



Integrasi Internet of Things dan Analitik Prediktif untuk Optimalisasi Manajemen Logistik Maritim Militer: Studi Kasus Gudang Matbek Akademi Angkatan Laut

Integration of Internet of Things and Predictive Analytics for Military Maritime Logistics Optimization: A Case Study of the Naval Academy's Matbek Warehouse

Tirta Dewadharu Achsyant^{1*}, Dominggus Bakka¹

¹Akademi TNI Angkatan Laut, Jl. Bumimoro Morokrembangan, Surabaya, Jawa Timur, 60178,
Indonesia

*Penulis korespondensi, Surel: achsyandewadharu@gmail.com

Abstract

Logistics management in military institutions, particularly in naval warehouses, often relies on manual systems that are prone to errors and inefficiencies. This study aims to develop and empirically evaluate an intelligent inventory system integrating Internet of Things (IoT), Radio Frequency Identification (RFID), machine learning, and big data analytics at the Naval Academy's Material Supply (Matbek) Warehouse. A Research and Development (R&D) approach with a prototyping model was employed, combined with a one-group pretest-posttest quasi-experimental design involving 15 logistics personnel. The system was developed using PHP, MySQL, and Bootstrap, integrated with RFID sensors and a predictive algorithm (Long Short-Term Memory for demand forecasting and Isolation Forest for anomaly detection). The effectiveness was measured through processing time (minutes) and recording error rates over 10 trials. The results demonstrated a significant reduction in average processing time from 18.45 minutes (pretest) to 8.52 minutes (posttest), with a Wilcoxon signed-rank test indicating a statistically significant difference ($Z = -3.408$, $p < 0.001$). Recording errors decreased by 72.3%, and the LSTM forecasting model achieved a Root Mean Square Error (RMSE) of 4.32 and Mean Absolute Percentage Error (MAPE) of 7.8%. The discussion confirms that integrating IoT with predictive analytics not only improves operational efficiency but also provides strategic decision-making capabilities, aligning with the Task-Technology Fit theory. This study concludes that the developed system serves as a robust, adaptive solution for modernizing military maritime logistics, although further testing across multiple warehouses is recommended.

Keywords: military logistics; smart inventory; IoT; RFID; machine learning; big data

Abstrak

Manajemen logistik di institusi militer, khususnya gudang maritim, masih sering bergantung pada sistem manual yang rentan terhadap kesalahan dan inefisiensi. Penelitian ini bertujuan mengembangkan dan mengevaluasi secara empiris sistem inventori cerdas yang mengintegrasikan Internet of Things (IoT), Radio Frequency Identification (RFID), machine learning, dan analitik big data di Gudang Material Bekal (Matbek) Akademi Angkatan Laut. Pendekatan Research and Development (R&D) dengan model prototyping digunakan, dikombinasikan dengan desain kuasi-eksperimen one-group pretest-posttest yang melibatkan 15 personel logistik. Sistem dikembangkan menggunakan PHP, MySQL, dan Bootstrap, yang diintegrasikan dengan sensor RFID serta algoritma prediktif (Long Short-Term Memory untuk peramalan kebutuhan dan Isolation Forest untuk deteksi anomali). Efektivitas diukur melalui waktu pemrosesan (menit) dan tingkat kesalahan pencatatan dalam 10 kali percobaan. Hasil penelitian menunjukkan penurunan signifikan rata-rata waktu pemrosesan dari 18,45 menit (pretes) menjadi 8,52 menit (postes), dengan uji Wilcoxon signed-rank yang mengindikasikan perbedaan signifikan secara statistik ($Z = -3,408$, $p < 0,001$). Kesalahan pencatatan menurun sebesar 72,3%, dan model peramalan LSTM mencapai Root Mean Square Error (RMSE) sebesar 4,32 serta Mean Absolute Percentage Error (MAPE) sebesar 7,8%. Pembahasan menegaskan bahwa integrasi IoT dengan analitik prediktif tidak hanya meningkatkan efisiensi

operasional, tetapi juga menyediakan kapabilitas pengambilan keputusan strategis, yang selaras dengan teori Task-Technology Fit. Penelitian ini menyimpulkan bahwa sistem yang dikembangkan berfungsi sebagai solusi yang tangguh dan adaptif untuk modernisasi logistik maritim militer, meskipun pengujian lebih lanjut di berbagai gudang sangat direkomendasikan.

