

RANCANG BANGUN SISTEM IRIGASI OTOMATIS DENGAN PEMANFAATAN ENERGI SURYA PADA TANAMAN BUAH NAGA

I Wayan Ardika Winata¹, Randy Junfery Situmorang², Anas Prasetyo³
Cokorde Gede Indra Partha⁴, I Gst. Agung Putu Raka Agung^{5*}, I N. Budiastira⁶

^{1,2,3,4,5,6} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Program Studi Teknik Elektro, Jalan Kampus Unud, Bukit Jimbaran, Badung, Bali 80361

^{5*} Email Penulis korespondensi: rakaagung@unud.ac.id

ABSTRAK

Budidaya buah naga sangat bergantung pada pengelolaan irigasi yang tepat. Kendala biaya operasional dan inefisiensi pada sistem penyiraman manual bertenaga diesel di Desa Mengwitani mendorong perlunya inovasi teknologi. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem irigasi otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT), dengan catu daya dari energi matahari (PLTS). Pemantauan dan kendali dilakukan dengan aplikasi telegram dan Google Spreadsheet. Sistem ini dikendalikan oleh ESP32 yang diantarmukakan dengan sensor-sensor berupa sensor kelembapan tanah kapasitif, sensor suhu (DHT22), sensor ultrasonik (HC-SR04), sensor arus dan tegangan dc (INA219). Pengairan menggunakan pompa *submersible* DC dan *solenoid valve*, disuplai oleh panel surya *monocrystalline* 50 Wp dan baterai LiFePO4 12V 30Ah (*direct DC to DC*). Hasil pengujian selama tujuh hari mengonfirmasi sistem beroperasi sesuai rancangan. Sistem menyalurkan 8,5 liter air/pohon per siklus (durasi 70 menit, debit 313,2 liter/jam) untuk meningkatkan kelembapan tanah dari 69% menjadi 89%. Pompa DC mengonsumsi energi 15,96 Wh dan menurunkan *State of Charge* (SoC) baterai sebesar 4,57% selama 19 menit beroperasi. Secara keseluruhan, integrasi perangkat keras dan pemantauan jarak jauh untuk tanaman buah naga sudah berhasil direalisasikan sesuai dengan tujuan penelitian

Kata kunci : Buah Naga, *IoT*, ESP32, irigasi otomatis, PLTS, Bot Telegram, kelembapan tanah

ABSTRACT

Dragon fruit cultivation relies heavily on proper irrigation management. Operational cost constraints and inefficiencies in the diesel-powered manual irrigation system in Mengwitani Village have driven the need for technological innovation. This research aims to design and build an Internet of Things (IoT)-based automatic irrigation system powered by solar energy (PLTS). Monitoring and control are carried out using Telegram and Google Sheets. The system is controlled by an ESP32 interfaced with sensors are capacitive soil moisture sensor, temperature sensor (DHT22), ultrasonic sensor (HC-SR04), and dx current and voltage (INA219). Irrigation uses a DC submersible pump and solenoid valve, powered by a 50 Wp monocrystalline solar panel and a 12V 30Ah LiFePO4 battery (direct DC to DC). Seven-day testing confirmed the system's operation as designed. The system delivers 8.5 liters of water per tree per cycle (70 minutes duration, 313.2 liters per hour flow rate) to increase soil moisture from 69% to 89%. The DC pump consumed 15.96 Wh of energy and decreased the battery's State of Charge (SoC) by 4.57% during 19 minutes of operation. Overall, the hardware integration and remote monitoring for this pineapple plant were successfully implemented, meeting the research objectives.

Key Words : Dragon fruit, *IoT*, ESP32, automatic irrigation, PLTS, Telegram Bot, soil moisture

1. PENDAHULUAN

Buah naga atau dalam bahasa Inggris *dragon fruit* merupakan komoditas hortikultura yang semakin populer dibudidayakan. Jenis varian yang baik untuk dikembangkan di Indonesia salah satunya adalah buah naga daging merah *Hylocereus polyrhizus*. Daging buahnya mengandung vitamin C, zat besi, serat, serta senyawa antioksidan alami [1]. Budi daya tanaman buah naga yang optimal memerlukan sistem pengairan yang baik karena sistem akarnya yang dangkal antara 15-30 senti meter, sehingga irigasi harus dilakukan secara teratur selama musim kemarau. Namun pada musim hujan pengairan sebaiknya dihentikan karena batang tanaman biasanya mudah membusuk dan berair akibat bakteri *Xanthomonas* yang disebabkan oleh kelebihan air. Tanaman ini akan berkembang dengan optimal pada suhu antara 26-36 °C dan harus tumbuh pada tanah yang senantiasanya dalam keadaan lembap, yang optimalnya berkisar antara 69% sampai 89% [2].

