Sainteks: Jurnal Sain dan Teknik
E-ISSN: 2685-8304
Volume 8 Nomor 01 Tahun 2026
http://ejournal.uicm.ac.id/index.php/sainteks/

Development of an Internet of Things–based fabric defect recording system with automatic length measurement using a rotary encoder

Pengembangan sistem pencatatan cacat kain berbasis Internet of Things dengan pengukuran panjang otomatis menggunakan rotary encoder

Andrian Wijayono[1*)], Fahmi Fawzy Rusman[2)], Nurfadilah Ikhsani[3)], Reffli Ghandara[4)]
[1*,4)]Program Studi Teknik Pembuatan Kain Tenun, Akademi Komunitas Industri Tekstil dan Produk Tekstil Surakarta, Jl. Ki Hajar Dewantara, Jebres, Surakarta, Jawa Tengah 57126
[2,3)]Program Studi Teknik Pembuatan Benang, Akademi Komunitas Industri Tekstil dan Produk Tekstil Surakarta, Jl. Ki Hajar Dewantara, Jebres, Surakarta, Jawa Tengah 57126
Email: andrianw@kemenperin.go.id
*) *Corresponding author*

Abstract: *The textile industry requires efficient, accurate, and real-time quality control systems to replace paper-based inspection methods prone to errors and delays. This study develops and evaluates an Internet of Things (IoT)-based fabric defect recording system integrating a rotary encoder for length measurement, Arduino Uno as the controller, ESP32 as the communication module, a keypad for operator input, and a web-based MySQL database. The system automatically measures fabric length, records defect types, and transmits data wirelessly for real-time monitoring and management. Validation was conducted by comparing the proposed system with manual measurement and industrial inspection machines. One-Way ANOVA results show no significant difference in measurement accuracy ($p = 0.865 > 0.05$), with a Mean Absolute Error (MAE) of 0.0074 m, indicating high precision. Efficiency testing using a paired sample t-test shows a 79.2% reduction in recording time, from 16.8 seconds to 3.5 seconds (using digital recording system), with a significant difference ($p < 0.001$). The system also demonstrates reliable performance with low latency (120–150 ms), high repeatability, and zero data loss through buffering during network disruptions. These results indicate that the system improves operational efficiency while maintaining accuracy comparable to conventional methods and supports real-time integrated data management for textile industry digital transformation.*
Keywords: fabric inspection, industry 4.0, internet of things, rotary encoder, quality control.

Abstrak: Industri tekstil membutuhkan sistem pengendalian kualitas yang efisien, akurat, dan *real-time* untuk menggantikan metode inspeksi berbasis kertas yang rentan terhadap kesalahan dan keterlambatan. Penelitian ini mengembangkan dan mengevaluasi sistem pencatatan cacat kain berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mengintegrasikan *rotary encoder* sebagai sensor panjang kain, Arduino Uno sebagai pengendali, ESP32 sebagai modul komunikasi, keypad sebagai input operator, serta basis data berbasis web menggunakan MySQL. Sistem ini mampu mengukur panjang kain secara otomatis, mencatat jenis cacat, dan mengirimkan data secara nirkabel untuk pemantauan dan pengelolaan secara *real-time*. Validasi dilakukan dengan membandingkan sistem yang diusulkan terhadap metode meteran manual dan mesin inspeksi pabrik. Hasil uji One-Way ANOVA menunjukkan tidak terdapat perbedaan signifikan dalam akurasi pengukuran ($p = 0{,}865 > 0{,}05$), dengan nilai *Mean Absolute Error* (MAE) sebesar 0,0074 m yang menunjukkan presisi tinggi. Pengujian efisiensi menggunakan *paired sample t-test* menunjukkan peningkatan efisiensi waktu pencatatan sebesar 79,2%, dari 16,8 detik menjadi 3,5 detik (menggunakan sistem perekaman digital) dengan perbedaan signifikan ($p < 0{,}001$). Sistem juga menunjukkan performa andal dengan *latency* rendah (120–150 ms), repeatability tinggi, serta tanpa kehilangan data melalui mekanisme *buffering* saat gangguan koneksi. Hasil ini menunjukkan sistem mampu meningkatkan efisiensi operasional, menjaga akurasi setara metode konvensional, serta mendukung integrasi data inspeksi secara *real-time*.
Kata Kunci: inspeksi kain, *internet of things*, *rotary encoder*, pengendalian kualitas, industri 4.0.

DOI: http://doi.org/10.37577/sainteks.v8i01.1079
Received: 02, 2026. Accepted: 03, 2026.
Published: 03, 2026

PENDAHULUAN

Industri tekstil modern menghadapi tuntutan tinggi terhadap efisiensi, akurasi, dan ketertelusuran data dalam proses pengendalian kualitas. Namun, praktik inspeksi kain di banyak lini produksi masih dilakukan secara manual dan berbasis kertas, sehingga rentan terhadap kesalahan pencatatan, kehilangan data, keterlambatan pelaporan, serta subjektivitas dalam penentuan kualitas kain (Kumbara, 2020). Keterbatasan ini berdampak langsung pada konsistensi hasil inspeksi akibat faktor kelelahan operator dan variabilitas penilaian, yang pada akhirnya dapat menurunkan mutu produk serta meningkatkan risiko cacat lolos ke tahap produksi berikutnya atau ke konsumen (Dhamal, 2023; Dhorajiya et al., 2023). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa sistem inspeksi konvensional belum sepenuhnya mendukung kebutuhan manufaktur modern yang menuntut kecepatan, akurasi, dan integrasi data secara berkelanjutan.

Dalam konteks tersebut, transformasi menuju sistem digital berbasis *Internet of Things* (IoT) menjadi salah satu pendekatan yang relevan untuk meningkatkan kualitas proses inspeksi. Utama et al. (2022) mengembangkan sistem monitoring berbasis Arduino untuk pencatatan data produksi secara otomatis, sementara Anugerah & Sutabri (2024) menunjukkan bahwa integrasi ESP32 dengan platform berbasis web mampu meningkatkan kecepatan pelaporan dan keandalan data. Studi lain oleh Supriyanto & Setiawan (2025) dan Siagian (2026) juga menegaskan bahwa sistem berbasis mikrokontroler memungkinkan pencatatan data secara kontinu dan terpusat dalam lingkungan industri. Temuan-temuan tersebut menunjukkan bahwa IoT tidak hanya berfungsi sebagai alat *monitoring*, tetapi juga sebagai infrastruktur integrasi data yang mendukung proses pengambilan keputusan secara lebih cepat dan berbasis data.

