Blend Sains
Jurnal Teknik
https://jurnal.ilmubersama.com/index.php/blendsains

Artikel Penelitian (Teknik Informatika)

# Sistem Monitoring Kesesuaian Lahan Nilam Berbasis Integrasi *Internet of Things* (IoT) dan Kemiringan Lereng (Spasial)

*Hasri Alvionita Hasan*[*], *Anwar S. Panyili, Ulfiah*

*Teknik Informatika, STMIK Adhi Guna, Jl. Undata No. 3, Palu, Sulawesi Tengah 94111, Indonesia*

INFORMASI ARTIKEL

Diterima Redaksi: 03 Agustus 2026
Revisi Akhir: 22 September 2026
Diterbitkan *Online*: 31 Oktober 2026

KATA KUNCI

*Internet of Things*
Kemiringan Lereng
Sistem Informasi Geografis
Sistem Pendukung Keputusan
Tanaman Nilam

KORESPONDENSI (*)

Phone: +62 822-9637-3496
E-mail: hasrialvionitahasan@gmail.com

**A B S T R A K**

Budi daya nilam (Pogostemon cablin) di Desa Lemoro, Kecamatan Tojo, Kabupaten Tojo Una-Una masih mengandalkan penyiraman manual yang menyulitkan petani karena kondisi lahan berbukit. Prototipe Internet of Things (IoT) berbasis sensor Real Time Clock (RTC) dan sensor kelembapan tanah pada NodeMCU ESP32 sebelumnya terbukti mampu melakukan penyiraman otomatis terjadwal, namun belum mempertimbangkan konteks spasial kesesuaian lahan pada area perkebunan berbukit. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem terintegrasi yang menggabungkan data ambang batas kelembapan tanah berskala mikro dari prototipe IoT dengan klasifikasi kemiringan lereng berskala makro hasil analisis spasial, untuk menghasilkan rekomendasi zonasi kesesuaian lahan nilam. Penelitian menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) melalui Simulasi Laboratorium Terkontrol. Data kelembapan tanah, curah hujan, dan penyiraman diperoleh dari pengujian prototipe IoT menggunakan metode black-box testing, sedangkan data kemiringan lereng diperoleh dari National Digital Elevation Model (DEMNAS) yang diolah dengan Sistem Informasi Geografis (SIG). Kedua data tersebut diintegrasikan melalui sistem pakar berbasis aturan (matriks keputusan IF-THEN) untuk mengklasifikasikan zona kesesuaian lahan. Hasil pengujian menunjukkan tingkat keberhasilan fungsional prototipe IoT sebesar 84% (sensor RTC 100%, sensor kelembapan tanah 80%, sensor air hujan 75%). Analisis kemiringan lereng berbasis DEMNAS pada wilayah Desa Lemoro (1.132,22 ha) mengidentifikasi lima kelas lereng: datar <8% (13,78%), landai 8-15% (19,54%), miring 15-30% (36,01%), curam 30-45% (19,26%), dan sangat curam >45% (11,42%). Integrasi kedua data menghasilkan sepuluh zona kesesuaian lahan dengan rekomendasi agronomis spesifik untuk setiap zona. Integrasi kelembapan tanah berbasis IoT dengan klasifikasi lereng berbasis SIG menghasilkan rekomendasi spasial yang lebih kontekstual dibandingkan prototipe IoT tunggal. Dengan 36,01% wilayah berada pada kelas miring, kondisi optimal budi daya nilam tersedia pada sebagian besar area asalkan kelembapan tanah dipantau secara aktif melalui sistem IoT. Validasi lapangan pada seluruh kelas lereng menjadi prioritas penelitian lanjutan.

## PENDAHULUAN

Penggunaan koneksi internet saat ini telah menjadi bagian tidak terpisahkan dari pola kehidupan masyarakat modern. Seiring dengan perkembangan teknologi, dikembangkan sebuah konsep yang dikenal sebagai Internet of Things (IoT), yaitu konsep yang memperluas manfaat konektivitas internet secara terus-menerus sehingga memungkinkan berbagi data dan kendali jarak jauh antar perangkat [1], [2]. Penerapan IoT pada sektor pertanian telah banyak dikaji karena kemampuannya membaca kondisi lingkungan secara real-time dan mendukung pengambilan keputusan budi daya yang lebih presisi [3], [4].

https://doi.org/10.56211/blendsains.v5i2.1944 Attribution-ShareAlike 4.0 International Some rights reserved

Beberapa tahun terakhir, tanaman nilam (Pogostemon cablin) sangat populer di kalangan petani tradisional karena harga minyak nilam yang tinggi dan telah memasuki pasar luar negeri [5]. Salah satu wilayah yang mengubah lahan pertaniannya menjadi perkebunan nilam adalah Desa Lemoro, Kecamatan Tojo, Kabupaten Tojo Una-Una. Namun, petani di wilayah tersebut masih membudidayakan nilam secara manual atau tradisional. Cara tradisional ini membutuhkan waktu dan tenaga manusia yang lebih banyak, sementara kondisi lahan yang berbukit membuat akses ke pohon nilam terutama saat penyiraman semakin sulit.

Untuk menjawab persoalan penyiraman manual tersebut, telah dikembangkan prototipe Sistem Monitoring Pengelolaan Tanaman Nilam Berbasis Internet of Things yang melakukan penyiraman otomatis berdasarkan data waktu dari sensor Real Time Clock (RTC) dan data kelembapan tanah dari soil moisture sensor [6]. Data sensor diproses oleh mikrokontroler NodeMCU ESP32 yang terhubung ke internet, kemudian ditampilkan pada dashboard website. Hasil uji coba menunjukkan tingkat keberhasilan fungsional sebesar 84%, yang mengindikasikan bahwa prototipe tersebut layak digunakan sebagai alat bantu penyiraman otomatis pada skala satu petak tanam.

Meskipun demikian, prototipe IoT tersebut memiliki keterbatasan mendasar: seluruh pengujian dilakukan pada satu titik prototipe di skala laboratorium atau petak terbatas, tanpa mempertimbangkan variasi topografi lahan perkebunan yang sesungguhnya berbukit. Padahal, kemiringan lereng merupakan salah satu faktor fisik lahan yang sangat menentukan drainase air, risiko erosi, dan tingkat kesesuaian suatu area untuk ditanami [7], [8]. Lahan datar dengan kelembapan tinggi cenderung berisiko mengalami penggenangan dan busuk akar, sedangkan lahan curam dengan kelembapan rendah cenderung berisiko mengalami kekeringan dan erosi permukaan [9]. Tanpa informasi spasial mengenai kemiringan lereng, rekomendasi yang dihasilkan oleh sistem IoT bersifat seragam (uniform) dan tidak memperhitungkan perbedaan karakteristik antar zona lahan dalam satu kawasan perkebunan.