Kebun Buah Naga Mengwi merupakan salah satu tempat budidaya yang ada di Desa Mengwitani, Kecamatan Mengwi, Kabupaten Badung. Dengan luas lahan mencapai sekitar 86 are dan jumlah tanaman mencapai 1.200 pohon, luas lahan yang dibudidayakan tidak sebanding dengan ketersediaan sumber daya manusia (SDM), sehingga proses penyiraman masih dilakukan secara manual. Penggunaan mesin pompa diesel konvensional 10 HP yang telah beroperasi selama lebih dari 15 tahun juga menjadi masalah di lokasi. Penggunaan mesin ini selain menghasilkan emisi karbon yang tinggi, juga membutuhkan biaya operasional yang cukup besar. Akibatnya, keterlambatan atau ketidakaturan dalam penyiraman dapat menyebabkan stres air pada tanaman, menghambat proses pertumbuhan, bahkan menurunkan kualitas dan kuantitas hasil panen.

Berdasarkan permasalahan yang telah disampaikan, maka dalam *capstone project* ini dirancang sebuah sistem kendali otomatis dengan judul "Rancang Bangun Sistem Irigasi Otomatis Dengan Pemanfaatan Energi Surya Pada Tanaman Buah Naga". Konsep perancangan ini menggunakan sampel kebun buah naga dengan luas lahan 1 are (14 pohon) dan dilakukan dengan membagi sistem irigasi menjadi dua bagian lahan karena kontur tanah yang berbeda. Sistem kendali ini terdiri dari ESP32 Devkit sebagai pengendali, sensor *Capacitive Soil Moisture* tiap bagian lahan untuk mendeteksi tingkat kelembapan tanah, sensor DHT22 untuk mendeteksi suhu udara, dan sensor Ultrasonik HC-SR04 untuk mendeteksi ketinggian air dalam tandon. Aplikasi telegram

juga digunakan untuk pemantauan sesaat kondisi tanaman, dan Google *Spreadsheet* sebagai *database*.

Sistem kendali ini memanfaatkan sumber energi yang ramah lingkungan, yakni panel surya jenis *monocrystalline* dengan daya 50 Wp. Energi yang dihasilkan dicatu untuk sistem pengendali, dua pompa DC *submersible* dengan kapasitas 22 watt dan 30 watt yang dilengkapi baterai LiFePO4 tegangan 12 V kapasitas 30 Ah [3].

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kebutuhan air yang diperlukan untuk satu pohon dalam satu siklus penyiraman, menentukan lama penyiraman yang dibutuhkan untuk mencapai standar kelembapan tanah, serta menentukan kebutuhan kapasitas PLTS yang dapat memenuhi kebutuhan energi pompa DC. Dengan adanya sistem ini, diharapkan dapat mempermudah pelaksanaan irigasi, mengurangi risiko membusuknya batang akibat kelebihan air, dan mendorong pemanfaatan energi terbarukan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Mutakhir

Mengacu pada berbagai studi sebelumnya [2],[4]-[6], rancangan dalam penelitian ini merupakan hasil penyempurnaan dengan membawa sejumlah keunggulan baru. Keunggulan tersebut meliputi sistem irigasi tersegmentasi otomatis menggunakan *solenoid valve*, desain PLTS *Off-Grid* tanpa *inverter* (metode *direct DC to DC*), serta desain sistem yang dilengkapi *Step-Down* LM2596 dan proteksi baterai XH-M609 untuk mencegah kerusakan baterai akibat pengosongan daya berlebihan (*overdischarge*) dan meningkatkan keandalan sistem catu daya.

