

SISTEM MONITORING PENGGUNAAN LABORATORIUM TERINTEGRASI BIOMETRIK SIDIK JARI DAN IOT BERBASIS GOOGLE SHEETS

Muhammad Nur^{1*)}, Tantri Indrabulan²

¹Teknik Mekatronika, Politeknik Bosowa, Makassar, Indonesia

²Teknik Komputer dan Jaringan, Teknik Informatika dan Komputer, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar, Indonesia

*Penulis korespondensi, E-mail: muhammadnur@politeknikbosowa.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem monitoring penggunaan laboratorium yang terintegrasi dengan teknologi biometrik sidik jari dan *Internet of Things* (IoT). Sistem ini dirancang untuk meningkatkan keamanan dan efisiensi pengelolaan laboratorium. Metode penelitian yang digunakan adalah merancang dan membangun prototipe sistem yang terdiri dari komponen perangkat keras dan perangkat lunak yang terintegrasi. Prototipe sistem yang dibangun mengintegrasikan sensor sidik jari, mikrokontroler ESP32, dan Google Sheets untuk pencatatan dan pemantauan akses secara *real-time*. Hasil perancangan menunjukkan bahwa prototipe ini mampu memindai sidik jari, memverifikasi identitas pengguna, mencatat waktu akses, dan mengirimkan data ke Google Sheets. Pengujian *blackbox* dilakukan untuk memastikan fungsionalitas sistem melalui skenario yang berfokus pada pengujian dari perspektif pengguna. Waktu eksekusi Google Scripts untuk pemrosesan pengiriman data berkisar antara 0.851 detik hingga 1.325 detik. Data yang masuk ke Google Sheets kemudian disajikan dalam *dashboard* yang menyajikan statistik penggunaan laboratorium yang detail, seperti total pindai, jumlah pindai harian, waktu pindai, jumlah pindai berdasarkan kelas, dan jumlah pindai berdasarkan nama mahasiswa.

Kata kunci: biometrik sidik jari, dashboard, IoT, Google Sheets, sistem monitoring

Abstract

This research aims to develop a laboratory usage monitoring system integrated with fingerprint biometric technology and the Internet of Things (IoT). This system is designed to enhance the security and efficiency of laboratory management. The research method employed is the design and construction of a system prototype consisting of integrated hardware and software components. The developed system prototype integrates a fingerprint sensor, an ESP32 microcontroller, and Google Sheets for real-time access recording and monitoring. The design results show that this prototype is capable of scanning fingerprints, verifying user identities, recording access times, and transmitting data to Google Sheets. Black-box testing was conducted to ensure system functionality, focusing on testing from the user's perspective. The execution time of Google Scripts for data transmission processing ranged from 0.851 seconds to 1.325 seconds. The data entered into Google Sheets is then presented in a dashboard that provides detailed laboratory usage statistics, such as total scans, the number of daily scans, scan times, the number of scans by class, and the number of scans by student name.

Keywords: fingerprint biometrics, dashboard, IoT, Google Sheets, monitoring system

1. Pendahuluan

Kebutuhan akan sistem keamanan yang canggih dan adaptif dalam infrastruktur pendidikan menjadi sangat krusial di era globalisasi yang menuntut integrasi antar disiplin ilmu dan kemajuan teknologi yang pesat. Laboratorium, sebagai pusat inovasi, penemuan, dan pembelajaran, tidak hanya memerlukan sistem pengamanan yang dapat menjamin akses eksklusif kepada

individu yang berwenang, tetapi juga harus mampu mengakomodasi kebutuhan dinamis penelitian dan pendidikan. Sistem pengamanan ini harus dirancang sedemikian rupa sehingga dapat menyesuaikan diri dengan berbagai skenario penggunaan, mulai dari penelitian yang membutuhkan privasi tinggi hingga kegiatan belajar mengajar yang memerlukan akses yang lebih luas dan inklusif [1]. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa perhatian terhadap keamanan laboratorium terus

meningkat, terutama dalam mengintegrasikan teknologi biometrik dan IoT untuk meningkatkan efisiensi dan keamanan dalam lingkungan akademis [2].

