

Studi Perancangan Perangkat Hidroponik TANI-V1 Menggunakan Solar Panel dan Mikrokontroler di SMAN 12 Palembang

Ajie Harun Pratama¹, Munaf Ismail¹

¹Universitas Islam Sultan Agung Semarang

Jl. Kaligawe Raya No.Km.4, Terboyo Kulon, Kec. Genuk, Kota Semarang, Jawa Tengah 50112

e-mail: ajieharunpratama@gmail.com

Abstrak— Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem hidroponik otomatis bernama TANI-V1 di SMAN 12 Palembang dengan memanfaatkan energi terbarukan dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan sistem kendali berbasis mikrokontroler. Perangkat ini dikembangkan sebagai solusi terhadap kerusakan sistem hidroponik sebelumnya yang belum dilengkapi otomatisasi. TANI-V1 menggunakan panel surya monokristalin 100 WP dan akumulator 12V 5Ah sebagai sumber daya utama yang mampu menyuplai kebutuhan energi sekitar 5 Watt untuk keseluruhan sistem, meliputi sensor, mikrokontroler, dan transduser. Sistem kendali mengombinasikan Arduino Mega 2560 sebagai pengendali utama dan ESP8266 sebagai modul Internet of Things (IoT) untuk mendukung fungsi monitoring, pengendalian pompa air otomatis, serta pencatatan data digital berbasis Google Spreadsheet. Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem TANI-V1 mampu menghidupkan kembali perangkat hidroponik sekolah dan beroperasi dengan baik, meskipun terdapat tingkat kesalahan pembacaan sensor sebesar $\pm 20\%$ dan kesalahan komunikasi data antara Arduino Mega 2560 dan ESP8266 sekitar $\pm 35\%$, dengan rata-rata tingkat eror pembacaan sensor mencapai 7,52%. Meskipun demikian, performa sistem masih dapat diterima dan dapat ditingkatkan melalui kalibrasi serta pengolahan sinyal yang lebih komprehensif. Selain itu, TANI-V1 berhasil diintegrasikan dengan Telegram sebagai kontrol interupsi utama di luar jam kerja normal RTC DS1307, sehingga sistem dapat beroperasi otomatis dan efisien. Secara keseluruhan, TANI-V1 berpotensi menjadi sarana pembelajaran langsung bagi siswa dalam memahami penerapan energi terbarukan dan otomasi berbasis IoT pada sistem pertanian modern.

Kata kunci: *Sistem hidroponik, IoT, Semi off-grid, Energi terbarukan, Otomatisasi, Panel surya, Mikrokontroler*

Abstract— This research aims to design and develop an automatic hydroponic system called TANI-V1 at SMAN 12 Palembang by utilizing renewable energy from a Solar Power Plant (PLTS) and a microcontroller-based control system. The device was developed as a solution to the previous non-functional hydroponic system, which lacked automation features. TANI-V1 employs a 100 WP monocristalline solar panel and a 12V 5Ah accumulator as the main power source, capable of supplying approximately 5 watts to operate all system components including sensors, microcontrollers, and transducers. The control system integrates an Arduino Mega 2560 as the main controller and an ESP8266 as an Internet of Things (IoT) module to enable environmental monitoring, automatic water pump control, and digital data logging via Google Spreadsheet. The implementation results show that TANI-V1 successfully reactivated the school's hydroponic system and operated effectively, although sensor reading errors reached $\pm 20\%$, data communication errors between the Arduino Mega 2560 and ESP8266 were around $\pm 35\%$, and the overall average sensor error rate was 7.52%. Nevertheless, system performance remains acceptable and can be improved through calibration and more comprehensive signal processing. Moreover, TANI-V1 was successfully integrated with Telegram as an interrupt control system outside the normal operation schedule of the RTC DS1307, allowing for efficient and automated system management. Overall, TANI-V1 has the potential to serve as a practical learning medium for students in understanding the application of renewable energy and IoT-based automation in modern agricultural systems.

Keywords: *Hydroponic system, IoT, Semi off-grid, Renewable Energy, Automation, Solar Panel, Microcontroller*

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi di bidang pertanian modern telah membawa terobosan signifikan, salah satunya adalah sistem hidroponik. Sebagai metode bercocok tanam tanpa media tanah, hidroponik menawarkan efisiensi ruang, penghematan air, dan kemampuan untuk mengontrol nutrisi tanaman secara presisi. Penerapannya di lingkungan edukasi,

seperti sekolah, tidak hanya berpotensi sebagai sumber ketahanan pangan namun juga sebagai media pembelajaran sains, teknologi, teknik, dan matematika (STEM) yang sangat efektif bagi siswa.

Meskipun memiliki potensi yang besar, implementasi sistem hidroponik di banyak sekolah, seperti yang teramati di SMAN 12 Palembang, seringkali belum optimal dan menghadapi berbagai kendala mendasar. Sistem yang ada

umumnya masih dioperasikan secara manual dan konvensional, mengandalkan tenaga manusia untuk pemantauan dan perawatan. Ketergantungan pada intervensi manual ini, ditambah dengan kesibukan akademik, sering berujung pada ketidak-terawatan sistem, sehingga banyak instalasi hidroponik yang akhirnya terbengkalai dan tidak produktif.

