

Perancangan Sistem IoT pada Alat SedimTrack-IoT (*Internet of Things*)

1st Dini Fitria Arifah
School of Electrical Engineering
Telkom University
 Bandung, Indonesia
 dinifitri00@gmail.com

2nd Bayu Lesmana
School of Electrical Engineering
Telkom University
 Bandung, Indonesia
 bayul769@gmail.com

3rd Muhamad Auli'a Ardani
School of Electrical Engineering
Telkom University
 Bandung, Indonesia
 muhammadardan997@gmail.com

Abstrak — Pemindaian visual sedimen secara otomatis menjadi bagian penting dalam mendukung kegiatan dokumentasi geologi dan lingkungan. Pendekatan konvensional yang menggunakan kamera ponsel secara manual sering kali menghasilkan data visual yang tidak konsisten akibat variasi sudut, jarak, serta pencahayaan. Penelitian ini memfokuskan pada perancangan sistem *Internet of Things* (IoT) pada alat SedimTrack-IoT, khususnya pada aspek sistem elektronik dan komunikasi data. Mikrokontroler ESP32 digunakan sebagai unit pengendali utama yang terhubung dengan *motor stepper* untuk mengerakkan lintasan kamera secara presisi. Sistem dirancang agar mampu berkomunikasi secara *real-time* menggunakan protokol MQTT dengan koneksi TLS, serta mendukung proses akuisisi data dan pengiriman gambar ke penyimpanan *cloud Supabase*. Pengujian sistem menunjukkan bahwa presisi pergerakan lintasan mencapai $\pm 0,1$ cm per 1 cm langkah, dengan tingkat keberhasilan pengiriman data sebesar 96,2% dari ESP32 ke server. Delay rata-rata komunikasi sebesar 1,12 detik menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan performa komunikasi yang stabil untuk kebutuhan pemantauan berbasis IoT. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem elektronik dan komunikasi IoT yang dirancang mampu mendukung proses dokumentasi gambar sedimen secara otomatis, efisien, dan dapat diandalkan.

Kata kunci — dokumentasi sedimen, esp32, *internet of things*, komunikasi mqtt, sistem elektronik, supabase.

I. PENDAHULUAN

Keanekaragaman hayati Indonesia sangat bergantung pada upaya konservasi dan pengelolaan lingkungan yang berbasis data ilmiah[1]. Salah satu sumber data penting tersebut berasal dari analisis sedimen, yang menyimpan informasi geologi dan lingkungan masa lalu. Dalam praktiknya, dokumentasi visual sedimen merupakan langkah awal penting dalam menganalisis warna, tekstur, dan struktur sedimen. Namun, metode konvensional menggunakan kamera ponsel secara manual sering kali menghasilkan gambar yang tidak konsisten karena perbedaan sudut pandang, pencahayaan, dan posisi pengambilan gambar. Sementara itu, perangkat laboratorium seperti *Multi-Sensor Core Logger - Standard configuration* (MSCL-S) yang memiliki fitur dokumentasi

citra resolusi tinggi saat ini tidak tersedia secara luas karena mahal dan kompleks. Oleh karena itu, dibutuhkan solusi alternatif yang lebih fleksibel dan terjangkau.

Seiring berkembangnya teknologi, Internet of Things (IoT) telah banyak dimanfaatkan dalam sistem pemantauan dan pengendalian jarak jauh, termasuk dalam bidang lingkungan[2]. Dalam konteks ini, penelitian difokuskan pada perancangan sistem IoT untuk alat SedimTrack-IoT, yaitu perangkat pemindai citra sedimen berbasis ESP32 sebagai mikrokontroler utama, dengan kemampuan komunikasi nirkabel melalui protokol MQTT dan integrasi penyimpanan data cloud menggunakan Supabase. Sistem ini dirancang agar dapat melakukan pemindaian gambar sedimen secara otomatis dengan akurasi pergerakan yang tinggi, serta mendukung komunikasi data secara real-time dan aman menggunakan protokol TLS.

Permasalahan utama yang diangkat adalah bagaimana merancang sistem elektronik dan komunikasi berbasis IoT yang dapat menggantikan metode dokumentasi manual, dengan tetap mempertahankan konsistensi data dan efisiensi operasional. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan sistem yang mampu mengontrol pergerakan mekanik dengan presisi tinggi, melakukan transmisi data secara efisien, serta memungkinkan integrasi dengan antarmuka pengguna melalui perangkat seluler. Dengan pendekatan ini, diharapkan tercipta alat dokumentasi sedimen yang murah, portabel, dan mudah diakses untuk digunakan di laboratorium maupun di lapangan. Fokus penelitian ditekankan pada pengembangan arsitektur sistem IoT, pengujian konektivitas, serta analisis performa komunikasi dalam konteks implementasi nyata.

