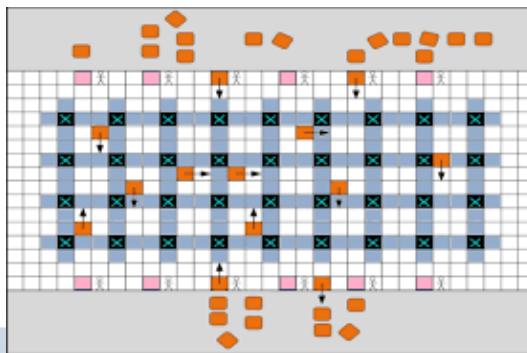


BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Dengan perkembangan teknologi kecerdasan buatan, optimasi untuk permasalahan *pathfinding* pada mesin otomatis semakin diperhatikan, terutama dalam konteks multi-agent system, yang lebih dikenal dengan istilah *Multi-Agent Pathfinding* (MAPF) [1]. Tantangan dalam permasalahan MAPF terletak pada kompleksitas komputasi dalam mengatur navigasi *multiple agent* untuk menghindari *collision*. Berbagai penelitian yang diterapkan hanya berasumsi pada lingkungan yang statis dan terprediksi [2] [3], sedangkan pemecahan masalah MAPF pada lingkungan yang dinamis dan tidak menentu (*stochastic*) masih menjadi tantangan besar [4]. Permasalahan MAPF pada *stochastic environment* memiliki berbagai jenis manifestasi dunia nyata, seperti dalam konteks lalu lintas kendaraan, robot *warehouse*, bahkan dalam pembuatan *video game*. Gambar 1.1 merepresentasikan ilustrasi dari pengaplikasian permasalahan MAPF pada robot *warehouse*.



Gambar 1.1. *Multi-Agent Pathfinding* pada robot *warehouse*

Sumber: [5]

Permasalahan ini menjadi semakin krusial seiring dengan perkembangan teknologi otomasi sistem pada skala yang semakin besar. Dengan meningkatnya jumlah agen yang harus beroperasi secara simultan dalam suatu lingkungan yang sama, kompleksitas koordinasi dan potensi konflik jalur juga meningkat secara signifikan, terutama dalam lingkungan yang dinamis. Kondisi ini tercermin secara nyata dalam konteks navigasi kendaraan *real-time*, manajemen robot *warehouse*, maupun koordinasi kendaraan tanpa awak (UAV). Namun pada praktiknya, waktu

tempuh agen tidak bersifat deterministik dikarenakan berbagai faktor eksternal seperti kepadatan lalu lintas, interaksi dengan manusia, gangguan lingkungan, maupun variasi performa perangkat keras. Kondisi tersebut menyebabkan perencanaan jalur yang mengabaikan ketidakpastian menjadi kurang efektif dan berpotensi meningkatkan probabilitas konflik antar agen. Hal ini menunjukkan urgensi untuk pengembangan alat navigasi yang *stochastic-aware*, atau mampu mempertimbangkan probabilitas *delay* dan menghasilkan keputusan rute yang *robust* terhadap dinamika lingkungan.

Sampai saat ini, perancangan solusi MAPF dengan pengaturan stokastik baik dengan metode berbasis *planning* dan *learning* masih diperdebatkan [6]. Beberapa studi mempraktekkan kemampuan metode berbasis *learning* seperti model berbasis *Multi-Agent Reinforcement Learning* (MARL) [7] serta *Pathfinding via Reinforcement and Imitation Multi-Agent Learning* (PRIMAL) [8] yang berhasil menunjukkan kapabilitas dari metode berbasis *learning* dengan penyelesaian *Markov Decision Process* (MDP) kompleks dalam pemilihan rute agen. Dalam konteks permasalahan MDP, sebuah studi juga menunjukkan potensi dari algoritma *heuristic-based* bernama *Monte Carlo Tree Search* (MCTS) yang mampu menghasilkan solusi yang kompetitif dalam lingkungan yang stokastik [9] dan paradigma *decentralized* [10].

Dengan mempertimbangkan potensi dari algoritma MCTS sebagai metode alternatif dalam penyelesaian MDP kompleks, berbagai studi dilakukan untuk mencari cara meningkatkan kualitas algoritma MCTS. Sebuah studi menunjukkan potensi dari algoritma MCTS dengan pemanfaatan struktur *graph*, yang dikenal sebagai *Monte Carlo Graph Search* (MCGS). Dengan melihat keterhubungan antar *state* yang identik atau berulang dalam ruang pencarian, pendekatan dengan MCGS memungkinkan (*state merging*) dan berbagi informasi nilai serta statistik kunjungan antar lintasan pencarian, sehingga mengurangi eksplorasi yang redundan dan meningkatkan efisiensi pencarian serta performa komputasi [11].

