

IMPLEMENTASI SISTEM PENCAHAYAAN LED SPEKTRAL BERSUMBER PLTS TERINTEGRASI IOT DAN TEKNOLOGI DIGITAL UNTUK SINTESIS MIKROSAMPEL MIKROALGA

I Gede Suputra Widharma¹, I Ketut Darminta², I Gde Nyoman Sangka³,
I Made Sajayasa⁴, I Nengah Sunaya⁵, A. A. Made Dewi Anggreni⁶

¹²³⁴⁵Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bali, Kuta Selatan, Badung, Bali 80364

⁶Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana, Kuta Selatan, Badung, Bali 80364

E-mail: suputra@pnb.ac.id, iketutdarminta@pnb.ac.id, kmgsangka@pnb.ac.id,

msajayasa@pnb.ac.id, nengahsunaya@pnb.ac.id, dewianggreni@unud.ac.id

Abstrak – Perkembangan teknologi smart cultivation memberikan peluang dalam pengembangan laboratorium berbasis teknologi pada pendidikan vokasi. Namun demikian, implementasi sistem budidaya mikroalga berbasis teknologi masih menghadapi beberapa kendala seperti tingginya biaya operasional, keterbatasan penggunaan energi terbarukan, dan minimnya sistem monitoring otomatis. Penelitian ini bertujuan mengimplementasikan sistem pencahayaan LED spektral berbasis photovoltaic solar panel (PLTS) dan Internet of Things (IoT) untuk sintesis mikrosampel mikroalga. Sistem dikembangkan menggunakan kombinasi LED spektral, panel surya, baterai penyimpanan, sensor suhu dan pH, serta mikrokontroler ESP32 untuk monitoring sederhana secara real-time. Implementasi dilakukan pada laboratorium pendidikan vokasi dengan pendekatan prototype smart cultivation system. Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem mampu beroperasi dengan baik menggunakan sumber energi surya dan mendukung monitoring kondisi kultur secara digital. Sistem pencahayaan LED spektral berhasil digunakan pada proses sintesis mikroalga dengan suhu rata-rata kultur berada pada rentang 27,3°C–28,6°C dan nilai pH berkisar antara 7,1–7,6. Pengujian prototype menunjukkan sistem monitoring berjalan stabil dan mudah dioperasikan sebagai media pembelajaran teknologi terapan di laboratorium vokasi. Penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi PLTS, LED spektral, dan IoT berpotensi mendukung pengembangan smart laboratory yang hemat energi dan aplikatif pada pendidikan vokasi.

Kata kunci: Mikroalga; Smart Cultivation; LED Spektral; PLTS; IoT; Teknologi Digital

Abstract- The development of smart cultivation technology provides opportunities for the development of technology-based laboratories in vocational education. However, the implementation of technology-based microalgae cultivation systems still faces several obstacles such as high operational costs, limited use of renewable energy, and the lack of an automated monitoring system. This study aims to implement a spectral LED lighting system based on photovoltaic solar panels (PLTS) and the Internet of Things (IoT) for the synthesis of microalgae microsamples. The system was developed using a combination of spectral LEDs, solar panels, storage batteries, temperature and pH sensors, and an ESP32 microcontroller for simple real-time monitoring. Implementation was carried out in a vocational education laboratory using a smart cultivation system prototype approach. The implementation results showed that the system was able to operate well using solar energy sources and supported digital monitoring of culture conditions. The spectral LED lighting system was successfully used in the microalgae synthesis process with an average culture temperature in the range of 27.3°C–28.6°C and a pH value ranging from 7.1–7.6. Prototype testing showed that the monitoring system ran stably and was easy to operate as a learning medium for applied technology in vocational laboratories. This research shows that the integration of solar power plants, spectral LEDs, and IoT has the potential to support the development of energy-efficient and applicable smart laboratories in vocational education.

Keyword : Microalgae; smart cultivation; LED spectral; Solar panel; IoT; Digital Technology

PENDAHULUAN

Revolusi Industri ditandai dengan penerapan teknologi canggih seperti Internet of Things (IoT), kecerdasan buatan (AI), dan teknologi digital.

