

Pengembangan Sistem Rekapitulasi Pelatihan Karyawan berbasis *Web* menggunakan Model *Waterfall* dan Evaluasi Efisiensi Waktu Administratif

Development of a Web-based Employee Training Recapitulation System using the Waterfall Model and Evaluation of Administrative Time Efficiency

¹Samuel Rado Yosafat Hutabarat, ²Hafiyyan Putra Pratama*

^{1,2}Sistem Telekomunikasi, Kampus Daerah Purwakarta, Universitas Pendidikan Indonesia

^{1,2}Jl. Veteran No. 8, Nagri Kaler, Purwakarta, Jawa Barat, Indonesia

*e-mail: hafiyyan@upi.edu

(received: 3 September 2026, revised: 11 September 2026, accepted: 12 September 2026)

Abstrak

Data pelatihan karyawan di PT. Indo-Rama Synthetics Tbk. sebelumnya dikelola manual menggunakan berkas kerja (workbook) spreadsheet yang saling terkait, sehingga pencarian data lambat, penelusuran riwayat pelatihan memakan waktu, dan rekapitulasi manual rawan kesalahan. Penelitian ini mengembangkan sistem rekapitulasi pelatihan karyawan berbasis web menggunakan Next.js, PostgreSQL, dan Prisma ORM mengikuti model Waterfall, dan mengevaluasi dampaknya terhadap efisiensi waktu administrasi. Black box testing terhadap tujuh fungsi inti menunjukkan seluruh fungsi menghasilkan keluaran sesuai yang diharapkan. Hasil menunjukkan sistem mampu meningkatkan efisiensi proses administratif dengan rata-rata pengurangan waktu sebesar 67,48%, terutama pada proses rekapitulasi pelatihan yang sebelumnya dilakukan secara manual. Evaluasi melalui pengukuran berulang sebelum-sesudah dan uji statistik non-parametrik menunjukkan bahwa penggunaan sistem secara konsisten mengurangi waktu pemrosesan administratif, terutama pada tugas agregatif.

Kata kunci: black box testing, digitalisasi administrasi, evaluasi efisiensi waktu, model Waterfall, sistem informasi berbasis web

Abstract

Employee training data at PT. Indo-Rama Synthetics Tbk. were previously managed manually using interconnected spreadsheet workbooks, resulting in slow data retrieval, time-consuming training history tracking, and error-prone manual recapitulation. This study developed a web-based employee training recapitulation system using Next.js, PostgreSQL, and Prisma ORM following the Waterfall model, and evaluated its impact on administrative time efficiency. Black-box testing of seven core functions showed that all functions produced the expected outputs. The results indicate that the system improved administrative process efficiency, with an average reduction in processing time of 67.48%, particularly for training recapitulation tasks that were previously performed manually. Evaluation through repeated pre- and post-implementation measurements and non-parametric statistical testing demonstrated that the system consistently reduced administrative processing time, particularly for aggregative tasks.

Keywords: black box testing, digitalized administration, time-efficiency evaluation, Waterfall model, web-based information system

1 Pendahuluan

Manajemen pelatihan karyawan merupakan bagian penting dari pengembangan sumber daya manusia (SDM) di perusahaan manufaktur, khususnya dalam mencatat aktivitas pelatihan, mencatat partisipasi karyawan, dan menyusun laporan berkala untuk ditinjau oleh manajemen. Transformasi digital pada fungsi administratif SDM telah menjadi agenda strategis banyak perusahaan manufaktur dalam beberapa tahun terakhir, seiring dengan meningkatnya volume data karyawan dan tuntutan pelaporan yang lebih cepat dan akurat. Studi pada perusahaan manufaktur yang tercatat di bursa

<http://sistemasi.ftik.unisi.ac.id>

Tiongkok menunjukkan bahwa pemberdayaan digital (*digital empowerment*) berkaitan dengan peningkatan skala ekonomi dan efisiensi manajerial pada tingkat perusahaan [1], sementara kapabilitas TI yang diarahkan pada orientasi digital organisasi terbukti berkontribusi terhadap peningkatan kinerja perusahaan secara keseluruhan [2]. Namun demikian, bukti pada tingkat ini umumnya bersifat makro dan agregat, sehingga belum secara langsung menjelaskan bagaimana digitalisasi memengaruhi durasi penyelesaian tugas administratif harian pada tingkat operasional, yaitu tingkat yang paling dirasakan oleh staf pelaksana dan yang paling menentukan kecepatan organisasi merespons kebutuhan pelaporan manajemen sehari-hari.

Di PT. Indo-Rama Synthetics Tbk., data pelatihan untuk ratusan aktivitas dan ribuan karyawan setiap tahun dicatat secara manual menggunakan berkas kerja (*workbook*) spreadsheet yang saling terkait. Kondisi ini menimbulkan beberapa masalah operasional, seperti pencarian data karyawan tertentu yang memerlukan penelusuran manual pada lembar kerja berukuran besar, penelusuran riwayat pelatihan karyawan secara lengkap yang menghabiskan banyak waktu, dan penyusunan laporan rekapitulasi yang mengharuskan penggabungan data secara manual dari lembar induk ke dalam beberapa lembar ringkasan turunan, sebuah proses yang bisa menghabiskan waktu berjam-jam dan rentan terhadap kesalahan manusia. Kondisi ini juga berdampak pada aspek koordinasi lintas fungsi, karena karyawan Health, Safety, and Environment (HSE) yang bertanggung jawab menyusun laporan rekapitulasi bulanan harus mengalokasikan waktu kerja yang signifikan hanya untuk menelusuri dan menggabungkan data dari berkas kerja yang terpisah-pisah. Ketergantungan pada proses manual ini juga membuat organisasi rentan terhadap keterlambatan pelaporan ketika karyawan yang biasa menangani rekapitulasi berhalangan hadir, karena pengetahuan mengenai struktur dan lokasi data pada berkas kerja seringkali bersifat tasit dan tidak terdokumentasikan secara formal. Skala persoalan ini tidak kecil, pada data produksi aktual yang digunakan dalam penelitian ini saja tercatat 546 aktivitas pelatihan dan 1.601 karyawan yang datanya harus ditelusuri, digabungkan, dan direkapitulasi secara berulang setiap periode pelaporan. Masalah-masalah ini berdampak langsung pada waktu penyelesaian proses administratif dan keandalan laporan yang menjadi acuan manajemen dalam pengambilan keputusan, sehingga kesalahan penggabungan data pada satu lembar turunan berpotensi menyebar ke beberapa laporan ringkasan sekaligus dan pada akhirnya memperlambat siklus pengambilan keputusan di tingkat manajemen.

Upaya digitalisasi terhadap alur kerja administratif semacam ini di berbagai organisasi umumnya dievaluasi hanya melalui pengujian fungsional black box testing untuk memastikan bahwa sistem berjalan sesuai spesifikasi, tanpa disertai pengukuran kuantitatif terhadap perubahan waktu pemrosesan yang sesungguhnya dirasakan oleh pengguna. Akibatnya, klaim peningkatan efisiensi dari suatu sistem informasi seringkali bersifat normatif dan belum didukung oleh data pembandingan sebelum-sesudah yang terukur pada data produksi nyata, sehingga sebuah sistem dapat dinyatakan “berfungsi dengan benar” tanpa ada kepastian bahwa penggunaannya benar-benar lebih cepat dibandingkan alur kerja manual yang digantikannya. Kondisi ini berisiko bagi organisasi yang mengandalkan hasil digitalisasi sebagai dasar investasi lanjutan, karena keputusan untuk memperluas atau menghentikan suatu inisiatif digital idealnya ditopang oleh bukti efisiensi yang terukur, bukan sekadar asumsi bahwa sistem baru pasti lebih baik dari proses manual yang digantikannya. Hal ini mendorong dilakukannya evaluasi yang lebih terukur terhadap setiap upaya digitalisasi yang bertujuan menggantikan alur kerja manual tersebut, khususnya pada organisasi seperti PT. Indo-Rama Synthetics Tbk. yang pengambilan keputusan manajemennya bergantung pada keandalan laporan rekapitulasi pelatihan. Namun, penelitian sebelumnya masih terbatas dalam mengukur dampak digitalisasi pada tingkat aktivitas administratif secara langsung melalui perbandingan waktu sebelum dan sesudah implementasi sistem.

