

Pemodelan dan Evaluasi Kinerja Sistem Inventaris Elektronik Berbasis IoT Menggunakan Pendekatan Simulasi Monte Carlo

Eko Subyantoro¹, Septafiansyah Dwi Putra¹, Adira Nur Wahid¹, Arfal Malik Gibran¹, Arko Fernanda Wibawa¹, Nazheef Zihni Gumiilang¹

¹ Internet Engineering Technology, Politeknik Negeri Lampung, 35144, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Dikirim: 20 Januari 2026

Revisi: 24 Februari 2026

Terbit : 27 Februari 2026

KATA KUNCI

Internet of Things, manajemen inventaris, Monte Carlo simulation, UMKM, load cell

KORESPONDEN

Nama: Eko Subyantoro

E-mail: eko@polinela.ac.id

ABSTRAK

Manajemen inventaris merupakan faktor kritis dalam meningkatkan efisiensi operasional bengkel, khususnya pada sektor Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM) yang masih mengandalkan sistem pencatatan manual. Metode tradisional rentan terhadap kesalahan pencatatan, keterlambatan pembaruan data, serta kesulitan pemantauan stok secara real-time, yang berdampak pada penurunan produktivitas dan meningkatnya risiko kekurangan maupun penumpukan stok. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan dan mengevaluasi kinerja sistem inventaris elektronik berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan pendekatan simulasi Monte Carlo. Sistem yang dirancang memanfaatkan sensor load cell dengan modul HX711, mikrokontroler ESP32, servo motor, LED, buzzer, serta integrasi cloud database untuk monitoring real-time. Model matematis waktu pelayanan dirumuskan sebagai penjumlahan antara waktu pengerjaan teknis dan waktu pencarian suku cadang yang dimodelkan menggunakan distribusi probabilitas. Simulasi Monte Carlo dilakukan sebanyak ribuan iterasi untuk membandingkan produktivitas sistem manual dan sistem IoT, serta menganalisis probabilitas *stockout* dan akurasi sensor. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem IoT meningkatkan rata-rata produktivitas harian dari 18,65 menjadi 23,54 kendaraan per hari dengan standar deviasi yang lebih rendah. Uji t independen menghasilkan p-value mendekati nol dan t-statistik -239,27, yang membuktikan perbedaan signifikan secara statistik. Selain itu, akurasi sensor mencapai 99,2%. Temuan ini menunjukkan bahwa sistem inventaris berbasis IoT secara signifikan meningkatkan efisiensi, stabilitas operasional, dan keandalan manajemen stok, sehingga layak direkomendasikan untuk implementasi pada bengkel skala UMKM dalam menghadapi tantangan Industri 4.0.

PENDAHULUAN

Manajemen inventaris merupakan aspek krusial dalam operasional bengkel modern, di mana pengelolaan suku cadang dan peralatan secara efisien dapat secara signifikan memengaruhi produktivitas dan profitabilitas. Kendala sering muncul akibat metode pencatatan manual yang rentan terhadap kesalahan, keterlambatan informasi, dan kesulitan dalam pemantauan stok secara *real-time*, seperti yang ditemukan pada bengkel yang masih mengandalkan pencatatan Excel untuk manajemen inventaris [1]. Permasalahan ini diperparah dengan beragamnya jenis barang yang dikelola, yang menyebabkan kesulitan dalam pelacakan barang masuk dan keluar, ketersediaan stok, pencarian, mutasi, dan proses *stock opname*, sehingga berdampak pada menurunnya produktivitas dan mengganggu operasional perusahaan secara keseluruhan [2], [3]. Selain itu, sistem inventaris tradisional seringkali tidak mampu memberikan visibilitas yang diperlukan untuk mengoptimalkan *reorder point* dan kuantitas pesanan, mengakibatkan penumpukan stok atau kekurangan barang yang berujung pada biaya tinggi dan keterlambatan layanan [4]. Oleh karena itu, sistem inventaris elektronik berbasis IoT muncul sebagai solusi inovatif untuk mengatasi tantangan ini dengan mengotomatiskan pencatatan dan