Analisis lebih lanjut di SMAN 12 Palembang mengungkap dua kategori permasalahan utama: teknis-operasional dan keselamatan (K3). Dari sisi teknis, ketiadaan sistem pemantauan otomatis terhadap parameter kritis seperti kadar pH, Total Dissolved Solids (TDS/PPM), dan ketinggian air dalam tandon menyebabkan manajemen nutrisi tanaman menjadi tidak akurat dan tidak optimal. Padatnya aktivitas sekolah juga kerap menyebabkan kerusakan fisik pada instalasi pipa akibat impaksi. Dari sisi keselamatan, praktik operasi yang menggunakan metode Direct On Line (DOL) dengan mencolokkan kabel langsung ke suplai 220 VAC menimbulkan risiko elektrikal yang serius. Risiko ini diperparah oleh kondisi lingkungan yang lembab akibat kedekatan dengan saluran air dan tidak adanya penerangan yang memadai di malam hari, sehingga berpotensi menyebabkan sengatan listrik, hubungan pendek, dan kecelakaan lainnya.

Untuk mengatasi kompleksitas permasalahan tersebut, diperlukan sebuah solusi terintegrasi yang mengadopsi pendekatan Industri 4.0. Solusi ini harus mampu mengotomasi proses pemantauan dan kontrol, sekaligus menjamin aspek keselamatan dan keberlanjutan energi. Internet of Things (IoT) muncul sebagai tulang punggung yang tepat untuk memungkinkan pengawasan kondisi hidroponik secara real-time dari jarak jauh, sehingga mengurangi ketergantungan pada kehadiran fisik secara langsung.[1], [2], [3]

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini mengusulkan perancangan dan implementasi sebuah sistem hidroponik otomatis bernama TANI-V1. Sistem ini dirancang sebagai sebuah platform terpadu berbasis mikrokontroler[4], [5], [6], [7] yang mengintegrasikan berbagai modul sensor (pH, TDS, ultrasonik) untuk akuisisi data. Data tersebut diproses untuk mengatur actuator seperti pompa dan pencahayaan secara otomatis. Hal yang menjadi nilai inovasi utama adalah arsitektur catu daya semi off-grid[8], [9], dimana beban ringan (sensor, mikrokontroler, dan modul komunikasi) dialiri daya dari akumulator yang diisi oleh panel surya melalui Solar Charge Controller (SCC), sedangkan beban berat (seperti motor AC dan Lampu AC) dialihkan ke jaringan listrik PLN melalui modul relay yang dikendalikan dengan aman.

Dengan mengintegrasikan energi terbarukan, kendali otomatis berbasis mikrokontroler, dan pemantauan real-time via IoT[10], [11], sistem TANI-V1 diharapkan dapat mentransformasi sistem hidroponik konvensional di SMAN 12 Palembang menjadi sebuah smart farming system. Pada akhirnya, penelitian ini bertujuan untuk menciptakan sebuah prototipe yang tidak hanya memecahkan masalah teknis dan keselamatan, tetapi juga menjadi media edukasi yang nyata bagi siswa tentang penerapan teknologi hijau dan digitalisasi pertanian dalam satu paket yang efisien, aman, dan berkelanjutan.

II. STUDI PUSTAKA

A. Sistem Hidroponik

Teknik hidroponik merepresentasikan sebuah transformasi dalam metode bercocok tanam, di mana akar tanaman secara langsung dialiri larutan nutrisi tanpa bergantung pada media tanah sebagaimana sistem konvensional.[12], [13], [14] Penelitian yang dilakukan oleh Ida mengonfirmasi bahwa teknologi ini layak untuk disebarluaskan, terutama dalam konteks menyempitnya lahan pertanian akibat ekspansi sektor industri dan jasa. Kelangkaan lahan ini menyebabkan usaha tani tradisional menjadi kurang kompetitif karena tingginya biaya kepemilikan tanah. Oleh karena itu, hidroponik muncul sebagai solusi strategis yang memungkinkan aktivitas pertanian berlangsung di ruang terbatas, menjadikannya sumber penghasilan yang potensial bagi masyarakat.[3], [15], [16]

Kategori	Sawi	Pakcoy
Nama Ilmiah	<i>Brassica juncea</i>	<i>Brassica rapa subsp chinesis</i>
Bentuk Daun	Lebih lonjong dan bergelombang	Lebih lebar, halus, dan berwarna hijau terang
Rasa	Lebih tajam dan sedikit pahit	Lebih ringan dan manis
Pertumbuhan	Lebih cepat dibanding pakcoy	Sedikit lebih lambat matang dibanding sawi
Jarak Tanam	15-20 cm	10 – 14 cm
Lama Panen	25 – 30 hari setelah semai	30 – 40 hari setelah semai
pH Optimal	5.5 – 6.5	5.5 – 6.5
PPM Optimal (EC)	80 – 1200 (1.2 – 1.8 mS/cm)	700 – 1200 ppm (1.0 – 1.8 mS/cm)
Suhu Air Optimal	18 – 26 C	18 – 26 C
Sistem Hidroponik Kompatibel	NFT, DFT, rakit apung	NFT, DFT, rakit apung
Kebutuhan Oksigen dalam Air	Sedang - Tinggi	Tinggi, perlu aerasi lebih baik
Ketahanan terhadap Hama	Lebih tahan terhadap pernyakit akar dan jamur	Lebih rentan terhadap serangan kutu dan thrips
Ketahanan Terhadap Cuaca Panas	Cukup tahan	Lebih tahan dibanding sawi
Ketahanan terhadap Cuaca Dingin	Cukup rentan	Lebih tahan dibanding sawi
Potensi Over-fertilization (kelebihan nutrisi)	Lebih tahan terhadap PPM tinggi	Lebih sensitif terhadap PPM tinggi
Kandungan Nutrisi	Tinggi vitamin A, C, dan K	Kaya serat, vitamin C, dan kalsium
Penggunaan dalam Masakan	Lebih sering digunakan dalam tumisan dan sayur berkuah karena rasa yang dominan pahit	Cocok untuk salad, sup, atau tumisan ringan

