

Pengembangan Sistem Monitoring Barang Berbasis QR Code untuk KPI dan Insentif Payroll Karyawan Menggunakan Metode Waterfall

Development of a QR Code-Based Goods Monitoring System for Employee KPI and Payroll Incentives Using the Waterfall Method

Hafiz Ramadhan, Raden Teddy Iswahyudi, Nizirwan Anwar, Binastya Anggara Sekti

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Informatika Fakultas Ilmu Komputer Universitas Esa Unggul

hafizrmfhn301@student.esaunggul.ac.id, raden.teddy@esaunggul.ac.id, nizirwan.anwar@esaunggul.ac.id, anggara@esaunggul.ac.id

Abstrak

Penelitian ini mengusulkan pengembangan sistem monitoring keluar masuk barang berbasis QR Code yang mengintegrasikan pencatatan transaksi gudang, penilaian Key Performance Indicator (KPI), dan perhitungan insentif payroll karyawan. Permasalahan utama yang ditangani meliputi pencatatan manual, keterlambatan pembaruan stok, kesalahan input, keterbatasan jejak audit, serta belum terhubungnya data aktivitas operasional dengan evaluasi kinerja dan insentif. Pengembangan sistem menggunakan metode Waterfall melalui tahapan analisis kebutuhan, perancangan, implementasi, pengujian, dan pemeliharaan. Setiap barang dan transaksi diidentifikasi melalui QR Code, kemudian sistem merekam waktu, jenis transaksi, kuantitas, identitas petugas, dan perubahan stok. Data transaksi digunakan sebagai sumber terukur untuk membentuk indikator KPI yang mencakup akurasi pencatatan, ketepatan waktu proses, produktivitas transaksi, dan kepatuhan prosedur. Nilai KPI selanjutnya menjadi masukan bagi mekanisme insentif payroll dengan parameter bobot dan ambang yang dapat dikonfigurasi sesuai kebijakan organisasi. Perancangan juga menerapkan pemisahan hak akses administrator, petugas gudang, supervisor, dan bagian keuangan serta menyediakan dashboard monitoring dan audit trail. Pengujian fungsional dirancang menggunakan pendekatan black-box dan evaluasi usability sebelum penerapan operasional. Hasil penelitian pada tahap ini berupa arsitektur proses, model data, rancangan KPI, aturan perhitungan insentif, dan skenario pengujian yang dapat menjadi dasar implementasi. Rancangan sistem diharapkan meningkatkan ketertelusuran transaksi, konsistensi data persediaan, transparansi evaluasi kinerja, dan akuntabilitas perhitungan insentif tanpa menggantikan proses validasi manajerial.

Kata kunci: QR Code; monitoring persediaan; KPI; insentif payroll; Waterfall.

Abstract

This study proposes the development of a QR Code-based inbound and outbound goods monitoring system that integrates warehouse transaction recording, Key Performance Indicator (KPI) assessment, and employee payroll incentive calculation. The system addresses manual recording, delayed stock updates, input errors, limited auditability, and the absence of a measurable link between operational activities, performance evaluation, and incentives. The software development process follows the Waterfall model through requirements analysis, system design, implementation, testing, and maintenance. Each transaction is initiated through QR Code scanning, while the system records time, transaction type, quantity, operator identity, and stock changes. Transaction data are then transformed into measurable KPI components covering recording accuracy, processing timeliness, transaction productivity, and procedural compliance. Approved KPI values become controlled inputs for an incentive mechanism whose weights and thresholds can be configured according to organizational policy. The design applies role-based access for administrators, warehouse operators, supervisors, and finance personnel, supported by monitoring dashboards and audit trails. Functional validation is planned through black-box testing and usability evaluation before operational deployment. At this stage, the reported outputs consist of process architecture, data models, KPI design, incentive calculation rules, and validation scenarios rather than fabricated field performance results. The proposed design is expected to improve transaction traceability, inventory-data consistency, performance-evaluation transparency, and incentive-calculation accountability while retaining managerial validation as the final control.

Keywords: QR Code; inventory monitoring; KPI; payroll incentive; Waterfall.

1. PENDAHULUAN

Digitalisasi proses gudang tidak lagi hanya berfungsi sebagai pengganti pencatatan kertas, tetapi menjadi fondasi untuk ketertelusuran, kontrol persediaan, dan pengambilan keputusan berbasis data. Sistem traceability berbasis identifikasi dua dimensi telah digunakan untuk menghubungkan objek fisik dengan rekam data digital,

baik pada produk kesehatan, pangan, maupun rantai pasok. Penerapan barcode dua dimensi pada obat tradisional menunjukkan bahwa identitas produk dapat ditautkan dengan informasi asal dan aliran distribusi [1]. Pada konteks konsumen, penerimaan QR Code untuk traceability dipengaruhi oleh persepsi kegunaan dan kemudahan penggunaan, sehingga rancangan sistem perlu memperhatikan aspek teknologi sekaligus pengalaman

pengguna [2]. QR Code juga telah diterapkan sebagai identitas digital pada layanan kesehatan dan sebagai komponen aplikasi traceability bergerak [3, 4].

