu melalui dashboard digital. (Widharma, 2025). Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem monitoring IoT pada sintesis mikroalga menggunakan pencahayaan LED spektral berbasis energi surya. Sistem dikembangkan menggunakan ESP32, sensor suhu dan pH, serta dashboard ThingsBoard untuk mendukung monitoring real-time secara berkelanjutan. Kebutuhan kualitas mikroalga yang baik sebagai bahan industri pangan dan biofarmasi (Azimatun, 2024)(Anggreni, 2021).

Beberapa lembaga penelitian universitas di Indonesia aktif membuat penelitian tentang mikroalga. Tanaman mikroalga yang berwarna hijau-kebiruan yang hidup di air laut dan air tawar. Menjadi bahan makanan yang sering disebut sebagai makanan bergizi karena memiliki nutrisi yang lengkap dan kandungan protein yang cukup tinggi (Anggreni, 2021). Berdasarkan kondisi tersebut, maka sintesis mikrosampel mikroalga ini membutuhkan sumber energi untuk pencahayaan pada media pertumbuhan dan perkembangan mikrolaga tersebut yang disesuaikan dengan habitat aslinya, serta memberikan pemantauan terhadap faktor yang mempengaruhi perkembangannya seperti pH air dan temperatur air (Bialevich, 2022)(Rochadiani, 2021). Kebaruan (*novelty*) penelitian ini terletak pada pengembangan monitoring real-time berbasis IoT, format pengiriman data, integrasi dashboard ThingsBoard, monitoring simultan suhu dan pH

kultur mikroalga, serta pemanfaatan energi surya sebagai sumber daya sistem monitoring. Dengan demikian, penelitian ini menawarkan pendekatan *smart cultivation* system yang lebih adaptif, efisien, dan berkelanjutan (Widharma, 2025).

METODE PENELITIAN

Berdasarkan roadmap penelitian pada gambar 1 dapat dibuat bagan alir penelitian dengan metode penelitian yang menggunakan pendekatan kualitas dan kuantitas terhadap hasil sintesis. Mulai dari persiapan bahan sintesis yang menggunakan media air laut dari lepas pantai di desa seraya karangasem, merancang PLTS - IoT dan melaksanakan sintesis mikroalga.



Gambar 1. Langkah Penelitian Sintesis Mikroalga

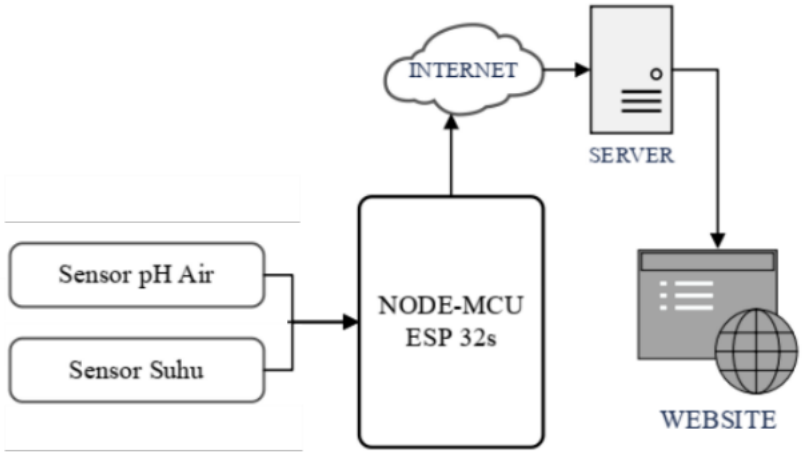
Agar system Pembangkit Tenaga Listrik Surya dapat bekerja dengan baik dam umur pemakaian system bertahan lebih lama, maka penentuan kapasitas tiap komponen PLTS harus diperhatikan dengan baik, berikut adalah beberapa cara menentukan komponen PLTS dan menentukan kebutuhan daya listrik adalah menghitung daya yang dibutuhkan pada peralatan yang akan disupply oleh panel surya dan berapa lama pemakaian, hasil dari perhitungan ini menghasilkan daya perharinya (Jatmiko, 2021)(J. Lin, 2017).

