

Identifikasi Material Jatuh Melalui Perangkat Mobile

Bagaseto Yudistira Fiandra Putra, Muhammad Afif Hendrawan* , Vipkas Al Hadid Firdaus

Abstrak—Mengidentifikasi material yang jatuh di gudang secara manual memakan waktu dan rawan kesalahan, karena melibatkan beberapa langkah seperti mengambil material secara fisik, mengidentifikasinya secara manual, memasukkan kode material ke dalam sistem komputer, dan memverifikasi kecocokannya. Untuk mengatasi ketidakefisienan ini, kami mengusulkan sebuah aplikasi Android yang menggunakan klasifikasi citra berbasis TensorFlow untuk mengidentifikasi material yang jatuh secara real-time melalui kamera perangkat. Sistem ini terintegrasi dengan program web berbasis Laravel untuk penambahan data ke dalam model, program berbasis Python untuk pelatihan model dan transfer learning, serta aplikasi Android untuk identifikasi secara langsung. Hasil pengujian menunjukkan bahwa dengan minimal 50 gambar per jenis material, model dapat mencapai akurasi lebih dari 90%. Solusi ini secara signifikan meningkatkan efisiensi operasional dan keselamatan di lingkungan gudang dengan mengotomatisasi proses identifikasi material. Pekerjaan lanjutan ke depan akan difokuskan pada peningkatan akurasi dalam berbagai kondisi lingkungan serta memperluas jenis material yang dapat diidentifikasi.

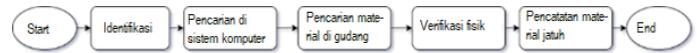
Kata Kunci—Klasifikasi Citra, TensorFlow, Transfer Learning, Android, Laravel, Python.

I. PENDAHULUAN

DI digital, adopsi teknologi seperti Artificial Intelligence (AI) dan machine learning telah meningkatkan produktivitas dalam manajemen gudang [6]. Tantangan utama dalam operasional gudang adalah proses pemindahan material yang tidak efisien, sering menyebabkan material terjatuh dan proses identifikasi yang memakan waktu. Saat ini, penanganan material yang jatuh melibatkan langkah-langkah manual seperti mencari nomor bagian, mencocokkannya dengan data komputer, dan melakukan perbandingan fisik. Proses ini membutuhkan sekitar 3 menit per komponen dan berisiko kesalahan identifikasi.

Perusahaan telah menerapkan SOP untuk mengurangi insiden ini, tetapi tekanan operasional sering kali memaksa penyimpangan dari prosedur, yang justru memperburuk masalah. Dalam konteks ini, solusi identifikasi otomatis menjadi penting, tidak hanya untuk mendukung kepatuhan SOP tetapi juga untuk meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi kesalahan.

Teknologi identifikasi otomatis seperti barcode dan RFID telah menyederhanakan pelacakan inventaris di



Gambar 1. Diagram Identifikasi Material Manual

gudang, tetapi pendekatan ini masih memiliki keterbatasan. Dalam menghadapi tantangan ini, aplikasi mobile yang memanfaatkan machine learning dan deep learning menawarkan solusi yang lebih efektif. Aplikasi ini dirancang untuk mengidentifikasi material secara akurat di lokasi, menghilangkan langkah-langkah manual yang memakan waktu dan meminimalkan kesalahan dalam identifikasi material yang jatuh. Dengan demikian, sistem ini berkontribusi pada peningkatan produktivitas dan efisiensi di lingkungan gudang.

II. METODE

A. Kebutuhan Mitra

Analisis kebutuhan adalah langkah penting dalam siklus hidup pengembangan sistem, karena melibatkan pemahaman dan pendokumentasian kebutuhan dan harapan pemangku kepentingan. Analisis kebutuhan yang efektif memastikan bahwa sistem akhir selaras dengan kebutuhan pengguna dan tujuan bisnis [13]. Di gudang PT. XYZ, proses pengumpulan material merupakan bagian krusial dari operasional sehari-hari. Ini melibatkan langkah-langkah terorganisir mulai dari pemilihan material yang diperlukan hingga pengambilannya dari tempat penyimpanan. Proses ini memerlukan keakuratan dan efisiensi tinggi untuk memenuhi permintaan yang cepat dan tepat.

