

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **I.1 Latar Belakang**

Transportasi umum menjadi tulang punggung mobilitas perkotaan dan berperan penting dalam mengurangi kemacetan. Keberadaan angkutan umum yang efisien dapat membantu mengurangi kemacetan lalu lintas, menekan konsumsi bahan bakar, serta menurunkan emisi gas buang (Awahah et al., 2024). Dalam konteks kota yang berkembang, kebutuhan akan transportasi umum yang andal dan terintegrasi menjadi semakin penting (Indi & Putri, 2022). Hal ini sejalan dengan prinsip pembangunan berkelanjutan yang menuntut sistem transportasi yang inklusif dan ramah lingkungan (Republik Indonesia, 2017).

Kota Surakarta telah mengembangkan sistem transportasi berbasis Bus Rapid Transit (BRT) bernama Batik Solo Trans (BST) sejak 1 September 2010 sebagai upaya menata kembali layanan transportasi perkotaan. Sistem BST berfungsi sebagai jaringan angkutan umum terintegrasi yang menghubungkan pusat-pusat aktivitas di dalam kota dengan simpul transportasi regional seperti Bandara Adi Soemarmo, Terminal Palur, dan Terminal Kartasura. Berdasarkan data operasional periode Januari 2026 yang diperoleh dari kegiatan magang di Dinas Perhubungan Kota Surakarta (September 2025 - Februari 2026), terdapat 10 koridor aktif yang beroperasi, terdiri dari 5 koridor utama (K1, K2, K3, K4, K5) dan 5 koridor feeder (K7, K8, K9, K10, K12) yang menjangkau kawasan permukiman dan penyangga kota (Kompas.com, 2026). Pada Tahun 2026 struktur jaringan ini mengalami penyesuaian dari kondisi sebelumnya yang memiliki 12 koridor, dengan Koridor 6 (K6) dan Koridor 11 (K11) tidak lagi beroperasi sebagai bagian dari kebijakan efisiensi operasional yang diterapkan pemerintah kota.

Persoalannya tidak berhenti pada pengurangan koridor. Data operasional Januari 2026 dari Dinas Perhubungan Kota Surakarta memperlihatkan variasi kinerja yang cukup mencolok antar koridor. Sebagian koridor mencatat nilai load factor di bawah ambang batas 0,70 yang ditetapkan Direktorat Jenderal Perhubungan Darat, yang secara langsung mengindikasikan bahwa kapasitas armada tidak dimanfaatkan secara optimal (Dinas Perhubungan Kota Surakarta,

2026). Dari lima koridor utama BST yang beroperasi, Koridor K3 dan K4 merupakan dua koridor yang mengalami dampak efisiensi anggaran 2025 paling signifikan. Meskipun pengurangan armada terjadi pada seluruh koridor utama, perubahan jadwal operasional secara khusus hanya diberlakukan pada K3 dan K4 (Cahyono, 2025). Kondisi ini menunjukkan bahwa konfigurasi rute eksisting kedua koridor tersebut memerlukan peninjauan ulang secara spasial. Data *load factor* periode Juni 2025 mencatat K3 sebesar 0,49 dan K4 sebesar 0,36, keduanya jauh di bawah standar minimum 0,70, yang memperkuat perlunya evaluasi rute kedua koridor tersebut."

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan pendekatan berbasis teknologi yang mampu menganalisis jaringan jalan dan rute secara komprehensif. *Geographic Information System (GIS)* terbukti efektif sebagai alat analisis dalam perencanaan dan optimasi sistem transportasi umum (Żochowska et al., 2022; Alamri et al., 2023; Azhali & Widyastuti, 2023; Hardi & Murad, 2023). Namun, penelitian terdahulu belum mengukur secara numerik bobot kepentingan relatif dari masing-masing kriteria tersebut dalam proses optimasi, sehingga penentuan prioritas kriteria masih bersifat implisit atau diasumsikan sama pentingnya. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan *Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA)* untuk menentukan bobot kepentingan masing-masing kriteria secara objektif (Qureshi & Rachid, 2022; Taherdoost & Madanchian, 2023). Setelah bobot kriteria diperoleh, diperlukan algoritma optimasi yang mampu menangani multi-objective function secara simultan. Di antara berbagai algoritma metaheuristik yang tersedia seperti *Genetic Algorithm (GA)*, *Particle Swarm Optimization (PSO)*, dan *Simulated Annealing (SA)*, *Ant Colony Optimization (ACO)* dipilih sebagai algoritma optimasi karena kemampuannya menangani multi-objective function, sehingga dapat digunakan untuk merancang rute optimal yang mempertimbangkan seluruh kriteria secara simultan. *Ant Colony Optimization (ACO)* dipilih sebagai algoritma optimasi karena kemampuannya menangani *multi-objective function*, sehingga dapat digunakan untuk merancang rute optimal yang mempertimbangkan seluruh kriteria secara simultan (Ahmadi, 2020; Li & Wei, 2020; Ostrowski et al., 2024; Wei et al., 2022; Wu et al., 2024; Korzeń & Kruszyna, 2025).