Beban total untuk sehari sebesar 480 Wh, kapasitas baterai yang dipakai dalam perencanaan PLTS yang dapat menyuplai beban yaitu Batterei 12V 100 Ah. Perancangan PLTS menggunakan komponen yaitu panel surya 100 WP, baterai 12V 20Ah, SCC MPPX, MCB 6A, dan lampu DC 10W. Dalam penelitian ini, sintesis mikroalga menggunakan media air laut yang diambil dari laut lepas pantai Yeh Kali Seraya pada awal bulan April. Sintesis dilakukan dengan mencampurkan nutrisi ke air laut pada media dengan perbandingan 1:10. Kemudian pada media tersebut juga diberikan cahaya LED seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Proses Sintesis Mikrosampel Mikroalga

Model sistem monitoring dikembangkan menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terhubung dengan sensor suhu, sensor pH, modul WiFi, sistem pencahayaan LED spektral, serta sistem panel surya (Sangka, 2025). ESP32 berfungsi sebagai pusat pengendali dan komunikasi data menuju server cloud seperti ditunjukan pada Gambar 3.



Gambar 3. Sistem Kontrol pada Sintesis Mikrosampel Mikroalga

Kalibrasi sensor suhu dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap termometer digital referensi (Lombardi, 2021) (Wakhid, 2022). Sementara itu, sensor pH dikalibrasi menggunakan larutan buffer pH 4, pH 7, dan pH 10. Data sensor dikirim melalui jaringan WiFi menuju platform ThingsBoard. Parameter yang dikirim meliputi suhu, pH, status LED, dan tegangan sistem PLTS. Interval pengiriman data ditetapkan setiap 10 detik. Pengujian dilakukan selama 7 hari pada sistem sintesis mikroalga menggunakan beberapa variasi spektrum LED. Parameter yang dianalisis

meliputi keberhasilan pengiriman data, latency komunikasi, kestabilan pembacaan sensor, dan performa dashboard monitoring.

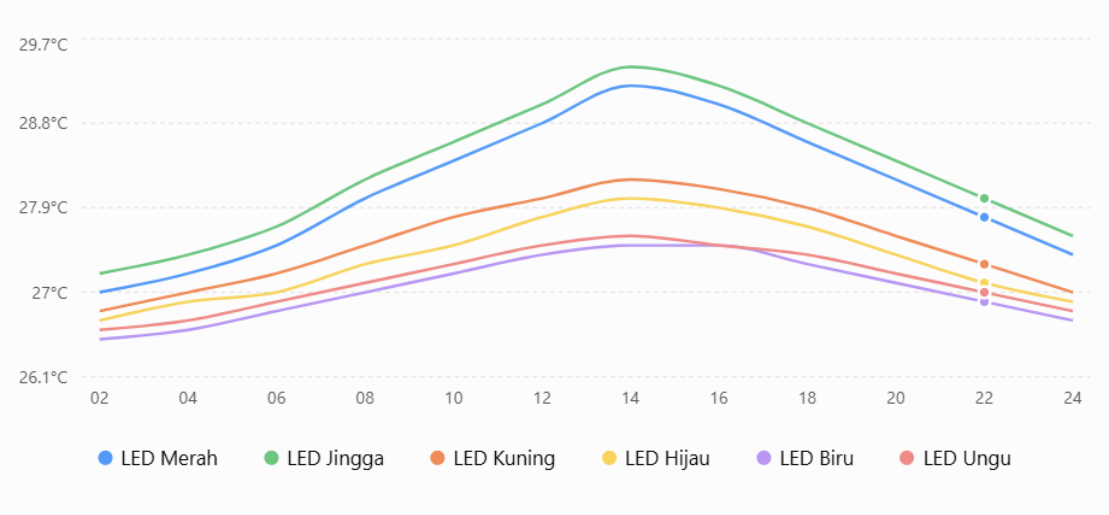
HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis dilakukan pada media dengan masing-masing media secara terpisah diberikan pencahayaan LED dengan spektrum cahaya berbeda, yaitu merah (*red*), hijau (*green*), biru (*blue*), kuning (*yellow*), jingga (*orange*), dan ungu (*violet*). Pada tiap kondisi dimonitoring, diukur secara berkala dan dianalisis melalui pertumbuhan mikroalga. Rerata perubahan suhu sepekan sistem diuji dalam memonitoring suhu air laut sebagai media sintesis mikroalga dalam sepekan mulai hari senin hingga sabtu dan minggu diamati perkembangan mikroalga. Sistem monitoring berhasil melakukan pembacaan suhu dan pH secara kontinu selama proses sintesis mikroalga berlangsung seperti pada Tabel 1.

