Karapan Network
Journal

Vol.X, No.X, January/Mei/July/October XXXX
Available online at: https://ejournal.omahtabing.com/index.php/knj/id

Sistem Irigasi Otomatis Multi Zona Berbasis IoT dengan Monitoring dan Notifikasi Melalui Aplikasi Telegram pada Smart Greenhouse Tanaman Cabai

Noviyani Dwi Saputri [1)*], Rohilia Loati [2)]

[1) 2)]*Universitas Madura, Pamekasan, Indonesia*

[1)] noviyanidwisaputri0@gmail.com, [2)] rohilialoati894@gmail.com

Abstrak

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) mendorong penerapan sistem pertanian cerdas untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan sumber daya, khususnya air, pada budidaya tanaman hortikultura seperti cabai di lingkungan greenhouse. Penyiraman konvensional yang dilakukan secara merata belum mampu mengakomodasi perbedaan kebutuhan air pada setiap zona tanam. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem irigasi otomatis multi-zona berbasis IoT dengan fitur monitoring dan notifikasi melalui aplikasi Telegram pada smart greenhouse tanaman cabai. Metodologi yang digunakan adalah studi kuantitatif dengan pendekatan eksperimental melalui perancangan, implementasi, dan pengujian sistem. Sistem dikembangkan menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor kelembapan tanah, pompa air, dan katup solenoid, serta diuji berdasarkan skenario pengujian multi-zona.Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu membaca nilai kelembapan tanah pada setiap zona secara independen dan melakukan penyiraman otomatis ketika kelembapan berada di bawah ambang batas. Data hasil pengujian menunjukkan adanya peningkatan kelembapan tanah setelah penyiraman pada seluruh zona yang diuji, serta sistem monitoring dan notifikasi melalui Telegram berjalan secara real-time dan sesuai kondisi sistem. Sistem irigasi otomatis multi-zona berbasis IoT yang dikembangkan berhasil memenuhi tujuan penelitian dengan meningkatkan ketepatan dan efisiensi penyiraman. Penelitian selanjutnya dapat difokuskan pada integrasi parameter lingkungan lain dan optimasi algoritma kontrol penyiraman.

Kata kunci: Internet of Things, Irigasi Otomatis, Multi-Zona, Smart Greenhouse, Tanaman Cabai

Article history: Received 5 April 20XX, first decision 22 April 20XX, accepted 22 August 20XX, available online 28 October 20XX

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi yang semakin pesat telah mendorong terjadinya transformasi di berbagai sektor, termasuk sektor pertanian. Konsep pertanian modern tidak lagi hanya mengandalkan metode konvensional, tetapi mulai mengintegrasikan teknologi berbasis Internet of Things (IoT) untuk meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan keberlanjutan. Penerapan IoT dalam bidang pertanian, khususnya pada sistem budidaya di lingkungan terkontrol seperti greenhouse, menjadi solusi strategis dalam menghadapi tantangan keterbatasan sumber daya, perubahan iklim, serta kebutuhan akan pengelolaan tanaman yang lebih presisi [1], [2], [3], [4], [5]. Tanaman cabai merupakan salah satu komoditas hortikultura yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan kebutuhan pasar yang stabil. Namun, budidaya tanaman cabai memiliki tantangan tersendiri, terutama dalam hal pengelolaan air dan kondisi lingkungan. Kebutuhan air tanaman cabai sangat dipengaruhi oleh fase pertumbuhan, kondisi media tanam, serta faktor lingkungan seperti suhu dan kelembapan. Penyiraman yang tidak tepat, baik berlebihan maupun kekurangan, dapat berdampak negatif terhadap pertumbuhan tanaman, menurunkan kualitas hasil panen, bahkan menyebabkan kegagalan produksi [6], [7], [8]. Oleh karena itu, pengelolaan irigasi yang tepat dan efisien menjadi aspek krusial dalam budidaya tanaman cabai.

Pada praktiknya, sistem penyiraman tanaman di greenhouse masih banyak dilakukan secara manual atau semi-otomatis dengan pengaturan waktu yang bersifat umum. Metode tersebut cenderung tidak mempertimbangkan variasi kondisi kelembapan tanah pada setiap area tanam. Padahal, dalam satu greenhouse dapat terjadi perbedaan karakteristik tanah dan kebutuhan air antar zona tanam [9], [10], [11], [12]. Penyiraman yang dilakukan secara seragam berpotensi menyebabkan ketidakseimbangan distribusi air, yang pada akhirnya berdampak pada efisiensi penggunaan air dan kesehatan tanaman. Kondisi ini menunjukkan perlunya sistem irigasi yang mampu bekerja secara adaptif dan spesifik pada setiap zona tanam. Konsep sistem irigasi otomatis berbasis multi-zona hadir sebagai pendekatan untuk mengatasi permasalahan tersebut. Dengan membagi area tanam ke dalam beberapa zona yang

*Noviyani Dwi Saputri

ISSN 2443-2xxx (online) 2598-6xxx (print) © 20XX The Authors. Published by Omah Tabing.
This is an open access article under the CC BY license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)
doi: http://dx.doi.org/10.20473/KNJ.X.X.pp-pp

masing-masing dipantau secara independen, sistem dapat memberikan penyiraman yang lebih presisi sesuai kebutuhan setiap zona. Integrasi sensor kelembapan tanah memungkinkan sistem untuk memperoleh data kondisi tanah secara real-time, sehingga keputusan penyiraman tidak lagi bergantung pada perkiraan atau jadwal tetap, melainkan berdasarkan kondisi aktual di lapangan. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip pertanian presisi (precision agriculture) yang menekankan efisiensi dan akurasi dalam pengelolaan sumber daya.