Tabel 1 Data Karakteristik Tanaman Hidroponik SMAN 12 Palembang

Pada prinsipnya, hidroponik adalah sistem budidaya yang menggunakan air yang diperkaya nutrisi sebagai

media tumbuh pengganti tanah, fungsi tanah sebagai penyangga akar dan penyedia hara dapat digantikan oleh berbagai media inert seperti rockwool, kerikil, atau sabut kelapa, yang berperan sebagai pendukung mekanis sambil memfasilitasi sirkulasi air, oksigen, dan nutrisi. [17], [18], [19] Karakteristik inilah yang membuat sistem ini sangat efisien dan fleksibel, sehingga dapat diimplementasikan di berbagai lokasi seperti pekarangan rumah atau atap bangunan, mengubah lahan sempit menjadi unit produksi pertanian yang layak secara ekonomi.[20]

B. Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Panel surya berfungsi sebagai perangkat konversi energi yang memanfaatkan efek fotovoltaik untuk mengubah energi cahaya matahari langsung menjadi energi listrik. Inti dari perangkat ini adalah sel surya, yang umumnya terbuat dari bahan semikonduktor seperti silikon. Prinsip kerjanya adalah ketika foton dari cahaya matahari menembus permukaan sel, energi mereka membangkitkan elektron dalam material semikonduktor, sehingga menciptakan aliran arus listrik searah (DC). Berdasarkan bahan dan proses manufakturnya, panel surya dikategorikan ke dalam beberapa jenis, seperti monocrystalline yang dikenal dengan efisiensi dan umur pakainya yang tinggi, polycrystalline yang lebih terjangkau dengan efisiensi sedikit lebih rendah, serta thin-film yang fleksibel namun memiliki efisiensi yang paling rendah di antara ketiganya.[21], [22]

Dalam skala yang lebih besar, Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan sistem yang terdiri dari komponen-komponen utama untuk memanfaatkan energi matahari. Sistem ini meliputi panel surya sebagai penangkap energi, solar charge controller (SCC) untuk mengatur pengisian daya, baterai sebagai media penyimpanan energi, dan inverter untuk mengkonversi listrik DC dari panel dan baterai menjadi listrik AC yang kompatibel dengan peralatan rumah tangga. Berdasarkan koneksinya dengan jaringan, PLTS terbagi menjadi tiga konfigurasi: sistem on-grid yang terintegrasi dengan jaringan PLN, sistem off-grid yang mandiri, dan sistem hybrid yang menggabungkan keunggulan keduanya. Keandalan sistem ini menjadikannya sangat cocok untuk diterapkan di Indonesia, sebuah negara tropis dengan intensitas penyinaran matahari yang melimpah, sekaligus sebagai wujud solusi energi bersih dan berkelanjutan.[23], [24], [25], [26]

C. Mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan pengendali kompak yangandal untuk sistem skala kecil hingga menengah, dengan keunggulan dalam kemudahan perawatan dan fleksibilitas implementasi. Penelitian oleh Pratama dkk (2021) berhasil mengembangkan sistem monitoring panel surya berbasis Arduino Uno yang mampu memantau parameter tegangan, arus, dan intensitas radiasi secara real-time dengan data terintegrasi ke Microsoft Excel. Sementara itu, penelitian Sinurat (2022) mendemonstrasikan kemampuan Arduino Uno dalam sistem actuasi melalui purwarupa pelacak surya dual-axis yang mampu mengoptimalkan penyerapan energi dengan dua derajat kebebasan. Kedua studi ini

membuktikan bahwa mikrokontroler tidak hanya efektif untuk fungsi monitoring, tetapi juga untuk implementasi sistem kendali aktual dalam aplikasi energi terbarukan, menjadikannya solusi ideal untuk pengembangan sistem terintegrasi yang kompak dan efisien.[10]

D. Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) merupakan sebuah paradigma yang mendefinisikan infrastruktur jaringan global di mana objek-objek fisik, mulai dari sensor sederhana hingga mesin industri yang kompleks, tertanam dengan teknologi komputasi dan komunikasi. Perangkat-perangkat ini saling terhubung melalui internet untuk mengumpulkan, mengirimkan, dan memproses data secara mandiri dengan intervensi manusia yang minimal. Menurut International Telecommunication Union (ITU), IoT membentuk landasan bagi masyarakat informasi dengan menyediakan layanan canggih melalui integrasi antara dunia fisik dan virtual. Konektivitas masif ini memungkinkan terciptanya sistem yang dapat merasakan kondisi lingkungan nyata dan meresponsnya secara otomatis dalam waktu nyata.[1], [2], [3]

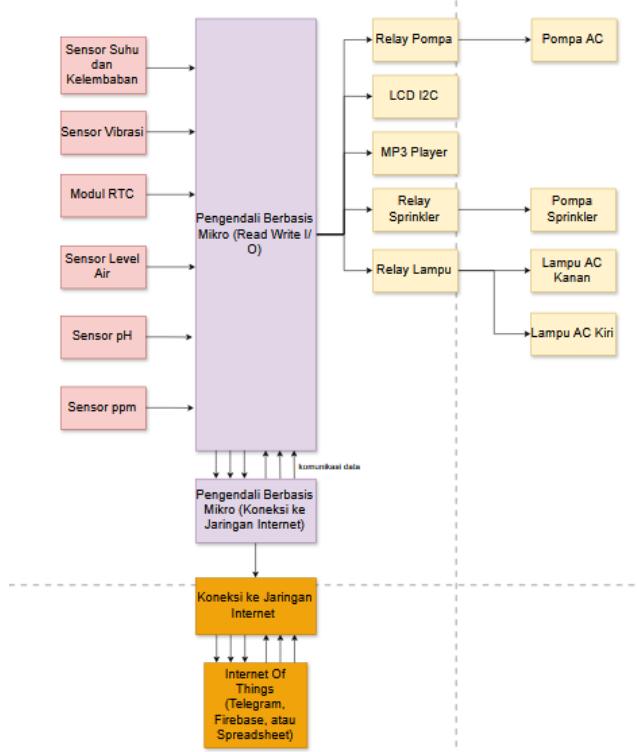
Ekosistem IoT telah memfasilitasi terwujudnya lingkungan yang cerdas (smart environment) di berbagai sektor strategis, seperti pertanian presisi, rumah pintar (smart home), dan sistem industri 4.0. Adopsi teknologi ini menunjukkan pertumbuhan eksponensial, yang diproyeksikan oleh Statista (2024) akan menghubungkan lebih dari 30 miliar perangkat secara global. Sebagaimana diungkapkan oleh Evans dari Cisco, IoT menandai evolusi internet dari sekedar menghubungkan orang menuju menghubungkan berbagai "benda", sehingga menciptakan jejaring kecerdasan yang lebih luas. Nilai strategis IoT semakin diperkuat dengan konvergensi bersama teknologi pendukung seperti komputasi awan, big data analytics, dan kecerdasan buatan (Artificial Intelligence), yang bersama-sama mendorong efisiensi, optimasi sumber daya, dan terciptanya layanan yang inovatif.[2], [3]