Sistem Informasi Geografis (SIG) atau Geographic Information System (GIS) telah banyak dimanfaatkan untuk menganalisis kesesuaian lahan berdasarkan data kemiringan lereng yang diperoleh dari pengolahan Digital Elevation Model (DEM), termasuk DEM Nasional (DEMNAS) yang disediakan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) [10], [11]. Penelitian-penelitian terdahulu telah menunjukkan bahwa kombinasi parameter kemiringan lereng dengan parameter fisik lain melalui metode spasial dapat menghasilkan peta zonasi kesesuaian lahan yang akurat untuk berbagai peruntukan, baik permukiman maupun pertanian [12], [13]. Akan tetapi, sebagian besar penelitian tersebut mengandalkan data fisik lahan yang bersifat statis dan jarang diperbarui, sehingga kurang responsif terhadap dinamika kondisi tanah aktual seperti kelembapan yang berubah-ubah menurut musim.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini mengusulkan integrasi antara dua skala data yang saling melengkapi: data kelembapan tanah dinamis berskala mikro yang diperoleh dari prototipe IoT, dan data kemiringan lereng statis berskala makro yang diperoleh dari analisis spasial DEMNAS. Kedua data tersebut dipadukan melalui pendekatan sistem pakar berbasis aturan (rule-based expert system) berupa matriks keputusan IF-THEN, sehingga prototipe IoT yang sebelumnya hanya berfungsi sebagai alat penyiraman otomatis pada satu titik dapat ditingkatkan perannya menjadi parameter bobot dinamis dalam pemetaan zona kesesuaian lahan nilam secara spasial untuk seluruh kawasan perkebunan [14]. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip Sistem Pendukung Keputusan (Decision Support System) yang memanfaatkan SIG sebagai sarana visualisasi hasil analisis multikriteria kepada pengguna akhir [15].

Tujuan penelitian ini adalah merancang dan mengimplementasikan Sistem Monitoring dan Analisis Kesesuaian Lahan Nilam Berbasis Integrasi Internet of Things (IoT) dan Kemiringan Lereng (Spasial), yang menggabungkan ambang batas kelembapan tanah hasil pengujian prototipe IoT dengan klasifikasi kemiringan lereng hasil pengolahan DEMNAS pada perangkat GIS, untuk menghasilkan rekomendasi zonasi lahan yang lebih kontekstual bagi petani nilam di Desa Lemoro, Kecamatan Tojo, Kabupaten Tojo Una-Una.

## METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) yang dilaksanakan melalui skenario Simulasi Laboratorium Terkontrol (Controlled Laboratory Simulation). Pendekatan ini dipilih karena objek penelitian terdiri dari dua skala data yang berbeda sifat: data kelembapan tanah yang bersifat dinamis dan diperoleh melalui pengujian prototipe di skala laboratorium, serta data kemiringan lereng yang bersifat statis dan diperoleh melalui pengolahan data spasial

sekunder. Kedua tahapan tersebut tidak dilakukan secara terpisah, melainkan dirancang agar keluarannya dapat saling terhubung melalui satu sistem pendukung keputusan berbasis aturan.

***Jenis dan Pendekatan Penelitian***

Penelitian ini bersifat eksperimental untuk komponen IoT dan deskriptif-spasial untuk komponen kemiringan lereng. Pada tahap eksperimental, dilakukan percobaan awal dan uji coba terhadap setiap komponen prototipe (modul NodeMCU ESP32, sensor RTC, sensor kelembapan tanah, dan sensor air hujan) untuk mengetahui ambang batas kelembapan tanah yang optimal bagi tanaman nilam. Pada tahap spasial, dilakukan analisis deskriptif terhadap data ketinggian permukaan tanah untuk menghasilkan klasifikasi kemiringan lereng. Kedua hasil tahap tersebut selanjutnya digabungkan menggunakan pendekatan sistem pakar berbasis aturan (rule-based expert system).

***Objek dan Lingkup Penelitian***

Objek penelitian ini adalah lahan perkebunan nilam milik petani di Desa Lemoro, Kecamatan Tojo, Kabupaten Tojo Una-Una, Provinsi Sulawesi Tengah. Lingkup penelitian dibatasi pada dua variabel utama, yaitu kelembapan tanah yang diperoleh dari prototipe IoT berskala laboratorium, dan kemiringan lereng wilayah yang diperoleh dari pengolahan data spasial. Prototipe IoT diposisikan sebagai mesin penguji karakteristik sampel tanah, sedangkan SIG diposisikan sebagai peta kondisi lapangan, sehingga prototipe tidak perlu ditempatkan langsung di kebun nilam yang berisiko terkena hujan, kerusakan, atau gangguan sinyal.

***Teknik Pengumpulan Data***

Data dikumpulkan melalui dua jalur. Pertama, data primer kelembapan tanah, curah hujan, dan waktu penyiraman diperoleh melalui pengujian langsung terhadap prototipe IoT di skala laboratorium menggunakan metode black-box testing, yaitu pengujian yang hanya mengamati hasil eksekusi melalui data uji dan memeriksa fungsionalitas sistem tanpa menelusuri proses internal secara rinci. Sampel tanah yang diuji diambil dari area yang direncanakan untuk ditanami nilam, kemudian diuji kondisi basah dan keringnya menggunakan sensor kelembapan untuk memperoleh ambang batas (threshold) kelembapan optimal. Penetapan ambang batas ini tidak ditentukan secara sepihak dari hasil pemabasahan dan pengeringan sampel tanah semata, melainkan mengacu pada syarat tumbuh agronomis tanaman nilam (Pogostemon Cablin) yang telah dilaporkan dalam literatur pertania. Kementerian pertanian RI melalui Balai Besar Pelatihan Pertanian (BBPP) Lembang melaporkan bahwa nilam tumbuh dan berproduksi optimal pada kelembapan lingkungan lebih dari 60% [21], sementara penelitian eksperimental pada tanaman nilam di Sulawesi Tengah, yang dilaksanakan oleh Program Studi Agroteknologi Universitas Tadulako menggunakan Rancangan Acak Kelompok dengan enam taraf ketersediaan air tanah, menunjukkan bahwa ketersediaan air tanah pada kisaran 90-100% kapasitas lapang menghasilkan biomassa nilam tertinggi (46,35 g dan 47,93 g), dan begitu kapasitas lapang turun ke 80% terjadi penurunan biomassa sekitar 20% [22]. Kedua acuan agronomis tersebut digunakan sebagai dasar kualitatif dalam menafsirkan hasil pengujian prototipe, sehingga nilai sensor yang ditetapkan sebagai kondisi "basah/optimal" pada Tabel 2 dimaksudkan untuk merepresentasikan kondisi tanah yang mendekati kapasitas lapang sesuai kebutuhan biologis tanaman nilam, bukan sekadar ambang batas elektronik tanpa rujukan agronomis. Perlu dicatat bahwa nilai keluaran sensor kapasitif pada penelitian ini (satuan ADC) belum dikalibrasi secara silang terhadap persentase kapasitas lapang (%KL) hasil pengukuran gravimetri sebagaimana digunakan pada rujukan [21], [22], sehingga hubungan kuantitatif antara kedua satuan tersebut belum dapat dipastikan; keterbatasan ini diuraikan lebih lanjut pada subbagian 3.5. Kedua, data sekunder kemiringan lereng diperoleh dari citra Digital Elevation Model Nasional (DEMNAS) yang dipublikasikan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG), yang selanjutnya diolah menggunakan perangkat lunak SIG untuk wilayah Desa Lemoro.

***Alat dan Bahan***

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas dua kelompok, yaitu perangkat untuk pengujian prototipe IoT dan perangkat untuk pengolahan data spasial:

1. Modul NodeMCU ESP32 sebagai mikrokontroler pusat kendali prototipe;
2. Modul Relay sebagai saklar elektronik penggerak pompa air;
3. Pompa air sebagai aktuator penyiraman;
4. Sensor Real Time Clock (RTC) untuk penjadwalan waktu penyiraman;
5. Sensor kelembapan tanah (soil moisture sensor) untuk mendeteksi tingkat kelembapan tanah;
6. Sensor air hujan (rain sensor) sebagai indikator turun atau tidaknya hujan;
7. Komputer/laptop untuk pemrograman dan pemantauan dashboard.

 https://doi.org/10.56211/blendsains.v5i2.1944

Perangkat lunak dan data yang digunakan pada tahap analisis spasial meliputi:

1. Data raster DEMNAS resolusi 8,1 meter wilayah Desa Lemoro, Kecamatan Tojo, bersumber dari Badan Informasi Geospasial (BIG);
2. Perangkat lunak GIS (QGIS) untuk pengolahan slope analysis dan klasifikasi kemiringan lereng;
3. Arduino IDE untuk pemrograman mikrokontroler;
4. Visual Studio Code untuk pengembangan antarmuka dashboard website;
5. XAMPP Control Panel sebagai server lokal dan basis data MySQL.