Pemanfaatan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali sistem memberikan keunggulan dari sisi kemampuan komputasi, konektivitas, serta fleksibilitas pengembangan. ESP32 mampu mengolah data dari berbagai sensor, mengendalikan aktuator seperti pompa air atau katup solenoid, serta terhubung dengan jaringan internet. Konektivitas ini membuka peluang untuk mengintegrasikan sistem irigasi dengan platform monitoring jarak jauh, sehingga pengguna dapat memantau kondisi greenhouse tanpa harus berada di lokasi secara langsung [13], [14], [15], [16], [17]. Dalam konteks monitoring dan interaksi pengguna, aplikasi Telegram dipilih sebagai media notifikasi dan komunikasi sistem. Telegram menyediakan Application Programming Interface (API) yang relatif mudah diimplementasikan serta mendukung pengiriman pesan secara real-time. Melalui bot Telegram, sistem dapat memberikan informasi terkait kondisi kelembapan tanah, status penyiraman pada setiap zona, serta notifikasi ketika penyiraman dilakukan. Selain itu, penggunaan Telegram memungkinkan pengguna untuk menerima informasi secara cepat dan praktis melalui perangkat mobile, sehingga meningkatkan kemudahan dalam pengelolaan greenhouse.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengkaji penerapan sistem irigasi otomatis berbasis IoT pada sektor pertanian. Namun, sebagian penelitian masih berfokus pada sistem penyiraman satu zona atau belum mengintegrasikan fitur monitoring dan notifikasi secara interaktif. Selain itu, implementasi sistem yang mampu membedakan kebutuhan air pada tiap zona tanam dalam satu greenhouse masih relatif terbatas [18], [19], [20]. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang menggabungkan konsep multi-zona, pengendalian otomatis berbasis sensor, serta sistem monitoring yang mudah diakses oleh pengguna. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem irigasi otomatis multi-zona berbasis IoT dengan fitur monitoring dan notifikasi melalui aplikasi Telegram pada smart greenhouse tanaman cabai. Sistem yang dikembangkan diharapkan mampu memberikan penyiraman yang lebih efisien dan tepat sasaran sesuai kondisi kelembapan tanah pada masing-masing zona [21], [22], [23], [24]. Selain itu, sistem ini diharapkan dapat membantu pengguna dalam memantau kondisi tanaman secara real-time dan meningkatkan efektivitas pengelolaan greenhouse secara keseluruhan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Internet of Things merupakan konsep integrasi antara perangkat fisik dengan sistem komputasi melalui jaringan internet yang memungkinkan proses pengumpulan, pengolahan, dan pertukaran data secara otomatis. Dalam konteks pertanian modern, IoT berperan sebagai fondasi utama dalam pengembangan sistem pertanian cerdas yang mampu meningkatkan efisiensi pengelolaan sumber daya dan pengambilan keputusan berbasis data. Penerapan IoT pada sektor pertanian memungkinkan proses pemantauan kondisi lingkungan dilakukan secara real-time, sehingga aktivitas budidaya dapat dikendalikan dengan lebih presisi [25], [26], [27], [28]. Smart greenhouse merupakan pengembangan dari sistem greenhouse konvensional dengan mengintegrasikan teknologi otomatisasi dan sensor untuk mengontrol kondisi lingkungan tanaman. Sistem ini dirancang untuk menjaga parameter penting seperti kelembapan tanah, suhu, dan kondisi penyiraman agar tetap berada pada rentang optimal bagi pertumbuhan tanaman. Dengan adanya sistem kendali otomatis [29], [30], [31], smart greenhouse mampu mengurangi ketergantungan terhadap intervensi manusia serta meminimalkan kesalahan akibat pengelolaan manual yang tidak konsisten.

Irigasi otomatis menjadi salah satu komponen penting dalam smart greenhouse, khususnya untuk tanaman hortikultura seperti cabai yang memiliki kebutuhan air spesifik. Sistem irigasi otomatis bekerja dengan memanfaatkan sensor sebagai input utama untuk menentukan kapan dan berapa lama penyiraman dilakukan. Pendekatan ini memberikan keunggulan dibandingkan penyiraman berbasis waktu karena keputusan penyiraman didasarkan pada kondisi aktual media tanam [32], [33], [34], [35]. Dengan demikian, penggunaan air dapat lebih efisien dan sesuai dengan kebutuhan tanaman. Konsep irigasi multi-zona dikembangkan untuk mengakomodasi perbedaan kondisi lingkungan dan kebutuhan air pada setiap area tanam. Dalam satu greenhouse, variasi kelembapan tanah dapat terjadi akibat perbedaan paparan cahaya, sirkulasi udara, atau karakteristik media tanam. Sistem multi-zona membagi area tanam ke dalam beberapa zona independen yang masing-masing dilengkapi sensor dan aktuator tersendiri. Pendekatan ini memungkinkan pengelolaan penyiraman dilakukan secara spesifik dan terarah, sehingga meningkatkan akurasi distribusi air dan menjaga keseragaman pertumbuhan tanaman.

Sensor kelembapan tanah berfungsi sebagai komponen utama dalam sistem irigasi otomatis. Sensor ini digunakan untuk mengukur kadar air dalam media tanam dan mengubahnya menjadi data digital yang dapat diproses oleh mikrokontroler. Informasi dari sensor kelembapan tanah menjadi dasar dalam penentuan kondisi kering atau basah

suatu zona, sehingga sistem dapat memutuskan apakah penyiraman perlu dilakukan. Penggunaan sensor ini mendukung prinsip pengendalian berbasis kondisi nyata dan meningkatkan keandalan sistem. ESP32 merupakan mikrokontroler yang banyak digunakan dalam pengembangan sistem IoT karena memiliki kemampuan pemrosesan yang baik serta dukungan konektivitas nirkabel [36], [37], [38]. Mikrokontroler ini berperan sebagai pusat kendali yang menerima data dari sensor, memproses logika pengambilan keputusan, dan mengendalikan aktuator seperti pompa air atau katup solenoid melalui modul relay. Selain itu, ESP32 memungkinkan integrasi sistem dengan layanan berbasis internet untuk keperluan monitoring dan notifikasi jarak jauh.