Perkembangan berikutnya memperluas traceability dari sekadar pemindaian kode menjadi integrasi dengan infrastruktur rantai pasok. Prototipe blockchain untuk kayu, sistem gudang otonom berbasis UAV, dan sistem traceability pangan bergerak memperlihatkan pentingnya pencatatan kejadian, lokasi, serta perubahan status produk secara konsisten sepanjang proses [5, 6, 7]. Sistem traceability minyak zaitun yang menggabungkan RFID dan QR Code juga menunjukkan bahwa teknologi identifikasi dapat diterapkan dari sumber produksi sampai konsumen [8]. Dalam konteks yang lebih baru, digital traceability dipandang sebagai mekanisme untuk meningkatkan transparansi dan efisiensi rantai pasok, sedangkan integrasi mesin dan logistik pada Industry 4.0 menekankan kebutuhan interoperabilitas antara aktivitas fisik dan aplikasi digital [9, 10].

Pada operasional gudang, persoalan utama bukan hanya mengetahui posisi barang, tetapi juga memastikan bahwa setiap pergerakan memiliki aktor, waktu, kuantitas, dan alasan yang dapat ditelusuri. Studi tentang warehouse management berbasis IoT dan sistem pelacakan produk di area gudang memperlihatkan arah otomatisasi menuju pencatatan yang lebih presisi dan real time [11, 12]. Pengembangan logistik modern juga menggabungkan optimasi armada, mixed reality, dan asisten cerdas untuk mendukung operasi gudang [13]. Tinjauan terbaru mengenai traceability menegaskan bahwa QR Code, RFID, IoT, blockchain, dan kecerdasan buatan dapat ditempatkan sebagai lapisan teknologi yang saling melengkapi, bukan sebagai pilihan yang berdiri sendiri [14].

Di sisi lain, data operasional baru memiliki nilai manajerial ketika diterjemahkan menjadi indikator kinerja. Performance management menuntut ukuran yang relevan, dapat dipantau, serta terhubung dengan tujuan organisasi [15]. Pengukuran kinerja yang seimbang dan partisipatif membantu menghindari penilaian yang hanya berpusat pada satu indikator [16]. Pengembangan KPI pada berbagai layanan menunjukkan bahwa indikator perlu didefinisikan, divalidasi, dan diprioritaskan sesuai proses yang akan dikendalikan [17, 18]. Dashboard kemudian berfungsi sebagai lapisan visualisasi yang mempertemukan indikator dengan kebutuhan pengambilan keputusan [19, 20].

KPI juga dapat digunakan untuk menghubungkan aktivitas harian dengan produktivitas dan rencana kerja. Sistem pengukuran berbasis kurva, dashboard produktivitas klinis dan finansial, serta pengalaman manajer menggunakan KPI memperlihatkan bahwa indikator menjadi lebih berguna ketika sumber datanya konsisten dan dapat diperbarui secara periodik [21, 22, 23]. Prinsip desain dashboard terbaru menekankan kejelasan tujuan, kualitas data, hierarki informasi, dan keterbacaan sebagai unsur penting agar dashboard tidak berubah menjadi sekadar dekorasi angka [24].

Integrasi ke aspek sumber daya manusia menambah tantangan lain. Sistem informasi sumber daya manusia

dapat meningkatkan ketersediaan data tenaga kerja dan membantu proses manajemen yang lebih terstruktur [25, 26]. Studi implementasi electronic human resource management system yang lebih baru juga menunjukkan pentingnya tata kelola data dan adopsi pengguna selama implementasi sistem [27]. Sementara itu, instrumen otomatis untuk workforce management memperlihatkan bahwa kompetensi dan aktivitas dapat dipantau secara terstruktur untuk mendukung keputusan manajerial [28]. Pada sisi kompensasi, skema kompensasi yang efektif perlu dipahami bukan hanya sebagai nilai pembayaran, tetapi juga sebagai mekanisme yang transparan, dipersepsikan adil, dan sesuai konteks pekerjaan [29]. Hubungan antara insentif finansial dan kepatuhan proses juga menunjukkan bahwa desain insentif perlu memperhatikan perilaku yang ingin diperkuat [30].

Berdasarkan sintesis tersebut, terdapat ruang integrasi yang belum banyak dibahas secara terpadu pada kumpulan literatur yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu aliran data dari transaksi keluar masuk barang berbasis QR Code menuju KPI individual dan selanjutnya menjadi masukan bagi perhitungan insentif payroll. Sebagian studi menekankan traceability dan inventory, sebagian lain menekankan KPI, dashboard, atau sistem sumber daya manusia. Penelitian ini memosisikan transaksi gudang sebagai bukti aktivitas yang dapat diaudit, bukan sebagai satu-satunya dasar penilaian karyawan. Dengan demikian, sistem diusulkan untuk menghubungkan empat lapisan: identifikasi barang, pencatatan transaksi, evaluasi KPI, dan perhitungan insentif yang tetap berada di bawah kebijakan serta validasi manajerial.