III. METODE PENELITIAN

A. Alur Penelitian

Tahapan penelitian dimulai dari proses penentuan judul yang relevan dengan bidang kajian, kemudian dilanjutkan dengan studi literatur untuk mengumpulkan teori dan referensi pendukung dari berbagai sumber ilmiah. Setelah memperoleh landasan teori yang memadai, dilakukan observasi lapangan guna mengidentifikasi permasalahan nyata dan kebutuhan sistem yang akan dirancang.

Hasil observasi menjadi dasar dalam tahap perancangan sistem, yang dilakukan secara iteratif hingga rancangan dianggap lengkap dan sesuai tujuan penelitian. Setelah rancangan selesai, dilakukan tahap pengumpulan data melalui pengujian atau implementasi sistem. Apabila data yang diperoleh belum lengkap, maka proses pengumpulan diulang hingga memenuhi kriteria yang diharapkan. Data yang telah lengkap kemudian dianalisis pada tahap analisis data hasil perancangan untuk mengevaluasi performa sistem dan menarik kesimpulan terhadap keberhasilan rancangan yang telah dibuat. Tahapan ini diakhiri dengan penyusunan hasil penelitian secara keseluruhan.



Gambar 2 Blok Diagram Arsitektur TANI-V1

Data dari berbagai sensor ini kemudian dikonsolidasikan dan dikirimkan via protokol UART ke modul komunikasi utama ESP8266 yang berfungsi sebagai gateway IoT. Modul ini selanjutnya mengunggah data ke platform cloud seperti Google Spreadsheet atau database MySQL untuk analisis lebih lanjut dan memicu sistem notifikasi real-time via Telegram jika parameter kritis seperti kadar nutrisi, level air, atau getaran mekanis terdeteksi di luar batas normal. Di sisi output, mikrokontroler mengeksekusi perintah berdasarkan data yang diproses dengan menulis sinyal digital untuk mengendalikan relay yang terhubung ke aktuator seperti pompa air dan lampu AC, serta menggunakan protokol komunikasi seperti I2C untuk menampilkan data pada LCD dan UART untuk mengaktifkan modul MP3 player yang berfungsi sebagai alarm peringatan audio lokal di area hidroponik.

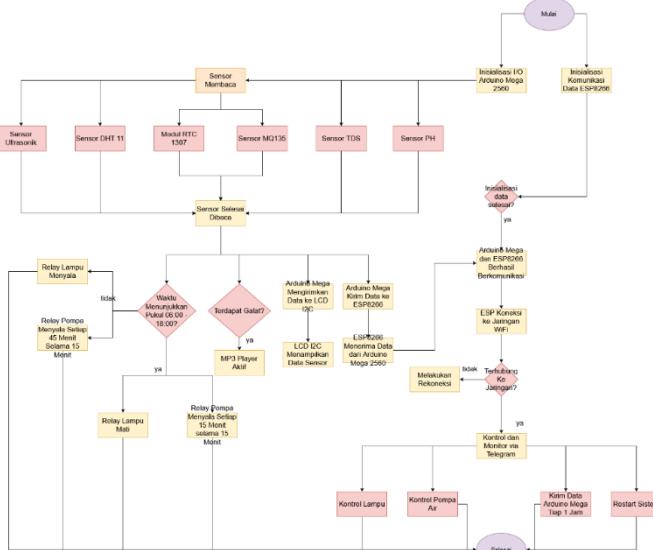
C. Flowchart

Sistem DFT Hidroponik ini dirancang dengan arsitektur terdistribusi yang melibatkan dua mikrokontroler utama, yaitu Arduino Mega sebagai pengendali inti dan ESP8266 sebagai modul komunikasi. Arduino Mega bertanggung jawab atas inisialisasi dan pengelolaan seluruh sensor lingkungan seperti DHT11 untuk suhu dan kelembaban, sensor ultrasonik untuk ketinggian air, sensor pH dan TDS untuk kualitas air, serta sensor INA219 untuk monitoring daya. Setelah proses inisialisasi, sistem masuk ke loop utama dimana pembacaan sensor dilakukan secara berkala berdasarkan interval waktu yang telah ditentukan. Data yang terkumpul kemudian diproses untuk update tampilan LCD multi-halaman, kontrol relay pompa berdasarkan jadwal siang-malam, dan manajemen lampu menggunakan RTC dengan logika ON otomatis pada pukul 18:00-06:00. Sistem alert terintegrasi memantau kondisi lingkungan dan

B. Blok Diagram

Sistem TANI-V1 mengadopsi arsitektur pemrosesan data terdistribusi yang terintegrasi untuk monitoring dan kontrol hidroponik. Pada bagian input, sistem membaca sinyal dari tiga kategori sensor: sensor digital (seperti DHT11/DHT22 untuk suhu/kelembaban dan sensor vibrasi untuk mendeteksi impaksi fisik), sensor analog (seperti sensor pH, PPM/TDS, dan sensor level air dengan menggunakan ultrasonic module serta sensor dengan protokol komunikasi khusus (seperti modul Real-Time Clock (RTC) yang menggunakan I2C untuk menjaga data waktu secara mandiri).

memicu notifikasi audio melalui DFPlayer dengan mekanisme cooldown 5 menit untuk mencegah spam.