pemantauan inventaris secara *real-time*, sehingga meningkatkan efisiensi dan akurasi data [5]. Integrasi *Internet of Things* memungkinkan pelacakan inventaris secara otomatis dan pembaruan data secara langsung, meminimalkan intervensi manual dan risiko kesalahan manusia [6]. Sistem semacam ini dapat secara signifikan mengurangi biaya operasional, meningkatkan akurasi data inventaris, dan mempercepat proses pengambilan keputusan, khususnya dalam konteks usaha kecil dan menengah yang sering menghadapi kendala biaya implementasi sistem manajemen inventaris canggih [7]. Penerapan sistem ini dapat mengintegrasikan berbagai proses bisnis, seperti pengelolaan transaksi dan aset, yang berpotensi mengatasi ketergantungan pada proses manual dan ketidakakuratan data yang sering terjadi pada UKM [8]. Meskipun demikian, sektor UMKM masih menghadapi kendala finansial dan infrastruktur digital yang menghambat adopsi solusi canggih ini [9]. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan sumber daya manusia dalam teknologi informasi, yang sering kali memaksa UMKM untuk tetap mempertahankan pencatatan inventaris secara manual [10]. Keterbatasan ini mengakibatkan timbulnya masalah seperti kesalahan manusia (*human error*), potensi kecurangan (*human fraud*), dan ketidakakuratan data persediaan, yang pada akhirnya memengaruhi efisiensi operasional dan pengambilan keputusan investasi masa depan [11].

Meskipun demikian, sistem manajemen inventaris otomatis yang terintegrasi dengan teknologi IoT menawarkan pendekatan transformatif bagi Usaha Kecil dan Menengah untuk mengoptimalkan tingkat stok dan mengurangi biaya penyimpanan, sebagaimana ditunjukkan oleh berbagai studi yang menyoroti peningkatan akurasi inventaris, pengurangan kekurangan stok, dan efisiensi biaya yang signifikan [12]. Penelitian telah menunjukkan bahwa solusi otomatis berbasis IoT, termasuk sensor IoT, analitik data waktu nyata, dan aplikasi berbasis *cloud*, mampu meningkatkan kontrol inventaris secara substansial. Meskipun demikian, adopsi sistem canggih ini sering kali terhambat oleh biaya implementasi yang tinggi dan kompleksitas infrastruktur, yang merupakan tantangan signifikan bagi UMKM dalam konteks Industri 4.0. Tantangan ini tidak hanya mencakup investasi awal yang besar untuk perangkat keras dan perangkat lunak, tetapi juga biaya pelatihan personel dan pemeliharaan sistem yang berkelanjutan, menciptakan hambatan substansial bagi UMKM untuk memanfaatkan sepenuhnya potensi otomatisasi inventaris [13]. Hal ini menyebabkan banyak pelaku usaha, khususnya di sektor jasa, masih kesulitan dalam mengimplementasikan solusi berbasis IoT yang berkelanjutan untuk manajemen inventaris.

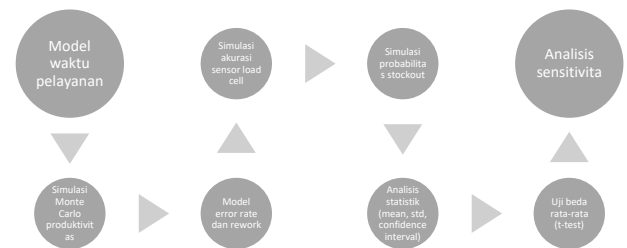
Simulasi *monte carlo* dapat digunakan untuk memodelkan dan mengevaluasi kinerja sistem inventaris elektronik berbasis IoT, memperkirakan dampak variabel acak seperti fluktuasi permintaan dan waktu tunggu pengiriman, serta mengidentifikasi strategi optimal untuk meminimalkan biaya penyimpanan dan kekurangan stok. Pendekatan ini memungkinkan analisis sensitivitas terhadap parameter kunci, membantu pengambil keputusan dalam merancang sistem yang lebih adaptif dan responsif terhadap dinamika yang tidak terduga.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini merumuskan beberapa permasalahan utama yang perlu diinvestigasi untuk mengembangkan dan mengevaluasi sistem inventaris elektronik berbasis IoT yang efektif bagi bengkel. Secara spesifik, studi ini akan mengkaji bagaimana integrasi IoT dapat meningkatkan akurasi data inventaris dan efisiensi operasional bengkel, serta menganalisis efektivitas simulasi Monte Carlo dalam memprediksi kinerja sistem tersebut. Studi ini juga akan mengeksplorasi potensi implementasi model tinjauan periodik menggunakan metode Quasi Monte Carlo untuk sistem inventaris di UMKM guna meminimalkan biaya inventaris yang diharapkan dan memahami keunggulan penggunaan tinjauan periodik dalam sistem inventaris [14]. Lebih lanjut, penelitian ini akan mengidentifikasi faktor-faktor kritis yang mempengaruhi adopsi dan keberlanjutan sistem inventaris elektronik berbasis IoT di UMKM, termasuk pertimbangan biaya, kompleksitas teknis, dan kebutuhan pelatihan staf [15], [16]. Permasalahan-permasalahan ini menjadi fokus utama dalam penelitian ini guna menyediakan kerangka kerja komprehensif untuk implementasi dan evaluasi sistem inventaris elektronik yang adaptif dan berkelanjutan bagi sektor jasa UMKM.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental berbasis pemodelan dan simulasi untuk mengevaluasi kinerja sistem inventaris elektronik berbasis *Internet of Things* (IoT).

