

Sistem Kontrol Cerdas berbasis Internet of Things pada Pertanian Lahan Kering: Peluang dan Tantangan di Pulau Timor

IoT-based Smart Control System on Dryland Agriculture: Opportunities and Challenges in Timor Island

Erniati^{1a}, Folkes E. Laumal², Edwin P. Hattu², Nina J. Lapinangga³

¹Politeknik Pembangunan Pertanian Bogor, Jl. Aria Surialaga No. 1 Pasirjaya, Bogor Barat Kota Bogor 16119

²Politeknik Negeri Kupang, Jalan Adisucipto, Penfui, Kupang, 85361.

³Politeknik Pertanian Negeri Kupang, Jalan Prof. Dr. Herman Johaness, Lasiana, Kupang, 85228.

^aKorespondensi : Erniati, E-mail: ernibkpdeptan@gmail.com

Diterima: 07 – 03 – 2025 , Disetujui: 06 – 05 – 2025

ABSTRACT

Dryland farming in tropical climates, such as Timor Island, East Nusa Tenggara, faces numerous challenges, including low and variable rainfall, limited water resources, and soil degradation. Intelligent control technology and the Internet of Things (IoT) offer innovative solutions to address these challenges through environmental monitoring and control in agricultural systems, aiming to improve efficiency and productivity. This study aims to examine the opportunities and challenges of developing relevant IoT-based intelligent control systems, as well as potential solutions for managing dryland farming with IoT applications. The research is conducted through a literature review of dryland farming conditions and the challenges of using IoT applications, environmental condition monitoring of dryland using IoT devices, and identifying the strengths, weaknesses, opportunities, and threats of using intelligent IoT-based applications. The research findings indicate that the dominance of dryland, combined with low water availability, requires optimal agricultural irrigation management while still maximizing plant growth and productivity. The application of intelligent technology for real-time monitoring and control is essential for managing the climate in dryland areas, representing an opportunity amid the challenges of managing horticultural dryland farming. These research results also serve as a reference for the development and implementation of IoT-based intelligent technology control in the dryland farming sector.

Keywords: Dryland, East Nusa Tenggara, Internet of Things, SWOT, Timor Island

ABSTRAK

Pertanian Kering di wilayah beriklim tropika, seperti di Pulau Timor, Nusa Tenggara Timur, selalu berhadapan dengan berbagai tantangan, di antaranya curah hujan yang rendah dan bervariasi, sumber daya air yang terbatas, dan degradasi tanah. Teknologi kontrol cerdas dan Internet of Things (IoT) menawarkan solusi inovatif untuk mengatasi tantangan ini melalui pemantauan kondisi lingkungan dan pengendalian pada sistem pertanian, demi peningkatan efisiensi dan produktivitas. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji peluang dan tantangan pengembangan sistem kontrol cerdas berbasis IoT yang relevan, serta solusi potensial bagi pengelolaan pertanian lahan kering berbasis aplikasi IoT. Penelitian ini adalah kajian literatur terhadap penggunaan aplikasi cerdas berbasis IoT di pertanian lahan kering Pulau Timor, identifikasi tantangan dan peluang melalui analisis SWOT. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lahan kering yang dominan dan rendahnya ketersediaan air, memerlukan pengelolaan irigasi pertanian yang optimal, agar tetap mampu memaksimalkan pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Pengembangan pemanfaatan teknologi cerdas untuk kebutuhan monitoring secara realtime diperlukan untuk penanganan perubahan iklim di lahan kering, sebagai salah satu peluang diantara tantangan pengelolaan pertanian lahan kering. Hasil penelitian ini menjadi referensi rekomendasi dalam pengembangan dan penerapan teknologi kontrol cerdas berbasis IoT dalam sektor pertanian lahan kering.

Kata kunci: Internet of Things, Lahan Kering, Nusa Tenggara Timur, Pulau Timor, SWOT

PENDAHULUAN

Pertanian lahan kering di wilayah beriklim tropis, seperti Pulau Timor di Nusa Tenggara Timur, selalu berhadapan dengan tantangan iklim yang signifikan. Beberapa perubahan iklim seperti curah hujan yang rendah namun fluktuatif, suhu udara yang tinggi, degradasi tanah dan keterbatasan sumber air selalu terjadi sepanjang tahun (Rachman, 2020). Kondisi ini menyebabkan tanaman yang dibudidayakan pada pertanian lahan kering seringkali mengalami stres air karena tingkat penguapan yang tinggi, sehingga mempengaruhi pertumbuhan dan produksi hasil panen (Wokanubun et al., 2020).

Pengelolaan pertanian lahan kering di Pulau Timor, masih banyak menggunakan pengolahan tradisional berdasarkan pengalaman petani (Mulyani & Suwanda, 2020). Cara budidaya tradisional yang tidak optimal menghasilkan produktivitas panen yang tinggi, mencukupi untuk konsumsi keluarga dalam setahun. Hal ini disebabkan keterbatasan informasi yang akurat tentang perubahan iklim, fluktuasi iklim lingkungan dan tanah, sehingga cara pengolahan tradisional tetap bertahan sampai saat ini.

Propinsi Nusa Tenggara Timur (NTT) dan Nusa Tenggara Barat (NTB) memiliki sebaran lahan kering yang cukup luas, yaitu $\pm 5,2$ juta hektar. Dari jumlah tersebut, sebanyak 42,3 % termasuk dalam wilayah solum dangkal dan berbatu, > 40% merupakan daerah lereng, dan 57,7 % terdiri dari wilayah bersolum dalam dan tidak berbatu (Mulyani & Suwanda, 2020). Sebaran lahan kering yang masih sangat luas dan, pengelolaan secara tradisional tidak akan mampu menargetkan hasil panen yang berdampak kepada peningkatan ekonomi keluarga dan daerah. Perlibatan teknologi ke arah teknologi cerdas perlu dilakukan agar pengelolaan lahan kering menjadi lebih optimal, menghasilkan produksi maksimal, dan dapat meningkatkan ekonomi keluarga serta pendapatan daerah.

Seiring dengan kemajuan teknologi, beberapa contoh sistem kontrol pertanian telah dikembangkan untuk membantu petani di wilayah beriklim tropika mengelola lahan secara lebih ilmiah dan terukur. Teknologi seperti sistem irigasi otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) yang didukung dengan sensor kelembapan tanah dan sensor suhu udara, telah dikembangkan untuk membantu aktivitas petani (Hamdi et al., 2021). Selain itu, Wijaya & Rivai (2018) juga mengembangkan sistem monitoring dan kontrol irigasi berbasis *client-server* dengan *Banana Pi* sebagai pusat pengolahan data. Simulasi sistem dapat berjalan dengan baik, kelembapan tanah dapat diamati melalui aplikasi *android*, termasuk kontrol buka-tutup katub air menggunakan dua tombol terpisah. Aplikasi monitoring pengairan di lahan terbuka juga disimulasikan melalui sistem monitoring berbasis IoT pada saluran irigasi menggunakan sensor ultrasonik (Wijaya & Rivai, 2018), kontrol pintu air untuk membagi air di saluran irigasi secara otomatis (Laumal et al., 2017), atau sistem monitoring ketinggian air di saluran irigasi yang berbasis LoRa (Fajril et al., 2023). Arduino sebagai pusat pengolahan data sensor juga telah digunakan oleh Tarigan et al (2022), dalam mengembangkan sistem monitoring dan kontrol air irigasi pada budidaya sayuran sawi hijau di lahan terbuka.

