

PEMANFAATAN ENERGI SURYA UNTUK SISTEM SMART GARDEN BERBASIS IOT DENGAN APLIKASI BLYNK

**Abdul Ghani Sabilul Haq, Dimas Haifan Adib, Mochammad Fauzan Yusuf,
Yudi Guntara Supriatna**

Program Studi Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Pendidikan Teknik dan Industri,
Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Indonesia

e-mail: dimashaifan@upi.edu

Abstrak

Keterbatasan waktu dan lahan di lingkungan perkotaan menyebabkan perawatan tanaman yang tidak konsisten, berakibat pada kondisi overwatering atau underwatering yang merugikan pertumbuhan tanaman. Makalah ini memaparkan perancangan dan analisis konseptual sistem Smart Garden berbasis Internet of Things (IoT) yang didukung energi surya sebagai sumber daya mandiri. Sistem mengintegrasikan sensor kelembapan tanah dan sensor DHT11 dengan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 sebagai unit pemrosesan utama. Penyiraman otomatis diaktifkan berdasarkan nilai ambang batas kelembapan tanah yang telah ditentukan, sementara pemantauan real-time dan kendali jarak jauh diimplementasikan melalui aplikasi Blynk. Subsistem catu daya terdiri dari panel surya 10 Wp, charge controller PWM, dan baterai 12 V/7 Ah, dengan estimasi konsumsi energi harian sebesar 4,8 Wh dan otonomi baterai mencapai $\pm 17,5$ hari tanpa masukan surya. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi lengkap antara subsistem sensing-aktuasi IoT, antarmuka Blynk, dan subsistem energi surya mandiri dalam satu arsitektur terpadu, disertai analisis kelayakan energi kuantitatif. Analisis konseptual menunjukkan sistem mampu mencegah overwatering dan underwatering, mengurangi ketergantungan listrik konvensional, serta mendukung pertanian perkotaan yang berkelanjutan. Kata Kunci: Smart Garden, Internet of Things, ESP8266, Blynk, Energi Surya, Irigasi Otomatis

PENDAHULUAN

Kegiatan berkebun di lingkungan perkotaan semakin diminati sebagai upaya mendukung ketahanan pangan rumah tangga, mengurangi jejak karbon, dan meningkatkan kualitas hidup [1]. Namun, kesibukan masyarakat perkotaan kerap menyebabkan perawatan tanaman yang tidak terjadwal, terutama dalam hal penyiraman. Kondisi overwatering dapat memicu pembusukan akar dan pertumbuhan jamur, sedangkan underwatering mengakibatkan tanaman layu dan mati, terutama pada musim kemarau [2].

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) pada era Industri 4.0 menawarkan solusi otomatisasi yang memungkinkan perangkat fisik saling terhubung dan bertukar data melalui

jaringan internet [3]. Dalam konteks pertanian cerdas, IoT memungkinkan pemantauan kondisi lingkungan tanaman secara real-time dan pengendalian sistem penyiraman secara otomatis berdasarkan data sensor, sehingga mengurangi intervensi manual sekaligus meningkatkan konsistensi perawatan [4].

Secara paralel, pemanfaatan energi surya sebagai sumber daya alternatif semakin relevan untuk mendukung operasional perangkat IoT di lingkungan outdoor yang tidak selalu memiliki akses listrik PLN. Sistem fotovoltaik berskala kecil terbukti mampu menyuplai kebutuhan daya perangkat IoT berdaya rendah secara andal [5]. Kombinasi otomatisasi IoT dan catu daya surya menghasilkan sistem yang mandiri, ramah lingkungan, dan berkelanjutan.

Meskipun sejumlah penelitian telah mengeksplorasi sistem smart garden berbasis IoT, sebagian besar masih bergantung pada sumber listrik konvensional dan belum mengintegrasikan subsistem energi surya secara komprehensif dalam satu rancangan terpadu [6]. Selain itu, analisis kelayakan energi dan logika kontrol penyiraman yang terstruktur masih jarang disajikan secara eksplisit. Kebaruan penelitian ini terletak pada: (1) integrasi lengkap subsistem sensor-aktuator IoT, antarmuka Blynk, dan catu daya surya mandiri; serta (2) analisis konseptual terstruktur mencakup estimasi konsumsi energi dan kelayakan panel surya.

Makalah ini disusun sebagai berikut: Bagian II mengulas penelitian terdahulu. Bagian III mendeskripsikan rancangan sistem. Bagian IV menyajikan analisis konseptual kinerja sistem. Bagian V memaparkan kesimpulan dan saran.