Pada penelitian ini, pendekatan berbasis algoritma MCGS yang terdesentralisasi akan dipraktekkan untuk mengevaluasi efektivitas pemanfaatan struktur *graph* dalam upaya optimasi performa perencanaan pada permasalahan MAPF dengan mempertimbangkan *probabilistic delay*, dengan tujuan untuk memberikan solusi yang kompeten dalam penyelesaian permasalahan MAPF pada pengaturan stokastik berdasarkan teori yang telah dikemukakan oleh penelitian-penelitian terdahulu.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan hasil uraian latar belakang di atas, maka dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil analisa implementasi algoritma *Decentralized Monte Carlo Graph Search* yang bersifat *decentralized planning* dalam penyelesaian permasalahan MAPF yang mempertimbangkan ketidakpastian waktu tempuh/*stochastic travel times* yang disebabkan oleh *probabilistic delay*?
2. Bagaimana perbandingan performa metode pendekatan berbasis *Monte Carlo Graph Search* dengan pendekatan berbasis *planning* dan *learning* lainnya dalam penyelesaian permasalahan MAPF yang bersifat stokastik?

1.3 Batasan Permasalahan

Batasan masalah yang perlu diperhatikan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Permasalahan yang dikaji adalah *Multi-Agent Path Finding* (MAPF) pada lingkungan yang dimodelkan dalam bentuk *grid* dan bersifat *offline*.
2. Lingkungan yang digunakan bersifat stokastik, dengan ketidakpastian pada waktu tempuh agen yang dipengaruhi oleh *probabilistic delay* berupa variabel acak pada *gamma distribution* yang diperoleh setiap *state*, sedangkan struktur lingkungan tetap deterministik.
3. Penelitian membandingkan algoritma dari tiga paradigma yang berbeda, yaitu *centralized planning* menggunakan STT-CBS, *learning-based* menggunakan MAPPO, dan *decentralized planning* menggunakan *Decentralized Monte Carlo Graph Search* (Dec-MCGS).
4. Evaluasi performa difokuskan pada metrik kualitas solusi perencanaan jalur dari titik awal ke tujuan serta *robustness* terhadap *probabilistic conflict* yang disebabkan oleh *probabilistic delay*.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan masalah yang telah dirumuskan, maka tujuan dari penelitian adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis implementasi algoritma *Decentralized Monte Carlo Graph Search* yang bersifat *decentralized planning* dalam penyelesaian permasalahan MAPF yang mempertimbangkan ketidakpastian waktu tempuh/*stochastic travel times* yang disebabkan oleh *probabilistic delay*.
2. Membandingkan performa pendekatan berbasis *Monte Carlo Graph Search* dengan pendekatan berbasis *planning* dan *learning* lainnya dalam penyelesaian permasalahan MAPF yang bersifat stokastik.

1.5 Manfaat Penelitian

Berikut adalah manfaat yang diharapkan dapat diperoleh dari penelitian ini:

1. Menganalisa hasil dari implementasi algoritma *Decentralized Monte Carlo Graph Search* dalam penyelesaian permasalahan MAPF pada pengaturan stokastik, khususnya dengan pertimbangan ketidakpastian waktu tempuh/*stochastic travel times*.
2. Menjadi referensi bagi peneliti dalam pengembangan metode yang lebih efisien untuk permasalahan MAPF yang bersifat stokastik.

1.6 Sistematika Penulisan

Berikut adalah sistematika penulisan laporan penelitian ini:

- **Bab I PENDAHULUAN:** Berisi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, dan sistematika penulisan.
- **Bab II LANDASAN TEORI:** Berisi teori meliputi konsep *Multi-Agent Pathfinding* beserta variasinya, serta teori mengenai metode pencarian solusi.
- **Bab III METODOLOGI PENELITIAN:** Berisi penjelasan model dari permasalahan MAPF serta metode yang diterapkan.
- **Bab IV HASIL DAN DISKUSI:** Berisi hasil perancangan model MAPF serta analisa dari implementasi metode yang telah diuji.
- **Bab V KESIMPULAN DAN SARAN:** Berisi ringkasan dari hasil yang diperoleh berdasarkan tujuan penelitian.