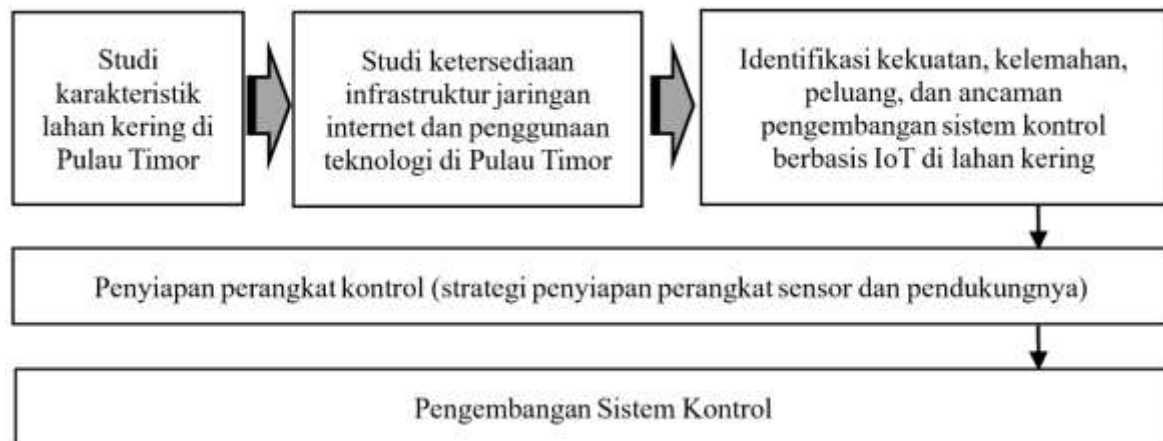
Meskipun telah terjadi banyak inovasi dalam sistem monitoring pertanian, teknologi yang ada masih memiliki beberapa keterbatasan, terutama ketika diterapkan di lahan kering beriklim tropis. Keterbatasan tersebut meliputi cakupan adanya perbedaan data yang terbaca dengan kondisi iklim sebenarnya, cakupan pembacaan data yang terbatas, kebutuhan modal dan biaya pemeliharaan yang tinggi, analisis data yang terbatas, dan tingkat keandalan perangkat yang tidak mampu beradaptasi dengan perubahan lingkungan yang ekstrim (Hamdi et al., 2021). Keterbatasan ini menghambat petani dalam mengelola lahan secara efektif dan efisien, yang berdampak negatif pada kesehatan tanaman dan produktivitas hasil panen. Dominasi lahan kering di Pulau Timor dengan curah hujan yang rendah membutuhkan keterlibatan teknologi yang tidak hanya otomatis, namun teknologi yang dibekali dengan sistem kecerdasan buatan, sehingga mampu beradaptasi dengan perubahan lingkungan, dan memberikan pengendalian secara tepat sesuai kebutuhan tanaman.

Untuk mendukung pengembangan sistem kontrol cerdas di lahan kering tersebut, maka penelitian ini bertujuan untuk mengkaji berbagai peluang dan tantangan penggunaan lahan kering di

Pulau Timor NTT untuk budidaya berbagai tanaman hortikultura, terutama parameter-parameter lingkungan yang berpengaruh terhadap produktivitas. Hasil kajian akan menjadi rekomendasi dalam menentukan parameter lingkungan prioritas yang perlu dilakukan pemantauan menggunakan perangkat teknologi, sekaligus membangun strategi penyiapan perangkat kontrol. Pengembangan sistem juga diharapkan bermanfaat dalam efisiensi, peningkatan kesehatan tanaman, peningkatan produktivitas, membantu petani membuat keputusan yang lebih tepat waktu dan berdasarkan informasi yang akurat, penghematan biaya dan memberikan manfaat ekonomi yang lebih besar. Dengan demikian, sistem kontrol cerdas berbasis IoT ini dapat menjadi solusi inovatif untuk mengatasi tantangan pertanian lahan kering di Pulau Timor-NTT, dan mendukung keberlanjutan pertanian di masa depan.

MATERI DAN METODE

Penelitian ini dilakukan melalui tiga tahapan, yaitu: 1) studi literatur untuk memahami karakteristik lahan kering di Pulau Timor, 2) studi ketersediaan infrastruktur jaringan internet di Pulau Timor, dan 3) identifikasi kekuatan, kelemahan, peluang, dan ancaman melalui analisis SWOT (*Strenght, Weakness, Opportunity, dan Threat*). Tahap penelitian tertera pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan pengembangan sistem kontrol cerdas berbasis IoT pada pertanian lahan kering

Studi literatur karakteristik lahan pertanian di Pulau Timor meliputi kondisi lahan pertanian kering, sumber air, tren perubahan iklim yang dominan di Pulau Timor, yaitu energi cahaya matahari, suhu udara, kelembapan udara, dan kecepatan angin, studi ketersediaan infrastruktur jaringan internet dan penggunaan teknologi kontrol di Pulau Timor, mengidentifikasi *Strenght, Weakness, Opportunity, dan Threat* (SWOT) dalam pengembangan sistem kontrol berbasis IoT. Hasil kajian akan menjadi dokumen awal untuk mengidentifikasi kebutuhan pemantauan dan pengendalian lingkungan menggunakan perangkat teknologi kontrol berbasis IoT. Kajian SWOT diharapkan memberi informasi yang lengkap tentang penyiapan perangkat teknologi kontrol.

Sumber kajian penelitian ini adalah jurnal-jurnal akademik, laporan dan publikasi pemerintah yang berhubungan dengan parameter-parameter yang dikaji. Sedangkan identifikasi kekuatan, kelemahan, peluang, dan ancaman untuk pengembangan sistem, merupakan rangkuman dari dua kajian sebelumnya ditambah literatur lain yang relevan dengan pengelolaan pertanian lahan kering di Nusa Tenggara Timur.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Lahan Kering di Pulau Timor

Indonesia memiliki 91,2% wilayah yang beriklim basah dan sejumlah kecil wilayah beriklim kering di kawasan timur, terutama kepulauan Nusa Tenggara Barat (NTB) dan Nusa Tenggara Timur (NTT) yang memiliki luas wilayah masing-masing 18.572,32 dan 47.931,54 km². Di NTT, dari total

luas tersebut, sekitar 1 juta hektar lahan berupa lahan kering tersebar di Pulau Timor, sedangkan lainnya merupakan lahan basah, pegunungan, dan wilayah pesisir (Badan Pusat Statistik, 2022). Iklim kering ditandai dengan curah hujan yang rendah dan ketersediaan air yang terbatas, sehingga berdampak besar kepada aktivitas pertanian. Menurut Mulyani dan Mamat (2020), dari 5,2 juta hektar total lahan kering yang tersebar di Provinsi NTB dan NTT, terdapat 42,3% (2,2 juta ha) lahan kering dengan solum dangkal dan berbatu dan lebih dari 40% berbentuk datar hingga bergunung (lereng). Kondisi ini menunjukkan bahwa masih terdapat lahan seluas 3,0 juta ha (57,7%) bersolum dalam dan tidak berbatu. Di wilayah NTB dan NTT masih banyak tanah-tanah berkarakteristik morfologi, kimia, fisik dan mineralogi yang baik dan sangat menunjang pertumbuhan tanaman pertanian, yang berpotensi untuk pengembangan pertanian. Sampai dengan tahun 2023, total lahan kering di Pulau Timor yang dapat ditanami padi adalah ± 44.000 ha, menurun 8,7 % dari tahun 2020. Selain itu terdapat pula ± 12.000 ha lahan kering dengan ketersediaan air yang sangat rendah sehingga tidak produktif (Badan Pusat Statistik NTT, 2024).

Berdasarkan hasil pemetaan, terdapat tujuh ordo tanah di Propinsi NTB dan NTT. Ketujuh tanah tersebut, yaitu andisols, entisols, inceptisols, mollisols, vertisols, alfisols, dan ultisols (BBSDLP, 2014) dalam Hikmat L et al (2023). Tanah-tanah ini berkembang dari bahan yang beragam, yaitu bahan endapan permukaan, bahan sedimen, batu gamping, serta batuan vulkan dan batuan terobosan, sehingga memiliki karakteristik yang baik (morfologi, kimia, fisik dan mineralogi) dan mendukung pertumbuhan tanaman pertanian. Hampir seluruh tanah yang dijumpai mempunyai kesuburan yang baik, kecuali tanah ultisol. Inceptisols adalah jenis tanah dengan penyebaran paling luas dan tergolong tanah yang sudah berkembang. Pada lahan kering tanah ini ditandai dengan adanya perkembangan struktur tanah, namun belum sampai terbentuk horizon argilik. Tanah inceptisol di NTT tersebar luas di Timor Tengah Utara, Timor Tengah Selatan dan Sumba Timur. Tanah entisol tersebar di daerah berbukit dan gunung, dengan kemiringan lereng cukup tinggi ($> 25\%$), dengan kedalaman solum yang tergolong dangkal. Selanjutnya tanah Molisol dan Andosol mempunyai kandungan bahan organik yang tinggi dan gembur dan sebagian besar berada di lahan kering (Sukarman et al., 1998). Tanah berordo mollisols di wilayah NTT sebagian besar tersebar di dataran rendah (< 700 mdpl) dan lahan lereng yang kurang dari 8 %, sehingga lereng juga selalu dimanfaatkan untuk membudidayakan berbagai tanaman pertanian. Tanah mollisol lebih merata dalam penyebarannya di wilayah NTT (Hikmat et al., 2023). Contoh lahan di Pulau Timor dengan tipe kambisol ustik dan molisol ustik, (Gambar 2a) dan aktifitas membuka lahan pertanian (Gambar 2b).