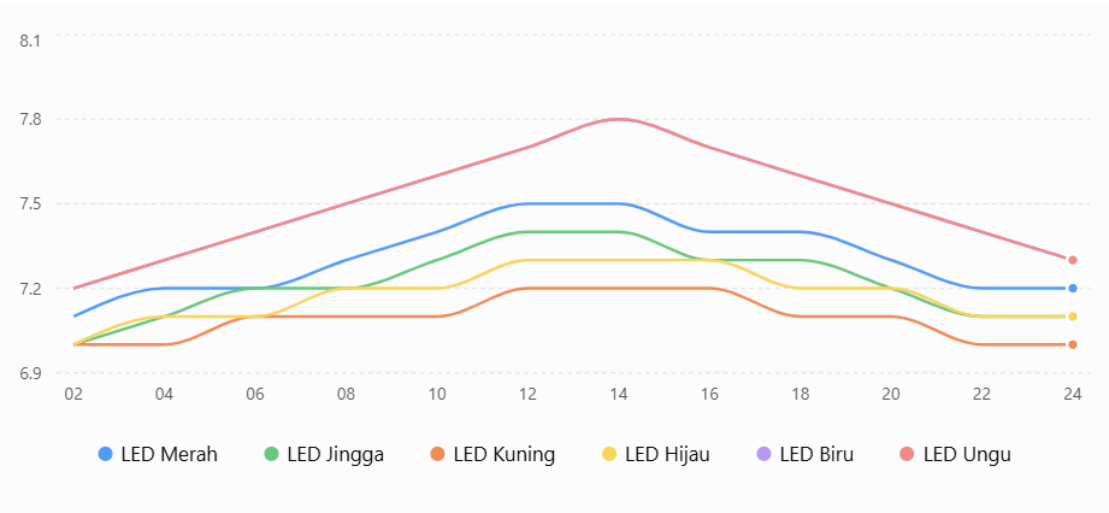
Tabel 1
Monitoring Suhu dan pH Air Media Sintesis Rata-rata Harian

Spectrum LED	Rata-rata Suhu (°C)	Rata-rata pH
Red	28,3	7,4
Green	27,8	7,2
Blue	27,3	7,6
Yellow	28,0	7,1
Orange	28,6	7,3
Violet	27,5	7,5

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu membaca perubahan suhu dan pH secara stabil pada seluruh perlakuan pencahayaan. Dibandingkan penelitian dengan pencahayaan tetap dari lampu halogen yang memperoleh rata-rata suhu sebesar 26,4-28,4 dan pH sebesar 5,6-6,2 (Widharma, 2024). Berikut adalah kurva rerata perubahan suhu dan pH dalam 24 jam dari media setelah mendapat pencahayaan spektrum berbeda dalam proses sintesis mikroalga seperti pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4. Rerata Perubahan Suhu Media Air Harian pada Sintesis



Gambar 5. Rerata Perubahan pH Media Air Harian pada Sintesis

Data monitoring berhasil dikirim menuju server ThingsBoard menggunakan format JSON secara real-time. Penggunaan format JSON memudahkan integrasi data dengan platform cloud monitoring dan mendukung fleksibilitas pengembangan sistem. Hasil pengujian menunjukkan bahwa komunikasi data berjalan dengan baik dan stabil selama proses monitoring berlangsung. Dashboard ThingsBoard berhasil menampilkan grafik suhu, grafik pH, status pencahayaan LED, dan tegangan PLTS secara real-time. Visualisasi dashboard mempermudah pengguna dalam melakukan pemantauan kondisi kultur mikroalga tanpa harus melakukan pengamatan langsung pada lokasi penelitian.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi IoT mampu meningkatkan efektivitas monitoring kultur mikroalga dibandingkan metode manual. Penggunaan

ESP32 memberikan fleksibilitas komunikasi data dengan konsumsi daya yang relatif rendah sehingga sesuai digunakan pada sistem berbasis energi surya. Integrasi ThingsBoard memungkinkan visualisasi data secara real-time dan mendukung sistem monitoring jarak jauh. Selain itu, penggunaan format JSON memberikan kemudahan dalam proses pengembangan sistem berbasis cloud. Sistem monitoring yang dikembangkan juga memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut menuju otomasi penuh berbasis kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) untuk pengendalian pencahayaan dan kondisi lingkungan kultur secara adaptif.

SIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk merancang metode sintesis mikroalga dengan menggunakan cahaya LED yang bersumberkan pada panel surya (PLTS). Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem monitoring IoT pada sintesis mikroalga menggunakan pencahayaan LED spektral berbasis energi surya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem monitoring mampu melakukan pembacaan suhu dan pH secara real-time, pengiriman data JSON menuju platform ThingsBoard berjalan dengan tingkat keberhasilan sebesar 98,6%, sistem komunikasi memiliki rata-rata latency sebesar 1,8 detik, dashboard monitoring berhasil menampilkan data suhu, pH, status LED, dan tegangan PLTS secara stabil.