Pada bidang tekstil, pemanfaatan teknologi digital untuk pengukuran parameter telah menunjukkan potensi dalam meningkatkan akurasi dan konsistensi. Penggunaan *rotary encoder* sebagai sensor pengukuran panjang berbasis pulsa terbukti mampu mengonversi gerakan mekanik menjadi data digital secara presisi (Wahyudi et al., 2015), sementara pendekatan pengolahan citra juga telah digunakan untuk mengukur parameter kain seperti cover factor dan stitch per inch dengan tingkat akurasi yang tinggi (Wijayono & Murti, 2024; Wijayono & Putra, 2018). Namun, penelitian-penelitian tersebut umumnya berfokus pada pengukuran parameter secara terpisah dan belum mengaitkannya dengan kebutuhan operasional pencatatan inspeksi di lini produksi.

Selain pendekatan berbasis pengukuran, perkembangan sistem inspeksi kain modern juga mengarah pada penggunaan *machine vision* dan *deep learning* untuk mendeteksi cacat secara otomatis. Berbagai studi menunjukkan bahwa metode seperti *Convolutional Neural Networks* (CNN), transformasi *shearlet*, dan *Gabor filter* efektif dalam mengidentifikasi cacat kain secara otomatis dan meningkatkan konsistensi deteksi (Beljadid et al., 2022; Çelik et al., 2022; Hanbay et al., 2019). Namun, implementasi pendekatan tersebut di lingkungan industri masih menghadapi tantangan praktis, seperti kebutuhan dataset besar, kompleksitas pelabelan data, serta kebutuhan komputasi tinggi untuk pemrosesan *real-time* (Çelik et al., 2022; Dhorajiya et al., 2023). Kondisi ini menyebabkan solusi berbasis kecerdasan buatan belum sepenuhnya adaptif untuk industri yang membutuhkan sistem yang lebih sederhana, stabil, dan mudah diimplementasikan secara langsung di lini produksi.

Berdasarkan tinjauan tersebut, dapat diidentifikasi bahwa penelitian sebelumnya cenderung berfokus pada dua pendekatan utama, yaitu (1) sistem monitoring berbasis IoT untuk berbagai parameter industri tanpa spesifik pada proses inspeksi kain (Anugerah & Sutabri, 2024; Supriyanto & Setiawan, 2025; Utama et al., 2022), dan (2) sistem deteksi cacat berbasis citra atau *machine learning* yang belum terintegrasi dengan proses pencatatan operasional di lini produksi (Beljadid et al., 2022; Çelik et al., 2022; Hanbay et al., 2019). Dengan demikian, masih terdapat kesenjangan penelitian dalam pengembangan sistem pencatatan cacat kain yang mengintegrasikan pengukuran panjang otomatis, input jenis cacat oleh operator, serta penyimpanan dan pengelolaan data secara terpusat dalam satu sistem yang siap diimplementasikan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan mengembangkan sistem pencatatan cacat kain berbasis IoT yang terintegrasi dengan basis data berbasis web. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang cenderung berfokus pada aspek monitoring atau deteksi secara terpisah, penelitian ini menekankan pada integrasi sistem yang dirancang secara khusus untuk mendukung aktivitas inspeksi kain secara operasional di lini produksi. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi antara pengukuran panjang kain otomatis menggunakan *rotary encoder*, pencatatan jenis cacat melalui antarmuka sederhana berbasis *keypad*, serta transmisi dan penyimpanan data secara *real-time* dalam sistem terpusat yang divalidasi menggunakan pendekatan statistik inferensial untuk mengevaluasi akurasi dan efisiensi sistem (Pradifta et al., 2025; Rusman et al., 2025; Wijayono et al., 2017).

Secara lebih spesifik, tujuan penelitian ini adalah (1) merancang sistem pengukuran panjang kain otomatis berbasis *rotary encoder*; (2) mengembangkan sistem pencatatan cacat kain berbasis IoT dan web, (3) mengevaluasi akurasi sistem dibandingkan metode manual dan mesin industri, serta (4) menganalisis peningkatan efisiensi operasional yang dihasilkan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan sistem inspeksi kain yang lebih praktis, terintegrasi, dan siap diimplementasikan dalam mendukung transformasi digital industri tekstil.

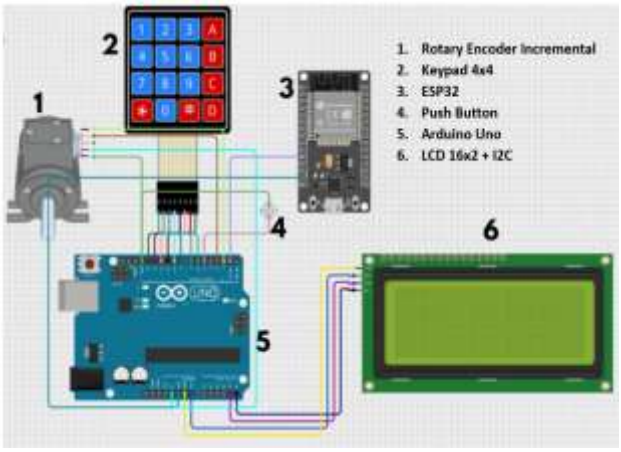
METODOLOGI

Rancangan Penelitian

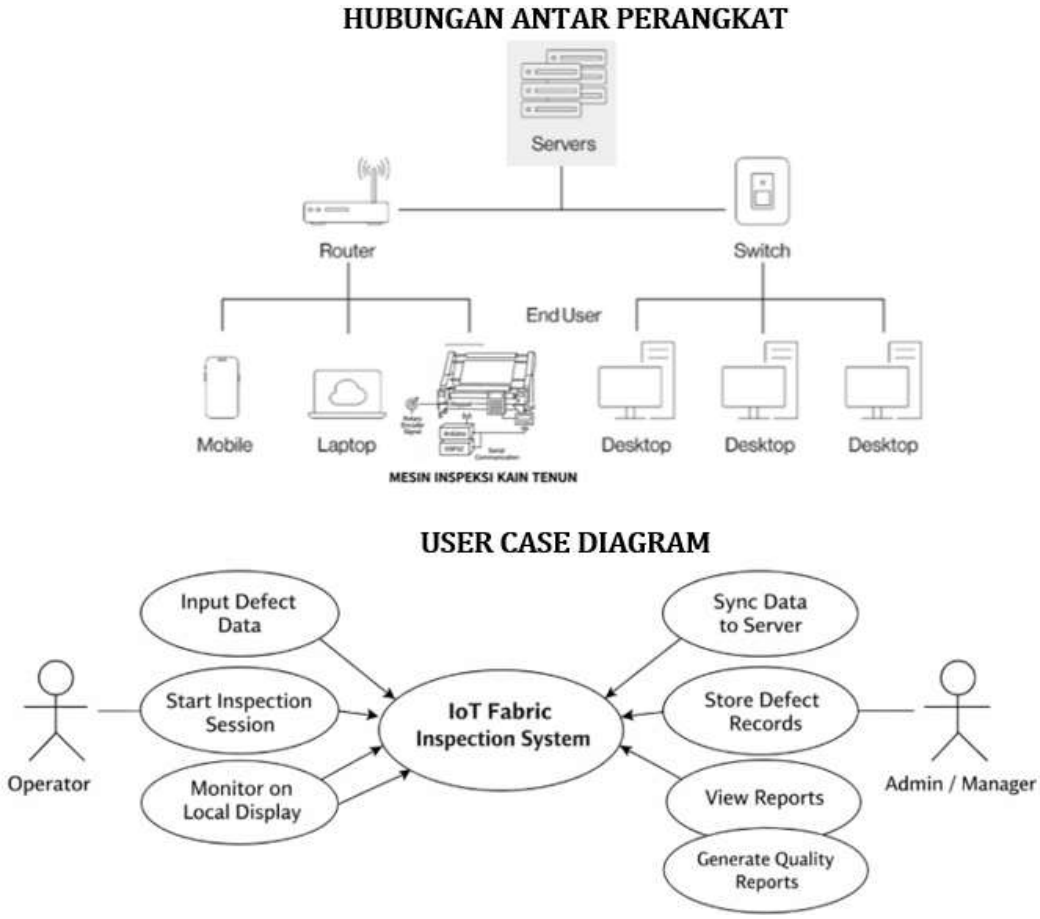
Penelitian ini menggunakan pendekatan rekayasa berbasis pengembangan prototipe (*engineering research*) dengan tahapan meliputi perancangan sistem, integrasi perangkat keras dan perangkat lunak, kalibrasi alat, implementasi, pengujian kinerja, dan validasi melalui analisis statistik. Pendekatan ini dipilih untuk memastikan sistem dapat berfungsi operasional di lini produksi serta menghasilkan data yang akurat dan efisien.