Penelitian terdahulu telah menunjukkan efektivitas GIS dalam analisis jaringan transportasi (Żochowska et al., 2022; Alamri et al., 2023; Azhali &

Widyastuti, 2023; Hardi & Murad, 2023), *MCD*A dalam pembobotan kriteria (Qureshi & Rachid, 2022; Taherdoost & Madanchian, 2023) , dan *ACO* dalam optimasi rute (Ostrowski et al., 2024; Korzeń & Kruszyna, 2025) , namun integrasi ketiganya dalam satu kerangka kerja terpadu untuk optimasi rute BRT berbasis multi-kriteria spasial masih terbatas, khususnya dalam konteks sistem transportasi yang mengalami penyesuaian operasional akibat efisiensi anggaran. Penelitian sebelumnya (Ahmadi, 2020; Wei et al., 2022; Wu et al., 2024) cenderung fokus pada satu atau dua aspek saja, misalnya optimasi jarak tempuh tanpa mempertimbangkan distribusi spasial layanan atau analisis aksesibilitas tanpa menghasilkan rekomendasi rute alternatif. Selain itu, belum ada penelitian yang secara spesifik menganalisis permasalahan *overlap* antar koridor sebagai salah satu kriteria utama dalam optimasi rute transportasi umum di Indonesia.

Penelitian ini mengisi gap tersebut dengan mengintegrasikan analisis spasial berbasis GIS, pembobotan kriteria menggunakan *Analytic Hierarchy Process (AHP)* dan *Weighted Sum Model (WSM)*, serta optimasi rute menggunakan algoritma *Ant Colony Optimization (ACO)* dalam satu kerangka kerja terpadu. Kebaruan penelitian ini terletak pada tiga aspek utama. Pertama, integrasi metodologi GIS-*MCD*A-*ACO* yang memungkinkan analisis multi-kriteria spasial secara komprehensif; bobot kriteria dari *MCD*A menjadi parameter dalam *Fitness function ACO* untuk menghasilkan rute optimal. Kedua, penambahan kriteria minimasi *overlap* antar koridor sebagai komponen penting dalam optimasi rute yang belum banyak dieksplorasi dalam penelitian sejenis. Ketiga, konteks penelitian pada sistem BRT yang mengalami penyesuaian operasional akibat efisiensi anggaran, sehingga rekomendasi rute yang dihasilkan tidak hanya efisien dari segi jarak, tetapi juga optimal dalam cakupan layanan dan penggunaan sumber daya.

Dalam penelitian ini, optimasi rute dilakukan dengan pendekatan multi-kriteria berbasis analisis spasial. Algoritma *Ant Colony Optimization (ACO)* diberikan fleksibilitas untuk menentukan halte mana yang dilayani dari daftar halte eksisting berdasarkan hasil evaluasi terhadap empat kriteria: minimasi jarak tempuh, maksimasi cakupan populasi, maksimasi aksesibilitas fasilitas publik, dan minimasi area *overlap*. Tidak semua halte eksisting wajib dilayani apabila hasil optimasi menunjukkan bahwa eliminasi halte tertentu dapat