Gambar 3 Flowchart Prinsip Kerja TANI-V1

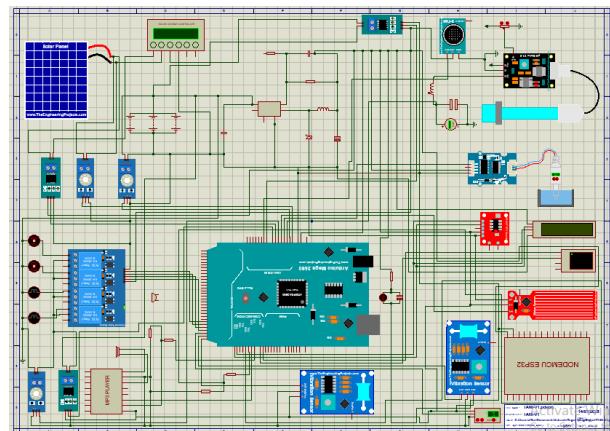
ESP8266 berfungsi sebagai gateway komunikasi yang menghubungkan sistem dengan jaringan WiFi dan platform Telegram. Setelah inisialisasi koneksi WiFi dan bot Telegram, modul ini secara kontinu memantau komunikasi dua arah dengan Arduino Mega melalui protokol serial custom dengan format [S]data[E]. Mekanisme handshake dan keep-alive dijaga untuk memastikan kestabilan koneksi antara kedua mikrokontroler. ESP8266 secara periodik memeriksa pesan dari Telegram Bot, memproses perintah pengguna seperti request status, kontrol relay manual, atau pengaturan mode operasi, kemudian meneruskannya ke Arduino Mega untuk dieksekusi. Sebaliknya, data sensor dan laporan hourly dari Arduino Mega diformat dalam JSON dan dikirimkan ke pengguna melalui Telegram. Sistem ini juga dilengkapi dengan fault tolerance mechanism termasuk timeout handling, automatic reconnection, dan watchdog timer untuk memastikan operasi yang stabil dan andal dalam monitoring dan kontrol lingkungan hidroponik secara real-time.

D. Perancangan Fisik Elektrikal

Perancangan skematik dan wiring diagram TANI-V1 dilakukan menggunakan perangkat lunak Proteus Professional 8.11 untuk memvisualisasikan serta mengujinya integrasi antar komponen sebelum implementasi fisik. Tahapan ini menjadi kunci agar seluruh perangkat keras, mulai dari sensor, aktuator, hingga sumber daya, dapat bekerja secara sinkron tanpa interferensi antar modul. Sistem dirancang dengan arsitektur semi off-grid, di mana panel surya 100 WP mengisi baterai 12 V melalui Solar Charge Controller (SCC) dan menyuplai beban ringan seperti sensor dan mikrokontroler melalui regulator 5 V dan 3.3 V.

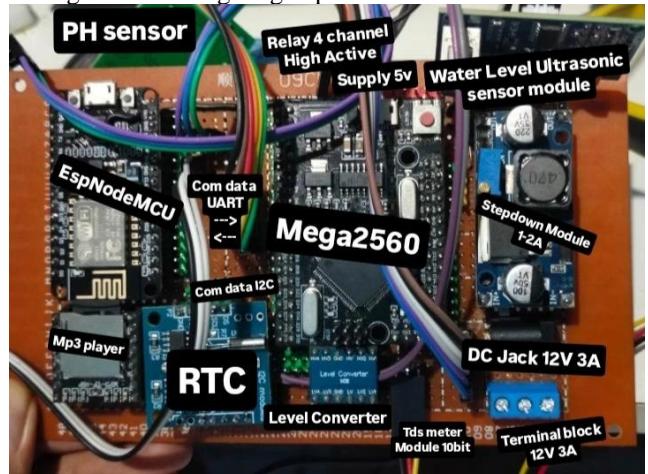
Mikrokontroler Arduino Mega 2560 berfungsi sebagai pengendali utama, sementara modul ESP8266 Wi-Fi menangani komunikasi data IoT ke platform Firebase dan

Telegram. Semua jalur ground disatukan untuk menjaga referensi tegangan yang seragam, sementara jalur AC dipisahkan secara galvanik melalui relay 4-channel yang digunakan untuk mengendalikan pompa dan lampu berbasis jaringan PLN. Aspek proteksi juga diperhatikan dengan penambahan sekering, dioda pengaman polaritas terbalik, snubber circuit, serta pemisahan kabel sinyal dan daya untuk mencegah gangguan elektromagnetik.



