

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Automated Guided Vehicle (AGV) memainkan peran penting dalam otomasi industri modern sebagai sarana utama untuk memindahkan material secara otomatis di area produksi dan pergudangan. Penentuan rute pergerakan yang efisien dan aman menjadi aspek krusial dalam pengoperasian AGV. Rute yang tidak optimal dapat meningkatkan waktu tempuh, menyebabkan kemacetan antar-AGV, dan memicu risiko tabrakan. Akibatnya, kelancaran proses produksi dapat terganggu, sehingga perencanaan rute AGV (AGV path planning) menjadi fokus utama dalam pengembangan sistem navigasi cerdas. Proses ini bertujuan menemukan lintasan terbaik dengan mempertimbangkan jarak terpendek, waktu minimal, dan kondisi lingkungan dinamis (Liu, 2025; Yu et al., 2025). Dengan rute yang optimal, AGV dapat meningkatkan efisiensi aliran material dan mendukung konsep Smart Manufacturing. Hal ini juga membantu mengurangi waktu tidak produktif di lingkungan industri.

Penerapan AGV telah meluas secara global di berbagai sektor, seperti otomotif, elektronik, logistik, dan pergudangan. Pasar AGV bernilai sekitar USD 5,93 miliar pada 2025 dan diproyeksikan mencapai USD 9,18 miliar pada 2030 dengan CAGR 9,2% (Grand View Research, 2025). Laporan lain memperkirakan pertumbuhan hingga USD 13,3 miliar pada 2035 dengan CAGR 12,5% (Mordor Intelligence, 2025). Namun, di Indonesia, adopsi AGV masih terbatas, umumnya menggunakan sistem semi-otomatis atau line follower sederhana. Banyak industri, seperti sektor makanan dan otomotif, masih mengandalkan pemindahan material manual dengan forklift atau konveyor tetap (Mobile Robot Directory, n.d.; PT. Sanco Indonesia, n.d.). Keterbatasan ini menyebabkan masalah efisiensi, keselamatan kerja, dan biaya operasional tinggi. Tantangan utama di Indonesia mencakup kurangnya infrastruktur dan kesadaran industri, meskipun potensi pasar APAC diproyeksikan mencapai USD 30,7 miliar pada 2037 (ResearchNester, 2025).

Penelitian lokal di Indonesia masih berfokus pada desain prototipe AGV atau pengujian algoritma sederhana, seperti *Ant Colony Optimization* (ACO) dan *Particle Swarm Optimization* (PSO). Pengujian ini umumnya dilakukan pada simulasi grid

sederhana, bukan di lingkungan industri kompleks (Pratama et al., 2023). Hal ini menunjukkan adanya kesenjangan antara riset internasional dan kebutuhan nasional. Di sisi lain, teknologi AGV berpotensi meningkatkan produktivitas dan keselamatan kerja. Namun, tantangan utama adalah optimalisasi rute di lingkungan dinamis. Algoritma konvensional seperti Dijkstra dan A* sering digunakan, tetapi kurang adaptif terhadap perubahan lingkungan dan interaksi multi-AGV (Jasser & Ajibade, 2025). Oleh karena itu, diperlukan algoritma yang lebih fleksibel untuk mendukung efisiensi operasional.

Algoritma adaptif seperti ACO menjadi solusi potensial untuk navigasi AGV di lingkungan dinamis. ACO, yang terinspirasi dari koloni semut, memperkuat jalur optimal melalui feromon virtual (Zine & Ajabboune, 2025). Dibandingkan Dijkstra, ACO lebih fleksibel karena tidak memerlukan bobot awal dan mampu beradaptasi dengan perubahan lingkungan (Liu, 2024). Namun, ACO memiliki kelemahan, seperti konvergensi lambat atau terjebak pada solusi lokal (Zhu et al., 2025). Untuk mengatasi ini, varian seperti Improved ACO atau pendekatan hybrid telah dikembangkan (Sheng et al., 2025). ACO dan variannya, seperti *Improved ACO*, menunjukkan ketangguhan lebih tinggi di lingkungan dinamis dibandingkan algoritma lain (Guo & Singh, 2020; Gupta et al., 2025). Studi ini menyoroti perlunya perbandingan komprehensif antar-algoritma untuk menentukan solusi terbaik.