Tujuan penelitian adalah merancang dan mengembangkan sistem monitoring keluar masuk barang berbasis QR Code menggunakan metode Waterfall, mendefinisikan model data transaksi yang dapat ditelusuri, membangun kerangka KPI yang bersumber dari aktivitas operasional, serta merumuskan mekanisme integrasi nilai KPI dengan insentif payroll. Kontribusi penelitian terletak pada integrasi aliran data end-to-end dari pemindaian barang sampai keluaran evaluasi kinerja, dengan pemisahan hak akses dan audit trail untuk menjaga akuntabilitas. Karena data hasil implementasi lapangan belum tersedia pada naskah ini, hasil yang dilaporkan dibatasi pada hasil perancangan sistem, model perhitungan, dan skenario pengujian yang siap digunakan pada tahap validasi empiris.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian menggunakan pendekatan pengembangan sistem dengan model Waterfall. Model ini dipilih karena kebutuhan inti sistem dapat diuraikan menjadi modul yang relatif jelas, yaitu master barang, transaksi masuk, transaksi keluar, pengelolaan QR Code, dashboard persediaan, KPI, insentif, pengguna, dan audit log. Waterfall menempatkan keluaran tiap tahap sebagai masukan bagi tahap berikutnya melalui urutan analisis kebutuhan, perancangan, implementasi, pengujian, serta pemeliharaan. Pendekatan tersebut sesuai untuk pengembangan yang memerlukan dokumentasi kebutuhan

dan aturan bisnis secara eksplisit sebelum implementasi [31, 32].

Tahap analisis kebutuhan dimulai dengan pemetaan aktor dan proses. Empat kelompok aktor dirumuskan, yaitu administrator, petugas gudang, supervisor, dan bagian keuangan. Administrator mengelola pengguna, master data, parameter sistem, dan hak akses. Petugas gudang melakukan transaksi masuk, keluar, dan

pengecekan stok melalui pemindaian QR Code. Supervisor memantau dashboard, memeriksa koreksi transaksi, dan memvalidasi periode KPI. Bagian keuangan menerima nilai KPI yang telah disahkan dan menggunakannya sebagai salah satu komponen perhitungan insentif. Pembagian peran ini mengikuti prinsip bahwa sistem operasional dan sistem sumber daya manusia memerlukan tata kelola akses serta kejelasan otoritas [27, 25].

Tabel 1. Aktor dan kebutuhan utama sistem

Aktor	Kebutuhan utama
Administrator	Master data, pengguna, parameter, hak akses, audit.
Petugas gudang	Scan QR, transaksi masuk/keluar, cek stok dan histori.
Supervisor	Monitoring, koreksi terkontrol, validasi KPI dan periode.
Keuangan	Menerima KPI tervalidasi dan menghitung/mengekspor insentif.

Kebutuhan data dibangun dari dua prinsip, yaitu traceability dan non-repudiation operasional. Setiap transaksi harus memiliki ID unik, ID barang, jenis transaksi, kuantitas, waktu, pengguna, lokasi atau unit kerja bila digunakan, serta referensi dokumen. Sistem tidak menghapus transaksi yang telah diposting; koreksi dilakukan melalui transaksi penyesuaian dengan alasan dan pengguna yang bertanggung jawab. Pendekatan ini menjaga jejak perubahan dan selaras dengan praktik traceability yang menekankan kemampuan menelusuri asal, perpindahan, dan status objek [5, 10, 14].

Pada tahap perancangan, arsitektur sistem dibagi menjadi lapisan antarmuka, layanan aplikasi, basis data, dan layanan pelaporan. Antarmuka dapat diakses melalui komputer atau perangkat bergerak dengan kamera pemindai. Layanan aplikasi memvalidasi QR Code, hak akses, ketersediaan stok, dan aturan transaksi. Basis data menyimpan master barang, QR tag, transaksi, pengguna, KPI, insentif, serta audit log. Dashboard menyajikan posisi stok, riwayat pergerakan, transaksi per petugas, indikator error, dan ringkasan KPI. Konsep dashboard mengikuti prinsip bahwa visualisasi perlu diarahkan pada tugas pengguna, tidak hanya menggabungkan sebanyak mungkin indikator [33, 24].

Model persediaan menggunakan persamaan dasar perubahan stok. Untuk barang j pada waktu t , saldo stok dihitung sebagai $S(j,t) = S(j,t-1) + Q(\text{in}) - Q(\text{out}) \pm Q(\text{adj})$. Nilai $Q(\text{adj})$ hanya dapat muncul melalui transaksi penyesuaian yang diautorisasi. Sistem menolak transaksi keluar ketika kuantitas melebihi saldo tersedia, kecuali organisasi secara eksplisit mengaktifkan kebijakan backorder. Dengan aturan tersebut, dashboard tidak menyimpan angka stok yang berdiri sendiri, tetapi menghitung atau merekonsiliasi saldo dari histori transaksi sehingga jejak audit tetap dapat diperiksa.

KPI dirancang dari data yang memang dapat dihasilkan sistem. Empat dimensi diusulkan: akurasi pencatatan (A), ketepatan waktu proses (T), produktivitas transaksi (P), dan kepatuhan prosedur (C). Akurasi dapat dihitung dari proporsi transaksi tanpa koreksi yang disebabkan kesalahan petugas; ketepatan waktu dari proporsi transaksi yang diproses dalam batas layanan; produktivitas dari pencapaian target volume yang dinormalisasi; dan kepatuhan dari kelengkapan bukti serta urutan prosedur. Pemilihan indikator mengikuti prinsip bahwa KPI harus relevan terhadap tujuan dan dapat diturunkan dari data yang terdefinisi [17, 18, 23].