KAJIAN PUSTAKA

A. Sistem Smart Garden Berbasis IoT

Konsep smart garden berbasis Internet of Things (IoT) saat ini telah berkembang menjadi salah satu pilar penting dalam otomatisasi pertanian presisi (precision agriculture) pada skala mikro. Integrasi teknologi digital dalam pengelolaan lahan dan vegetasi bertujuan untuk mengatasi berbagai keterbatasan pada metode konvensional yang masih bergantung pada intuisi manusia serta intervensi fisik secara manual. Dengan memanfaatkan jaringan sensor nirkabel (wireless sensor networks), aktuator elektronik, dan arsitektur komputasi awan (cloud computing), parameter fisis lingkungan dapat dipantau, dianalisis, dan dikendalikan secara otomatis, adaptif, serta real-time.

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Abdullah dan Siregar [1] menunjukkan bahwa integrasi sensor lingkungan dengan platform cloud berbasis mikrokontroler mampu

memberikan kontribusi signifikan terhadap efisiensi manajemen sumber daya air. Melalui pemrosesan data telemetri secara terpusat di server cloud, algoritma keputusan irigasi dapat dieksekusi dengan presisi tinggi berdasarkan kondisi aktual tanah dan iklim mikro. Hasil eksperimen mereka mengonfirmasi bahwa penerapan arsitektur berbasis cloud ini tidak hanya meningkatkan konsistensi siklus irigasi tanaman, melainkan juga mampu mereduksi konsumsi air hingga 30% jika dibandingkan dengan metode penyiraman manual. Penurunan konsumsi ini terjadi karena sistem mampu mengeliminasi pemborosan air akibat luapan (*over-watering*) yang sering terjadi pada penjadwalan manual.

Dalam lingkup sistem kontrol lokal, Darmawan dkk. [2] mengimplementasikan sistem penyiraman otomatis dengan memanfaatkan papan pengembang Arduino yang diinterkoneksi secara langsung dengan sensor kelembapan tanah (*soil moisture sensor*). Pendekatan kontrol lingkup tertutup (*closed-loop control system*) yang diterapkan dalam penelitian tersebut bekerja secara otonom dengan membandingkan nilai masukan sensor terhadap nilai ambang batas (*threshold*) yang telah diprogram. Ketika kadar air tanah turun di bawah batas minimum yang diizinkan, mikrokontroler akan mengirimkan sinyal digital untuk mengaktifkan relai dan pompa air. Implementasi arsitektur ini melaporkan adanya peningkatan stabilitas kelembapan tanah yang signifikan, di mana fluktuasi kadar air di sekitar zona perakaran tanaman dapat diredam, sehingga menghindarkan tanaman dari risiko cekaman kekeringan (*water stress*).

Lebih lanjut, aspek interaksi antara sistem otomatis dengan pengguna (*Human-Computer Interaction*) dalam ekosistem IoT dikaji secara mendalam oleh Susanto dan Wibowo [7]. Mereka mengembangkan sistem *smart garden* yang diintegrasikan dengan platform Blynk untuk menjembatani fungsi pengawasan jarak jauh (*supervisory control*). Meskipun sistem mekanis telah mampu berjalan secara otomatis, kehadiran operator manusia tetap diperlukan untuk memitigasi anomali sistemik di lapangan. Penelitian mereka menemukan bahwa pemanfaatan fitur notifikasi *real-time* (berupa *push notification* pada perangkat seluler) secara signifikan meningkatkan keterlibatan (*user engagement*) dan responsivitas pengguna dalam manajemen perawatan tanaman. Informasi instan mengenai kondisi kritis vegetasi atau kegagalan fungsional alat memungkinkan pengguna mengambil tindakan korektif dengan cepat, sehingga menjamin tingkat keberhasilan kultivasi tanaman secara holistik.

B. Mikrokontroler ESP8266 dan Sensor

Modul NodeMCU ESP8266 telah menjadi salah satu platform Internet of Things (IoT) berbasis mikrokontroler yang paling disukai dalam berbagai penelitian akademis maupun implementasi industri. Popularitas perangkat ini didorong oleh efisiensi biaya (cost-effective), dimensi fisik yang ringkas, serta integrasi modul nirkabel Wi-Fi standar 802.11 b/g/n yang andal. Secara teknis, NodeMCU ditenagai oleh prosesor Tensilica L106 32-bit RISC yang beroperasi pada frekuensi clock 80 MHz hingga 160 MHz, serta dilengkapi dengan built-in TCP/IP protocol stack. Selain itu, aspek krusial yang mempercepat adopsi perangkat ini adalah kompatibilitasnya yang tinggi dengan Arduino Integrated Development Environment (Arduino IDE) [8]. Dukungan ekosistem open-source ini mempermudah proses pemrograman, manajemen library, serta pemanfaatan pin General Purpose Input/Output (GPIO) dan Analog-to-Digital Converter (ADC) 10-bit untuk keperluan akuisisi data dari berbagai sensor secara simultan.