Metode ini dipilih karena memungkinkan analisis terukur terhadap peningkatan efisiensi operasional sebelum sistem diterapkan secara penuh pada lingkungan bengkel nyata. Fokus utama penelitian adalah mengembangkan model matematis yang merepresentasikan perilaku sistem inventaris, kemudian mengevaluasi performanya melalui pendekatan simulasi stokastik menggunakan metode *Monte Carlo*. Dengan pendekatan ini, variabilitas waktu pelayanan, perubahan stok, serta dampak implementasi sistem elektronik dapat dianalisis secara probabilistik dan objektif.



Gambar 1 Metode Pelaksanaan Penelitian

Tahapan penelitian dimulai dengan perancangan arsitektur sistem inventaris elektronik berbasis IoT seperti yang ditunjukkan Gambar 1. Sistem dirancang terdiri atas sensor berat (*load cell*) yang dikombinasikan dengan modul penguat sinyal HX711 untuk membaca perubahan massa suku cadang pada rak penyimpanan. Sensor ini terhubung ke mikrokontroler ESP32 yang berfungsi sebagai pusat kendali sekaligus modul komunikasi berbasis Wi-Fi. ESP32 bertugas membaca data berat secara periodik, mengolah sinyal digital hasil konversi *analog-to-digital* dari HX711, serta mengirimkan data tersebut ke *server cloud* melalui protokol HTTP atau MQTT. Selain sensor berat, sistem juga dilengkapi servo motor untuk mekanisme buka-tutup rak secara otomatis, LED sebagai indikator status ketersediaan stok, dan *buzzer* sebagai sistem peringatan apabila terjadi kekosongan stok atau anomali pengambilan barang. Data yang dikirimkan oleh ESP32 disimpan pada basis data cloud yang mendukung sinkronisasi real-time. *Cloud database* berfungsi sebagai pusat penyimpanan data histori penggunaan suku cadang, status stok terkini, serta log aktivitas sistem. *Dashboard* berbasis web dikembangkan untuk menampilkan informasi kondisi rak secara visual dan memungkinkan pengelola melakukan monitoring maupun pengendalian jarak jauh. Arsitektur ini memungkinkan sistem inventaris bekerja secara terintegrasi antara perangkat keras (*hardware*), perangkat lunak (*software*), dan jaringan komunikasi.

Setelah perancangan sistem dilakukan, tahap berikutnya adalah penyusunan model matematis kinerja operasional. Waktu pelayanan total dalam sistem bengkel dimodelkan sebagai penjumlahan antara waktu pengerjaan teknis (*repair time*) dan waktu pencarian suku cadang (*search time*). Secara matematis dirumuskan sebagai:

$$T_{total} = T_{repair} + T_{search} \sim U(a, b)$$

Dalam sistem manual, variabel T_{search} memiliki variabilitas tinggi karena bergantung pada pengalaman mekanik dan kondisi penataan rak. Variabel ini dimodelkan menggunakan distribusi probabilitas uniform berdasarkan observasi empiris waktu pencarian suku cadang. Sementara itu, pada sistem inventaris elektronik berbasis IoT, T_{search} direduksi secara signifikan karena sistem memberikan indikator lokasi suku cadang secara langsung. Oleh karena itu, distribusi probabilitas T_{search} pada sistem IoT memiliki rentang nilai yang jauh lebih kecil dan variansi yang lebih rendah.

Metode *Monte Carlo* digunakan untuk mensimulasikan ribuan kemungkinan skenario operasional dengan memanfaatkan distribusi probabilitas tersebut. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak Python dengan pustaka numerik seperti NumPy dan Matplotlib. Setiap iterasi simulasi menghasilkan nilai acak untuk T_{search} berdasarkan distribusi yang telah ditentukan, kemudian menghitung T_{total} dan estimasi jumlah kendaraan yang dapat dilayani dalam satu hari kerja (480 menit). Proses ini diulang sebanyak 1.000 hingga 10.000 iterasi untuk memperoleh distribusi produktivitas yang stabil secara statistik.