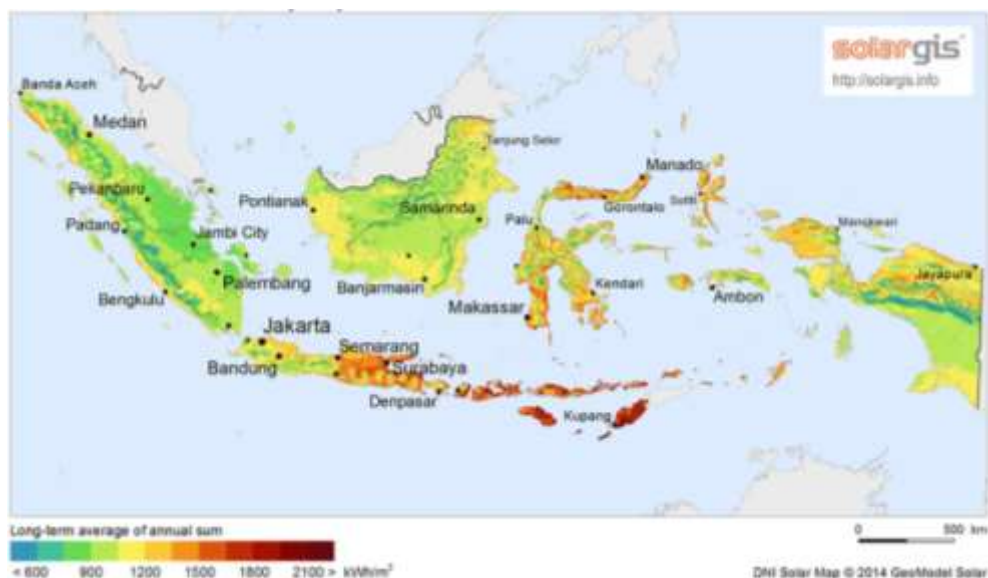
Gambar 2. Kondisi lahan di Pulau Timor, (a) profil tanah Inceptisol, (b) pembukaan lahan kering di Kabupaten Kupang.

Sumber: Aletheia Rabbani (2024)

1. Anomali suhu udara, kelembapan udara, dan kondisi iklim di Pulau Timor

Pulau Timor dikenal dengan iklim semi-kering, dengan musim hujan yang berlangsung dari Bulan November hingga April, dengan pola curah hujan yang sangat dipengaruhi oleh fenomena iklim global seperti El Nino (BMKG, 2021). Tren panas di Pulau Timor menunjukkan pola yang serupa dengan wilayah lain di Indonesia. Selama periode 2012 hingga 2022, sebaran rata-rata suhu udara tahunan di Pulau Timor mengalami peningkatan. Data BMKG menunjukkan bahwa tahun 2016 merupakan tahun terpanas dalam dekade terakhir dengan anomali suhu sebesar 0,6 °C di atas rata-rata jangka panjang. Faktor global seperti El Nino ikut berkontribusi terhadap peningkatan suhu udara dan pola curah hujan di Pulau Timor. Fenomena ini menyebabkan kondisi yang lebih panas dan kering, yang memperburuk efek pemanasan global di wilayah Pulau Timor (BMKG, 2022).

Radiasi cahaya matahari cukup melimpah di wilayah Pulau Timor, meskipun tersebar secara tidak merata karena faktor geografis dan meteorologis. Wilayah pesisir paling banyak menerima radiasi sinar matahari dibandingkan daerah pegunungan. Variasi intensitas radiasi sinar matahari juga dipengaruhi oleh pola cuaca lokal dan fenomena iklim global seperti El Nino (Nelvi et al., 2022). Sebenarnya, radiasi matahari yang melimpah dapat meningkatkan fotosintesis tanaman, mempercepat pertumbuhan, dan meningkatkan produktivitas hasil panen. Namun, kondisi ini sekaligus menjadi tantangan dalam pertanian terutama dapat memicu peningkatan suhu udara dan penguapan yang tinggi, sehingga berpotensi terjadinya kekeringan, mengurangi kelembapan tanah dan mengganggu tanaman yang sensitif terhadap panas berlebih. Untuk mengatasi tantangan tersebut, praktik pertanian cerdas dapat diterapkan, misalnya penggunaan varietas tanaman yang tahan terhadap kekeringan, menerapkan irigasi yang efisien atau menerapkan teknik konservasi tanah dan air. Penelitian dan inovasi dalam teknologi pertanian juga penting untuk memaksimalkan manfaat dari radiasi matahari yang melimpah tanpa mengorbankan keberlanjutan lingkungan dan produktivitas jangka panjang (Nelvi et al., 2022). Nusa Tenggara Timur merupakan salah satu wilayah yang berpotensi menghasilkan energi matahari besar selain propinsi Nusa Tenggara Barat, Jawa Timur, sebagian Sulawesi Tengah dan Selatan, dengan profil sebaran energi matahari sebagaimana pada Gambar 3.



Gambar 3. Pola sebaran energi matahari langsung di Indonesia
Sumber: Dang (2017).

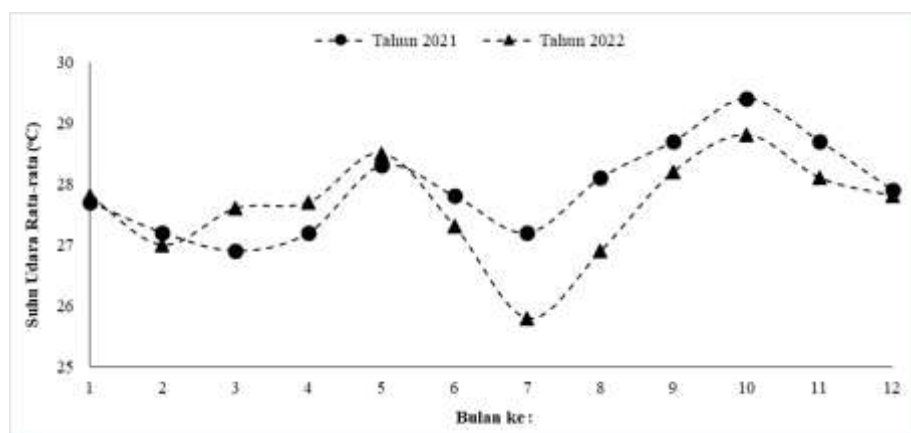
Gambar 3 menunjukkan pola penyinaran energi matahari normal langsung di Indonesia. Pola tersebut menggambarkan bahwa pulau-pulau yang berada di bagian selatan Indonesia (termasuk pulau Jawa, Bali dan Nusa Tenggara), memiliki penyinaran energi matahari langsung yang sangat tinggi ($> 1800 \text{ kWh per m}^2$) (Dang, 2017). Kondisi ini berpengaruh terhadap perubahan suhu dan kelembapan udara yang menunjukkan variasi yang signifikan dalam beberapa tahun terakhir. Data

dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) serta Badan Pusat Statistik (BPS) NTT mengindikasikan bahwa suhu udara rata-rata tahunan di wilayah-wilayah selatan, secara umum mengalami peningkatan yang konsisten antara tahun 2020 hingga 2023. Pada tahun 2023, suhu udara maksimum rata-rata di beberapa wilayah seperti Kota Kupang mencapai 32,8 °C, sementara suhu udara minimum rata-rata adalah 23,6 °C. Kondisi ini menunjukkan sedikit peningkatan dibandingkan dengan tahun-tahun sebelumnya, di mana suhu udara maksimum rata-rata dapat mencapai 32,1 °C hingga 32,6 °C dan suhu udara minimum rata-rata berada di antara 24,0 °C hingga 24,3 °C (BMKG, 2024; BPS NTT, 2023b).