Berbagai penelitian terkini telah mengeksplorasi penerapan biometrik dalam konteks keamanan dan pemantauan laboratorium. Sebuah studi yang dilakukan oleh Hersyah dkk pada tahun 2020 menghasilkan sebuah prototipe sistem autentikasi ganda menggunakan sidik jari dan kata sandi, yang bertujuan untuk meningkatkan keamanan ruang laboratorium. Sistem ini memanfaatkan sensor sidik jari, *keypad*, dan solenoid kunci pintu untuk memverifikasi identitas pengguna [3]. Selain itu, penelitian oleh K et al. menunjukkan bahwa sistem penguncian pintu otomatis berbasis sidik jari dapat diandalkan, mengedepankan keamanan dan kemudahan akses bagi pengguna [4]. Asad et al. juga meneliti pemanfaatan pemindaian biometrik sidik jari untuk akses laboratorium otomatis, mencakup fitur absensi siswa yang meningkatkan transparansi dan keamanan penggunaan laboratorium [5]. Semua penelitian ini menunjukkan bahwa teknologi biometrik semakin menjadi pilihan utama dalam sistem keamanan laboratorium. Setiap sidik jari yang terdaftar dalam sistem berfungsi sebagai kunci unik yang sulit diduplikasi, sehingga mengurangi risiko akses tidak sah yang umum terjadi pada sistem keamanan konvensional. Integrasi biometrik sidik jari dengan perangkat IoT memungkinkan pencatatan waktu penggunaan laboratorium secara *real-time*, meningkatkan keamanan serta efisiensi dalam manajemen sumber daya [6]. Data yang dihasilkan dari sistem ini tidak hanya bermanfaat untuk audit keamanan, tetapi juga membantu administrator dalam mengalokasikan sumber daya secara lebih efektif dan mengembangkan kebijakan keamanan yang lebih baik. Fokus pada integrasi antara perangkat keras biometrik dan platform perangkat lunak IoT merupakan arah penting dalam pengembangan sistem keamanan laboratorium.

Salah satu inovasi yang telah dilakukan dalam pengembangan sistem berbasis IoT adalah integrasi data ke dalam *platform* seperti Google Sheets. Sistem yang menerapkan hal tersebut tidak hanya menawarkan solusi keamanan yang lebih baik, tetapi juga meningkatkan cara pengolahan dan analisis data secara *real-time*. Google Sheets sebagai *platform* berbasis *cloud* memungkinkan pengguna untuk menyimpan, mengolah, dan menganalisis data dengan mudah tanpa memerlukan infrastruktur *server* yang kompleks [7]. Penggunaan Google Sheets sangat relevan mengingat kemudahan akses dan kolaborasi antar pengguna yang ditawarkannya, menjadikannya pilihan ideal untuk pengelolaan data dalam konteks pendidikan dan penelitian [8]. Beberapa penelitian terdahulu telah menerapkan konsep integrasi tersebut, seperti pada monitoring kualitas air berbasis IoT untuk budidaya udang yang menggunakan sensor dan penyimpanan data awan untuk meningkatkan produktivitas. Sistem tersebut menawarkan antarmuka pengguna yang mudah melalui