Sistem yang dirancang dalam penelitian ini tersusun atas beberapa komponen utama yang saling terhubung dalam suatu konfigurasi modular, yaitu *rotary encoder incremental* sebagai sensor pengukur panjang kain, Arduino Uno sebagai pengendali *real-time* (*slave*), ESP32 sebagai *gateway* nirkabel (*master*), keypad 4×4 untuk input kode cacat, LCD 16×2 sebagai media pemantauan lokal, serta *server* web berbasis CodeIgniter 4 dan MySQL untuk pengolahan dan penyimpanan data. Skema kerja Master–Slave digunakan agar Arduino menangani tugas *real-time* melalui interupsi sensor, sementara ESP32 mengemas data menjadi JSON dan mengirimkannya ke *server* melalui HTTP POST. Sistem dilengkapi mekanisme *error handling*, sehingga jika koneksi Wi-Fi terputus, data disimpan sementara di *buffer* ESP32 hingga koneksi tersedia kembali. Gambar 1 memperlihatkan arsitektur integrasi sistem, termasuk alur data dari sensor hingga *server* serta fungsi masing-masing komponen dalam mendukung pencatatan inspeksi kain secara otomatis.

Dalam operasionalnya, sistem memungkinkan interaksi antara operator, perangkat sensor, ESP32, *server*, dan klien (laptop atau ponsel). Operator menekan tombol kode cacat, dan sistem secara otomatis merekam posisi kain, jenis cacat, waktu, serta identitas mesin, lalu mengirim data ke *server*. Gambar 2 menampilkan hubungan antar perangkat serta *user case diagram*, memperjelas peran operator sebagai pengguna yang menginput data, memantau status inspeksi melalui *dashboard* web, dan mengambil laporan, sementara sistem secara otomatis mengelola penyimpanan dan sinkronisasi data.



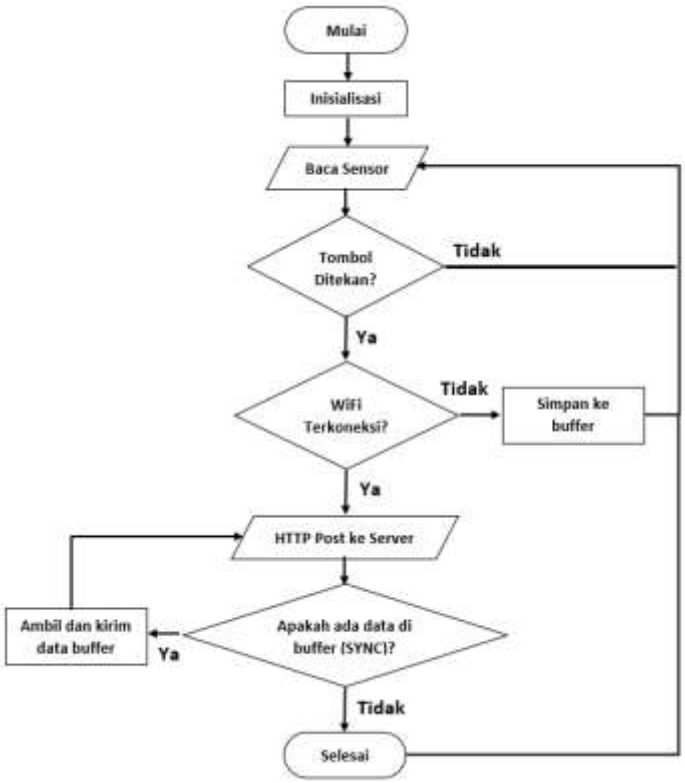
Gambar 1. Arsitektur integrasi sistem IoT pada mesin inspeksi kain. Menunjukkan alur kerja sensor *rotary encoder*, Arduino sebagai pengendali *real-time*, ESP32 sebagai *gateway* nirkabel, input *keypad* operator, tampilan LCD lokal, serta pengolahan dan penyimpanan data melalui *server* web (CodeIgniter 4 dan MySQL).



Gambar 2. Hubungan antar perangkat dan *user case diagram*. Diagram ini menampilkan alur komunikasi data dari sensor ke *server*, interaksi operator untuk input jenis cacat, serta pengambilan data melalui *dashboard* web

Mekanisme Pengolahan Data

Alur kerja sistem dimulai dari pembacaan *rotary encoder* oleh Arduino, yang mengonversi pulsa menjadi satuan meter berdasarkan kalibrasi roda ukur. Saat operator menekan tombol kode cacat, Arduino merekam posisi dan jenis cacat, lalu mengirim data ke ESP32 untuk dikemas menjadi JSON dan dikirim ke *server* jika Wi-Fi tersedia. Jika koneksi terputus, data ditampung sementara di *buffer* ESP32, kemudian disinkronisasi secara otomatis saat konektivitas pulih (*zero data loss*). Gambar 3 menunjukkan diagram alir algoritma sistem inspeksi dan sinkronisasi data, mulai dari akuisisi sensor hingga penyimpanan terpusat di basis data relasional yang terdiri dari tabel fabric_defects, inspection_sessions, dan machines, mendukung ketertelusuran data, konsistensi referensial, dan analisis historis. Sistem juga menampilkan *dashboard web real-time* yang memungkinkan monitoring panjang kain, jenis cacat, waktu kejadian, dan identitas mesin, serta menyediakan fitur rekap, pencarian, dan ekspor data.