Tabel 2. Dimensi KPI yang diusulkan

Dimensi	Definisi operasional	Sumber data
Akurasi (A)	Proporsi transaksi valid tanpa koreksi karena kesalahan petugas.	Transaksi & koreksi
Ketepatan waktu (T)	Proporsi transaksi yang diproses dalam batas layanan.	Timestamp transaksi
Produktivitas (P)	Pencapaian volume transaksi yang dinormalisasi terhadap target.	Agregasi periode
Kepatuhan (C)	Kelengkapan bukti dan urutan proses sesuai prosedur.	Log proses & audit

Skor KPI karyawan i pada periode p dirumuskan sebagai $KPI(i,p) = \sum [w(k) \times s(i,k,p)]$, dengan jumlah bobot $w(k) = 1$ dan setiap skor dimensi s dinormalisasi pada rentang 0–100. Sistem tidak mengunci bobot secara permanen karena kebijakan organisasi dapat berbeda. Untuk simulasi mekanisme, bobot dapat diisi, misalnya, 0,35 untuk akurasi, 0,25 untuk ketepatan waktu, 0,20 untuk produktivitas, dan 0,20 untuk kepatuhan. Bobot simulasi tersebut bukan hasil validasi empiris dan harus disahkan melalui kebijakan organisasi atau penilaian ahli sebelum penerapan.

Nilai KPI yang telah disahkan tidak langsung mengubah gaji pokok. Sistem hanya menyediakan komponen insentif variabel. Besaran insentif dapat dihitung dengan fungsi $I(i,p) = I_{\text{max}}(i,p) \times f[KPI(i,p)]$,

dengan I_{max} merupakan plafon insentif sesuai kebijakan dan f adalah fungsi pemetaan yang ditetapkan organisasi, misalnya linear atau bertingkat. Pemisahan ini penting agar sistem tidak menyamakan aktivitas gudang dengan keseluruhan kinerja karyawan. Literatur mengenai insentif finansial menunjukkan bahwa desain pembayaran dapat memengaruhi perilaku, sehingga indikator, ambang, dan persetujuan harus didefinisikan secara hati-hati [30, 29].

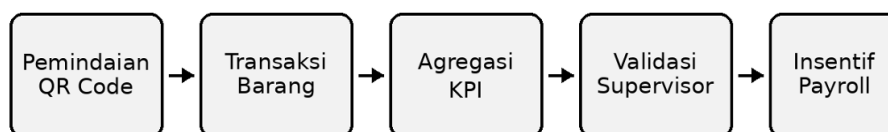
Tahap implementasi mengubah rancangan menjadi modul aplikasi dan basis data. QR Code menyimpan identifier yang mengarah ke record barang, bukan informasi sensitif yang lengkap di dalam kode. Ketika dipindai, server memeriksa status tag, hak akses, dan konteks transaksi. Keputusan ini menekan risiko

kebocoran informasi ketika label terlihat oleh pihak yang tidak berwenang. Penerapan QR Code pada berbagai domain menunjukkan bahwa kode efektif sebagai penghubung antara objek fisik dan sumber informasi digital, tetapi pengalaman pengguna dan konteks pemindaian tetap perlu diperhatikan [2, 3].

Tahap pengujian dirancang menggunakan black-box testing untuk memeriksa kesesuaian keluaran terhadap kebutuhan fungsional tanpa bergantung pada struktur kode internal. Fokusnya mencakup autentikasi, pemindaian, validasi stok, perekaman audit, kalkulasi KPI, validasi periode, dan ekspor insentif. Pengujian perangkat lunak perlu diarahkan pada risiko dan kompleksitas yang benar-benar relevan terhadap penggunaan sistem, bukan sekadar banyaknya test case

[34]. Setelah fungsi inti stabil, evaluasi usability dapat menggunakan skenario tugas untuk menilai kemudahan belajar, keberhasilan penyelesaian tugas, error pengguna, dan kepuasan. Pendekatan evaluasi usability pada sistem digital memperlihatkan nilai kombinasi observasi penggunaan dan umpan balik pengguna [35, 36].

Tahap pemeliharaan mencakup koreksi cacat, pembaruan parameter KPI, rotasi hak akses, penambahan kategori barang, serta pemantauan audit log. Setiap perubahan aturan KPI atau fungsi insentif harus diberi versi dan tanggal efektif agar nilai pada periode sebelumnya tetap dapat direproduksi. Dengan cara ini, sistem tidak hanya memantau barang, tetapi juga menjaga lineage aturan yang memengaruhi evaluasi kinerja dan perhitungan insentif.



Gambar 1. Alur integrasi QR Code, transaksi, KPI, validasi, dan insentif payroll.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil utama penelitian pada tahap ini adalah rancangan integrasi proses yang menghubungkan aktivitas fisik gudang dengan data kinerja. Alur dimulai ketika petugas memilih jenis transaksi dan memindai QR Code. Sistem mengambil identitas barang, menampilkan stok terkini, dan meminta kuantitas serta referensi transaksi. Setelah validasi berhasil, transaksi disimpan secara atomik, saldo diperbarui, dan audit log dibuat. Data transaksi selanjutnya diakumulasi menurut periode untuk menghitung indikator KPI. Setelah supervisor melakukan validasi periode, nilai KPI dikunci dan dikirim sebagai input terkontrol ke modul insentif. Dengan demikian, hubungan antara transaksi dan payroll tidak bersifat langsung; terdapat lapisan evaluasi dan persetujuan di antara keduanya.