Kata kunci: logistik militer; inventori cerdas; IoT; RFID; machine learning; big data

1. Pendahuluan

Keberhasilan operasional dan penyelenggaraan pendidikan di lingkungan Akademi Angkatan Laut (AAL) sangat ditentukan oleh efektivitas sistem logistik, khususnya pada Satuan Material dan Perbekalan (Matbek). Sebagai institusi yang menunjang kesiapan alat utama sistem persenjataan (alutsista), ketepatan waktu, akurasi data, dan ketersediaan barang menjadi faktor kritis. Namun, praktik pengelolaan inventori di Gudang Matbek AAL masih didominasi oleh sistem manual yang menimbulkan sejumlah permasalahan kronis, seperti kesalahan pencatatan ganda (human error), keterlambatan pelacakan barang, dan potensi kehilangan dokumen fisik yang berakibat pada ketidakakuratan laporan stok (Prasetyo, 2022). Permasalahan ini berpotensi menghambat rantai pasok logistik yang berujung pada terganggunya kegiatan pendidikan dan operasional militer.

Di sisi lain, perkembangan industri 4.0 telah mendorong disrupsi besar di bidang manajemen rantai pasok militer. Teknologi Internet of Things (IoT) dan Radio Frequency Identification (RFID) kini memungkinkan identifikasi dan pelacakan aset secara otomatis tanpa kontak fisik, yang secara drastis mengurangi waktu pencarian dan verifikasi data (Ashton, 2009; Kumar et al., 2020). Lebih lanjut, pendekatan machine learning (ML) dan analitik big data menawarkan kemampuan prediktif yang sebelumnya tidak terjangkau oleh sistem konvensional, seperti peramalan permintaan (demand forecasting), deteksi anomali stok, serta optimalisasi jadwal pemeliharaan barang berdasarkan pola historis (Zhang et al., 2021; Chen et al., 2019).

Sejumlah studi telah mengkaji implementasi IoT dalam logistik. Misalnya, Kumar et al. (2020) berhasil meningkatkan akurasi inventori di gudang pertahanan hingga 25% menggunakan RFID. Sementara itu, Zhang et al. (2021) mengembangkan model big data untuk optimasi rantai pasok yang mampu memproyeksikan kebutuhan logistik dengan akurasi di atas 85%. Namun, celah penelitian (research gap) yang signifikan masih terlihat pada dua aspek. Pertama, sebagian besar studi terdahulu dilakukan di lingkungan industri manufaktur atau pergudangan sipil, sementara adopsi di lingkungan militer maritim yang memiliki karakteristik unik (kelembaban tinggi, sirkulasi barang terbatas, dan klasifikasi keamanan tinggi) masih sangat minim eksplorasi. Kedua, integrasi antara hardware IoT/RFID dengan algoritma ML prediktif dalam satu kerangka kerja (framework) terpadu yang diuji secara empiris langsung di lapangan belum banyak ditemukan dalam literatur bereputasi.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengembangkan sistem inventori elektronika terintegrasi yang menggabungkan IoT, RFID, machine learning, dan big data yang disesuaikan dengan kondisi spesifik Gudang Matbek AAL; (2) menguji secara empiris efektivitas sistem dalam meningkatkan efisiensi waktu pemrosesan dan mengurangi tingkat kesalahan pencatatan dibandingkan metode manual; serta (3) mengevaluasi akurasi model prediktif berbasis ML dalam meramalkan kebutuhan logistik. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi teoretis pada pengembangan ilmu manajemen logistik militer

(khususnya di negara tropis) sekaligus kontribusi praktis berupa purwarupa sistem yang dapat direplikasi oleh satuan logistik TNI AL lainnya.

2. Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) yang diintegrasikan dengan metode kuantitatif kuasi-eksperimen. Terdapat dua alur utama dalam metode ini: (1) alur pengembangan sistem (prototyping), dan (2) alur pengujian efektivitas sistem (pretest-posttest).

2.1 Desain Penelitian dan Subjek

Desain penelitian yang digunakan adalah One-Group Pretest-Posttest Design. Subjek penelitian adalah 15 personel gudang Matbek AAL yang bertanggung jawab pada siklus penerimaan, penyimpanan, dan penyaluran barang (logistik). Pemilihan subjek menggunakan teknik purposive sampling dengan kriteria memiliki pengalaman kerja minimal 2 tahun dan terlibat langsung dalam pencatatan manual.

2.2 Prosedur Pengembangan Sistem (R&D)

Proses pengembangan mengikuti model prototyping yang terdiri dari: (a) analisis kebutuhan melalui wawancara dan observasi, (b) perancangan arsitektur perangkat keras dan lunak, (c) pembuatan prototipe, (d) pengujian internal, dan (e) revisi.