II. KAJIAN TEORI

A. *Internet of Things* (IoT)

Internet of Things (IoT) merupakan konsep integrasi perangkat fisik dengan jaringan internet untuk memungkinkan pertukaran data secara otomatis tanpa intervensi manusia secara langsung[3]. Dalam konteks penelitian ini, IoT diterapkan untuk mengendalikan dan memantau alat pemindai sedimen secara nirkabel. IoT berfungsi sebagai jembatan antara sensor, mikrokontroler,

dan sistem penyimpanan data di *cloud*, sehingga sistem dapat bekerja secara efisien dan *real-time*.

B. Mikrokontroler ESP32

ESP32 adalah mikrokontroler berperforma tinggi yang mendukung koneksi WiFi dan Bluetooth, serta memiliki kemampuan *multitasking* dan efisiensi daya yang baik[4]. Mikrokontroler ini dipilih dalam sistem SedimTrack-IoT karena mendukung integrasi berbagai perangkat seperti motor stepper, sensor, serta kemampuan komunikasi MQTT. Kemampuannya untuk menangani komunikasi TLS (*Transport Layer Security*) juga menjadi nilai tambah dalam menjaga keamanan data transmisi antarperangkat.

C. Protokol Komunikasi MQTT

MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) adalah protokol komunikasi berbasis *publish-subscribe* yang dirancang untuk perangkat dengan keterbatasan *bandwidth* dan daya. Protokol ini ideal untuk sistem IoT karena mendukung komunikasi ringan dan efisien. Dalam proyek SedimTrack-IoT, MQTT digunakan sebagai jalur komunikasi utama antara ESP32, server *cloud*, dan aplikasi *mobile*[5]. Sistem menggunakan enkripsi TLS untuk menjaga keamanan komunikasi antarperangkat.

D. Pengendali Motor Stepper

Motor *stepper* adalah jenis motor listrik yang bergerak dalam langkah-langkah diskrit, sehingga cocok untuk aplikasi yang membutuhkan presisi tinggi seperti sistem pemindai. Dalam proyek ini, motor *stepper* dikendalikan oleh ESP32 dengan pengaturan kecepatan dan panjang lintasan tertentu. Pemanfaatan sistem penggerak berbasis motor *stepper* memungkinkan gerakan linier terkontrol secara otomatis, yang penting untuk menghasilkan gambar sedimen yang konsisten dalam proses *stitching*.

E. Parameter Kinerja Sistem

Evaluasi performa sistem IoT mencakup parameter seperti *delay* komunikasi, QoS (*Quality of Service*), dan tingkat keberhasilan pengiriman data. Dalam proyek ini, performa diukur berdasarkan waktu rata-rata pengiriman data dari ESP32 ke Supabase serta tingkat keberhasilan pengiriman data dari setiap perangkat. Parameter ini menjadi acuan untuk menilai efisiensi sistem dalam mendukung dokumentasi sedimen berbasis IoT secara *real-time* dan akurat.

III. METODE

Penelitian ini menggunakan metode rekayasa sistem untuk merancang dan mengimplementasikan sistem IoT pada alat pemindai gambar sedimen bernama SedimTrack-IoT. Proses pengembangan dilakukan secara modular yang mencakup tahap perancangan perangkat keras (*hardware*), komunikasi data IoT, serta evaluasi performa komunikasi menggunakan parameter QoS. Tahapan penelitian dilakukan dalam kurun waktu 5 bulan, mulai dari desain sistem, pemilihan komponen, pengujian konektivitas, hingga analisis performa pengiriman data.

A. Prosedur Penelitian

Langkah - langkah penelitian ini terdiri dari:

1. Identifikasi kebutuhan sistem: dilakukan berdasarkan permasalahan pada metode dokumentasi sedimen konvensional.
2. Perancangan sistem elektronik dan IoT: meliputi perancangan rangkaian ESP32, *driver* motor, tombol, dan komunikasi Wi-Fi.
3. Implementasi komunikasi MQTT dengan koneksi TLS
4. Integrasi Supabase sebagai penyimpanan gambar dan metadata secara *cloud*.
5. Uji performa komunikasi data dari ESP32 ke *cloud* (*delay*, *throughput*, *packet loss*, *jitter*).
6. Analisis hasil pengujian dan penyusunan dokumentasi sistem.

B. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan antara Februari 2024 hingga Juli 2025 di Bandung Techno Park – Makerspace yang berada di Telkom University.

C. Sumber dan Perolehan Data

Data diperoleh melalui:

1. Hasil pengukuran *delay* dan keberhasilan transmisi data menggunakan Wireshark.
2. Pengamatan langsung terhadap sistem fisik ESP32 dan perangkat terkait.
3. Log Supabase dan hasil pengiriman file untuk mengukur efektivitas komunikasi data.
4. Dokumentasi pemindaian sedimen pada lintasan 30 cm, 50 cm, dan 100 cm.

D. Metode Pengukuran dan Evaluasi

Evaluasi kinerja sistem dilakukan dengan mengukur parameter QoS sebagai berikut:

1. *Latency* (L) : waktu antara pengiriman dan penerimaan data.

$$L = T_{arrival} - T_{send} \quad (1)$$

Dengan $T_{arrival}$ adalah waktu data diterima, dan T_{send} adalah waktu data dikirim ke ESP32.

2. *Jitter* (J) : fluktuasi *delay* antar paket.

$$J = |D_n - D_{n-1}| \quad (2)$$

Di mana D_n dan D_{n-1} adalah *delay* dari paket ke-n dan n-1. Nilai *jitter* yang tinggi menyebabkan data gambar dari proses *stitching* tidak tersinkronisasi dengan baik.

3. *Throughput* (T) : jumlah data terkirim per satuan waktu.

$$T = \frac{\text{Total Data (byte)}}{\text{Total Waktu (detik)}} \quad (3)$$

Throughput tinggi menunjukkan jaringan mampu menangani banyak data, penting untuk pengunggahan hasil gambar pemindaian Sedimtrack ke Supabase.

4. *Packet Loss* (PL)

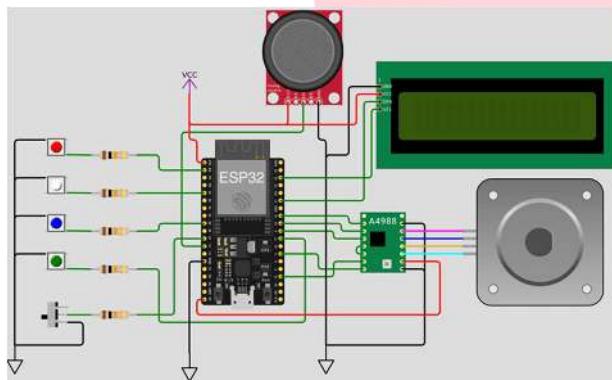
$$PL = \left(\frac{\text{Paket Hilang}}{\text{Paket Terkirim}} \right) \times 100\% \quad (4)$$

E. Desain Sistem IoT



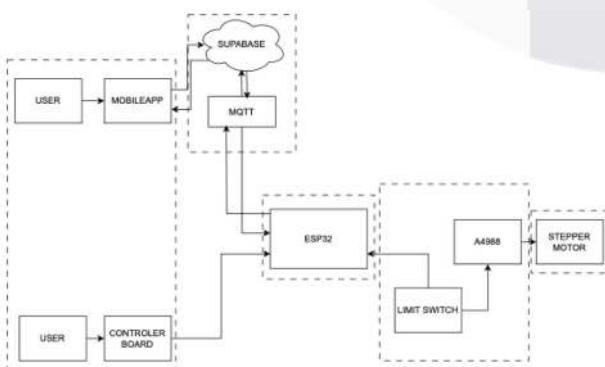
GAMBAR 1
Alat SedimTrack-IoT

Gambar 1 berikut menunjukkan wujud fisik sistem SedimTrack-IoT yang telah dikembangkan. Untuk merealisasikan fungsi pemindaian gambar sedimen secara otomatis dan efisien, sistem SedimTrack-IoT dirancang dengan mengintegrasikan perangkat keras berbasis ESP32, penggerak motor *stepper*, dan komunikasi nirkabel menggunakan protokol MQTT. Sistem ini dibagi menjadi dua mode pengoperasian, yaitu mode otomatis melalui aplikasi *mobile* dan mode manual melalui kontrol fisik. Desain sistem mencakup rangkaian elektronik, alur komunikasi data, serta logika kendali perangkat.