Teknologi ini memberikan peluang besar bagi masyarakat dalam mengembangkan sistem yang lebih efisien dan terhubung. [1] Dalam hal ini pada penerapan teknologi modern, khususnya IoT dan teknologi digital ini

diharapkan dapat memberikan solusi yang relevan bagi pengembangan teknologi yang tidak hanya efisien secara industri, tetapi juga selaras dengan program pemerintah yaitu sustainability development. [2] Perkembangan teknologi digital dan energi terbarukan mendorong transformasi laboratorium pendidikan menuju konsep smart laboratory. Pada pendidikan vokasi, implementasi teknologi berbasis Internet of Things (IoT), energi surya, dan sistem otomasi menjadi penting untuk meningkatkan kompetensi mahasiswa dalam bidang teknologi terapan.

Mikroalga merupakan salah satu objek penelitian yang banyak dikembangkan dalam bidang bioengineering karena memiliki potensi pada sektor energi, pangan, farmasi, dan lingkungan. Proses sintesis mikroalga sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti suhu, pH, dan pencahayaan. Oleh karena itu, sistem pencahayaan dan monitoring menjadi komponen penting dalam mendukung pertumbuhan kultur mikroalga. Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem kultur mikroalga menggunakan lampu LED dan monitoring digital. Namun demikian, implementasi teknologi smart cultivation pada laboratorium pendidikan vokasi masih relatif terbatas. Kendala yang sering ditemukan meliputi tingginya biaya operasional, penggunaan energi listrik konvensional, dan keterbatasan sistem monitoring otomatis.

Selain itu, sebagian besar penelitian masih berfokus pada skala laboratorium penelitian dan belum diarahkan sebagai media pembelajaran teknologi terapan yang sederhana dan mudah diimplementasikan pada pendidikan vokasi. Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan mengimplementasikan sistem pencahayaan LED spektral berbasis PLTS dan IoT untuk sintesis mikrosampel mikroalga pada lingkungan laboratorium pendidikan vokasi. Penelitian ini diharapkan dapat mendukung pengembangan smart cultivation system yang hemat energi, aplikatif, dan edukatif.

Penelitian mengenai budidaya mikroalga berbasis teknologi telah berkembang pada beberapa tahun terakhir, terutama pada penggunaan LED grow light

dan sistem monitoring digital. LED banyak digunakan karena memiliki efisiensi energi yang lebih baik dibandingkan lampu konvensional. Di sisi lain, penggunaan Internet of Things (IoT) juga mulai diterapkan untuk monitoring suhu dan pH kultur secara real-time. Namun sebagian besar penelitian masih menggunakan sumber daya listrik konvensional sehingga belum mendukung konsep green technology dan sustainable laboratory.

Pada lingkungan pendidikan vokasi, implementasi smart cultivation system masih terbatas karena biaya pengadaan sistem relatif tinggi, kompleksitas perangkat, dan keterbatasan integrasi teknologi pembelajaran berbasis energi terbarukan. Kebaruan penelitian ini terletak pada implementasi prototype smart cultivation sederhana, penggunaan energi surya sebagai sumber daya utama, integrasi LED spektral dan monitoring IoT, serta penerapan sistem sebagai media pembelajaran teknologi terapan di laboratorium vokasi. Penelitian ini menawarkan pendekatan implementatif yang lebih sederhana, hemat energi, dan mudah direplikasi pada laboratorium pendidikan.

Seiring dengan perkembangan teknologi digital, mengoptimalkan pemanfaatan sistem kontrol agar semakin meningkat. Dengan memanfaatkan IoT proses monitoring dan kontrol dapat dilakukan dari tempat jauh dimana proses sintesis dilaksanakan. Hasil sintesis dapat dikirimkan ke perangkat digital lain seperti web ataupun smartphone (gadget) yang dipakai secara real time.

Metode evaluasi yang tepat untuk mengukur keberhasilan integrasi IoT dan teknologi digital meningkatkan kemampuan monitoring dan kontrol proses sintesis mikrosampel mikroalga bersumberkan PLTS, harus mengkaji secara mendalam berbagai permasalahan di atas dan memberikan solusi yang dapat menghubungkan antara perkembangan teknologi digital dengan menciptakan lingkungan smart cultivation

yang produktif, efektif dan mendukung pembangunan berkelanjutan.

METODE

Dalam metode penelitian ini melakukan kajian literatur berdasarkan kajian-kajian mendalam, perancangan sistem, observasi, analisa hasil penelitian serta hasil yang diharapkan dari integrasi IOT dan teknologi digital pada sintesis mikrosampel mikroalga bersumber PLTS.