### *Prosedur Penelitian*

Penelitian dilaksanakan melalui dua tahap utama yang saling berurutan dan terhubung, sebagaimana digambarkan pada diagram alir sistem (Gambar 1).

Tahap pertama adalah Pengujian Karakteristik Sensorik (skala mikro). Pada tahap ini, prototipe IoT digunakan dalam skala laboratorium terkontrol untuk mengidentifikasi ambang batas (threshold) kelembapan tanah optimal bagi tanaman nilam. Prototipe dirancang dengan rangka kayu dan papan triplek dilengkapi pipa penyiraman, sensor RTC, sensor kelembapan tanah, sensor air hujan, serta relay penggerak pompa. Sensor RTC mengirimkan data waktu ke NodeMCU ESP32, kemudian relay menggerakkan pompa air sesuai jadwal yang ditentukan. Pompa berhenti menyiram secara otomatis ketika nilai kelembapan tanah dari soil moisture sensor telah mencapai ambang batas yang ditetapkan. Sensor air hujan berfungsi sebagai indikator tambahan untuk mengetahui kondisi cuaca pada saat pengujian.

Tahap kedua adalah Pemodelan Kesesuaian Lahan Spasial (skala makro). Nilai ambang batas kelembapan tanah yang diperoleh dari Tahap 1 diintegrasikan ke dalam SIG sebagai parameter bobot dinamis. Data DEMNAS wilayah Desa Lemoro diolah melalui proses slope analysis untuk mengklasifikasikan kemiringan lereng ke dalam lima kelas, yaitu datar (<8%), landai (8-15%), miring (15-30%), curam (30-45%), dan sangat curam (>45%). Klasifikasi lima kelas ini mengikuti standar baku yang diterbitkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat (Puslittanak) tahun 2004 [23], yang juga menjadi acuan pada berbagai kajian kemiringan lereng berbasis DEM di Indonesia, termasuk penelitian pembuatan peta kemiringan lereng untuk mitigasi bencana longsor di Ngantang, Kabupaten Malang [24]. Parameter ambang batas kelembapan tanah kemudian dikombinasikan dengan klasifikasi kemiringan lereng tersebut melalui matriks aturan (decision matrix) untuk memetakan zona kesesuaian lahan nilam secara spasial, sebagaimana digambarkan pada diagram blok arsitektur sistem (Gambar 2).

### *Teknik Analisis Data*

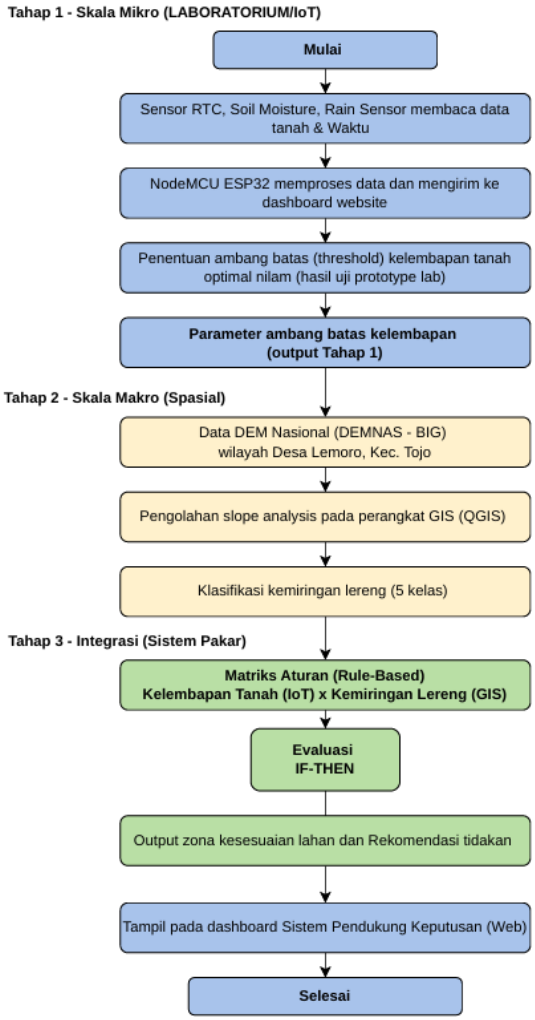
Data hasil pengujian prototipe IoT dianalisis menggunakan perhitungan persentase keberhasilan (success rate), yaitu jumlah pengujian yang berhasil dibagi jumlah total pengujian dikalikan 100%, untuk setiap sensor (RTC, kelembapan tanah, dan air hujan) serta untuk pengujian sistem terhadap website. Data kemiringan lereng dianalisis secara deskriptif-spasial melalui klasifikasi nilai slope hasil pengolahan DEMNAS. Selanjutnya, kedua hasil analisis tersebut digabungkan menggunakan logika aturan IF-THEN dalam bentuk matriks keputusan dua dimensi, dengan sumbu pertama berupa tingkat kelembapan tanah (Tinggi/Rendah) dan sumbu kedua berupa lima kelas kemiringan lereng (datar/landai/miring/curam/sangat curam) mengikuti standar Puslittanak (2004) [23], sehingga menghasilkan sepuluh kombinasi zona kesesuaian lahan beserta rekomendasi tindakan agronomis untuk masing-masing zona, seperti pembuatan parit drainase, pemasangan mulsa organik, atau pembuatan terasering. Konversi nilai analog sensor kelembapan tanah menjadi variabel kualitatif pada sumbu pertama mengikuti logika ambang batas (threshold rule) yang ditanamkan langsung pada program pengendali mikrokontroler (fungsi loop() pada NodeMCU ESP32), yaitu: IF Nilai_Sensor ≤ 2000 THEN Status_Kelembapan = "Tinggi" (kondisi basah/pasca-hujan, relay/pompa berhenti menyiram); IF Nilai_Sensor > 2000 THEN Status_Kelembapan = "Rendah" (kondisi mulai kering, relay/pompa tetap menyiram). Nilai 2000 merupakan konstanta ambang batas yang ditetapkan pada baris program pengendali relay, dengan mempertimbangkan karakteristik modul relay yang bersifat active-low (logika HIGH pada pin digital menonaktifkan relay/pompa, sedangkan logika LOW mengaktifkannya). Hasil kalibrasi pada Tabel 2 menunjukkan bahwa keempat pembacaan sensor yang berhasil menghentikan pompa secara otomatis berada pada kisaran nilai 1056-1110, yang seluruhnya berada di bawah ambang batas 2000 tersebut sehingga konsisten dengan logika program bahwa nilai sensor yang lebih rendah merepresentasikan kondisi tanah yang lebih basah, mendekati kisaran kapasitas lapang sesuai kebutuhan agronomis nilam [21], [22]. Nilai keluaran biner (Tinggi/Rendah) inilah yang menjadi sumbu pertama pada matriks aturan IF-THEN (Tabel 6), sedangkan sumbu kedua diperoleh langsung dari kelas kemiringan lereng hasil klasifikasi DEMNAS (Tabel 5). Data sensor air hujan

(rain sensor) tidak diikutsertakan sebagai sumbu ketiga pada matriks aturan ini karena sifatnya yang sesaat (instantaneous) dan berfungsi sebagai indikator kondisi cuaca real-time pada dashboard (Gambar 4), bukan sebagai parameter zonasi spasial.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### *Hasil Rancangan Sistem Terintegrasi*

Rancangan sistem yang diusulkan menggabungkan dua subsistem, yaitu subsistem akuisisi data IoT pada skala laboratorium dan subsistem analisis spasial pada skala kawasan. Diagram alir keseluruhan sistem, mulai dari pembacaan sensor hingga keluaran rekomendasi zonasi, ditampilkan pada Gambar 1.