Dalam arsitektur pertanian pintar (smart agriculture), parameter kelembapan tanah merupakan indikator fundamental untuk menentukan keputusan otomatisasi irigasi. Nugroho dan Santoso [3] melakukan evaluasi mendalam mengenai karakteristik fungsional dan tingkat akurasi dari sensor kelembapan tanah tipe resistif (resistive soil moisture sensor). Mekanisme kerja sensor ini didasarkan pada prinsip resistansi listrik, di mana nilai hambatan di antara kedua bilah probe logam akan berubah seiring dengan variasi kandungan air di dalam matriks tanah. Berdasarkan hasil pengujian empiris yang mereka lakukan, sensor ini menunjukkan korelasi linear yang kuat terhadap nilai kadar air volumetrik (Volumetric Water Content / VWC) dengan batas kesalahan (margin of error) yang berada dalam rentang $\pm 5\%$. Meskipun sensor resistif memiliki kelemahan struktural berupa kerentanan terhadap korosi akibat proses elektrolisis yang dipicu oleh arus listrik searah (DC) pada probe, tingkat akurasi $\pm 5\%$ tersebut dinilai sangat mencukupi untuk kebutuhan pemantauan hidrologi tanah berskala kecil hingga menengah.

Untuk memperoleh data lingkungan yang lebih komprehensif, pemantauan terhadap kondisi iklim di atas permukaan tanah juga diperlukan guna memprediksi laju transpirasi tanaman. Siregar dan Putra [4] melakukan pengujian eksperimental terhadap sensor DHT11, sebuah modul sensor digital terintegrasi yang menggabungkan komponen termistor NTC (Negative Temperature Coefficient) untuk estimasi suhu dan elemen sensor kelembapan tipe kapasitif. Karakteristik performa dari sensor DHT11 dilaporkan memiliki tingkat akurasi

sebesar 2°C untuk parameter temperatur dan 5% untuk kelembapan relatif (Relative Humidity / RH). Rentang resolusi data yang dihasilkan adalah 1 unit untuk masing-masing parameter dengan waktu respons (response time) berkisar antara 1 hingga 2 detik. Kendati tingkat akurasi dan rentang pembacaan DHT11 berada di bawah sensor kelas industri (seperti seri SHTxx), spesifikasi fisis tersebut dievaluasi telah memadai untuk aplikasi hortikultura non-kritis. Hal ini disebabkan karena pada budidaya tanaman hortikultura umum, fluktuasi suhu lingkungan sebesar 2°C tidak memberikan dampak stres fisiologis yang radikal bagi tanaman, sehingga penggunaan sensor ekonomis ini menjadi solusi yang efisien tanpa mengorbankan stabilitas fungsional sistem kontrol.

C. Platform Blynk

Blynk merupakan platform Internet of Things (IoT) berbasis cloud multi-penyewa (multi-tenant) yang menyediakan ekosistem terintegrasi untuk pengembangan antarmuka manusia-mesin (Human-Machine Interface) secara efisien melalui dasbor drag-and-drop. Platform ini mendukung arsitektur komunikasi berbasis **MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)**, yang mengadopsi paradigma publish/subscribe [9]. Dukungan MQTT ini memungkinkan broker Blynk Cloud untuk mendistribusikan data telemetri secara asinkron dengan overhead paket data yang sangat minimal (minimal 2 byte pada header paket). Karakteristik tersebut sangat krusial bagi perangkat tepi (edge device) dengan kapasitas komputasi dan memori terbatas seperti System-on-Chip (SoC) ESP8266.

Dalam implementasi sistem, pengujian performa jaringan pada deployment ESP8266 yang terhubung ke Blynk Cloud menunjukkan nilai latensi end-to-end () yang berfluktuasi pada rentang **50–300 ms** di bawah kondisi jaringan normal. Fluktuasi ini dipengaruhi oleh variasi Round Trip Time (RTT) jaringan nirkabel lokal, kualitas sinyal RSSI (Received Signal Strength Indicator), serta beban komputasi pemrosesan pada server. Meskipun terdapat penundaan transmisi, performa ini dinilai sangat memadai untuk diterapkan pada sistem irigasi pintar yang dikategorikan sebagai **aplikasi dengan dinamika lambat (slow-dynamics system)**. Pada orientasi agrikultural, konstanta waktu perubahan () terhadap parameter biofisik lingkungan—seperti kadar air tanah (soil moisture) dan laju evapotranspirasi—berlangsung secara gradual dalam skala waktu menit hingga jam. Karena kriteria fungsional sistem memenuhi kondisi matematis: maka delay atau keterlambatan propagasi data sebesar fraksi detik tidak akan memengaruhi stabilitas kontrol ataupun memicu kegagalan regulasi hidrolik pada katup penyiraman.

