



Sistem Monitoring Kesuburan Lahan Pertanian menggunakan Sensor pH, Sensor Suhu, Intensitas Cahaya, dan Kelembapan Tanah Berbasis *Internet of Things*

Samsul Arifin, Neny Kurniawati*, Reni Agustiani, Gabriela Elsandika

Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Palangka Raya

Jl. Hendrik Timang, Kampus UPR Tunjung Nyaho, Palangka Raya, 73111, Kalimantan Tengah, Indonesia

*E-mail korespondensi: nenykurniawati@mipa.upr.ac.id

Info Artikel:

Dikirim:
12 Juni 2024
Revisi:
14 Mei 2025
Diterima:
25 Juni 2025

Kata Kunci:

Peatland
agriculture; soil
monitoring; IoT;
soil pH; soil
moisture; light
intensity

Abstract

This study developed an Internet of Things (IoT)-based soil fertility monitoring system to measure soil pH, soil moisture, and light intensity in real time, specifically for peatland agriculture. The system utilizes pH sensors, soil moisture sensors, and light intensity sensors calibrated with standard measuring instruments to ensure accuracy. Calibration results indicate that the pH sensor has an average error of 0.151%, the soil moisture sensor 1.11%, and the light intensity sensor 6.152%, with the latter exhibiting the highest variation due to environmental factors. Monitoring data shows that soil pH fluctuates more during the day (4.45–4.60) compared to a more stable range at night (4.75–4.80). Soil moisture remains high during the day at 85–90%, while at night, it gradually increases from 25% to 35%. Light intensity fluctuates between 9000–12000 lux during the day and approaches 0 lux at night. With high accuracy and real-time data accessibility, this system can assist farmers in optimizing irrigation, fertilization, and peatland soil management using IoT-based technology, ensuring sustainable agricultural productivity in peatland environments.

PENDAHULUAN

Berkurangnya lahan pertanian produktif di Indonesia mendorong pengembangan lahan pertanian ke lahan-lahan suboptimal, salah satunya adalah lahan gambut. Di Kalimantan Tengah, luas lahan gambut mencapai 2,65 juta ha atau 16,83% dari total luas wilayahnya. Pada pertengahan 1990-an, lebih dari 1 juta ha lahan gambut di Kalimantan Tengah dikonversi menjadi lahan pertanian melalui Proyek Lahan Gambut (PLG) [1]. Saat ini, lahan gambut di Blok C Eks-PLG Kalimantan Tengah telah dikembangkan untuk komoditas pertanian seperti tanaman hortikultura dan tanaman tahunan (perkebunan) [2].

Namun, ekosistem gambut merupakan satu kesatuan utuh dengan beragam fungsi yang saling mempengaruhi keseimbangan, stabilitas, dan produktivitasnya [3]. Pemanfaatan lahan gambut untuk pertanian memerlukan perhatian khusus karena karakteristiknya yang khas, terutama tingkat keasaman (pH) yang tinggi. Tanah gambut bereaksi masam, sehingga diperlukan upaya ameliorasi untuk meningkatkan pH dan memperbaiki media perakaran tanaman. Bahan amelioran seperti kapur, tanah mineral, pupuk kandang, dan abu sisa

pembakaran dapat digunakan untuk tujuan ini [4], [5], [6], [7]. Monitoring pH tanah sangat penting untuk perencanaan pemupukan dan keberhasilan budidaya di lahan gambut. Penelitian sebelumnya telah melakukan monitoring pH pada sistem aquaponik [8] dan lahan pertanian di Bantul, Yogyakarta [9].

Selain pH, faktor lain yang mendukung pertumbuhan tanaman adalah intensitas cahaya matahari [10]. Intensitas cahaya dibutuhkan untuk proses fotosintesis, yaitu penyatuan CO₂ dan air untuk membentuk karbohidrat. Intensitas cahaya merupakan besaran pokok fisika dengan satuan SI Candela (Cd) [11]. Tanaman yang mendapat intensitas cahaya tinggi cenderung memiliki daun yang lebih tebal dan kecil, serta ruas batang yang lebih pendek [12].

Oleh karena itu, implementasi teknologi elektronika, khususnya sistem monitoring, sangat diperlukan untuk memudahkan pengelolaan lahan gambut. Sistem monitoring lahan gambut yang efektif dapat membantu petani mengetahui kadar tanah (pH), intensitas cahaya, dan kelembaban tanah, sehingga dapat menentukan jenis tanaman yang cocok dan meminimalkan risiko gagal panen akibat kondisi tanah dan lingkungan yang kurang ideal. Hal ini sejalan dengan upaya menanggulangi pencemaran alam dan lingkungan, salah satunya melalui tanah.