Gambar 1. Diagram Alir Sistem Terintegrasi Monitoring IoT dan Analisis Kesesuaian Lahan

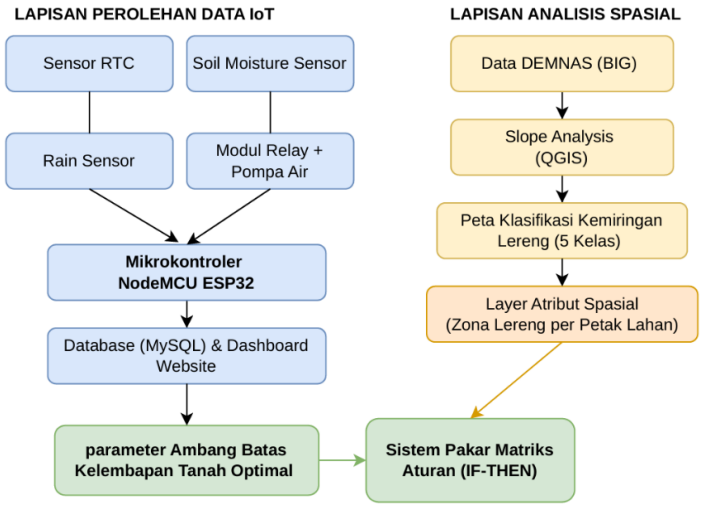
Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1, sistem terbagi menjadi tiga tahap besar. Tahap 1 (skala mikro) menghasilkan parameter ambang batas kelembapan tanah dari pengujian prototipe IoT. Tahap 2 (skala makro) menghasilkan klasifikasi kemiringan lereng dari pengolahan data DEMNAS pada perangkat GIS. Tahap 3 (integrasi) menggabungkan kedua keluaran tersebut melalui matriks aturan IF-THEN untuk menghasilkan rekomendasi zona kesesuaian lahan yang ditampilkan pada dashboard sistem pendukung keputusan.

Perlu ditegaskan bahwa Gambar 1 menggambarkan rancangan arsitektur sistem yang diusulkan (proposed system design) secara menyeluruh, bukan gambaran dari sistem yang seluruhnya telah terimplementasi. Pada tahap penelitian ini, implementasi aktual baru mencakup dashboard monitoring berbasis web untuk subsistem IoT (Gambar 4), yang

 https://doi.org/10.56211/blendsains.v5i2.1944

menampilkan data kelembapan tanah, umur tanaman, dan status sensor air hujan secara real-time. Dashboard sistem pendukung keputusan yang menampilkan hasil integrasi zona kesesuaian lahan (kotak terakhir pada Gambar 1) belum diimplementasikan dalam bentuk antarmuka web pada penelitian ini.

Arsitektur perangkat dari kedua subsistem tersebut digambarkan pada diagram blok Gambar 2. Pada lapisan IoT, sensor RTC, soil moisture sensor, rain sensor, dan modul relay-pompa terhubung ke mikrokontroler NodeMCU ESP32 yang meneruskan data ke basis data dan dashboard website. Pada lapisan spasial, data DEMNAS diolah melalui slope analysis pada GIS hingga menghasilkan layer atribut spasial berupa zona kemiringan lereng per petak lahan. Kedua lapisan tersebut bertemu pada modul sistem pakar berbasis matriks aturan.



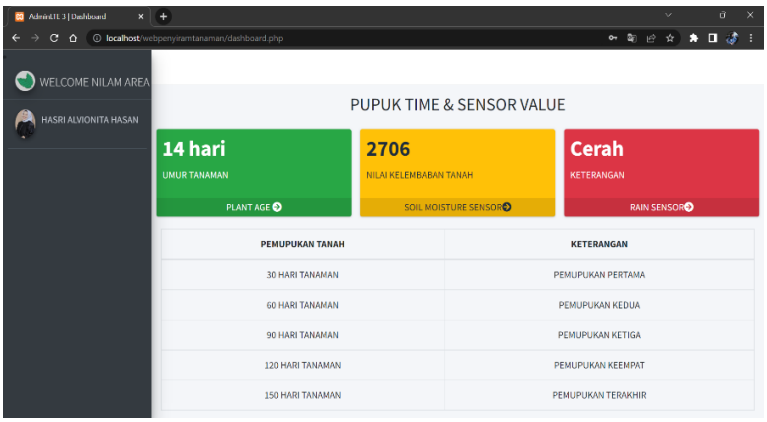

Gambar 2. Diagram Blok Arsitektur Sistem Terintegrasi IoT dan Analisis Spasial

Implementasi fisik dari subsistem IoT mengacu pada prototipe yang telah dikembangkan pada penelitian sebelumnya [6], dengan rangka kayu dan papan triplek yang dilengkapi pipa penyiraman serta wadah tanah uji (Gambar 3). Prototipe ini dilengkapi sensor RTC yang mengirimkan data waktu ke NodeMCU ESP32, relay yang menggerakkan pompa air sesuai jadwal penyiraman, serta soil moisture sensor yang menghentikan pompa secara otomatis ketika kelembapan tanah telah mencapai ambang batas yang ditetapkan. Rain sensor pada prototipe berfungsi sebagai indikator tambahan kondisi cuaca.



Gambar 3. Tampilan Fisik Prototipe Sistem Monitoring Pengelolaan Tanaman Nilam Berbasis IoT

Data yang diperoleh dari pengujian prototipe pada Gambar 3 ditampilkan secara real-time melalui dashboard website (Gambar 4), yang menyajikan umur tanaman, nilai kelembapan tanah dari soil moisture sensor, serta status rain sensor.




Gambar 4. Tampilan Dashboard Website Hasil Pembacaan Sensor Prototipe IoT

### *Hasil Pengujian Prototipe IoT*

Pengujian terhadap masing-masing sensor dilakukan menggunakan metode black-box testing untuk mengetahui tingkat akurasi fungsional sebelum data tersebut digunakan sebagai parameter pada tahap integrasi spasial. Hasil pengujian sensor Real Time Clock (RTC) terhadap waktu penyiraman ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengujian Sensor Real Time Clock (RTC)

| No | Pengujian | Waktu Penyiraman | Waktu Mulai Aktual | Status |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Pengujian 1 | 15:30 | 15:30:15 | Berhasil |
| 2 | Pengujian 2 | 16:00 | 16:00:17 | Berhasil |
| 3 | Pengujian 3 | 16:30 | 16:30:14 | Berhasil |
| 4 | Pengujian 4 | 17:00 | 17:00:18 | Berhasil |
| 5 | Pengujian 5 | 17:30 | 17:30:16 | Berhasil |

Dari 5 kali pengujian, seluruh percobaan berhasil menyiram tanaman tepat waktu sehingga persentase keberhasilan sensor RTC sebagai pengatur waktu penyiraman mencapai 100% (5/5 x 100%).