Variabilitas suhu dan kelembapan udara di Pulau Timor, Nusa Tenggara Timur (NTT) sepanjang tahun 2024 menunjukkan pola yang menarik berdasarkan data dari BMKG NTT dan BPS NTT. Suhu di Pulau Timor bervariasi dari 20 °C hingga 32 °C, dengan kelembapan udara berkisar antara 50 hingga 95 % tergantung pada wilayah dan waktu dalam sehari. Misalnya, di Kota Kupang dan Kabupaten Kupang, suhu udara di siang hari umumnya berkisar antara 20 hingga 32 °C dengan kelembapan udara antara 50 hingga 90 %. Sementara itu, di daerah-daerah pegunungan (di Kabupaten Ngada), suhu udara terasa lebih sejuk antara 12 hingga 28 °C dan kelembapan udara antara 55 hingga 90 % (BMKG, 2024). Dampak El Nino di Pulau Timor, terlihat dari kemarau panjang sejak bulan Juni hingga Oktober 2023. Musim hujan yang biasanya datang pada bulan Oktober, akhirnya tertunda hingga bulan November, sehingga berdampak kepada terganggunya pola tanam dan terjadinya kekeringan di sebagian besar wilayah di Pulau Timor.

Menurut data Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), anomali suhu udara tahunan di Indonesia tahun 2023 menunjukkan suhu udara rata-rata nasional sebesar 27,2 °C, dengan anomali +0,5 °C dibandingkan periode normal tahun 1991 hingga 2020 sebesar 26,7 °C. Tahun 2024, suhu udara rata-rata nasional meningkat menjadi 27,5 °C, dengan anomali +0,8 °C, menjadikannya tahun 2024 menjadi tahun terpanas sejak tahun 1981. Berdasarkan data 116 stasiun pengamatan BMKG, suhu udara rata-rata periode 1991 hingga 2020 di Indonesia sebesar 26,7 °C dan suhu udara rata-rata tahun 2023 sebesar 27,2 °C, sehingga anomali suhu udara rata-rata tahun 2023 sebesar 0,5 °C. Tahun 2016 merupakan tahun terpanas dengan nilai anomali sebesar 0,6 °C. Tahun 2023 menempati urutan kedua tahun terpanas dengan nilai anomali sebesar 0,5 °C (BMKG, 2022).

Tren peningkatan suhu udara juga tercermin di wilayah Propinsi NTT, misalnya di tanggal 14 Oktober 2023, suhu di Kota Kupang tercatat mencapai 37 °C, lebih tinggi dari kisaran normal yaitu 23 hingga 32 °C. Tren rata-rata suhu udara tahun 2021 hingga 2022 di wilayah Pulau Timor, sebagaimana diberikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Tren rata-rata suhu udara di Pulau Timor NTT tahun 2021 dan 2022.

Sumber: BPS NTT (2023a).

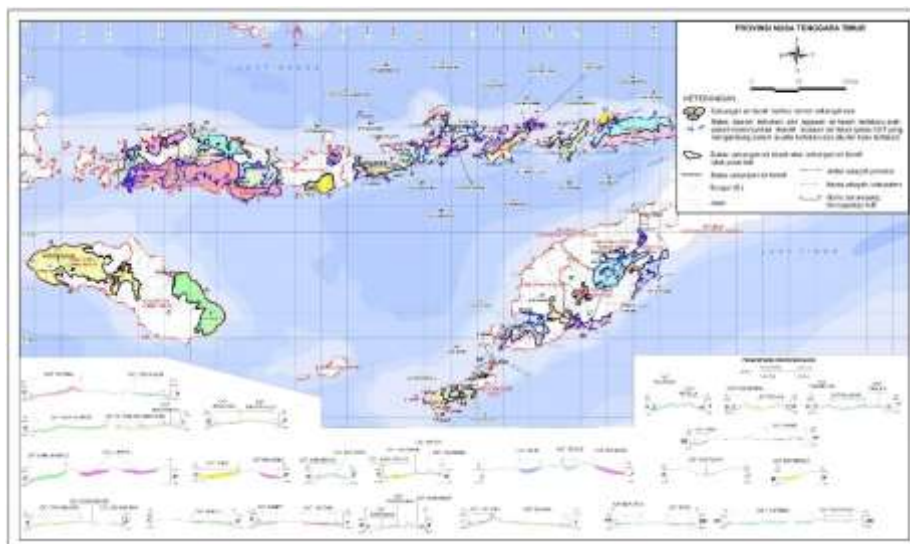
Gambar 4 menunjukkan bahwa variasi suhu udara di wilayah Pulau Timor NTT terlihat cukup konsisten setiap bulan dengan pola musiman yang khas. Suhu udara cenderung lebih tinggi di antara

bulan Agustus hingga Oktober (musim kemarau), dan sedikit menurun pada antara bulan Januari hingga Maret (musim hujan) (BPS NTT, 2023a).

Selain berpengaruh terhadap mundurnya awal musim hujan, pendeknya periode musim hujan dan berkurangnya curah hujan, El Nino juga berdampak kepada menurunnya sifat hujan di bawah normal pada sebagian besar Zona Musim (ZOM) di NTT, diantaranya perubahan awal musim hujan, periode musim hujan dan sifat hujan (Yuwono et al., 2024). Tahun 2024, fenomena El Nino di NTT berlanjut hingga bulan April (Priyatikanto et al., 2024). Sehingga musim kemarau di awal tahun 2024 terasa lebih panjang dari biasanya. Wilayah NTT yang biasanya mulai hujan pada akhir November atau awal Desember, namun sampai dengan bulan Januari 2024, terdapat 17 zona musim yang belum memasuki musim hujan (Fajar et al., 2024; Lano et al., 2024). Kendala curah hujan yang rendah serta tidak adanya sumber air cadangan menyebabkan lahan-lahan kering hanya dapat mengandalkan air hujan sehingga masa tanam juga terbatas. Lahan kering di wilayah Pulau Timor sangat potensial menjadi lahan-lahan pertanian jika kendala ketersediaan air dapat ditanggulangi, mengingat sifat-sifat kesuburan tanahnya secara umum sangat baik.

2. Ketersediaan sumber Air

Wilayah NTT sering menghadapi tantangan ketersediaan air, yang berdampak ke berbagai sektor, termasuk pertanian. Menurut situs *Geochem Survey* Indonesia tahun 2017, wilayah NTT terdiri atas beberapa cekungan air tanah dengan karakteristik dan potensi yang bervariasi tergantung pada kondisi geologi, topografi dan curah hujan lokal. Terdapat dua akuifer berdasarkan peta cekungan air tanah (CAT), yaitu akuifer bebas (*unconfined aquifer*), yang tersebar di dataran rendah, endapan aluvial, dan batuan lepas seperti pasir dan kerikil yang berpotensi memiliki ketersediaan air tanah yang sedang hingga tinggi, seperti beberapa tempat di Pulau Timor bagian selatan dan barat, seperti bagian timur dan tenggara Kota Kupang, Noelbaki, dan Takari. Selanjutnya akuifer tertekan (*confined aquifer*), pada lapisan batuan yang terjebak di antara lapisan kedap air, umumnya lebih terbatas dan memerlukan pemboran yang lebih dalam. Cekungan semacam ini banyak dijumpai di daerah dengan batuan kapur yang retak-retak, seperti di sebagian wilayah Kota Kupang, Amarasi dan Fatuleu (Geochem Survey, 2017). Gambar 5 Menjelaskan potensi sebaran air tanah di wilayah NTT.



Gambar 5. Potensi air tanah di wilayah Nusa Tenggara Timur.

Sumber : *Geochem Survey* Indonesia (2017)

Dalam sepuluh tahun terakhir, pemerintah Indonesia telah membangun beberapa bendungan di NTT untuk mengatasi masalah ketersediaan air. Tujuh bendungan utama adalah Bendungan Raknamo, Rotiklot, Napun Gete, Temef, Manikin, Mbay, dan Kolhua. Bendungan ini dirancang untuk memenuhi kebutuhan irigasi pertanian, air minum, dan pengendalian banjir, serta

meningkatkan ketahanan pangan dan ekonomi. Bendungan Raknamo di Kabupaten Kupang, memiliki kapasitas tampung 14 juta meter kubik air yang digunakan untuk irigasi 1250 hektar lahan pertanian. Bendungan ini juga menyediakan air baku sebesar 100 liter per detik dan berfungsi sebagai pengendali banjir di wilayah sekitarnya. Demikian pula, Bendungan Rotiklot di Kabupaten Belu memiliki kapasitas 3,3 juta meter kubik yang dimanfaatkan untuk irigasi 139 hektar sawah dan pasokan air baku sebesar 40 liter per detik (Open Data PUPR, 2022). Beberapa bendungan yang tersebar di wilayah NTT sebagaimana diberikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Ketersediaan bendungan di Pulau Timor NTT; (a) Bendungan Temef; (b) Bendungan Raknamo; (c) Bendungan Tilong; (d) Bendungan Rotiklot.