Gambar 4. Skematik Diagram Elektrikal TANI-V1

Interkoneksi sensor melibatkan berbagai modul seperti DHT22 untuk suhu dan kelembapan, sensor pH dan TDS untuk kualitas nutrisi, MQ-135 untuk kualitas udara, serta sensor ultrasonik untuk ketinggian air. Setiap sensor memiliki karakteristik sinyal berbeda yang diolah oleh mikrokontroler menjadi data bernilai fisik yang mudah dipahami pengguna. Sensor digital seperti DHT22 memiliki pustaka (library) yang compact, sedangkan sensor analog seperti pH, TDS, dan MQ-135 memerlukan kalibrasi manual untuk menyesuaikan pembacaan terhadap alat ukur standar. Kalibrasi dilakukan melalui pengaturan konstanta dalam kode Arduino hingga nilai mendekati akurasi referensi. Semua sensor dikonfigurasi agar dapat bekerja stabil dengan sistem catu daya terisolasi dan jalur komunikasi yang terlindung dari gangguan arus beban AC. Dengan rancangan ini, TANI-V1 tidak hanya berfungsi sebagai sistem otomatis hidroponik, tetapi juga sebagai model pembelajaran integrasi IoT, mikrokontroler, dan energi terbarukan yang efisien serta aman digunakan di lingkungan pendidikan.



Gambar 5 Fisik Printed Circuit Board (PCB) TANI-V1

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

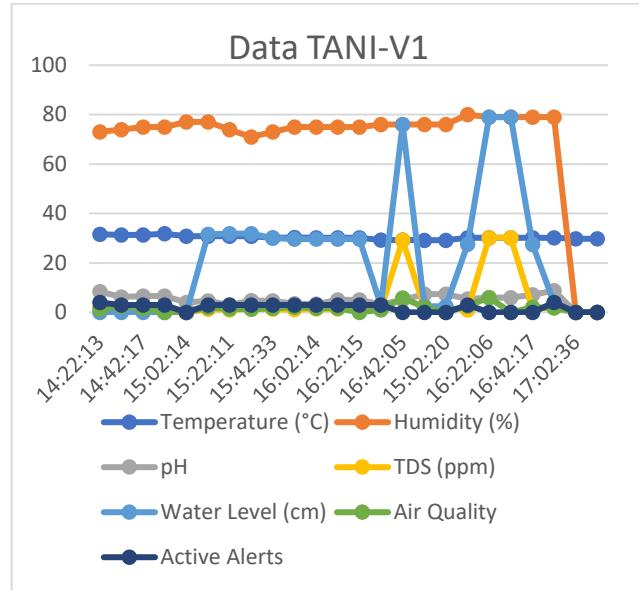
Berdasarkan hasil perhitungan total beban sistem, arus yang digunakan pada jalur 5 V adalah sebesar 0,7355 A dengan daya total 3,6775 W, sedangkan untuk jalur 3,3 V yang digunakan oleh modul ESP8266 diperlukan arus sebesar 0,15 A dengan daya 0,495 W. Sehingga total keseluruhan daya yang dikonsumsi oleh sistem adalah 4,1725 W. Dengan mempertimbangkan efisiensi konversi modul step-down LM2596 sebesar 85 %, maka daya yang ditarik dari baterai menjadi 4,9094 W atau setara dengan arus 0,4091 A pada sumber 12 V. Jika menggunakan baterai aki motor berkapasitas 12 V 5 Ah, maka waktu operasi teoritis dengan pengosongan penuh (100 % Depth of Discharge) mencapai sekitar 12,22 jam. Namun untuk menjaga umur aki, penggunaan ideal hanya sampai 50 % dari kapasitas, sehingga waktu operasi aman berkisar 6,11 jam.

Perangkat	V (V)	I (A) asumsi datasheet	P = V×I (W)
3× ACS712-50A	5	0.03 (3×0.01)	0.15
3× INA219	5	0.003 (3×0.001)	0.015
RTC DS1307	5	0.001	0.005
PH sensor 4502C	5	0.02	0.10
TDS sensor	5	0.02	0.10
MQ135	5	0.15	0.75
DHT11	5	0.0025	0.0125
Vibration sensor (digital)	5	0.002	0.01
Ultrasonic JSTSRN04T	5	0.005	0.025
Arduino Mega 2560	5	0.10	0.50
Level shifter module	5	0.002	0.01
DFPlayer Mini	5	0.05	0.25
Relay 4-ch (semua ON)	5	0.32	1.60
LCD I2C 20×4	5	0.03	0.15
ESP8266	3.3	0.15	0.495

Tabel 2 Beban-beban yang Terdapat di TANI-V1

Hasil ini menunjukkan bahwa konsumsi daya sistem relatif kecil dibandingkan kemampuan suplai dari aki, sehingga modul LM2596 masih bekerja dalam batas aman karena arus total pada jalur 5 V hanya sekitar 0,736 A, jauh di bawah batas maksimum modul sekitar 3 A. Meskipun demikian, perlu diwaspadai adanya lonjakan arus sesaat, terutama dari modul ESP8266 saat transmisi Wi-Fi, relay saat aktif bersamaan, serta DFPlayer Mini ketika memutar suara dengan volume tinggi. Lonjakan tersebut dapat menyebabkan drop tegangan jika tidak disertai kapasitor penyanga (decoupling capacitor) yang memadai. Selain itu, konsumsi arus terbesar berasal dari modul relay 4 channel dengan total sekitar 0,32 A, sehingga disarankan menyediakan cadangan arus dan sistem decoupling yang baik untuk menjaga kestabilan tegangan 5 V selama seluruh beban aktif secara bersamaan.

Gambar 6 Tabel GoogleSpreadsheet yang Sudah Diunduh



Gambar 7 Grafik Perilaku TANI-V1 Berdasarkan Interval Waktu

Data yang terekam menunjukkan variasi parameter lingkungan yang signifikan. Pembacaan suhu berkisar antara 25.5°C hingga 31.5°C dengan fluktuasi harian yang mengikuti pola diurnal normal. Sensor DHT11 menunjukkan konsistensi yang baik dengan deviasi maksimal $\pm 0.5^\circ\text{C}$ dari pembacaan referensi. Namun, terdeteksi adanya anomali pada pembacaan pH sensor dimana nilai pH menunjukkan variasi dari 2.98 hingga 8.80, yang mengindikasikan kebutuhan kalibrasi ulang atau kemungkinan gangguan elektrik pada rangkaian sensor.