Saat ini, identifikasi material yang terjatuh dijalankan melalui proses manual yang kompleks dan memakan waktu. Proses ini melibatkan pencarian nomor bagian pada material, mencocokkannya dengan informasi di sistem komputer, pergi ke lokasi penyimpanan untuk verifikasi fisik, dan akhirnya pencatatan dan pengambilan keputusan. Tahapan ini tidak hanya memperlambat operasional, tetapi juga rentan terhadap kesalahan manusia. Gambar 1 menggambarkan secara visual tahapan identifikasi material yang terjatuh ini, menunjukkan langkah demi langkah proses yang harus dilalui, dari penemuan hingga penyelesaian identifikasi.

Untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi proses ini, proyek ini mengusulkan pengembangan aplikasi mobile yang memanfaatkan teknologi machine learning, khususnya menggunakan model MobileNet dalam kerangka CNN. Model ini, yang dioptimalkan melalui teknik transfer learning, memungkinkan identifikasi cepat dan akurat material secara langsung melalui kamera perangkat

*)Jurusan Teknologi Informatika, Politeknik Negeri Malang, Jalan Soekarno Hatta No. 9, Jatimulyo, Kecamatan Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65141, Indonesia.
Email: aff.hendrawan@hotmail.com



Gambar 2. Diagram Identifikasi Material Otomatis



Gambar 3. Cara kerja antar Aplikasi

mobile. Gambar 2 adalah visualisasi proses identifikasi material menggunakan aplikasi berbasis mobile.

Dengan implementasi aplikasi ini, proses bisnis di gudang diharapkan menjadi lebih efisien dan responsif. Identifikasi material yang sebelumnya memerlukan intervensi manual dan memakan banyak waktu, kini dapat dilakukan secara otomatis dengan kecepatan dan akurasi yang lebih tinggi.

Setelah aplikasi mobile diuji dan dioptimalkan untuk mencapai target akurasi 90%, model yang digunakan pada aplikasi tersebut akan digunakan sebagai model dasar yang akan dilatih ulang. Proses pelatihan ulang ini akan dilakukan melalui aplikasi berbasis Python, yang akan menerapkan metode transfer learning pada model dasar dengan menggunakan data yang disiapkan oleh aplikasi web.

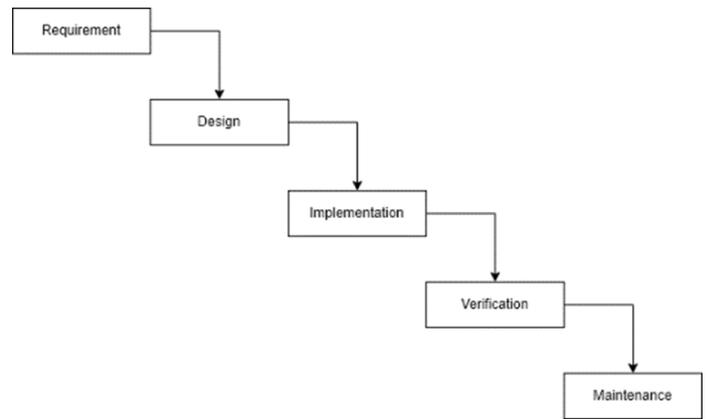
B. Deskripsi Sistem

Sesuai dengan analisis kebutuhan dan latar belakang yang telah dijelaskan, penerapan teknologi machine learning dan deep learning dalam sistem identifikasi material di gudang sangat sesuai dengan kondisi dan tantangan operasional yang ada. Pendekatan ini cocok untuk lingkungan gudang yang dinamis, memastikan bahwa proses identifikasi material yang jatuh menjadi lebih cepat dan akurat, yang merupakan kebutuhan kritis dalam manajemen gudang modern.

Gambar 3 merupakan sistem yang akan dibuat meliputi tiga aplikasi yang bekerja satu sama lain, aplikasi tersebut adalah aplikasi mobile untuk mengidentifikasi material jatuh, aplikasi berbasis python untuk melakukan pelatihan ulang model, dan aplikasi berbasis web untuk menyiapkan data yang akan digunakan untuk pelatihan model. Berikut adalah ilustrasi yang menggambarkan secara kasar bagaimana keseluruhan sistem bekerja.