Penelitian ini mengisi kesenjangan tersebut dengan mengembangkan sekaligus mengevaluasi sistem rekapitulasi pelatihan karyawan berbasis web untuk PT. Indo-Rama Synthetics Tbk. menggunakan model Waterfall. Tujuan penelitian ini adalah merancang, mengimplementasikan, dan mengevaluasi sistem rekapitulasi pelatihan berbasis web yang andal secara fungsional melalui black box testing, serta mengukur secara kuantitatif perubahan efisiensi waktu penyelesaian tugas administratif menggunakan desain pengukuran berulang sebelum-sesudah pada data produksi nyata, dibandingkan dengan metode manual berbasis spreadsheet yang digunakan sebelumnya. Dengan pendekatan ini, penelitian diharapkan memberikan bukti empiris pada tingkat tugas operasional yang selama ini jarang dilaporkan secara eksplisit dalam literatur digitalisasi SDM, sekaligus memberi PT.

<http://sistemasi.ftik.unisi.ac.id>

Indo-Rama Synthetics Tbk. dasar kuantitatif untuk menilai kelanjutan digitalisasi pada fungsi administratif lain.

2 Tinjauan Literatur

Sejumlah besar penelitian terkini mengkaji paradigma pengembangan model Waterfall maupun digitalisasi fungsi sumber daya manusia dan pelatihan secara lebih luas. Penelitian pada tingkat organisasi manufaktur secara konsisten mengonfirmasi bahwa digitalisasi meningkatkan kinerja perusahaan, baik melalui pemberdayaan digital yang memperbaiki skala ekonomi dan efisiensi manajerial [1] maupun kapabilitas TI yang membentuk orientasi digital organisasi [2]. Kedua penelitian ini memperkuat bahwa manfaat digitalisasi terhadap kinerja organisasi bersifat nyata dan dapat diukur, tetapi fokusnya tetap pada tingkat perusahaan secara keseluruhan menggunakan data survei atau panel tahunan yang dianalisis secara statistik-inferensial pada ratusan hingga ribuan unit observasi [1], [2] sehingga temuannya berupa hubungan atau proporsi varians yang dijelaskan, bukan selisih waktu penyelesaian tugas administratif individual yang dapat dibaca langsung. Keterbatasan tingkat analisis tersebut merupakan hal yang mendasari desain pengukuran berulang sebelum-sesudah pada satu organisasi yang digunakan penelitian ini, yang hasilnya dapat diinterpretasikan langsung sebagai selisih waktu dan persentase efisiensi per aktivitas, meski dengan konsekuensi bahwa temuannya lebih bersifat deskriptif dan spesifik konteks dibandingkan dapat digeneralisasikan secara statistik lintas populasi perusahaan.

Keterbatasan tingkat analisis yang sama juga tampak pada penelitian mengenai mekanisme kinerja perusahaan melalui produktivitas faktor total [3], efisiensi produksi manufaktur [4], efisiensi teknis melalui kemajuan teknologi dan optimalisasi modal manusia [5], efisiensi alokasi modal dan tenaga kerja melalui pengumpulan dan pemanfaatan informasi [6], serta produktivitas operasional melalui perubahan perilaku karyawan [7]. Keberagaman mekanisme ini menegaskan bahwa digitalisasi memengaruhi kinerja perusahaan melalui banyak jalur sekaligus, namun seluruhnya tetap diukur pada tingkat perusahaan atau industri agregat dan bukan pada satuan tugas administratif individual.

Sejalan dengan pemilihan model Waterfall pada penelitian ini, paradigma tersebut tetap teridentifikasi secara empiris dan berbeda secara terukur dari Agile dalam praktik pengembangan tim hibrida [8], yang mengonfirmasi relevansinya sebagai kerangka pengembangan yang khas hingga saat ini. Pada literatur digitalisasi SDM secara lebih luas, kajian yang ada didominasi tinjauan konseptual dan model kesiapan pada tingkat organisasi, yaitu identifikasi 13 tema pengaruh digitalisasi terhadap fungsi SDM dari 93 studi [9], anteseden adopsi e-HRM dari meta-analisis lintas negara [10], keterkaitan konseptual antara perangkat digital dan capaian SDM [11], serta model multikriteria kesiapan kompetensi tenaga kerja digital [12]. Keempat kajian ini secara eksplisit mengakui bahwa pengukuran empiris waktu atau efisiensi pada tingkat tugas administratif masih tergolong jarang. Sebuah keterbatasan yang juga tampak pada penelitian HRIS sektor manufaktur [13] yang mengukur dampak HRIS melalui persepsi perilaku kerja karyawan dan bukan selisih waktu penyelesaian tugas yang dapat diamati langsung pada data produksi. Hal tersebut menunjukkan bahwa kesenjangan ini bertahan bahkan ketika objek kajian sudah bergeser dari kesiapan organisasi ke sistem administratif konkret.

Pola yang sama juga muncul pada level administrasi operasional dan sistem informasi sejenis lainnya, karena evaluasi umumnya berhenti pada penerimaan atau persepsi pengguna dan bukan pada selisih waktu tugas yang terukur. Digitalisasi administrasi pesantren dilaporkan meningkatkan persepsi pengguna terhadap efisiensi, akurasi, dan kemampuan monitoring [14], penggunaan *Learning Management System* dijelaskan dengan baik oleh model UTAUT, namun penelitian tersebut berfokus pada niat dan penerimaan pengguna, bukan waktu penyelesaian tugas pembelajaran [15], sedangkan transformasi praktik dokumentasi pada proyek implementasi *Enterprise Information System* juga berfokus pada praktik manajemen proyek dari pola arsip formal menuju dokumen dialogis yang lebih agile, bukan efisiensi waktu pasca-implementasi [16]. Penelitian pada industri restoran menjadi sedikit pengecualian karena mengukur dampak digitalisasi proses *front-of-house* dan *back-of-house* langsung pada produktivitas [17], tetapi pengukurannya tetap berada pada tingkat agregat perusahaan yang sejalan dengan kelompok penelitian tingkat organisasi yang telah dibahas sebelumnya dan bukan pada satuan tugas administratif individual. Keempat penelitian ini melengkapi pola yang sudah

tampak pada evaluasi sistem informasi sejenis umumnya yang berhenti pada penerimaan, persepsi, praktik proyek, atau sebatas dampak agregat pada level perusahaan, sementara pengukuran kuantitatif selisih waktu tugas administratif individual pada data produksi nyata masih jarang dilaporkan.

Sejumlah penelitian metodologis lain memberi acuan mengenai desain evaluasi efisiensi sebelum-sesudah, namun tetap beroperasi pada tingkat pengukuran yang berbeda dari penelitian ini. Dampak digitalisasi terhadap produktivitas karyawan dan kesiapan organisasi diukur melalui survei persepsi, masing-masing pada karyawan sektor telekomunikasi [18] dan usaha kecil menengah [19], sementara pertumbuhan produktivitas dan efisiensi pemerintahan diukur melalui data panel tingkat provinsi dan instansi pemerintah [20], [21]. Namun keempatnya tetap diukur melalui data survei atau panel pada satuan organisasi atau wilayah, bukan melalui pengukuran waktu berulang pada satuan tugas administratif tunggal, sehingga kontribusi metodologisnya terbatas pada cara membingkai efisiensi sebagai besaran terukur, bukan pada cara mengukurnya di tingkat tugas. Dari sisi proses pengembangan sistem itu sendiri, kebutuhan yang ambigu atau tidak lengkap ditemukan sebagai penyebab utama kegagalan proyek [22], yang memperkuat pentingnya tahap analisis kebutuhan terstruktur sebagaimana diterapkan pada Subbab 3.1.