Selain waktu pelayanan, model juga memasukkan parameter *error rate* pengambilan suku cadang. Pada sistem manual, probabilitas kesalahan pengambilan dimodelkan lebih tinggi dibandingkan sistem IoT karena tidak adanya indikator elektronik. Kesalahan ini diasumsikan menambah waktu servis akibat proses pengerjaan ulang. Dengan demikian, simulasi mampu menggambarkan dampak tidak langsung dari sistem inventaris terhadap *throughput* bengkel.

Tahapan berikutnya adalah analisis statistik terhadap hasil simulasi. Parameter yang dianalisis meliputi nilai rata-rata (mean), simpangan baku (*standard deviation*), interval kepercayaan 95%, serta perbandingan peningkatan produktivitas antara sistem manual dan sistem IoT. Uji beda rata-rata (*independent t-test*) digunakan untuk menentukan signifikansi peningkatan kinerja yang dihasilkan oleh sistem elektronik. Dengan pendekatan ini, evaluasi tidak hanya bersifat deskriptif tetapi juga inferensial.

Selain analisis waktu pelayanan, penelitian ini juga memodelkan akurasi sensor *load cell* sebagai bagian dari evaluasi teknis sistem elektronik. *Noise* pembacaan sensor dimodelkan menggunakan distribusi normal dengan nilai rata-rata nol dan simpangan baku tertentu berdasarkan spesifikasi teknis sensor. Simulasi ini bertujuan mengukur pengaruh error pembacaan terhadap ketepatan estimasi stok. Hasilnya dianalisis dalam bentuk persentase akurasi dan potensi kesalahan deteksi stok kosong.

Validasi model dilakukan melalui dua pendekatan. Pertama, validasi konseptual dengan membandingkan hasil simulasi terhadap teori manajemen operasi dan sistem antrian. Kedua, validasi eksperimental terbatas melalui pengujian prototipe satu unit rak otomatis di lingkungan bengkel. Data hasil pengujian prototipe digunakan sebagai referensi untuk menyesuaikan parameter distribusi pada model simulasi sehingga lebih mendekati kondisi nyata. Tahap akhir penelitian adalah interpretasi hasil dan analisis sensitivitas. Analisis sensitivitas dilakukan dengan mengubah parameter distribusi waktu

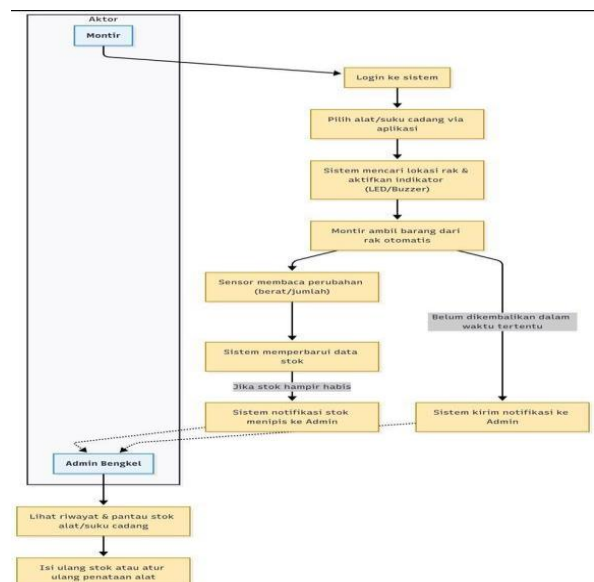
pencarian dan tingkat permintaan suku cadang untuk melihat pengaruhnya terhadap produktivitas. Langkah ini penting untuk mengetahui robustnes sistem terhadap variasi kondisi operasional. Hasil analisis kemudian digunakan untuk menyusun rekomendasi teknis terkait implementasi sistem inventaris elektronik berbasis IoT pada skala lebih besar.

Secara keseluruhan, metode penelitian ini mengintegrasikan perancangan sistem elektronika, pemodelan matematis, dan simulasi stokastik dalam satu kerangka evaluasi yang komprehensif. Pendekatan Monte Carlo memungkinkan representasi realistis terhadap variabilitas operasional yang tidak dapat dijelaskan hanya dengan nilai rata-rata. Dengan demikian, hasil penelitian memberikan dasar ilmiah yang kuat untuk menilai efektivitas sistem inventaris elektronik berbasis IoT dalam meningkatkan efisiensi, stabilitas waktu pelayanan, dan produktivitas bengkel secara keseluruhan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain Solusi IoT