Pembacaan TDS (Total Dissolved Solids) menunjukkan konsistensi dalam rentang 0.85-1.50 ppm, mengindikasikan stabilitas nutrisi dalam larutan hidroponik. Sensor level air ultrasonik HC-SR04 berhasil mendeteksi perubahan ketinggian air dari 35.0 cm hingga 38.0 cm, meskipun terdapat beberapa pembacaan 0 cm yang mengindikasikan momentary error dalam pembacaan sensor.

V. KESIMPULAN

Sistem hidroponik di SMAN 12 Palembang kini kembali berfungsi berkat penerapan TANI-V1, sebuah rancangan sistem otomatis berbasis mikrokontroler yang terintegrasi dengan panel surya sebagai sumber daya utama. Sistem ini memanfaatkan panel surya berkapasitas 100 WP dengan akumulator 12 V 5 Ah, yang mampu menyediakan suplai energi listrik secara berkelanjutan untuk seluruh komponen

sistem tanpa bergantung pada jaringan listrik konvensional. Dengan konsumsi daya hanya sekitar 5 watt, TANI-V1 terbukti efisien dan ramah lingkungan, serta menjadi contoh penerapan teknologi energi terbarukan yang relevan dan edukatif di lingkungan sekolah.



Gambar 8 Perangkat TANI-V1 di SMAN 12 Palembang

Dari sisi operasional, TANI-V1 berhasil diintegrasikan dengan platform Telegram sebagai sistem kontrol interupsi di luar jadwal operasi normal yang diatur oleh RTC DS1307. Proses pencatatan data dilakukan secara otomatis melalui Google Spreadsheet, yang merekam seluruh informasi dari sensor, mikrokontroler, dan transduser. Namun demikian, sistem masih menghadapi beberapa kendala, di antaranya tingkat kesalahan pembacaan sensor sebesar 7,52%, serta kegalatan komunikasi data $\pm 35\%$ antara Arduino Mega 2560 dan ESP8266, yang mengakibatkan sebagian status pompa tidak terkirim dengan sempurna atau terjadi perubahan jenis data antara string dan numerik, hal ini dapat dilakukan penurunan galat komunikasi dengan mempertimbangkan board dengan fitur IoT yang lebih unggul dibanding ESP8266 NodeMCU. Selain itu, terdeteksi pula momentary error pada pembacaan sensor dengan nilai sekitar $\pm 20\%$, yang masih tergolong dapat diterima namun memerlukan kalibrasi dan pengolahan sinyal sensor yang lebih mendalam.