Arsitektur tersebut mengadopsi pelajaran dari sistem traceability yang menghubungkan identitas objek dengan histori digital dan dari implementasi supply-chain information service yang menekankan manfaat integrasi informasi [37]. Pada sisi gudang, penggunaan identifier yang dapat dipindai mengurangi kebutuhan mengetik kode barang secara berulang dan mendukung pencarian histori berdasarkan objek. Studi terkait gudang otonom, digital traceability, dan warehouse management berbasis IoT memperlihatkan bahwa nilai utama digitalisasi berasal dari kesinambungan data antaraktivitas, bukan hanya dari teknologi sensor atau kode yang digunakan [6, 10, 12].

Rancangan basis data terdiri atas delapan entitas inti: User, Role, Item, QRTag, InventoryTransaction, KPIRecord, IncentiveRecord, dan AuditLog. Relasi Item–QRTag memungkinkan satu barang memiliki tag aktif dan histori pergantian tag. InventoryTransaction menyimpan semua kejadian masuk, keluar, dan penyesuaian. KPIRecord menyimpan hasil agregasi per pengguna dan

periode beserta versi formula. IncentiveRecord menyimpan nilai KPI yang digunakan, plafon, fungsi pemetaan, hasil perhitungan, dan status persetujuan. AuditLog merekam aktivitas administratif penting seperti perubahan hak akses, koreksi transaksi, perubahan parameter, dan pembukaan atau penutupan periode. Struktur ini mengurangi risiko perubahan data tanpa jejak dan memudahkan rekonstruksi keputusan.

Pada antarmuka, dashboard dipisahkan menurut kebutuhan peran. Petugas gudang melihat stok, transaksi hari ini, notifikasi kesalahan, dan histori pemindaian pribadi. Supervisor melihat tren transaksi, koreksi, indikator KPI, dan status validasi periode. Bagian keuangan melihat nilai KPI yang telah disahkan dan keluaran insentif tanpa memperoleh hak untuk mengubah transaksi gudang. Pemisahan tersebut sejalan dengan temuan bahwa dashboard yang efektif perlu memiliki konteks pengguna yang jelas dan menyajikan indikator yang benar-benar mendukung keputusan [38, 39, 40, 24].

Model KPI dirancang agar setiap indikator dapat ditelusuri kembali ke data sumber. Sebagai contoh, nilai akurasi tidak diisi manual oleh supervisor, tetapi dihitung dari transaksi dan koreksi yang telah diberi penyebab. Produktivitas tidak dinilai dari jumlah transaksi absolut saja karena volume kerja dapat berbeda antarshift atau area. Oleh karena itu, nilai produktivitas perlu dinormalisasi terhadap target yang ditetapkan organisasi. Pendekatan ini konsisten dengan gagasan performance measurement yang menuntut definisi indikator, pembobotan, dan interpretasi yang sesuai konteks [16, 21]. Dashboard KPI juga tidak boleh menampilkan skor agregat tanpa komponen pembentuknya karena transparansi formula diperlukan untuk audit dan penerimaan pengguna.

Untuk menunjukkan mekanisme tanpa mengklaim hasil empiris, digunakan contoh simulasi. Apabila seorang

petugas memperoleh A = 96, T = 88, P = 90, dan C = 100 dengan bobot simulasi 0,35; 0,25; 0,20; dan 0,20, skor KPI menjadi 93,6. Jika organisasi menggunakan fungsi insentif linear dengan plafon 100% pada skor 100, maka faktor insentif adalah 0,936. Contoh ini hanya menunjukkan aliran perhitungan. Nilai bobot, target, ambang, serta bentuk fungsi insentif tidak boleh diterapkan sebagai kebijakan sebelum disetujui manajemen dan, bila relevan, ditinjau dari aspek ketenagakerjaan.

Keterhubungan data KPI dengan insentif memberikan dua manfaat potensial. Pertama, dasar perhitungan dapat direproduksi karena nilai berasal dari transaksi yang memiliki waktu dan identitas pengguna. Kedua, karyawan dan manajer dapat melihat indikator pembentuk skor sehingga keputusan insentif lebih transparan. Namun, integrasi ini juga membawa risiko ketika pengguna mengejar metrik tertentu dengan mengabaikan kualitas kerja lain. Karena itu, sistem tidak menggunakan volume transaksi sebagai indikator tunggal dan mempertahankan validasi supervisor. Temuan pada studi insentif finansial dan skema kompensasi menguatkan perlunya kehati-hatian dalam menghubungkan metrik dengan pembayaran [30, 29].

Rancangan sistem juga mempertimbangkan kualitas implementasi. Sistem informasi sumber daya manusia yang berhasil memerlukan standardisasi data, dukungan operasional, dan peran pengguna yang jelas [25, 26, 27]. Pada sisi workforce monitoring, alat otomatis dapat membantu manajer mengenali status kompetensi dan distribusi aktivitas, tetapi tetap memerlukan interpretasi manusia [28]. Oleh sebab itu, modul KPI dalam penelitian ini ditempatkan sebagai decision-support mechanism, bukan mesin keputusan final tentang kinerja seseorang.