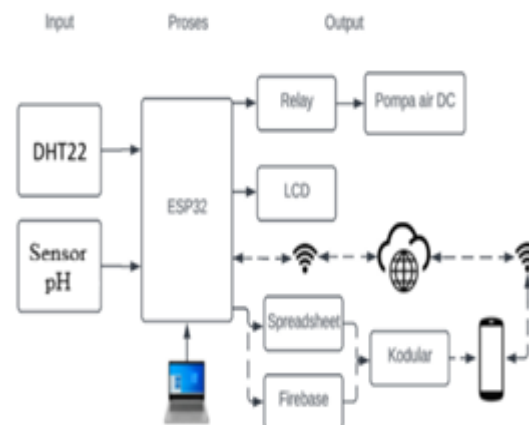
Gambar 1. Sintesis Mikrosample Mikroalga dengan Spektral LED

Penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu:

- perancangan sistem,
- perakitan perangkat keras,
- integrasi PLTS,
- pemasangan LED spektral,
- integrasi sensor suhu dan pH,
- pengujian prototype.

Dengan maksud dan tujuan ingin memonitoring dan kontrol baik suhu maupun pH media sintesis, dibuat sistem komunikasi digital dari tempat penelitian yaitu media sintesis mikrosampel mikroalga tersebut dengan operator (komunikator) dan ke sistem kontrol melalui IoT. Sistem monitoring dan kontrol ini memiliki 3 bagian yang terdiri dari input, proses, dan output. Pada bagian masukan (input) merupakan bagian yang berfungsi untuk memasukkan data dari input (kondisi media sintesis dalam hal ini temperatur dan pH media) yang digunakan menuju bagian proses yaitu mikrokontroler. Perangkat

utama yang digunakan meliputi photovoltaic solar panel (PLTS), baterai penyimpanan, LED spektral, ESP32, sensor suhu, sensor pH, dan media kultur mikroalga.



Gambar 2. Sistem Monitoring dan Kontrol Integrasi IoT dan Komunikasi Digital

Komponen yang digunakan sebagai input yaitu sensor pH air, sensor DHT22 dan input dari aplikasi kodular untuk mengontrol kondisi media sintesis. Sensor pH ini sebagai sensor yang mendeteksi derajat keasaman air media sintesis, sensor DHT22 sebagai pendeteksi suhu. Bagian proses atau pemrosesan merupakan bagian yang berfungsi untuk melakukan pemrosesan dari data yang telah dimasukkan dari bagian masukan sehingga data yang diproses bisa ditampilkan ke bagian keluaran. Bagian keluaran merupakan bagian yang berfungsi untuk menampilkan data yang telah diproses oleh mikrokontroler. Hasil keluaran tersebut berupa data yang ditampilkan pada aplikasi (dimonitoring komunikator melalui android/gadget) dan LCD (tampilkan pesan untuk dibaca komunikator di tempat), serta digunakan sebagai kontrol modul relay yang terhubung ke pompa DC.

DHT22 adalah sensor digital yang digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan. Untuk menghubungkan DHT22 ke mikrokontroler sesuai dengan spesifikasi sensor. Pin Data sensor DHT22 dihubungkan ke salah satu pin digital input pada mikrokontroler. Untuk memastikan stabilitas

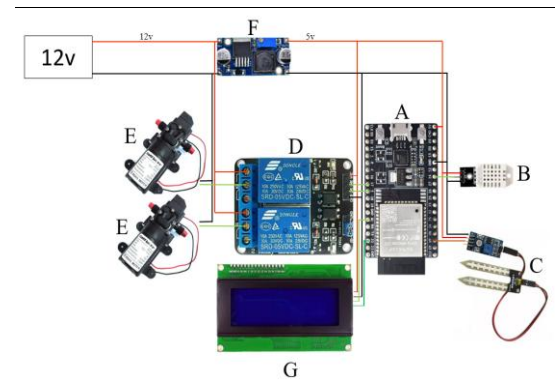
sinyal data. Pin NC pada sensor dibiarkan tidak terhubung karena tidak digunakan dalam komunikasi. Sensor pH air media sintesis dengan IC LM393N menggunakan prinsip komparator untuk mendeteksi tingkat pH. Sensor ini memiliki dua elektroda yang dimasukkan ke dalam air, dan resistansinya berubah sesuai dengan tingkat keasaman air. Output dihubungkan ke mikrokontroler atau indikator seperti LED untuk memberikan umpan balik visual atau data digital tentang nilai pH air media sintesis. Selain itu, output dihubungkan ke pin digital pada mikrokontroler untuk pemrosesan lebih lanjut atau pengambilan keputusan berdasarkan tingkat keasaman larutan yang terdeteksi.

