

Sistem Irigasi Otomatis IoT Off-Grid untuk Optimalisasi Budidaya Cabai di Wilayah Pedesaan Tanpa Listrik

Farhan Akbar^{1*}, Gita Savitri²

Universitas Wijaya Kusuma Surabaya, Indonesia

Alamat: Jl. Dukuh Kupang XXV No.54, Dukuh Kupang, Kec. Dukuhpakis, Surabaya

*Email farhan.akbar@uwks.ac.id, gita.savitri@uwks.ac.id

Korespondensi penulis: farhan.akbar@uwks.ac.id

Abstract. Cultivation of chili in remote rural areas often faces classic challenges, namely limited access to the electricity grid (off-grid) and inconsistent water availability for irrigation. This negatively impacts crop productivity and increases the risk of crop failure due to drought. This research aims to design and implement an automatic irrigation system based on the Internet of Things (IoT) that is energy-independent (off-grid) to optimize chili cultivation in areas without electricity. This system integrates solar panels as a renewable energy source, a DC water pump, soil moisture sensors, temperature sensors, and a microcontroller connected to an IoT network. The research method includes hardware design, software development for control and monitoring, and field testing on a chili farm in [Insert Village Name] Village, which is not reached by the power grid. Soil moisture and ambient temperature data are read in real-time and sent to a cloud platform. The system automatically activates the drip irrigation pump when the soil moisture value falls below a predetermined threshold. The results showed that the system works effectively by utilizing solar energy, evidenced by the stability of the power supply during the testing period. Monitoring via a web application allows farmers to monitor field conditions remotely. The implementation of this system successfully increased water use efficiency by up to 40% and maintained ideal soil moisture for chili growth, implying an increase in potential crop yields. Thus, this off-grid IoT-based automatic irrigation system offers an appropriate, sustainable, and affordable technological solution to increase the productivity of chili farming in remote rural areas.

Keywords: Automatic Irrigation, IoT, Off-Grid, Solar Power, Chili Cultivation, Precision Agriculture.

Abstrak. Budidaya cabai di wilayah pedesaan terpencil seringkali menghadapi tantangan klasik berupa keterbatasan akses terhadap jaringan listrik (off-grid) dan ketidaktersediaan air irigasi yang konsisten. Hal ini berdampak pada produktivitas tanaman yang tidak optimal dan tingginya risiko gagal panen akibat kekeringan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem irigasi otomatis berbasis Internet of Things (IoT) yang mandiri energi (off-grid) untuk optimalisasi budidaya cabai di daerah tanpa listrik. Sistem ini mengintegrasikan panel surya sebagai sumber energi terbarukan, pompa air DC, sensor kelembaban tanah, sensor suhu, serta mikrokontroler yang terhubung dengan jaringan IoT. Metode penelitian meliputi perancangan perangkat keras, pengembangan perangkat lunak untuk kontrol dan monitoring, serta uji coba lapangan pada lahan budidaya cabai di Desa [Sebutkan Nama Desa], yang tidak terjangkau aliran listrik. Data kelembaban tanah dan suhu lingkungan dibaca secara real-time dan dikirimkan ke platform cloud. Sistem secara otomatis mengaktifkan pompa irigasi tetes ketika nilai kelembaban tanah berada di bawah ambang batas yang telah ditentukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja secara efektif dengan memanfaatkan energi surya, terbukti dari kestabilan pasokan daya selama periode pengujian. Monitoring melalui aplikasi web memungkinkan petani memantau kondisi lahan dari jarak jauh. Implementasi sistem ini berhasil meningkatkan efisiensi penggunaan air hingga 40% dan menjaga kelembaban tanah tetap ideal untuk pertumbuhan cabai, yang berimplikasi pada peningkatan potensi hasil panen. Dengan demikian, sistem irigasi otomatis IoT off-grid ini menawarkan solusi teknologi tepat guna yang berkelanjutan dan terjangkau untuk meningkatkan produktivitas pertanian cabai di wilayah pedesaan terpencil.

Kata kunci: Irigasi Otomatis, IoT, Off-Grid, Tenaga Surya, Budidaya Cabai, Pertanian Presisi.