Skenario black-box disusun untuk menguji titik kegagalan yang paling berpengaruh terhadap integritas data. Transaksi keluar harus ditolak ketika stok tidak mencukupi; QR Code tidak aktif harus menghasilkan pesan yang jelas; koreksi transaksi harus menciptakan catatan penyesuaian; pengguna tanpa kewenangan tidak dapat mengubah parameter KPI; periode KPI yang sudah dikunci tidak boleh dihitung ulang tanpa prosedur pembukaan kembali; dan bagian keuangan hanya menerima nilai yang telah disetujui. Hasil aktual dari setiap skenario belum dicantumkan karena implementasi dan pengujian lapangan belum diberikan pada penelitian ini. Tabel pengujian pada naskah berfungsi sebagai protokol yang harus diisi pada tahap validasi.

Tabel 3. Protokol black-box testing yang harus divalidasi

ID	Skenario	Keluaran yang diharapkan
T1	Login sesuai peran	Menu dan hak akses sesuai role.
T2	Scan barang masuk	Transaksi, stok, timestamp, dan audit tersimpan.
T3	Barang keluar > stok	Transaksi ditolak dan saldo tidak berubah.
T4	Koreksi transaksi	Dibuat penyesuaian; data awal tetap terlacak.
T5	Ubah bobot KPI tanpa hak	Akses ditolak dan aktivitas dicatat.
T6	Kunci periode KPI	Nilai periode tidak berubah tanpa prosedur resmi.
T7	Ekspor insentif	Hanya KPI tervalidasi yang dapat diproses.

Dibandingkan penelitian terdahulu, rancangan ini tidak menawarkan teknologi traceability baru seperti blockchain, UAV, atau AI. Kontribusinya berada pada orkestrasi data yang lebih sederhana namun dekat dengan kebutuhan operasional: QR Code menjadi pintu masuk transaksi, transaksi menjadi sumber data KPI, dan KPI menjadi input insentif yang terkontrol. Pendekatan tersebut dapat lebih mudah diterapkan pada organisasi dengan infrastruktur terbatas karena tidak mensyaratkan sensor kompleks. Studi Industry 4.0 dan logistik cerdas menunjukkan bahwa interoperabilitas merupakan arah penting pengembangan, tetapi adopsi teknologi sebaiknya tetap proporsional terhadap kebutuhan proses [9, 13].

Validitas rancangan masih memiliki keterbatasan. Pertama, bobot KPI belum divalidasi melalui expert judgment atau data historis. Kedua, belum tersedia hasil pengukuran sebelum dan sesudah implementasi untuk membuktikan peningkatan akurasi stok, kecepatan proses, atau penurunan error. Ketiga, penerimaan pengguna terhadap QR Code, dashboard, dan keterkaitan metrik dengan insentif belum diuji. Keempat, aturan ketenagakerjaan dan kebijakan payroll dapat berbeda antarorganisasi. Oleh karena itu, implementasi lapangan perlu mencakup validasi kebutuhan pengguna, uji fungsi, uji usability, evaluasi akurasi data, dan analisis dampak kebijakan sebelum sistem digunakan sebagai dasar pembayaran nyata. Temuan tentang penerimaan QR Code

dan usability sistem digital menunjukkan bahwa kualitas teknis saja tidak cukup untuk memastikan penggunaan berkelanjutan [2, 35, 36].

4. KESIMPULAN

Penelitian menghasilkan rancangan sistem monitoring keluar masuk barang berbasis QR Code yang mengintegrasikan transaksi gudang, KPI, dan komponen insentif payroll melalui alur data yang dapat ditelusuri. Sistem dirancang dengan model Waterfall, pemisahan hak akses, audit trail, validasi stok, dashboard per peran, formula KPI yang dapat dikonfigurasi, serta mekanisme persetujuan sebelum nilai KPI digunakan pada modul insentif. Model tersebut menempatkan transaksi gudang sebagai bukti aktivitas yang terukur, tetapi tidak menjadikannya satu-satunya ukuran kinerja karyawan.

Kontribusi utama rancangan adalah penyatuan tiga fungsi yang sering berjalan terpisah, yaitu traceability barang, performance monitoring, dan dukungan perhitungan insentif. Integrasi ini berpotensi meningkatkan konsistensi data, transparansi evaluasi, dan kemampuan audit. Meskipun demikian, naskah ini belum menyajikan hasil uji lapangan sehingga tidak menyimpulkan adanya peningkatan kinerja secara empiris. Penelitian lanjutan perlu mengimplementasikan prototipe, melakukan black-box testing, menguji usability, memvalidasi bobot KPI bersama pemangku