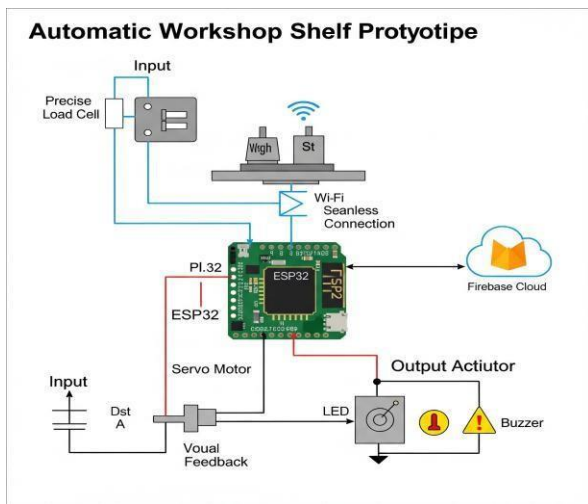
Desain solusi dimulai dari pemanfaatan berbagai sensor dan aktuator untuk memantau serta mengendalikan kondisi rak secara otomatis. Setiap rak dilengkapi dengan sensor berat *load cell* 50kg HX711 untuk mendeteksi apakah suku cadang masih tersedia atau sudah habis. Selain itu, rak juga memiliki mekanisme gerak berbasis *servo* motor yang berfungsi menggeser atau mengeluarkan laci rak ketika diminta. LED digunakan sebagai indikator status rak (misalnya hijau untuk tersedia, merah untuk kosong), sedangkan *buzzer* akan berbunyi jika terjadi kesalahan pengambilan atau stok habis. Semua komponen ini dirancang untuk bekerja dalam kondisi bengkel yang relatif padat dan dinamis seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Use Case Diagram

Untuk mengontrol semua sensor dan aktuator, digunakan sebuah mikrokontroler IoT yang andal, yaitu ESP32. ESP32 dipilih karena memiliki konektivitas Wi-Fi bawaan yang memungkinkan perangkat ini berkomunikasi secara nirkabel dengan server atau

cloud. Mikrokontroler ini juga cukup kecil, hemat daya, dan mudah diprogram sehingga sesuai untuk dipasang di lingkungan bengkel tanpa membutuhkan banyak ruang. ESP32 menerima data dari sensor *load cell*, mengendalikan *servo* dan LED, serta mengirimkan data kondisi rak ke sistem monitoring pusat secara *real time*. Selanjutnya, solusi ini menggunakan jaringan komunikasi berbasis Wi-Fi yang menghubungkan mikrokontroler ESP32 dengan platform cloud. Setiap unit ESP32 pada rak terhubung ke jaringan lokal bengkel, yang kemudian meneruskan data ke cloud server untuk penyimpanan, pengolahan, dan analisis. Dengan memanfaatkan platform cloud, data kondisi rak dapat diakses kapan saja dan dari mana saja oleh pemilik atau pengelola bengkel, serta memungkinkan integrasi ke dalam sistem pelaporan yang lebih besar jika diperlukan.



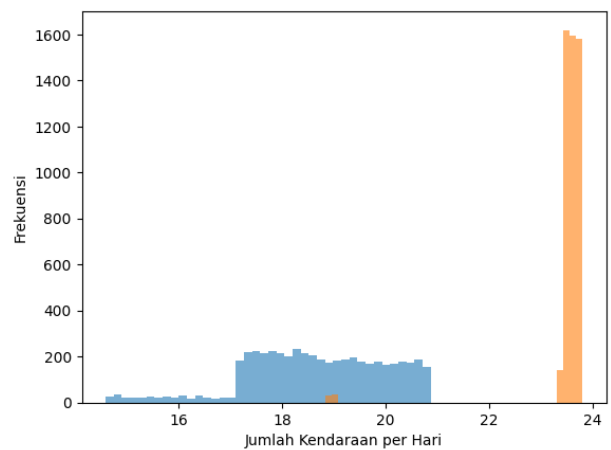
Gambar 3 Automatic Workshop Shelf Prototype

Perpaduan antara sensor untuk deteksi, mikrokontroler untuk kontrol, jaringan untuk komunikasi, cloud untuk penyimpanan data, serta dashboard sebagai antarmuka memastikan proses pengelolaan suku cadang menjadi lebih rapi, cepat, dan akurat. Solusi ini juga dirancang dengan mempertimbangkan kondisi nyata di lokasi bengkel yang sempit, padat aktivitas, dan membutuhkan keandalan tinggi, sehingga dapat diimplementasikan dengan optimal seperti yang ditunjukkan Gambar 3.