Tabel 2. Pengujian Sensor Kelembapan Tanah

| No | Pengujian | Nilai Kelembapan | Terhubung Jaringan | Status |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Pengujian 1 | Tidak terdeteksi | Tidak | Tidak berhasil |
| 2 | Pengujian 2 | 1110 | Ya | Berhasil |
| 3 | Pengujian 3 | 1088 | Ya | Berhasil |
| 4 | Pengujian 4 | 1056 | Ya | Berhasil |
| 5 | Pengujian 5 | 1066 | Ya | Berhasil |

Dari 5 kali pengujian, 4 percobaan berhasil mendeteksi kelembapan tanah dan menghentikan pompa secara otomatis, sehingga persentase keberhasilan sensor kelembapan tanah mencapai 80% (4/5 x 100%). Satu kegagalan pada pengujian pertama disebabkan oleh sensor yang belum terhubung ke jaringan. Nilai ambang batas kelembapan tanah optimal yang diperoleh dari pengujian ini yaitu pada kisaran nilai sensor 1056-1110, selanjutnya digunakan sebagai parameter bobot dinamis pada tahap integrasi spasial.

Tabel 3. Pengujian Web terhadap Sensor Kelembapan Tanah

| No | Pengujian | Nilai Kelembapan | Keterangan | Status |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Pengujian 1 | Tidak terdeteksi | Belum terhubung jaringan | Tidak berhasil |
| 2 | Pengujian 2 | 1066 | Terhubung jaringan | Berhasil |
| 3 | Pengujian 3 | 1104 | Terhubung jaringan | Berhasil |
| 4 | Pengujian 4 | 1061 | Terhubung jaringan | Berhasil |
| 5 | Pengujian 5 | 1064 | Terhubung jaringan | Berhasil |

 https://doi.org/10.56211/blendsains.v5i2.1944

Pengujian tampilan web terhadap sensor kelembapan tanah menghasilkan persentase keberhasilan 80% (4/5 x 100%), yang menunjukkan bahwa data sensor pada umumnya berhasil diteruskan dan ditampilkan pada dashboard website secara konsisten.

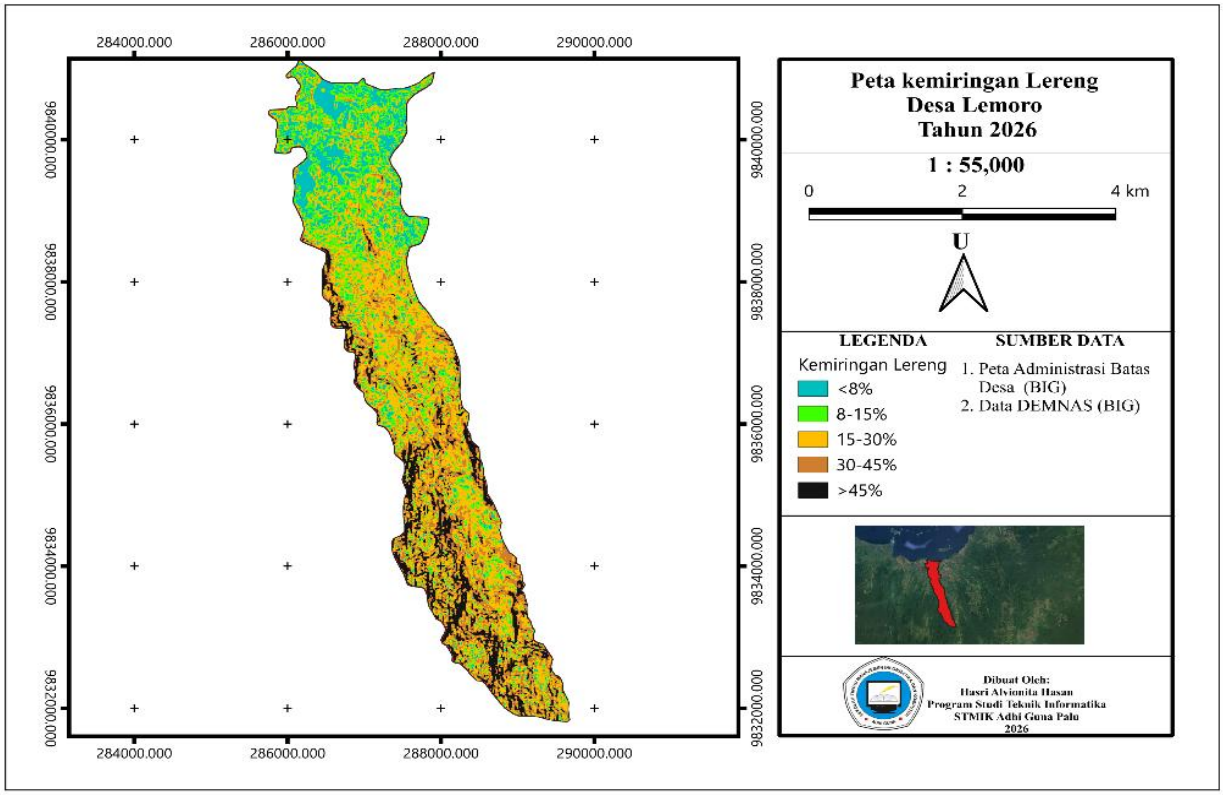
Tabel 4. Pengujian Web terhadap Sensor Air Hujan

| No | Pengujian | Terdeteksi Hujan | Keterangan | Status |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Pengujian 1 | Tidak | Belum terhubung jaringan | Tidak berhasil |
| 2 | Pengujian 2 | Ya | Terhubung jaringan | Berhasil |
| 3 | Pengujian 3 | Ya | Terhubung jaringan | Berhasil |
| 4 | Pengujian 4 | Ya | Terhubung jaringan | Berhasil |

Dari 4 kali pengujian, 3 percobaan berhasil mendeteksi dan menampilkan status hujan pada website, sehingga persentase keberhasilan sensor air hujan mencapai 75% (3/4 x 100%). Rangkuman hasil pengujian seluruh sensor menunjukkan tingkat keberhasilan fungsional rata-rata sebesar 84%, yang konsisten dengan temuan pada penelitian prototipe sebelumnya [6].

### *Integrasi Data IoT dengan Analisis Spasial Kemiringan Lereng*

Nilai ambang batas kelembapan tanah yang diperoleh pada subbagian 3.2 selanjutnya dikombinasikan dengan hasil pengolahan data DEMNAS wilayah Desa Lemoro pada perangkat GIS (QGIS). Peta kemiringan lereng hasil pengolahan tersebut ditampilkan pada Gambar 5, menggunakan data raster DEMNAS resolusi 8,25meter dengan proyeksi WGS 84 / UTM Zone 51S (EPSG:32751), yang mencakup wilayah seluas 1.132,223 hektar.




Gambar 5. Peta Kemiringan Lereng Desa Lemoro (hasil pengolahan DEMNAS) Tahun 2026

Berdasarkan hasil analisis slope pada perangkat GIS menggunakan data DEMNAS, wilayah Desa Lemoro diklasifikasikan ke dalam lima kelas kemiringan lereng sebagaimana disajikan pada Tabel 5. Citra raster hasil pengolahan memiliki total 529.112 piksel pada extent bounding box, dengan 364.901 piksel bernilai NODATA karena berada di luar batas area kajian (clipping mask) wilayah Desa Lemoro, sehingga piksel aktif yang merepresentasikan area kajian berjumlah 164.211 piksel, setara dengan luas total 1.132,22 hektar (11,32 km2). Luas tersebut merepresentasikan area kajian yang dianalisis sesuai cakupan data DEMNAS dan batas clipping yang digunakan, dan dapat berbeda dengan luas wilayah administratif Desa Lemoro yang tercatat pada basis data kependudukan, mengingat kemungkinan perbedaan sumber batas wilayah serta cakupan area yang dianalisis.