Penelitian ini mengembangkan sistem monitoring lahan gambut yang terdiri dari beberapa sensor terintegrasi untuk mendeteksi parameter penting bagi pertumbuhan tanaman, yaitu kelembaban tanah, pH, dan intensitas cahaya. Sistem ini menggunakan mikrokontroler yang dilengkapi dengan sistem Internet of Things (IoT) untuk memudahkan pemantauan jarak jauh. Pengembangan sistem ini didasarkan pada penelitian terdahulu tentang sistem monitoring pH [9], intensitas cahaya, dan kelembaban udara pada lahan pertanian [13], [14], [15] dengan fokus penerapan pada lahan gambut yang memiliki karakteristik keasaman lebih tinggi dan unsur tanah yang lebih bervariasi. Dengan monitoring parameter-parameter tersebut, diharapkan pengelolaan lahan gambut dapat lebih optimal dan produktif.

METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu Penelitian

Perancangan, perakitan dan pengujian sistem monitoring pH tanah, intensitas cahaya dan kelembaban tanah dilaksanakan di Laboratorium Fisika FMIPA Universitas Palangka Raya dan lahan pertanian gambut milik kelompok tani Tirto Agung. Waktu penelitian selama tiga bulan, yaitu Bulan Juni hingga Agustus 2023.

Alat dan Bahan

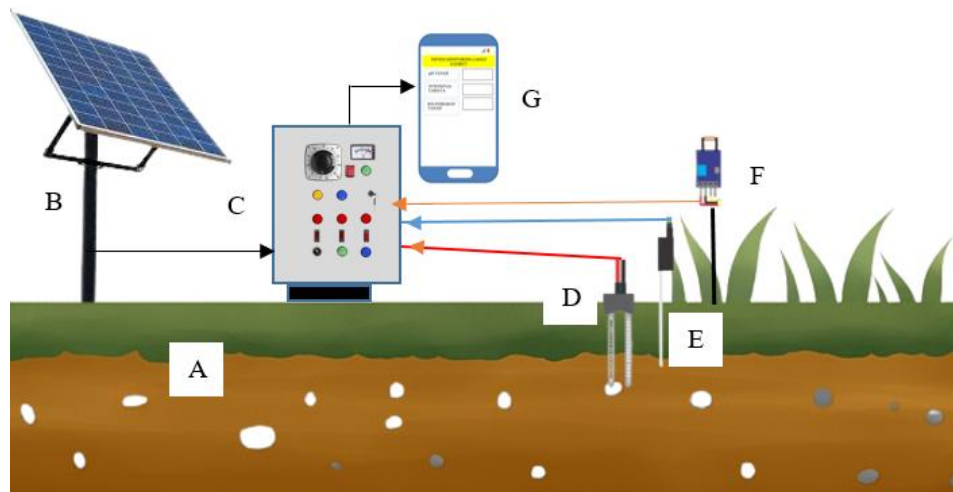
Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Luxmeter, Soil pH and moisture meter, Solder listrik, Multimeter digital untuk mengukur besaran listrik (tegangan, arus, resistansi), *Smartphone*, *Router Internet* dan *Power Supply*. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Sensor pH, Sensor intensitas cahaya, Sensor kelembaban tanah, Arduino Uno R3, ESP8266, Panel surya dan Baterai.

Perancangan Sistem

Cara kerja sistem ini adalah Sensor pH tanah, intensitas cahaya, dan kelembaban tanah mengumpulkan data dan mengirimkannya ke Arduino Uno. Arduino memproses data tersebut dan mengirimkannya ke ESP8266. ESP8266 kemudian mengirim data tersebut melalui router internet ke cloud atau server. Data ini kemudian dapat diakses dan dipantau melalui smartphone. Panel surya dan baterai menyediakan sumber daya listrik untuk sistem.

Tahap perancangan sistem merupakan tahap mengidentifikasi masalah yang ada. Perancangan sistem bertujuan untuk gambaran mengenai sistem yang akan dibuat, serta

memahami alur dari sistem tersebut untuk menuju tahap implementasi. Prinsip kerja sistem, dan gambaran alat yang akan digunakan pada sistem monitoring dapat dilihat pada Gambar 1.



Keterangan :

A = lahan gambut

B = panel surya

C = sistem monitoring

D = sensor *soil moisture*

E = sensor pH tanah

F = sensor LDR

G = android

Gambar 1. Desain Sistem Monitoring Kesuburan Tanah

Rancangan alat pada Gambar 1 menunjukkan bahwa sistem monitoring dan kontrol pH tanah, kelembaban tanah, dan intensitas cahaya berbasis IoT terdiri atas piranti masukan dan piranti pengeluaran. Pada piranti masukan terdapat sensor pH tanah, suhu, sensor kelembaban tanah dan sensor intensitas cahaya. Dan pada piranti pengeluaran terdapat sistem android yang digunakan. Untuk penghubung Arduino dengan cloud IoT adalah modul wifi ESP8266. Data dari sensor yang diambil selanjutnya diproses pada arduino yang akan mengirim data tersebut ke cloud IoT (*Internet of Things*) yang akan ditampilkan di *interface android*.