kepentingan, serta membandingkan indikator sebelum dan sesudah penerapan. Penggunaan nilai KPI untuk payroll juga harus tetap tunduk pada kebijakan organisasi dan regulasi ketenagakerjaan yang berlaku.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Cai, Y., Li, X., Wang, R., Yang, Q., Li, P., & Hu, H. (2016). Quality traceability system of Traditional Chinese Medicine based on two dimensional barcode using mobile intelligent technology. *PLOS ONE*, 11(10), e0165263. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165263>
- [2] Kim, Y. G., & Woo, E. (2016). Consumer acceptance of a quick response (QR) code for the food traceability system: application of an extended technology acceptance model (TAM). *Food Research International*, 85, 266–272. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.05.002>
- [3] Uzun, V., & Bilgin, S. (2016). Evaluation and implementation of QR code identity tag system for healthcare in Turkey. *SpringerPlus*, 5(1), 1454. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-3020-9>
- [4] Rorís, V. M. A., Sabucedo, L. M. Á., Wanden-Berghe, C., Gago, J. M. S., & Sanz-Valero, J. (2016). Towards a mobile-based platform for traceability control and hazard analysis in the context of parenteral nutrition: description of a framework and a prototype app. *JMIR Research Protocols*, 5(2), e57. <https://doi.org/10.2196/resprot.4907>
- [5] Figorilli, S., Antonucci, F., Costa, C., Pallottino, F., Raso, L., Castiglione, M., Pinci, E., Del Vecchio, D., Colle, G., Proto, A. R., Sperandio, G., & Menesatti, P. (2018). A blockchain implementation prototype for the electronic open source traceability of wood along the whole supply chain. *Sensors*, 18(9), 3133. <https://doi.org/10.3390/s18093133>
- [6] Fernández-Caramés, T. M., Blanco-Novoa, O., Froiz-Míguez, I., & Fraga-Lamas, P. (2019). Towards an autonomous Industry 4.0 warehouse: a UAV and blockchain-based system for inventory and traceability applications in big data-driven supply chain management. *Sensors*, 19(10), 2394. <https://doi.org/10.3390/s19102394>
- [7] Lin, K., Chavalarias, D., Panahi, M., Yeh, T., Takimoto, K., & Mizoguchi, M. (2020). Mobile-based traceability system for sustainable food supply networks. *Nature Food*, 1(11), 673–679. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-00163-y>
- [8] Violino, S., Pallottino, F., Sperandio, G., Figorilli, S., Ortenzi, L., Tocci, F., Vasta, S., Imperi, G., & Costa, C. (2020). A full technological traceability system for extra virgin olive oil. *Foods*, 9(5), 624. <https://doi.org/10.3390/foods9050624>
- [9] Sinitò, D., Santarcangelo, V., Stanco, F., & Giacalone, M. (2023). Industry 4.0: machinery integration with supply chain and logistics in compliance with italian regulations. *MethodsX*, 11, 102269. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2023.102269>
- [10] Charlebois, S., Latif, N., Ilahi, I., Sarker, B., Music, J., & Vezeau, J. (2024). Digital traceability in Agri-Food supply chains: a comparative analysis of OECD member countries. *Foods*, 13(7), 1075. <https://doi.org/10.3390/foods13071075>
- [11] Belbachir, A. A. N., Ortiz, A. M., Hauge, E. T., Bonanno, G., Ciccio, E., & Felling, G. (2025). Outdoor warehouse management: UAS-driven precision tracking of stacked steel bars. *SN Computer Science*, 6(6), 701. <https://doi.org/10.1007/s42979-025-04206-8>
- [12] Zhang, G., Wang, Q., Zhao, L., Zhang, H., Lin, J., & Asakawa, T. (2025). A pilot study investigating the efficiency of an internet of things (IoT)-aided warehouse management system in the management of consumables for the operating room in a chinese setting. *Drug Discoveries & Therapeutics*, 19(4), 271–274. <https://doi.org/10.5582/ddt.2025.01068>
- [13] Ieva, S., Bilenchi, I., Gramegna, F., Pinto, A., Scioscia, F., Ruta, M., & Loieto, G. (2025). Enhancing last-mile logistics: AI-driven fleet optimization, mixed reality, and large language model assistants for warehouse operations. *Sensors*, 25(9), 2696. <https://doi.org/10.3390/s25092696>
- [14] Sebt, M. R., McCarthy, U., Ktenioudaki, A., Russo, M., & Merenda, M. (2026). Traceability and anti-counterfeiting in Agri-Food supply chains: a review of RFID, IoT, blockchain, and AI technologies. *Sensors*, 26(5), 1685. <https://doi.org/10.3390/s26051685>
- [15] Mesabbah, M., & Arisha, A. (2016). Performance management of the public healthcare services in Ireland: a review. *International Journal of Health Care Quality Assurance*, 29(2), 209–235. <https://doi.org/10.1108/ijhcqa-07-2014-0079>
- [16] Catuogno, S., Arena, C., Saggese, S., & Sarto, F. (2017). Balanced performance measurement in research hospitals: the participative case study of a haematology department. *BMC Health Services Research*, 17(1), 522. <https://doi.org/10.1186/s12913-017-2479-6>
- [17] Lima, T. D. M., Aguiar, P. M., & Storpirtis, S. (2018). Development and validation of key performance indicators for medication management services provided for outpatients. *Research in Social and Administrative Pharmacy*, 15(9), 1080–1087. <https://doi.org/10.1016/j.sapharm.2018.09.010>
- [18] Vosoughi, S., Chalak, M. H., Yarahmadi, R., Abolghasemi, J., Alimohammadi, I., Kanrashi, F. A., & Pourtalari, M. (2020). Identification, selection and prioritization of key performance indicators for the improvement of occupational health (case study: an automotive company). *Journal of UOEH*, 42(1), 35–49. <https://doi.org/10.7888/juoeh.42.35>
- [19] Mahmodabadi, A. D., Langarizadeh, M., Mehrjardi, M. H. M., & Emadi, S. (2019). Development of managerial key performance indicators for a hospital pharmacy digital dashboard. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research : IJPR*, 18(4), 2124–2130. <https://doi.org/10.22037/ijpr.2019.1100822>