Perbedaan tingkat pengukuran ini turut berimplikasi pada relevansi temuan bagi pengambilan keputusan manajerial di tingkat organisasi tunggal. Ketika efisiensi dilaporkan sebagai hubungan statistik lintas ratusan perusahaan [1], [2] atau sebagai skor persepsi rata-rata dari responden survei [18], [19], seorang pengambil keputusan pada satu organisasi tertentu tetap harus melakukan ekstrapolasi tambahan untuk menilai apakah temuan tersebut relevan dengan konteks operasionalnya sendiri, karena besaran hubungan atau tingkat penerimaan yang dilaporkan belum tentu mencerminkan berapa lama waktu kerja yang akan benar-benar dihemat pada aktivitas hariannya. Kondisi ini sejalan dengan argumen yang dikemukakan pada Bab 1, yaitu bahwa keputusan untuk memperluas atau menghentikan suatu inisiatif digital idealnya ditopang oleh bukti efisiensi yang terukur secara langsung pada konteks organisasi yang bersangkutan, bukan diturunkan dari hubungan statistik pada populasi perusahaan yang berbeda karakteristiknya. Studi pada tingkat pemerintahan [20], [21] memang mendekati konteks tunggal karena berfokus pada satu jenis entitas, namun tetap menggunakan data panel multi-tahun pada banyak instansi sekaligus, sehingga belum memberikan gambaran mengenai variasi efisiensi antaraktivitas pada satu organisasi yang dapat langsung diacu sebagai dasar keputusan operasional. Kesenjangan relevansi keputusan inilah yang berusaha diisi oleh penelitian ini melalui pengukuran yang secara khusus dirancang pada konteks satu organisasi dan dapat langsung digunakan sebagai bahan pertimbangan kelanjutan digitalisasi di PT. Indo-Rama Synthetics Tbk.

Secara keseluruhan, keempat kelompok literatur di atas, yaitu kinerja organisasi tingkat makro [1]-[7], digitalisasi SDM konseptual [9]-[13], sistem administratif berbasis persepsi [14]-[17], dan studi metodologis berbasis survei atau data panel [18]-[21], menunjukkan kesenjangan yang sama meski dari empat sudut yang berbeda. Perangkat digital memang terbukti mengubah kinerja, praktik kerja, persepsi pengguna, maupun produktivitas pada tingkat organisasi atau wilayah, tetapi jarang dievaluasi melalui perbandingan waktu berbasis rumus dan percobaan berulang pada satuan tugas administratif dalam satu organisasi. Kebutuhan akan analisis kebutuhan yang terstruktur [22] turut menegaskan bahwa presisi pengukuran sejak tahap awal pengembangan menjadi prasyarat penting sebelum efisiensi semacam itu dapat dievaluasi secara andal. Akibatnya, sebuah sistem dapat dinyatakan berfungsi dengan benar tanpa ada kepastian bahwa peningkatan efisiensinya telah terverifikasi terhadap beban kerja administratif harian, dan kesenjangan inilah yang menjadi fokus utama penelitian ini.

Dengan demikian, terdapat ruang untuk menghubungkan evaluasi digitalisasi pada tingkat organisasi dengan pengukuran efisiensi pada tingkat aktivitas kerja. Pengukuran pada tingkat tugas memungkinkan manfaat sistem diamati secara lebih spesifik, karena setiap aktivitas memiliki karakteristik proses dan tingkat otomatisasi yang berbeda. Pendekatan ini juga dapat membantu menjelaskan mengapa suatu sistem yang secara fungsional berhasil belum tentu menghasilkan tingkat penghematan waktu yang sama pada seluruh aktivitas administratif.

Berdasarkan sintesis penelitian terdahulu, dapat dilihat bahwa digitalisasi administrasi dan pengembangan sistem informasi umumnya menghasilkan peningkatan dalam aspek aksesibilitas data, kecepatan pengolahan, dan pengurangan kesalahan manual. Namun, fokus evaluasi pada penelitian sebelumnya masih beragam dan sebagian besar menekankan keberhasilan implementasi atau

<http://sistemasi.ftik.unisi.ac.id>

pengujian fungsional sistem, sedangkan pengukuran perubahan efisiensi waktu secara langsung pada beberapa aktivitas administratif yang berbeda masih relatif terbatas. Perbedaan karakteristik aktivitas, seperti entri data, pencarian informasi, penyusunan riwayat, penyaringan data, dan rekapitulasi, juga berpotensi menghasilkan tingkat efisiensi yang berbeda setelah digitalisasi. Oleh karena itu, evaluasi sistem tidak hanya perlu menunjukkan bahwa fungsi sistem berjalan dengan baik, tetapi juga perlu memberikan bukti kuantitatif mengenai perubahan waktu penyelesaian pada setiap aktivitas yang didukung oleh sistem.

Untuk mengisi kesenjangan tersebut, penelitian ini berfokus pada evaluasi empiris efisiensi waktu dalam administrasi pelatihan karyawan yang terdigitalisasi. Penelitian ini mengembangkan sistem rekapitulasi pelatihan karyawan berbasis web untuk PT. Indo-Rama Synthetics Tbk. menggunakan model Waterfall dan mengevaluasinya melalui dua pengukuran yang saling melengkapi, yaitu pengujian fungsional dengan black box testing dan evaluasi efisiensi waktu sebelum-sesudah dengan percobaan berulang yang diterapkan pada data produksi aktual.

Kontribusi penelitian ini mencakup dua hal, yaitu sistem informasi pelatihan lintas tahun yang berfungsi dengan laporan rekapitulasi yang dihitung secara otomatis dari satu set data induk tunggal dan pengukuran efisiensi empiris berbasis rumus pada lima tugas administratif yang representatif menggunakan data produksi nyata (546 aktivitas pelatihan dan 1.601 karyawan). Kelima tugas tersebut masing-masing diukur waktunya dalam enam kali percobaan pengukuran oleh tiga kelompok operator dan menghasilkan desain 30 titik data ($6 \text{ percobaan} \times 5 \text{ aktivitas}$) yang jarang dilaporkan pada literatur sejenis yang umumnya mengandalkan satu titik ukur sebelum-sesudah atau data survei/panel tingkat perusahaan [1], [2], [18]-[21]. Pengukuran ini dilengkapi ukuran efek non-parametrik (rank-biserial r dan Kendall's W) sebagai pelengkap kuantitatif atas keterbatasan nilai- p pada ukuran sampel sekecil ini. Rincian tujuan penelitian ini telah dinyatakan pada Bab 1, dan kedua kontribusi tersebut selanjutnya dijabarkan melalui rancangan metode pada Bab 3 serta hasil dan pembahasan pada Bab 4.

3 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) dengan model Waterfall, yang terdiri atas lima tahap berurutan: analisis kebutuhan, perancangan, implementasi, pengujian, dan penerapan. Setiap tahap dilaksanakan berdasarkan aktivitas pengembangan sistem yang sesungguhnya, bukan semata-mata mengikuti model teoretis. Model Waterfall dipilih karena struktur pelaporan dan bidang data pada alur kerja spreadsheet manual sudah dipahami dengan baik dan relatif stabil sejak awal, sehingga sesuai dengan proses yang terstruktur dan berbasis kebutuhan.