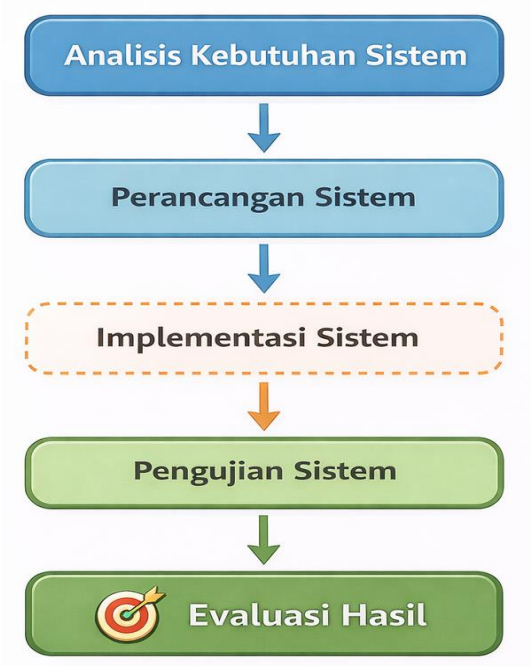
Monitoring sistem irigasi secara real-time menjadi aspek penting dalam pengelolaan smart greenhouse. Dengan adanya monitoring, pengguna dapat mengetahui kondisi kelembapan tanah dan status penyiraman tanpa harus berada di lokasi secara langsung. Informasi ini membantu pengguna dalam melakukan evaluasi kinerja sistem serta memastikan bahwa proses penyiraman berjalan sesuai dengan kebutuhan tanaman [39], [40], [41]. Aplikasi Telegram dimanfaatkan sebagai media monitoring dan notifikasi karena mendukung komunikasi data secara real-time dan mudah diakses melalui perangkat mobile. Melalui bot Telegram, sistem dapat mengirimkan informasi terkait kondisi tiap zona, status penyiraman, serta notifikasi ketika sistem melakukan tindakan tertentu. Integrasi Telegram dalam sistem irigasi otomatis memberikan kemudahan bagi pengguna dalam memantau dan mengelola greenhouse secara efisien dan responsif.

III. METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan pendekatan perancangan dan pengujian sistem. Metode ini digunakan untuk mengembangkan serta mengevaluasi sistem irigasi otomatis multi-zona berbasis Internet of Things yang diterapkan pada smart greenhouse tanaman cabai [42], [43], [44]. Fokus penelitian ini adalah pada perancangan sistem, mekanisme kerja irigasi otomatis, serta pengujian fungsional sistem berdasarkan skenario yang telah ditetapkan.

1. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian disusun secara sistematis untuk memastikan proses pengembangan sistem berjalan terstruktur. Alur tahapan penelitian dimulai dari analisis kebutuhan hingga pengujian sistem [45]. Diagram alur tahapan penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alur tahapan penelitian

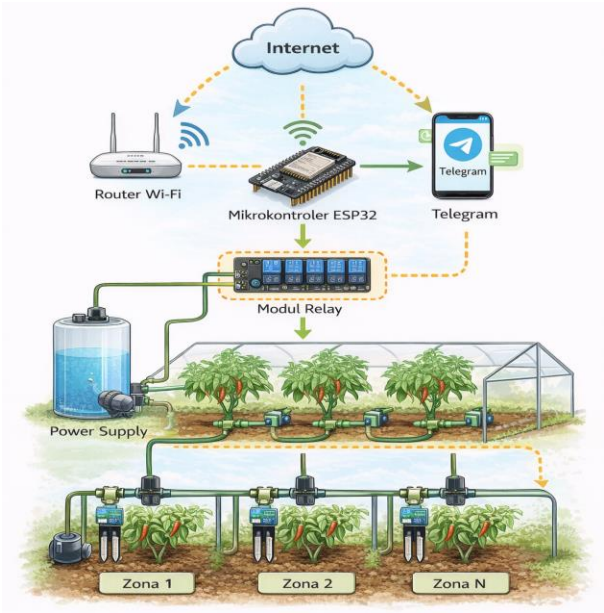
Tahap pertama adalah analisis kebutuhan sistem untuk mengidentifikasi permasalahan pada proses penyiraman tanaman cabai di greenhouse. Analisis ini meliputi kebutuhan pengelolaan air secara otomatis, pembagian area tanam ke dalam beberapa zona, serta kebutuhan monitoring jarak jauh. Tahap berikutnya adalah perancangan sistem yang

mencakup perancangan perangkat keras dan perangkat lunak. Setelah perancangan selesai, dilakukan implementasi sistem dan pengujian untuk memastikan seluruh fungsi sistem berjalan sesuai dengan perancangan.

2. Arsitektur Sistem

Arsitektur sistem irigasi otomatis dirancang dengan konsep multi-zona, di mana setiap zona tanam memiliki sensor kelembapan tanah dan aktuator penyiraman yang bekerja secara independen. Data kelembapan tanah dari masing-masing sensor dikirimkan ke mikrokontroler ESP32 untuk diproses [46], [47]. Berdasarkan kondisi kelembapan tanah, sistem menentukan apakah penyiraman perlu dilakukan pada zona tertentu. Informasi kondisi sistem selanjutnya dikirimkan ke aplikasi Telegram sebagai media monitoring dan notifikasi.

Arsitektur sistem irigasi otomatis multi-zona berbasis IoT ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Arsitektur sistem irigasi otomatis multi-zona berbasis IoT

3. Perangkat Keras dan Perangkat Lunak

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari mikrokontroler ESP32, sensor kelembapan tanah, modul relay, pompa air, katup solenoid, catu daya, serta media tanam dan greenhouse sebagai lingkungan pengujian [48], [49]. Daftar lengkap perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Daftar perangkat keras sistem

No	Perangkat Keras	Jumlah	Fungsi Utama
1	Mikrokontroler ESP32	1 unit	Pusat kendali sistem, pengolah data sensor, dan komunikasi IoT
2	Sensor Kelembapan Tanah	N unit	Mengukur kelembapan tanah pada setiap zona tanam
3	Modul Relay	1 set	Mengendalikan pompa air dan katup solenoid
4	Pompa Air	1 unit	Menyalurkan air ke sistem irigasi
5	Katup Solenoid	N unit	Mengatur aliran air ke masing-masing zona irigasi
6	Router Wi-Fi	1 unit	Menghubungkan ESP32 dengan jaringan internet
7	Catu Daya (Power Supply)	1 unit	Menyediakan sumber tegangan untuk seluruh komponen sistem
8	Greenhouse & Media Tanam	1 set	Lingkungan implementasi dan pengujian sistem irigasi otomatis

Perangkat lunak sistem dikembangkan menggunakan Arduino IDE sebagai lingkungan pemrograman. Program pada mikrokontroler ESP32 dirancang untuk membaca data sensor kelembapan tanah secara berkala, memproses

logika pengambilan keputusan penyiraman, serta mengirimkan data kondisi sistem ke aplikasi Telegram melalui bot yang telah dikonfigurasi.