Sumber: Open Data PUPR (2022)

Teknologi irigasi tetes dan penyimpanan air bawah tanah (*groundwater recharge*) masih menjadi alternatif yang menjanjikan untuk ditindaklanjuti, terutama mengingat keberadaan sejumlah bendungan yang telah dibangun di wilayah Nusa Tenggara Timur, termasuk di Pulau Timor. Menurut data Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi NTT tahun 2022, luas lahan kering di beberapa kabupaten di Pulau Timor meliputi 17.946 hektar di Kabupaten Kupang dan 302.000 hektar di Kabupaten Timor Tengah Selatan (TTS). Lahan-lahan ini umumnya dimanfaatkan untuk sawah tadah hujan serta budidaya tanaman pangan seperti jagung, sorgum, dan jambu mete. Sebagian lainnya digunakan untuk menanam komoditas hortikultura, seperti sayuran daun, cabai, dan kacang panjang. Tanaman hortikultura membutuhkan pasokan air yang cukup dan stabil karena cenderung lebih sensitif terhadap kekeringan, sehingga penerapan teknologi irigasi yang tepat serta praktik pengelolaan lahan yang baik diharapkan dapat membantu menjawab tantangan keterbatasan air.

3. Hortikultura unggulan di lahan kering Pulau Timor

Di Pulau Timor, beberapa komoditas pertanian mendominasi sistem pangan lokal dan menjadi unggulan pertanian lahan kering karena daya tahannya terhadap iklim kering dengan curah hujan terbatas. Tanaman-tanaman tersebut antara lain: 1) ubi kayu (singkong), yang berperan sebagai sumber karbohidrat alternatif dan mampu tumbuh di tanah marginal, 2) jagung, yang merupakan sumber karbohidrat utama dan diolah dalam berbagai bentuk pangan lokal, 3) kacang-kacangan seperti kacang hijau, kacang tanah, dan kedelai, yang memiliki keunggulan dalam memperbaiki kesuburan tanah melalui proses fiksasi nitrogen, serta 4) sayuran hortikultura seperti cabai, tomat, dan bawang merah, yang dibudidayakan dengan teknik irigasi cerdas untuk mengatasi keterbatasan air. Selain itu, sorgum kini semakin populer sebagai tanaman alternatif yang cocok untuk lahan

kering karena toleransinya terhadap kekeringan ekstrem. Budidaya tanaman hortikultura lainnya dimungkinkan, tetapi umumnya terbatas pada wilayah yang memiliki akses langsung ke sumber air. Oleh karena itu, perluasan lahan budidaya di wilayah ini masih dapat dilakukan apabila didukung oleh penerapan teknologi kontrol irigasi dan pengelolaan air yang tepat.

Provinsi NTT memiliki 23 jenis tanaman sayuran semusim dari 25 jenis tanaman sebagaimana pada Tabel 1. Data yang ditampilkan hanya terbatas pada luas panen dalam satuan hektar dan produksi dalam satuan ton. Dari 23 jenis tanaman sayuran semusim yang dibudidayakan terdapat 10 jenis tanaman dengan produksi terbesar (Gambar 7), yaitu: labu siam, terung, petsai/sawi, kangkung, tomat, ketimun, cabai rawit, bayam, buncis dan bawang merah.

Tabel 1. Luas Panen, tanaman yang menghasilkan, produksi dan hasil per hektar tanaman sayuran di wilayah NTT.

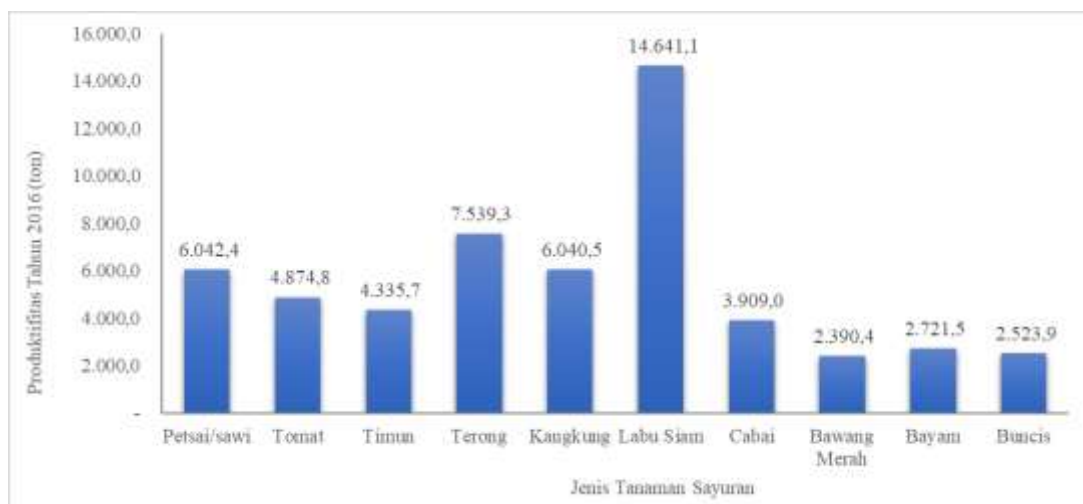
No	Komoditi	Luas panen (ha)	Tanaman yang menghasilkan ^{*)} Terbesar (pohon)	Produksi	Hasil per hektar (ton/ha)
1	Bawang daun	230	-	624,6	2,72
2	Bawang merah	1.061	-	2.390,4	2,25
3	Bawang putih	123	-	273,3	2,22
4	Bayam	1.505	-	2.721,5	1,81
5	Blewah	0	-	0,0	0,00
6	Buncis	598	-	2.523,9	4,22
7	Cabai besar	687	-	1.767,9	2,57
8	Cabai rawit	1.239	-	3.909,0	3,15
9	Jamur ^{*)}	0	-	0,0	0,00
10	Kacang merah	464	-	245,7	0,53
11	Kacang panjang	1.042	-	2.368,1	2,27
12	Kangkung	1.740	-	6.040,5	3,47
13	Kembang kol	135	-	435,4	3,24
14	Kentang	96	-	697,2	7,26
15	Ketimun	481	-	4.335,7	9,01
16	Kubis	301	-	1.528,4	5,08
17	Labu siam	859	-	14.641,1	17,04
18	Lobak	0	-	0,0	0,00
20	Paprika	1	-	0,5	0,50
21	Petsai/sawi	1.487	-	6.042,4	4,06
24	Terong	1.090	-	7.539,3	6,92
25	Tomat	1.038	-	4.874,8	4,70
26	Wortel	356	-	2.075,3	5,83
27	Melinjo	-	6.463	102,8	0,02
28	Petai	-	2.012	45,5	0,02

Keterangan: ^{*)} khusus tanaman tahunan

Sumber: BPS NTT (2016)

Dari 10 jenis tanaman sayuran dipilih 3 jenis tanaman yang diunggulkan berdasarkan produksi. Ketiga jenis tanaman unggulan adalah labu siam dengan total produksi 14.641,1 ton, terung sebanyak 7.539,3 ton dan petsai/sawi sebanyak 6.042,4 ton. Tanaman labu siam menyebar hampir di seluruh wilayah Provinsi NTT. Namun sebagian besar produksi (89,87 %) hanya dihasilkan oleh 3 Kabupaten yaitu Kabupaten Sikka sebesar 9.955,6 ton (68,00 %), Kabupaten Timor Tengah Selatan sebesar 2.265,0 ton (15,47 %) dan Kabupaten Alor sebesar 937,0 ton (6,40 %) Tanaman terung juga tersebar hampir di seluruh Kabupaten/Kota di NTT. Produksi terung tersebar di 3 Kabupaten/Kota dengan total persentasi produksi terhadap produksi NTT mencapai 63,02 persen.

Kabupaten Sikka sebesar 3.015,3 ton (39,99%), Kabupaten Timor Tengah Selatan sebesar 908,9 ton (12,06%) dan Kabupaten Malaka sebesar 827,4 ton (10,97 %). Sama seperti tanaman labu siam dan terong, Tanaman petsai/sawi juga tersebar hampir di semua kabupaten/kota. Produksi petsai/sawi terbesar dicapai oleh tiga kabupaten dengan total sumbangan produksi terhadap produksi NTT mencapai 59,62 persen. Kabupaten yang terbanyak menghasilkan petsai/sawi adalah Kabupaten Timor Tengah Selatan sebanyak 2.223,0 ton (36,97 %), Kabupaten Sikka 1.028,7 ton (17,02 %) dan Kabupaten Alor 351,0 ton (5,81 %) (BPS NTT, 2016).