Implementasi Hardware

Pemasangan perangkat disesuaikan dengan skema yang dikembangkan pada sistem monitoring pH tanah, intensitas cahaya dan kelembaban tanah. Setelah menentukan posisi hardware, selanjutnya memasang perangkat dengan menggunakan kabel penghubung, dan melakukan implementasi software. Sebelum dilakukan pemasangan, terlebih dahulu melakukan pengujian dengan karakterisasi dan kalibrasi perangkat hardware.

Implementasi Software

Implementasi software merupakan proses penerapan *source code* ke dalam aplikasi. Mikrokontroler yang digunakan adalah ESP8266 yang sudah terintegrasi dengan koneksi internet yang akan ditampilkan melalui aplikasi Blynk. Pada proses awal dilakukan pengujian perangkat dengan karakterisasi dan kalibrasi.

Analisis Data

Untuk mengidentifikasi dan mengukur kesalahan atau penyimpangan antara nilai yang dihasilkan oleh sensor dan nilai referensi yang sebenarnya, maka digunakan analisis error. Kesalahan dalam kalibrasi sensor dapat dibagi menjadi beberapa jenis seperti kesalahan sistematis (bias) atau kesalahan acak. Analisis error membantu mengidentifikasi sumber kesalahan ini, apakah dari sensor itu sendiri, lingkungan, atau dari instrumen pengukuran lain. Tujuannya adalah untuk memastikan sensor memberikan output yang akurat dan dapat diandalkan. Persamaan yang digunakan dalam perhitungan nilai error adalah sesuai persamaan (1) berikut [16]

:

$$\text{Error} = \frac{\text{nilai asli} - \text{nilai sensor}}{\text{nilai asli}} \times 100\% \quad (1)$$

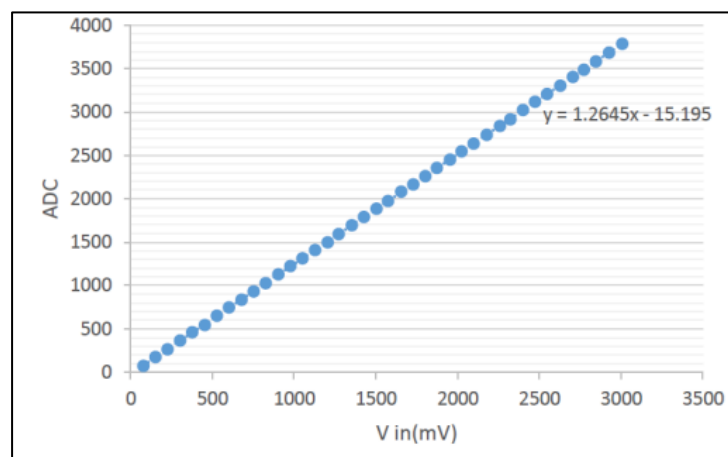
HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem monitoring pH tanah, kelembaban tanah dan intensitas cahaya dan pada lahan gambut terdiri dari perangkat hardware dan software. Monitoring ini menggunakan perangkat NodemMCU Esp8266 dengan input sensor pH tanah, intensitas cahaya dan kelembaban tanah. Aplikasi yang digunakan dalam sistem monitoring berbasis IoT menggunakan aplikasi *Blynk*.

Hasil Pengujian Alat dan Sistem

Kalibrasi ADC

Skema pengujian ADC menggunakan potensiometer untuk karakterisasi ADC yang dilakukan dengan cara mengukur tegangan input ADC (mV) dengan nilai bobot ADC pada monitor serial yang divariasikan dengan potensiometer. Berdasarkan pengukuran ini kemudian dibuat grafik karakterisasi untuk mencari gradien yang berfungsi untuk mencari nilai x pada ADC kalibrasi nilai dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Karakterisasi ADC

Grafik yang ditampilkan menunjukkan hubungan antara tegangan input (V_{in} dalam mV) dan nilai output ADC yang dihasilkan. Persamaan regresi linier yang diperoleh dari grafik adalah $y = 1,2645x - 15,195$, di mana y mewakili nilai ADC dan x adalah tegangan input dalam mV. Grafik ini menunjukkan hubungan yang hampir linier antara tegangan input dan keluaran ADC, dengan slope sebesar 1,2645 yang menunjukkan sensitivitas ADC terhadap perubahan tegangan input. Dari pola titik data yang sangat sejajar dengan garis regresi, dapat disimpulkan bahwa ADC bekerja secara konsisten dalam mengonversi tegangan input menjadi nilai digital. Nilai intercept sebesar -15.195 menunjukkan adanya sedikit pergeseran (offset) pada hasil konversi ADC, yang bisa disebabkan oleh toleransi komponen atau faktor ketidaklinearitas dalam sistem pengukuran.