2.2 Karakteristik dan Kebutuhan Air Buah Naga

Buah naga tergolong sebagai *superfood* yang keberhasilannya dipengaruhi oleh sistem irigasi, suhu lingkungan, intensitas cahaya, dan kelembapan tanah. Kondisi lingkungan yang optimal, yaitu suhu udara sekitar 35°C dan kelembapan tanah mencapai 89%, terbukti mampu menghasilkan produksi maksimum. Tanaman ini memberikan hasil terbaik jika ditanam pada tanah lempung berpasir dengan pH antara 6,5 hingga 7,0 karena mendukung pergerakan air dan sirkulasi udara bagi perakarannya. Kebutuhan air untuk tanaman buah naga dinyatakan

sebagai jumlah air yang digunakan untuk memenuhi evapotranspirasi tanaman (ET_c), yang ditentukan dengan[4]:

$$ET_c = K_c \cdot ET_0 \quad (1)$$

Keterangan:

ET_c = Evapotranspirasi tanaman (mm/hari)

K_c = Koefisien Tanah

ET_0 = Evapotranspirasi acuan (mm/hari)

2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

PLTS adalah sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan teknologi fotovoltaik untuk mengonversi cahaya matahari secara langsung menjadi energi listrik arus searah (DC). Sistem ini menggunakan panel surya jenis *monocrystalline* 50 Wp yang efisien. Proses perancangan sistem tenaga surya meliputi beberapa langkah teknis yang disesuaikan dengan spesifikasi beban. Energi listrik per hari dihitung menggunakan persamaan berikut[5]

$$\begin{aligned} &\text{Energi Listrik (KWh)} = \\ &\text{Daya (Watt)} \times \text{Lama Pemakaian (h)} \end{aligned} \quad (2)$$

Rugi-rugi dan faktor keamanan sistem dihitung untuk memperkirakan energi bersih yang benar-benar bisa digunakan yaitu[6]

$$\begin{aligned} &\text{Rugi} - \text{rugi sistem} = \text{Energi Harian (Wh)} \times \\ &\text{Rugi} - \text{rugi sistem (\%)} \end{aligned} \quad (3)$$

Kebutuhan pemakaian daya perangkat dihitung menggunakan persamaan[7].

$$\begin{aligned} &P = V \times I \quad (4) \\ &\text{Peak Sun Hour (PSH) atau durasi optimal} \\ &\text{penyinaran matahari ditentukan dengan} \\ &\text{persamaan[8].} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{Peak Sun Hour (h)} \\ &= \frac{\text{Global Horizontal Irradiance (kWh/m}^2\text{)}}{\text{Kondisi Sistem Configuration} \times 356 \text{ hari}} \end{aligned} \quad (5)$$

Jumlah panel surya sesuai dengan beban pemakaian ditentukan dengan persamaan[6]

$$\begin{aligned} &\text{Jumlah Panel} \\ &= \frac{\text{Total Energi (Wh)}}{\text{Kapas Panel (Wp)} \times \text{Waktu Optimal Penyinaran (jam)}} \end{aligned} \quad (6)$$

Untuk menstabilkan dan menyimpan energi, digunakan baterai LiFePO₄ 12 V 30 Ah yang diatur oleh *Solar Charge Controller* (SCC) PWM. Kapasitas baterai dihitung menggunakan persamaan[6]

$$C = \frac{Ed}{Vs \times DOD} \quad (7)$$

Keterangan:

C : Kapasitas baterai (*Ampere – hour*)

Ed : Konsumsi energi harian (kWh)

Vs : Tegangan baterai (*Volt*)

DOD: Kedalaman maksimum untuk pengosongan baterai (%).

2.4 Komponen Penyusun Perangkat Keras (*Hardware*)

Pengendali utama sistem menggunakan ESP32 Devkit, yaitu modul mikrokontroler dengan fitur *Wi-Fi* dan *Bluetooth* yang digunakan untuk mempermudah pembuatan sistem berbasis IoT (*Internet of Things*)[9]. Sistem kendali ini membaca kelembapan tanah dengan sensor *Capacitive Soil Moisture*[10], sensor DHT22[11] untuk membaca suhu dan kelembapan udara relatif, serta sensor ultrasonik HC-SR04[12] untuk menghitung jarak dan ketinggian air dalam penampungan (tandon). Selain itu, digunakan sensor INA219[13] untuk membaca tegangan dan arus listrik dc yang dipakai oleh beban. Sebagai aktuator, sistem menggunakan pompa DC *submersible* untuk mengalirkan air dan *solenoid valve* 12 V yang dikendalikan oleh *Relay* DC 5 Volt untuk membuka dan menutup aliran air.