Gambar 7 Sepuluh besar produksi sayuran di NTT
Sumber: BPS NTT (2016)

4. Ternak dan potensi gangguan pada tanaman

Aktivitas peternakan dan pertanian di wilayah NTT, khususnya di Pulau Timor, seringkali berjalan berdampingan secara tradisional, tanpa batas fisik yang jelas antara lahan garapan pertanian dan area penggembalaan ternak. Masyarakat pedesaan banyak memelihara ternak secara lepas, seperti sapi, kambing, dan babi, yang dibiarkan berkeliaran di pemukiman dan lahan pertanian. Meskipun menjadi bagian dari budaya lokal dan sumber ekonomi masyarakat, namun metode ini sering menimbulkan gangguan saat musim tanam. Ternak yang tidak dikandangkan cenderung memasuki lahan pertanian untuk mencari makan, dan merusak tanaman muda, menginjak-injak lahan, bahkan merusak peralatan apapun yang terpasang di lahan pertanian.

Sebaran ternak di Pulau Timor menunjukkan konsentrasi populasi yang signifikan di beberapa kabupaten. Menurut data dari Badan Pusat Statistik Provinsi Nusa Tenggara Timur, pada tahun 2022, populasi ternak sapi di Kabupaten Timor Tengah Selatan mencapai 215.504 ekor, sehingga menjadikannya sebagai salah satu daerah dengan populasi sapi terbesar di wilayah tersebut. Selain itu, ternak kambing dan babi juga tersebar luas di seluruh kabupaten/kota di NTT, dengan populasi masing-masing sebanyak 674.227 ekor kambing dan 2.073.446 ekor babi pada tahun 2017. Ternak babi menjadi ternak yang mendominasi ternak kecil di NTT (BPS NTT, 2024; Firman, 2020).

Penerapan teknologi pertanian presisi, seperti sistem kontrol cerdas berbasis *Internet of Things* (IoT), menghadapi tantangan besar jika tidak disertai perlindungan terhadap infrastruktur yang dipasang di lahan-lahan pertanian masyarakat. Perangkat IoT seperti sensor suhu dan kelembapan udara, sensor suhu dan kelembapan tanah, sensor kamera, dan berbagai aktuator sistem irigasi, akan rentan terhadap kerusakan fisik akibat terjadinya interaksi langsung dengan ternak masyarakat. Oleh karena itu, keberadaan ternak yang dilepas bebas dapat mengganggu keandalan sistem dan meningkatkan risiko kegagalan. Untuk mendukung keberlanjutan teknologi kontrol di sektor pertanian, penting untuk mempertimbangkan strategi mitigasi seperti pembangunan pagar di lahan pertanian, edukasi kepada masyarakat peternak, serta integrasi antara sistem pertanian dan peternakan agar keduanya dapat berjalan harmonis tanpa saling merugikan.

B. Studi Ketersediaan Infrastruktur Jaringan Internet di Pulau Timor NTT

1. Sebaran infrastruktur jaringan internet

Pengembangan jaringan internet di Nusa Tenggara Timur, khususnya Pulau Timor, telah menunjukkan perkembangan yang baik, karena didukung oleh ketersediaan infrastruktur berbasis satelit dan fiber optic oleh pemerintah. Lebih dari 500.000 BTS telah dibangun di seluruh Indonesia untuk mendukung jangkauan sinyal 4G, termasuk di daerah terpencil NTT. Pemerintah melalui Badan Aksesibilitas Telekomunikasi dan Informasi (BAKTI), telah membangun ± 750 titik akses internet gratis yang terhubung dengan satelit di wilayah NTT. Program ini bertujuan untuk menjembatani kesenjangan digital dan memastikan akses internet bagi masyarakat di daerah terpencil. Hingga tahun 2024, Telkomsel telah mengoperasikan lebih dari 257.000 unit BTS di seluruh Indonesia, termasuk di wilayah-wilayah terpencil, yang meningkat signifikan dari jumlah 209.000 unit di tahun 2019, dimana lebih dari 207.000 BTS sudah 4G dan 710 BTS sudah 5G.

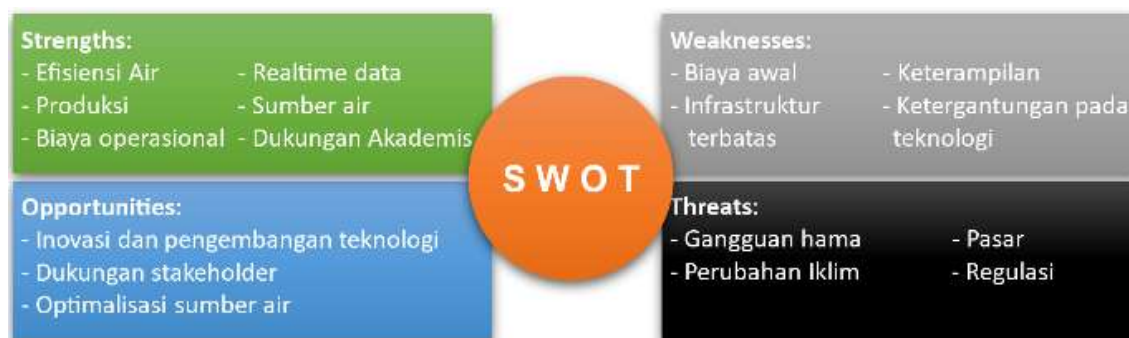
Meskipun telah terjadi peningkatan signifikan dalam pembangunan infrastruktur internet di Pulau Timor, NTT, akses internet di seluruh pelosok wilayah ini masih belum sepenuhnya merata. Faktor penyebab adalah topografi dan kondisi geografis wilayah Pulau Timor yang bergunung-gunung sehingga pemasangan kabel fiber optik dan BTS menjadi lebih kompleks dan mahal. Distribusi sinyal di daerah yang berbukit atau bergunung-gunung juga lebih sulit sehingga beberapa daerah terpencil masih belum sepenuhnya terjangkau oleh layanan internet yang memadai. Faktor lain yang membatasi ketersediaan infrastruktur adalah kurangnya tenaga ahli dan teknisi untuk perawatan infrastruktur telekomunikasi di daerah terpencil, sehingga gangguan atau kerusakan pada fasilitas yang telah terpasang, akhirnya tidak diperbaiki dan layanan internet juga menjadi hilang.

2. Lembaga pendidikan tinggi sebagai penyedia sumber daya manusia

Sebaran lembaga pendidikan tinggi yang memiliki unit pendidikan teknik yang berada di Pulau Timor, mencakup universitas, dan politeknik. Universitas Nusa Cendana (UNDANA), adalah universitas yang berada di Kota Kupang, memiliki beberapa fakultas yang berfokus pada teknologi, termasuk Fakultas Teknik yang menawarkan program studi seperti Teknik Elektro, Teknik Mesin, dan Teknik Sipil. Politeknik Negeri Kupang, juga berlokasi di Kota Kupang, yang menawarkan berbagai program studi teknologi seperti Teknik Sipil, Teknik Elektro, dan Teknik Mesin. Selanjutnya Universitas Katolik Widya Mandira (UNWIRA), sebagai salah satu universitas swasta terbesar di NTT, memiliki fakultas teknik yang menawarkan program studi dalam bidang teknik informasi dan informatika. Jumlah perguruan tinggi teknologi di Pulau Timor tidak terlalu banyak dibandingkan dengan wilayah lain di Indonesia, tetapi lembaga-lembaga tersebut memainkan peran penting dalam pengembangan sumber daya manusia di bidang teknologi di wilayah Nusa Tenggara Timur, termasuk di Pulau Timor.

C. Identifikasi kekuatan, kelemahan, peluang, dan ancaman (SWOT) untuk pengembangan sistem kontrol berbasis IoT di lahan kering

Berdasarkan kajian lahan, iklim dan ketersediaan sumber air di Pulau Timor, dan sejumlah sumber terkait lain, maka penelitian ini merangkum sejumlah kekuatan, kelemahan, peluang dan ancaman dalam bentuk SWOT. Analisis SWOT dilakukan untuk mengevaluasi implementasi sistem kontrol berbasis IoT dalam pertanian lahan kering di Pulau Timor, NTT, sebagaimana diberikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Analisa SWOT potensi pengembangan sistem kontrol cerdas berbasis IoT pada lahan pertanian di wilayah NTT.