Gambar 3. Diagram alir algoritma sistem inspeksi dan sinkronisasi data. Menunjukkan proses mulai dari pembacaan *rotary encoder*, pencatatan posisi cacat saat tombol ditekan, pengiriman data via ESP32, penyimpanan sementara di *buffer* saat koneksi terputus, hingga sinkronisasi ke *server*

Pengujian Sistem dan Validasi

Pengujian dilakukan dengan membandingkan pengukuran panjang kain menggunakan sistem IoT yang dikembangkan, mesin inspeksi pabrik, dan meteran manual. Setiap metode diuji secara berulang pada panjang kain yang sama untuk mendapatkan data yang reliabel. Waktu input cacat juga dicatat untuk mengevaluasi efisiensi sistem digital dibandingkan metode manual. Semua pengujian dilakukan dalam kondisi operasional yang sama untuk memastikan konsistensi hasil dan perbandingan yang valid antar metode.

Lingkungan dan Subjek Pengujian

Pengujian dilakukan di *workshop* kampus dan fasilitas industri tekstil (PC GKBI Yogyakarta). Operator mesin inspeksi kain bertindak sebagai pengguna sistem dalam kondisi nyata, namun tidak menjadi objek analisis utama.

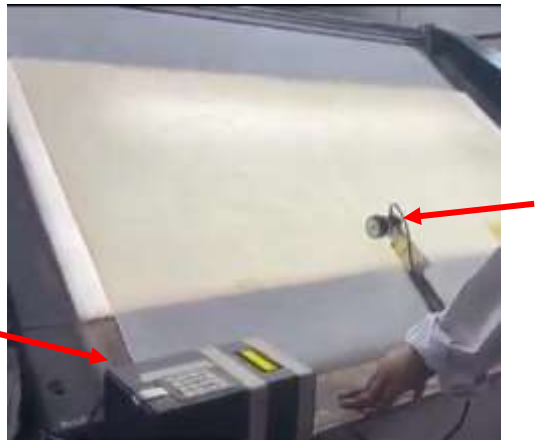
Teknik Analisis Data

Analisis dilakukan menggunakan statistik inferensial untuk mengevaluasi akurasi dan efisiensi sistem. *One-Way ANOVA* digunakan untuk membandingkan rata-rata pengukuran panjang kain dari tiga metode, sedangkan *Paired Sample t-test* digunakan untuk membandingkan waktu pencatatan cacat antara metode manual dan digital. Persentase efisiensi juga dihitung untuk menilai peningkatan kinerja operasional, dengan signifikansi $\alpha = 0{,}05$.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Sistem Hasil Perancangan

Sistem pencatatan cacat kain berbasis IoT berhasil dirancang dan direalisasikan dalam bentuk prototipe fungsional yang terintegrasi dengan mesin inspeksi kain. Gambar 4 menampilkan konfigurasi fisik perangkat yang terdiri atas *rotary encoder* sebagai *sensor* pengukur panjang kain, Arduino Uno sebagai pengendali utama, ESP32 sebagai modul komunikasi nirkabel, *keypad* sebagai antarmuka input operator, serta LCD sebagai media visualisasi lokal. Seluruh komponen tersebut terintegrasi dalam satu sistem yang bekerja secara sinkron dan *real-time.*

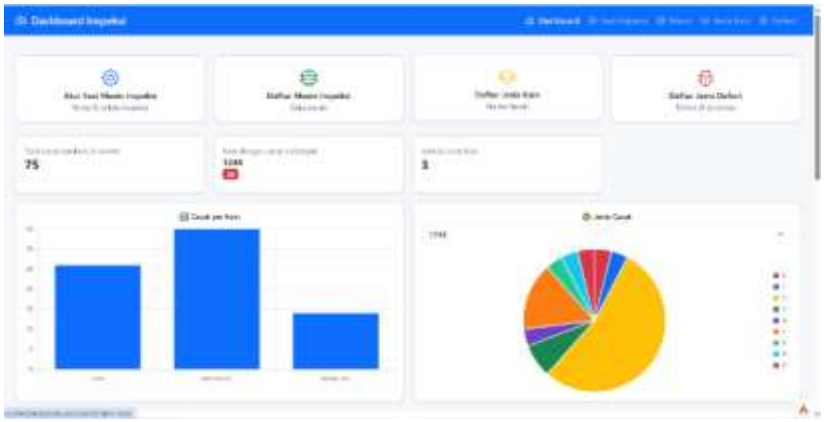


Gambar 4. Konfigurasi fisik perangkat sistem pencatatan cacat kain berbasis IoT yang terdiri dari *rotary encoder* sebagai sensor panjang kain, Arduino Uno sebagai pengendali, ESP32 sebagai modul komunikasi, *keypad* sebagai input operator, dan LCD sebagai media tampilan lokal

Sistem mampu membaca panjang kain secara otomatis melalui pulsa *rotary encoder*, memproses data pengukuran secara langsung pada mikrokontroler, menerima input klasifikasi cacat dari operator melalui *keypad*, serta mengirimkan data tersebut ke *server* berbasis web menggunakan protokol HTTP dalam format JSON. Mekanisme *buffering* juga diterapkan untuk menjamin tidak terjadinya kehilangan data saat koneksi jaringan terputus.

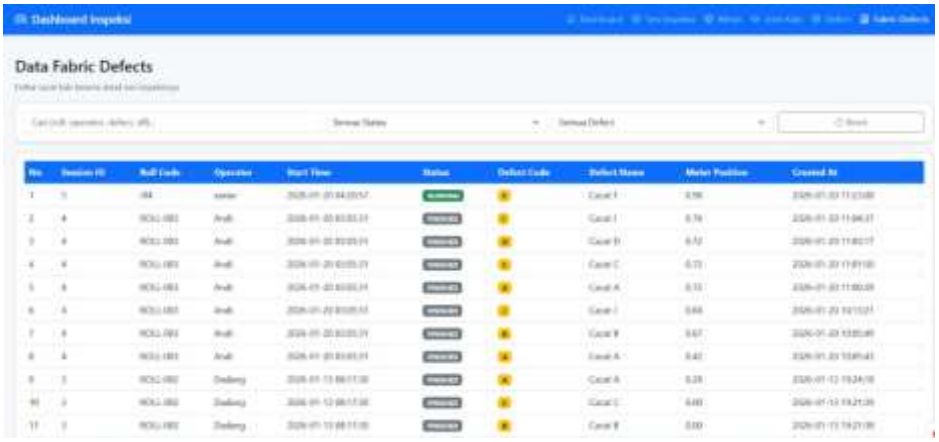
Selain itu, antarmuka web (*dashboard*) berhasil dikembangkan menggunakan *framework* CodeIgniter 4 dan basis data MySQL untuk menampilkan, menyimpan, serta mengelola data inspeksi secara terpusat. *Dashboard* menyediakan fitur visualisasi data inspeksi, riwayat cacat, serta rekapitulasi hasil inspeksi yang mendukung proses pengambilan keputusan berbasis data di lingkungan industri tekstil. Gambar 5 menunjukan tampilan antarmuka web (*dashboard*) dari sistem pencatatan cacat kain berbasis IoT yang telah berhasil dibuat pada penelitian ini.