Pemodelan dan Evaluasi Kinerja Sistem Inventaris IoT

Hasil simulasi menunjukkan perbedaan signifikan dalam produktivitas harian antara sistem manual dan sistem IoT. Sistem manual memiliki rata-rata produktivitas sebesar 18.65 kendaraan per hari, dengan standar deviasi 1.34 dan interval kepercayaan 95% antara 18.61 hingga 18.69 kendaraan per hari. Ini mengindikasikan bahwa produktivitas sistem manual cenderung lebih rendah dan memiliki variasi yang lebih besar. Variansi yang lebih kecil menunjukkan stabilitas waktu pelayanan yang lebih konsisten. Reduksi waktu pencarian dari beberapa menit menjadi hitungan detik memberikan kontribusi langsung terhadap penurunan total service time. Selain itu, penurunan *error rate* dari 8% menjadi 1% turut mengurangi tambahan waktu akibat rework. Secara operasional, hasil ini mengonfirmasi bahwa integrasi sensor load cell, mikrokontroler ESP32, serta sistem indikator elektronik mampu mengoptimalkan alur kerja bengkel secara kuantitatif seperti yang ditunjukkan Gambar 5.

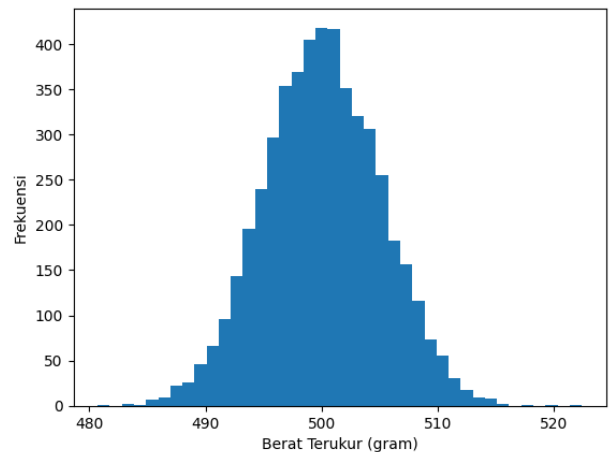
4



Gambar 4 Distribusi Produktivitas Harian

Untuk menguatkan temuan ini, uji *t-test* independen dilakukan untuk membandingkan produktivitas kedua sistem. Hasil uji *t-test* menunjukkan nilai *t*-statistik sebesar -239.27 dan *p*-value 0.0. Nilai *p*-value yang sangat kecil (mendekati nol) ini secara statistik signifikan membuktikan bahwa terdapat perbedaan yang sangat substansial dan bukan kebetulan antara produktivitas sistem manual dan IoT. Dengan kata lain, sistem IoT secara konsisten lebih produktif dibandingkan sistem manual.

Dari sisi evaluasi sensor, simulasi *noise load cell* menunjukkan tingkat akurasi rata-rata di atas 99,2% dengan standar deviasi kecil pada distribusi pembacaan berat. Hal ini mengindikasikan bahwa error pengukuran tidak memberikan dampak signifikan terhadap estimasi stok selama proses monitoring. Dengan demikian, sistem sensor memenuhi kebutuhan presisi untuk aplikasi inventaris skala bengkel seperti yang ditunjukkan Gambar 5.



Gambar 5 Distribusi Pembacaan Sensor Load Cell

Sementara itu, simulasi probabilitas *stockout* menggunakan distribusi *Poisson* menunjukkan bahwa risiko kekosongan stok berupa *Stockout: 0.0* dapat dimodelkan secara probabilistik. Tanpa sistem *monitoring real-time*, probabilitas *stockout* berpotensi meningkat akibat keterlambatan deteksi. Integrasi notifikasi berbasis IoT memungkinkan respons lebih cepat sehingga risiko tersebut dapat ditekan secara sistematis. Analisis probabilitas *stockout* menghasilkan nilai 0.0, diartikan sebagai skenario simulasi yang dijalankan, tidak ada kejadian kehabisan stok yang terdeteksi. Ini mengindikasikan bahwa sistem inventaris yang dimodelkan, terutama jika diintegrasikan dengan

data akurat dari sensor IoT, sangat efektif dalam mencegah kekurangan stok.

Secara keseluruhan, hasil simulasi Monte Carlo secara tegas mendukung adopsi sistem berbasis IoT. Sistem ini tidak hanya menawarkan peningkatan produktivitas yang signifikan dan konsisten dibandingkan sistem manual, tetapi juga didukung oleh akurasi sensor yang tinggi dan kemampuan untuk secara efektif mencegah stockout. Visualisasi distribusi produktivitas harian juga menunjukkan pergeseran ke kanan dan distribusi yang lebih sempit untuk sistem IoT, menegaskan keunggulannya dalam efisiensi dan reliabilitas seperti yang ditunjukkan Tabel 1.