C. Metode Pengembangan

Seperti yang terlihat pada Gambar 4, pengembangan sistem dimulai dengan analisis kebutuhan untuk memahami kebutuhan sistem yang akan dibangun. Langkah pertama adalah mengamati bagaimana proses identifikasi material yang jatuh dilakukan di Gudang dan



Gambar 4. Cara kerja antar Aplikasi

menhubungkannya dengan permintaan atasan Perusahaan. Mereka menginginkan aplikasi Android yang dapat mengidentifikasi material menggunakan kamera belakang perangkat, hasil yang ditampilkan di aplikasi Android tersebut adalah nama dari material yang tampil pada layar aplikasi.

III. ANALISIS DAN PERANCANGAN SISTEM

Komponen-komponen yang digunakan dalam membangun sistem dalam pengembangan perangkat lunak terbagi menjadi dua yaitu kebutuhan fungsional dan kebutuhan non fungsional.

A. Kebutuhan Fungsional

Kebutuhan fungsional adalah kebutuhan yang berisi proses-proses apa saja atau layanan apa saja yang nantinya harus disediakan oleh sistem, termasuk bagaimana sistem merespon input tertentu dan perilakunya dalam situasi-situasi tertentu. Kebutuhan Fungsional dalam sistem ini dibagi menjadi dua, yaitu kebutuhan fungsional Sistem Informasi Berbasis Web dan Aplikasi Android.

Adapun kebutuhan fungsional Sistem Informasi Berbasis Web adalah sebagai berikut:

- 1) Sistem dapat menampilkan data model terbaru yang dapat digunakan.
- 2) Sistem dapat melakukan *upload* data material yang akan digunakan untuk melakukan *training* model.
- 3) Sistem dapat menampilkan data material yang pernah di*upload*.
- 4) Sistem dapat melakukan *update* data material yang sebelumnya pernah di*upload*.
- 5) Sistem dapat menampilkan data material yang dapat digunakan untuk *training* model.
- 6) Sistem dapat berkomunikasi dengan program Python untuk melakukan *training* model.
- 7) Program dapat melakukan *augmentasi gambar* yang dikirim dari Sistem Informasi Berbasis Web.
- 8) Program dapat menyimpan riwayat proses yang dijalankan pada waktu *training* model.

- 9) Program dapat dipanggil kembali untuk menjalankan proses *training* model yang terputus.
- 10) Program dapat melakukan *transfer learning* pada model yang sebelumnya sudah di-*train*.
- 11) Dapat menyediakan *link* berisi model terbaru yang dapat diunduh Aplikasi Android.

Selain kebutuhan fungsional Sistem Informasi Berbasis Web, terdapat juga kebutuhan fungsional Aplikasi Android yang terdiri dari:

- 1) Aplikasi dapat menggunakan model yang disediakan program *Training*.
- 2) Aplikasi dapat mengklasifikasikan material menggunakan kamera belakang perangkat keras *smartphone*.
- 3) Aplikasi dapat menunjukkan akurasi klasifikasi material.

B. Kebutuhan Non Fungsional

Kebutuhan non-fungsional adalah jenis kebutuhan yang menggambarkan sifat perilaku sistem terkait dengan performa, operasional, platform sistem, dan faktor lainnya yang tidak terkait dengan fungsi utama sistem tersebut. Analisis kebutuhan non-fungsional dalam ekosistem identifikasi material adalah sebagai berikut:

- 1) Sistem menjamin keamanan data dari akses pihak yang tidak berwenang.
- 2) Sistem dapat beroperasi selama 24 jam tanpa henti.

C. Kebutuhan Non Fungsional

Proses bisnis saat ini staff gudang melakukan pengecekan material secara fisik untuk mencari nomor bagian material, disini mukemungkinan dimana material tersebut tidak mempunyai nomor bagian, dan jika itu terjadi, maka material tersebut akan dicatat sebagai tidak ternama / tidak diketahui. Jika nomor bagian ditemukan pada material, staff akan memasukkan nomor bagian tersebut kedalam komputer di lokasi yang sama untuk mengetahui lokasi material pada gudang, kemudian staff akan pergi ke lokasi material tersebut untuk membandingkan material yang jatuh tadi dengan material yang masih dalam kemasan.