REFERENSI

- [1] M. Mungkin, H. Satria, J. Yanti, G. B. A. Turnip, and S. Suwarno, "Perancangan Sistem Pemantauan Panel Surya Polycrystalline Menggunakan Teknologi Web Firebase Berbasis IoT," *INTECOMS: Journal of Information Technology and Computer Science*, vol. 3, no. 2, pp. 319–327, 2020, doi: 10.31539/intecoms.v3i2.1861.
- [2] M. Aslam Ridho Effendy and Rimbawati, "SISTEM MONITORING KINERJA PANEL SURYA BERBASIS IoT MENGGUNAKAN ARDUINO UNO PADA PLTS PEMATANG JOHAR," *Jurnal Ilmu Teknik*, vol. 1, no. 1, pp. 32–39, 2023, [Online]. Available: <https://doi.org/XX..XXXXX/TEKTONIK>
- [3] A. Riansyah, M. Sagaf, and M. Ismail, "Penerapan Teknologi Smart Greenhouse Berbasis Photovoltaic dan IoT pada Budidaya Sayuran Hidroponik di Desa Pekalongan Jepara," *Abdimas Universal*, vol. 5, no. 2, pp. 284–288, 2023, doi: 10.36277/abdimasuniversal.v5i2.342.
- [4] E. C. Sinurat, "Rancang Bangun Rotasi Matahari Pada Panel Surya Dengan Menggunakan Arduino Uno (Studi Kasus Rotasi Panel Surya)," *Jurnal Portal Data*, vol. 2, no. 1, pp. 1–19, 2022, [Online]. Available: <http://portaldatal.org/index.php/portaldatal/article/view/61>
- [5] Y. Prasetyo, "Otomatisasi Sistem Pengisian Baterai Pada Sistem Tenaga Surya," *Jurnal Geuthèè: Penelitian Multidisiplin*, vol. 4, no. 3, p. 153, 2021, doi: 10.52626/jg.v4i3.131.
- [6] U. O. Daya, "Desain Dan Implementasi Sistem Tracking Dual Axis Panel Surya," 2024.
- [7] A. Jaenul, M. Manfaluthy, Y. Pramodja, and F. Anjara, "Pembuatan Sumber Listrik Cadangan Menggunakan Panel Surya Berbasis Internet of Things (IoT) dengan Beban Lampu dan Peralatan Listrik," *Formosa Journal of Science and Technology*, vol. 1, no. 3, pp. 143–156, 2022, doi: 10.55927/fjst.v1i3.838.
- [8] S. Yuwono, D. Diharto, and N. W. Pratama, "Manfaat Pengadaan Panel Surya dengan Menggunakan Metode On Grid," *Energi & Kelistrikan*, vol. 13, no. 2, pp. 161–171, 2021, doi: 10.33322/energi.v13i2.1537.
- [9] I. N. Sugiarta, I. N. Suparta, and I. W. Teresna, "Perbandingan Suplai Energi Panel Surya Polycrystalline pada PLTS ON-GRID," *Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV) Ke-6 ISAS Publishing Series: Engineering and Science*, vol. 6, no. 1, pp. 285–292, 2020.
- [10] D. Pratama and A. Asnil, "Sistem Monitoring Panel Surya Secara Realtime Berbasis Arduino Uno," *MSI Transaction on Education*, vol. 2, no. 1, pp. 19–32, 2021, doi: 10.46574/mtd.v2i1.46.
- [11] A. Marsela, "Rancang Bangun Penggerak Otomatis Panel Surya Menggunakan Sensor LDR Berbasis Arduino Uno," *Ranah Research : Journal of Multidisciplinary Research and Development*, vol. 2, no. 2, pp. 222–229, 2020, [Online]. Available: <https://jurnal.ranahresearch.com/index.php/R2J/article/view/261>
- [12] R. Via Jonet, R. Fevria, Violita, D. Handayani, and W. Arjulis, "Perbandingan Pertumbuhan Tanaman Selada Hijau (*Lactuca Sativa L.*) di Dalam Dan Di Luar Greenhouse Yang Dibudidayakan Secara Hidroponik (Studi Kasus We Farm Hidroponik)," *Jurnal Pendidikan Tambusai*, vol. 8, no. 2, pp. 17941–17950, 2024.
- [13] I. S. Roidah, "Pemanfaatan Lahan Dengan Menggunakan Sistem Hidroponik," vol. 1, no. 2, pp. 43–50, 2014.
- [14] B. R. W. Giono, "Pertumbuhan Sawi Pakcoy Sistem Hidroponik Wick pada Beberapa Media Tanam," *Jurnal Agrotan*, vol. 8, no. 1, pp. 14–17, 2022.
- [15] B. H. Saputra, M. Yahya, and D. Erwanto, "Kendali suplai nutrisi dan cahaya pada hidroponik tanaman sawi pakcoy dengan sistem NFT," *Jurnal Elektro Luceat*, vol. 7, no. 1, pp. 1–8, 2021.
- [16] F. E. Putri, R. Mutholib, F. Hidayati, H. Hubaybah, M. Butar Butar, and A. Putri, "Analisis Pertumbuhan Tanaman Pakcoy Hidroponik Menggunakan Tambahan Pupuk Cair Lindi Sebagai Sumber Belajar," *Biodik*, vol. 9, no. 1, pp. 174–182, 2022, doi: 10.22437/bio.v9i1.23551.
- [17] Y. T. V Fau, "Perbedaan Pertumbuhan Tanaman Sawi Sendok (Pokcoy) Pada Media Tanam Hidroponik Dan Media Tanam Tanah Di Desa Hilinamozaaua ...," *Jurnal Education and Development*, vol. 8, no. 3, pp. 267–274, 2020, [Online]. Available: <https://journal.ipts.ac.id/index.php/ED/article/view/1954>
- [18] N. Kemala, M. Mulyani, and A. A. Falah, "Perbandingan Struktur Biaya dan Pendapatan Usahatani Sawi Pakcoy (*Brassica chinensis L.*) Metode Hidroponik dan Konvensional di Kota Jambi," *Jurnal MeA (Media Agribisnis)*, vol. 7, no. 2, p. 77, 2022, doi: 10.33087/mea.v7i2.131.

- [19] N. Khodriyah, R. Susanti, and D. J. Santri, "Pengaruh naungan terhadap pertumbuhan Sawi Pakchoy (Brassica rapa L.) pada sistem budidaya hidroponik dan sumbangannya pada pembelajaran Biologi SMA," *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan IPA 2017*, vol. 1, pp. 591–602, 2017.
- [20] Y. T. V. Fau, "Perbedaan pertumbuhan tanaman sawi sendok (pokcoy) pada media tanam hidroponik dan media tanam tanah di Desa Hilinamozaaua Raya Kecamatan Onolalu Kabupaten Nias Selatan," *Jurnal Education and development Institut Pendidikan Tapanuli Selatan*, vol. 8, no. 3, pp. 267–274, 2020.
- [21] M. Syukri and Azhar, "Analisis Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 50 WP," *Journal of Engineering and Science*, vol. 1, no. 1, pp. 1–8, 2022, doi: 10.56347/jes.v1i1.1.
- [22] T. J. Pramono, E. Erlina, Z. Arifin, and J. Saragih, "Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Pada Gedung Bertingkat," *Kilat*, vol. 9, no. 1, pp. 115–124, 2020, doi: 10.33322/kilat.v9i1.888.
- [23] S. Yuliananda, G. Sarya, and R. Retno Hastijanti, "Pengaruh Perubahan Intensitas Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Surya," *Jurnal Pengabdian LPPM Untag Surabaya Nopember*, vol. 01, no. 02, pp. 193–202, 2015.
- [24] E. Emidiana, N. Nurdiana, M. S. Al Amin, and ..., "Sosialisasi Penggunaan Panel Surya Bagi Petani Sawah Tadah Hujan," *Jurnal Pengabdian ...*, vol. 4, no. 2, pp. 629–633, 2023, [Online]. Available: <http://ejournal.sisfotek.org/index.php/jpkm/article/view/884>
- [25] P. Siagian, H. Alam, M. Fahreza, and R. J. Tampubolon, "Peningkatan daya panel surya dengan konsentrator cahaya dari bahan aluminium foil," *Journal Serambi Engineering*, vol. 9, no. 2, pp. 8490–8498, 2024.
- [26] M. A. Siregar, M. J. Daulay, A. H. Daulay, M. I. Nasution, U. Islam, and N. Sumatera, "BERBAHAN BAKAR GAS DENGAN DUKUNGAN PANEL SURYA Flowchart Pengeringan Ikan Teri," vol. 4307, no. August, pp. 1021–1027, 2024.