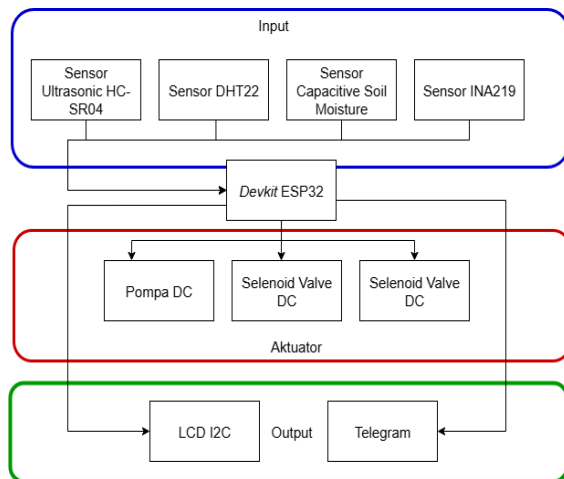
2.5 Komponen Penyusun Perangkat Lunak (*Software*)

Sistem diprogram menggunakan *software* Arduino IDE[14] yang berfungsi untuk menuliskan *coding* dan memprogram mikrokontroler. Antarmuka bagi pengguna dijalankan menggunakan Bot Telegram[15], yaitu sistem yang dirancang untuk memantau data kelembapan tanah serta suhu di lokasi lahan dari jarak jauh secara nirkabel. Selain itu, digunakan platform Google Apps Script[16] untuk menerima dan memproses data secara daring, yang kemudian direkam menggunakan aplikasi pengolah data Google *Spreadsheet* [17] untuk *database* historis kondisi lahan.

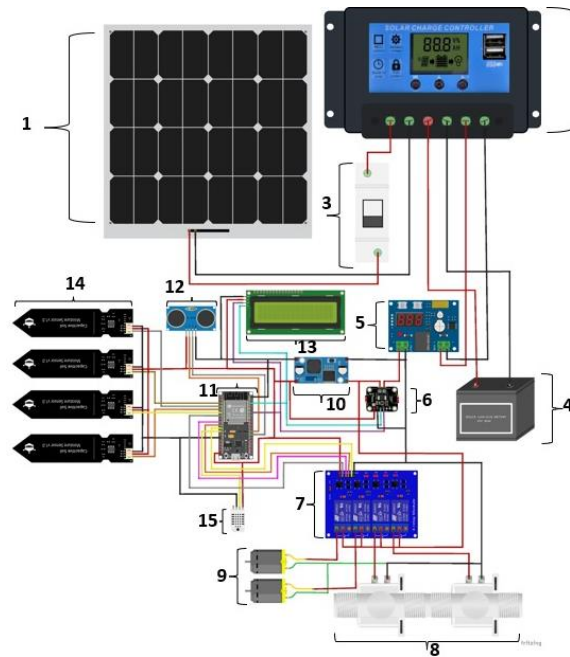
3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Kebun Buah Naga Organik yang berlokasi di Desa Mengwitani, Kecamatan Mengwi, Kabupaten Badung selama 6 bulan, dimulai bulan Agustus 2025 hingga Januari 2026. Pengukuran menggunakan metode poligon pada *Google Earth Pro* menunjukkan wilayah penelitian setara dengan ±85,8 are atau ekuivalen dengan ±0,86 hektar.

Metode utama yang digunakan adalah studi literatur yang dilengkapi dengan eksperimental berupa uji coba langsung (*trial and error*) terhadap rancang bangun. Sistem kendali ini dibangun menggunakan ESP32 Devkit sebagai krokontroler yang menerima data dari sensor DHT22 (suhu udara), *Capacitive Soil Moisture* (kelembapan tanah), Ultrasonik HC-SR04 (ketinggian air tandon), dan INA219 (tegangan dan arus). Aktuator sistem terdiri dari pompa DC *submersible* dan *Solenoid Valve* DC 12 V yang dikendalikan melalui modul *Relay 4-Channel*. Diagram blok system irigasi otomatis ini bisa dilihat pada gambar 1. Sedangkan *wiring diagram* dari system irigasi otomatis ini bisa dilihat pada gambar 2.



Gambar 1. Diagram blok system irigasi otomatis.