Keunggulan utama platform Blynk dalam penelitian ini terletak pada akselerasi proses pembuatan purwarupa (rapid prototyping speed), efisiensi arsitektur data melalui fitur **Virtual Pin (VPin)**, dan integrasi sistem peringatan dini (early warning system). Konsep Virtual Pin (hingga) bertindak sebagai lapisan abstraksi logis yang memisahkan batasan fisik pin GPIO (General Purpose Input/Output) mikrokontroler dengan komponen antarmuka visual aplikasi. Melalui fungsi callback seperti BLYNK_WRITE(), pengembang dapat melakukan validasi data dan penyaringan logika program terlebih dahulu sebelum instruksi fisik dikirimkan ke aktuator pompa. Selain itu, Virtual Pin mempermudah transmisi tipe data kompleks yang bersifat non-biner, seperti nilai sensor floating-point maupun struktur data array.

Untuk manajemen risiko dan pengawasan jarak jauh, Blynk menyediakan dukungan notifikasi push asinkronous langsung ke sistem operasi Android dan iOS melalui integrasi gateway komunikasi Firebase Cloud Messaging (FCM) dan Apple Push Notification service (APNs). Fitur ini memungkinkan ESP8266 mengirimkan pesan peringatan kritis secara real-time kepada pengguna apabila sistem mendeteksi anomali, seperti kegagalan suplai daya pada pompa atau penurunan drastis kelembapan tanah di bawah ambang batas kritis yang telah ditetapkan.

D. Energi Surya untuk Sistem IoT

Implementasi sistem smart garden di area terbuka (outdoor deployment) sering kali menghadapi kendala keterbatasan akses sumber daya listrik konvensional dari jaringan utilitas utama. Oleh karena itu, pemanfaatan sistem pemanen energi mandiri (energy harvesting system) berbasis tenaga surya menjadi solusi krusial untuk menjamin keberlangsungan operasional perangkat IoT secara independen (off-grid). Integrasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) skala mikro tidak hanya memberikan mobilitas tinggi bagi penempatan simpul sensor (sensor node), tetapi juga mendukung konsep digitalisasi pertanian yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Dalam upaya menguji ketahanan dan keandalan sistem daya mandiri, Kurniawan dan Setiawan [5] menginvestigasi performa PLTS mandiri (standalone solar power system) sebagai sumber daya utama untuk menyuplai simpul IoT. Karakteristik konsumsi daya dari mikrokontroler seperti ESP8266 yang fluktuatif—terutama saat melakukan transmisi data nirkabel yang membutuhkan lonjakan arus sesaat—menuntut perancangan kapasitas sel surya dan media penyimpanan energi yang presisi. Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa konfigurasi panel surya berkapasitas 10 Wp yang diintegrasikan dengan baterai akumulator

berkapasitas 7 Ah mampu mempertahankan kontinuitas operasi ESP8266 selama lebih dari 72 jam secara terus-menerus, bahkan di bawah kondisi cuaca mendung ekstrem (kondisi radiasi rendah). Keberhasilan ini didorong oleh penerapan manajemen daya yang optimal pada mikrokontroler, seperti pemanfaatan mode tidur instan (deep-sleep mode) saat perangkat tidak sedang melakukan akuisisi atau transmisi data.

Selanjutnya, evaluasi mengenai kelayakan implementasi di lapangan dilakukan oleh Zulkarnaen dan Pratama [6]. Mereka mengonfirmasi fungsionalitas dan ketangguhan integrasi catu daya surya pada sistem irigasi otomatis berbasis ESP8266 yang ditempatkan di lingkungan luar ruangan. Tantangan utama pada penempatan luar ruangan adalah adanya fluktuasi suhu lingkungan yang ekstrem dan paparan kelembapan tinggi yang dapat memengaruhi efisiensi konversi energi pada sel surya serta mempercepat degradasi masa pakai baterai. Melalui penggunaan komponen Solar Charge Controller (SCC) berbasis algoritma pemrosesan yang tepat, tegangan pengisian dari panel surya ke baterai dapat diregulasi secara stabil, sehingga sistem irigasi tetap memiliki pasokan daya yang memadai untuk menggerakkan aktuator katup selenoid maupun pompa arus searah (DC) mikro.