Penelitian selanjutnya dapat diarahkan pada pengembangan sistem kontrol otomatis berbasis Artificial Intelligence untuk optimasi kondisi pertumbuhan mikroalga.

DAFTAR PUSTAKA

Anggreni, AAMD; Arnata, IW; Gunam, IBW. (2021). Microalgae Isolation found in Kedonganan beach, Badung Bali, Indonesia. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 913-012067. doi:10.1088/1755-1315/913/1/012067

Azimatun Nur. (2024). Potensi Mikroalga sebagai Sumber Pangan Fungsional di Indonesia (overview). Eksergi 11 (2).

Bialevich, V.; Zachleder, V.; Bišová, K. (2022). The Effect of Variable Light Source and Light Intensity on the Growth of Three Algal Species. Cells, 11, 1293. https://doi.org/ 10.3390/cells11081293

Dewi Anggreni, A.A.M., N.S. Antara, L.P. Wrasiati, IBW Gunam. (2021). Determination of the shelf life of microencapsulated extract of microalgae nannochloropsissp with accelerated shelf life testing. Annals of the Romanian Society for cell Biology.

IG. S. Widharma, I N. Sunaya, I M. Sajayasa, I G. N. Sangka, I K. Darminta, A.A.M.D. Anggreni. (2021). Effect of Heating Light on Lamps to the Behaviour of Tilapia Seedlings Sourced from Solar Panels. Proceedings iCAST-ES 2021, pages 1305-1311.

Jatmiko, Hasyim Asy'ari, Mahir Purnama. (2021). Pemanfaatan Sel Surya dan Lampu LED untuk Perumahan. Seminar Nasional Teknologi Informasi & Komunikasi Terapan

J. Lin, W. Yu, N. Zhang, X. Yang, H. Zhang, W. Zhao. (2017). A survey on internet of things: Architecture, enabling technologies, security and privacy, and applications. IEEE ITJ, 4, 1125–1142, 2017.

Lombardi, F. Pascale, D. Santaniello. (2021). Internet of Things: A General Overview between Architectures, Protocols and Applications. Information, 12, 87.

Nurjaman, HB; Purnama, T. (2022). Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sebagai Solusi Energi Terbarukan Rumah Tangga. Jurnal Edukasi Elektro, Vol. 06, No. 02.

Rochadiani, TH; William, W.; Santoso, H; Natasya, Y; Ariqoh, UDN; Rahayu, RAS. (2022). Penerapan IoT Untuk Pemantauan Kualitas Air Kolam Peternak Ikan Di Kampung Kalipaten. Prosiding PKM-CSR, Vol. 5

Sangka, IGN., IG. S. Widharma, IG.K.S. Budarsa. (2026). Mathematical modeling of adaptive lighting system based on solar panels and digital communication for microalgae synthesis. Kinetik: Game Technology, Information System, Computer Network, Computing 11 (1).

Suputra Widharma, I. M. Sajayasa, I. G. N. Sangka, A. A. M. D. Anggreni, I. K. Darminta, I. N. Sunaya, I. K. G. Sri Budarsa. (2025). Engineering the Light Environment for Impact of Adaptive Illumination on Microalgae Synthesis Efficiency. Proceedings of the International Conference on Applied Science and Technology on Engineering Science 2025 (iCAST-ES 2025).

Suputra Widharma, IG., I M. Sajayasa, IG.N. Sangka, I N. Sunaya, A.A.M.D. Anggreni. (2025). Integration of IoT and Digital Technologies in Adaptive Lighting Systems to Optimize Microalgae Synthesis. AJNS, vol. 8 (2)

Wakhid, AR; Alifah, S; Marwanto, A. (2022). Pengembangan Sistem Monitoring dan Kendali Pertumbuhan Tanaman Semangka dengan TCS230 Berbasis IOT. Jurnal cyclotron Vol 5, No.02

Widharma, IGS, Sunaya, IN; Sajayasa, IM; IGN Sangka; Darminta, IK; Anggreni, AAMD, IGK. Sri Budarsa. (2024) Synthesis of Micro-Algae Micro-Sample Using

Lamp Light Source from Solar Panel and Integrated to Internet. Proceedings iCoSTAS-EAS 2024, pages 32. Springe Nature.

Widharma, IGS, I M. Sajayasa, I G. N. Sangka, I n. Sunaya, I K. Darminta, I G. K. Sri Budarsa. (2024). Synthesis of Micro-Algae Micro-Sample Using Lamp Light Source from Solar Panel and Integrated to Internet of Things", Proceedings of the International Conference on Sustainable Green Tourism Applied Science-Engineering Applied Science 2024 (ICoSTAS-EAS 2024)