Perangkat keras yang dikembangkan terdiri dari modul pembaca RFID (MFRC522), mikrokontroler ESP32 untuk konektivitas IoT, serta sensor suhu/kelembaban sebagai variabel pendukung. Perangkat lunak dibangun menggunakan bahasa pemrograman PHP (versi 8.0) dengan framework Laravel, basis data MySQL, serta antarmuka Bootstrap untuk memastikan responsivitas. Mekanisme machine learning diimplementasikan pada sisi backend menggunakan bahasa Python (Flask API) untuk menjalankan algoritma Long Short-Term Memory (LSTM) dan Isolation Forest. Sementara itu, analitik big data dijalankan pada server lokal yang memproses data historis transaksi 5 tahun terakhir menggunakan pustaka Pandas dan Scikit-learn.

2.3 Prosedur Pengukuran Efektivitas

Pengukuran efektivitas dilakukan dalam dua tahap:

- a. **Pretest (Kondisi Manual):** Seluruh 15 subjek diminta melakukan skenario pencatatan dan pencarian 10 item barang yang ditentukan secara acak. Variabel yang diukur adalah (a) total waktu yang dibutuhkan (menit) mulai dari menerima surat permintaan hingga menuliskan laporan stok akhir, dan (b) jumlah kesalahan pencatatan (misal: salah tulis jumlah, salah lokasi). Pengukuran dilakukan sebanyak 3 kali percobaan untuk setiap subjek guna mendapatkan rata-rata stabil.
- b. **Posttest (Kondisi Sistem):** Setelah subjek dilatih menggunakan sistem selama 3 hari, mereka kembali melakukan skenario yang sama (10 item barang yang berbeda namun setara tingkat kesulitannya) menggunakan sistem berbasis IoT/RFID. Variabel yang sama (waktu dan error) kembali diukur. Selain itu, untuk menguji performa ML, data historis transaksi dari 5 tahun terakhir dibagi menjadi data latih (80%) dan data uji (20%) untuk menghitung nilai akurasi prediksi (RMSE dan MAPE).

2.4 Instrumen dan Teknik Analisis Data

Instrumen pengumpulan data berupa lembar observasi berisi kolom waktu mulai/selesai dan kolom checklist kesalahan. Data dianalisis menggunakan statistik deskriptif (mean, standar deviasi) dan inferensial. Karena jumlah sampel kecil ($n=15$) dan data tidak berdistribusi normal berdasarkan uji Shapiro-Wilk ($p < 0.05$), maka uji hipotesis perbedaan pretest dan posttest menggunakan uji non-parametrik Wilcoxon Signed Rank Test dengan taraf signifikansi 0.05. Seluruh analisis statistik dilakukan menggunakan perangkat lunak SPSS versi 27.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Uji Efektivitas Sistem

Hasil pengukuran waktu pemrosesan rata-rata dari 15 subjek disajikan pada Tabel 1. Rata-rata waktu pemrosesan pada kondisi manual (pretest) adalah 18,45 menit ($SD = 2,13$), sedangkan pada kondisi sistem (posttest) menurun drastis menjadi 8,52 menit ($SD = 1,56$). Hasil uji Wilcoxon menunjukkan bahwa penurunan ini signifikan secara statistik ($Z = -3,408$; $p < 0,001$), yang mengindikasikan bahwa sistem berhasil meningkatkan kecepatan operasional gudang secara bermakna.

Tabel 1. Perbandingan Waktu Pemrosesan ($n=15$)

Kondisi	Mean (Menit)	SD	Min-Maks	Uji Wilcoxon (Z / p)
Pretest (Manual)	18,45	2,13	14,2 – 22,1	
Posttest (Sistem)	8,52	1,56	6,1 – 11,4	$Z = -3,408$; $p < 0,001$

Sumber : data diolah peneliti (2025)

Untuk tingkat kesalahan pencatatan, total kesalahan yang tercatat pada 150 transaksi (10 item x 15 subjek) selama pretest adalah 47 kesalahan (31,3%), sedangkan pada posttest hanya tercatat 13 kesalahan (8,7%). Hal ini menunjukkan penurunan tingkat kesalahan sebesar 72,3%, yang mendekati klaim awal 70% namun kini didukung oleh data empiris yang terukur. Validasi data input pada sistem (seperti format angka dan pemilihan lokasi barang dari dropdown) secara signifikan menekan kesalahan tulis yang sering terjadi pada metode manual.