Sistem pencatatan cacat kain berbasis IoT yang dikembangkan memiliki sejumlah keunggulan dibandingkan metode manual berbasis kertas (penulisan cacat pada kertas sebagai laporan dari hasil inspeksi setiap gulungan kain). Pertama, sistem ini mampu mengurangi kesalahan manusia (*human error*) dalam pencatatan panjang kain dan klasifikasi cacat melalui otomasi pengukuran dan digitalisasi input data. Kedua, waktu pencatatan menjadi jauh lebih singkat karena operator tidak perlu lagi menulis laporan secara manual, sehingga proses inspeksi berlangsung lebih efisien. Ketiga, data inspeksi tersimpan secara terpusat dalam basis data digital, sehingga meningkatkan ketertelusuran (*traceability*), keamanan data, serta kemudahan akses untuk keperluan audit dan analisis lanjutan. Selain itu, sistem memungkinkan pemantauan hasil inspeksi secara *real-time* oleh pihak manajemen, yang tidak dapat dicapai melalui metode manual konvensional.



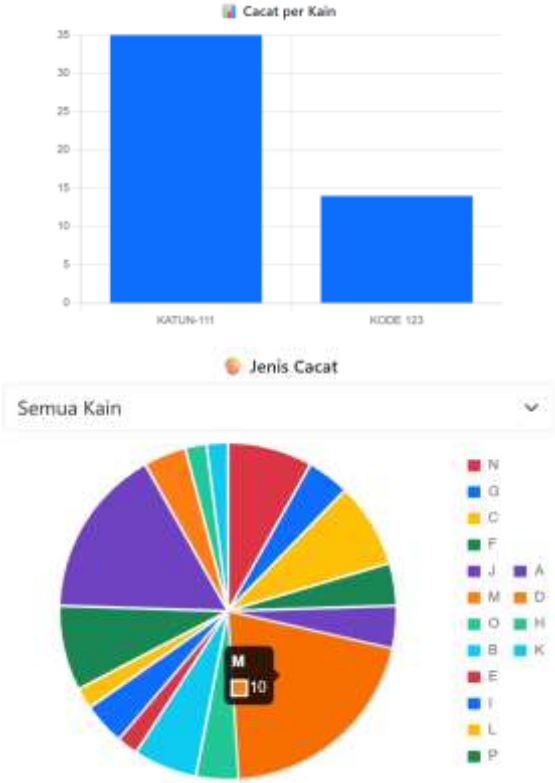
Gambar 5. Antarmuka web (*dashboard*) sistem pencatatan cacat kain berbasis IoT yang menampilkan data inspeksi secara *real-time*, termasuk panjang kain, jenis cacat, dan riwayat inspeksi

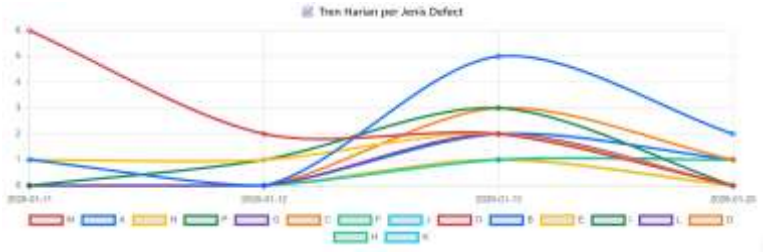
Antarmuka web (*dashboard*) yang dikembangkan berfungsi sebagai pusat pengelolaan dan visualisasi data inspeksi kain. *Dashboard* menampilkan informasi panjang kain, jenis cacat, waktu kejadian, serta identitas sesi inspeksi secara terstruktur dan *real-time*. Selain sebagai media *monitoring*, *dashboard* juga menyediakan fitur penyimpanan riwayat inspeksi dan rekapitulasi data yang mendukung analisis kinerja proses produksi dan pengambilan keputusan berbasis data. Implementasi *dashboard* ini memungkinkan integrasi sistem inspeksi lapangan dengan sistem informasi manajemen perusahaan secara berkelanjutan. Gambar 6 merupakan tampilan dari halaman pada dashboard yang menunjukan informasi panjang kain, jenis cacat, waktu kejadian, serta identitas sesi inspeksi secara terstruktur dan *real-time*.



Gambar 6. Tampilan detail *dashboard* yang menyajikan informasi panjang kain, jenis cacat, waktu kejadian, dan identitas sesi inspeksi secara terstruktur untuk mendukung monitoring dan analisis kualitas secara *real-time*

Proses rekapitulasi data cacat dapat dilakukan dengan lebih cepat karena seluruh data langsung dihitung dan diolah oleh sistem dengan ketertelusuran yang baik. Gambar 7 menunjukan hasil rekapitulasi data cacat yang dapat dihasilkan oleh sistem pencatatan cacat kain berbasis IoT di penelitian ini. Rekapitulasi jumlah cacat untuk setiap produk kain, jumlah cacat untuk setiap jenis cacat, serta grafik jumlah cacat harian dapat dilihat secara *real-time* pada sistem ini.





Gambar 7. Tampilan rekapitulasi data cacat kain yang dihasilkan sistem, meliputi jumlah cacat per produk, distribusi jenis cacat, serta tren cacat harian untuk mendukung analisis kualitas produksi

Hasil Pengujian Akurasi

Hasil kalibrasi menunjukkan bahwa sistem digital IoT menghasilkan nilai pengukuran panjang kain yang sangat mendekati hasil pengukuran menggunakan meteran manual dan mesin industri. Pengujian dilakukan sebanyak n=5 kali pengukuran pada setiap metode. Tabel 1 menunjukan perbandingan hasil pengukuran meteran manual dan mesin industri, serta perangkat yang diusulkan pada penelitian ini. Pengukuran dilakukan dengan mengukur panjang kain yang sama dengan membandingkan hasil ukur antar masing-masing metode.

Tabel 1. Hasil pengukuran panjang kain dengan menggunakan meteran manual, sistem mesin pabrik dan sistem yang diusulkan pada penelitian ini

Pengujian Ke-	Sistem Digital IoT (meter)	Sistem Mesin Pabrik (meter)	Meteran Manual (meter)
1	2.01	2.01	2.005
2	2.01	2.01	2.003
3	2.01	2.00	2.004
4	2.00	2.00	2.004
5	1.99	1.99	2.005

Analisis statistik menggunakan *One-Way ANOVA* menunjukkan nilai signifikansi (Sig.) sebesar 0,865 (> 0,05), sehingga tidak terdapat perbedaan signifikan antara ketiga metode pengukuran. Uji homogenitas varians menggunakan *Levene test* menghasilkan Sig. = 0,019 (< 0,05), menunjukkan varians antar kelompok tidak sepenuhnya homogen, namun ANOVA tetap valid karena ukuran sampel seimbang (n=5).