Untuk mengetahui akurasi model regresi ini, perlu diperiksa nilai koefisien determinasi (R^2). Dari visualisasi grafik, tampak bahwa nilai R^2 yang sangat mendekati 1, yang menunjukkan bahwa model regresi sangat baik dalam merepresentasikan data yang ada. Nilai R^2 mendekati 1, ini berarti bahwa hampir semua variasi dalam data ADC dapat dijelaskan oleh model linier yang diberikan. Secara keseluruhan, grafik ini mengindikasikan bahwa ADC memiliki performa yang cukup stabil dalam mengonversi tegangan menjadi nilai digital, dengan sedikit offset yang mungkin dapat dikoreksi melalui kalibrasi tambahan. Selanjutnya penulis melakukan kalibrasi,

yang bertujuan untuk mengetahui nilai error pada alat ukur setelah mengkarakterisasi ADC yang digunakan. Untuk mengetahui nilai tegangan ADC diukur dengan multimeter yang diatur dengan potensiometer. Hasil kalibrasi ditunjukkan pada Tabel 1. Data kalibrasi ADC pada Tabel 1 menjelaskan rata-rata error perhitungan ADC dengan nilai 2.9 mV.

Tabel 1. Data Kalibrasi ADC

No	$V_{in}(mV)$	Referensi $V_{in}(mV)$	Error (mV)
1	75.5	68.8	6.7
2	151.4	144.8	6.6
3	225.5	220.58	4.92
4	301.5	289.9	11.6
5	374.5	364.1	10.4
6	454	456.64	2.64
7	528	530.8	2.9
8	600	603.08	3.08
9	673	675.2	2.22
10	747	751.4	4.4
Rata-Rata Error			2.9

Data kalibrasi ADC yang disajikan menunjukkan perbandingan antara tegangan input yang dibaca oleh ADC (V_{in}) dengan nilai referensi standar (Referensi V_{in}). Hasil pengukuran menunjukkan adanya selisih atau error yang bervariasi dari 2,22 mV hingga 11,6 mV, dengan rata-rata error sebesar 2,9 mV. Kesalahan terbesar terjadi pada $V_{in} = 301,5$ mV dengan deviasi 11,6 mV, sementara kesalahan terkecil tercatat pada $V_{in} = 673$ mV dengan deviasi 2,22 mV. Variasi error ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti ketidakstabilan ADC, toleransi komponen elektronik, noise dari lingkungan, atau ketidaksempurnaan dalam sistem pengkondisian sinyal [17], [18]. Meskipun terdapat perbedaan antara nilai ADC dan referensi, rata-rata error yang relatif kecil menunjukkan bahwa ADC bekerja dengan akurasi yang cukup baik untuk sistem monitoring kesuburan lahan pertanian berbasis IoT. Untuk memahami hubungan antara V_{in} dan Referensi V_{in} , dilakukan analisis regresi linier yang menghasilkan persamaan $y = 1,0210x - 11,1691$ dengan koefisien determinasi R^2 sebesar 0,9997. Nilai yang sangat mendekati 1 menunjukkan bahwa model regresi ini memiliki akurasi yang sangat tinggi dalam merepresentasikan hubungan antara tegangan input ADC dan nilai referensi. Dengan kata lain, variasi dalam data dapat dijelaskan hampir sepenuhnya oleh model regresi ini.

Kalibrasi sensor pH Tanah, Kelembaban Tanah, dan Intensitas Cahaya

Kalibrasi sensor dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor dengan alat ukur standar yang terkalibrasi. Proses ini bertujuan untuk menentukan tingkat akurasi dan mengidentifikasi potensi kesalahan (*error*) pada sensor. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3, alat ukur standar yang digunakan meliputi *Lux Meter*, *Soil Moisture Meter*, dan pH meter. Prosedur kalibrasi dilakukan dengan mengukur parameter yang sama secara simultan menggunakan sensor yang akan dikalibrasi dan alat ukur standar. Hasil pembacaan dari kedua alat tersebut kemudian dibandingkan. Tingkat kesalahan (*error*) dihitung menggunakan persamaan (1), yang akan memberikan nilai kuantitatif dari perbedaan antara pembacaan sensor dan alat ukur standar. Hasil kalibrasi untuk setiap sensor dicatat dan dirangkum dalam Tabel 2.



Gambar 3. Kalibrasi Sensor pH Tanah, Kelembaban Tanah dan Intensitas Cahaya

Tabel 2. Data Kalibrasi Sensor

No	Sensor pH			Sensor Kelembaban Tanah			Sensor Intensitas Cahaya		
	pH Meter	pH sensor	Error (%)	Soil moisture Meter	Kelembaban Tanah	Error (%)	Lux Meter	Sensor cahaya	Error (%)
1	4.50	4.78	0.28	25	24	1	11360	11352.46	7.54
2	4.52	4.77	0.25	24	24	0	11255	11247.50	7.5
3	4.53	4.78	0,25	25	25	0	10442	10437.05	4.95
4	4.55	4.78	0.23	28	27	1	11464	11455.31	8.69
5	4.56	4.77	0.19	26	28	2	8870	8864.57	5,43
6	4.57	4.78	0.21	27	29	2	11557	11547.86	9.14
7	4.59	4.77	0.18	28	30	2	11832	11828.72	2.28
8	4.53	4.78	0.25	30	31	1	9784	9774.98	9.02
9	4.57	4.77	0.2	32	31	1	11748	11745.68	3.32
10	4.52	4.77	0.25	31	32	1	11101	11097.35	3.65
Rata-Rata Error			0.151			1.11			6.152

Data kalibrasi sensor yang diperoleh mencakup tiga jenis sensor utama yang digunakan dalam sistem monitoring kesuburan lahan pertanian berbasis IoT, yaitu sensor pH, sensor kelembaban tanah, dan sensor intensitas cahaya. Setiap sensor dibandingkan dengan alat referensi standar untuk menilai tingkat akurasinya.