Sebagai dasar kalkulasi teknis dalam merancang dimensi kapasitas komponen PLTS, data klimatologi lokal mengenai tingkat insolasi matahari sangat diperlukan. Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) [10] menyediakan data historis mengenai rata-rata jam puncak matahari (Peak Sun Hours / PSH) untuk wilayah geografis Bandung, yaitu sebesar 4,5 jam per hari. Parameter PSH ini diasumsikan sebagai durasi efektif di mana bumi menerima intensitas radiasi matahari penuh yang optimal. Nilai PSH tersebut menjadi variabel acuan utama dalam analisis pemodelan energi untuk menghitung total estimasi energi harian yang dapat diproduksi oleh panel surya dengan turut mempertimbangkan kapasitas nominal panel serta faktor penurunan efisiensi sistem akibat rugi-rugi teknis kabel dan temperatur kerja. Melalui pendekatan data dari BMKG ini, perancangan dimensi sistem kelistrikan surya dapat dibuat lebih akurat guna menghindari kondisi kekurangan daya yang berisiko menyebabkan kegagalan sistem (system blackout).

METODOLOGI DAN RANCANGAN SISTEM

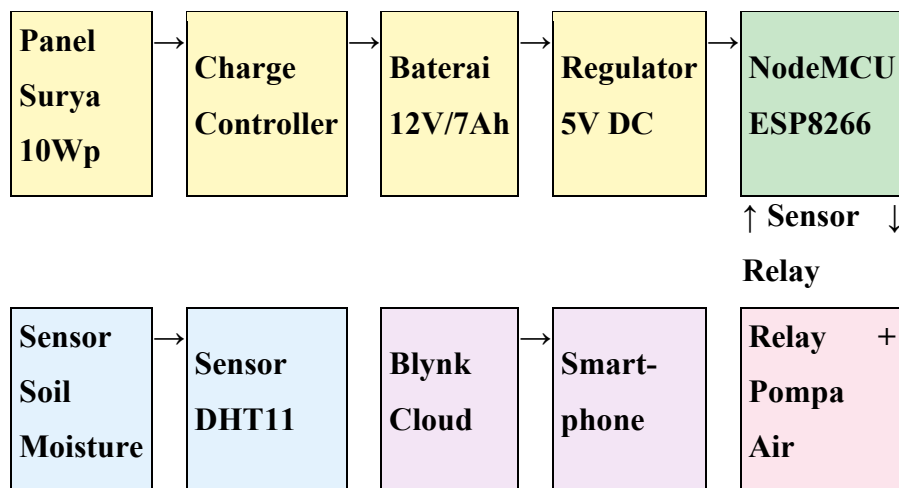
A. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode perancangan dan analisis sistem (design and analysis) yang didukung kajian literatur sistematis. Tahapan meliputi: (1) identifikasi masalah dan

kebutuhan sistem; (2) perancangan arsitektur mencakup subsistem sensor, kendali, catu daya, dan antarmuka; (3) penyusunan logika kontrol firmware; dan (4) analisis konseptual kinerja berdasarkan spesifikasi komponen dan literatur. Pendekatan ini dipilih karena memungkinkan evaluasi kelayakan teknis sebelum tahap implementasi fisik.

B. Arsitektur Sistem

Sistem terdiri dari tiga subsistem utama: (1) sensing dan aktuator, (2) pemrosesan dan komunikasi, serta (3) catu daya surya. Gambar 1 mengilustrasikan diagram blok keseluruhan sistem.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem Smart Garden Berbasis IoT dan Energi Surya

Subsistem sensing mencakup sensor kelembapan tanah resistif (output analog proporsional kadar air) dan sensor DHT11 (suhu 0–50°C ±2°C, kelembapan 20–90% RH ±5%). Aktuasi dilakukan oleh pompa air DC 5 V melalui relay satu kanal. NodeMCU ESP8266 mengeksekusi logika kontrol dan mengirimkan data ke server Blynk via Wi-Fi.