4. Metode Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk memastikan seluruh fungsi sistem berjalan sesuai dengan perancangan. Pengujian mencakup pembacaan sensor kelembapan tanah, respon sistem terhadap kondisi kelembapan, pengendalian aktuator penyiraman pada setiap zona, serta pengiriman informasi monitoring dan notifikasi melalui aplikasi Telegram. Skenario pengujian sistem irigasi otomatis disusun untuk menguji kinerja sistem pada berbagai kondisi, baik pada satu zona maupun multi-zona [50], [51], [52]. Skenario pengujian tersebut disajikan pada Tabel 2 dan digunakan sebagai acuan dalam proses evaluasi sistem.

Tabel 2. Skenario pengujian sistem irigasi otomatis

No	Jenis Pengujian	Kondisi Pengujian	Prosedur Pengujian	Indikator Keberhasilan
1	Pembacaan sensor kelembapan tanah	Sensor terpasang pada setiap zona	Sistem membaca data sensor pada semua zona	Data kelembapan tiap zona terbaca
2	Penyiraman otomatis	Kelembapan tanah di bawah ambang batas	Sistem mengaktifkan pompa dan katup solenoid	Penyiraman berjalan otomatis
3	Kondisi normal	Kelembapan tanah di atas ambang batas	Sistem tidak mengaktifkan penyiraman	Sistem berada pada kondisi standby
4	Pengujian multi-zona selektif	Satu zona kering, zona lain normal	Penyiraman hanya dilakukan pada zona yang membutuhkan	Tidak terjadi penyiraman berlebih
5	Pengujian multi-zona simultan	Lebih dari satu zona di bawah ambang batas	Sistem mengaktifkan penyiraman pada zona yang membutuhkan	Setiap zona bekerja independen
6	Pengujian durasi penyiraman	Penyiraman sedang berlangsung	Sistem menghentikan penyiraman setelah durasi tercapai	Penyiraman berhenti otomatis
7	Pengujian notifikasi Telegram	Terjadi perubahan status sistem	Sistem mengirimkan pesan notifikasi ke aplikasi Telegram	Notifikasi diterima pengguna
8	Pengujian konektivitas sistem	Koneksi internet terputus sementara	Sistem tetap menjalankan kontrol lokal	Sistem tetap berfungsi
9	Pengujian stabilitas sistem	Pengujian dilakukan secara berulang	Sistem dijalankan dalam jangka waktu tertentu	Tidak terjadi error atau gangguan

IV. HASIL

Hasil penelitian ini diperoleh dari pengujian sistem irigasi otomatis multi-zona berbasis Internet of Things yang telah dirancang dan diimplementasikan pada smart greenhouse tanaman cabai. Pengujian dilakukan berdasarkan skenario pengujian yang telah ditetapkan pada bagian metode penelitian dan disajikan pada Tabel 2. Bagian ini menyajikan hasil implementasi sistem, hasil pengujian irigasi otomatis, serta hasil monitoring dan visualisasi data kelembapan tanah.

1. Hasil Implementasi Sistem

Sistem irigasi otomatis multi-zona berhasil diimplementasikan sesuai dengan perancangan arsitektur sistem yang telah ditetapkan. Setiap zona tanam dilengkapi dengan sensor kelembapan tanah dan aktuator penyiraman yang

bekerja secara independen. Mikrokontroler ESP32 berfungsi sebagai pusat kendali sistem untuk memproses data sensor dan mengendalikan proses penyiraman otomatis. Arsitektur sistem irigasi otomatis multi-zona berbasis IoT yang diimplementasikan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2. Berdasarkan hasil implementasi, sistem mampu menjalankan fungsi pembacaan sensor, pengendalian aktuator, serta pengiriman data monitoring melalui aplikasi Telegram.

2. Hasil Pengujian Pembacaan Sensor Kelembapan Tanah

Pengujian pembacaan sensor kelembapan tanah dilakukan pada setiap zona tanam untuk memastikan sensor mampu membaca kondisi media tanam dengan baik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor pada masing-masing zona dapat mendeteksi perubahan kondisi kelembapan tanah secara konsisten. Data kelembapan yang terbaca digunakan sebagai input utama dalam proses pengambilan keputusan penyiraman otomatis oleh sistem. Informasi hasil pembacaan sensor juga berhasil dikirimkan ke aplikasi Telegram sebagai bagian dari fitur monitoring sistem. Hal ini menunjukkan bahwa integrasi antara sensor, mikrokontroler, dan media monitoring berjalan sesuai dengan perancangan.

3. Hasil Pengujian Irigasi Otomatis Multi-Zona

Pengujian irigasi otomatis dilakukan dengan mengacu pada skenario pengujian yang telah ditetapkan pada Tabel 2. Berdasarkan hasil pengujian, sistem mampu melakukan penyiraman secara otomatis pada zona yang memiliki kondisi kelembapan tanah di bawah ambang batas yang ditentukan. Pada zona dengan kondisi kelembapan tanah yang berada di atas ambang batas, sistem tidak mengaktifkan proses penyiraman. Pengujian pada kondisi multi-zona menunjukkan bahwa sistem dapat mengelola penyiraman secara selektif dan independen pada setiap zona tanam. Penyiraman hanya dilakukan pada zona yang membutuhkan air tanpa mempengaruhi zona lain yang berada pada kondisi normal. Hasil pengujian irigasi otomatis per zona disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian irigasi otomatis per zona (nilai kelembapan sebelum dan sesudah penyiraman)

No	Zona	Kelembapan Tanah Sebelum Penyiraman (%)	Kelembapan Tanah Sesudah Penyiraman (%)	Status Penyiraman	Keterangan
1	Zona 1	63	76	Aktif	Terjadi peningkatan kelembapan tanah
2	Zona 2	72	84	Aktif	Penyiraman berjalan sesuai sistem
3	Zona 3	80	92	Aktif	Kelembapan mencapai kondisi optimal
4	Zona 4	83	93	Aktif	Sistem berhenti otomatis setelah target tercapai