1. *Strengths* (Kekuatan)

Terdapat 6 parameter yang menjadi kekuatan dalam upaya pengembangan sistem kontrol cerdas berbasis IoT di lahan kering Pulau Timor. Keenam parameter tersebut adalah sebagai berikut.

- Penggunaan air lebih efisien, dimana penggunaan sistem teknologi kontrol berbasis IoT mampu memantau parameter lingkungan dan tanah (suhu dan kelembapan udara dan tanah), serta melakukan pengendalian terhadap aktivitas irigasi secara otomatis. Otomatisasi ini berpeluang dalam meningkatkan efisiensi penggunaan air.
- Produksi meningkat, dimana melalui proses pengolahan data lingkungan secara cerdas, maka pengambilan keputusan untuk mengatur/mengendalikan aktivitas pertanian juga lebih akurat, apalagi data history lingkungannya adalah data real-time dari lingkungan. Pengendalian yang tepat akan meningkatkan produktivitas tanaman.
- Biaya operasional berkurang, dimana otomatisasi cerdas dalam pengolahan budidaya di lahan pertanian terbuka dapat mengurangi biaya operasional, misalnya biaya tenaga kerja.
- Data *realtime*, dimana data dari lingkungan diperoleh secara real-time sehingga memungkinkan proses analisis data dan respon yang cepat terhadap perubahan parameter di lahan pertanian.
- Sumber air yang tersedia, dimana penyediaan beberapa bendungan sebagai sumber air dapat mendukung pengelolaan air secara lebih efisien.
- Dukungan akademisi, dimana keberadaan perguruan tinggi dengan program terkait IoT dan teknik elektro memudahkan dalam penyediaan sumber daya manusia yang ahli dan mendukung pengembangan penelitian.

2. *Weaknesses* (Kelemahan)

Upaya pengembangan sistem kontrol IoT pada lahan terbuka, juga memiliki sejumlah kelemahan, sebagai berikut.

- Investasi awal tinggi. Pengembangan sistem kontrol pada lingkungan pertanian lahan kering, lengkap dengan infrastruktur pendukungnya membutuhkan biaya awal yang tinggi, dan ini dapat menjadi hambatan bagi petani (petani kecil).
- Infrastruktur masih terbatas, dimana akses masyarakat terhadap listrik dan internet di beberapa desa yang berada di wilayah Pulau Timor masih terbatas. Hal ini dapat menghambat pengembangan dan implementasi sistem teknologi kontrol berbasis IoT.
- Keterampilan mengelola, dimana kurangnya pengetahuan dan keterampilan dari petani dalam memahami dan pengoperasian sistem teknologi berbasis IoT dapat menghambat proses pengadopsian teknologi yang efektif pada aktivitas pertanian lahan kering.
- Ketergantungan pada Teknologi, dimana ketergantungan yang tinggi pada teknologi dapat meningkatkan risiko gangguan teknis pada sistem kontrol yang digunakan.

3. *Opportunities* (Peluang)

Meskipun terdapat kelemahan dalam upaya pengembangan teknologi kontrol berbasis IoT di lahan pertanian kering, keberadaan pemerintah dan stakeholder dapat menjadi peluang kemungkinan mengadopsi sistem kontrol cerdas berbasis IoT. Peluang tersebut adalah sebagai berikut.

- a. Teknologi dan inovasi berbasis IoT yang terus berkembang memberi peluang untuk sistem yang lebih efisien dan terjangkau.
- b. Dukungan pemerintah, perguruan tinggi dan stakeholder, dimana program dan dana dari pemerintah serta lembaga non-pemerintah dapat mendukung adopsi teknologi IoT di sektor pertanian, kolaborasi dengan institusi pendidikan dan lembaga penelitian juga menjadi peluang. Peran organisasi keagamaan seperti gereja dan masjid dapat dijadikan peluang dalam meningkatkan kesadaran dan keterlibatan masyarakat. Parameter yang dibutuhkan adalah kesediaan membangun mitra kerja dengan lembaga pemerintah dan stakeholder lain.
- c. Peningkatan kesadaran lingkungan, dimana kesadaran yang meningkat tentang keberlanjutan pertanian dan pengelolaan sumber daya alam dapat memudahkan percepatan adopsi sistem teknologi berbasis IoT pada pertanian lahan kering di Pulau Timor.
- d. Optimalisasi sumber daya air, dimana dengan adanya bendungan dapat mendukung pengembangan sistem irigasi yang lebih efisien dengan bantuan teknologi IoT, meskipun sejumlah bendungan yang berada di Pulau Timor sampai saat ini masih dalam proses penyimpanan air.

4. Threats (Ancaman)

Pengembangan sistem kontrol cerdas berbasis IoT pada pertanian lahan kering di Pulau Timor juga dihadapkan pada beberapa peristiwa sebagai ancaman keberhasilan adopsi teknologi. Ancaman tersebut sebagai berikut.

- a. Perubahan iklim yang tidak terduga di wilayah NTT, khususnya di wilayah Pulau Timor dapat mempengaruhi efektivitas sistem kontrol IoT dalam pengelolaan pertanian kering.
- b. Sistem IoT yang terhubung ke internet juga sangat rentan terhadap serangan dari pihak yang tidak dikenal (*syber*) yang dapat mengganggu operasional sistem di lapangan sehingga data dan pengaturan tidak dapat berjalan dengan baik.
- c. Kurangnya kesadaran atau kemampuan masyarakat petani untuk menyerap teknologi baru dapat menjadi hambatan dalam adopsi sistem kontrol berbasis IoT.
- d. Regulasi dan birokrasi yang kompleks dari pemerintah atau stakeholder pendukung dapat menghambat implementasi dan penyebaran sistem kontrol berbasis IoT di sektor pertanian.
- e. Gangguan ternak masyarakat di sekitar lahan pertanian dapat mengancam keberhasilan implementasi sistem kontrol cerdas berbasis IoT yang terpasang.
- f. Ketergantungan petani pada kondisi cuaca dan musim tanam dapat menimbulkan resiko operasional bagi sistem kontrol cerdas berbasis IoT yang terpasang di lahan pertanian.

KESIMPULAN

Sebagian besar struktur tanah di Pulau Timor merupakan tanah Inceptisol yang tersebar merata di Kabupaten Kupang, Timor Tengah Utara dan Timor Tengah Selatan, pada daerah berelief bukit dan gunung, dengan kemiringan $>25\%$ dan kedalaman solum yang dangkal. Pulau Timor dikenal dengan iklim semi-kering, dengan periode musim kemarau yang lebih panjang karena dipengaruhi oleh fenomena iklim global seperti El Nino. Radiasi cahaya matahari di wilayah Pulau Timor cukup melimpah, meskipun tersebar secara tidak merata karena faktor geografis dan meteorologis. Kondisi ini menyebabkan ketersediaan air di Pulau Timor menjadi sangat rendah, apalagi untuk kebutuhan pertanian. Keberadaan sejumlah bendungan di Pulau Timor menjadi modal besar dalam peningkatan aktivitas pertanian di masa yang akan datang. Dengan berbagai kondisi ini, maka pengembangan dan penerapan sistem kontrol cerdas berbasis IoT pada lahan kering di Pulau Timor memiliki peluang karena didukung dengan sejumlah kekuatan. Meskipun terdapat kelemahan dan ancaman, namun keberadaan bendungan, sumber air tanah, energi matahari dan ketersediaan infrastruktur jaringan, dipastikan dapat membantu proses adopsi teknologi kontrol pada lahan kering di Pulau Timor. Apalagi ketersediaan berbagai perangkat sensor dan kontrol sudah banyak di pasaran.