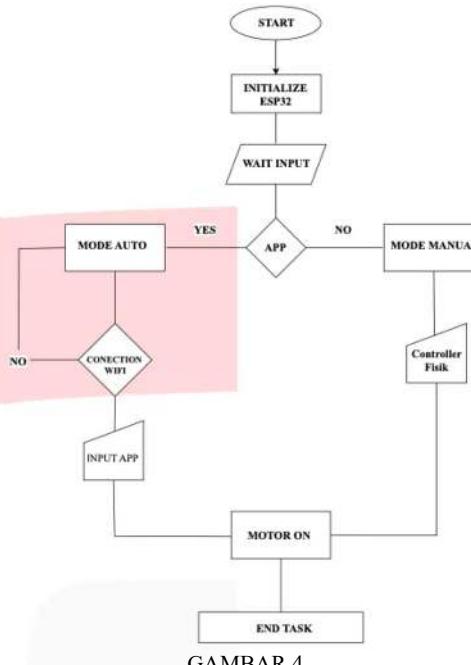
GAMBAR 2
Desain sistem hardware

Perangkat keras sistem dirakit menggunakan mikrokontroler ESP32 yang berfungsi sebagai pusat pengendali, ditunjukkan pada Gambar 2 yang dihubungkan dengan *driver* motor A4988, *stepper* motor, *joystick* analog, *limit switch*, LCD I2C, dan tombol-tombol fisik. Rangkaian ini memungkinkan sistem untuk menerima input secara manual dan otomatis, serta menampilkan informasi melalui layar LCD.



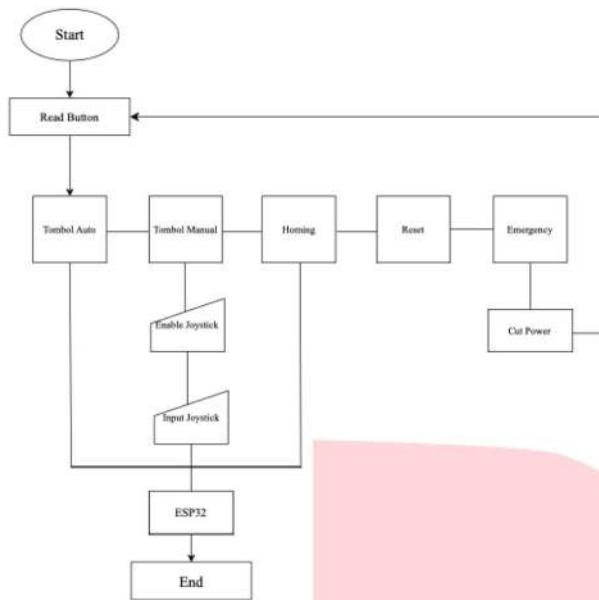
GAMBAR 3
Blok diagram sistem

Blok diagram pada Gambar 3 menunjukkan hubungan antara subsistem utama, termasuk pengguna, aplikasi *mobile*, ESP32, dan Supabase. Komunikasi antara aplikasi dan mikrokontroler dilakukan melalui protokol MQTT yang memungkinkan perintah dan data dikirim secara *real-time*. ESP32 mengontrol aktuator (motor) berdasarkan input dari aplikasi maupun tombol fisik.



GAMBAR 4
Flowchart sistem

Gambar 4 menyajikan *flowchart* utama sistem, yang menggambarkan alur logika program dari proses inisialisasi ESP32, pemilihan mode (otomatis/manual), hingga eksekusi perintah pemindaian. Dalam mode otomatis, sistem memverifikasi koneksi WiFi sebelum menerima input dari aplikasi, sedangkan mode manual langsung merespons input dari pengendali fisik.



GAMBAR 5
Flowchart Controller Fisik

Gambar 3.5 merupakan *flowchart* dari kontroler fisik yang digunakan dalam mode manual. Diagram ini menunjukkan bagaimana tombol-tombol (*Auto*, *Manual*, *Reset*, *Emergency*) berinteraksi dengan joystick dan ESP32. Sistem dirancang untuk memberikan fleksibilitas tinggi dalam pengoperasian langsung di lapangan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian sistem SedimTrack-IoT difokuskan pada aspek elektronik dan komunikasi berbasis IoT, yang terdiri dari dua bagian utama: pengujian sistem kendali fisik dan pengujian performa komunikasi MQTT.

A. Hasil Pengujian Kontroler Fisik

Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa seluruh komponen pengendali fisik pada alat termasuk tiga tombol utama (Mode *Manual*, Mode *Auto*, dan Mode *Homing*), *limit switch*, joystick analog, serta *emergency switch* dapat berfungsi sesuai dengan skenario operasional yang telah dirancang. Sistem dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32 yang terhubung ke aktuator motor *stepper* melalui *driver A4988*.