Kesenjangan penelitian terlihat pada minimnya studi yang membandingkan algoritma Dijkstra, A, ACO, dan Improved ACO pada tata letak industri realistis dengan interaksi multi-AGV. Sebagian besar penelitian sebelumnya terbatas pada simulasi statis atau grid sederhana (Liu, 2025; Tang et al., 2025). Di sisi lain, perusahaan global seperti Amazon dan Alibaba telah menerapkan metode hybrid yang canggih. Amazon menggunakan *kiva robots* dengan kombinasi A* dan *machine learning* untuk prediksi lalu lintas, meningkatkan throughput hingga 2-3 kali lipat (Alan S. Brown, 2022). Alibaba menerapkan swarm intelligence dan *ACO-inspired bidding* untuk mengurangi *deadlock* (Alibaba Tech, 2018). Sementara itu, DHL mengintegrasikan ACO dengan *reinforcement learning* (RL) untuk *routing efisien* di terminal kontainer (Hau et al., 2025; Xu et al., 2025). Pendekatan *hybrid* ini menunjukkan keunggulan dalam menangani dinamika *real-time* dibandingkan algoritma tunggal.

Penelitian ini relevan karena sistem AGV yang tidak optimal dapat menyebabkan penundaan produksi dan biaya tinggi. Secara akademis, penelitian ini memperkaya literatur perbandingan algoritma deterministik dan metaheuristik. Secara praktis,

hasilnya dapat membantu industri memilih algoritma yang sesuai untuk kebutuhan spesifik. Penelitian ini juga mengusulkan simulasi berbasis Python pada tata letak gudang fungsional (seperti visualisasi grid dengan zona *Receiving*, *QC*, *Shipping*, Penyimpanan, dan Rak/Lorong), dengan fokus pada tiga rute spesifik: Rute 1 pergi (*shipping* -> *receiving*), Rute 2 kembali (*receiving* -> *shipping*). Prototipe ini akan mengukur metrik seperti waktu, jarak, dan efisiensi komputasi. Diharapkan ACO dapat unggul di lingkungan kompleks, meskipun kelemahannya perlu dipertimbangkan. Dengan demikian, penelitian ini mendukung pengembangan sistem cerdas untuk Industry 4.0 (Hau et al., 2025; Xu et al., 2025).

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang, permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

- A. Bagaimana perbandingan performa algoritma Dijkstra, A*, ACO, dan IACO dalam optimasi jalur logistik AGV berdasarkan parameter jarak tempuh, waktu perjalanan, kecepatan rata-rata, dan konsistensi pergerakan pada simulasi serta pengujian prototipe skala laboratorium?
- B. Algoritma *path planning* manakah yang menunjukkan kinerja paling optimal dalam meminimalkan potensi konflik dan *deadlock* pada lingkungan logistik berbasis grid?

C. Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

1. Mengevaluasi dan membandingkan performa algoritma Dijkstra, A*, ACO, dan IACO dalam optimasi jalur AGV berdasarkan parameter jarak tempuh, waktu perjalanan, kecepatan rata-rata, dan tingkat konsistensi melalui simulasi dan validasi prototipe AGV skala laboratorium.
2. Menentukan algoritma *path planning* yang paling optimal untuk diterapkan pada sistem AGV berbasis grid dalam upaya meminimalkan potensi konflik dan *deadlock*.