3.1 Desain Penelitian dan Pengembangan Sistem

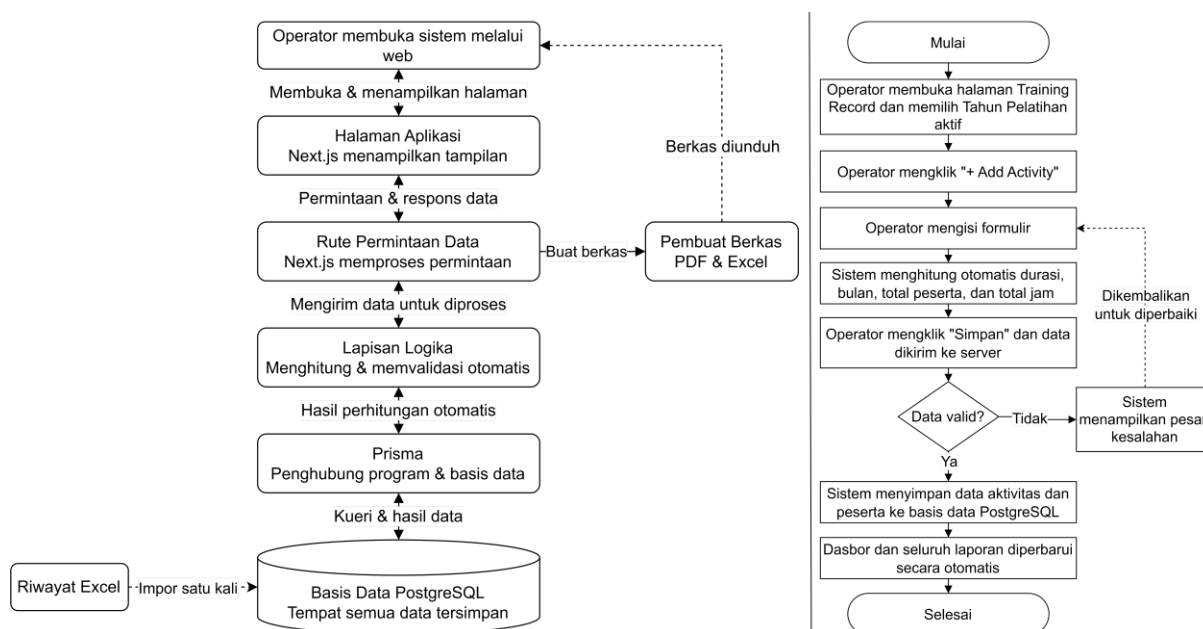
Pada tahap analisis kebutuhan, dilakukan identifikasi masalah dalam alur kerja manual yang berlangsung, yaitu pencarian data karyawan yang lambat, pengambilan riwayat pelatihan yang lambat, proses rekapitulasi manual yang memakan waktu, dan tidak adanya model data lintas tahun yang terstruktur. Fungsi-fungsi yang diperlukan kemudian ditetapkan, yaitu pencatatan aktivitas pelatihan (CRUD), data induk karyawan, pencatatan peserta berdasarkan aktivitas, pemfilteran terstruktur, ekspor ke PDF/Excel, serta dukungan lintas tahun.

Pada tahap perancangan, model data dirancang menggunakan empat entitas relasional utama yang diimplementasikan dengan Prisma ORM pada basis data PostgreSQL, yaitu TrainingYear (referensi tahun, status default/terkunci), TrgActivity (satu baris untuk setiap aktivitas, memuat area fokus, kategori, metode penyampaian, jadwal, biaya, dan jumlah peserta per jenjang), TrgParticipant (peserta bernama yang terhubung dengan setiap aktivitas), dan SheetEntry (penyimpanan generik berbasis JSON untuk lembar referensi seperti daftar induk karyawan). Tiga bidang data secara sengaja dirancang agar dihitung oleh server untuk menjamin konsistensi, yaitu durasi pelatihan yang diturunkan dari waktu mulai hingga selesai pelatihan, total peserta, dan total jam yang diturunkan dari penjumlahan tabel jumlah peserta per jenjang, sehingga menghilangkan sumber kesalahan perhitungan manual yang terdapat pada alur kerja spreadsheet awal. Arsitektur sistem secara berlapis yang dimulai dari peramban pengguna hingga basis data ditunjukkan pada Gambar 1.

Pada tahap implementasi, sistem dibangun sebagai aplikasi web menggunakan Next.js (App Router) untuk lapisan front-end dan API, PostgreSQL sebagai basis data relasional, dan Prisma

<http://sistemasi.ftik.unisi.ac.id>

sebagai lapisan Object-Relational Mapping (ORM). Fungsi ekspor laporan diimplementasikan menggunakan pustaka pdf-lib untuk pembuatan PDF dan pustaka SheetJS (xlsx) untuk ekspor Excel. Antarmuka pengguna diimplementasikan dengan Tailwind CSS, termasuk komponen Year Selector global yang membatasi seluruh kueri dan laporan pada tahun pelatihan yang sedang aktif, serta panel penyaring multipilipilih terstruktur yang memungkinkan penyaringan gabungan berdasarkan area fokus, kategori, metode penyampaian, kuartal, dan bulan. Alur pemakaian sistem oleh pengguna dari pemilihan tahun pelatihan hingga penyimpanan dan penampilan hasil ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram arsitektur dan diagram alir sistem rekapitulasi pelatihan karyawan

Pada tahap pengujian, black box testing dilakukan terhadap fungsi-fungsi inti sistem untuk memverifikasi bahwa setiap fungsi menghasilkan keluaran sesuai yang diharapkan untuk masukan tertentu, tanpa memeriksa logika kode sumber di dalamnya (Subbab 3.3). Pada tahap penerapan, sistem diterapkan dengan binari klien Prisma yang disesuaikan dengan lingkungan operasi untuk mendukung eksekusi dari berbagai lingkungan, dan sebuah alur (pipeline) impor data diimplementasikan untuk memigrasikan data historis dari spreadsheet ke dalam basis data relasional.

3.2 Kebutuhan Perangkat Lunak dan Perangkat Keras

PostgreSQL dipilih sebagai basis data relasional karena desain kueri dan strategi pengindeksan berpengaruh terhadap waktu respons kueri pada penerapan nyata [23]. Prisma digunakan sebagai *Object-Relational Mapping* karena menyediakan skema relasional, kontrol versi, kueri *type-safe*, dan migrasi deklaratif yang mendukung pengelolaan entitas saling terkait. Front-end dikembangkan menggunakan React melalui Next.js dengan menerapkan praktik refaktorisasi yang telah didokumentasikan secara empiris [24]. Skema relasional juga mendukung pencarian berindeks untuk mengurangi pemindaian data secara linear [23]. Uji tolok ukur (*benchmark*) latensi kueri secara khusus untuk penerapan ini berada di luar cakupan penelitian ini.

3.3 Metode Pengujian Fungsional (Black box Testing)

Pengujian dilakukan menggunakan black box testing dengan setiap fungsi inti dijalankan dengan input yang realistis dan output aktual dibandingkan dengan output yang diharapkan, tanpa memperhatikan implementasi internalnya. Hal ini sejalan dengan perbedaan umum antara praktik pengujian tradisional dan yang berorientasi *agile* [25]. Selain sekadar pemeriksaan lulus/gagal, literatur kualitas perangkat lunak yang lebih luas juga mengevaluasi sistem terhadap model kualitas dalam penggunaan (*quality-in-use*) yang terstruktur seperti ISO/IEC 25010, sebagaimana

diilustrasikan oleh perbandingan berbasis pengukuran dua versi chatbot yang dilakukan Barletta dkk. [26], yang hasil pengujian fungsional pada Subbab 4.2 perlu dipahami sebagai prasyarat yang diperlukan untuk evaluasi efisiensi yang dibahas selanjutnya. Tujuh fungsi inti yang mencakup entri data, bidang komputasi, pencarian, ekspor, penyaringan, dan navigasi lintas tahun telah diuji. Tujuan pengujian, input, output yang diharapkan, output aktual, dan hasil lulus/gagal untuk setiap fungsi disajikan pada Tabel 1. Suatu fungsi dicatat sebagai “Lulus” apabila output aktualnya sesuai dengan output yang diharapkan.

3.4 Metode Evaluasi Efisiensi Waktu

Parameter evaluasi utama dalam penelitian ini adalah perubahan waktu penyelesaian tugas sebelum dan sesudah penggunaan sistem. Berikut merupakan lima aktivitas administratif yang diukur: (1) entri data pelatihan karyawan, (2) pencarian data karyawan, (3) pencarian riwayat pelatihan karyawan, (4) penyusunan rekapitulasi pelatihan, dan (5) penyaringan/pencarian data. Efisiensi setiap aktivitas dihitung menggunakan rumus (1):

$$\text{Efisiensi (\%)} = \left(\frac{T_{\text{sebelum}} - T_{\text{sesudah}}}{T_{\text{sebelum}}} \right) \times 100\% \quad (1)$$

dengan T_{sebelum} adalah waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan aktivitas menggunakan metode manual sebelumnya (berbasis spreadsheet), dan T_{sesudah} adalah waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan aktivitas yang sama menggunakan sistem berbasis web yang dikembangkan. Rumus sebelum-sesudah ini mengikuti desain umum yang sama yang digunakan untuk mengukur peningkatan efisiensi dari digitalisasi alur kerja administratif atau klerikal pada bidang lain [18], [21].