Setelah memastikan material tersebut adalah material yang sama, staff kemudian kembali ke lokasi pengecekan material sebelumnya dan kemudian mencatat nama material yang jatuh ke kertas material jatuh. Proses pengambilan material jatuh dari kantong material jatuh sampai dengan pencatatan memakan waktu kurang lebih 3-4 menit untuk staff gudang yang sudah mahir, terdapat juga kemungkinan dimana staff gudang tidak mengetahui lokasi material tersebut walaupun sudah melihat nama lokasi pada gudang, sedangkan material jatuh yang terakumulasi dapat mencapai ratusan per shift.

D. Kebutuhan Non-fungsional

Proses bisnis usulan ini menghilangkan proses pengecekan nomor bagian material pada komputer beserta



Gambar 5. Use Case Diagram

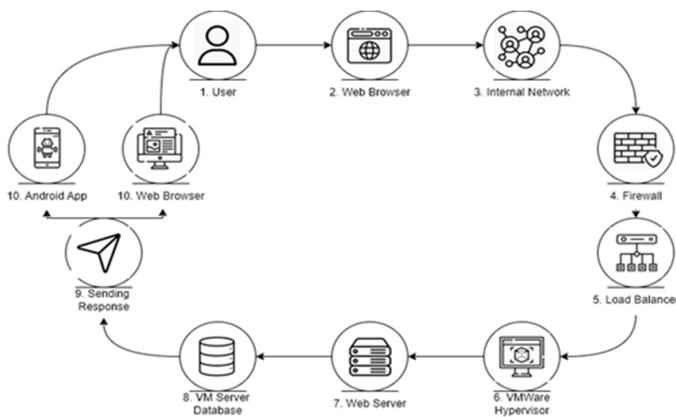
proses perbandingan material jatuh dengan material pada lokasi yang muncul pada komputer, aplikasi Android akan secara langsung menunjukkan nama material yang dapat langsung dicatat, waktu aplikasi Android dapat menentukan material adalah kurang lebih 1-2 detik per material.

E. Use Case Diagram

Gambar 5 adalah sistem identifikasi material mempunyai dua aktor utama yang terlibat antara lain admin gudang dan staff gudang. Admin gudang dapat melakukan pengolahan data material yang digunakan untuk training model. Pengolahan data yang dimaksud disini berupa penambahan, penyuntingan, dan penghapusan data material. Admin gudang juga mempunyai tanggung jawab untuk melakukan pembaruan model berdasarkan data material yang dimasukkan. Sedangkan untuk staff gudang hanya diberi akses untuk melakukan identifikasi material menggunakan perangkat smartphone yang sudah di-install aplikasi deteksi material tersebut.

F. Arsitektur Sistem

Arsitektur sistem mendefinisikan struktur dan perilaku suatu sistem, termasuk komponen-komponennya dan interaksinya. Arsitektur yang dirancang dengan baik sangat penting untuk memastikan skalabilitas, pemeliharaan, dan



Gambar 6. Use Case Diagram

kinerja sistem [13]. Sistem yang dikembangkan dalam skripsi ini dirancang untuk diimplementasikan pada server lokal perusahaan PT.XYZ dan tidak dapat diakses secara publik, ini dikarenakan kebijakan perusahaan yang tidak mengizinkan segala hal tentang perusahaan diakses oleh pihak lain. Sistem ini bertujuan untuk memberikan akses terbatas dan terkontrol kepada pengguna di dalam jaringan perusahaan PT.XYZ, serta memberikan opsi bagi perusahaan lain untuk mengakses sistem ini melalui konfigurasi VPN dan pengaturan IP Address atas izin perusahaan. Arsitektur sistem yang diusulkan memberikan keamanan dan kontrol akses yang ketat, memungkinkan hanya pengguna yang terotorisasi untuk mengakses sistem baik dari dalam jaringan perusahaan PT.XYZ maupun dari luar melalui koneksi VPN yang telah diizinkan. Implementasi ini memastikan bahwa data dan fungsi sistem tetap terlindungi dan hanya dapat diakses oleh pihak yang memiliki izin.