DAFTAR PUSTAKA

- Aletheia Rabbani. (2024). *Tanah Inceptisol: Pengertian, Karakteristik, Faktor Pembentuk, Pemanfaatan dan Persebarannya*. <https://www.sosial79.com/2022/02/tanah-inceptisol-pengertian.html>
- Badan Pusat Statistik. (2022). *Statistik Indonesia*.
- Badan Pusat Statistik NTT. (2024). *Kondisi sawah dan lahan kering menurut kabupaten kota Tahun 2022*. <https://Ntt.Bps.Go.Id/Statictable/2024/02/12/1005/Luas-Penggunaan-Lahan-Sawah-Dan-Lahan-Kering-Menurut-Kabupaten-Kota-2022.Html>.
<https://ntt.bps.go.id/statictable/2024/02/12/1005/luas-penggunaan-lahan-sawah-dan-lahan-kering-menurut-kabupaten-kota-2022.html>
- BBSDLP. (2014). Peta Sumberdaya Tanah Tingkat Tinjau Provinsi Nusa Tenggara Timur Skala 1:250.000. *Balai Besar Penelitian Dan Pengembangan Sumber Daya Lahan Pertanian. Badan Penelitian Dan Pengembangan Pertanian. Kementerian Pertanian, Bogor*.
- BMKG. (2022). *Analisis Laju Perubahan Suhu Udara Rata-Rata Tahunan*. <https://www.bmkg.go.id/iklim/?p=analisis-laju-perubahan-suhu-udara>
- BMKG. (2024). *Climate Outlook 2024*. <https://www.bmkg.go.id/berita/?p=climate-outlook-2024&lang=ID&s=detil>
- BMKG, K. B. K. (2021). KLIMA (Media Informasi dan Publikasi Kedeputan Bidang Klimatologi BMKG). *Kedputian Bidang Klimatologi, BMKG, Edisi V*, 4–5.
- BPS NTT. (2016). *Statistik Tanaman Sayuran dan Buah-buahan Propinsi Nusa Tenggara Timur, Tahun 2016*.
<https://ntt.bps.go.id/id/publication/2017/09/13/35034c77e714efa875cf0b52/statistik-tanaman-sayuran-dan-buah-buahan-provinsi-nusa-tenggara-timur-2016.html>
- BPS NTT. (2023a). *Propinsi Nusa Tenggara Timur dalam Angka* (BPS Provinsi Nusa Tenggara Timur (ed.)). <https://www.scribd.com/document/697596300/Provinsi-Nusa-Tenggara-Timur-Dalam-Angka-2023>
- BPS NTT. (2023b). *Suhu Udara Menurut Kabupaten/Kota (Derajat Celcius), 2021-2023*. <https://ntt.bps.go.id/indicator/151/958/1/suhu-udara-menurut-kabupaten-kota.html>
- BPS NTT. (2024). *Populasi Ternak Menurut Kabupaten/Kota dan Jenis Ternak di Provinsi Nusa Tenggara Timur (ekor), Tahun 2022*. https://ntt.bps.go.id/id/statistics-table/3/UzJWaVUxZHdWVGxwU1hSd1UxTXZlbnRITjA1Q2R6MDkjMw%3D%3D/populasi-ternak-menurut-kabupaten-kota-dan-jenis-ternak-di-provinsi-nusa-tenggara-timur--ekor---2022.html?year=2022&utm_source=chatgpt.com
- Dang, M.-Q. (2017). *Potential of Solar Energy in Indonesia*.
- Fajar, M. M., Rahmah, F. J., Atika, S. N., & Adnan, R. (2024). *Madani : Jurnal Ilmiah Multidisiplin Perbandingan Kebijakan Pemerintah Indonesia dan Thailand dalam Mengendalikan Kondisi Beras Akibat Fenomena El-Nino 2023* *Madani : Jurnal Ilmiah Multidisiplin*. 2(5), 793–804.
- Fajril, M., Hardianto, & Zaini. (2023). Sistem Monitoring Saluran Irigasi Pertanian Berbasis Lora (Long Range). *Journal Of Power Electric And Renewable Energy*, 1(1), 12–17. <https://doi.org/10.59811/jper.v1i1.53>
- Firman, A. (2020). Penentuan Wilayah-Wilayah Sentra Pengembangan Ternak Kecil Di Provinsi Nusa Tenggara Timur. *Sosiohumaniora*, 22(1), 64–71. <https://doi.org/10.24198/sosiohumaniora.v22i1.23250>
- Geochem Survey. (2017). *Peta CAT (Cekungan Air Tanah) per Provinsi di Indonesia dan Potensi Air Tanah*. https://Geochemsurvey.Com/Download-Peta-Cat-Cekungan-Air-Tanah-Indonesia/?Utm_source=chatgpt.Com. https://geochemsurvey.com/download-peta-cat-cekungan-air-tanah-indonesia/?utm_source=chatgpt.com
- Hamdi, M., Rehman, A., Alghamdi, A., Nizamani, M. A., Missen, M. M. S., & Memon, M. A. (2021). Internet of Things (IoT) Based Water Irrigation System. *International Journal of Online and Biomedical Engineering*, 17(5), 69–80. <https://doi.org/10.3991/ijoe.v17i05.22081>
- Hikmat, M., Hati, D. P., Pratamaningsih, M. M., & Sukarman, S. (2023). Kajian Lahan Kering

- Berproduktivitas Tinggi di Nusa Tenggara untuk Pengembangan Pertanian. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 16(2), 119. <https://doi.org/10.21082/jsdl.v16n2.2022.119-133>
- Lano, M. L., Data, F. U., Kaho, M. R., & Jelantik, I. G. N. (2024). *Analysis of Rainwater Availability and Water Requirements in the Amarasi District Area Kupang Regency*.
- Laumal, F. E., Hattu, E. P., & Nope, K. B. N. (2017). Pengembangan Pintu Air Irigasi Pintar berbasis Arduino untuk Daerah Irigasi Manikin. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 13(3), 139. <https://doi.org/10.17529/jre.v13i3.8505>
- Mulyani, A., & Suwanda, M. H. (2020). Pengelolaan Lahan Kering Beriklim Kering untuk Pengembangan Jagung di Nusa Tenggara. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 13(1), 41. <https://doi.org/10.21082/jsdl.v13n1.2019.41-52>
- Nelvi, A., Nata, R. A., Pertambangan, T., Teknologi, S. T., Padang, I., Koto Tengah, K., & Padang, K. (2022). *Sunshine Duration and Diurnal Temperature Range and Its Relation To Climate Change in Pontianak*. 65–76. www.ogimet.com.
- Open Data PUPR. (2022). *Daftar dan Sebaran Bendungan Nasional*. <https://data.pu.go.id/dataset/daftar-dan-sebaran-bendungan-nasional>
- Priyatikanto, R., Admiranto, A. G., Djamaluddin, T., Rachman, A., & Wijaya, D. D. (2024). Weather conditions at Timau National Observatory from ERA5. *ArXiv Preprint ArXiv:2406.11027*.
- Rachman, A. (2020). Peluang dan Tantangan Implementasi Model Pertanian Konservasi di Lahan Kering. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 11(2), 77. <https://doi.org/10.21082/jsdl.v11n2.2017.77-90>
- Sukarman, S., Hikmatullah, H., & Sudriatna, U. (1998). *Potential use of land resources to increase food production in Flores, East Nusa Tenggara*.
- Tarigan, J., Bernandus, B., Al-hud, I. A. A., & Umbu, A. B. S. (2022). Rancang Bangun Sistem Monitoring Dan Kontrol Irigasi Tetes Otomatis Pada Tanaman Sawi Hijau Berbasis Mikrokontrol Arduino. *Jurnal Fisika: Fisika Sains Dan Aplikasinya*, 7(2), 57–66. <https://doi.org/10.35508/fisa.v7i2.9348>
- Wijaya, A., & Rivai, M. (2018). Monitoring dan Kontrol Sistem irigasi Berbasis IoT Menggunakan Banana Pi. *Jurnal Teknik ITS*, 7(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v7i2.31113>
- Wokanubun, A., Ririhena, R. E., & Wattimena, A. Y. (2020). Potensi Dampak Perubahan Iklim Terhadap Produksi Ubi Kayu (*Manihot esculenta* Crantz) dan Pendapatan Petani di Desa Wain, Kecamatan Kei Kecil Timur, Kabupaten Maluku Tenggara. *Jurnal Budidaya Pertanian*, 16(2), 206–214. <https://doi.org/10.30598/jbdp.2020.16.2.206>
- Yuwono, A., Prijambada, I. D., Kusumandari, A., Marwasta, D., Santosa, D. H., Nurjani, E., Sekaranom, A. B., Hasanati, S., Suarma, U., & others. (2024). *Gerakan Aksi Proklam Indonesia 2020-2030*. UGM PRESS.