Sensor pH

Sensor pH menunjukkan nilai yang relatif mendekati standar pH meter dengan error berkisar antara 0.18% hingga 0.28% dan rata-rata error sebesar 0.151%. Meskipun terdapat perbedaan kecil antara hasil sensor dan referensi, error ini tergolong rendah dan menunjukkan bahwa sensor pH memiliki akurasi yang baik. Error yang terjadi kemungkinan besar disebabkan oleh faktor lingkungan seperti suhu dan kualitas elektroda sensor yang dapat mempengaruhi kestabilan pembacaan pH [19], [20].

Sensor Kelembaban Tanah

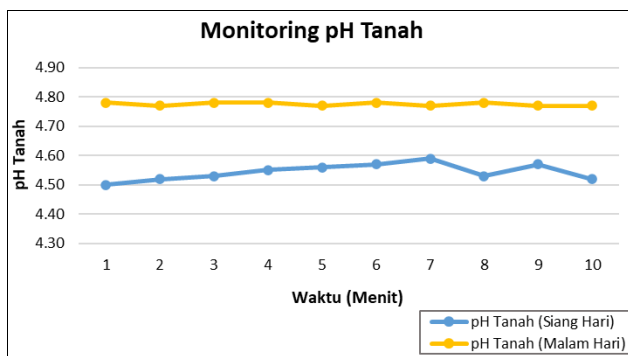
Hasil kalibrasi sensor kelembaban tanah menunjukkan error dalam rentang 0% hingga 2%, dengan rata-rata error sebesar 1.11%. Error ini masih dalam batas wajar untuk aplikasi pemantauan lahan pertanian. Variasi error dapat dipengaruhi oleh heterogenitas tanah, kadar garam, dan suhu, yang dapat mempengaruhi sensitivitas sensor [21], [22]. Dalam aplikasi IoT pertanian, perbedaan kecil ini dapat dikoreksi melalui kalibrasi tambahan atau penerapan algoritma koreksi berbasis *machine learning* untuk meningkatkan akurasi prediksi kelembaban tanah.

Sensor Intensitas Cahaya

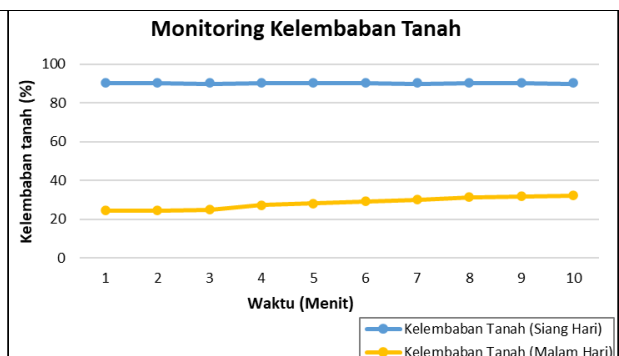
Sensor intensitas cahaya menunjukkan error dalam kisaran 2.28% hingga 9.14%, dengan rata-rata error sebesar 6.152%. Nilai error ini relatif lebih besar dibandingkan sensor lainnya, yang mungkin disebabkan oleh respons sensor terhadap variasi spektrum cahaya atau sensitivitas yang berbeda terhadap intensitas cahaya tertentu [23]. Faktor lingkungan seperti sudut datang cahaya, refleksi, atau kondisi atmosfer juga dapat mempengaruhi hasil pengukuran sensor cahaya. Oleh karena itu, dalam implementasi sistem monitoring, perbaikan pada algoritma kalibrasi dan penempatan sensor yang optimal dapat membantu meningkatkan akurasi pembacaan sensor intensitas cahaya. Secara keseluruhan, data kalibrasi ini menunjukkan bahwa ketiga sensor memiliki akurasi yang cukup baik dengan tingkat error yang masih dalam batas yang dapat diterima. Namun, untuk meningkatkan performa sistem monitoring kesuburan lahan berbasis IoT, diperlukan strategi kalibrasi berkala, perawatan sensor, serta kemungkinan penerapan metode pemrosesan data untuk mengurangi error yang terjadi.