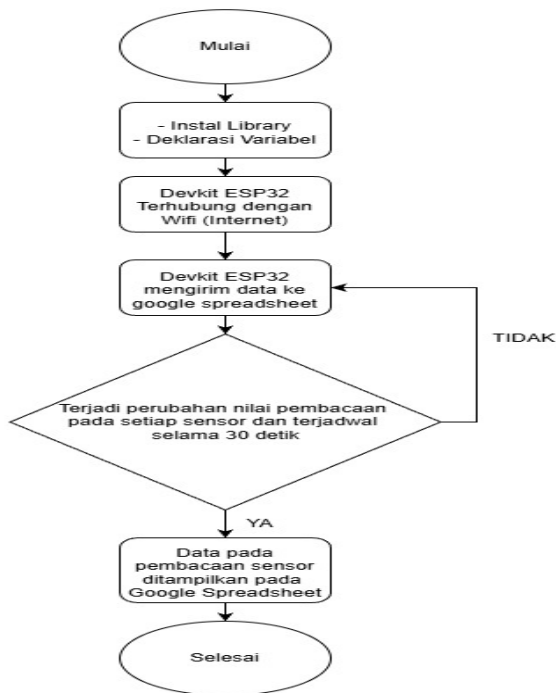


Gambar 2. wiring diagram dari sistem irigasi otomatis

Keterangan gambar

1. Panel Surya Monocrystalline 50 Wp
2. Solar Charge Controller 10 A
3. Mini Circuit Breaker (MCB) 1P 10 A
4. Baterai LiFePO4 12 V / 30 Ah.
5. Low Voltage Disconnecting XH-M609.
6. Sensor INA219
7. Relay 4 Channel 5 V
8. Solenoid Valve DC 12 V.
9. Pompa DC Submersible.
10. Step Down LM2596
11. Devkit ESP32.
12. Sensor Ultrasonik HC-SR04
13. LCD I2C
14. Sensor Capacitive Soil Moisture.
15. Sensor DHT22.

Pada perancangan *software*, ESP32 diprogram menggunakan Arduino IDE untuk terhubung ke jaringan *Wi-Fi*. ESP32 mengirimkan data sensor ke *Google Spreadsheet* secara periodik (setiap 30 detik) dan membandingkan status aktuator untuk mengirimkan notifikasi *broadcast* otomatis ke antarmuka Bot Telegram. Diagram alir pengiriman data dari sensor ke google spreadsheet bisa dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir pengiriman data dari sensor ke google spreadsheet

Kebutuhan air tanaman dihitung menggunakan metode Evapotranspirasi Tanaman (ET_c) berdasarkan persamaan (1). Dengan nilai koefisien tanaman (K_c) 0,71 dan evapotranspirasi acuan (ET_0) 4,77 mm/hari, diperoleh kebutuhan air setiap pohon buah naga adalah 6,772 liter per penyiraman. Penyiraman dilakukan berdasarkan rentang kelembapan tanah yang ditetapkan sebesar 69%–89%. Untuk sampel 14 pohon, dibutuhkan tandon dengan volume air 118,2 cm³ pada tinggi air 55 cm.

Kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) ditentukan dari total energi beban yang digunakan. Tabel 1 adalah rincian penggunaan energi pada konsep sampel (luas 1 are):

Tabel 1. Rincian Penggunaan Energi Sistem Keseluruhan Lahan 1 Are

Nama Komponen	Tegangan (V)	Arus (I)	Daya (W)	Waktu (Hours)	Energi (Wh)
Pompa DC	12	1,8	22	0,75	16,5
Pompa DC	12	2,5	30	0,75	22,5
ESP32	5	0,5	1,65	24	39,6
Sensor DHT22	5	0,0003	0,0015	24	0,036
Sensor Capacitive Soil Moisture	5	0,005	0,025	24	0,6
Sensor Capacitive Soil Moisture	5	0,005	0,025	24	0,6

Nama Komponen	Tegangan (V)	Arus (I)	Daya (W)	Waktu (Hours)	Energi (Wh)
Sensor Capacitive Soil Moisture	5	0,005	0,025	24	0,6
Sensor Capacitive Soil Moisture	5	0,005	0,025	24	0,6
Sensor Ultrasonik HC-SR04	5	0,015	0,075	24	1,8
Solenoid Valve	12	0,320	3,84	1,17	4,4928
Solenoid Valve	12	0,320	3,84	1,17	4,4928
TOTAL					91,8

Dengan memperhitungkan rugi-rugi sistem sebesar 20%, kapasitas baterai minimum untuk menyuplai energi dihitung dengan persamaan (7). Kapasitas baterai yang digunakan pada pengujian adalah 12 V 30 Ah. Untuk desain skala penuh (86 are / 1.200 pohon), total konsumsi energi harian mencapai 7.182 Wh, yang dirancang menggunakan 2 buah baterai LiFePO₄ 200 Ah dan 3 buah panel surya 580 Wp dengan mempertimbangkan Waktu Penyinaran Optimal (*Peak Sun Hours*) 5,334 jam.