Untuk menghindari perbandingan yang hanya berdasarkan satu titik data, setiap aktivitas diukur dalam enam percobaan (Percobaan 1-6), dengan T_{sebelum} dan T_{sesudah} dicatat pada percobaan yang sama menggunakan data produksi tahun 2026 (Subbab 4.1). Pada setiap percobaan, pengukuran T_{sebelum} selalu dilakukan mendahului pengukuran T_{sesudah} tanpa pengacakan urutan, mengingat operator memerlukan pemahaman awal terhadap struktur data pada workbook manual sebelum dapat mereplikasi tugas yang sama pada sistem berbasis web. Keenam percobaan melibatkan tiga kelompok operator: peneliti (Percobaan 1-2), karyawan HSE (Percobaan 3-4), dan siswa Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) magang di departemen HSE (Percobaan 5-6). Penggunaan operator di luar tim pengembang untuk empat dari enam percobaan mengurangi risiko bahwa efisiensi yang terukur hanya mencerminkan keakraban pengembang, bukan keunggulan sesungguhnya bagi pengguna biasa.

Waktu dicatat menggunakan aplikasi stopwatch di ponsel cerdas, yang dijalankan dan dihentikan secara manual oleh operator yang mendampingi operator lain pada setiap percobaan. Batas awal/akhir setiap tugas yang diukur waktunya ditetapkan pada lembar kerja yang bersesuaian di workbook manual dan halaman yang bersesuaian di sistem berbasis web, sehingga T_{sebelum} dan T_{sesudah} mengukur satuan pekerjaan yang sama pada kedua kondisi tersebut: (1) entri data pelatihan, pengukuran waktu dimulai pada Sheet 01 (01-TRG), dan pada formulir aktivitas di halaman Training Record untuk sistem berbasis web, (2) pencarian karyawan, pengukuran waktu dimulai pada Sheet 09 (Data Induk Karyawan), dan untuk sistem berbasis web, pada kotak pencarian di halaman Data Induk Karyawan, (3) pencarian riwayat pelatihan, pengukuran waktu dimulai pada Sheet 08 (Corporate), dan untuk web pada kotak pencarian di halaman Rekaman Pelatihan Karyawan, (4) rekapitulasi pelatihan, pengukuran waktu dimulai dari Sheet 01 hingga sheet 07, dan untuk sistem berbasis web, pada halaman Ringkasan Pelatihan Karyawan, yang menghitung laporan secara langsung (*live*), dan (5) penyaringan/pencarian data, pengukuran waktu dimulai pada Sheet 01, disaring secara manual per kolom, dan untuk sistem berbasis web, pada halaman Training Record dengan tombol filter. Setiap percobaan berakhir ketika data, laporan, atau tampilan yang diminta telah sepenuhnya ditampilkan atau dirender di layar.

3.5 Metode Evaluasi Statistik

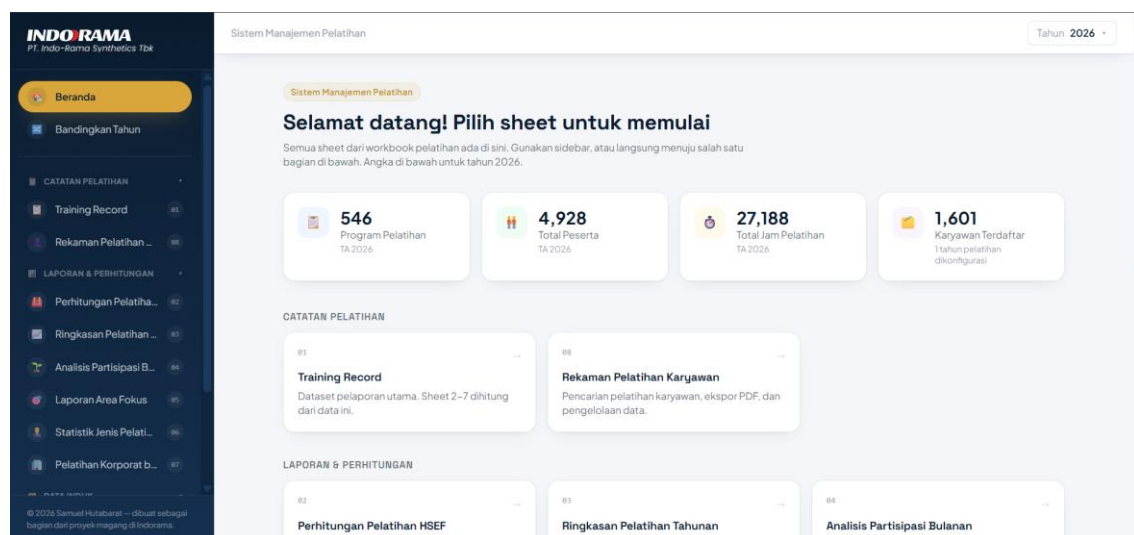
Dengan enam percobaan pengukuran untuk setiap aktivitas, statistik deskriptif (rata-rata, simpangan baku (*standard deviation* (SD)), nilai minimum, nilai maksimum) dihitung untuk menggambarkan besaran dan konsistensi peningkatan efisiensi. Untuk setiap aktivitas, dihitung rata-rata dan simpangan baku T_{sebelum} , T_{sesudah} , serta persentase efisiensi per percobaan, beserta rentang nilainya.

Karena arah efek konsisten pada seluruh 30 pasangan aktivitas-percobaan, penelitian ini memformalkan konsistensi tersebut melalui dua uji non-parametrik, alih-alih hanya melaporkannya secara deskriptif. Pertama, untuk setiap aktivitas, uji Wilcoxon signed-rank satu-sampel diterapkan pada keenam nilai persentase efisiensi terhadap nilai nol (H_0 : median efisiensi = 0), menggunakan uji eksak dua-sisi yang sesuai untuk $n = 6$ tanpa pengikatan (*ties*). Persentase efisiensi digunakan sebagai variabel analisis karena merupakan normalisasi dari selisih waktu terhadap waktu awal dan secara langsung merepresentasikan metrik efisiensi yang menjadi fokus penelitian. Dengan $n = 6$ dan arah efek yang seragam pada seluruh percobaan, nilai-p eksak dua-sisi minimum yang dapat dicapai uji ini adalah $0,0312 (2 \times 0,5^6)$, sehingga hasil uji ini pada dasarnya memformalkan konsistensi arah yang telah dilaporkan secara deskriptif, bukan mengukur besaran efek. Kedua, untuk menjawab pertanyaan yang belum terjawab oleh uji per-aktivitas tersebut, yaitu apakah besaran efisiensi berbeda secara signifikan antaraktivitas, penelitian ini menerapkan uji Friedman pada matriks 6 percobaan dikali 5 aktivitas dari Tabel 2, dengan percobaan sebagai blok dan aktivitas sebagai perlakuan berulang, menguji H_0 : kelima aktivitas memiliki median efisiensi yang sama. Sebagai pelengkap kedua uji tersebut, ukuran efek non-parametrik turut dihitung untuk mengkuantifikasi besaran temuan yang tidak tercermin pada nilai-p semata, yaitu korelasi rank-biserial berpasangan (*matched-pairs rank-biserial correlation*) untuk uji Wilcoxon signed-rank dan koefisien konkordansi Kendall's W untuk uji Friedman. Seluruh analisis statistik deskriptif dan inferensial (uji Wilcoxon signed-rank, uji Friedman, korelasi rank-biserial, dan koefisien konkordansi Kendall's W) dihitung menggunakan Python 3 dengan pustaka SciPy (`scipy.stats.wilcoxon` dan `scipy.stats.friedmanchisquare`).

4 Hasil dan Pembahasan

4.1 Implementasi Sistem

Sistem diimplementasikan sebagai aplikasi web multihalaman dengan navigasi bilah sisi yang mengelompokkan catatan pelatihan, laporan, data induk, dan referensi. Year Selector global tersedia pada setiap halaman untuk membatasi data dan laporan berdasarkan tahun pelatihan yang aktif. Gambar 2 menunjukkan dasbor yang menyajikan indikator kinerja utama tahun berjalan, meliputi 546 aktivitas pelatihan, 4.928 peserta, 27.188 jam pelatihan, dan 1.601 karyawan. Gambar 3 menunjukkan formulir aktivitas pelatihan dengan durasi yang dihitung otomatis berdasarkan waktu mulai dan selesai.