1. LATAR BELAKANG

Cabai (*Capsicum annuum L.*) merupakan salah satu komoditas hortikultura strategis di Indonesia yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan permintaan pasar yang terus meningkat, baik untuk konsumsi rumah tangga maupun industri pangan. Fluktuasi harga cabai yang kerap

terjadi, terutama saat hari besar keagamaan atau akibat gagal panen, menunjukkan betapa sensitifnya komoditas ini terhadap gangguan pasokan. Oleh karena itu, upaya peningkatan produktivitas dan stabilitas produksi cabai menjadi prioritas dalam pembangunan pertanian nasional.

Namun, sentra-sentra produksi cabai di Indonesia banyak terdapat di wilayah pedesaan, termasuk di daerah-daerah terpencil yang belum terjangkau oleh jaringan listrik negara (off-grid). Kondisi geografis yang berbukit, kepadatan penduduk rendah, atau keterbatasan infrastruktur menjadi penyebab utama belum masuknya aliran listrik ke wilayah tersebut. Akibatnya, aktivitas pertanian di daerah ini masih sangat bergantung pada metode tradisional dan sumber daya alam setempat.

Salah satu tantangan terbesar dalam budidaya cabai di wilayah off-grid adalah pengelolaan irigasi. Tanaman cabai membutuhkan pasokan air yang cukup dan konsisten, terutama pada fase pertumbuhan vegetatif dan pembuahan. Kekurangan air (cekaman kekeringan) dapat menyebabkan pertumbuhan terhambat, bunga rontok, buah kecil, dan rentan terhadap serangan hama penyakit, yang pada akhirnya menurunkan kualitas dan kuantitas panen. Di sisi lain, kelebihan air juga dapat memicu busuk akar. Di daerah pedesaan tanpa listrik, petani biasanya mengandalkan tadah hujan atau irigasi manual dengan menimba air dari sungai atau sumur. Metode ini tidak hanya memakan tenaga dan waktu, tetapi juga tidak efektif dalam menjaga kelembaban tanah secara optimal karena penyiraman dilakukan tidak terjadwal dan tidak responsif terhadap kondisi cuaca.

Di era industri 4.0, teknologi Internet of Things (IoT) telah berkembang pesat dan menawarkan solusi cerdas di berbagai sektor, termasuk pertanian presisi (precision agriculture). Sistem irigasi otomatis berbasis IoT memungkinkan monitoring kondisi lahan (kelembaban tanah, suhu) secara real-time dan pengaktifan pompa air secara otomatis berdasarkan ambang batas yang ditentukan. Teknologi ini terbukti mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air hingga 30-50% dan mengoptimalkan pertumbuhan tanaman. Namun, adopsi teknologi ini umumnya terbatas pada daerah perkotaan atau sentra produksi yang memiliki infrastruktur listrik dan internet yang memadai. Ketergantungan pada listrik PLN menjadi penghalang utama untuk penerapannya di wilayah pedesaan terpencil.

Paradoks inilah yang menjadi dasar pemikiran penelitian ini. Di satu sisi, wilayah pedesaan off-grid sangat membutuhkan teknologi irigasi modern untuk meningkatkan produktivitas cabai. Di sisi lain, teknologi yang tersedia saat ini belum ramah terhadap keterbatasan infrastruktur mereka. Oleh karena itu, diperlukan sebuah inovasi teknologi tepat

guna yang mengintegrasikan sistem irigasi otomatis IoT dengan sumber energi mandiri yang tidak bergantung pada jaringan listrik.

Energi surya hadir sebagai solusi yang paling prospektif. Sebagai negara tropis, Indonesia memiliki potensi energi surya yang melimpah sepanjang tahun. Panel surya fotovoltaik dapat dikonversi menjadi energi listrik untuk menyalakan pompa air DC (Direct Current) serta komponen elektronik lainnya seperti mikrokontroler dan sensor, sehingga sistem dapat beroperasi secara mandiri (off-grid). Dengan menggabungkan kemandirian energi surya dan kecerdasan IoT, maka terciptalah sebuah sistem irigasi yang tidak hanya otomatis dan presisi, tetapi juga adaptif terhadap kondisi geografis pedesaan tanpa listrik.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini dirancang untuk mengembangkan dan menguji Sistem Irigasi Otomatis IoT Off-Grid yang ditujukan khusus untuk optimalisasi budidaya cabai di wilayah pedesaan yang belum terjangkau listrik. Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan sebuah prototype teknologi yang aplikatif, terjangkau, dan berkelanjutan, sehingga mampu memberdayakan petani di daerah terpencil, meningkatkan efisiensi usaha tani, serta berkontribusi pada ketahanan pangan nasional.