Hasil Monitoring Sistem Pengukuran pH tanah, Kelembaban Tanah dan Intensitas Cahaya

Hasil monitoring pH tanah, kelembaban tanah dan intensitas cahaya dapat dilihat pada grafik hasil monitoring. Pengukuran terjadi pada waktu siang dan malam pada lokasi lahan gambut secara realtime dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Monitoring pH Tanah



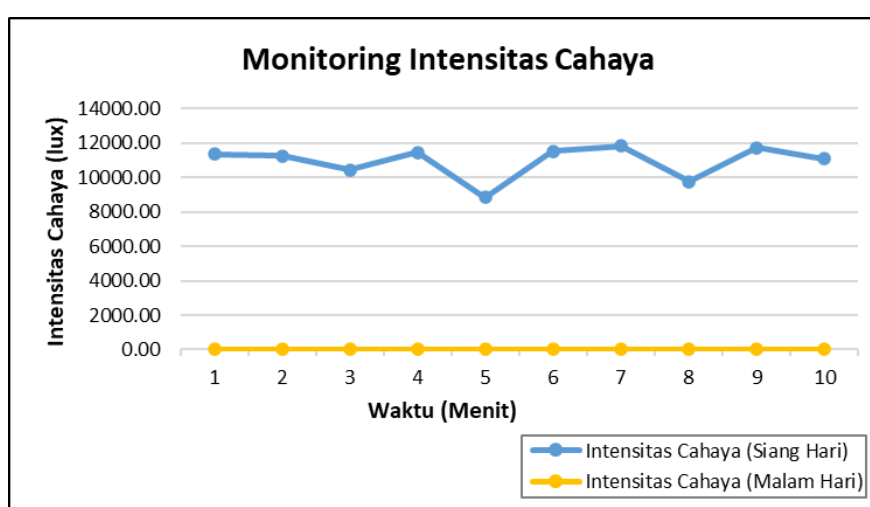
Gambar 5. Grafik Monitoring Kelembaban Tanah

Grafik monitoring pH tanah menunjukkan perbedaan nilai pH antara siang dan malam hari selama 10 menit pengukuran. Secara umum, pH tanah pada malam hari lebih stabil dengan kisaran 4,75 – 4,80, sedangkan pada siang hari cenderung lebih rendah dan fluktuatif antara 4,45 – 4,60. Tren perubahan ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti suhu yang lebih tinggi pada siang hari yang meningkatkan evaporasi air tanah, sehingga ion hidrogen (H^+) menjadi lebih terkonsentrasi dan menyebabkan pH lebih rendah [24]. Selain itu, aktivitas mikroorganisme tanah yang lebih stabil pada malam hari berkontribusi dalam menjaga keseimbangan ion, sehingga pH tanah tidak banyak berubah [25]. Faktor kelembaban juga berperan dalam stabilitas pH, di mana kadar air tanah yang lebih tinggi pada malam hari membantu mempertahankan keseimbangan ion dalam tanah [26]. Dengan demikian, dalam penerapan sistem monitoring kesuburan lahan berbasis IoT, penting untuk mempertimbangkan waktu pengukuran agar mendapatkan data yang lebih akurat dan dapat diinterpretasikan dengan lebih baik.

Pada Gambar 5 menunjukkan hasil monitoring kelembaban tanah pada lahan gambut. Grafik ini menyajikan data kelembaban tanah yang diukur selama 10 menit, membandingkan kondisi siang dan malam hari. Pada siang hari, terlihat kelembaban tanah cenderung stabil di angka sekitar 90%, menunjukkan kondisi tanah yang relatif lembab dan konsisten. Hal ini mengindikasikan bahwa sensor kelembaban tanah bekerja dengan baik dalam kondisi siang hari, memberikan pembacaan yang stabil. Sebaliknya, pada malam hari, kelembaban tanah

menunjukkan tren peningkatan yang bertahap, dimulai dari sekitar 24% dan naik hingga 32% di akhir periode pengukuran. Peningkatan ini menunjukkan adanya perubahan kondisi kelembaban tanah yang terdeteksi oleh sensor, kemungkinan besar akibat perubahan suhu dan kelembaban lingkungan [27]. Secara keseluruhan, grafik ini menunjukkan bahwa sensor kelembaban tanah mampu mendeteksi perbedaan kondisi kelembaban antara siang dan malam, serta memberikan pembacaan yang stabil dan responsif terhadap perubahan lingkungan.

Pada Gambar 6 menunjukkan hasil monitoring intensitas cahaya pada lokasi penelitian lahan gambut. Grafik ini menunjukkan pengukuran intensitas cahaya menggunakan sensor lux meter selama 10 menit, membandingkan kondisi siang dan malam hari. Pada siang hari, intensitas cahaya berfluktuasi antara 9000 hingga 12000 lux, menunjukkan bahwa sensor dapat menangkap perubahan cahaya akibat pergerakan awan atau sudut matahari. Sementara itu, pada malam hari, intensitas cahaya mendekati 0 lux, menandakan bahwa sensor memiliki rentang pengukuran yang luas dan mampu membedakan kondisi terang dan gelap dengan baik.