Sistem monitoring dikembangkan menggunakan ESP32 untuk membaca data suhu dan pH secara berkala. Data monitoring ditampilkan melalui dashboard sederhana berbasis IoT untuk memudahkan proses pengamatan kultur. Pengujian Sistem dilakukan untuk mengevaluasi stabilitas sistem pencahayaan, fungsi monitoring suhu dan pH, kestabilan sumber energi PLTS, dan kemudahan penggunaan prototype pada sintesis mikrosampel mikroalga.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut merupakan gambar rangkaian sistem monitoring dan kontrol yang mengintegrasikan IoT sebagai media komunikasi digital untuk diterapkan pada media sintesis mikrosampel mikroalga yang menggambarkan sistem elektronik dalam kondisi *existing*, mulai dari sumber input yang mensuplai kondisi terkini media sintesis dalam hal ini kondisi temperatur dan pH air untuk dikirim ke perangkat digital dan ke pusat kontrol sistem monitoring. Prototype smart cultivation berhasil diimplementasikan menggunakan kombinasi PLTS,

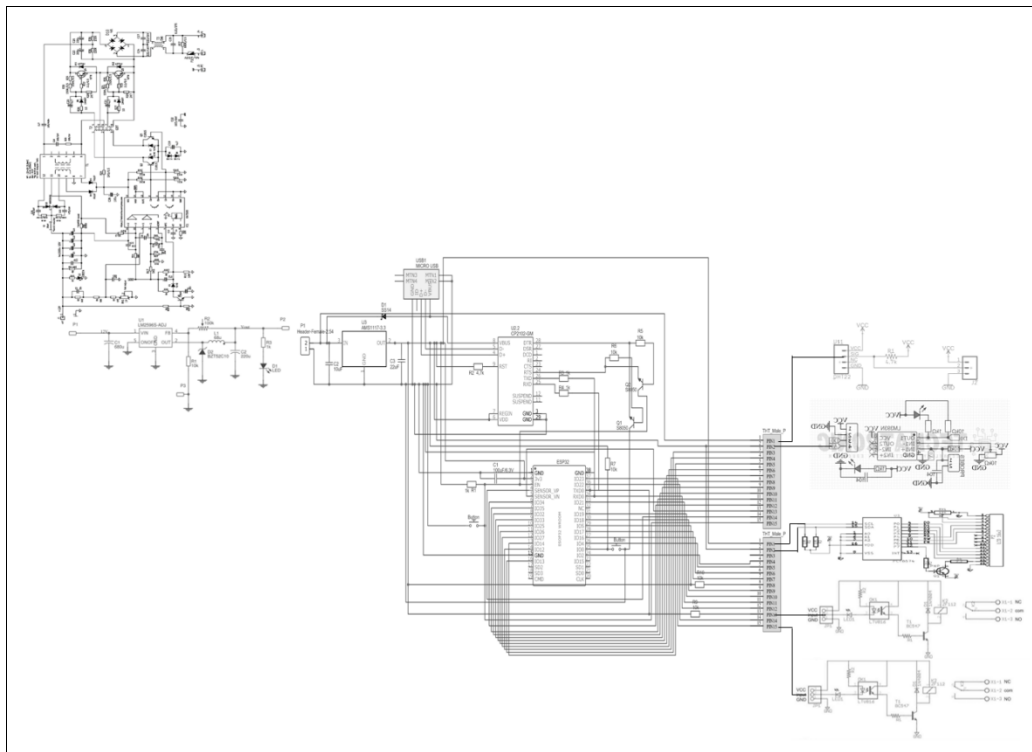
LED spektral, dan monitoring IoT sederhana. Sistem mampu menyalakan LED spektral secara stabil, melakukan monitoring suhu dan pH, serta mendukung proses sintesis mikrosampel mikroalga.