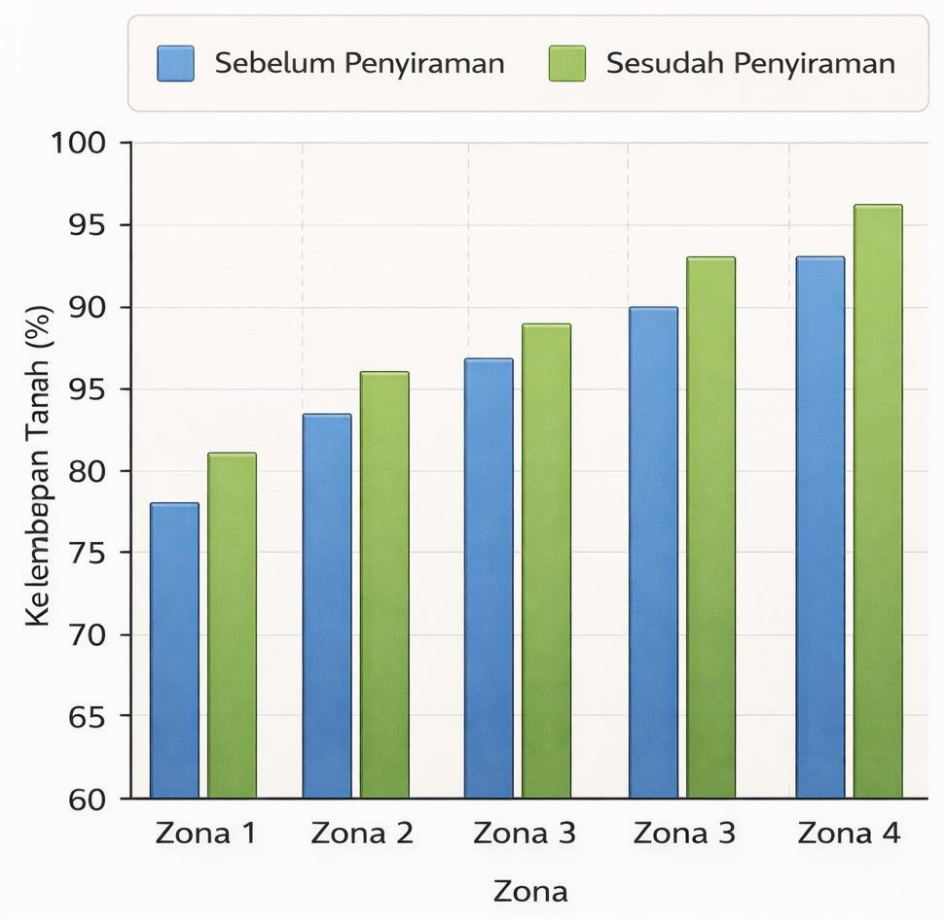
4. Hasil Monitoring dan Notifikasi

Hasil pengujian fitur monitoring menunjukkan bahwa sistem berhasil mengirimkan informasi kondisi kelembapan tanah dan status penyiraman ke aplikasi Telegram. Notifikasi dikirimkan setiap kali sistem melakukan penyiraman atau ketika terjadi perubahan kondisi sistem. Informasi yang diterima pengguna sesuai dengan kondisi aktual sistem di lapangan dan diterima secara real-time. Monitoring melalui aplikasi Telegram memudahkan pengguna dalam melakukan pengawasan terhadap kondisi setiap zona tanam tanpa harus berada langsung di lokasi greenhouse.

5. Hasil Perbandingan Kelembapan Tanah

Perbandingan nilai kelembapan tanah sebelum dan sesudah penyiraman menunjukkan adanya peningkatan kelembapan pada zona yang dilakukan penyiraman. Visualisasi perbandingan nilai kelembapan tanah tersebut disajikan dalam bentuk grafik untuk memudahkan analisis hasil pengujian. Grafik perbandingan nilai kelembapan tanah sebelum dan sesudah penyiraman pada masing-masing zona ditunjukkan pada Gambar 3. Grafik tersebut

memperlihatkan bahwa sistem irigasi otomatis mampu meningkatkan kelembapan tanah hingga berada pada kondisi yang diharapkan setelah proses penyiraman dilakukan.



Gambar 3. Grafik perbandingan nilai kelembapan tanah sebelum dan sesudah penyiraman

V. PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem irigasi otomatis multi-zona berbasis Internet of Things yang dikembangkan mampu bekerja sesuai dengan tujuan perancangan. Berdasarkan hasil pengujian yang telah disajikan pada bagian hasil, sistem dapat membaca nilai kelembapan tanah pada setiap zona secara independen, melakukan penyiraman otomatis berdasarkan kondisi aktual media tanam, serta menyediakan fitur monitoring dan notifikasi melalui aplikasi Telegram. Integrasi antara sensor, mikrokontroler ESP32, aktuator, dan media komunikasi berjalan dengan baik selama proses pengujian sistem. Penerapan konsep multi-zona pada sistem irigasi memberikan keunggulan dalam pengelolaan penyiraman tanaman cabai di smart greenhouse. Sistem tidak lagi melakukan penyiraman secara merata, melainkan menyesuaikan kebutuhan air pada masing-masing zona tanam. Hal ini terlihat dari hasil pengujian pada Tabel 3 dan visualisasi grafik pada Gambar 3, yang menunjukkan adanya peningkatan nilai kelembapan tanah setelah penyiraman dilakukan pada zona yang membutuhkan air. Dengan pendekatan ini, sistem berpotensi meningkatkan efisiensi penggunaan air serta menjaga kondisi kelembapan tanah tetap berada pada rentang yang diharapkan.

Fitur monitoring dan notifikasi melalui aplikasi Telegram juga memberikan nilai tambah terhadap sistem yang dikembangkan. Pengguna dapat memantau kondisi kelembapan tanah dan status penyiraman secara real-time tanpa harus berada langsung di lokasi greenhouse. Informasi yang disampaikan melalui Telegram memudahkan pengguna dalam melakukan pengawasan dan pengambilan keputusan terkait pengelolaan irigasi tanaman cabai.

Secara lebih rinci, pembahasan hasil penelitian ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Kinerja Sistem Irigasi Otomatis Multi-Zona

Sistem mampu mengelola penyiraman pada setiap zona secara selektif sesuai dengan kondisi kelembapan tanah. Penyiraman hanya dilakukan pada zona yang berada di bawah ambang batas, sementara zona lain tetap dalam kondisi tidak disiram. Hal ini menunjukkan bahwa logika kontrol yang diterapkan pada sistem berjalan sesuai dengan perancangan.