TABEL 1
Hasil pengujian controller fisik

Kategori	Delay	Penjelasan
Tombol Auto	10 ms	Sistem mendeteksi penekanan tombol dan mengeksekusi <i>mode_auto()</i> dalam 10 ms.
Tombol Manual	10 ms	Tombol ditekan dan sistem langsung menjalankan fungsi <i>mode_manual()</i> sesuai <i>input</i> .
Tombol Homing	0 ms	Fungsi <i>homing</i> langsung dipicu tanpa jeda signifikan setelah tombol ditekan.
Joystick	1 ms	ADC berhasil membaca perubahan posisi joystick dan motor merespons dengan cepat.
Limit Switch	33 ms	Setelah <i>limit switch</i> terpicu, sistem mengaktifkan motor mundur dalam 33 ms.

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa hasil pengujian sistem kontrol fisik telah memenuhi aspek kecepatan dan keandalan. Seluruh komponen dapat merespons perintah dengan baik dan berinteraksi sesuai fungsi yang diharapkan. Waktu *delay* yang tercatat tergolong sangat minim, yang mengindikasikan bahwa sistem telah bekerja secara optimal. Dengan demikian, sistem ini dinilai layak untuk diterapkan dalam aplikasi pemindaian otomatis berbasis IoT dengan interaksi fisik.

B. Hasil Pengujian Komunikasi MQTT

Pengujian komunikasi MQTT dilakukan sebanyak enam kali dengan variasi panjang lintasan *stitching*, yaitu 30 cm, 50 cm, dan 100 cm, serta pada dua jenis jaringan: WiFi rumah dan *hotspot* dari ponsel. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi performa komunikasi antara ESP32 dan broker MQTT, termasuk metrik *delay*, *jitter*, *throughput*, dan tingkat keberhasilan pengiriman paket. Setiap pengujian melibatkan pengiriman 100 paket data dari ESP32 ke broker MQTT, yang kemudian dianalisis performanya.

TABEL 2
Hasil pengujian WiFi rumah

Panjang Stitching	Delay Rata - rata (ms)	Jitter (ms)	Throughput (bps)	Keberhasilan (%)
30 cm	1058,3	82,5	531,2	96,4
50 cm	1102,6	97,1	517,8	95,7
100 cm	1080,2	93,4	521,7	96,2

Pada jaringan WiFi rumah, sistem menunjukkan performa yang stabil dengan *delay* rata-rata berkisar antara 1058,3 ms hingga 1102,6 ms, dan *jitter* antara 82,5 ms hingga 97,1 ms. Nilai *throughput* relatif konstan di atas 500 bps, dengan tingkat keberhasilan pengiriman data di atas 95%. Hal ini mengindikasikan bahwa jaringan WiFi rumah memberikan kualitas layanan (QoS) yang baik dan cukup andal untuk komunikasi IoT berbasis MQTT. Variasi *delay* dan *jitter* masih berada dalam batas toleransi sistem, sehingga tidak mengganggu proses *stitching* gambar secara *real-time*.

TABEL 3
Hasil pengujian hotspot HP

Panjang Stitching	Delay Rata - rata (ms)	Jitter (ms)	Throughput (bps)	Keberhasilan (%)
30 cm	1150,7	123,2	489,4	94,6
50 cm	1133,8	117,6	492,1	94,3
100 cm	1120,5	112,7	498,2	94,0

Pengujian pada jaringan *hotspot* HP menunjukkan performa yang sedikit lebih rendah dibandingkan WiFi rumah. *Delay* rata-rata berada pada rentang 1120,5 ms hingga 1150,7 ms, dengan *jitter* lebih besar yaitu 112,7 ms hingga 123,2 ms. *Throughput* juga sedikit menurun dibandingkan WiFi, meskipun masih berada pada kisaran yang dapat diterima, yaitu 489,4 bps hingga 498,2 bps. Tingkat keberhasilan pengiriman sedikit menurun namun tetap cukup tinggi, berada pada kisaran 94%–94,6%. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem tetap dapat beroperasi secara fungsional meskipun berada pada jaringan yang tidak stabil seperti *hotspot*, meskipun dengan QoS yang sedikit lebih rendah.