Gambar 6 menjelaskan bagaimana topologi jaringan di perusahaan PT.XYZ bekerja, pengguna membuka web browser dan memasukkan Link/URL website internal perusahaan, kemudian mengirimkan permintaan HTTP/HTTPS melalui jaringan perusahaan yang disaring oleh firewall internal. Permintaan diteruskan oleh load balancer ke server web yang berjalan di Virtual Machine (VM) pada VMWare Hypervisor. Server kemudian memproses permintaan yang berinteraksi dengan database server di VM, kemudian halaman web dan data aplikasi android akan disiapkan dan dikirimkan kembali melalui load balancer dan firewall internal kepada pengguna, pada akhirnya pengguna dapat melihat halaman di web browser dan dapat mengakses data menggunakan aplikasi android.

Model yang digunakan dalam sistem identifikasi material ini adalah MobileNetV2, arsitektur CNN yang dioptimalkan untuk aplikasi visi komputer di perangkat seluler. MobileNetV2 dirancang untuk perangkat dengan sumber daya komputasi terbatas, mempertahankan akurasi tinggi dengan struktur inverted residual dan linear bottleneck, yang meningkatkan efisiensi dibandingkan MobileNetV1. MobileNetV2 dipilih karena menawarkan keseimbangan antara kinerja dan kesederhanaan, lebih cocok untuk ap-

likasi waktu nyata seperti identifikasi material di gudang, tanpa kompleksitas tambahan dari MobileNetV3.

Sistem ini menerapkan transfer learning dengan MobileNetV2 yang sudah dilatih sebelumnya, memanfaatkan fitur umum yang telah dipelajari dari dataset besar. Model ini kemudian dilatih ulang pada lapisan terakhir untuk menyesuaikan dengan gambar material spesifik dari gudang. Gambar material diunggah melalui aplikasi web, dan model dilatih ulang menggunakan dataset baru, memungkinkan identifikasi material dengan akurasi tinggi. Jika sudah ada model terlatih, sistem akan memperbaruinya dengan data tambahan; jika belum, model dasar MobileNetV2 akan disiapkan untuk pelatihan awal. Model akhir yang dihasilkan kemudian digunakan untuk identifikasi material di gudang.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. User Acceptance Test (UAT)

Pada tahap ini, hasil dari pengujian UAT akan dibahas. Pengujian ini awalnya direncanakan untuk melibatkan tidak hanya pengembangan aplikasi, tetapi juga pengguna dari sistem identifikasi material. Proses UAT awalnya direncanakan untuk dilakukan di industri terkait. Namun karena adanya perubahan kebijakan di industri tersebut, pelaksanaan UAT menjadi sulit. Perusahaan mempunyai persyaratan untuk adanya surat pengantar dari kampus yang menyatakan bahwa mahasiswa penulis skripsi ini ingin melakukan pengujian di perusahaan tersebut beserta memberikan laporan tentang judul skripsi tersebut. Meskipun semua persyaratan sudah dipenuhi, pada penulisan skripsi ini belum ada tanggapan atau tindak lanjut dari perusahaan. Oleh karena ini pengujian dilakukan dengan menggunakan 10 penguji acak.

Prosedur UAT diawali dengan penjelasan tentang sistem secara keseluruhan beserta fitur-fitur yang tersedia pada masing-masing aplikasi. Setelah penjelasan diberikan, penguji kemudian diberikan tugas sederhana untuk melakukan pengujian sistem, secara urut tugas yang diberikan adalah sebagai berikut:

- 1) Menyiapkan gambar
- 2) Login dengan username dan password yang diberikan
- 3) Mengakses halaman utama dan melakukan navigasi menu
- 4) Melakukan pengecekan detail model
- 5) Menambahkan data material baru
- 6) Mengubah nama material dan menghapus gambar material
- 7) Memulai pelatihan model
- 8) Melanjutkan pelatihan model yang terhenti
- 9) Menggunakan model yang baru dilatih pada aplikasi Android untuk melakukan identifikasi material.