D. Batasan Manfaat

Agar penelitian ini lebih terarah dan mendalam, maka ditetapkan batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Ruang Lingkup Algoritma: Penelitian hanya membandingkan empat algoritma spesifik, yaitu *Ant Colony Optimization* (ACO), *Improved ACO* (IACO), *A* (A*), dan Dijkstra. Tidak termasuk algoritma metaheuristik lain seperti Genetic Algorithm (GA) atau *Particle Swarm Optimization* (PSO), meskipun disebutkan dalam literatur (Li et al., 2023), untuk menghindari perluasan yang berlebihan dan fokus pada perbandingan deterministik vs. metaheuristik utama. Kriteria penilaian desain dibatasi pada aspek ergonomi, kenyamanan, kestabilan, kemudahan penggunaan, dan ketahanan terhadap lingkungan pekerja dengan posisi berdiri durasi lama.
2. Lingkungan Penelitian: Optimasi jalur AGV dibatasi pada simulasi lingkungan industri statis atau semi-dinamis berbasis grid (seperti *workshop* atau gudang sederhana), serta implementasi *real-life* pada prototipe skala kecil menggunakan mikrokontroler (misalnya, Arduino). Tidak mencakup lingkungan industri skala besar yang sepenuhnya dinamis dengan variabel eksternal seperti perubahan cuaca, gangguan manusia, atau integrasi dengan sistem IoT kompleks, sebagaimana dibahas dalam (Hau et al., 2025) yang menekankan keterbatasan pada skenario terminal kontainer. Data kebutuhan pengguna diperoleh dari studi literatur dan observasi lapangan secara terbatas, tanpa uji coba langsung pada pengguna.
3. Pendekatan Metodologi: Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif murni, dengan pengukuran metrik seperti jarak jalur, waktu komputasi, tingkat konflik multi-AGV, dan efisiensi konvergensi. Tidak melibatkan analisis kualitatif seperti wawancara industri atau evaluasi subjektif, untuk menjaga objektivitas data (Liu et al., 2024). Selain itu, validasi *real-life* dibatasi pada prototipe laboratorium, bukan pengujian di industri aktual, untuk menghindari isu akses dan biaya.
4. Jumlah dan Interaksi AGV: Perbandingan difokuskan pada interaksi multi-AGV hingga maksimal 5 unit dalam simulasi, guna mengatasi masalah *deadlock* dan tabrakan sederhana. Tidak mencakup skenario dengan puluhan AGV atau integrasi dengan sistem fleet management canggih, seperti yang disebutkan dalam (Guo & Singh, 2020), karena keterbatasan komputasi dan waktu penelitian.

5. Aspek *Non-Teknis*: Penelitian tidak membahas implikasi ekonomi (seperti biaya implementasi AGV), aspek keamanan siber, atau dampak lingkungan dari penggunaan AGV. Fokus utama adalah efisiensi jalur logistik, sehingga aspek seperti integrasi dengan *supply chain* eksternal atau regulasi industri tidak dipertimbangkan (Zhou & Huang, 2022).
6. Waktu dan Data: Penelitian dibatasi pada data simulasi dan pengujian yang dilakukan dalam periode waktu terbatas (misalnya, hingga 100 iterasi per algoritma). Tidak termasuk analisis jangka panjang atau data real-time dari industri operasional, untuk menjaga keterukuran dan menghindari bias eksternal (Xu et al., 2025).

E. Manfaat Penelitian

1. Manfaat Teoritis

Penelitian ini memperkaya literatur akademik dengan menyediakan perbandingan kuantitatif antara algoritma deterministik (Dijkstra, A*) dan metaheuristik (ACO, IACO) dalam konteks optimasi jalur AGV, serta mengeksplorasi potensi adaptasi hybrid ACO.

2. Manfaat Praktis

Penelitian ini membantu industri memilih algoritma optimal untuk efisiensi logistik AGV dan menyediakan metode terbaik untuk pengembangan prototype yang meningkatkan produktivitas di lingkungan gudang.

F. Sistematika Penelitian

Sistematika penulis memberikan gambaran mengenai penulisan penelitian sebagai berikut :

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan tentang permasalahan yang mendasari dilakukannya penelitian ini. Pada bab ini meliputi latar belakang, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB 2 KAJIAN PUSTAKA

Pada bab ini menjelaskan tentang teori dan konsep yang digunakan sebagai landasan dilakukannya penelitian ini, diantaranya kategori EFD.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Pada bab ini meliputi urutan Langkah dan metode yang digunakan dalam melaksanakan penelitian ini secara sistematis. Metode penelitian terdiri dari empat tahap yaitu tahap awal dan persiapan, pengumpulan data dan saran.

BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menjelaskan tentang analis dan pembahasan dari hasil pengolahan dari data yang telah diperoleh, analisis ini meliputi pengukuran, serta pembahasan tentang hasil perhitungan dari ukuran pada saat proses pembuatan.

BAB 5 PENUTUP

Pada bab ini mencakup tentang kesimpulan dari hasil penelitian dari bab sebelumnya, kemudian juga memuat saran yang diberikan oleh penulis setelah melakukan penelitian ditempat tersebut.