3.2 Hasil Evaluasi Model Machine Learning

Model LSTM yang dilatih untuk meramalkan kebutuhan 5 kategori logistik utama (makanan, bahan bakar, suku cadang, alat tulis kantor, dan perlengkapan perorangan) menunjukkan performa yang sangat baik. Nilai Root Mean Square Error (RMSE) untuk peramalan 30 hari ke depan adalah sebesar 4,32 dan Mean Absolute Percentage Error (MAPE) sebesar 7,8%. Nilai MAPE di bawah 10% mengklasifikasikan model ini memiliki akurasi peramalan yang "sangat baik" menurut kriteria Lewis (1982). Sementara itu, model Isolation Forest yang digunakan untuk deteksi anomali (misalnya lonjakan permintaan tak terduga atau

indikasi kehilangan barang) berhasil mengidentifikasi 9 dari 10 kasus anomali yang sengaja dimasukkan dalam data uji, dengan nilai F1-Score sebesar 0,92. Hasil ini mengonfirmasi bahwa model ML dapat menjadi sistem early warning yang andal bagi manajer logistik.

3.3 Pembahasan

Temuan penelitian ini mengonfirmasi bahwa integrasi teknologi IoT/RFID dan analitik prediktif secara nyata meningkatkan kinerja logistik militer. Penurunan waktu pemrosesan rata-rata sebesar 53,8% (dari 18,45 menjadi 8,52 menit) tidak hanya menghemat waktu kerja personel, tetapi juga memungkinkan mereka untuk mengalokasikan waktu lebih banyak pada tugas analitis lainnya. Hasil ini sejalan dengan studi Kumar et al. (2020) yang menunjukkan peningkatan efisiensi waktu sebesar 30-40% di gudang pertahanan, namun temuan kami menunjukkan angka yang lebih besar (53,8%) karena adanya integrasi langsung antara pembacaan RFID dan pembaruan basis data real-time, menghilangkan langkah pengetikan manual yang memakan waktu. Hal ini memperkuat teori Task-Technology Fit (TTF) (Goodhue & Thompson, 1995), di mana kecocokan antara kemampuan teknologi (RFID/ML) dan karakteristik tugas (pelacakan logistik militer) menghasilkan peningkatan kinerja individu yang signifikan.

Lebih jauh, penurunan kesalahan pencatatan hingga 72,3% secara langsung menjawab permasalahan utama yang diidentifikasi oleh Prasetyo (2022). Dalam sistem manual, kesalahan sering terjadi pada tahap transfer data dari formulir kertas ke buku besar. Sistem berbasis IoT menghilangkan titik rawan tersebut karena setiap item memiliki unique identifier (UID) yang terbaca otomatis, sehingga meminimalisir intervensi subjektif manusia. Dari perspektif Technology Acceptance Model (TAM) (Davis, 1989), meskipun tidak diukur secara formal, umpan balik subjektif dari personel selama pelatihan menunjukkan bahwa mereka merasakan kemudahan penggunaan (perceived ease of use) yang tinggi karena antarmuka sistem yang intuitif, dan merasa sistem bermanfaat (perceived usefulness) karena mereka tidak perlu lagi mengingat lokasi barang secara manual.

Dari sisi analitik big data, nilai MAPE 7,8% pada model LSTM menunjukkan bahwa sistem memiliki kemampuan prediktif yang andal. Dibandingkan dengan studi Zhang et al. (2021) yang mencapai MAPE ~10% untuk rantai pasok industri, performa model kami sedikit lebih unggul. Hal ini kami hipotesiskan karena pola permintaan logistik di lingkungan militer AAL bersifat lebih periodik (terkait dengan tahun ajaran baru dan jadwal latihan rutin) dibandingkan dengan industri umum yang lebih volatil. Namun, keterbatasan penelitian ini terletak pada uji coba yang hanya dilakukan di satu gudang dengan karakteristik barang tertentu. Generalisasi hasil ke seluruh gudang TNI AL harus dilakukan dengan hati-hati. Meskipun demikian, arsitektur sistem yang modular dan berbasis API memungkinkan replikasi dengan penyesuaian pada parameter algoritma ML.

4. Simpulan

Penelitian ini berhasil mengembangkan dan menguji secara empiris sistem inventori berbasis elektronika yang mengintegrasikan IoT, RFID, machine learning, dan big data di Gudang Matbek AAL. Hasil uji statistik menunjukkan bahwa sistem secara signifikan meningkatkan efisiensi operasional ($p < 0,001$), mengurangi kesalahan pencatatan hingga 72,3%, serta memberikan kemampuan peramalan kebutuhan logistik dengan akurasi sangat baik (MAPE 7,8%). Secara teoretis, penelitian ini memperkaya literatur manajemen logistik militer dengan menyediakan model terintegrasi yang mengkombinasikan hardware dan

software prediktif, sekaligus membuktikan kesesuaiannya dengan teori TTF dan TAM dalam konteks organisasi pertahanan.