Selama melakukan tugas, penguji diberikan akses pengguna administrator yang dapat melakukan semua aksi yang dituliskan diatas. Setelah selesai menguji, penguji akan diberikan kuisioner pengujian sistem dan feedback

TABLE I
HASIL PENILAIAN USER ACCEPTANCE TEST (UAT)

Pertanyaan	TS	KS	CS	S	SS
P-A-UAT-1	0	0	0	3	7
P-A-UAT-2	0	0	0	2	8
P-A-UAT-3	0	0	0	4	6
P-A-UAT-4	0	0	4	4	2

TABLE II
HASIL PENILAIAN UAT UNTUK SISTEM INFORMASI BERBASIS WEB

Pertanyaan	TS	KS	CS	S	SS
P-W-UAT-1	0	0	0	5	5
P-W-UAT-2	0	0	0	4	6
P-W-UAT-3	0	0	0	5	5
P-W-UAT-4	0	0	0	4	6
P-W-UAT-5	0	0	0	3	7
P-W-UAT-6	0	0	0	5	5
P-W-UAT-7	0	0	0	7	3
P-W-UAT-8	0	0	0	2	8
P-W-UAT-9	0	0	0	6	4
P-W-UAT-10	0	0	0	3	7

TABLE III
HASIL PENILAIAN UAT UNTUK MODUL INTEGRASI

Pertanyaan	TS	KS	CS	S	SS
P-I-UAT-1	0	0	0	3	7
P-I-UAT-2	0	0	0	2	8

akan diterima. Hasil pengujian UAT ditampilkan pada Tabel I sampai dengan Tabel III.

Data yang diperoleh kemudian diolah dengan cara melakukan perkalian setiap point jawaban dengan bobot yang sudah ditentukan. Hasil perkalian ini kemudian dijumlahkan untuk mendapatkan total skor. Skor maksimum dihitung dengan melakukan perkalian jumlah pertanyaan dengan nilai bobot tertinggi(5 untuk Sangat Setuju) dan skor minimum dengan nilai bobot terendah(1 untuk Tidak Setuju). Persentase penilaian dihitung menggunakan rumus berikut:

$$P = \frac{f}{n} \times 100\% \tag{1}$$

Keterangan:

- P = Persentase
- f = Frekuensi jawaban
- n = Skor maksimal

Setelah melakukan perhitungan untuk setiap kategori masing-masing sistem, dapat disimpulkan bahwa:

- 1) Aplikasi Android mendapatkan skor 90,4%, yang menunjukkan bahwa mayoritas pengguna Sangat Setuju dengan aplikasi ini.
- 2) Aplikasi Web mendapatkan skor 88,5%, yang menunjukkan bahwa mayoritas pengguna Sangat Setuju dengan aplikasi ini.
- 3) Integrasi sistem mendapatkan skor 93,3%, yang menunjukkan bahwa mayoritas pengguna Sangat Setuju dengan integrasi sistem ini.

Penilaian dari hasil pengujian didasarkan pada indikator kategori penilaian apakah sistem yang diuji telah diterima atau tidak yang ditunjukkan pada Tabel IV.

TABLE IV
INDIKATOR KATEGORI PENILAIAN

Persentase	Keterangan
0%–20%	Sangat Tidak Setuju
21%–40%	Tidak Setuju
41%–60%	Cukup Setuju
61%–80%	Setuju
81%–100%	Sangat Setuju

Pengujian black box juga dilakukan dalam pengembangan sistem ini. Pengujian ini tidak melihat dan menguji source code program. Tetapi pengujian ini berfokus pada fungsional dari sistemnya. Hasil pengujian black box pada sistem identifikasi material ini berstatus valid dan sudah sesuai dengan pengujian fungsional black box.