Gambar 2 Tampilan dasbor yang menunjukkan indikator kinerja utama untuk tahun pelatihan yang sedang aktif

Gambar 3 Tampilan formulir edit training activity dengan durasi pelatihan yang dihitung secara otomatis

Struktur navigasi ini dirancang berdasarkan kebutuhan yang ditemukan pada proses manual. Pemisahan catatan, laporan, data induk, dan referensi memudahkan pengambilan riwayat karyawan dan penyusunan laporan, sedangkan Year Selector mengurangi kebutuhan berpindah antarberkas workbook lintas tahun. Evaluasi selanjutnya menggunakan data produksi tahun 2026 hasil migrasi dari spreadsheet sehingga hasil pengukuran merepresentasikan penggunaan sistem pada kondisi operasional nyata.

4.2 Hasil Black Box Testing

Black box testing dilakukan terhadap tujuh fungsi inti, yang mencakup entri data, bidang komputasi, pencarian, ekspor, penyaringan, dan navigasi lintas tahun, mengikuti prosedur pada Subbab 3.3. Tabel 1 merangkum tujuan, masukan, keluaran yang diharapkan dan aktual, serta hasil tiap fungsi.

Tabel 1 Skenario black box testing, keluaran yang diharapkan dan aktual, serta hasilnya

Fungsi yang Diuji	Tujuan Pengujian	Masukan Pengujian	Keluaran yang Diharapkan	Keluaran Aktual	Hasil
Operasi CRUD aktivitas pelatihan (tambah/ubah/hapus)	Verifikasi catatan tersimpan, diperbarui, dan terhapus sesuai aksi	Data aktivitas (area fokus, kategori, metode, jadwal, biaya), aktivitas yang diubah, dan permintaan hapus aktivitas	Data aktivitas ditambah, diubah, dan dihapus	Data aktivitas berhasil ditambah, diubah, dan dihapus	Lulus
Perhitungan otomatis (durasi, total peserta, dan total jam)	Verifikasi durasi, total peserta, dan total jam dihitung otomatis	Waktu mulai dan selesai pelatihan dan tabel jumlah peserta per jenjang	Bidang durasi, total peserta, dan total jam terhitung dan ditampilkan secara otomatis	Durasi, total peserta, dan total jam berhasil dihitung dan ditampilkan otomatis.	Lulus
Pencarian karyawan	Verifikasi data induk karyawan dapat diambil berdasarkan	Kode atau nama karyawan (sebagian atau lengkap)	Catatan karyawan yang sesuai	Catatan karyawan yang sesuai berhasil	Lulus

Fungsi yang Diuji	Tujuan Pengujian	Masukan Pengujian	Keluaran yang Diharapkan	Keluaran Aktual	Hasil
Riwayat/profil pelatihan karyawan	kode atau nama Verifikasi riwayat lintas tahun tampil lengkap	Permintaan profil karyawan	dikembalikan Riwayat pelatihan lengkap karyawan ditampilkan	dikembalikan Riwayat pelatihan lengkap karyawan berhasil ditampilkan	Lulus
Ekspor PDF dan Excel	Verifikasi profil dapat diekspor dalam bentuk PDF dan laporan dalam bentuk Excel	Permintaan ekspor profil atau laporan yang dipilih	Berkas PDF dan XLSX yang valid dengan format yang benar dihasilkan	Berkas PDF dan XLSX yang valid dengan format yang berhasil dihasilkan.	Lulus
Penyaringan multikriteria	Verifikasi kombinasi penyaringan akurat	Kombinasi nilai penyaring (area fokus, kategori, metode penyampaian, kuartal, bulan)	Hanya data yang sesuai dengan seluruh kriteria terpilih yang ditampilkan	Data sesuai kriteria berhasil ditampilkan.	Lulus
Navigasi dan agregasi lintas tahun	Verifikasi pergantian tahun memperbarui data dan Key Performance Indicator (KPI) teragregasi benar pada dua tahun atau lebih	Pemilihan dua atau lebih tahun pelatihan	KPI teragregasi pada tahun-tahun yang dipilih dikembalikan dengan benar	Data dan KPI sesuai tahun berhasil ditampilkan.	Lulus

Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh tujuh fungsi inti sistem memperoleh status lulus. Hasil tersebut menunjukkan bahwa fungsi entri dan perubahan data, perhitungan otomatis, pencarian, riwayat pelatihan, ekspor, penyaringan, serta navigasi lintas tahun telah menghasilkan keluaran sesuai dengan skenario yang ditetapkan. Dengan demikian, sistem memenuhi persyaratan fungsional yang diuji dan dapat digunakan sebagai dasar untuk evaluasi efisiensi waktu pada tahap berikutnya.

4.3 Hasil Evaluasi Efisiensi Waktu

Efisiensi waktu dievaluasi pada lima aktivitas administratif melalui enam percobaan yang melibatkan tiga kelompok operator. Tabel 2 menyajikan nilai efisiensi setiap percobaan, sedangkan Tabel 3 menyajikan statistik deskriptif waktu sebelum dan sesudah penggunaan sistem.

Tabel 2 Efisiensi waktu per percobaan berdasarkan aktivitas dan operator

Percobaan (Operator)	Entri Data	Pencarian Karyawan	Pencarian Riwayat	Rekapitulasi	Penyaringan
Percobaan 1 (Peneliti)	52,37%	58,33%	70,00%	99,88%	64,29%
Percobaan 2 (Peneliti)	55,07%	63,64%	72,22%	99,89%	64,29%
Percobaan 3 (Karyawan HSE)	54,15%	64,29%	80,00%	99,86%	62,50%
Percobaan 4	55,17%	50,00%	72,73%	99,90%	53,85%

Percobaan (Operator)		Entri Data	Pencarian Karyawan	Pencarian Riwayat	Rekapitulasi	Penyaringan
(Karyawan HSE)						
Percobaan (Siswa Magang)	5	49,88%	50,00%	65,00%	99,87%	42,86%
Percobaan (Siswa Magang)	6	50,61%	66,67%	61,11%	99,88%	46,15%

Tabel 3 Statistik deskriptif tsebelum dan tsesudah berdasarkan kelima aktivitas

Aktivitas	Rata-rata Tsebelum (SD)	Rata-rata Tsesudah (SD)	Rata-rata Efisiensi (SD)	Rentang
Entri data pelatihan	6m 52d (SD 6d)	3m 14d (SD 10d)	52,88% (SD 2,28%)	49,88-55,17%
Pencarian karyawan	12,5d (SD 1,22d)	5,17d (SD 1,17d)	58,82% (SD 7,36%)	50,00-66,67%
Pencarian riwayat pelatihan	20,5d (SD 2,66d)	6,0d (SD 0,89d)	70,18% (SD 6,58%)	61,11-80,00%
Rekapitulasi pelatihan	2j 51m 5d (SD 4m 39d)	12,17d (SD 1,47d)	99,88% (SD 0,01%)	99,86-99,90%
Penyaringan/pencarian data	14,0d (SD 1,10d)	6,17d (SD 1,17d)	55,65% (SD 9,52%)	42,86-64,29%
Keseluruhan (30)	-	-	67,48% (SD 18,46%)	42,86-99,90%

Berdasarkan Tabel 3, seluruh aktivitas mengalami penurunan waktu penyelesaian setelah penggunaan sistem. Efisiensi tertinggi terdapat pada rekapitulasi pelatihan sebesar 99,88%, diikuti pencarian riwayat pelatihan 70,18%, pencarian karyawan 58,82%, penyaringan/pencarian data 55,65%, dan entri data pelatihan 52,88%. Secara keseluruhan, efisiensi rata-rata dari 30 pasangan aktivitas-percobaan mencapai 67,48% (SD = 18,46%). Penghematan waktu terbesar terjadi pada rekapitulasi pelatihan, yang menurun dari sekitar 2 jam 51 menit menjadi 12,17 detik. Temuan ini menunjukkan bahwa aktivitas dengan tingkat otomatisasi lebih tinggi memberikan penghematan waktu yang lebih besar.

Uji Wilcoxon signed-rank satu-sampel pada keenam nilai efisiensi untuk setiap aktivitas menghasilkan $p = 0,0312$ pada seluruh lima aktivitas. Karena $n = 6$ dan seluruh percobaan menunjukkan arah efek yang sama, nilai tersebut merupakan nilai-p eksak minimum yang dapat dicapai pada ukuran sampel ini, sehingga hasil Wilcoxon terutama menunjukkan konsistensi arah efek positif.