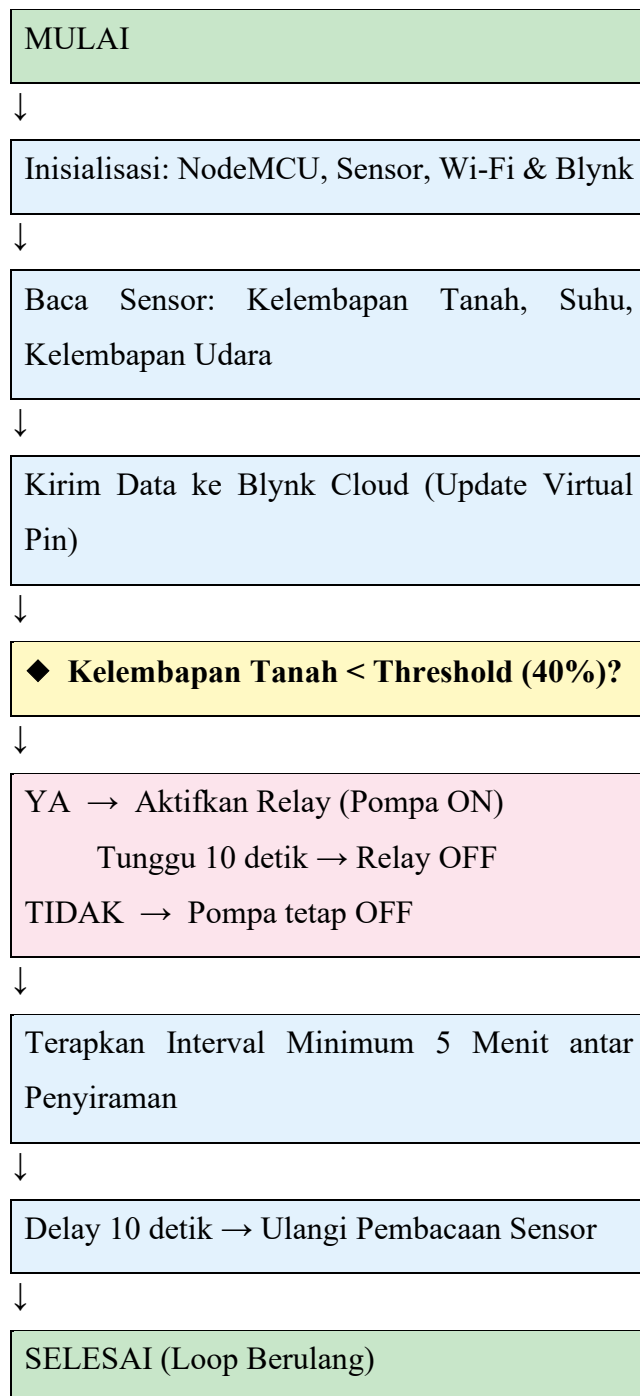
C. Subsistem Catu Daya Surya

Subsistem terdiri dari panel surya monokristal (10 Wp, Voc: 21 V, Isc: 0,62 A), charge controller PWM (10 A, 12 V), dan baterai SLA (12 V, 7 Ah). Regulator DC-DC menurunkan tegangan 12 V ke 5 V. Estimasi konsumsi energi harian: $E = (0,17 \text{ A} \times 24 \text{ jam}) + (0,30 \text{ A} \times 2,4 \text{ jam}) \approx 4,8 \text{ Wh/hari}$. Dengan kapasitas baterai 84 Wh, otonomi tanpa surya mencapai ±17,5 hari. Panel 10 Wp menghasilkan ±45 Wh/hari pada PSH 4,5 jam (Bandung [10]), memberikan surplus ±40 Wh/hari.

D. Logika Kontrol dan Firmware

Firmware dikembangkan di Arduino IDE menggunakan library ESP8266, DHT, dan Blynk. Algoritma kontrol: (1) polling sensor tiap 10 detik; (2) jika kelembapan tanah < threshold

(default 40%), relay aktif selama 10 detik; (3) interval minimum 5 menit antar-penyiraman; (4) semua data dipublikasikan ke Blynk via virtual pin setiap siklus. Gambar 2 menampilkan flowchart algoritma kontrol.



Gambar 2. Flowchart Algoritma Kontrol Sistem Smart Garden

E. Spesifikasi Komponen

Tabel I merangkum komponen utama beserta spesifikasi teknisnya.