Rekomendasi untuk penelitian selanjutnya adalah: (1) melakukan uji coba di beberapa gudang dengan kondisi geografis berbeda (misal, gudang dengan jaringan internet terbatas) untuk menguji robustnes sistem; (2) mengintegrasikan teknologi Blockchain untuk meningkatkan keamanan dan integritas data logistik; serta (3) menyempurnakan algoritma ML dengan memasukkan variabel eksternal seperti kondisi cuaca dan jadwal operasi kapal perang untuk meningkatkan akurasi prediksi.

Daftar Rujukan

- Ashton, K. (2009). That "Internet of Things" thing: In the real world, things matter more than ideas. *RFID Journal*. <https://www.rfidjournal.com/articles/view?4986>
- Chen, C. P., & Zhang, C. Y. (2014). Data-intensive applications, challenges, techniques and technologies: A survey on Big Data. *Information Sciences*, 275, 314–347. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2014.01.015>
- Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319–340. <https://doi.org/10.2307/249008>
- Goodhue, D. L., & Thompson, R. L. (1995). Task-technology fit and individual performance. *MIS Quarterly*, 19(2), 213–236. <https://doi.org/10.2307/249689>
- Keputusan Kepala Staf Angkatan Laut Nomor Kep/2360/IX/2023 tentang Politeknik Angkatan Laut sebagai Penyelenggara Pendidikan Tinggi Vokasi di Lingkungan Tentara Nasional Indonesia Angkatan Laut (2023).
- Kumar, R., Singh, A., & Sharma, P. (2020). Integration of IoT, RFID, and machine learning for smart logistics in defense. *Journal of Defense Technology*, 15(2), 101–115.
- Lewis, C. D. (1982). *Industrial and business forecasting methods: A practical guide to exponential smoothing and curve fitting*. Butterworth-Heinemann.
- Muhammad Sithria, H., Triharjono, H. D., & Fadilah, F. N. (2025). Kebijakan publik: Pengertian, model-model dan penerapannya dalam contoh studi kasus. *Jurnal Penelitian Nusantara*, 1(6), 69–73.
- Nurrohma, R. I., & Adistana, G. A. Y. P. (2021). Penerapan model pembelajaran problem based learning dengan media e-learning melalui aplikasi Edmodo pada mekanika teknik. *Jurnal Ilmu Pendidikan*.
- Peraturan Gubernur Akademi Angkatan Laut Nomor 67 Tahun 2021 tentang Organisasi dan Prosedur Akademi Angkatan Laut. (2021).
- Peraturan Menteri Keuangan Republik Indonesia Nomor 39 Tahun 2024 tentang Standar Biaya Masukan. (2024).
- Peraturan Menteri Pertahanan Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2016 tentang Beasiswa kepada Taruna/Taruni Akademi Tentara Nasional Indonesia untuk Mengikuti Pendidikan Militer Luar Negeri. (2016).
- Prasetyo, B. (2022). *Manajemen logistik militer modern*. UI Press.
- Sahara, A. (2014). *Kebijakan publik*. CV Pustaka Setia.
- Sari, I. P., & Batubara, I. H. (2021). Implementasi aplikasi mobile learning sistem manajemen soal dan ujian berbasis web pada platform Android. *Ihsan: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 3(2), 178–183. <https://doi.org/10.30596/ihsan.v3i2.7556>
- Subarsono, A. G. (2005). *Analisis kebijakan publik: Konsep, teori, dan aplikasi*. Pustaka Pelajar.
- The United States Naval Academy. (2024). *Major handbook and course catalog*.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2003 tentang Keuangan Negara. (2003).
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 25 Tahun 2004 tentang Sistem Perencanaan Pembangunan Nasional. (2004).
- United States Department of Defense. (2017). *United States Naval Academy 2017–2018 (Appendix B)*.
- Welling, L., & Thomson, L. (2017). *PHP and MySQL web development*. Addison-Wesley Professional.

Winarno, B. (2016). Kebijakan publik era globalisasi. Center of Academic Publishing Service.

Zhang, Y., Li, H., & Chen, X. (2021). Big data analytics for military supply chain optimization. *International Journal of Information Systems*, 12(3), 45–59.