2. Perubahan Nilai Kelembapan Tanah
   Berdasarkan data pada Tabel 3 dan Gambar 3, terjadi peningkatan nilai kelembapan tanah setelah penyiraman dilakukan. Peningkatan ini menunjukkan bahwa sistem irigasi otomatis mampu memberikan suplai air yang efektif hingga mencapai kondisi kelembapan yang diharapkan, serta menghentikan penyiraman secara otomatis ketika target tercapai.
3. Efektivitas Monitoring dan Notifikasi
   Monitoring dan notifikasi melalui Telegram memungkinkan pengguna memperoleh informasi kondisi sistem secara cepat dan praktis. Fitur ini mendukung pengelolaan smart greenhouse yang lebih efisien, karena pengguna dapat memantau sistem dari jarak jauh dan mengetahui status penyiraman setiap zona secara real-time.

VI. KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem irigasi otomatis multi-zona berbasis Internet of Things pada smart greenhouse tanaman cabai. Sistem yang dikembangkan memanfaatkan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali, sensor kelembapan tanah sebagai input utama, serta aktuator berupa pompa air dan katup solenoid untuk mengatur proses penyiraman pada setiap zona tanam. Selain itu, sistem dilengkapi dengan fitur monitoring dan notifikasi melalui aplikasi Telegram untuk memudahkan pengawasan kondisi sistem secara jarak jauh. Berdasarkan hasil pengujian, sistem mampu membaca nilai kelembapan tanah pada setiap zona secara independen dan melakukan penyiraman otomatis berdasarkan kondisi aktual media tanam. Penyiraman hanya dilakukan pada zona yang memiliki kelembapan tanah di bawah ambang batas yang ditentukan, sehingga sistem dapat bekerja secara selektif dan efisien. Hasil pengujian juga menunjukkan adanya peningkatan nilai kelembapan tanah setelah proses penyiraman dilakukan, yang menandakan bahwa sistem mampu menjaga kondisi kelembapan tanah sesuai dengan kebutuhan tanaman cabai.

Fitur monitoring dan notifikasi melalui aplikasi Telegram terbukti berfungsi dengan baik dalam menyampaikan informasi kondisi kelembapan tanah dan status penyiraman secara real-time. Dengan demikian, sistem irigasi otomatis multi-zona berbasis IoT ini dapat menjadi solusi yang efektif dalam mendukung pengelolaan irigasi pada smart greenhouse tanaman cabai serta berpotensi meningkatkan efisiensi penggunaan air dan kemudahan pengelolaan sistem.

Kontribusi Penulis: Noviyani Dwi Saputri: berperan dalam perancangan penelitian, penyusunan metodologi penelitian, perancangan dan implementasi sistem irigasi otomatis, pelaksanaan pengujian sistem, analisis data hasil pengujian, serta penulisan naskah jurnal. **Rohilia Loati:** berperan dalam supervisi penelitian, pengarahan konseptual dan metodologis, validasi hasil penelitian, serta penyuntingan dan penelaahan naskah jurnal.

Penulis telah membaca dan menyetujui versi naskah yang telah diterbitkan.

Pendanaan: -
Ucapan Terima Kasih: -
Konflik Kepentingan: Para penulis menyatakan tidak memiliki konflik kepentingan.
Ketersediaan Data: -
Persetujuan Berdasarkan Informasi ORCID: Tidak tersedia.
Penulis Pertama: https: -
Penulis Kedua: https: -
Penulis Ketiga: -

REFERENSI

[1] F. P. E. Putra, S. R. Sutarsih, S. Sofiyulloh, and ..., “Optimalisasi Perancangan Aplikasi Manajemen Data Koloman, Di Desa Pulau Mandangin Sampang–Madura Berbasis Website,” 2024, *jurnal.univrab.ac.id*. doi: 10.36341/rabit.v9i2.4840.

[2] F. P. E. Putra, R. A. Mustafida, and A. Nahriyah, “Perancangan Jaringan Nirkabel Berbasis Mesh untuk Menun-jang Aplikasi Smart City,” 2025, *researchgate.net*. doi: 10.55606/jitek.v5i1.5934.

[3] F. P. E. Putra and N. Saadah, “Interaktif dan Personalisasi Peningkatan Pembelajaran IoT di Sekolah,” *J. Sistim Inf. dan Teknol.*, vol. 5, no. 2, pp. 175–181, 2023, doi: 10.37034/jsisfotek.v5i2.236.

[4] F. P. Eka Putra, Amir Hamzah, W. Agel, and R. O. Firmansyah Kusuma, "Impelementasi Sistem Keamanan Jaringan Mikrotik Menggunakan Firewall Filtering dan Port Knocking," *J. Sistim Inf. dan Teknol.*, pp. 82–87, 2024, doi: 10.60083/jsisfotek.v5i4.329.

[5] F. P. E. Putra, A. M. U. Solichin, and ..., "Pemanfaatan Teknologi Wireless dan Mobile Network Berbasis 5G Untuk Pemerataan Akses Jaringan di Indonesia," *Infotek J. …*, 2025, doi: 10.29408/jit.v8i2.30559.

[6] F. P. E. Putra, F. Fauzan, S. Syirofi, M. Mursidi, D. Wahid, and A. Nuraini, "Sistem Pengendali Lingkungan Pertanian Dengan Wireless Sensor Network Untuk Mengoptimalkan Budidaya Hidroponik," 2024. doi: 10.47709/digitech.v3i2.3461.

[7] N. Muhammad Akbar, F. Prasetyo Eka Putra, K. Zulfana Imam, and M. Umar Mansyur, "Analisis Kinerja dan Interopabilitas STB Sebagai Server Penilaian Akhir Tahun," *J. Inf. dan Teknol.*, pp. 91–96, 2023, doi: 10.37034/jidt.v5i2.365.

[8] A. Baidawi, "JARINGAN SENSOR NIRKABEL DAN IoT UNTUK KOTA PINTAR PAMEKASAN," *J. Sist. Inf. Kaputama*, vol. 7, no. 2, pp. 104–110, 2023, doi: 10.59697/jsik.v7i2.108.

[9] F. P. E. Putra, K. Mufidah, R. M. Ilhamsyah, S. A. Efendy, and S. N. R. Barokah, "Tinjauan Performa RouterOS Mikrotik dalam Jaringan Internet: Analisis Kinerja dan Kelayakan," 2024. doi: 10.47709/digitech.v3i2.3446.

[10] F. P. Eka Putra, M. N. Arifin, K. Zulfana Imam, E. Saputra, and Sofiyullah, "Pengembangan Sistem Informasi Laboratorium Terintegerasi Sistem Akademik Menggunakan Agile Scrum," *J. Inf. dan Teknol.*, pp. 109–119, 2023, doi: 10.37034/jidt.v5i2.367.