V. KESIMPULAN

Pengembangan sistem identifikasi material menunjukkan hasil yang signifikan dalam meningkatkan efisiensi operasional di gudang. Waktu identifikasi material yang sebelumnya memakan hingga empat menit kini berkurang menjadi rata-rata 27 detik dengan akurasi mencapai 93% menggunakan model MobileNetV2 dan transfer learning. Pengujian UAT menunjukkan penerimaan yang positif dengan skor 90,7%, menandakan bahwa sistem ini dapat diandalkan dan sesuai kebutuhan. Semua skenario uji coba berhasil, menunjukkan bahwa sistem berjalan dengan baik dan memenuhi kebutuhan operasional PT. XYZ. Sistem ini terbukti memberikan solusi efisien dalam manajemen inventaris dan dapat beradaptasi dengan cepat terhadap perubahan bisnis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Abadi, P. Barham, J. Chen, Z. Chen, A. Davis, J. Dean, et al., "TensorFlow: A system for large-scale machine learning," *Computer Science, Distributed, Parallel, and Cluster Computing*, 2016.
- [2] E. Alpaydm, *Introduce to Machine Learning*, 4th ed., The MIT Press, 2020.
- [3] M. W. Cichosz, "Digital transformation at logistics service providers: barriers, success factors and leading practices," *International Journal of Logistics Management*, vol. 31, no. 2, pp. 209–238, 2020.
- [4] B. Ferreira and J. Reis, "A Systematic Literature Review on the Application of Automation in Logistics," *Logistics*, vol. 7, no. 4, 2023. [Online]. Tersedia: <https://doi.org/10.3390/logistics7040080>
- [5] M. I. Jordan, "Machine learning: Trends, perspectives, and prospects," *Science*, vol. 349, no. 6245, pp. 255–260, 2015.
- [6] K. K. Ramachandran and A. A., "Machine learning and role of artificial intelligence in optimizing work performance and employee behavior," *Materials Today: Proceedings*, vol. 51, pp. 2327–2331, 2022.
- [7] M. G. Khan, N. U. Huda, and U. K. U. Zaman, "Smart Warehouse Management System: Architecture, Real-Time Implementation and Prototype Design," *Machines*, vol. 10, no. 2, 2022. [Online]. Tersedia: <https://doi.org/10.3390/machines10020150>
- [8] Y. Kumiawan and ., "Aplikasi Augmented Reality untuk Pembelajaran Salat bagi Siswa Sekolah Dasar," *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 8, 2021.
- [9] Y. LeCun, Y. Bengio, and G. Hinton, "Deep Learning," *Nature*, vol. 521, no. 7553, pp. 436–444, 2015.
- [10] D. McFarlane, S. Sarma, J. L. Chin, C. Y. Wong, and K. Ash-ton, "Auto ID systems and intelligent manufacturing control," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 16, no. 4, pp. 365–376, 2003.

- [11] A. Naumann, F. Hertlein, L. Dorr, S. Thoma, and K. Furmans, "Literature Review: Computer Vision Applications in Transportation Logistics and Warehousing," *arXiv:2304.06009v2*, 2023.
- [12] S. B. Perotti, "Logistics 4.0 in warehousing: a conceptual framework of influencing factors, benefits and barriers," *The International Journal of Logistics Management*, vol. 33, no. 5, pp. 193–220, 2022.
- [13] V. Popović, M. Kilibarda, M. Andrejić, B. Jereb, and D. Dragan, "A New Sustainable Warehouse Management Approach for Workforce and Activities Scheduling," *Sustainability*, vol. 13, no. 4, 2021. [Online]. Tersedia: <https://doi.org/10.3390/su13042021>
- [14] D. F. Quintero Bernal, J. Kern, and C. Urrea, "A Multimodal Fusion System for Object Identification in Point Clouds with Density and Coverage Differences," *Processes*, vol. 12, no. 2, 2024. [Online]. Tersedia: <https://doi.org/10.3390/pr12020248>
- [15] K. N. Subramanya and T. Rangaswamy, "Impact of Warehouse Management System in a Supply Chain," *International Journal of Computer Applications*, pp. 249–256, 2012.
- [16] L. N. Tikwayo and T. N. D. Mathaba, "Applications of Industry 4.0 Technologies in Warehouse Management: A Systematic Literature Review," *Logistics*, vol. 7, no. 2, 2023. [Online]. Tersedia: <https://doi.org/10.3390/logistics7020024>
- [17] S. Wang, B. Yan, X. Xu, W. Wang, J. Peng, Y. Zhang, X. Wei, and W. Hu, "Automated Identification and Localization of Rail Internal Defects Based on Object Detection Networks," *Applied Sciences*, vol. 14, no. 2, 2024. [Online]. Tersedia: <https://doi.org/10.3390/app14020805>

Muhammad Afif Hendrawan adalah dosen tetap pada Jurusan Teknologi Informatika, Politeknik Negeri Malang. Ia menyelesaikan pendidikan Master di bidang Teknik Informatika dari Institut Sepuluh Nopember, Surabaya, dengan fokus pada *Image Processing* dan *Artificial Intelligent*. Saat ini, beliau menjabat sebagai Koordinator Sistem Informasi dan Data Warehouse di Pusat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Politeknik Negeri Malang. Selama karier akademiknya, beliau aktif melakukan penelitian dan pengabdian kepada masyarakat.