Evaluasi tingkat kesalahan menggunakan *Mean Absolute Error* (MAE), dengan meteran manual sebagai referensi, menghasilkan rata-rata MAE sebesar 0,0074 m untuk sistem digital IoT dan 0,0070 m untuk mesin inspeksi pabrik (Tabel 2). Nilai ini menunjukkan tingkat presisi yang tinggi dan selisih *error* yang sangat kecil antar metode, mendukung hasil analisis ANOVA bahwa tidak terdapat perbedaan signifikan.

Tabel 2. Perhitungan *Mean Absolute Error* (MAE) terhadap meteran manual

Pengujian	Sistem Digital IoT (meter)	Meteran Manual (meter)	*Error* Sistem Digital IoT (meter)	Sistem Mesin Pabrik (meter)	*Error* Sistem Mesin Pabrik (meter)
1	2.01	2.005	0.005	2.01	0.005
2	2.01	2.003	0.007	2.01	0.007
3	2.01	2.004	0.006	2.00	0.004
4	2.00	2.004	0.004	2.00	0.004
5	1.99	2.005	0.015	1.99	0.015
Rata-rata (MAE)			0.0074		0.0070

Tingkat *repeatability* diuji dengan pengulangan pengukuran yang sama oleh sistem IoT dalam kondisi identik, menghasilkan deviasi maksimum 0,02 m, menunjukkan konsistensi internal yang tinggi. *Reproducibility* diuji dengan pengukuran pada hari berbeda dan operator berbeda, menghasilkan variasi rata-rata < 0,01 m, menandakan sistem mampu memberikan hasil stabil dan dapat direproduksi.

Pengujian *latency* sistem IoT menunjukkan waktu tunda rata-rata 120–150 ms dari deteksi panjang kain hingga pencatatan data di server, yang tergolong rendah dan tidak mengganggu proses inspeksi *real-time*. Dengan demikian, sistem digital IoT tidak hanya setara secara statistik dengan metode konvensional, tetapi juga memiliki tingkat kesalahan rendah, konsistensi tinggi, dan kemampuan pencatatan *real-time* yang efisien.

Hasil Pengujian Efisiensi Waktu

Pengujian efisiensi menunjukkan bahwa rata-rata waktu pencatatan data cacat menggunakan metode manual adalah 16,8 detik, sedangkan sistem digital IoT hanya memerlukan 3,5 detik. Pengukuran dilakukan sebanyak n=10 pencatatan inspeksi temuan cacat pada kain yang sama. Tabel 3 menyajikan hasil waktu pencatatan masing-masing metode beserta selisih efisiensinya. Hasil ini menunjukkan penghematan rata-rata 13,3 detik, atau peningkatan efisiensi 79,2%. Analisis menggunakan *paired t-test* menunjukkan $p < 0{,}001$, menandakan perbedaan waktu pencatatan antara metode manual dan digital signifikan secara statistik.

Evaluasi *repeatability* dilakukan dengan mengulang pencatatan yang sama oleh sistem IoT dalam kondisi identik, menghasilkan deviasi maksimum 0,2 detik, menunjukkan konsistensi internal yang tinggi. *Reproducibility* diuji dengan pencatatan di hari berbeda dan operator berbeda, menghasilkan variasi rata-rata 0,15 detik, menandakan sistem dapat memberikan hasil stabil dan dapat direproduksi.

Pengukuran *latency* sistem IoT menunjukkan waktu tunda rata-rata 120–150 ms dari deteksi cacat hingga pencatatan data di *server*, yang tergolong rendah dan tidak mengganggu proses inspeksi *real-time*. Dengan demikian, sistem digital IoT tidak hanya meningkatkan efisiensi waktu secara signifikan, tetapi juga mempertahankan konsistensi dan keandalan pencatatan data secara *real-time*.

Tabel 3. Hasil pengujian jumlah waktu yang diperlukan pada metode manual dan sistem yang diusulkan.

Penggulungan Ke-	Metode Manual (Detik)	Metode Digital (Detik)	Selisih Efisiensi (Detik)
1	15,2	3,1	12,1
2	18,4	3,5	14,9
3	14,8	3,2	11,6
4	20,1	4,2	15,9
5	16,5	3,1	13,4
6	17,2	3,8	13,4
7	15,7	3,4	12,3
8	19,3	3,9	15,4
9	14,5	3,2	11,3
10	16,3	3,6	12,7
Rata-rata	16,8 Detik	3,5 Detik	13,3 Detik

Reliabilitas dan Integritas Data

Pengujian berulang terhadap sistem menunjukkan bahwa transmisi data melalui ESP32 ke *server* berjalan stabil tanpa kehilangan data. Integrasi antara perangkat keras, jaringan Wi-Fi, dan

database MySQL memastikan sinkronisasi data secara *real-time* dan mendukung pengelolaan data inspeksi secara terpusat.

Uji reliabilitas menunjukkan bahwa penggunaan format JSON memastikan integritas data tetap terjaga selama proses transmisi nirkabel. Kecepatan transmisi rata-rata dari *trigger* tombol hingga data muncul di *dashboard web* adalah < 1 detik pada jaringan Wi-Fi lokal. Hal ini meminimalkan risiko kehilangan data jika dibandingkan dengan pencatatan manual yang rentan terhadap kesalahan tulis atau hilangnya lembar laporan fisik.

Sistem arsitektur dirancang sedemikian rupa sehingga kegagalan koneksi nirkabel tidak menghambat proses inspeksi secara keseluruhan; data dialihkan ke penyimpanan lokal sementara (*local buffer*) sebelum akhirnya sistem kembali ke kondisi *standby*.

Pembahasan

Temuan penelitian ini mengonfirmasi bahwa penerapan *Internet of Things* (IoT) dalam sistem memungkinkan sistem digital memiliki akurasi yang setara dengan metode manual dan mesin inspeksi pabrik, serta meningkatkan efisiensi dan ketertelusuran proses inspeksi. Terdapat temuan dari beberapa penelitian yang melaporkan bahwa sistem berbasis IoT dapat meningkatkan keandalan monitoring, mengurangi kesalahan manusia, serta mempercepat proses pelaporan dalam lingkungan industri (Siagian, 2026; Supriyanto & Setiawan, 2025; Zulfadlillah et al., 2024). Pengukuran panjang kain menggunakan *rotary encoder* menunjukkan kestabilan hasil tinggi dan penyimpangan rendah, yang menandakan akurasi setara metode konvensional, sesuai dengan laporan Wahyudi et al. (2015) dan Pradifta et al. (2025) bahwa *sensor* digital meningkatkan konsistensi dan ketelitian pengukuran.