Metode pengujian fungsional dilakukan berdasarkan kondisi nyata di lapangan, yang mencakup:

1. Pengujian Kapasitas Pompa: Mengukur debit aliran air (liter/jam) dan konsumsi energi (Wh) pompa DC 22 W dan 30 W.
2. Pengujian Kinerja Sensor: Memantau hubungan volume pemberian air dengan perubahan kelembapan tanah dan suhu udara.
3. Pengujian Catu Daya: Mengukur tegangan tanpa beban (V_{oc}) dan arus (I_{sc}) panel surya 50 Wp, serta memantau proses *charging* dan *discharging* baterai LiFePO₄ 12 V 30 Ah hingga batas tegangan minimum 12,8 V.
4. Pengujian *Software*: Menguji skenario interaksi Bot Telegram

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem irigasi otomatis pada tanaman buah naga yang dirancang terdiri dari perangkat keras yang memanfaatkan berbagai sensor (kelembapan tanah, suhu udara, dan tingkat air) serta aktuatur untuk mengontrol penyiraman secara otomatis berdasarkan *section* lahan. *Backend* sistem berbasis *cloud* menggunakan Google App

Script untuk menyimpan dan mengelola data sensor.

4.1 Implementasi Perangkat Keras Sistem Irigasi

Hasil Rancang Bangun Sistem Irigasi otomatis setelah diimplementasikan di lapangan bisa dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Hasil Rancang Bangun Sistem Irigasi

Sistem fisik irigasi otomatis ini terdiri dari tiga bagian utama:

1. Penyimpanan Air: Menggunakan tandon plastik 150 liter yang ditempatkan pada ketinggian 1 meter untuk menjaga tekanan gravitasi. Tandon diisi menggunakan dua pompa DC (22 W dan 30 W) dan dilengkapi sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mendeteksi ketinggian air maksimal (55 cm) guna mencegah *overflow*.
2. Panel Box: Berfungsi melindungi komponen elektronika, yang berisi mikrokontroler ESP32, *Solar Charge Controller* (SCC), modul *Step-Down* LM2596, baterai LiFePO4 12V 30Ah, *Relay 4-Channel*, dan sensor arus INA219.
3. Section Penyiraman: Lahan berukuran 17 m x 6 m dibagi menjadi beberapa *section*, masing-masing dikendalikan oleh *solenoid valve* 12 V. Pipa

penyiraman diberi lubang berdiameter 5 mm dengan jarak 1,5 m yang disesuaikan dengan posisi akar ke-14 pohon sampel.

4.2 Pengujian Kinerja Sensor dan Kalibrasi

Kalibrasi dilakukan pada seluruh sensor untuk memastikan akurasi pembacaan data terhadap alat ukur referensi.

1. Sensor *Capacitive Soil Moisture*: Memiliki tingkat akurasi yang baik dengan rata-rata *error* 0,3% dibandingkan *soil meter*.
2. Sensor Suhu DHT22: Memiliki rata-rata *error* 0,11°C dibandingkan *humidity meter*, masih dalam batas toleransi standar $\pm 0,5^\circ\text{C}$.
3. Sensor Ultrasonik HC-SR04: Menunjukkan rata-rata *error* 0,1 cm dibandingkan meteran konvensional, di bawah batas toleransi $\pm 0,3$ cm.
4. Sensor INA219: Memiliki rata-rata *error* 0,05 V (sekitar 0,39%) dibandingkan multimeter, berada di dalam batas toleransi standar 1%.

4.3 Pengujian Debit Pompa DC

Pengujian dilakukan untuk membandingkan kapasitas aliran air aktual dengan spesifikasi *nameplate*. Debit pompa (Q) dihitung menggunakan persamaan

$$Q = \frac{V}{t} \quad (8)$$

Berdasarkan pengujian, debit aktual yang dihasilkan oleh sistem pompa seri adalah 313,2 L/jam (0,087 L/detik). Perbedaan dari spesifikasi pabrikan disebabkan oleh pengaruh *head* pompa serta panjang dan diameter selang. Dengan asumsi linier, rasio debit terhadap *head* dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Rasio debit} = 1 - \frac{H_{\text{aktual}}}{H_{\text{maks}}} \quad (9)$$

Meskipun terdapat penurunan debit, kapasitas 313,2 L/jam terbukti lebih dari cukup untuk memenuhi kebutuhan penyiraman mingguan tanaman.