[11] H. H. Goh *et al.*, "Sustainable development through the balancing of photovoltaic charging facilities and agriculture for energy harvesting," *Appl. Energy*, vol. 377, 2025, doi: 10.1016/j.apenergy.2024.124463.

[12] K. Riaz, N. Bano, R. U. Hassan, and M. Zulfiqar, "Full solar spectrum energy harvesting with CuInSe2 based photovoltaic cell: Device simulation and impedance spectroscopy analysis," *Opt. Commun.*, vol. 577, 2025, doi: 10.1016/j.optcom.2024.131399.

[13] X. Tang, X. Liu, G. Xie, Y. Cui, and D. Li, "Prototype Implementation and Experimental Evaluation for LoRa-Backscatter Communication Systems With RF Energy Harvesting and Low Power Management," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 73, no. 7, pp. 4811–4825, 2025, doi: 10.1109/TCOMM.2024.3522052.

[14] V. Thulasi, P. Lakshmi, and J. Jeeva, "Design and fabrication of an optimized flexible piezoelectric energy harvester for smart vehicle application," *J. Brazilian Soc. Mech. Sci. Eng.*, vol. 47, no. 5, 2025, doi: 10.1007/s40430-025-05514-z.

[15] M. Joshan, J. H. Saito, and E. C. Pedrino, "Improved Parallel Algorithm for Finding Minimum Cuts in Stochastic Flow Networks," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 23, no. 4, pp. 285–293, 2025, doi: 10.1109/TLA.2025.10930375.

[16] M. K. Singh, S. K. Pippal, and V. Sharma, "Lightweight blockchain mechanism for secure data transmission in healthcare system," *Biomed. Signal Process. Control*, vol. 102, 2025, doi: 10.1016/j.bspc.2024.107411.

[17] A. S. Yaro, F. Maly, P. Pražák, and K. Maly, "Enhancing Fingerprint Localization Accuracy With Inverse Weight-Normalized Context Similarity Coefficient-Based Fingerprint Similarity Metric," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 73642–73651, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3405350.

[18] S. Nanda *et al.*, "Composition driven structural, dielectric, ferroelectric, and piezoelectric performances of MnO2 modified (Ba0.85Ca0.15) (Zr0.1Ti0.9)O3 ceramics," *Mater. Today Commun.*, vol. 48, 2025, doi: 10.1016/j.mtcomm.2025.113569.

[19] P. Pierleoni, R. Concetti, A. Belli, L. Palma, S. Marzorati, and M. Esposito, "A Cloud-IoT Architecture for Latency-Aware Localization in Earthquake Early Warning," *Sensors*, vol. 23, no. 20, 2023, doi: 10.3390/s23208431.

[20] X. Xia *et al.*, "A self-powered and self-sensing wave energy harvester based on a three-rotor motor of axle disk type for sustainable sea," *Energy*, vol. 312, 2024, doi: 10.1016/j.energy.2024.133512.

[21] M. Y. B. Murthy and A. Koteswararao, "Applications, merits and demerits of WSN with IoT: a detailed review," *Int. J. Auton. Adapt. Commun. Syst.*, vol. 17, no. 1, pp. 68–88, 2024, doi: 10.1504/IJAACS.2024.135941.

[22] A. Algarni, T. Acarer, and Z. Ahmad, "An Edge Computing-Based Preventive Framework With Machine Learning- Integration for Anomaly Detection and Risk Management in Maritime Wireless Communications," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 53646–53663, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3387529.

[23] M. Usman Hashmi, A. Imran, A. Bilal, M. Garayev, H. Fathi, and S. Dhelim, "Resource-Limited Skew Estimation and Correction (RLSEC) for Edge Devices in Delay Non-Tolerant Networks," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 159597–159610, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3469581.

[24] Y. Dai, X. Jiang, K. Wang, and K. Li, "A phototunable self-oscillatory bistable seesaw via liquid crystal elastomer fibers," *Chaos, Solitons and Fractals*, vol. 200, 2025, doi: 10.1016/j.chaos.2025.117041.

[25] S. Ullas, B. U. Uma Maheswari, S. Ponnekanti, and T. M. M. Kumar, "Automated System to Optimize the Process and Energy Consumption for Sewage Treatment Plant Based on Gas Emission by Using Sensors and IoT," *IEEE Access*, vol. 13, pp. 115972–115989, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3585283.

[26] I. Zada *et al.*, "Fine-Tuning Cyber Security Defenses: Evaluating Supervised Machine Learning Classifiers for Windows Malware Detection," *Comput. Mater. Contin.*, vol. 80, no. 2, pp. 2917–2939, 2024, doi: 10.32604/cmc.2024.052835.

[27] S. I. Mohammad *et al.*, "Novel multimodal shunt circuit architecture for simultaneous subsonic flutter control and energy scavenging," *Smart Struct. Syst.*, vol. 36, no. 2, pp. 111–122, 2025, doi: 10.12989/sss.2025.36.2.111.

[28] S. R. Eftekhari, A. Mosallanejad, H. Pairo, and J. Rodríguez, "Efficiency Enhancement in Synchronous Reluctance Motors by Active Flux Adjustment Based on Robust Model-Based Approaches," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 127731–127748, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3440037.

[29] M. Boudouane, L. Elmahni, R. Zriouile, and S. A. Ait El Ouahab, "Advancing solar energy harvesting: Artificial intelligence approaches to maximum power point tracking," *Int. J. Power Electron. Drive Syst.*, vol. 16, no. 1, pp. 55–69, 2025, doi: 10.11591/ijpeds.v16.i1.pp55-69.

[30] S. Li, P. Gong, W. Wang, J. Liu, Z. Feng, and X. Gao, "A Capacity-Constrained Weighted Clustering Algorithm for UAV Self-Organizing Networks Under Interference," *Drones*, vol. 9, no. 8, 2025, doi: 10.3390/drones9080527.

[31] V.-V. van Vo, D.-T. Le, S. M. Raza, M. Kim, and H. Choo, "Active Neighbor Exploitation for Fast Data Aggregation in IoT Sensor Networks," *IEEE Internet Things J.*, vol. 11, no. 8, pp. 13199–13216, 2024, doi: 10.1109/JIOT.2024.3354730.