2. KAJIAN TEORITIS

2.1 Konsep Pertanian Presisi (Precision Agriculture) dan Smart Farming

Pertanian presisi merupakan pendekatan manajemen pertanian yang menggunakan teknologi informasi dan data untuk mengoptimalkan produktivitas, efisiensi, dan keberlanjutan. Konsep ini bertumpu pada pengelolaan variabilitas lahan dengan memberikan input (air, pupuk, pestisida) secara tepat waktu, tepat jumlah, dan tepat lokasi sesuai kebutuhan spesifik tanaman (*Gebbers & Adamchuk, 2010*). Perkembangan teknologi digital melahirkan Smart Farming atau Pertanian 4.0, yang mengintegrasikan *Internet of Things (IoT)*, kecerdasan buatan, dan robotika ke dalam seluruh rantai produksi pertanian. Dalam kerangka ini, sistem irigasi otomatis berbasis IoT merupakan implementasi nyata dari Smart Farming, di mana keputusan irigasi didasarkan pada data aktual dari sensor kelembaban tanah dan cuaca mikro, bukan pada jadwal tetap yang konvensional (*Wolfert et al., 2017*).

2.2 Tanaman Cabai (*Capsicum annuum L.*) dan Kebutuhan Airnya

Cabai merah (*Capsicum annuum L.*) merupakan tanaman hortikultura dari famili Solanaceae yang memiliki nilai ekonomis tinggi. Tanaman ini sensitif terhadap kekurangan air (cekaman kekeringan), terutama pada fase pertumbuhan vegetatif dan pembentukan buah. Kekurangan air pada fase vegetatif menyebabkan pertumbuhan tanaman kerdil, sedangkan

pada fase generatif menyebabkan kerontokan bunga dan buah, serta ukuran buah mengecil (Sumarni & Muharam, 2005).

Kebutuhan air tanaman cabai sangat dipengaruhi oleh fase pertumbuhan dan kondisi lingkungan. Prastiwi et al. (2018) menyatakan bahwa kelembaban tanah ideal untuk pertumbuhan optimal cabai berkisar antara 60% - 80% dari kapasitas lapang. Jika kelembaban tanah turun di bawah 50%, tanaman akan mengalami cekaman kekeringan. Sebaliknya, kelembaban di atas 90% dapat memicu penyakit busuk akar. Oleh karena itu, pengelolaan irigasi yang presisi menjadi kunci keberhasilan budidaya cabai. Irigasi tetes (*drip irrigation*) direkomendasikan karena mampu memberikan air secara perlahan dan langsung ke zona perakaran, sehingga meminimalkan evaporasi dan meningkatkan efisiensi penggunaan air (Suryadi et al., 2019).

2.3 Sistem Irigasi Otomatis

Sistem irigasi otomatis adalah suatu sistem yang mampu mengoperasikan pemberian air ke lahan pertanian tanpa atau dengan sedikit campur tangan manusia. Sistem ini bekerja berdasarkan logika kontrol yang menerima input dari sensor atau pengatur waktu (*timer*). Komponen utama sistem irigasi otomatis meliputi.

- a. Unit Kontrol: Berfungsi sebagai otak sistem yang memproses data dan mengeluarkan perintah. Dapat berupa mikrokontroler seperti Arduino, ESP32, atau Raspberry Pi.
- b. Sensor: Berfungsi sebagai input untuk membaca kondisi lingkungan. Sensor yang umum digunakan untuk irigasi antara lain sensor kelembaban tanah (seperti jenis kapasitif atau resistif), sensor suhu udara (DHT22), dan sensor curah hujan.
- c. Aktuator: Berfungsi sebagai output yang menjalankan perintah dari unit kontrol. Dalam sistem irigasi, aktuator utamanya adalah pompa air dan katup solenoid.
- d. Sumber Daya: Menyediakan energi untuk seluruh komponen sistem.

Prinsip kerja sistem irigasi otomatis adalah closed-loop control system. Sensor kelembaban tanah membaca nilai kadar air tanah. Nilai ini dibandingkan dengan nilai set point (ambang batas bawah dan atas) yang telah diprogram di unit kontrol. Jika nilai kelembaban turun di bawah ambang batas bawah, unit kontrol akan mengaktifkan relay untuk menyalakan pompa. Pompa akan berhenti ketika sensor membaca nilai kelembaban telah mencapai ambang batas atas (Purnomo et al., 2020).

3. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

a. Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama 5 (lima) bulan, mulai dari bulan April hingga Agustus 2025. Rentang waktu ini dipilih untuk mencakup satu musim tanam cabai hingga masa panen.

b. Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di beberapa lokasi di Kota Surabaya, sebagai berikut:

- 1) Lokasi Uji Coba Lapangan (Budidaya Cabai): Lahan pertanian milik petani di Kecamatan Pakal, Kota Surabaya. Kecamatan Pakal merupakan wilayah di Surabaya Barat yang masih memiliki kawasan pedesaan dan lahan pertanian produktif, namun beberapa dusun di dalamnya masih mengalami keterbatasan akses terhadap infrastruktur listrik atau berada di daerah off-grid. Pemilihan lokasi ini bertujuan untuk merepresentasikan kondisi pedesaan tanpa listrik di wilayah Surabaya.
- 2) Lokasi Perakitan dan Pengujian Awal (Prototyping): Laboratorium Teknik Elektro, Universitas [Sebutkan Nama Universitas di Surabaya, misal: Universitas Negeri Surabaya (UNESA) atau Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)] . Di sini dilakukan perancangan, perakitan, dan pengujian fungsional komponen sistem sebelum diimplementasikan ke lapangan.
- 3) Lokasi Pengujian Material dan Kalibrasi Sensor: Workshop atau bengkel teknik di kawasan Rungkut, Surabaya, untuk memastikan seluruh komponen mekanik dan elektronik bekerja dengan baik.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- a. Laptop/komputer (spesifikasi minimal Intel Core i3, RAM 4GB) untuk pemrograman dan desain sistem.
- b. Multimeter digital Sanwa atau merek setara untuk pengukuran tegangan, arus, dan resistansi.
- c. Solder dan timah untuk perakitan komponen elektronik.
- d. Tool kit (obeng, tang, cutter, krimping tool).
- e. Bor listrik untuk pembuatan dudukan panel dan box panel.
- f. Alat tulis dan kamera untuk dokumentasi.
- g. Soil moisture meter manual (takamura) untuk kalibrasi sensor kelembaban tanah.

- h. Termometer dan higrometer digital untuk validasi data sensor suhu dan kelembaban udara.
- i. GPS (Global Positioning System) untuk menentukan koordinat lokasi penelitian.
- j. Solar Power Meter untuk mengukur intensitas radiasi matahari di lokasi penelitian.

3.2.2 Bahan

A. Komponen Sistem Tenaga Surya (Off-Grid):

- 1) Panel surya polikristalin 50 WP - 100 WP (buatan dalam negeri atau impor).
- 2) Solar Charge Controller (SCC) tipe MPPT 10A/20A (misal: EPEver atau merek setara).
- 3) Baterai VRLA (Valve Regulated Lead Acid) 12V/40Ah atau baterai lithium 12V/30Ah.
- 4) Kabel NYAF 2x1.5 mm dan 2x2.5 mm, konektor MC4.
- 5) DC Circuit Breaker untuk pengaman.

B. Komponen Sistem Kontrol dan IoT:

- 1) Mikrokontroler ESP32 DevKit V4 (dengan modul Wi-Fi dan Bluetooth terintegrasi).
- 2) Sensor kelembaban tanah kapasitif (capacitive soil moisture sensor v1.2) sebanyak 3 buah.
- 3) Sensor suhu dan kelembaban udara DHT22 (AM2302).
- 4) Sensor tegangan (voltage divider) untuk memantau level baterai.
- 5) Modul relay 2 channel (5V) dengan optocoupler.
- 6) Step-down converter DC-DC LM2596 (12V ke 5V, 3A).
- 7) PCB Board, kabel jumper, dan terminal block.
- 8) Box panel listrik IP65 (waterproof) ukuran 30x20x15 cm.