Gambar 6. Grafik Monitoring Intensitas Cahaya

Hasil ini menunjukkan bahwa sensor memiliki sensitivitas dan akurasi tinggi dalam mengukur intensitas cahaya secara real-time. Dalam bidang pertanian, pemantauan intensitas cahaya sangat penting untuk mengoptimalkan proses fotosintesis tanaman [28]. Namun, akurasi sensor dapat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti debu dan kelembaban, serta perlu dikalibrasi secara berkala agar hasil pengukuran tetap optimal.

KESIMPULAN

Hasil kalibrasi sensor menunjukkan bahwa sistem monitoring tanah berbasis IoT memiliki akurasi yang cukup baik dalam mengukur parameter tanah. Sensor pH memiliki rata-rata error 0.151% dengan rentang 0.18% hingga 0.28%, sedangkan sensor kelembaban tanah memiliki rata-rata error 1.11% dengan variasi 0% hingga 2%, menunjukkan keandalan yang tinggi dalam pemantauan lahan pertanian. Sensor intensitas cahaya memiliki rata-rata error 6.152%, dengan kisaran 2.28% hingga 9.14%, yang kemungkinan dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti sudut cahaya dan refleksi. Hasil monitoring lebih lanjut menunjukkan bahwa pada siang hari, pH tanah lebih fluktuatif di kisaran 4.45–4.60, sementara pada malam hari lebih stabil di 4.75–4.80. Kelembaban tanah di siang hari relatif tinggi dan stabil di 85–90%, sedangkan pada malam hari meningkat dari 25% menjadi 35%. Intensitas cahaya berfluktuasi di 9000–12000 lux pada siang hari dan mendekati 0 lux pada malam hari. Dengan hasil ini, sistem monitoring yang

dikembangkan mampu memberikan data yang akurat dan dapat digunakan untuk mendukung pengelolaan lahan pertanian secara lebih efisien.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Prodi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Palangka Raya dan Kelompok Tani Tirta Agung yang telah memberikan kesempatan untuk dapat melaksanakan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wahyunto, S. Rintung, dan H. Subagjo, "Peta Sebaran Lahan Gambut, Luas, dan Kandungan Karbon di Kalimantan - Indonesia," Wetlands International-Indonesia Programme, Bogor, Jawa Barat, Indonesia, 2004.
- [2] A. Dinata, "Sejarah Program Ketahanan Pangan," Loka Litbangkes Pangandaran. Diakses: 7 September 2023.
- [3] J. O. Rieley dan S. E. Page, "Carbon budgets under different land uses on tropical peatland".
- [4] M. D. Mario, "Peningkatan Produktivitas dan Stabilitas Tanah Gambut dengan Pemberian Tanah Mineral yang Diperkaya oleh Bahan Berkadar Besi Tinggi," 2002, Diakses: 7 September 2023.
- [5] I. Sasli, "Karakterisasi Gambut dengan Berbagai Bahan Amelioran dan Pengaruhnya Terhadap Sifat Fisik dan Kimia Guna Mendukung Produktivitas Lahan Gambut," *Agrovigor J. Agroekoteknologi*, vol. 4, no. 1, Art. no. 1, Mar 2011
- [6] M. Masganti, K. Anwar, dan M. A. Susanti, "Potensi dan Pemanfaatan Lahan Gambut Dangkal untuk Pertanian," *J. Sumberd. Lahan*, vol. 11, no. 1, hlm. 43, Jun 2020
- [7] A. Dariah, J. Jubaedah, W. Wahyunto, dan J. Pitono, "Pengaruh Tinggi Muka Air Saluran Drainase, Ppupik, dan Amelioran Terhadap Emisi CO₂ pada Perkebunan Kelapa Sawit di Lahan Gambut," *J. Penelit. Tanam. Ind.*, vol. 19, no. 2, hlm. 66, Jun 2020
- [8] Y. Rahmanto, A. Rifaini, S. Samsugi, dan S. D. Riskiono, "Sistem Monitoring pH Air pada Aquaponik Menggunakan Mikrokontroler Arduino Uno," *J. Teknol. Dan Sist. Tertanam*, vol. 1, no. 1, Art. no. 1, Agu 2020
- [9] G. Santoso, S. Hani, dan U. D. Putra, "Monitoring kualitas tanah lahan pertanian Desa Sidorejo menggunakan sensor pH tanah dan Internet of Things," *J. Nusantara. Mengabdi*, vol. 2, no. 1, Art. no. 1, Okt 2022
- [10] M. Lukitasari, "Pengaruh Intensitas Cahaya Matahari Terhadap Pertumbuhan Tanaman Kedelai (*Glycine Max*)," *IKIP PGRI Madiun*, 2012.
- [11] I. N. Saidah, R. E. W. Fahad, A. Danurwendo, S. Suyatno, D. B. Rachmat, dan Y. Cahyono, "Analisis dan Perancangan Kontrol Pencahayaan dalam Ruangan," *J. Fis. Dan Apl.*, vol. 7, no. 2, Art. no. 2, Jun 2011
- [12] B. H. Buntoro, R. Rogomulyo, dan dan S. Trisnowati, "Pengaruh Takaran Pupuk Kandang dan Intensitas Cahaya Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Temu Putih (*Curcuma zedoaria* L.).," *Vegetalika*, vol. 3, no. 4, Art. no. 4, Jan 2015
- [13] A. Yudhana, S. Sunardi, dan A. Ikrom, "Aplikasi Android untuk Monitoring Kualitas Lahan Pertanian," *Pros. Semin. Sains Nas. Dan Teknol.*, vol. 1, no. 1, Art. no. 1, Agu 2018
- [14] N. Mukhayat, P. W. Ciptadi, dan R. H. Hardyanto, "Sistem Monitoring pH Tanah, Intensitas Cahaya Dan Kelembaban Pada Tanaman Cabai (Smart Garden) Berbasis IoT," *Seri Pros. Semin. Nas. Din. Inform.*, vol. 5, no. 1, Art. no. 1, Mei 2021, Diakses: 7 September 2023.
- [15] A. B. Setyawan, M. H. H. Ichsan, 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.*, vol. 2, no. 12, Art. no. 12, Agu 2018.