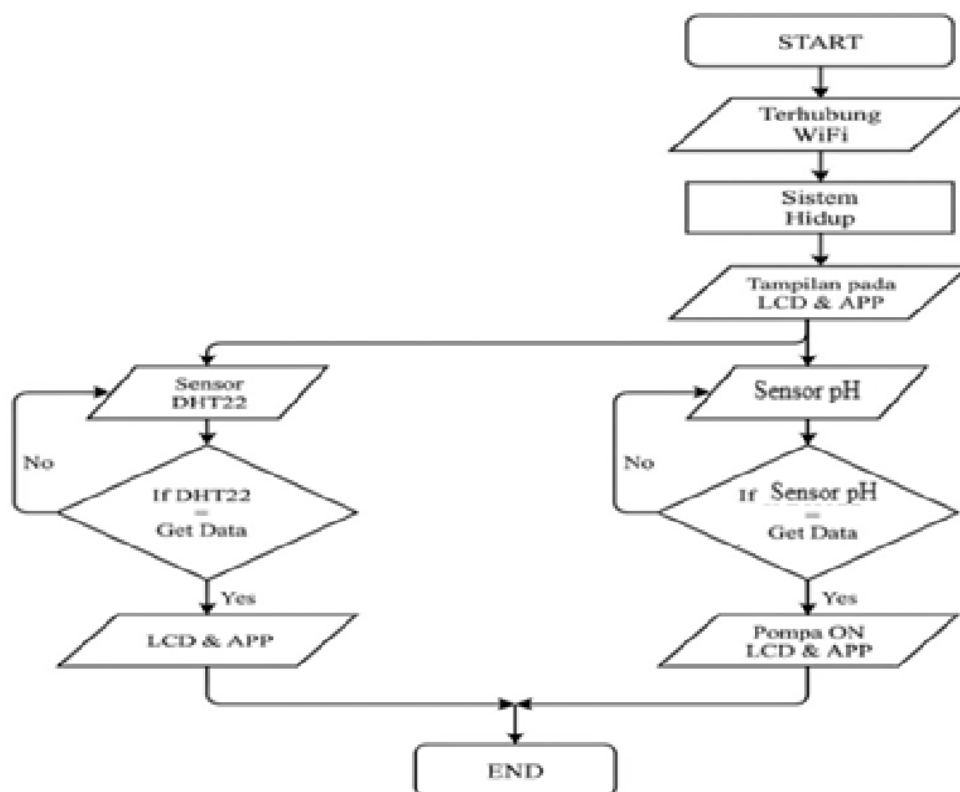
Gambar 3. Simulasi Sistem Monitoring dan Kontrol

Langkah awal dalam perancangan sistem yang perlu dilakukan adalah membuat simulasi sistem monitoring dan kontrol dan kemudian meng-*input* data masing-masing sensor dan piranti elektronika pendukung sistem. Setelah semua data-data sensor yang diperlukan di-*input* dan di-*setting* sesuai kebutuhan, selanjutnya dikirim ke komunikator untuk info dan ke central prosesor dalam hal ini mikrokontroler.

Kemudian proses berlangsung seperti yang ditunjukkan pada gambar *flowchart* yang ditampilkan seperti gambar 4 dan gambar 5. Sedangkan tabel hasil pengukuran konvensional dan tampilan data pada IoT yang diterima komunikator ditunjukkan pada tabel 1.



Gambar 4. Skematik Rangkaian Elektronis pada Sistem Monitoring dan Kontrol



Gambar 5. Flowchart Aliran Proses Sistem Monitoring dan Kontrol Media Sintesis**Tabel 1.** Perbandingan Hasil Pengukuran Konvensional dan Tampilan IoT

LED	Rerata pH air untuk Tiap Spektral (IoT)	Rerata pH air untuk Tiap Spektral (Alat Ukur)	Error (%)
<i>Red</i>	7,47	7,4	0,93%
<i>Green</i>	7,21	7,2	0,13%
<i>Blue</i>	7,62	7,6	0,26%
<i>Yellow</i>	7,13	7,2	0,98%
<i>Orange</i>	7,31	7,3	0,13%
<i>Violet</i>	7,52	7,5	0,26%

LED	Rerata Suhu (C) pada Tiap Spektral (IoT)	Rerata Suhu (C) Tiap Spektral (Alat Ukur)	Error (%)
<i>Red</i>	28,3	27	4,59%
<i>Green</i>	27,8	27	2,87%
<i>Blue</i>	27,3	27	1,09%
<i>Yellow</i>	28,1	28	0,36%
<i>Orange</i>	28,6	28	2,09%
<i>Violet</i>	27,5	28	1,82%

Sumber: Hasil Pengumpulan Data dan Perhitungan Error

Berdasarkan hasil pengukuran secara konvensional dengan alat ukur, kemudian dibandingkan hasil yang diterima komunikator melalui aplikasi dan tampilan LCD yang dikirimkan sistem terintegrasi IoT, serta menentukan persentase kesalahan informasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem monitoring mampu membaca kondisi lingkungan kultur secara stabil selama proses implementasi berlangsung.