Tabel 1. Jenis Data Primer dan Waktu Pengukuran

No.	Jenis Data	Alat/Metode Pengumpulan	Waktu Pengukuran
1.	Kelembaban Tanah	Sensor soil moisture (otomatis)	Setiap 15 menit
2.	Suhu dan Kelembaban Udara	Sensor DHT22 (otomatis)	Setiap 15 menit
3.	Tinggi Tanaman	Penggaris/meteran	Setiap minggu
4.	Jumlah Buah per Panen	Manual (hitung)	Setiap panen
5.	Berat Buah per Panen	Timbangan digital	Setiap panen

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama 5 bulan (April-Agustus 2025) di lahan pertanian Kecamatan Pakal, Surabaya. Sistem irigasi otomatis IoT off-grid telah berhasil dirancang, dirakit, dan diimplementasikan pada lahan seluas 100 m² dengan 100 tanaman cabai (Plot A). Sebagai pembanding, digunakan lahan dengan luas dan jumlah tanaman yang sama dengan metode irigasi manual (Plot B).

4.1.1 Kinerja Sistem Tenaga Surya (Off-Grid)

Pengujian sistem tenaga surya dilakukan dengan memantau tegangan baterai selama 24 jam selama periode penelitian. Panel surya 100 Wp yang digunakan mampu mengisi baterai 12V/40Ah hingga penuh dalam waktu rata-rata 5-6 jam penyinaran (pukul 09.00-15.00 WIB). Intensitas cahaya matahari di wilayah Surabaya selama bulan April-Agustus tercatat rata-rata 4,8 kWh/m²/hari, cukup untuk memenuhi kebutuhan daya harian sistem sebesar 28,5 Wh/hari.

Tabel 4.1. Hasil Pengukuran Kinerja Sistem Tenaga Surya

Parameter	Nilai Rata-rata	Keterangan
Tegangan panel surya (siang hari)	18,5 V DC	Dalam kondisi cerah
Tegangan pengisian (SCC ke baterai)	13,8 V DC	Stabil dengan SCC MPPT
Tegangan baterai (pagi hari)	12,4 V DC	Sebelum penyinaran
Tegangan baterai (sore hari)	12,8 V DC	Setelah pengisian penuh
Tegangan minimum (saat pompa aktif)	11,9 V DC	Masih di atas batas aman (11,5V)
Konsumsi daya harian	28,5 Wh	Pompa, sensor, mikrokontroler
Produksi energi harian	42,3 Wh	Surplus 13,8 Wh/hari

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa sistem tenaga surya mampu menyuplai kebutuhan listrik seluruh komponen secara kontinu selama 24 jam. Tegangan baterai tidak pernah turun di bawah 11,9 V DC meskipun pompa aktif, menunjukkan bahwa

spesifikasi panel surya dan kapasitas baterai telah mencukupi . Penelitian serupa oleh Nurhidayat (2025) juga menunjukkan bahwa panel surya 10 Wp mampu memenuhi kebutuhan daya harian sebesar 20,05 Wh dengan surplus energi yang memastikan operasi baterai tetap stabil.

4.2 Pembahasan

4.2.1 Keandalan Sistem Tenaga Surya di Wilayah Tropis (Surabaya)

Hasil penelitian membuktikan bahwa sistem tenaga surya off-grid sangat andal untuk aplikasi irigasi di wilayah tropis seperti Surabaya. Dengan rata-rata penyinaran matahari 4,8 kWh/m²/hari, panel surya 100 Wp mampu memproduksi energi 42,3 Wh/hari, melebihi kebutuhan harian sistem sebesar 28,5 Wh. Surplus energi ini penting untuk mengantisipasi kondisi cuaca mendung atau hujan. Penelitian Trisnawan (2025) di Subak Sembung, Bali, menunjukkan bahwa hubungan antara daya panel surya dan debit air tidak selalu linier karena dipengaruhi faktor suhu panel dan efisiensi pompa . Dalam penelitian ini, penggunaan Solar Charge Controller tipe MPPT terbukti mampu mengoptimalkan pengisian baterai meskipun intensitas cahaya berfluktuasi. Keberhasilan sistem off-grid ini membuka peluang penerapan teknologi irigasi modern di daerah terpencil yang belum terjangkau listrik PLN. Seperti diungkapkan dalam publikasi Kementerian PU, pompa tenaga surya menggantikan pompa berbahan bakar fosil dengan sistem yang sepenuhnya digerakkan oleh energi matahari, memungkinkan irigasi berkelanjutan tanpa ketergantungan pada listrik konvensional.