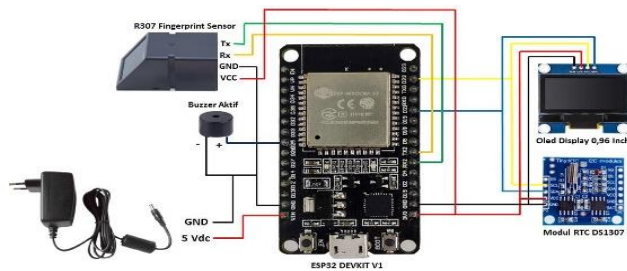
Google Sheets untuk pemantauan *real-time* tanpa batasan geografis [9]. Penelitian lain mengusulkan sistem penghitung berbasis IoT inovatif untuk mesin press-fit, yang mengintegrasikan sensor inframerah, mikrokontroler ESP32, dan *display* I2C dengan Google Sheets untuk pemantauan kinerja *real-time* [10]. Penelitian lain juga mengembangkan sistem untuk memantau suhu rumah menggunakan IoT dan Google Sheets, dengan prototipe yang terdiri dari sensor DHT11, NodeMCU ESP8266, dan *display* LCD. Sistem ini, yang meningkatkan efisiensi layanan dengan mengurangi waktu tunggu, mengintegrasikan data ke Google Sheets untuk akses *real-time* [11]. Selanjutnya terdapat penelitian tentang sistem monitoring konsumsi daya yang memberdayakan pengguna untuk mengontrol konsumsi energi secara aktif melalui notifikasi peringatan, otomatisasi perangkat rumah, dan penyimpanan data yang mudah diakses di Google Sheets [12]. Penelitian yang menerapkan integrasi Google Sheets juga diterapkan pada sistem monitoring kualitas air berbasis IoT untuk memantau suhu, pH, dan TDS. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa Google Sheets efektif, fleksibel, dan mudah digunakan untuk penyimpanan dan visualisasi data IoT [13].

Mengacu dari beberapa penelitian rujukan maka penelitian ini akan mengintegrasikan IoT dengan Google Sheets agar data yang dihasilkan dari sistem pengenalan biometrik dapat diinput secara otomatis ke dalam *spreadsheet*. Hal ini memungkinkan administrator laboratorium untuk memantau akses dan aktivitas penggunaan laboratorium secara langsung. Misalnya, setiap kali seorang pengguna mengakses laboratorium menggunakan sidik jari, informasi waktu dan identitas pengguna dapat tercatat dalam Google Sheets secara otomatis. Keuntungan lain yang dapat diperoleh dengan memanfaatkan fungsionalitas Google Sheets dalam sistem berbasis IoT yaitu penghematan biaya dan waktu dalam pengelolaan data. Pengguna tidak perlu lagi khawatir tentang pengaturan *server* atau pengelolaan sistem informasi yang rumit. Selain itu Google Sheets juga menyediakan platform yang intuitif dan mudah digunakan, sehingga memungkinkan pengguna dari berbagai latar belakang, termasuk berbagai pihak yang terlibat dalam pendidikan, untuk memanfaatkannya tanpa harus memiliki pengetahuan teknis yang mendalam [14] [15]. Mengingat bahwa Google Sheets juga menyediakan fitur analitik yang kuat, hal tersebut memungkinkan pengguna untuk membuat grafik dan laporan berdasarkan data yang terkumpul. Analisis ini dapat membantu dalam mengidentifikasi tren yang mungkin tidak terlihat pada data tabulasi, serta memberikan wawasan yang berguna untuk pengambilan keputusan lanjutan. Oleh karena itu sistem ini akan dilengkapi dengan penyajian *dashboard* monitoring yang informatif, yang secara detail menampilkan statistik penggunaan laboratorium. Informasi yang disajikan meliputi total pindai, jumlah pindai harian, waktu pindai, serta rincian jumlah pindai yang dikelompokkan berdasarkan kelas dan nama mahasiswa.

2. Metode

2.1. Instrumen Penelitian

Sistem monitoring penggunaan laboratorium berbasis IoT dan biometrik sidik jari tersusun atas dua komponen utama yang saling terintegrasi yaitu perangkat keras dan perangkat lunak. Gambar 1 menampilkan desain perangkat keras berdasarkan koneksi pin pada masing-masing komponen.