Uji Friedman pada enam percobaan dan lima aktivitas menghasilkan $\chi^2(4) = 18,53$ dengan $p = 0,00097$, yang menunjukkan adanya perbedaan signifikan pada besaran efisiensi antaraktivitas. Pola ini mendukung temuan deskriptif bahwa aktivitas yang lebih banyak dialihkan ke komputasi sistem, khususnya rekapitulasi, menghasilkan efisiensi lebih tinggi. Konsistensi arah efek sangat kuat (rank-biserial $r = 1,0$), sedangkan perbedaan antaraktivitas menunjukkan konkordansi kuat (Kendall's $W = 0,77$).

4.4 Pembahasan Pola Efisiensi Antaraktivitas

Pola pada kelima aktivitas sejalan dengan perbedaan struktural antara proses manual berbasis spreadsheet dan proses relasional berbasis basis data. Rekapitulasi pelatihan meningkat paling besar karena alur manual mengharuskan operator membaca, memeriksa silang, dan mengagregasi ulang

data pada beberapa lembar, sedangkan sistem baru mengotomatisasi seluruh proses begitu operator memasukkan jumlah karyawan bulanan, sejalan dengan pola digitalisasi tugas agregasi/pelaporan pada bidang lain [18], [21]. Pencarian karyawan dan riwayat pelatihan meningkat karena pemindaian visual linear pada spreadsheet digantikan oleh mekanisme pencarian berbasis kueri basis data, sementara entri data pelatihan meningkat paling kecil namun paling stabil karena tetap dibatasi oleh tindakan mengetik dan memilih nilai, dengan efisiensi yang diperoleh terutama dari hilangnya perhitungan durasi/total manual (Subbab 3.1).

Arah efek konsisten pada seluruh kelompok operator. Efisiensi terendah pada entri data dan penyaringan terjadi pada percobaan oleh siswa magang, sehingga sebagian variasi kemungkinan berkaitan dengan ketidakakraban operator terhadap proses, meskipun hal ini bersifat deskriptif karena kelompok operator berbaur dengan nomor percobaan. Secara umum, aktivitas yang lebih bergantung pada otomatisasi sistem, terutama rekapitulasi, menghasilkan penghematan waktu yang lebih besar dan lebih konsisten, sedangkan aktivitas yang masih memerlukan input manual memperoleh manfaat yang lebih terbatas (Subbab 4.6).

4.5 Perbandingan dengan Literatur Terdahulu

Hasil penelitian ini memperluas temuan literatur mengenai digitalisasi fungsi SDM dan pelatihan [9]-[12] dengan mengukur perubahan waktu pemrosesan administratif pada tingkat tugas menggunakan data produksi nyata. Hal ini sejalan dengan hubungan positif antara transformasi digital dan efisiensi terukur pada perusahaan manufaktur [1], orientasi digital organisasi [2], serta instansi pemerintah [21]. Berbeda dengan penelitian terdahulu yang umumnya mengukur dampak digitalisasi pada tingkat organisasi melalui hubungan statistik atau indikator kinerja agregat [1], [2], [18], [21], penelitian ini mengukur persentase efisiensi dan perubahan waktu secara langsung pada tugas administratif. Pendekatan tersebut memberikan informasi yang lebih operasional bagi organisasi dalam menilai perubahan beban kerja setelah penerapan sistem. Ringkasan perbandingan tingkat analisis dan metode pengukuran antara penelitian ini dan penelitian-penelitian terdahulu disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4 Perbandingan tingkat analisis dan metode pengukuran dengan penelitian sebelumnya

Penelitian	Tingkat Analisis	Metode Pengukuran	Temuan Utama
Qiu dkk. [1]	Perusahaan	Data panel, statistik-inferensial	Pemberdayaan digital meningkatkan skala ekonomi dan efisiensi manajerial
Barba-Sánchez dkk. [2]	Perusahaan	Survei, pemodelan persamaan struktural	Kapabilitas TI meningkatkan kinerja melalui orientasi digital
Kassa dan Worku [18]	Karyawan	Survei 172 karyawan	Perangkat berbasis AI berkaitan dengan produktivitas karyawan
Yang dkk. [21]	Instansi pemerintah	Data panel 2012-2022	Transformasi digital berhubungan positif dengan efisiensi pemerintahan
Penelitian ini	Tugas administratif individual	Pengukuran berulang sebelum-sesudah, data produksi nyata	Efisiensi waktu terukur langsung 52,88%-99,88% (rata-rata 67,48%), tervalidasi secara statistik

4.6 Implikasi Praktis dan Ilmiah

Secara praktis, manfaat waktu terbesar diperoleh pada fungsi rekapitulasi dan pelaporan. Sementara itu, peningkatan efisiensi pada entri data masih dapat dikembangkan melalui perubahan proses, seperti impor data secara massal atau pendelegasian entri. Secara ilmiah, penelitian ini memberikan kontribusi melalui pengukuran efisiensi berbasis percobaan berulang dan multioperator pada data produksi nyata. Pendekatan tersebut dapat diterapkan pada fungsi administratif lain yang masih menggunakan workbook spreadsheet.

4.7 Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, dengan hanya enam percobaan per aktivitas, nilai-p Wilcoxon signed-rank yang dilaporkan pada Subbab 4.3 berada pada batas minimum yang dapat dicapai ukuran sampel ini (0,0312) dan ditentukan sepenuhnya oleh konsistensi arah efek dan tidak dapat dipandang sebagai ukuran kekuatan efek yang independen. Uji Friedman antaraktivitas tidak memiliki keterbatasan yang sama karena didasarkan pada variasi peringkat lintas lima aktivitas, bukan pada konsistensi arah semata, tetapi tetap terbatas pada enam blok percobaan. Kedua, kelompok operator dan nomor percobaan berbaur sepenuhnya (Percobaan 1-2 = peneliti, 3-4 = karyawan HSE, 5-6 = siswa magang), sehingga variabilitas terkait operator tidak dapat dipisahkan secara statistik dari variasi antarpercobaan. Ketiga, penelitian tidak mencakup evaluasi usability dari sudut pandang karyawan HSE, sehingga hasil ini bukan penilaian kualitas yang lengkap, terutama karena jaminan kualitas perangkat lunak yang sistematis dan berbasis kausalitas itu sendiri masih merupakan area metodologis yang aktif dan terus berkembang [27]. Keempat, penelitian ini merupakan studi kasus satu organisasi, sehingga besaran, bukan arah, peningkatan efisiensi mungkin tidak dapat digeneralisasi tanpa studi pembandingan lebih lanjut. Kelima, urutan pengukuran yang selalu dimulai dari kondisi manual sebelum kondisi web berpotensi menimbulkan *practice effect*, yaitu operator mungkin sudah lebih memahami struktur data ketika mengerjakan kondisi kedua (web), sehingga sebagian dari efisiensi yang terukur berpotensi turut dipengaruhi oleh urutan pengukuran, bukan semata-mata oleh perbedaan sistem itu sendiri. Penelitian selanjutnya sebaiknya mengacak urutan kondisi manual dan web pada tiap percobaan untuk mengisolasi kedua efek ini.

5 Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem rekapitulasi pelatihan karyawan berbasis web untuk PT. Indo-Rama Synthetics Tbk. menggunakan model Waterfall. Hasil black box testing terhadap tujuh fungsi inti menunjukkan bahwa seluruh fungsi berjalan sesuai dengan keluaran yang diharapkan, sehingga sistem memenuhi kebutuhan fungsional yang telah ditetapkan. Penggunaan sistem menghasilkan efisiensi waktu pada seluruh aktivitas administratif yang diuji, dengan nilai efisiensi sebesar 52,88% hingga 99,88% dan rata-rata sebesar 67,48%, dengan peningkatan terbesar pada proses rekapitulasi pelatihan. Kontribusi penelitian ini adalah menghasilkan sistem berbasis web sebagai alternatif terhadap proses pengelolaan data berbasis Excel serta memberikan pengukuran empiris terhadap peningkatan efisiensi waktu melalui perbandingan proses sebelum dan sesudah penggunaan sistem.