4.4 Pengujian Kebutuhan Air dan Kondisi Lingkungan

Pengujian pada 27 November 2025 menunjukkan sistem merespons kondisi tanah yang mengering. Pada pukul 11:10 WITA, kelembapan awal berada di 69% (suhu 31,9°C), memicu *valve* untuk terbuka (ON).

Tabel 2. Hasil Pengujian Kebutuhan Air dan Kelembapan Tanah

Waktu	Suhu Udara (°C)	Kelembapan Soil 1 (%)	Kelembapan Soil 2 (%)	Vol Air (Liter)	Durasi (Menit)
11.10	31,9	69	70	1,5	start
11.31	35,1	73	77	1,5	11
11.58	34,5	80	82	1,5	12
12.20	34,5	87	89	1,0	9
Total				8,5	70

Tabel 2. Hasil Pengujian Kebutuhan Air dan Kelembapan Tanah. Sistem irigasi otomatis berhenti bekerja pada pukul 12:20 WITA ketika kelembapan tanah mencapai 87%–89%. Total air yang didistribusikan adalah 8,5 liter per pohon dengan durasi penyiraman 70 menit.

4.5 Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Panel surya 50 Wp diuji untuk mengetahui performa kelistrikannya. Pada kondisi iradiasi rata-rata 670 W/m², panel menghasilkan tegangan tanpa beban (V_{oc}) rata-rata 21,63 V dan arus (I_{sc}) 1,96 A, menghasilkan daya listrik rata-rata 42,42 W. Proses *charging* baterai LiFePO₄ 30 Ah dari 12,8 V hingga 13,6 V membutuhkan waktu 10 jam 47 menit (cuaca cerah) hingga 11 jam 20 menit (cuaca berawan). Pada pengujian *discharging* tanpa suplai panel surya, baterai mampu menyuplai sistem secara mandiri selama 77 jam. Analisis siklus hidup (4000 siklus) mengestimasi umur operasional baterai dapat mencapai 40,3 tahun. Total energi yang dikonsumsi oleh seluruh sistem irigasi selama 7 hari pengujian adalah 85,03 Wh, membuktikan bahwa kapasitas PLTS sangat memadai.

4.6 Pengujian Antarmuka Software

Pengujian *Black-box* pada Bot Telegram memvalidasi keberhasilan fungsi perintah operasional seperti /start, status, help, dan send. Notifikasi otomatis terkirim secara *real-time* saat terjadi perubahan status aktuator, seperti "Pompa 1 Menyala" atau "Valve 2 Tutup". Selain itu, mekanisme *error handling* pada ESP32 memastikan sistem tidak *crash* (*freeze*) saat terjadi putus

koneksi internet (*lost connection*), dan akan otomatis melanjutkan pengiriman data ke *Google Spreadsheet* ketika koneksi pulih.

4.7 Analisis Efisiensi Sistem

1. Efisiensi Air: Metode manual sebelumnya menghabiskan 10 liter air per pohon. Sistem otomatis menekan konsumsi menjadi 8,5 liter per pohon, menghasilkan penghematan air sebesar 15% (1,5 liter per pohon) secara presisi.
2. Efisiensi Ekonomis: Biaya operasional bulanan sistem konvensional (upah, BBM, perawatan) mencapai Rp5.323.000, sedangkan investasi awal sistem IoT PLTS adalah Rp22.774.000.

Analisis kelayakan ekonomi menggunakan metode *Payback Period* (PP) dihitung dengan persamaan:

$$PP = \frac{C_0}{CF} = \frac{22.774.000}{5.323.000} = 4,2 \text{ bulan}$$

Waktu pengembalian investasi awal (*Payback Period*) sistem irigasi otomatis ini sangat singkat, yakni sekitar 4,2 hingga 5 bulan operasional.

5. KESIMPULAN

Rancang bangun sistem irigasi otomatis dengan pemanfaatan energi surya pada tanaman buah naga telah berhasil direalisasikan dan bekerja stabil selama tujuh hari pengujian. Sistem menyalurkan kebutuhan air sebesar 8,5 liter per pohon dengan waktu penyiraman sekitar 70 menit untuk meningkatkan kelembapan tanah dari 69% mencapai kondisi optimal 89%. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berkapasitas 50 Wp dengan baterai 12 V 30 Ah terbukti mampu memenuhi kebutuhan daya, di mana pompa DC hanya membutuhkan energi 15,96 Wh selama 19 menit. Seluruh komponen terintegrasi dengan baik, mulai dari pembacaan sensor suhu DHT22, *Capacitive Soil Moisture*, ultrasonik HC-SR04, dan sensor tegangan INA219, hingga proses pengiriman data pemantauan ke Bot Telegram dan *Google Spreadsheet* yang berjalan lancar.