Gambar 1. Desain perangkat keras

Uraian fungsi dari masing-masing komponen penyusun dalam Gambar 1, antara lain:

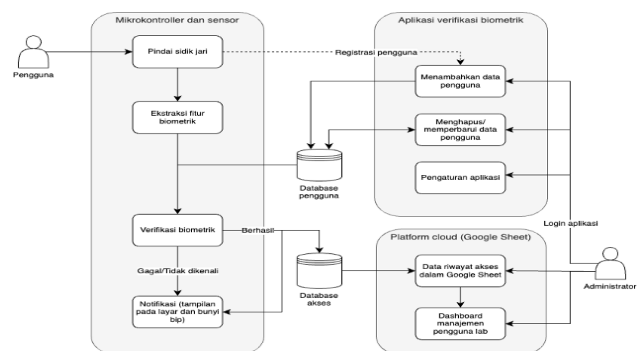
- **ESP32 Development Board:** Memproses data dari sensor dan modul, mengelola alur kerja sistem (akuisisi sidik jari, verifikasi identitas, dan pencatatan waktu kehadiran), melakukan komunikasi antara perangkat keras dan perangkat lunak, dan sinkronisasi data ke Google Sheets menggunakan dukungan koneksi Wifi.
- **R307 Fingerprint Sensor:** Menangkap gambar sidik pengguna dengan sensor optik resolusi tinggi dan mengekstrak fitur unik dari gambar sidik jari.
- **DS1307 RTC Module:** Menjaga waktu dalam sistem agar tetap akurat (bahkan saat daya dimatikan dengan adanya dukungan baterai internal sebagai cadangan daya), dan menyimpan informasi waktu (jam, menit, detik, tanggal, bulan, dan tahun).
- **OLED Display:** Sebagai antarmuka yang menampilkan informasi penting seperti waktu, tanggal, nama pengguna, dan status verifikasi.
- **5V Power Supply:** Menyediakan daya listrik yang stabil untuk mengoperasikan semua komponen perangkat keras, mengubah arus bolak-balik (AC) dari stop kontak menjadi arus searah (DC) yang dibutuhkan oleh komponen.
- **Buzzer:** Memberikan notifikasi kepada pengguna tentang status verifikasi biometrik (sukses, gagal, atau tidak dikenali) dengan mengeluarkan bunyi bip.
- **Kabel konektor:** Menghubungkan semua komponen perangkat keras dengan kabel dan memungkinkan aliran data dan sinyal antara komponen.

Instrumen perangkat lunak yang digunakan dalam sistem, antara lain: Aplikasi Verifikasi Biometrik, *Database* SQLite, dan Google Sheets. Aplikasi Verifikasi Biometrik berbasis *web* yang dibangun menggunakan kode Javascript, HTML, dan CSS yang diintegrasikan dengan perangkat keras melalui kode dalam Arduino IDE.

Aplikasi ini berfungsi untuk mengelola proses verifikasi biometrik, yang meliputi: akuisisi sidik jari, verifikasi identitas, pencatatan waktu, dan sinkronisasi data. Selain fungsi tersebut, kode juga dibangun agar dapat melakukan pencadangan data secara berkala untuk mencegah kehilangan data. *Database* SQLite berfungsi untuk menyimpan data pengguna, seperti: sidik jari, informasi pribadi, dan riwayat verifikasi. *Database* ini tersimpan dalam memori eksternal yang disematkan dalam ESP32. Sedangkan Google Sheets merupakan *platform* penyimpanan *cloud* untuk menyimpan dan memantau data verifikasi biometrik secara *real-time*. Pemanfaatan aplikasi ini tidak hanya sebatas melakukan *log* data saja namun juga sebagai media manajemen data yang dapat dikustomisasi sesuai kebutuhan. Google Sheets juga didesain untuk menampilkan data dalam bentuk *dashboard* pemantauan hasil pindai biometrik sidik jari.