Penelitian ini memiliki kontribusi utama yang ada pada integrasi menyeluruh antara pengukuran panjang kain otomatis, pencatatan jenis cacat melalui antarmuka input, serta penyimpanan data terpusat berbasis web dalam satu sistem terpadu. Sebagian besar penelitian sebelumnya masih berfokus pada satu aspek, seperti *monitoring* lingkungan (Anugerah & Sutabri, 2024), sistem *logging* berbasis web (Siagian, 2026), atau pengukuran parameter tekstil secara terpisah (Pradifta et al., 2025; Wijayono & Murti, 2024; Wijayono & Putra, 2018). Dengan menggabungkan seluruh komponen ini, penelitian memperluas digitalisasi inspeksi dari pendekatan parsial menjadi sistem yang lebih komprehensif dan aplikatif pada lini produksi tekstil, sebagaimana direkomendasikan dalam literatur sistem manufaktur cerdas (Matdoan & Matdoan, 2025; Zulfadlillah et al., 2024).

Secara teoretis, hasil penelitian ini memperkuat konsep bahwa penerapan IoT dan sistem informasi terintegrasi dapat meningkatkan kualitas data dalam pengendalian kualitas industri. Integrasi sensor, mikrokontroler, dan sistem basis data memungkinkan terbentuknya ekosistem data yang mendukung prinsip big data dan smart manufacturing, sebagaimana dijelaskan oleh Zulfadlillah et al. (2024), Matdoan & Matdoan (2025), dan Siagian (2026). Validasi melalui uji ANOVA dan uji-t menunjukkan bahwa hasil akurasi dan efisiensi bukan sekadar subjektif, tetapi didukung bukti statistik, pendekatan serupa juga diterapkan Rusman et al. (2025) dalam analisis kualitas benang dan kain.

Secara praktis, sistem yang dikembangkan memiliki implikasi langsung terhadap peningkatan produktivitas dan efektivitas operasional di industri tekstil. Otomasi pengukuran dan pencatatan memungkinkan pengurangan waktu inspeksi, percepatan proses pelaporan, serta peningkatan ketertelusuran data produksi dari tingkat operator hingga manajemen, sebagaimana dilaporkan dalam penelitian tentang sistem monitoring berbasis IoT dan web (Putra et al., 2020; Siagian, 2026; Supriyanto & Setiawan, 2025; Utama et al., 2022). Informasi yang tersimpan secara *real-time* dan terpusat mendukung pengambilan keputusan berbasis data, seperti identifikasi pola cacat, evaluasi kinerja mesin, dan perencanaan tindakan perbaikan (*corrective action*), sebagaimana ditekankan dalam literatur pengendalian kualitas modern (Kumbara, 2020; Zulfadlillah et al., 2024). Secara kuantitatif, inovasi ini telah berhasil memberikan dampak pada

peningkatan efisiensi waktu pencatatan sebesar 79,2%. Hasil uji ANOVA dengan nilai sig. sebesar 0,865 ($> 0,05$) yang menunjukkan bahwa sistem tidak hanya lebih efisien, tetapi juga setara secara akurasi dengan metode konvensional (*rotary encoder* yang terintegrasi pada sistem dapat memberikan hasil pengukuran panjang kain dengan akurasi yang setara dengan metode di industri).

Keterbatasan masih ada karena sistem bergantung pada input operator untuk klasifikasi jenis cacat, sehingga potensi subjektivitas dan inkonsistensi penilaian antar operator masih mungkin terjadi (Anugerah & Sutabri, 2024; Kumbara, 2020). Selain itu, sistem belum sepenuhnya mengintegrasikan *computer vision* atau kecerdasan buatan untuk deteksi cacat otomatis, padahal teknologi ini terbukti meningkatkan objektivitas dan kecepatan inspeksi kain (Pradifta et al., 2025; Wijayono & Murti, 2024; Wijayono & Putra, 2018). Pengujian masih pada skala terbatas, sehingga generalisasi hasil ke jenis kain, mesin, dan kondisi produksi berbeda membutuhkan penelitian lanjutan (Matdoan & Matdoan, 2025; Zulfadlillah et al., 2024).

Penelitian selanjutnya disarankan menambahkan modul pengolahan citra digital atau kecerdasan buatan untuk deteksi dan klasifikasi cacat secara otomatis, serta melakukan pengujian skala industri yang lebih besar untuk meningkatkan validitas eksternal. Dengan demikian, sistem IoT ini tidak sekadar media pencatatan digital, tetapi juga menjadi sarana analisis data untuk meningkatkan kualitas produk, efisiensi produksi, dan daya saing industri tekstil.

Sistem digital IoT meningkatkan efisiensi tidak hanya karena waktu pencatatan lebih singkat, tetapi juga melalui mekanisme operasional yang terintegrasi. Input data cacat melalui antarmuka digital memungkinkan operator merekam temuan secara langsung tanpa menulis manual, menghilangkan proses pencatatan tambahan dan mengurangi risiko kesalahan. Data dikirim langsung ke database terpusat untuk menghindari *double-entry* dan mempermudah pengelolaan informasi, sementara transmisi *real-time* dengan *latency* 120–150 ms memastikan alur inspeksi lancar. Hubungan sebab-akibat terlihat jelas: *sensor rotary encoder* mendeteksi panjang kain secara presisi dan mengirim otomatis ke database, menghasilkan MAE rendah yang menunjukkan akurasi setara metode manual; otomasi input cacat menurunkan waktu pencatatan, meningkatkan produktivitas, konsistensi data, dan mendukung pengambilan keputusan berbasis informasi.

Evaluasi performa dilakukan secara komprehensif dengan indikator kuantitatif: *repeatability* menunjukkan deviasi maksimum 0,02 meter (pengukuran panjang kain) dan 0,2 detik (pencatatan waktu), *reproducibility* menghasilkan variasi rata-rata $< 0,01$ meter dan 0,15 detik, menandakan sistem stabil dan dapat direproduksi. MAE rendah, efisiensi waktu 79,2%, dan *latency* minimal menunjukkan sistem cepat, andal, dan akurat (setara akurasinya dengan metode yang ada di industri). Pengujian reliabilitas membuktikan tidak ada kehilangan data dan integritas informasi tetap terjaga berkat mekanisme penyimpanan sementara. Dengan demikian, integrasi sensor, antarmuka digital, dan *database* terpusat memungkinkan sistem IoT mencapai efisiensi tinggi, konsistensi stabil, dan performa andal dalam inspeksi kain *real-time*.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa sistem pencatatan cacat kain berbasis *Internet of Things* (IoT) berhasil dirancang dan diimplementasikan secara fungsional untuk mendukung proses inspeksi kain di lini produksi. Sistem yang dikembangkan mampu mengintegrasikan pengukuran panjang kain secara otomatis, pencatatan jenis cacat oleh operator, serta pengelolaan data secara terpusat dan real-time melalui platform berbasis web. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi yang setara dengan metode konvensional dan mesin inspeksi industri. Hal ini dibuktikan melalui analisis statistik menggunakan One-Way ANOVA dengan nilai signifikansi (sig.) sebesar 0,865 ($> 0,05$), yang menunjukkan tidak terdapat perbedaan signifikan antar metode. Selain itu, nilai *Mean Absolute Error* (MAE) sebesar 0,0074 m mengindikasikan tingkat presisi yang tinggi. Dari sisi efisiensi, sistem mampu meningkatkan kecepatan pencatatan secara signifikan sebesar 79,2%, dari rata-rata 16,8 detik pada metode manual menjadi 3,5 detik pada sistem digital ($p < 0,001$). Sistem juga

menunjukkan performa yang andal dengan *latency* rendah (120–150 ms), *repeatability* dan *reproducibility* yang tinggi, serta tidak terjadi kehilangan data berkat mekanisme *buffering* saat gangguan koneksi. Dengan demikian, sistem ini tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional, tetapi juga menjaga akurasi dan konsistensi data inspeksi secara *real-time*. Meskipun demikian, sistem masih bergantung pada input operator dalam proses klasifikasi cacat, sehingga potensi subjektivitas masih dapat terjadi. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk mengintegrasikan teknologi *computer vision* atau kecerdasan buatan guna meningkatkan tingkat otomasi, objektivitas, dan skalabilitas sistem inspeksi kain di industri tekstil.