[32] L. Zhou *et al.*, "A superhydrophobic droplet triboelectric nanogenerator inspired by water strider for self-powered smart greenhouse," *Nano Energy*, vol. 129, 2024, doi: 10.1016/j.nanoen.2024.109985.

[33] M. Jalasri and L. Lakshmanan, "An improved data aggregation for fog computing devices in internet of things," *Int. J. Netw. Virtual Organ.*, vol. 30, no. 2, pp. 114–133, 2024, doi: 10.1504/IJNVO.2024.137550.

[34] S. Sangeetha, T. A. A. Victoire, M. Manoharan, and R. Sowmya, "ExAq-MSPP: An Energy-Efficient Mobile Sink Path Planning Using Extended Aquila Optimization Algorithm," *Int. J. Comput. Intell. Syst.*, vol. 17, no. 1, 2024, doi: 10.1007/s44196-024-00670-x.

[35] J. Naranjo-Pérez, M. Infantes, C. Gallegos-Calderón, and J. F. Jiménez-Alonso, "The trade-off between structural control and vibration-

based energy harvesting: Experimental assessment on a lightweight footbridge," *Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 229, 2025, doi: 10.1016/j.ymssp.2025.112523.

[36] X. Lu *et al*., "An Integrated Self-Powered Wheel- Speed Monitoring System Utilizing Piezoelectric-Electromagnetic-Triboelectric Hybrid Generator," *IEEE Sens. J.*, vol. 24, no. 10, pp. 16805–16815, 2024, doi: 10.1109/JSEN.2024.3384569.

[37] J. Tan *et al.*, "Critical transition conditions from conventional to orbital electrowetting of a water droplet in oil environment," *Phys. Fluids*, vol. 37, no. 6, 2025, doi: 10.1063/5.0264993.

[38] A. Mohamed Hadjkouider *et al.*, "A Review of Service Selection Strategies in Mobile IoT Networks," *IEEE Open J. Commun. Soc.*, vol. 5, pp. 3229–3244, 2024, doi: 10.1109/OJCOMS.2024.3400981.

[39] M. Kuliha and S. Varma, "Secure internet of medical things based electronic health records scheme in trust decentralized loop federated learning consensus blockchain," *Int. J. Intell. Networks*, vol. 5, pp. 161–174, 2024, doi: 10.1016/j.ijin.2024.03.001.

[40] G. Tabella, D. Ciuonzo, N. Paltrinieri, and P. S. Salvo Rossi, "Bayesian Fault Detection and Localization Through Wireless Sensor Networks in Industrial Plants," *IEEE Internet Things J.*, vol. 11, no. 8, pp. 13231–13246, 2024, doi: 10.1109/JIOT.2024.3359646.

[41] C.-H. Cao, Y.-N. Tang, H. Zhou, Y.-L. Li, and Z. Marszalek, "DBSCAN-Based Automatic De-Duplication for Software Quality Inspection Data," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 17882–17890, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3164192.

[42] G. Li, T. Shang, T. Tang, and Q. Li, "Maximizing effective secrecy throughput in SLIPT-based underwater wireless optical communication systems with artificial noise," *Appl. Opt.*, vol. 64, no. 18, pp. 5027–5036, 2025, doi: 10.1364/AO.558644.

[43] M. A. Tawfeek, N. Yanes, L. Menzli, G. Aldehim, and M. A. Mahmood, "Adaptive Deep Learning Model to Enhance Smart Greenhouse Agriculture," *Comput. Mater. Contin.*, vol. 77, no. 2, pp. 2545–2564, 2023, doi: 10.32604/cmc.2023.042179.

[44] S. A. Ullah, N. Mazhar, A. Kaushik, A. Mahmood, M. Gidlund, and S. A. Hassan, "DRL-Enhanced QoS-Aware NOMA for Ambient IoT: Resource Allocation Optimization With RIS and RF Energy Harvesting Diversity," *IEEE Commun. Stand. Mag.*, vol. 9, no. 3, pp. 49–56, 2025, doi: 10.1109/MCOMSTD.2025.3572643.

[45] K. Abedi, R. Ansari, and M. K. Hassanzadeh-Aghdam, "Effects of aspect ratio and arrangement of PZT-7A piezoelectric fillers on energy harvesting performance of PVDF composite cantilevers," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part C J. Mech. Eng. Sci.*, vol. 239, no. 17 Special Issue: Materials, processes, and procedures: looking for a more sustainable world, pp. 6968–6982, 2025, doi: 10.1177/09544062251343709.

[46] J. Maeng, J. Jeong, I. Park, M. Shim, and C. Kim, "A Time-Based Direct MPPT Technique for Low-Power Photovoltaic Energy Harvesting," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 71, no. 5, pp. 5375–5380, 2024, doi: 10.1109/TIE.2023.3288183.

[47] E. A. Juanda, N. F. A. Hakim, M. Sarosa, D. I. Saputra, S. A. T. A. Al Azhima, and M. A. Al Qibtiya, "Micropower design of energy harvesting based on piezoelectric transducer array circuit," *Int. J. Power Electron. Drive Syst.*, vol. 15, no. 3, pp. 1767–1776, 2024, doi: 10.11591/ijpeds.v15.i3.pp1767-1776.

[48] X. Yuan, "Improving data security and privacy in sports health monitoring through blockchain," *Syst. Soft Comput.*, vol. 7, 2025, doi: 10.1016/j.sasc.2025.200308.

[49] C. Liu *et al*., "Synchronization of broadband energy harvesting and vibration mitigation via 1:2 internal resonance," *Int. J. Mech. Sci.*, vol. 301, 2025, doi: 10.1016/j.ijmecsci.2025.110503.

[50] U. U. Tariq *et al.*, "Energy-Aware Successor Tree Consistent EDF Scheduling for PCTGs on MPSoCs," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 75761–75780, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3403418.

[51] H. Safi, A. I. Jehangiri, Z. Ahmad, M. A. Ala'anzy, O. I. Alramli, and A. Algarni, "Design and Evaluation of a Low-Power Wide-Area Network (LPWAN)-Based Emergency Response System for Individuals with Special Needs in Smart Buildings," *Sensors*, vol. 24, no. 11, 2024, doi: 10.3390/s24113433.

[52] Z. U. Rizqi, S.-Y. Chou, and A. Khairunisa, "Energy harvesting for automated storage and retrieval system with sustainable configuration of storage assignment and input/output point," *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.*, vol. 192, 2024, doi: 10.1016/j.tre.2024.103781.