Secara keseluruhan, sistem komunikasi MQTT pada alat SedimTrack-IoT menunjukkan performa yang dapat diterima pada kedua jenis jaringan. WiFi rumah memberikan performa terbaik dengan *delay* dan *jitter* yang lebih rendah serta *throughput* yang lebih tinggi. Namun, sistem tetap menunjukkan reliabilitas yang baik pada jaringan *hotspot*, yang membuktikan fleksibilitas dan ketahanan komunikasi sistem dalam berbagai kondisi jaringan. Pengembangan selanjutnya dapat mempertimbangkan penggunaan MQTT QoS level 1 atau 2 untuk menjamin keandalan komunikasi dalam kondisi jaringan yang lebih ekstrem.

C. Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian sistem kontrol fisik dan komunikasi MQTT, dapat disimpulkan bahwa sistem yang dirancang telah memenuhi aspek fungsi, kecepatan respons, serta keandalan komunikasi dalam konteks pemindaian gambar sedimen berbasis IoT. Gabungan dari hasil kedua pengujian membuktikan bahwa sistem IoT pada SedimTrack-IoT layak diterapkan di lapangan. Sistem berhasil melakukan pemindaian otomatis dengan komunikasi dua arah berbasis MQTT yang andal. Hasil ini membuktikan bahwa alat SedimTrack-IoT mampu menggantikan sebagian fungsi alat komersial yang mahal, seperti MSCL-S, terutama dalam proses akuisisi citra awal.

Sebagai tindak lanjut dari hasil pengujian, terdapat beberapa rekomendasi pengembangan yang dapat dilakukan untuk meningkatkan performa sistem SedimTrack-IoT. Salah satu pengembangan yang disarankan adalah optimalisasi QoS dalam komunikasi MQTT juga menjadi hal penting, yang dapat dilakukan dengan mengatur *buffer* pesan dan memberikan skema prioritas pada topik-topik penting, seperti topik pemicu pemindaian dan status sistem.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian sistem, dapat disimpulkan bahwa integrasi sistem elektronik dan IoT pada alat SedimTrack-IoT berhasil memenuhi kebutuhan pemindaian gambar sedimen secara otomatis dan efisien. Sistem ini mampu menghubungkan komponen

elektronik seperti motor *stepper*, *limit switch*, dan modul kontrol berbasis ESP32 dengan baik, serta mendukung dua mode operasional yaitu manual menggunakan tombol dan *joystick*, serta otomatis melalui aplikasi *mobile* yang terhubung lewat protokol MQTT. Pengujian menunjukkan bahwa komunikasi antara perangkat fisik dan sistem *cloud* melalui MQTT berjalan dengan *delay* dan *jitter* yang masih dalam batas toleransi operasional, baik menggunakan jaringan WiFi rumah maupun *hotspot* seluler. Implementasi *limit switch* juga terbukti efektif dalam mencegah gerakan motor melebihi batas lintasan yang ditentukan. Dengan desain modular dan pemanfaatan komponen yang relatif terjangkau, sistem ini memberikan solusi yang hemat biaya dan fleksibel dibandingkan dengan perangkat konvensional seperti MSCL-S. Penelitian ini membuktikan bahwa pendekatan berbasis IoT dapat diterapkan secara nyata dalam proses dokumentasi citra sedimen, dan membuka peluang untuk pengembangan lebih lanjut seperti integrasi sensor tambahan, klasifikasi gambar otomatis, serta peningkatan presisi gerak dengan sistem umpan balik.

REFERENSI

- [1] Super Admin, "Apa yang Membuat Indonesia Jadi Salah Satu Pusat Keanekaragaman Hayati Terbesar Dunia?", <https://ditsmp.kemdikbud.go.id/>.
- [2] R. NAHDRUL, "RANCANG BANGUN ATM BERAS INTERNET OF THINGS (IoT) DENGAN REAL-TIME DATABASE BERBASIS ESP32," 2023.
- [3] O. Ali et al., "A comprehensive review of internet of things: Technology stack, middlewares, and fog/edge computing interface," Sensors, vol. 22, no. 3, art. no. 995, Jan. 2022.
- [4] D. Hercog, T. Lerher, M. Truntic, and O. Tezak, "Design and implementation of ESP32-based IoT devices," Sensors, vol. 23, no. 15, art. no. 6739, Jul. 2023.
- [5] M. Usmani, MQTT Protocol for the IoT – Review Paper, Frankfurt University of Applied Sciences, May 2021.
- [6] M. S. Faat dan F. Z. Furqan, "QoS Analysis on IoT-Based Smart Garden With MQTT Protocol Using Wireshark," INSYPRO, vol. 7, no. 2, Nov. 2022.