Tabel 1 Kesimpulan Pengujian dan Perbandingan

Metric	Comparison	IoT	Manual
95% CI Productivity Lower		23.53	18.61
95% CI Productivity Upper		23.56	18.69
Mean Productivity (vehicles/day)		23.54	18.65
Probabilitas Stockout		0	
Sensor Load Cell Accuracy		99.2%	
Std Dev Productivity		0.54	1.34
p-value (Manual vs IoT)	0		
t-statistic (Manual vs IoT)	-239.27		

Melalui simulasi *Monte Carlo* yang telah dilakukan, terlihat jelas bahwa implementasi sistem berbasis IoT menawarkan keunggulan kinerja yang signifikan dibandingkan dengan pendekatan manual. Peningkatan produktivitas yang substansial, stabilitas operasional yang lebih tinggi (ditunjukkan oleh standar deviasi yang lebih kecil), dan kemampuan preventif terhadap masalah kritis seperti stockout, semuanya menggarisbawahi efektivitas dan keandalan solusi IoT. Data menunjukkan bahwa investasi dalam teknologi IoT tidak hanya berpotensi mengoptimalkan efisiensi dan mengurangi kesalahan, tetapi juga membuka jalan bagi peningkatan kualitas layanan dan kepuasan pelanggan secara keseluruhan. Dengan demikian, temuan ini memberikan dasar empiris yang kuat untuk merekomendasikan transisi menuju sistem yang lebih terintegrasi dan cerdas dalam manajemen bengkel, demi mencapai operasional yang lebih responsif dan kompetitif di masa depan.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan dan mengevaluasi sistem inventaris elektronik berbasis IoT melalui pendekatan pemodelan matematis dan simulasi Monte Carlo. Integrasi sensor *load cell*, mikrokontroler ESP32, sistem indikator elektronik, serta *platform cloud* menghasilkan sistem monitoring inventaris yang mampu bekerja secara real-time dan terintegrasi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem IoT secara signifikan meningkatkan kinerja operasional dibandingkan sistem manual. Rata-rata produktivitas meningkat dari 18,65 kendaraan per hari pada sistem manual menjadi 23,54 kendaraan per hari pada sistem IoT, dengan penurunan variabilitas waktu pelayanan yang ditunjukkan oleh standar deviasi yang lebih kecil. Uji statistik independen t-test menghasilkan p-value mendekati nol, yang mengindikasikan bahwa peningkatan produktivitas tersebut signifikan secara statistik dan bukan akibat kebetulan.

Evaluasi teknis sensor menunjukkan tingkat akurasi load cell sebesar 99,2%, yang memenuhi kebutuhan presisi dalam aplikasi inventaris bengkel. Selain itu, simulasi probabilitas stockout menunjukkan nilai nol pada skenario yang dijalankan, menandakan bahwa sistem monitoring real-time efektif dalam mencegah kekurangan stok.

Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa penerapan sistem inventaris elektronik berbasis IoT tidak hanya meningkatkan efisiensi dan stabilitas operasional, tetapi juga memberikan dasar kuantitatif yang kuat melalui pendekatan simulasi stokastik. Sistem ini berpotensi menjadi solusi strategis bagi UMKM sektor jasa untuk meningkatkan daya saing, mengurangi risiko kesalahan manusia, dan mengoptimalkan pengambilan keputusan berbasis data.