Dalam mengetahui keakuratan sensor pH air dalam mendeteksi derajat keasaman larutan dan keakuratan sensor DHT22 dalam mendeteksi suhu media sintesis, pengukuran dilakukan dengan alat ukur konvensional dibandingkan nilai pada tampilan IoT untuk masing-masing spektral LED (*red, green, blue, yellow, orange, violet*) . Pada tabel 1 hasil pengujian keakuratan sensor pH dilakukan masing-masing 6 kali percobaan dan dirata-ratakan. Pada percobaan untuk spektral red, rerata pH yang didapat sensor sebesar 7,47

dan pH yang didapat dengan alat ukur konvensional sebesar 7,4. Nilai error yang dihasilkan pada aplikasi komunikator melalui IoT pada percobaan red spektral sebesar 0,93%. Demikian seterusnya untuk percobaan spektral *green blue yellow orange violet* hingga pengukuran semua diperoleh seperti pada tabel. Demikian pula pada hasil pengujian keakuratan sensor DHT22 dilakukan 6 kali percobaan. Pada percobaan dengan spektral red, suhu yang didapat aplikasi komunikator melalui IoT sebesar 28,3 derajat dan suhu yang didapat dengan thermogun sebesar 27 derajat. Nilai error yang dihasilkan sensor pada percobaan pertama sebesar 4,59 %. Demikian seterusnya hingga pengukuran dengan spektral *green blue yellow orange violet* diperoleh sesuai tabel tersebut. Adapun diperoleh rata-rata nilai error pada pengukuran pH dengan rumus berikut:

Rata – rata

$$= \frac{(0,93 + 0,23 + 0,26 + 0,98 + 0,13 + 0,26)}{6}$$

$$= 0,45\%$$

Akurasi sensor pH dalam membaca tingkat keasaman larutan media sintesis mencapai 99,55%, dimana nilai akurasi yang didapat mendekati nilai 100%.

Demikian pula rata-rata nilai error sensor suhu dengan menggunakan rumus berikut:

Rata – rata

$$= \frac{(4,59 + 2,87 + 1,09 + 0,36 + 2,09 + 1,82)}{6}$$

$$= 2,13\%$$

Akurasi sensor DHT22 dalam membaca suhu mencapai 97,87%, dimana nilai akurasi yang didapat mendekati nilai 100%.

Pengujian sistem monitoring pada implementasi software akan berisi tentang software yang akan digunakan dalam pembuatan otomatis berdasarkan rancangan yang telah dibuat. Adapun software yang diperlukan adalah: Arduino IDE, database dan aplikasi.



Gambar 6. Tampilan Sistem pada Aplikasi

Implementasi software pada penelitian ini terdiri dari 4 penelitian, yaitu coding program dengan menggunakan Arduino IDE, selanjutnya database menggunakan firebase dan spreadsheet, lalu monitoring sistem realtime yang didapat menggunakan aplikasi yang dapat dimonitoring pada perangkat digital. Pada gambar 6 berikut merupakan realtime database yang akan ditampilkan pada aplikasi. Data yang ada pada realtime adatabase meliputi, data suhu, datapH, data tingkat nutrisi dalam larutan yang menunjukkan ada perkembangan mikrosampel mikroalga pada media sintesis tersebut untuk memonitoring pertumbuhannya oleh sistem atau langsung oleh operator (user).

Disamping pelaporan data temperatur dan pH diterima komunikator melalui androidnya seperti ditunjukkan pada gambar 6 tadi, data juga dikirim ke web yang terinstal pada komputer sehingga bisa monitoring dari tempat lain dan datanya tersimpan. Tampilan yang muncul pada web lebih lengkap dan terperinci sehingga data yang tersimpan dalam database web tersebut bisa digunakan untuk menganalisa bagaimana kondisi mikroalga seperti ditunjukkan pada gambar 7.