TABEL I. Spesifikasi Komponen Utama Sistem

No.	Komponen	Kategori	Spesifikasi Utama
1	NodeMCU ESP8266	Mikrokontroler	80 MHz, Wi-Fi 802.11 b/g/n, ADC 10-bit, 3,3V I/O
2	Sensor Kelembapan Tanah	Resistif (Analog)	Output analog, 3,3–5V, indikasi 0–100%
3	Sensor DHT11	Suhu & Kelembapan	0–50°C ($\pm 2^\circ\text{C}$), 20–90% RH ($\pm 5\%$), digital
4	Pompa Air DC	Aktuator	5V DC, ~300 mA, debit $\pm 1,2$ L/menit
5	Relay 1 Kanal	Saklar Elektronik	250VAC/10A, dipicu logika 5V
6	Panel Surya	Pembangkit Energi	Monokristal, 10 Wp, Voc 21V, Isc 0,62A

No.	Komponen	Kategori	Spesifikasi Utama
7	Baterai SLA	Penyimpan Energi	12V, 7Ah
8	Charge Controller	Manajemen Energi	PWM, 10A, 12V
9	Regulator DC-DC	Konversi Tegangan	Input 7–35V → Output 5V/1A
10	Platform Blynk	Antarmuka Pengguna	Cloud MQTT, virtual pin, Android/iOS

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Kinerja Sensor

Sensor DHT11 menyediakan pembacaan suhu dan kelembapan dengan akurasi $\pm 2^{\circ}\text{C}$ dan $\pm 5\%$ RH. Nilai ini memadai untuk pemantauan lingkungan tanaman hortikultura, di mana rentang yang perlu dipantau relatif lebar [4]. Untuk akurasi lebih tinggi, sensor DHT22 ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, $\pm 2\text{--}5\%$ RH) dapat dipertimbangkan sebagai alternatif pada implementasi lanjutan. Sensor kelembapan tanah resistif rentan terhadap korosi elektroda jangka panjang; sensor kapasitif direkomendasikan untuk deployment permanen. Berdasarkan resolusi ADC ESP8266 (10-bit, 0–1 V), resolusi teoritis pembacaan mencapai $\pm 0,1\%$ kadar air volumetrik, lebih dari cukup untuk kontrol berbasis threshold.

B. Kelayakan Catu Daya Surya

Tabel II menyajikan analisis konseptual kelayakan energi sistem. Berdasarkan surplus 40 Wh/hari dan PSH rata-rata Bandung, sistem catu daya surya dirancang dengan margin yang memadai bahkan untuk kondisi iradiasi rendah atau penggunaan pompa lebih intensif. Perlu diperhatikan bahwa estimasi ini belum memperhitungkan rugi-rugi soiling, variasi harian iradiasi, dan degradasi baterai seiring waktu — faktor-faktor yang perlu divalidasi dalam implementasi fisik.

TABEL II. Analisis Konseptual Kelayakan Energi Sistem

Parameter	Nilai Estimasi	Keterangan
Arus NodeMCU (mode aktif)	~170 mA	Transmisi Wi-Fi aktif
Arus Pompa Air DC	~300 mA	Saat penyiraman aktif
Duty Cycle Pompa	~10% waktu total	Kondisi kelembapan normal
Konsumsi Energi Harian	~4,8 Wh/hari	NodeMCU + Pompa
Kapasitas Baterai	84 Wh (12V×7Ah)	Baterai SLA penuh
Otonomi tanpa surya	~17,5 hari	$84 \text{ Wh} \div 4,8 \text{ Wh/hari}$
Produksi Energi Panel	~45 Wh/hari	PSH 4,5 jam, Bandung [10]
Surplus Energi Harian	~40 Wh/hari	Untuk pengisian baterai
Efisiensi Charge Controller	75–85%	Tipe PWM, nilai tipikal
Efisiensi Baterai SLA	~80%	Round-trip, nilai tipikal

C. Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Tabel III menyajikan perbandingan rancangan sistem penelitian ini dengan penelitian terkait. Keunggulan utama penelitian ini dibandingkan Darmawan dkk. [2] dan Susanto & Wibowo [7] terletak pada integrasi subsistem energi surya mandiri yang menghasilkan otonomi energi estimasi $\pm 17,5$ hari, serta kombinasi logika threshold dengan interval minimum penyiraman yang lebih robust dalam mencegah overwatering.

TABEL III. Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Aspek	Penelitian Ini	Darmawan dkk. [2]	Susanto & Wibowo [7]
Mikrokontroler	NodeMCU ESP8266	Arduino Uno	NodeMCU ESP8266
Sensor	Kelembapan + DHT11	Kelembapan saja	Kelembapan + DHT11
Aktuator	Pompa DC via relay	Solenoid valve	Pompa DC via relay
Antarmuka	Blynk (smartphone)	LCD lokal	Blynk (smartphone)
Sumber Energi	Surya 10 Wp — Mandiri	Listrik PLN	Listrik PLN
Otonomi Energi	~17,5 hari (est.)	Tidak ada	Tidak ada
Monitor Jarak Jauh	Ya (real-time)	Tidak	Ya (real-time)
Cegah Overwatering	Threshold + interval min.	Threshold saja	Threshold + override

D. Komunikasi dan Latensi

Blynk menggunakan protokol MQTT di atas Wi-Fi. Latensi end-to-end yang dilaporkan pada deployment ESP8266–Blynk berkisar 50–300 ms di bawah kondisi jaringan normal [9], memadai untuk dinamika lambat aplikasi irigasi. Interval polling 10 detik memastikan

pembaruan dashboard dengan frekuensi praktis sekaligus meminimalkan konsumsi daya dari aktivitas Wi-Fi berkelanjutan.