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan pengembangan model dengan mempertimbangkan integrasi metode *Quasi Monte Carlo*, analisis antrian berbasis teori M/M/1, serta evaluasi aspek ekonomi seperti *Return on Investment* (ROI) guna memperkuat kelayakan implementasi sistem dalam skala yang lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. T. Ivan and R. S. Oetama, "Inventory Management System Using Economic Order Quantity And Reorder Point," *J. Teknol. Terap. G-Tech*, vol. 8, no. 4, pp. 2168–2177, 2024, doi: 10.70609/gtech.v8i4.4780.
- [2] A. Saputri and A. M. Hirzan, "APLIKASI MANAJEMEN INVENTORI BERBASIS MOBILE MENGGUNAKAN FLUTTER DAN FIREBASE REALTIME DATABASE," *J. Inform. Dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 3, 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i3.4324.
- [3] S. Butsianto and S. Herdiyan, "SISTEM INVENTORI BERBASIS INTERNET OF THINGS MENGGUNAKAN RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION (STUDI KASUS PT. GRAFITECINDO CIPTAPRIMA)," *JSI J. Sist. Inf. E-J.*, vol. 13, no. 2, 2024, doi: 10.18495/jsi.v13i2.47.
- [4] I. Hapsari, J. A. Arlianto, and P. I. Santoso, "Simulation-Based Enhancement of Warehouse Layout and Inventory Control in An Indonesian Pharmaceutical Manufacturer," *J. Apl. Bisnis Dan Manaj.*, vol. 11, no. 2, p. 457, 2025, doi: 10.17358/jabm.11.2.457.
- [5] T. Ihsania, R. Y. Adhitya, A. Khumaidi, M. K. Hasin, and I. Sutrisno, "Analisis Waktu Performa Pengiriman Pada Sistem Peminjaman Inventaris Laboratorium berbasis IOT," *J. Elektron. Dan Otomasi Ind.*, vol. 10, no. 2, pp. 226–233, 2023, doi: 10.33795/elkolind.v10i2.2996.
- [6] F. Alzandy, M. Septianto, and S. Mulyeni, "Optimalisasi WMS (Warehouse Management System) dengan Pemanfaatan Internet of Things (IoT) di PT Nutrition and Special Foods: Studi Kasus pada Warehouse 4.0," *SABER J. Tek. Inform. Sains Dan Ilmu Komun.*, vol. 3, no. 3, pp. 96–106, 2025, doi: 10.59841/saber.v3i3.2922.
- [7] V. S. Yosephine, M. Batara, and M. Setiawati, "Scalable and Affordable IoT-based Inventory Control with Real-Time Monitoring for Small and Medium Enterprises," *J. Tek. Ind.*, vol. 27, no. 1, pp. 121–136, 2025, doi: 10.9744/jti.27.1.121-136.
- [8] F. Abdussalaam and B. Badriansyah, "Perancangan Sistem Informasi Pemeriksaan Barang Berbasis Web Menggunakan Metode SSAD," *EXPERT J. Manaj. Sist.*

- Inf. Dan Teknol.*, vol. 11, no. 2, p. 174, 2021, doi: 10.36448/expert.v11i2.2167.
- [9] L. R. Gultom and V. S. Yosephine, "IoT-based inventory monitoring system for SMEs," *TEKNOSAINS J. Sains Teknol. Dan Inform.*, vol. 11, no. 2, pp. 331–341, 2024, doi: 10.37373/tekno.v11i2.1092.
- [10] R. Ridwansyah, D. M. Rifqie, and N. Nuridayanti, "Sistem Informasi Inventaris Toko berbasis Web untuk UMKM Penyewaan Kostum," *J. Teknol. Dan Sist. Inf. Bisnis*, vol. 5, no. 3, pp. 289–295, 2023, doi: 10.47233/jteksis.v5i3.874.
- [11] K. Angellin, R. S. Oetama, and M. K. Amri, "Web-Based Inventory and Sales Information System: Indonesian Micro Small Medium Enterprise Case Study," *JOINS J. Inf. Syst.*, vol. 8, no. 1, pp. 57–66, 2023, doi: 10.33633/joins.v8i1.7977.
- [12] F. O. Ugbebor, M. Adeteye, and J. Ugbebor, "Automated Inventory Management Systems with IoT Integration to Optimize Stock Levels and Reduce Carrying Costs for SMEs: A Comprehensive Review," *Journal of Artificial Intelligence General science (JAIGS) ISSN 3006-4023*, vol. 6, no. 1, pp. 306–340, 2024, doi: 10.60087/jaigs.v6i1.257.
- [13] A. Tharatipyakul and S. Pongnumkul, "User Interface of Blockchain-Based Agri-Food Traceability Applications: A Review," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 82909–82929, Jan. 2021, doi: <https://doi.org/10.1109/access.2021.3085982>.
- [14] E. Sugiharti, M. Mustafid, R. R. Isnanto, B. Warsito, and A. Wibowo, "Quasi Monte Carlo for Periodic Review in Inventory Systems," *E3S Web Conf.*, vol. 448, p. 2033, 2023, doi: 10.1051/e3sconf/202344802033.
- [15] A. E. Adegbola, M. D. Adegbola, P. Amajuoyi, L. B. Benjamin, and K. B. Adeusi, "Advanced financial modeling techniques for reducing inventory costs: A review of strategies and their effectiveness in manufacturing," *Finance & Accounting Research Journal*, vol. 6, no. 6, Fair East Publishers, pp. 801–824, 2024, doi: 10.51594/farj.v6i6.1180.
- [16] R. Wolniak and W. Grebski, "Business analytics in the case of inventory management in Industry 4.0 conditions," *Sci. Pap. Silesian Univ. Technol. Organ. Manag. Ser.*, vol. 2023, no. 182, 2023, doi: 10.29119/1641-3466.2023.182.35.