Untuk pengembangan selanjutnya, penggunaan *solar charge controller* berbasis *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) sangat disarankan guna meningkatkan efisiensi penyerapan daya panel surya saat kondisi iradiasi berubah-

ubah. Sistem juga perlu dilengkapi mekanisme *data logging* jangka panjang serta fitur penyimpanan data sementara (*local buffering*) pada mikrokontroler ESP32 agar data sensor tetap tersimpan dan dikirimkan otomatis ketika koneksi internet terputus. Selain itu, pengujian lanjutan sebaiknya dilakukan pada kondisi musim hujan untuk mengevaluasi keandalan sistem irigasi otomatis dalam menyesuaikan durasi penyiraman terhadap perubahan kelembapan tanah alami akibat curah hujan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aryanta, I. W. R. (2022). Manfaat buah naga untuk kesehatan. *Widya Kesehatan* (4)2, pp.8–13.
- [2] Hadi, C. F., As'ari, H., & Qiram, I. (2023). Monitoring suhu dan kelembapan tanah pada kebun buah naga berbasis sensor DS18B20 dan YL-69. *Journal Zetroem*, (5)1, pp. 85 – 88.
- [3] Anggara, M., & Saputra, W. (2023) Analisis kinerja sel surya monocrystalline dan polycrystalline di Kabupaten Sumbawa NTB. *Jurnal Flywheel*, (14)1, pp. 7–12.
- [4] Wijayanto, D. S., & Widiastuti, I. (2016). Pompa air bertenaga hibrid untuk irigasi tanaman buah naga. *Vanos Journal of Mechanical Engineering Education* (1)2.
- [5] Suryanto, M. J. D., & Rijanto, T. (2019). Rancang bangun alat pencatat biaya pemakaian energi listrik pada kamar kos menggunakan modul GSM 800L berbasis Arduino Uno. *Jurnal Teknik Elektro*, (8)1.
- [6] Devia, R., Nugraha, B., Pranita, S., Agung, I. G.A.P. Raka., & Setiawan, I. N. (2024). Rancang bangun purwarupa toilet portable berdinding PDLC dengan sistem solar tracking berbasis ESP32. *Jurnal SPEKTRUM*, (11)1, pp. 48–57.
- [7] Erianto, B., & Haryudo, S. I. (2023). Perancangan panel surya untuk kebutuhan darurat rumah tinggal dengan sistem switch. *Jurnal Teknik Elektro*, (12)3, pp. 76–82.
- [8] Mertens, K. (2019). *Photovoltaics: Fundamentals, technology and practice*. USA: Wiley.
- [9] Espressif Systems. (2019). *ESP32 series datasheet*. Tersedia di: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf
- [10] Kuongshun Electronic Limited. (2026). *Capacitive analog Soil Moisture sensor* Tersedia di: <https://id.szks-kuongshun.com/uno/uno-sensor/capacitive-analog-soil-moisture-sensor-3-3-5.html>
- [11] Kuongshun Electronic Limited. (2026). DHT22 Digital Temperatur Kelembaban Sensor Modul. Tersedia di: <https://id.szks-kuongshun.com/uno/uno-sensor/dht22-temperature-and-humidity-sensor-module-with.html>
- [12] Kuongshun Electronic Limited. (2026). HC-SR04 Sensor ultrasonik 4pin. Tersedia di: <https://id.szks-kuongshun.com/uno/uno-sensor/hc-sr04-ultrasonic-sensor-4pin.html>
- [13] Kuongshun Electronic Limited. (2026). CJMCU219 INA219 I2C Interface. Bi-directional. Tersedia di: <https://id.szks-kuongshun.com/uno/uno-board-shield/cjmcu219-ina219-i2c-interface-bi-directional.html>
- [14] Arduino. (2026). Arduino.ide. Tersedia di: <https://www.arduino.cc/en/software>
- [15] Telegram. (2026). Telegram.apk. Tersediadi: <https://telegram.org/android>
- [16] Google. (2026). Apps.Script. Tersedia di: <https://workspace.google.com/intl/id/products/apps-script/>
- [17] Google. (2026). Google Sheet. Tersedia di: <https://workspace.google.com/products/sheets/>