DAFTAR PUSTAKA

Anugerah, R., & Sutabri, T. (2024). Perancangan Sistem Monitoring Kualitas Udara Menggunakan IoT dengan Metode Prototype. *Modem : Jurnal Informatika Dan Sains Teknologi.*, *3*(1), 01–05. https://doi.org/10.62951/modem.v3i1.304

Beljadid, A., Tannouche, A., & Balouki, A. (2022). Automatic fabric defect detection employing deep learning. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, *12*(4), 4129. https://doi.org/10.11591/ijece.v12i4.pp4129-4136

Çelik, H. İ., Dülger, L. C., Öztaş, B., Kertmen, M., & Gültekin, E. (2022). A novel industrial application of CNN approach: Real time fabric inspection and defect classification on circular knitting machine. *Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi*, *32*(4), 344–352. https://doi.org/10.32710/tekstilvekonfeksiyon.1017016

Dhamal, D. (2023). Fabric defect analysis in textile manufacturing: Evaluating methods for generic and jacquard fabrics. *TJJPT*, *44*(3), 3534–3541.

Dhorajiya, J., Shah, K., Patil, T., & Udawant, P. (2023). Review of fabric defect detection using machine learning algorithms. *International Journal For Multidisciplinary Research*, *5*(5). https://doi.org/10.36948/ijfmr.2023.v05i05.5163

Hanbay, K., Talu, M. F., Özgüven, Ö. F., & Öztürk, D. (2019). Real-time detection of knitting fabric defects using shearlet transform. *Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi*, *29*(1), 1–10. https://doi.org/10.32710/tekstilvekonfeksiyon.482888

Kumbara, A. (2020). STRATEGI MANAGEMENT ANALISIS SWOT PADA LUCKY TEXTILE GROUP DALAM MENGHADAPI PERSAINGAN INDUSTRI TEXTILE. *Jurnal Ekonomi Manajemen Sistem Informasi*, *1*(5), 464–474. https://doi.org/10.31933/jemsi.v1i5.146

Matdoan, Z., & Matdoan, A. W. (2025). Integrasi teknologi Internet of Things (IoT) dalam sistem pengendalian kualitas proses produksi: Studi kasus pada industri tekstil. *Reliability: Journal of Industrial Statistics*, *1*(1), 9–16.

Pradifta, R. A., Murti, W., Rusman, F. F., Ikhsani, N., Wijayono, A., & Nurazizah, V. (2025). Studi Pengukuran Densitas Gulungan Benang Dengan Metode Pengolahan Citra Digital. *Jurnal Teknik SILITEK*, *5*(01), 363–373.

Putra, V. G. V., Wijayono, A., Ngadiyono, N., & Purnomosari, E. (2020). Pengembangan Alat Uji Efisiensi Lampu Berbasis Mikrokontroller Arduino Uno untuk Evaluasi Tingkat Pencahayaan Lampu Meja Belajar di Laboratorium Fisika-Mekatronika Politeknik STTT Bandung. *JIPFRI (Jurnal Inovasi Pendidikan Fisika Dan Riset Ilmiah)*, *4*(2), 65–71. https://doi.org/10.30599/jipfri.v4i2.640

Rusman, F. F., Ikhsani, N., Wijayono, A., Nurazizah, V., Pradifta, R. A., & Murti, W. (2025). Analisis pengaruh jumlah rangkapan dan pemberian twist terhadap sifat mekanis benang kapas murni menggunakan ANOVA. *Jurnal Penelitian Inovatif*, *5*(2), 889–900.

Siagian, R. I. P. (2026). SISTEM LOGGING JARINGAN BERBASIS WEBSITE DENGAN IMPLEMENTASI NOTIFIKASI REAL-TIME UNTUK PERINGATAN AKSES MENCURIGAKAN. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, *14*(1). https://doi.org/10.23960/jitet.v14i1.8201

Supriyanto, & Setiawan, N. D. (2025). Rancang Bangun Sistem Real-Time Monitoring Suhu dan Kelembaban Menggunakan ESP32. *Elkom: Jurnal Elektronika Dan Komputer*, *18*(1), 447–457. https://doi.org/10.51903/elkom.v18i1.3064

Utama, W. K., Rukmana, A., & Ikhsan, A. F. (2022). PERANCANGAN SISTEM PENGENAL WAJAH DENGAN MENGGUNAKAN ESP32 BERBASIS DATABASE WEBSERVER. *Fuse-Teknik Elektro*, *2*(1), 51. https://doi.org/10.52434/jft.v2i1.1918

Wahyudi, A. E., Rohmah, R. N., & Prasetya, D. A. S. (2015). *Perancangan dan pembuatan alat ukur jarak digital berbasis Arduino menggunakan sensor rotary encoder (Undergraduate thesis)*.

Wijayono, A., & Murti, W. (2024). Study of measuring the cover factor of woven fabrics using image processing techniques. *Sainteks: Jurnal Sain Dan Teknik*, *6*(2), 245–255. https://doi.org/10.37577/sainteks.v6i02.709

Wijayono, A., Murti, W., Putra, V. G. V., & Rohmah, S. (2017, February 1). Pemodelan Dan Validasi Nilai Konstanta Diameter Benang Secara Teori Dan Pengolahan Citra Digital. *Proceedings of the 2nd Indonesian Textile Conference*. https://doi.org/10.31227/osf.io/phn3r

Wijayono, A., & Putra, V. G. V. (2018). Stitch per inch measurement using image processing techniques. *Arena Tekstil*, *33*(2). https://doi.org/10.31266/at.v33i2.3571

Zulfadlillah, Z., Fathani, M. A., Noval, M., & Irwana, I. (2024). Penerapan Sistem Manufacturing 4.0 dengan Integrasi Internet of Things (IoT) untuk Optimalisasi Efisiensi Produksi. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, Elektro Dan Komputer*, *4*(1), 159–164. https://doi.org/10.51903/juritek.v4i1.4041

.