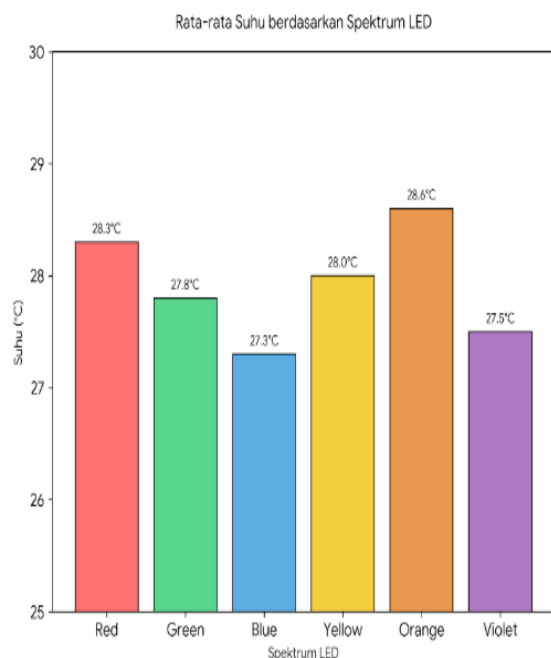
Timestamp	Suhu (°C)	Ketersapan Udara (%)	Ketersapan Total (%)
[cite: 2024-05-15 10:11:00]	30	72	55
[cite: 2024-05-15 10:12:30]	29	71	54
[cite: 2024-05-15 10:14:00]	31	73	56
[cite: 2024-05-15 10:15:00]	30	72	55
[cite: 2024-05-15 10:16:30]	30	72	85
[cite: 2024-05-15 10:17:30]	29	72	55
[cite: 2024-05-15 10:18:00]	29	73	54
[cite: 2024-05-15 10:19:00]	29	72	55
[cite: 2024-05-15 10:21:00]	29	71	54
[cite: 2024-05-15 10:22:30]	29	72	56
[cite: 2024-05-15 10:23:30]	29	73	55
[cite: 2024-05-15 10:24:00]	30	73	55
[cite: 2024-05-15 10:25:00]	30	72	85

Gambar 7. Tampilan pada Web di Komputer

Dengan tampilan ini pelaksanaan penelitian mikrosampel mikroalga dapat termonitoring dan terkontrol dengan baik.

PLTS berhasil menyuplai kebutuhan energi sistem pencahayaan dan monitoring selama pengujian berlangsung. Penggunaan energi surya memberikan efisiensi operasional serta mendukung konsep laboratorium ramah lingkungan. Prototype yang dikembangkan memiliki beberapa keunggulan sebagai media pembelajaran, yaitu: mudah dioperasikan, menggunakan komponen yang relatif terjangkau, mendukung praktik IoT dan energi terbarukan, serta dapat digunakan sebagai media pembelajaran interdisciplinary engineering.

Disamping dengan prototype ini dapat mempelajari sensor dan instrumentasi, embedded system, energi surya, monitoring digital, dan smart cultivation technology dalam satu sistem terintegrasi.

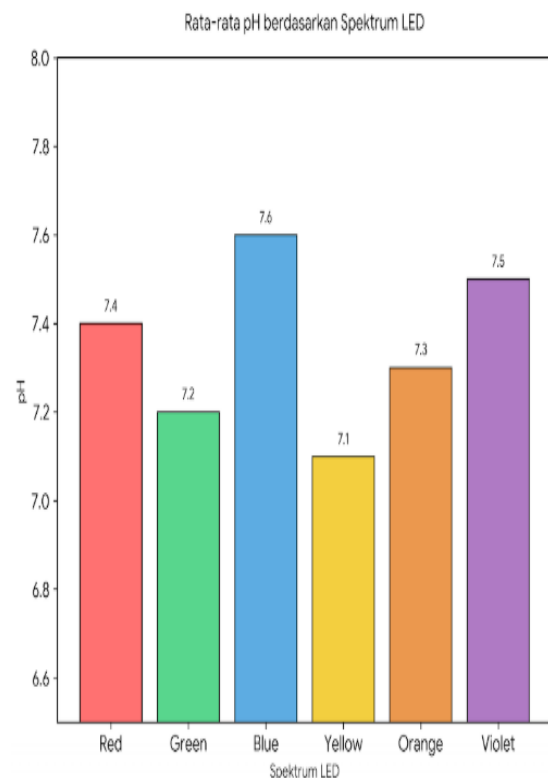


Gambar 8. Perbandingan Suhu Media Sintesis dengan Spektral LED berbeda

Hasil implementasi menunjukkan bahwa integrasi PLTS, LED spektral, dan IoT dapat

diterapkan secara sederhana pada laboratorium pendidikan vokasi. Sistem yang dikembangkan mampu mendukung konsep smart laboratory dengan biaya operasional yang relatif rendah.

Penggunaan LED spektral memberikan fleksibilitas dalam pengembangan eksperimen kultur mikroalga, sementara penggunaan energi surya mendukung implementasi green technology pada lingkungan pendidikan. Selain itu, integrasi IoT memungkinkan memahami penerapan teknologi monitoring digital secara langsung melalui praktik laboratorium berbasis proyek.