Tabel 5. Distribusi Luas Kelas Kemiringan Lereng Desa Lemoro Hasil Pengolahan DEMNAS

| No | Kelas Lereng | Rentang (%) | Luas (Ha) | Persentase (%) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Datar | <8% | 155,98 | 13,78 |
| 2 | Landai | 8-15% | 221,29 | 19,54 |
| 3 | Miring | 15-30% | 407,67 | 36,01 |
| 4 | Curam | 30-45% | 218,02 | 19,26 |
| 5 | Sangat Curam | >45% | 129,25 | 11,42 |
| | Total | | 1.132,22 | 100,00 |

Dari Tabel 5 terlihat bahwa wilayah Desa Lemoro didominasi oleh kelas lereng Miring (15-30%) dengan luas 407,67 Ha atau 36,01% dari total wilayah, diikuti oleh kelas Landai (8-15%) sebesar 19,54% dan Curam (30-45%) sebesar 19,26%. Kombinasi kelas Curam (30-45%) dan Sangat Curam (>45%) menyumbang 34,94% dari total wilayah, yang mengindikasikan bahwa sebagian besar lahan perkebunan nilam di Desa Lemoro berada pada kondisi topografi yang memerlukan perhatian khusus terhadap risiko erosi dan drainase. Hanya 13,78% wilayah yang termasuk kelas Datar (<8%), sehingga pengelolaan lahan datar perlu mempertimbangkan risiko genangan air.

Penggabungan data kelembapan tanah dari prototipe IoT dengan kelima kelas kemiringan lereng tersebut dilakukan melalui sistem pakar berbasis matriks aturan IF-THEN, menghasilkan sepuluh kombinasi zona kesesuaian lahan sebagaimana ditampilkan pada Tabel 6. Pendekatan ini menempatkan prototipe IoT sebagai "mesin penguji karakteristik sampel tanah" yang menghasilkan parameter ambang batas kelembapan, sedangkan GIS berperan sebagai "peta kondisi lapangan" yang menyediakan konteks spasial topografi [14].

Tabel 6. Matriks Aturan Integrasi Kelembapan Tanah (IoT), Kemiringan Lereng (GIS), dan Zona Kesesuaian Lahan

| Kondisi Kelembapan Tanah (IoT) | Kelas Lereng (GIS) | Hasil Integrasi dan Rekomendasi |
|---|---|---|
| Tinggi (basah/pasca-hujan) | Datar (<8%) | Risiko busuk akar: lahan datar lambat mengalirkan air, tanah basah memicu genangan. Rekomendasi: buat parit drainase sedalam 30 cm di sekitar bedengan nilam. |
| Tinggi (basah/pasca-hujan) | Landai (8-15%) | Kondisi cukup sesuai: drainase alami mulai berfungsi namun perlu pemantauan. Rekomendasi: pemantauan rutin kelembapan dan penyiangan gulma. |
| Tinggi (basah/pasca-hujan) | Miring (15-30%) | Kondisi ideal: air mengalir secara alami sehingga kelembapan terjaga tanpa menggenang. Lahan dapat langsung ditanami tanpa perlakuan khusus. |
| Tinggi (basah/pasca-hujan) | Curam (30-45%) | Waspada erosi: lereng curam dengan tanah basah rentan terhadap erosi permukaan. Rekomendasi: pasang terasering dan vegetasi penutup tanah. |
| Tinggi (basah/pasca-hujan) | Sangat Curam (>45%) | Tidak disarankan untuk budidaya: risiko longsor dan erosi sangat tinggi. Rekomendasi: pertahankan vegetasi alami sebagai penyangga. |
| Rendah (mulai kering) | Datar (<8%) | Perlu irigasi tambahan: lahan datar dengan kondisi kering membutuhkan penyiraman terjadwal. Rekomendasi: aktifkan sistem irigasi IoT secara rutin. |
| Rendah (mulai kering) | Landai (8-15%) | Cukup sesuai dengan pengelolaan: drainase alami membantu namun kelembapan perlu dijaga. Rekomendasi: mulsa organik untuk menahan kelembapan. |
| Rendah (mulai kering) | Miring (15-30%) | Risiko kekeringan meningkat: air cepat mengalir ke bawah sehingga tanah cepat kering. Rekomendasi: pasang mulsa tebal dan terasering untuk menahan air. |
| Rendah (mulai kering) | Curam (30-45%) | Risiko kekeringan dan erosi tinggi: air hilang sangat cepat dan tanah mudah tererosi. Rekomendasi: mulsa organik, terasering, dan tambahan irigasi tetes. |

 https://doi.org/10.56211/blendsains.v5i2.1944

| | | |
|---|---|---|
| Rendah (mulai kering) | Sangat Curam (>45%) | Tidak direkomendasikan untuk budidaya nilam: tanah kering di lereng terjal sangat rentan erosi dan longsor. Disarankan dibiarkan sebagai hutan penyangga. |

Berdasarkan Tabel 6, zona paling ideal untuk budidaya nilam adalah kombinasi kelembapan tinggi dengan lereng Miring (15-30%), karena kemiringan tersebut memungkinkan drainase alami yang optimal tanpa mengakibatkan air menggenang maupun cepat hilang. Mengingat kelas Miring mendominasi 36,01% wilayah Desa Lemoro, kondisi ini secara keseluruhan cukup menguntungkan bagi pengembangan perkebunan nilam asalkan pengelolaan kelembapan tanah dilakukan secara tepat melalui sistem monitoring IoT. Sebaliknya, lahan dengan kelas Sangat Curam (>45%) yang mencakup 11,42% wilayah tidak direkomendasikan untuk budidaya nilam, baik dalam kondisi kelembapan tinggi maupun rendah, karena risiko erosi dan longsor yang sangat tinggi.

Perlu ditegaskan bahwa matriks aturan pada Tabel 6 hanya menggunakan dua parameter sebagai sumbu keputusan, yaitu kelembapan tanah dan kelas kemiringan lereng, sedangkan data sensor air hujan (rain sensor) yang diuji pada Tabel 4 tidak diikutsertakan sebagai sumbu ketiga. Keputusan desain ini didasarkan pada perbedaan sifat kedua jenis data tersebut. Kelembapan tanah dan kemiringan lereng bersifat merepresentasikan kondisi kumulatif dan relatif stabil pada suatu zona lahan, yaitu kelembapan tanah mencerminkan akumulasi air yang telah terserap ke dalam profil tanah, sedangkan kemiringan lereng merupakan atribut fisik permanen suatu area, sehingga keduanya sesuai digunakan sebagai parameter zonasi kesesuaian lahan yang berlaku dalam jangka waktu relatif panjang. Sebaliknya, data sensor air hujan bersifat sesaat (instantaneous), yaitu hanya mengindikasikan ada atau tidaknya hujan pada saat pembacaan dilakukan, sehingga tidak merepresentasikan kondisi kelembapan tanah secara kumulatif dan tidak dapat digeneralisasi untuk kebutuhan zonasi spasial jangka panjang. Oleh karena itu, sensor air hujan pada penelitian ini murni berfungsi sebagai indikator kondisi cuaca real-time yang ditampilkan pada dashboard (Gambar 4) untuk membantu operator memahami konteks pembacaan sensor kelembapan pada saat itu, tanpa memengaruhi logika rekomendasi zona kesesuaian lahan pada Tabel 6. Pemanfaatan data curah hujan sebagai parameter tambahan yang terakumulasi dari waktu ke waktu (misalnya rata-rata curah hujan bulanan) untuk memperkaya matriks aturan menjadi salah satu arah pengembangan pada penelitian lanjutan Temuan ini memperkuat hasil penelitian terdahulu yang menunjukkan bahwa kemiringan lereng berkontribusi signifikan terhadap risiko erosi dan pola drainase lahan pertanian [8], [12], sekaligus melengkapinya dengan dimensi data kelembapan tanah dinamis dari IoT yang tidak tersedia pada penelitian SIG murni berbasis data fisik statis [10].