2.2. Alur Kerja Sistem

Serangkaian prosedur yang terstruktur dalam alur kerja sistem tidak hanya berfungsi sebagai panduan dalam proses perancangan, tetapi juga sebagai acuan untuk mengevaluasi keberhasilan implementasi sistem. Visualisasi dari alur kerja sistem dalam bentuk blok diagram, disajikan pada Gambar 2. Proses identifikasi pengguna dimulai dengan interaksi langsung dengan cara pengguna menempelkan jari pada sensor sidik jari di perangkat. Sensor ini bertugas untuk menangkap citra sidik jari, yang kemudian dikirimkan ke mikrokontroler untuk diekstraksi menjadi fitur-fitur unik. Fitur-fitur ini kemudian diverifikasi melalui pencocokan data dengan template sidik jari yang tersimpan dalam *database* pengguna. Hasil verifikasi biometrik akan menampilkan dua kemungkinan status: "Gagal/Tidak Dikenali" atau "Berhasil". Pada kasus verifikasi gagal, pengguna akan menerima notifikasi visual pada layar dan peringatan suara dari *buzzer*. Sebaliknya, jika verifikasi berhasil, data pengguna dicatat dan disimpan dalam *database* akses, yang mencakup informasi detail seperti waktu akses dan identitas pengguna. Data akses ini kemudian disinkronkan secara otomatis ke Google Sheets, yang berfungsi sebagai *platform* untuk pelaporan data tabular dan pemantauan melalui *dashboard* analitis.



Gambar 2. Alur kerja sistem monitoring penggunaan laboratorium

Sistem ini memanfaatkan *library* HTTPClient untuk mengirimkan data ke Google Sheets. Proses pengiriman data diawali dengan pembentukan URL yang berisi Google Script ID dan data yang akan dikirimkan. Ketika ESP32 membuat HTTP *request* menggunakan URL ini, Google Scripts akan mengambil data dari URL tersebut dan mengirimkannya (POST) ke Google Sheets. Implementasi sistem menggunakan beberapa *library*, antara lain: *library* WiFi digunakan untuk koneksi WiFi, *library* HTTPClient untuk membuat HTTP *request*, dan *library* Time.h untuk mendapatkan waktu saat ini dari NTP *time server*. ESP32 secara kontinu mengambil waktu dari NTP *server* dan menggabungkannya dengan data hasil pemindaian ke dalam sebuah URL kemudian membuat koneksi HTTP ke URL menggunakan *library* HTTPClient. Setelah koneksi terjalin, ESP32 akan menerima kode status HTTP sebagai umpan balik. Pada bagian Google Scripts, skrip akan mengambil data dari HTTP *request* tersebut menggunakan fungsi `doGet()` yang selanjutnya akan mencetak data pada baris sel dalam Google Sheets.

Selain pengguna biasa, sistem ini juga menyediakan akses khusus untuk administrator melalui aplikasi *web* yang dilindungi kata sandi. Administrator memiliki wewenang untuk mengelola data pengguna dalam *Database* SQLite, termasuk menambah, menghapus, dan memperbarui data. Selain itu, administrator juga dapat mengkonfigurasi pengaturan perangkat, seperti nama perangkat, konfigurasi jaringan, sinkronisasi waktu, dan kredensial akses Google Sheets. Otentikasi menggunakan pembatasan akses berdasarkan alamat email administrator bertujuan untuk keamanan akses ke *platform cloud* Google Sheets. Google Sheets ini menyajikan data dalam format tabular dan *dashboard* analitis yang memungkinkan pemantauan penggunaan laboratorium secara *real-time*, memberikan gambaran yang jelas dan komprehensif tentang aktivitas pengguna.

3. Hasil dan Pembahasan

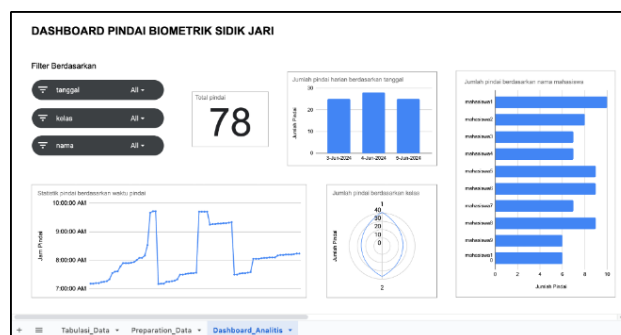
Perancangan perangkat keras menghasilkan prototipe alat pemindai biometrik sidik jari, seperti yang tampak pada Gambar 3, dengan dimensi panjang 6.7 cm, lebar 3.7 cm, dan tinggi 8 cm. Tampilan awal OLED *Display* menunjukkan keterangan waktu (jam, hari, dan tanggal).