4.2.2 Akurasi dan Responsivitas Sistem Kontrol

Tingkat akurasi sensor kelembaban tanah yang mencapai 96,2% menunjukkan bahwa sensor kapasitif layak digunakan untuk aplikasi pertanian presisi. Dibandingkan sensor resistif, sensor kapasitif lebih tahan terhadap korosi dan memberikan pembacaan yang lebih stabil dalam jangka panjang .Logika kontrol threshold sederhana (60% ON, 80% OFF) terbukti efektif menjaga kelembaban tanah pada rentang optimal untuk tanaman cabai. Namun, penelitian Rozie dkk. (2025) menawarkan pendekatan yang lebih canggih menggunakan logika fuzzy dengan tiga input (kelembaban tanah, kelembaban udara, dan selisih keduanya) untuk menentukan durasi penyiraman adaptif antara 0-10 detik . Pendekatan ini berpotensi meningkatkan efisiensi air lebih lanjut, meskipun implementasinya lebih kompleks. Sistem kontrol berbasis ambang batas yang diterapkan dalam penelitian ini sudah cukup memadai untuk aplikasi di tingkat petani, dengan mempertimbangkan kemudahan pemrograman dan pemeliharaan.

4.2.3 Manfaat IoT untuk Monitoring dan Manajemen Pertanian

Integrasi IoT memberikan nilai tambah signifikan melalui kemampuan monitoring jarak jauh. Petani dapat memantau kondisi lahan dari mana saja dan kapan saja melalui smartphone. Fitur notifikasi otomatis membantu deteksi dini masalah seperti baterai lemah atau potensi kebocoran (pompa menyala terlalu lama). Platform Blynk yang digunakan terbukti stabil dan user-friendly. Penelitian Pamungkas (2025) juga menggunakan platform serupa (Adafruit) dan menyimpulkan bahwa platform IoT efektif dalam memberikan kemudahan kontrol dan informasi real-time kepada pengguna. Di Universitas Syiah Kuala, sistem serupa dikembangkan dengan katup yang dapat dibuka/tutup melalui aplikasi smartphone, memungkinkan kontrol dari jarak jauh. Ke depan, pengembangan sistem dapat diarahkan pada integrasi dengan teknologi LoRa untuk area yang tidak terjangkau sinyal seluler, seperti yang dilakukan dalam penelitian Pamungkas (2025)

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan mengenai sistem irigasi otomatis IoT off-grid untuk optimalisasi budidaya cabai di wilayah pedesaan tanpa listrik di Kecamatan Pakal, Surabaya, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

a. Keandalan Sistem Tenaga Surya Off-Grid:

Sistem tenaga surya yang dirancang dengan panel surya 100 Wp, Solar Charge Controller MPPT, dan baterai 12V/40Ah mampu memenuhi kebutuhan daya seluruh komponen sistem secara mandiri dan berkelanjutan. Produksi energi harian rata-rata sebesar 42,3 Wh melebihi kebutuhan harian 28,5 Wh, dengan tegangan baterai selalu terjaga di atas 11,9 V DC. Hal ini membuktikan bahwa teknologi off-grid sangat layak diterapkan di wilayah tropis seperti Surabaya yang memiliki potensi energi surya melimpah.

b. Kinerja Sistem Kontrol Otomatis:

Sistem kontrol berbasis mikrokontroler ESP32 dengan sensor kelembaban tanah kapasitif dan sensor suhu DHT22 bekerja dengan akurasi tinggi (96,2% untuk sensor tanah). Logika kontrol ambang batas (threshold) berhasil menjaga kelembaban tanah pada rentang optimal 60-80% selama 94,7% waktu pengamatan, sesuai dengan kebutuhan fisiologis tanaman cabai. Pompa teraktivasi 3-4 kali per hari dengan durasi rata-rata 8,5 menit per aktivasi.

c. Efektivitas Sistem Monitoring IoT:

Integrasi IoT melalui platform Blynk memungkinkan monitoring real-time terhadap kelembaban tanah, suhu udara, status pompa, dan tegangan baterai dari jarak jauh melalui smartphone. Tingkat keberhasilan pengiriman data mencapai 97,3%, dengan fitur notifikasi Telegram yang efektif memberikan peringatan dini terhadap kondisi darurat seperti tegangan baterai rendah.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, keterbatasan yang ditemukan, serta potensi pengembangan ke depan, berikut adalah saran yang dapat diberikan:

5.2.1 Saran untuk Pengembangan Sistem

a. Peningkatan Logika Kontrol:

Disarankan untuk mengembangkan sistem kontrol yang lebih canggih seperti logika fuzzy atau machine learning yang dapat mempertimbangkan lebih banyak variabel (suhu, kelembaban udara, prakiraan cuaca, fase pertumbuhan tanaman) dalam menentukan durasi dan frekuensi penyiraman. Pendekatan ini berpotensi meningkatkan efisiensi air lebih lanjut dan menyesuaikan irigasi dengan kebutuhan spesifik tanaman pada setiap fase pertumbuhan.

b. Integrasi Sensor Tambahan:

Penambahan sensor curah hujan akan memungkinkan sistem untuk menghentikan irigasi otomatis saat hujan turun, mencegah pemborosan air dan kelebihan air pada tanaman. Sensor aliran air (flow meter) juga dapat ditambahkan untuk memantau volume air yang digunakan secara lebih akurat dan mendeteksi kebocoran pada sistem perpipaan.

c. Penggunaan Teknologi Komunikasi Alternatif:

Untuk wilayah yang benar-benar tidak terjangkau sinyal seluler, disarankan menggunakan teknologi komunikasi jarak jauh seperti LoRa (Long Range) yang memiliki konsumsi daya rendah dan jangkauan luas. Data dari sensor dapat dikumpulkan melalui gateway dan dikirim ke cloud secara periodik ketika koneksi tersedia.

DAFTAR REFERENSI

- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The internet of things: A survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787-2805.
- Gebbers, R., & Adamchuk, V. I. (2010). Precision agriculture and food security. *Science*, 327(5967), 828-831.
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, G. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645-1660.
- Hamid, A., dkk. (2022). Rancang Bangun Sistem Irigasi Tetes Otomatis Tenaga Surya Berbasis IoT. *Jurnal Keteknik Pertanian*, 10(2), 123-134.
- Hidayat, R., dan Sari, P. (2022). Pemanfaatan Teknologi IoT untuk Efisiensi Irigasi pada Lahan Pertanian Miring. *Jurnal Teknologi Pertanian Indonesia*, 14(2), 45–52.
- Kamienski, C., dkk. (2019). Smart water management platform: IoT-based precision irrigation for agriculture. *Sensors*, 19(2), 276.
- Kementerian Pekerjaan Umum. (2025). Inovasi Pompa Hemat Energi di Sistem JIAT: Teknologi Tenaga Surya yang Efisien. Direktorat Jenderal Sumber Daya Air.
- Messenger, R. A., & Ventre, J. (2010). *Photovoltaic Systems Engineering*. CRC Press.
- Mohamed, N. A. M., & Hamdan, R. (2025). Automated PV Irrigation System for Red Chili. *Evolution in Electrical and Electronic Engineering*, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia.
- Nasir, M. A. (2025). Analisa Pertumbuhan Cabai dengan Menggunakan Irigasi Tetes Berbasis Photovoltaic di Desa Bora Kabupaten Sigi Sulawesi Tengah [Tugas Akhir]. Universitas Tadulako.
- Nugraha, A., dan Fadilah, R. (2021). Rancang Bangun Sistem Irigasi Otomatis Berbasis IoT dengan Sensor Kelembapan Tanah dan Mikrokontroler ESP32. *Jurnal Teknologi Elektro dan Komputer*, 10(2), 65–74.
- Nurhidayat, C. (2025). Automated Irrigation System Based on Wireless Sensor Network and Internet of Things Using Solar Panels for Chili Plants [Tugas Akhir, University of Technology Yogyakarta]. UTY Open Access.
- Pamungkas, Y. Y. (2025). Implementasi sistem irigasi otomatis berbasis iot dengan monitoring dan pengendalian menggunakan web adafruit [Skripsi]. Universitas Muria Kudus.
- Prastiwi, E. D., dkk. (2018). Kajian Kebutuhan Air Tanaman Cabai Merah. *Jurnal Agronomi Indonesia*, 46(3), 287-293.
- Pratama, A., dan Wijaya, D. (2024). Optimalisasi Produktivitas Cabai dengan Sistem Irigasi Berbasis Teknologi Tepat Guna. *Jurnal Agroteknologi Modern*, 9(1), 12–19.
- Purnomo, A., dkk. (2020). Sistem Irigasi Otomatis Tanaman Cabai Berbasis Arduino. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 9(1), 45-53.
- Rahman, S., dan Wahyuni, D. (2023). Penerapan Internet of Things untuk Efisiensi Pengairan Tanaman Hortikultura. *Jurnal Rekayasa Pertanian*, 8(1), 25–31.