### *Implikasi Hasil*

Hasil integrasi ini memberikan tiga implikasi utama. Pertama, secara praktis, petani nilam di Desa Lemoro memperoleh rekomendasi pengelolaan lahan yang spesifik per zona berdasarkan kombinasi kelembapan dan kemiringan lereng, bukan rekomendasi generik untuk seluruh kawasan. 36,01% wilayah berada di kelas Miring (15-30%), mayoritas petani dapat langsung mengoptimalkan sistem IoT untuk monitoring kelembapan tanpa perlu khawatir tentang risiko genangan, namun tetap harus mewaspadai erosi pada musim hujan. Kedua, secara teoretis, penelitian ini membuktikan bahwa prototipe IoT skala laboratorium dapat ditingkatkan fungsinya menjadi sumber parameter bobot dinamis dalam sistem pendukung keputusan spasial yang lebih luas, melampaui fungsi awal sebagai alat penyiram otomatis pada satu titik. Ketiga, secara kelembagaan, pendekatan integrasi IoT-GIS ini berpotensi diadopsi oleh dinas pertanian Kabupaten Tojo Una-Una sebagai dasar penyusunan peta arahan komoditas nilam tingkat desa dengan biaya implementasi yang relatif rendah, karena hanya memerlukan satu unit prototipe laboratorium dikombinasikan dengan data DEMNAS yang tersedia secara terbuka dari BIG.

### *Keterbatasan Penelitian*

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu disampaikan secara transparan. Pertama, data kemiringan lereng yang digunakan sepenuhnya bersumber dari satu sumber data Digital Elevation Model, yaitu DEMNAS (DEM Nasional) yang disediakan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) dengan resolusi spasial 8,25 meter per piksel. Penelitian ini tidak membandingkan hasil analisis dengan sumber DEM lain seperti SRTM (Shuttle Radar Topography Mission, resolusi kurang lebih 30 m) dari NASA, ALOS DEM dari JAXA, maupun data pengukuran topografi lapangan langsung menggunakan GPS geodetik atau Total Station. Perbedaan sumber dan resolusi DEM dapat menghasilkan klasifikasi kemiringan lereng yang berbeda, sehingga hasil zonasi pada penelitian ini bersifat spesifik terhadap karakteristik data DEMNAS BIG. Kedua, resolusi 8,25 meter DEMNAS mungkin belum cukup detail untuk membedakan variasi lereng pada skala petak tanam nilam yang sempit, sehingga terdapat kemungkinan generalisasi nilai kemiringan pada area-area tertentu. Ketiga, luas area kajian yang dianalisis pada penelitian ini (1.132,22 Ha atau 11,32 km2) diperoleh dari hasil

clipping data DEMNAS menggunakan batas administratif resmi Desa Lemoro bersumber dari geodatabase Administrasi Desa/Kelurahan edisi September 2023 yang diterbitkan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG). Keempat, data pengujian prototipe IoT merupakan hasil pengujian skala laboratorium dan belum divalidasi langsung di berbagai titik sampel pada setiap kelas lereng di lahan perkebunan Desa Lemoro. Kelima, dashboard sistem pendukung keputusan yang menampilkan hasil integrasi zona kesesuaian lahan secara visual pada antarmuka web, sebagaimana digambarkan pada rancangan arsitektur sistem (Gambar 1), belum diimplementasikan pada penelitian ini. Implementasi aktual baru mencakup dashboard monitoring berbasis web untuk subsistem IoT (Gambar 4), sedangkan integrasi data kelembapan tanah dengan data kemiringan lereng masih dilakukan secara manual melalui matriks aturan dan disajikan dalam bentuk tabel serta peta statis, belum berupa sistem otomatis yang memperbarui rekomendasi zonasi secara real-time pada satu antarmuka terpadu. Keterbatasan-keterbatasan ini menjadi dasar arah penelitian lanjutan, di antaranya perbandingan multi-sumber DEM, verifikasi batas administratif, penggunaan data topografi lapangan untuk validasi, serta pengembangan dashboard sistem pendukung keputusan berbasis web yang mengintegrasikan basis data sensor IoT dengan perangkat lunak GIS secara otomatis melalui antarmuka pemrograman (API). Keenam, nilai keluaran sensor kelembapan tanah kapasitif pada penelitian ini masih berupa satuan ADC mentah (konstanta ambang batas 2000 pada program, dengan kisaran nilai empiris keberhasilan 1056-1110) yang belum dikalibrasi secara silang terhadap persentase kapasitas lapang (%KL) menggunakan metode gravimetri standar sebagaimana lazim digunakan pada penelitian agronomi [21], [22]. Akibatnya, meskipun rujukan agronomis menunjukkan bahwa nilam tumbuh optimal pada kisaran 90-100% KL, penelitian ini belum dapat memastikan nilai %KL yang secara kuantitatif setara dengan ambang batas sensor tersebut. Kalibrasi silang antara satuan ADC sensor dan %KL gravimetri menjadi prioritas penelitian lanjutan agar ambang batas operasional sistem IoT dapat divalidasi secara kuantitatif terhadap standar agronomi yang berlaku, bukan hanya secara kualitatif.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan Sistem Monitoring dan Analisis Kesesuaian Lahan Nilam Berbasis Integrasi Internet of Things (IoT) dan Kemiringan Lereng (Spasial) dengan menggabungkan dua skala data yang sebelumnya berdiri sendiri. Pengujian prototipe IoT menunjukkan tingkat keberhasilan fungsional rata-rata 84%, dengan sensor RTC mencapai akurasi 100%, sensor kelembapan tanah 80%, dan sensor air hujan 75%. Analisis spasial menggunakan data DEMNAS pada perangkat GIS (QGIS) mengidentifikasi lima kelas kemiringan lereng di wilayah Desa Lemoro seluas 1.132,22 Ha, dengan dominasi kelas Miring (15-30%) sebesar 36,01%, diikuti Landai (8-15%) sebesar 19,54%, dan Curam (30-45%) sebesar 19,26%. Nilai ambang batas kelembapan tanah dari pengujian IoT berhasil diintegrasikan dengan kelima kelas kemiringan lereng tersebut melalui matriks aturan IF-THEN, menghasilkan sepuluh zona kesesuaian lahan beserta rekomendasi tindakan agronomis spesifik untuk masing-masing zona. Kondisi topografi Desa Lemoro yang didominasi kelas Miring secara umum mendukung budidaya nilam, karena kemiringan tersebut memungkinkan drainase alami yang optimal, selama kelembapan tanah dipantau secara aktif melalui sistem IoT.