Gambar 3. Prototipe alat pemindai biometrik sidik jari

Alat pemindai tersebut diletakkan di pintu masuk laboratorium sehingga setiap pengguna ruangan, utamanya mahasiswa, harus melakukan pemindaian sidik jari sebelum memasuki ruangan. Data hasil pindai akan tersimpan di *database* prototipe yang tersinkronisasi dengan Google Sheets dengan catatan bahwa alat pemindai terkoneksi dengan jaringan internet, apabila tidak terkoneksi maka data dapat dilihat melalui akses jaringan lokal.

Pemantauan penggunaan laboratorium dapat secara *real-time* dilakukan melalui akses Google Sheets di perangkat manapun (komputer, laptop, *smartphone*) yang terkoneksi dengan internet. Grafik pada *dashboard* disajikan untuk menampilkan statistik olahan informasi dari tabulasi data, seperti: total pindai, jumlah pindai harian, waktu pindai, jumlah pindai berdasarkan kelas, dan jumlah pindai berdasarkan nama mahasiswa. Selain itu, penambahan fitur filter tanggal, kelas, dan nama berguna untuk menampilkan statistik yang lebih detail. Gambar 4 menyajikan tampilan *dashboard* dalam Google Sheets. *Sheet* Tabulasi_Data merupakan tempat penyimpanan data mentah yang tersinkronisasi dengan *Database* SQLite. *Sheet* Preparation_Data merupakan tempat untuk melakukan pengolahan statistik dalam bentuk agregasi data sebelum ditampilkan ke *dashboard*. Sedangkan *Sheet* Dashboard_Analitis didesain khusus untuk menyajikan grafik sesuai kebutuhan analisis dan filter (tanggal, kelas, dan nama) yang berlaku untuk seluruh grafik.



Gambar 4. Dashboard hasil pindai biometrik sidik jari

Pengujian *blackbox* dilakukan untuk memastikan fungsionalitas sistem monitoring penggunaan laboratorium dapat berjalan dengan baik. Pengujian ini berfokus pada pengujian fungsionalitas sistem dari perspektif pengguna, tanpa memperhatikan detail internal kode program. Skenario pengujian pada Tabel 1 dirancang untuk mencakup berbagai aspek sistem, mulai dari verifikasi sidik jari, pencatatan data, sinkronisasi data, hingga antarmuka pengguna dan manajemen pengguna oleh administrator.

Tabel 1. Skenario pengujian *blackbox*

No	Skenario Uji	Langkah Pengujian	Hasil yang Diharapkan
1	Sidik Jari Terdaftar	Pengguna terdaftar memindai sidik jari.	Sistem berhasil memverifikasi identitas pengguna dan mencatat waktu akses.
2	Sidik Jari Tidak Terdaftar	Pengguna tidak terdaftar memindai sidik jari.	Sistem menolak akses dan menampilkan notifikasi "Tidak Dikenali".
3	Sidik Jari Terdaftar dengan Kondisi Jari Basah/Kotor	Pengguna terdaftar memindai sidik jari dengan kondisi jari basah atau kotor.	Sistem tetap dapat memverifikasi identitas pengguna (atau memberikan penolakan yang akurat).
4	Percobaan Akses Berulang dengan Sidik Jari Tidak Terdaftar	Pengguna mencoba memindai sidik jari yang tidak terdaftar beberapa kali.	Sistem menolak semua percobaan akses dan mencatat percobaan akses gagal.
5	Pencatatan Waktu Akses	Pengguna terdaftar memindai sidik jari untuk masuk dan keluar.	Sistem mencatat waktu masuk dan keluar dengan akurat.
6	Sinkronisasi Data ke Google Sheets	Sistem terhubung ke internet, dan data akses baru dihasilkan.	Data akses tersinkronisasi ke Google Sheets.
7	Sinkronisasi Data Saat Koneksi Terputus	Koneksi internet terputus, data akses dihasilkan, kemudian koneksi tersambung kembali.	Data akses disinkronkan ke Google Sheets setelah koneksi tersambung kembali.
8	Notifikasi Visual dan Audio	Memindai sidik jari yang berhasil dan gagal.	Sistem memberikan notifikasi visual (OLED) dan audio (<i>buzzer</i>) yang sesuai.
9	Login Administrator	Administrator memasukkan username dan password yang benar dan salah.	Login berhasil dengan kredensial yang benar dan gagal dengan kredensial yang salah.
10	Manajemen Data Pengguna	Administrator menambah, mengubah, dan menghapus data pengguna.	Operasi manajemen data pengguna berhasil dilakukan.