Gambar 9. Perbandingan pH Media Sintesis dengan Spektral LED berbeda

SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan pembahasan di atas, maka dapat disimpulkan dalam penelitian ini yaitu:

Sistem monitoring dan kontrol aspek palemahan terintegrasi internet of things (IoT) dan media komunikasi digital telah berfungsi dengan baik. Sistem monitoring suhu dan pH media sintesis telah berhasil diimplementasikan. Sensor DHT22 mampu membaca suhu dengan tingkat error yang rendah. Rata-rata nilai error sensor pH dalam membaca pH media adalah 0,45%. Sensor soil moisture mampu membaca kelembapan tanah dengan tingkat error yang rendah. Rata-rata nilai error sensor suhu dalam membaca suhu media adalah 0,13%. Sistem pencahayaan LED spektral berhasil digunakan pada proses sintesis mikroalga dengan suhu rata-rata kultur berada pada rentang 27,3°C–28,6°C dan nilai pH berkisar antara 7,1–7,6.

UCAPAN TERIMA KASIH

Artikel ini merupakan luaran dari penelitian yang didanai DIPA PNB, Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Bali, juga redaktur Jurnal Vastuwidya, Ganesha Indonesia, Cita Widya Suhita, Diksiwa Ilmu Komunikasi UHN Sugriwa Denpasar atas bantuan dukungannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. N. Nadziroh, "Peran Sektor Pertanian Dalam Pertumbuhan Ekonomi Di Kabupaten Magetan," *J. Agristan*, vol. 2, no. 1, hal. 52–60, 2020.
- [2] A. B. Setyawan, M. Hannats, dan G. E. Setyawan, "Sistem Monitoring Kelembaban Tanah, Kelembaban Udara, Dan Suhu Pada Lahan Pertanian Menggunakan Protokol MQTT," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput. Univ. Brawijaya*, vol. 2, no. 12, hal. 7502–7508, 2018.
- [3] A. N. Rasyid, D. Hamdani, dan I. Setiawan, "Rancang Bangun Smart Greenhouse Berbasis Arduino Uno," *J. Ilmu Pembelajaran Fis.*, vol. 2, no. 2, hal. 125–132, 2023.
- [4] S. Nurrahmi, N. Miseldi, dan S. H. Syamsu, "Rancang Bangun Sistem Penyiraman Otomatis pada Green House Tanaman Anggrek Menggunakan Sensor DHT22," *JPF (Jurnal Pendidik. Fis. Univ. Islam Negeri Alauddin Makassar)*, vol. 11, no. 1, hal. 33–43, 2023.
- [5] Widharma, IGS, Nata, LR, "Buku Mikrokontroler dan Aplikasi", Penerbit Wawasan Ilmu, 2022.
- [6] M. N. Nizam, Haris Yuana, dan Zunita Wulansari, "Mikrokontroler Esp 32 Sebagai Alat Monitoring Pintu Berbasis Web," *JATI* vol. 6, no. 2, hal. 767–772, 2022,
- [7] Widharma, IGS, Sajayasa, IM, Sangka, IGN, Darminta, IK, Sunaya, IN, and A.A. Made Dewi Anggreni. "Integration of IoT and Digital Technologies in Adaptive Lighting Systems to Optimize Microalgae Synthesis". *AJNS*, vol. 2 no. 2, 2024.
- [8] A. Imran dan M. Rasul, "Pengembangan Tempat Sampah Pintar Menggunakan Esp32," *J. Media Elektr.*, vol. 17, no. 2, hal. 2721–9100, 2020, [Daring].
- [9] F. Puspasari, T. P. Satya, U. Y. Oktiawati, I. Fahrurrozi, dan H. Prisyanti, "Analisis Akurasi Sistem sensor DHT22 berbasis Arduino terhadap Thermohygrometer Standar," *J. Fis. dan Apl.*, vol. 16, no. 1, hal. 40, 2020,
- [10] Widharma, IGS, Sangka, IGN, Sunaya, IN, Sajayasa, IM, Darminta, IK, Dewi Anggreni, AAM., "Effect of heating light on lamps to the behaviour of tilapia seedlings sourced from solar panels", *ScitePress*, 2021.
- [11] Y. Efendi, "Internet Of Things (IoT) Sistem Pengendalian Lampu Menggunakan Raspberry Pi Berbasis Mobile," *J. Ilm. Ilmu Komput.*, vol. 4, no. 2, hal. 21–27, 2018.
- [12] Widharma, IGS, IGAP Arthadi, M Dian PP, Gian FS Dimas DN., "Paket Program Aplikasi ArcGIS Analys dan Mapping". Politeknik Negeri Bali, 2019.