E. Keterbatasan Penelitian

Seluruh analisis bersifat konseptual berdasarkan spesifikasi komponen dan literatur; validasi empiris melalui implementasi fisik belum dilakukan. Estimasi energi belum memperhitungkan rugi-rugi soiling, variasi irradiasi harian, dan degradasi kapasitas baterai. Sensor kelembapan tanah resistif rentan korosi elektroda pada deployment jangka panjang. Keterbatasan ini menjadi agenda penelitian lanjutan.

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Makalah ini telah memaparkan perancangan dan analisis konseptual sistem Smart Garden berbasis IoT bertenaga surya. Sistem mengintegrasikan sensor kelembapan tanah dan DHT11, NodeMCU ESP8266, relay dan pompa air DC, serta platform Blynk. Subsistem catu daya surya 10 Wp menghasilkan otonomi energi estimasi >17 hari tanpa masukan surya, dengan surplus harian ± 40 Wh pada kondisi PSH Bandung. Analisis konseptual menunjukkan rancangan teknis layak, proporsional dalam kebutuhan daya, dan logika kontrol threshold dengan interval minimum efektif mencegah overwatering dan underwatering.

B. Saran

Saran untuk penelitian lanjutan: (1) implementasi fisik dan pengujian lapangan untuk validasi empiris; (2) penggantian sensor kelembapan resistif dengan tipe kapasitif untuk durabilitas; (3) penambahan sensor pH tanah, intensitas cahaya, dan curah hujan; (4) implementasi fitur logging data jangka panjang; serta (5) analisis tekno-ekonomi untuk mengevaluasi kelayakan biaya dibandingkan sistem bertenaga PLN.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Himpunan Mahasiswa Elektro, Fakultas Pendidikan Teknik dan Industri, Universitas Pendidikan Indonesia, atas dukungan dalam kegiatan GARUDA — GreenAutomation, RenewableUtilities, Digitalization & Academics tahun 2025–2026.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Nugroho dan B. Santoso, "Sistem monitoring kelembapan tanah menggunakan sensor soil moisture berbasis mikrokontroler," *Jurnal Instrumentasi*, vol. 5, no. 2, hlm. 60–67, 2020.
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), *Data Radiasi Surya Wilayah Bandung, Jawa Barat*. Jakarta: BMKG, 2023.
- Blynk Inc., *Blynk Documentation*. [Online]. Tersedia: <https://docs.blynk.io>. Diakses: Mei 2025.
- D. Kurniawan dan H. Setiawan, "Pemanfaatan energi surya sebagai catu daya sistem Internet of Things," *Jurnal Energi Terbarukan*, vol. 6, no. 1, hlm. 33–40, 2021.
- Espressif Systems, *ESP8266 Technical Reference*, Ver. 1.7. Shanghai: Espressif, 2020.
- F. Siregar dan R. Putra, "Implementasi sensor DHT11 untuk monitoring suhu dan kelembapan lingkungan," *Jurnal Elektronika dan Otomasi*, vol. 7, no. 1, hlm. 21–27, 2021.
- H. Susanto dan A. Wibowo, "Smart Garden berbasis Internet of Things dengan aplikasi mobile," *Jurnal Informatika dan Sistem Cerdas*, vol. 4, no. 3, hlm. 101–109, 2022.
- I. Darmawan, A. Nugroho, dan E. Prasetyo, "Rancang bangun sistem penyiraman tanaman otomatis berbasis Internet of Things," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 11, no. 1, hlm. 45–52, 2019.
- R. Abdullah dan M. Siregar, "Penerapan Internet of Things (IoT) pada sistem pertanian pintar," *Jurnal Teknologi Informasi dan Komputer*, vol. 8, no. 2, hlm. 85–92, 2020.
- R. Zulkarnaen dan Y. Pratama, "Perancangan sistem penyiraman otomatis berbasis ESP8266 dan aplikasi Blynk," *Jurnal Teknologi Terapan*, vol. 9, no. 2, hlm. 55–63, 2022.