- [20] Burlea-Schiopoiu, A., & Ferhati, K. (2020). The managerial implications of the key performance indicators in healthcare sector: a cluster analysis. *Healthcare*, 9(1), 19. <https://doi.org/10.3390/healthcare9010019>
- [21] Leal, J. E., Krakovics, F., & do Nascimento Vieira, V. (2021). S-PI: a performance measurement system using an s-curve. *MethodsX*, 8, 101287. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2021.101287>
- [22] Kidd, V. D., Liu, J. H., Reamer-Yu, A., Wang, J. H., & Deng, M. (2022). The development of a visual dashboard report to assess physician assistant and nurse practitioner financial and clinical productivity. *BMC Health Services Research*, 22(1), 882. <https://doi.org/10.1186/s12913-022-08216-7>
- [23] Ngxongo, T. S. P., & Masondo, J. N. M. (2022). Nurse managers' experiences regarding the use of key performance indicators in developing work plans. *African Journal of Primary Health Care & Family Medicine*, 14(1), 3556. <https://doi.org/10.4102/phcfm.v14i1.3556>
- [24] Rabiei, R., Bastani, P., Ahmadi, H., Dehghan, S., & Almasi, S. (2024). Developing public health surveillance dashboards: a scoping review on the design principles. *BMC Public Health*, 24(1), 392. <https://doi.org/10.1186/s12889-024-17841-2>
- [25] Waters, K. P., Mazivila, M. E., Dgedge, M., Necochea, E., Manharlal, D., Zuber, A., de Faria Leão, B., Bossemeyer, D., & Vergara, A. E. (2016). ESIP-Saúde: Mozambique's novel approach for a sustainable human resources for health information system. *Human Resources for Health*, 14(1), 66. <https://doi.org/10.1186/s12960-016-0159-y>
- [26] Waters, K. P., Zuber, A., Simbini, T., Bangani, Z., & Krishnamurthy, R. S. (2017). Zimbabwe's human resources for health information system (ZHRIS)—an assessment in the context of establishing a global standard. *International Journal of Medical Informatics*, 100, 121–128. <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2017.01.011>
- [27] Jain, S., Namasivayam, V., Halli, S., Isac, S., Becker, M., Khan, M. A., Gothwal, V., Blanchard, J., Pandey, P., Rawat, A. K., & Prakash, R. (2024). Learnings from the implementation of an electronic human resource management system for the health workforce in Uttar Pradesh, India. *Global Health: Science and Practice*, 12(3), e2300312. <https://doi.org/10.9745/ghsp-d-23-00312>
- [28] Lastrucci, A., Wandaël, Y., Orlandi, G., Barra, A., Chiti, S., Gigli, V., Marletta, M., Pelliccia, D., Tonietti, B., Ricci, R., & Giansanti, D. (2024). Precision workforce management for radiographers: monitoring and managing competences with an automatic tool. *Journal of Personalized Medicine*, 14(7), 669. <https://doi.org/10.3390/jpm14070669>
- [29] Davis, A. L., Flomen, L., Ahmed, J., Arouna, D. M., Asiedu, A., Badamassi, M. B., Badolo, O., Bonkougou, M., Franco, C., Jezman, Z., Kalota, V., Kamate, B., Koko, D., Munthali, J., Ntummy, R., Sichalwe, P., & Yattara, O. (2024). Documenting community health worker compensation schemes and their perceived effectiveness in seven sub-saharan african countries: a qualitative study. *Global Health: Science and Practice*, 12(3), e2400008. <https://doi.org/10.9745/ghsp-d-24-00008>
- [30] Bai, J., Bundorf, K., Bai, F., Tang, H., & Xue, D. (2019). Relationship between physician financial incentives and clinical pathway compliance: a cross-sectional study of 18 public hospitals in China. *BMJ Open*, 9(5), e027540. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2018-027540>
- [31] Pressman, R. S., & Maxim, B. R. (2020). *Software engineering: A practitioner's approach*. McGraw-Hill Education (9th ed.).
- [32] Sommerville, I. (2016). *Software engineering*. Pearson (10th ed.).
- [33] Sarikaya, A., Correll, M., Bartram, L., Tory, M., & Fisher, D. (2018). What do we talk about when we talk about dashboards?. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 25(1), 682–692. <https://doi.org/10.1109/tvcg.2018.2864903>
- [34] Kuhn, R., & Raunak, M. S. (2020). Narrow spectrum software testing addressing complexity and trust. *Computer*, 53(4), 15–18. <https://doi.org/10.1109/mc.2020.2971813>
- [35] Blagec, K., Romagnoli, K. M., Boyce, R. D., & Samwald, M. (2016). Examining perceptions of the usefulness and usability of a mobile-based system for pharmacogenomics clinical decision support: a mixed methods study. *PeerJ*, 4, e1671. <https://doi.org/10.7717/peerj.1671>