Penelitian lanjutan disarankan untuk melakukan validasi lapangan langsung pada seluruh kelas lereng yang teridentifikasi, serta mengembangkan modul integrasi otomatis antara basis data sensor IoT dan perangkat lunak GIS melalui antarmuka pemrograman (API) agar sistem dapat memperbarui rekomendasi zonasi secara real-time mengikuti perubahan kondisi lapangan.

## DAFTAR PUSTAKA

[1] M. Ayaz, M. Ammad-Uddin, Z. Sharif, A. Mansour, and E. H. M. Aggoune, "Pertanian cerdas berbasis Internet of Things (IoT): menuju agar lahan pertanian dapat berkomunikasi," IEEE Access, vol. 7, pp. 129551-129583, 2019.
[2] H. Jaya, "Desain dan implementasi sistem robotika berbasis mikrokontroler," 2016.
[3] N. Fahmi, E. Prayitno, and S. Fitriani, "Aplikasi Web of Things untuk pemantauan pertanian presisi menggunakan jaringan sensor nirkabel," Jurnal Infotel, vol. 11, no. 1, pp. 22-28, 2019.
[4] A. Sumarudin, W. P. Putra, E. Ismantohadi, S. Supardi, and M. Qomarrudin, "Sistem monitoring tanaman hortikultura pertanian di Kabupaten Indramayu berbasis Internet of Things," Jurnal Teknologi dan Informasi, vol. 9, no. 1, pp. 45-54, 2019.
[5] D. M. Sari and Z. B. Hasanuddin, "Sistem kontrol dan monitoring pertumbuhan tanaman hortikultura pada smart garden," Jurnal IT: Media Informasi STMIK Handayani Makassar, vol. 8, no. 1, 2018.

[6] R. Wirosoedarmo, A. T. Sutanhaji, E. Kurniati, and R. Wijayanti, "Evaluasi kesesuaian lahan untuk tanaman jagung menggunakan metode analisis spasial," Agritech: Jurnal Fakultas Teknologi Pertanian UGM, vol. 31, no. 1, p. 101338, 2011.
[7] T. Fikri, "Analisis kesesuaian lahan untuk perumahan menggunakan Sistem Informasi Geografis di Kabupaten Garut," Doctoral dissertation, Universitas Pendidikan Indonesia, 2009.
[8] R. Kadriansari, S. Subiyanto, and B. Sudarsono, "Analisis kesesuaian lahan permukiman dengan data citra resolusi menengah menggunakan Sistem Informasi Geografis (studi kasus: Semarang bagian Barat dan Semarang bagian Timur)," Jurnal Geodesi Undip, vol. 6, no. 4, pp. 199-207, 2017.
[9] M. Mahmudi, S. Subiyanto, B. Darmo Yuwono, Y. Prasetyo, and A. Sukmono, "Analisis ketelitian DEM ASTER GDEM, SRTM, dan LIDAR untuk identifikasi area pertanian tebu berdasarkan parameter kelerengan (studi kasus: Distrik Tubang, Kabupaten Merauke, Provinsi Papua)," Doctoral dissertation, Universitas Diponegoro, 2015.
[10] P. H. P. Pasaribu and R. O. P. Situmorang, "Hubungan faktor kemiringan lereng, jenis tanah, dan tipe penggunaan lahan terhadap risiko bahaya erosi," INOVASI: Jurnal Politik dan Kebijakan, vol. 19, no. 2, pp. 147-158, 2022.
[11] J. Purwohandoyo, H. Reinhart, E. Saputra, A. Kurniawan, R. Rachmawati, D. Widiyastuti, et al., "Analisis multi-kriteria spasial (SMCA) untuk menentukan kesesuaian ruang terbuka hijau (GOS) di Kalurahan Wonokromo, Daerah Istimewa Yogyakarta," International Review for Spatial Planning and Sustainable Development, vol. 11, no. 1, pp. 158-175, 2023.
[12] S. Hartati and A. Nugroho, "Sistem pendukung keputusan berbasis AHP (Analytical Hierarchy Process) untuk penentuan kesesuaian penggunaan lahan (studi kasus: Kabupaten Semarang)," Jurnal Informatika, vol. 6, no. 2, pp. 630-641, 2012.
[13] N. Temiz and V. Tecim, "Sistem informasi geografis sebagai sistem pendukung keputusan dalam pengelolaan hutan," Jurnal Ilmu Pengetahuan Fakultas Seni dan Sains Universitas Süleyman Demirel, vol. 4, no. 2, pp. 213-223, 2009.
[14] S. Hafizh, N. Ahmad, and R. Musfikar, "Pemetaan objek wisata di Kabupaten Aceh Tengah menggunakan sistem informasi geografis berbasis web," Media Jurnal Informatika, vol. 17, no. 1, pp. 107-117, 2025, doi: 10.35194/mji.v17i1.5204.
[15] P. A. Longley and J. A. Cheshire, "Sistem informasi geografis," in The Routledge Handbook of Mapping and Cartography, Routledge, 2017, pp. 251-258.
[16] D. Prayama, A. Yolanda, and A. W. Pratama, "Rancang bangun alat pengontrol penyiram tanaman otomatis menggunakan sensor kelembaban tanah di area pertanian," Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi), vol. 2, no. 3, pp. 807-812, 2018.
[17] R. Jupita, A. N. Tio, A. Rifaini, and S. Dadi, "Rancang bangun penyiraman tanaman otomatis menggunakan sensor soil moisture," Jurnal of English Language Teaching and Learning, vol. 2, no. 1, pp. 1-9, 2021.
[18] M. Eriyadi and S. Nugroho, "Prototipe sistem penyiram tanaman otomatis berbasis suhu udara dan kelembaban tanah," Elektra, vol. 3, no. 2, pp. 87-98, 2018.
[19] D. Hansen and G. Hoendarto, "Perancangan perangkat penyiram tanaman otomatis menggunakan mikrokontroler Arduino Uno," INTEKSIS, vol. 4, no. 2, 2017.
[20] Badan Informasi Geospasial, "DEMNAS: seamless digital elevation model dan batimetri nasional," Badan Informasi Geospasial, Cibinong, Indonesia, 2021. [Online]. Tersedia: https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web/unduh/demnas.
[21] E. Herdiani, "Nilam, Primadona Tanaman Aromatik Indonesia," Balai Besar Pelatihan Pertanian (BBPP) Lembang, Kementerian Pertanian RI, 2011. [Online]. Tersedia: https://bbpplembang.bppsdmp.pertanian.go.id/publikasi-detail/1132.
[22] I. M. Lapanjang and Y. Syafrizal, "Respons pertumbuhan tanaman nilam (Pogostemon cablin Benth.) terhadap variasi ketersediaan air sebagai strategi adaptasi terhadap perubahan iklim," Jurnal Sains Teknologi & Lingkungan, vol. 11, no. 1, pp. 33-40, Mar. 2025, doi: 10.29303/jstlv11i1.853.
[23] Puslittanak, Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Laporan Akhir Pengkajian Potensi Bencana Kekeringan, Banjir dan Longsor di Kawasan Satuan Wilayah Sungai Citarum-Ciliwung, Jawa Barat Bagian Barat Berbasis Sistem Informasi Geografi. Bogor: Puslittanak, 2004.
[24] F. D. Agustina, M. E. Tjahjadi, and V. Rahmadany, "Pembuatan peta kemiringan lereng menggunakan DEM presisi foto udara untuk mitigasi bencana longsor: studi kasus di Pandansari, Ngantang, Kabupaten Malang," in Prosiding Seminar Nasional SEMSINA 2022: Metaverse: Peluang dan Tantangan Pendidikan Tinggi di Era Industri 5.0, ITN Malang, 2022, pp. 17-23.