Referensi

- [1] L. Qiu et al., "Impact of Digital Empowerment on Labor Employment in Manufacturing Enterprises: Evidence from China," *Heliyon*, Vol. 10, No. 8, p. e29040, Apr. 2024, DOI: 10.1016/J.HELIYON.2024.E29040.
- [2] V. Barba-Sánchez, A. Meseguer-Martínez, R. Gouveia-Rodrigues, and M. L. Raposo, "Effects of Digital Transformation on Firm Performance: The Role of IT Capabilities and Digital Orientation," *Heliyon*, Vol. 10, No. 6, p. e27725, Mar. 2024, DOI: 10.1016/J.HELIYON.2024.E27725.
- [3] Y. Yang, Y. Jin, and Q. Xue, "How does Digital Transformation Affect Corporate Total Factor Productivity?," *Financ. Res. Lett.*, Vol. 67, p. 105850, Sep. 2024, DOI: 10.1016/J.FRL.2024.105850.
- [4] D. Wang and X. Shao, "Research on the Impact of Digital Transformation on the Production Efficiency of Manufacturing Enterprises: Institution-based Analysis of the Threshold Effect," *International Review of Economics & Finance*, Vol. 91, pp. 883–897, Mar. 2024, DOI: 10.1016/J.IREF.2024.01.046.
- [5] C. Zhang and Y. Deng, "How does Digital Transformation Affect Firm Technical Efficiency? Evidence from China," *Financ. Res. Lett.*, Vol. 69, p. 106069, Nov. 2024, DOI: 10.1016/J.FRL.2024.106069.

- [6] W. Jiang and J. Li, "Digital Transformation and Its Effect on Resource Allocation Efficiency and Productivity in Chinese Corporations," *Technol. Soc.*, Vol. 78, p. 102638, Sep. 2024, DOI: 10.1016/J.TECHSOC.2024.102638.
- [7] M. Malik, A. Andargoli, I. Ali, and R. Chavez, "A socio-cognitive theorisation of how data-driven digital transformation affects operational productivity?," *Int. J. Prod. Econ.*, Vol. 277, p. 109403, Nov. 2024, DOI: 10.1016/J.IJPE.2024.109403.
- [8] D. Ly, M. Overeem, S. Brinkkemper, and F. Dalpiaz, "The Power of Words in Agile vs. Waterfall Development: Written Communication in Hybrid Software Teams," *Journal of Systems and Software*, Vol. 219, Jan. 2025, DOI: 10.1016/j.jss.2024.112243.
- [9] L. B. P. da Silva et al., "Human Resources Management 4.0: Literature Review and Trends," *Comput. Ind. Eng.*, Vol. 168, p. 108111, Jun. 2022, DOI: 10.1016/J.CIE.2022.108111.
- [10] Y. Zhou, Y. Cheng, Y. Zou, and G. Liu, "e-HRM: A Meta-Analysis of the Antecedents, Consequences, and Cross-National Moderators," *Human Resource Management Review*, Vol. 32, No. 4, p. 100862, Dec. 2022, DOI: 10.1016/J.HRMR.2021.100862.
- [11] R. M. Shiferaw and Z. A. Birbirsra, "Digital Technology and Human Resource Practices: A Systematic Literature Review," *Heliyon*, Vol. 11, No. 2, p. e41946, Jan. 2025, DOI: 10.1016/J.HELİYON.2025.E41946.
- [12] L. Mei, X. Feng, and F. Cavallaro, "Evaluate and Identify the Competencies of the Future Workforce for Digital Technologies Implementation in Higher Education," *Journal of Innovation & Knowledge*, Vol. 8, No. 4, p. 100445, Oct. 2023, DOI: 10.1016/J.JIK.2023.100445.
- [13] A. Jadesola Ololade, S. Odunayo Paul, A. Tolulope Morenike, and D. Augustina Esitse, "Bolstering the Role of Human Resource Information System on Employees' Behavioural Outcomes of Selected Manufacturing Firms in Nigeria," *Heliyon*, Vol. 9, No. 1, p. e12785, Jan. 2023, DOI: 10.1016/J.HELİYON.2022.E12785.
- [14] M. F. A. U. Nuha, A. Muklason, and Y. Agustawan, "Enhancing Administrative Efficiency in Pondok Pesantren: Exploring the Acceptance of E-Santren App System for Administrative Tasks," *Procedia Comput. Sci.*, Vol. 234, pp. 795–804, Jan. 2024, DOI: 10.1016/J.PROCS.2024.03.096.
- [15] Y. H. S. Al-Mamary, "Understanding the use of Learning Management Systems by Undergraduate University Students using the UTAUT Model: Credible Evidence from Saudi Arabia," *International Journal of Information Management Data Insights*, Vol. 2, No. 2, p. 100092, Nov. 2022, DOI: 10.1016/J.JJIMEI.2022.100092.
- [16] M. Nakayama, E. Hustad, N. Sutcliffe, and M. Beckfield, "Organic Transformation of ERP Documentation Practices: Moving from Archival Records to Dialogue-based, Agile Throwaway Documents," *Int. J. Inf. Manage.*, Vol. 74, p. 102717, Feb. 2024, DOI: 10.1016/J.IJINFOMGT.2023.102717.
- [17] W. Lee, S. C. (Shawn) Jang, and H. S. Kim, "The Effect of Digital Transformation: Boosting Productivity in the Restaurant Industry," *Int. J. Hosp. Manag.*, Vol. 123, p. 103896, Oct. 2024, DOI: 10.1016/J.IJHM.2024.103896.
- [18] B. Y. Kassa and E. K. Worku, "The Impact of Artificial Intelligence on Organizational Performance: The Mediating Role of Employee Productivity," *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, Vol. 11, No. 1, p. 100474, Mar. 2025, DOI: 10.1016/J.JOITMC.2025.100474.
- [19] R. P. Silva, H. S. Mamede, and V. Santos, "A New Proposed Model to Assess the Digital Organizational Readiness to Maximize the Results of the Digital Transformation in SMEs," *Journal of Innovation & Knowledge*, Vol. 10, No. 1, p. 100644, Jan. 2025, DOI: 10.1016/J.JIK.2024.100644.
- [20] K. Bai, Z. Shen, S. Zhou, Z. Su, R. Yang, and M. Song, "How does Digitalization Promote Productivity Growth in China?," *Journal of Innovation & Knowledge*, Vol. 9, No. 4, p. 100586, Oct. 2024, DOI: 10.1016/J.JIK.2024.100586.
- [21] C. Yang, M. Gu, and K. Albitar, "Government in the Digital Age: Exploring the Impact of Digital Transformation on Governmental Efficiency," *Technol. Forecast. Soc. Change*, Vol. 208, p. 123722, Nov. 2024, DOI: 10.1016/J.TECHFORE.2024.123722.

- [22] S. Khalid *et al.*, “Ensuring Quality in Software Requirement Engineering Process: A Comparative Study,” *Egyptian Informatics Journal*, Vol. 31, p. 100754, Sep. 2025, DOI: 10.1016/J.EIJ.2025.100754.
- [23] T. Taipalus, “Database Management System Performance Comparisons: A Systematic Literature Review,” *Journal of Systems and Software*, Vol. 208, p. 111872, Feb. 2024, Doi: 10.1016/J.JSS.2023.111872.
- [24] F. Ferreira, H. S. Borges, and M. T. Valente, “Refactoring React-based Web Apps,” *Journal of Systems and Software*, Vol. 215, p. 112105, Sep. 2024, DOI: 10.1016/J.JSS.2024.112105.
- [25] S. Najihi, S. Elhadi, R. A. Abdelouahid, and A. Marzak, “Software Testing from an Agile and Traditional View,” *Procedia Comput. SCI.*, Vol. 203, pp. 775–782, Jan. 2022, DOI: 10.1016/J.PROCS.2022.07.116.
- [26] V. S. Barletta, D. Caivano, L. Colizzi, G. Dimauro, and M. Piattini, “Clinical-Chatbot AHP Evaluation based on ‘Quality in use’ of ISO/IEC 25010,” *Int. J. Med. Inform.*, Vol. 170, p. 104951, Feb. 2023, DOI: 10.1016/J.IJMEDINF.2022.104951.
- [27] L. Giamattei, A. Guerriero, R. Pietrantuono, and S. Russo, “Causal Reasoning in Software Quality Assurance: A Systematic Review,” *Inf. Softw. Technol.*, Vol. 178, p. 107599, Feb. 2025, DOI: 10.1016/J.INFSOF.2024.107599.