Secara keseluruhan, sistem monitoring penggunaan laboratorium berbasis IoT dengan biometrik sidik jari menunjukkan keberhasilan kinerja dalam berbagai

skenario pengujian. Namun, terdapat satu skenario uji yang mengalami kegagalan, yaitu: "Sidik Jari Terdaftar dengan Kondisi Jari Basah/Kotor". Kegagalan pada skenario uji ini mengindikasikan adanya keterbatasan pada sensor sidik jari yang digunakan sehingga perlu menjadi perhatian untuk pengembangan sistem selanjutnya.

Sebagai bagian dari evaluasi kinerja sistem, waktu eksekusi (*execution time*) dari Google Scripts yang menangani penerimaan dan penyimpanan data akses ke Google Sheets juga dianalisis khususnya pada fungsi `doGet()`. Data waktu eksekusi ini memberikan gambaran tentang efisiensi pemrosesan data di sisi *server* dan dampaknya terhadap responsivitas sistem secara keseluruhan. Tangkapan layar fitur *Execution* pada Google Scripts ditunjukkan pada Gambar 5

Deployment	Function	Type	Duration	Status
Version 8	doGet	Web App	1.056 s	Completed
Version 8	doGet	Web App	1.144 s	Completed
Version 8	doGet	Web App	0.851 s	Completed
Version 8	doGet	Web App	1.057 s	Completed
Version 8	doGet	Web App	1.258 s	Completed
Version 8	doGet	Web App	0.951 s	Completed
Version 8	doGet	Web App	1.299 s	Completed
Version 8	doGet	Web App	1.055 s	Completed
Version 8	doGet	Web App	0.969 s	Completed
Version 8	doGet	Web App	1.325 s	Completed

Gambar 5. Tangkapan layar fitur *Execution* pada Google Scripts

Gambar 5 menampilkan data yang tercatat pada *Execution* untuk fungsi `doGet()` dari *Deployment* terakhir (*Version 8*) yang diambil secara acak sebanyak 10 sampel data, waktu eksekusi nilai bervariasi antara 0.851 detik hingga 1.325 detik. Variasi waktu eksekusi ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, termasuk beban server Google Sheets pada saat pemrosesan, kompleksitas operasi yang dilakukan oleh skrip, dan latensi jaringan. Meskipun terdapat variasi, waktu eksekusi secara umum berada dalam rentang yang dapat diterima untuk aplikasi monitoring *real-time*.

4. Kesimpulan

Penelitian ini mengembangkan sistem monitoring penggunaan laboratorium berbasis IoT dengan biometrik sidik jari. Sistem ini mampu melakukan pemindaian sidik jari, verifikasi identitas pengguna, pencatatan waktu akses, dan sinkronisasi data ke Google Sheets untuk pemantauan *real-time*. Hasil pengujian *blackbox* menunjukkan bahwa kinerja sistem berhasil sesuai yang diharapkan dalam berbagai skenario, termasuk verifikasi pengguna terdaftar dan tidak terdaftar, pencatatan data, dan sinkronisasi ke Google Sheets. Meskipun demikian, pengujian juga mengidentifikasi adanya keterbatasan dalam verifikasi sidik jari pada kondisi jari basah atau kotor, yang perlu diperhatikan untuk pengembangan selanjutnya.

Sedangkan untuk waktu eksekusi Google Scripts untuk pemrosesan data, nilainya bervariasi antara 0.851 detik hingga 1.325 detik, yang secara umum masih dalam rentang yang dapat diterima untuk aplikasi monitoring *real-time*.