- [16] D. A. Ramadhani, E. P. Hidayat, dan A. T. Nugraha, "Pemanfaatan Sensor Ultrasonik sebagai Purwarupa Pengukur Ketinggian Air pada Tangki Pembuangan Air Kotor di Kapal," *Elektriese J. Sains Dan Teknol. Elektro*, vol. 12, no. 02, Art. no. 02, Nov 2022
- [17] M. S. Budiman, E. Roza, dan Rosalina, "Pengujian Sistem Pengendalian IoT pada Tanaman Aglonema Dengan Menggunakan Mikrokontroler," *Pros. Semin. Nas. Teknoka*, vol. 6, hlm. 217–222, 2021.
- [18] W. I. S. A. Talli, J. D. Irawan, dan F. X. Ariwibisono, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Tanah Untuk Tanaman Cabai Berbasis Iot (Internet of Things)," *JATI J. Mhs. Tek. Inform.*, vol. 7, no. 4, Art. no. 4, Des 2023
- [19] A. Ruiz-Gonzalez, H. Kempson, dan J. Haseloff, "In Vivo Sensing of pH in Tomato Plants Using a Low-Cost and Open-Source Device for Precision Agriculture," *Biosensors*, vol. 12, no. 7, Art. no. 7, Jul 2022
- [20] R. Hinojosa-Meza, E. Olvera-Gonzalez, N. Escalante-Garcia, J. A. Dena-Aguilar, M. Montes Rivera, dan P. Vacas-Jacques, "Cost-Effective and Portable Instrumentation to Enable Accurate pH Measurements for Global Industry 4.0 and Vertical Farming Applications," *Appl. Sci.*, vol. 12, no. 14, Art. no. 14, Jan 2022
- [21] A. Qin, D. Ning, Z. Liu, dan A. Duan, "Analysis of the Accuracy of an FDR Sensor in Soil Moisture Measurement under Laboratory and Field Conditions," *J. Sens.*, vol. 2021, no. 1, hlm. 6665829, 2021
- [22] M. W. Rasheed *dkk.*, "Soil Moisture Measuring Techniques and Factors Affecting the Moisture Dynamics: A Comprehensive Review," *Sustainability*, vol. 14, no. 18, Art. no. 18, Jan 2022
- [23] Yashaswini, S. Pratibha, Y. B. Vinay Kumar, dan R. Venkatesh, "Voltammetric Sensors for the Analysis of Agricultural-Related Biomolecules," dalam *Advancements in Voltammetry for Biosensing Applications*, J. G. Manjunatha, Ed., Singapore: Springer Nature, 2025, hlm. 357–371
- [24] W. Zhou, G. Han, M. Liu, dan X. Li, "Effects of soil pH and texture on soil carbon and nitrogen in soil profiles under different land uses in Mun River Basin, Northeast Thailand," *PeerJ*, vol. 7, hlm. e7880, Okt 2019
- [25] Y. Yang, Y. Shi, J. Fang, H. Chu, dan J. M. Adams, "Soil Microbial Network Complexity Varies With pH as a Continuum, Not a Threshold, Across the North China Plain," *Front. Microbiol.*, vol. 13, Jun 2022
- [26] J. Zhang *dkk.*, "Neutral pH induces complex and stable soil microbial networks in agricultural ecosystems," *Plant Soil*, Feb 2025
- [27] E. Duarte dan A. Hernandez, "A Review on Soil Moisture Dynamics Monitoring in Semi-Arid Ecosystems: Methods, Techniques, and Tools Applied at Different Scales," *Appl. Sci.*, vol. 14, no. 17, Art. no. 17, Jan 2024
- [28] P. Xin, B. Li, H. Zhang, dan J. Hu, "Optimization and control of the light environment for greenhouse crop production," *Sci. Rep.*, vol. 9, no. 1, hlm. 8650, Jun 2019