Referensi

- [1]. I. Fushshilat and Y. Yogasmana, "IoT scheme for surveillance system and laboratory security access," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing, 2020, p. 012014.
- [2]. C. Ceccarini, S. Mirri, P. Salomoni, and C. Prandi, "On exploiting data visualization and IoT for increasing sustainability and safety in a smart campus," *Mobile Networks and Applications*, vol. 26, no. 5, pp. 2066–2075, 2021.
- [3]. M. H. Hersyah, D. Yolanda, and H. Sitohang, "Multiple laboratory authentication system design using fingerprints sensor and keypad based on microcontroller," in *2020 International Conference on Information Technology Systems and Innovation (ICITSI)*, IEEE, 2020, pp. 14–19.
- [4]. K. Balasubramanian, V. Karthik, and V. K. Padmanaban, "Smart Multi Verification Based Security System," *El-Cezeri*, vol. 10, no. 2, pp. 193–207.
- [5]. M. M. Asad, A. Naz, A. Shaikh, M. Alrizq, M. Akram, and A. Alghamdi, "Investigating the impact of IoT-Based smart laboratories on students' academic performance in higher education," *Univers Access Inf Soc*, vol. 23, no. 3, pp. 1135–1149, 2024.
- [6]. M. Kassab, J. DeFranco, and P. Laplante, "A systematic literature review on Internet of things in education: Benefits and challenges," *J Comput Assist Learn*, vol. 36, no. 2, pp. 115–127, 2020.
- [7]. V. A. Kusuma, M. I. A. Putra, and S. S. Suprpto, "Sistem monitoring stok dan penjualan minuman pada vending machine berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan Google Sheets dan Kodular," *Jurnal Sistim Informasi Dan Teknologi*, pp. 94–98, 2022.
- [8]. A. Rahmah, P. Sukmasetya, M. S. Romadhon, and A. R. Adriansyah, "Developing distance learning monitoring dashboard with Google sheet: An approach for flexible and low-price solution in pandemic era," in *2020 International Conference on ICT for Smart Society (ICISS)*, IEEE, 2020, pp. 1–6.
- [9]. N. B. Arifani and A. Wisaksono, "IoT-Based Vaname Shrimp Water Quality Monitoring Prototype Using Google Spreadsheet," *Journal for Technology and Science*, p., 2024, doi: 10.61796/ipteks.v1i3.210.
- [10]. C. A. Patil, A. S. Parab, A. S. Tawade, Y. Pingle, and S. Raul, "IoT based Counter System for Press Fit Machines," *2024 11th International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)*, pp. 64–69, 2024, doi: 10.23919/INDIACom61295.2024.10498630.
- [11]. D. P. Putra and S. D. Ayuni, "Optimized Smart Home Temperature Monitoring Using IoT," *Indonesian Journal of Innovation Studies*, p., 2024, doi: 10.21070/ijins.v25i3.1170.
- [12]. R. R. Pasupunoori, C. B. P, R. Katuri, D. Kumar, and M. Mahesh, "Design of Real-Time Energy Monitoring and Slab Based Alert System for Domestic Application," *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, p., 2024, doi: 10.46254/in04.20240157.
- [13]. J. Pebralia, L. Handayani, D. Suprayogi, and I. Amri, "Implementation of internet of things (IoT) based on Google Sheets for water quality monitoring system," *Journal Online Of Physics*, vol. 9, no. 1, pp. 85–89, 2023.
- [14]. S. Mondal, "Automating KPI Measurement: A Sustainable Solution for Educational Accreditation," *Sustainability*, p., 2025, doi: 10.3390/su17051968.
- [15]. Z. J. Kunicki, N. S. Zambrotta, M. C. Tate, A. R. Surrusco, M. M. Risi, and L. L. Harlow, "Keep your stats in the cloud! Evaluating the use of Google Sheets to teach quantitative methods," *Journal of Statistics Education*, vol. 27, no. 3, pp. 188–197, 2019.