meningkatkan efisiensi operasional tanpa mengurangi cakupan wilayah terlayani secara signifikan. Pendekatan ini dipilih agar solusi yang dihasilkan dapat mengeliminasi redundansi layanan dan meningkatkan utilisasi armada sesuai dengan kondisi efisiensi anggaran BST saat ini, tanpa memerlukan pembangunan infrastruktur halte baru.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini dilakukan dengan judul "**OPTIMALISASI RUTE ANGKUTAN UMUM BERBASIS ANALISIS DATA SPASIAL DAN MULTI-CRITERIA DECISION ANALYSIS**". Penelitian ini menggunakan algoritma *Ant Colony Optimization (ACO)* untuk mengoptimalkan rute koridor K3 dan K4 dengan mempertimbangkan kriteria spasial berupa jarak tempuh, cakupan populasi, aksesibilitas fasilitas publik, dan minimasi area *overlap* antar koridor. Pemilihan kriteria tersebut ditentukan melalui metode *Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA)* dengan pendekatan *Analytic Hierarchy Process (AHP)* untuk pembobotan kriteria dan *Weighted Sum Model (WSM)* untuk penilaian alternatif rute. Melalui pendekatan ini, diharapkan diperoleh rekomendasi rute yang lebih efisien, adaptif terhadap pola permintaan, serta mampu meningkatkan kinerja operasional dan efektivitas penggunaan anggaran transportasi umum di Kota Surakarta.

## **I.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, penulis mengidentifikasi beberapa masalah yang akan dijadikan bahan penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik spasial jaringan rute eksisting Batik Solo Trans di Kota Surakarta?
2. Bagaimana bobot kepentingan kriteria spasial dalam optimalisasi rute Batik Solo Trans berdasarkan *Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA)* ?
3. Bagaimana rute optimal K3 dan K4 Batik Solo Trans menggunakan *Ant Colony Optimization* yang meminimalkan *overlap* dan memaksimalkan cakupan layanan berdasarkan kriteria spasial terpilih?

## **I.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah pada penelitian ini digunakan agar pembahasan lebih difokuskan pada permasalahan. Maka batasan masalah penelitian antara lain:

1. Penelitian mencakup 10 koridor BST aktif di Kota Surakarta (4 koridor utama dan 5 koridor *feeder*) sebagai *baseline* analisis jaringan eksisting.
2. Optimalisasi rute difokuskan pada Koridor K3 dan K4 yang memiliki *load factor* di bawah standar dan terdampak kebijakan efisiensi anggaran.
3. Analisis dan optimasi rute difokuskan pada segmen koridor yang berada di dalam wilayah administratif Kota Surakarta. Terminal dan fasilitas transportasi di kabupaten sekitar (Bandara Adi Soemarmo, Terminal Palur, Terminal Kartasura) yang menjadi titik awal atau akhir rute diperlakukan sebagai *node* tetap (*fixed constraint*) yang tidak dimodifikasi dalam proses optimasi.
4. Pembobotan kriteria dalam *Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA)* dilakukan menggunakan metode *Analytic Hierarchy Process (AHP)*, sedangkan penilaian alternatif rute dihitung menggunakan *Weighted Sum Model (WSM)*.
5. Algoritma *Ant Colony Optimization (ACO)* digunakan dengan *multi-objective function* yang meliputi minimasi jarak tempuh dan *overlap* area, serta maksimasi cakupan populasi dan aksesibilitas fasilitas publik.
6. Penelitian mengasumsikan jaringan jalan eksisting tetap dan semua koridor beroperasi sesuai jadwal resmi tanpa memperhitungkan gangguan harian seperti kemacetan ekstrem, kecelakaan lalu lintas, atau kerusakan kendaraan.
7. Analisis tidak mencakup aspek keuangan, tarif sistem tiket, atau kelembagaan operasional BST.
8. Hasil optimasi berupa rekomendasi rute alternatif K3 dan K4 yang dapat memanfaatkan seluruh atau sebagian halte eksisting dengan terminal awal-akhir tetap. Tidak mencakup penentuan lokasi halte baru maupun implementasi kebijakan dan infrastruktur fisik.

#### **I.4 Tujuan Penelitian**

Agar suatu penelitian ilmiah bermanfaat maka diperlukan sebuah tujuan yang hendak dicapai. Tujuan penelitian yang ingin dicapai dalam penulisan proposal Skripsi ini adalah:

1. Mengetahui karakteristik spasial jaringan rute eksisting Batik Solo Trans di Kota Surakarta berdasarkan sebaran halte, kepadatan penduduk, aksesibilitas fasilitas publik, dan area *overlap* antar koridor.
2. Menentukan bobot kepentingan kriteria spasial yang memengaruhi optimalisasi rute Batik Solo trans menggunakan *Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA)*.
3. Merancang rute optimal K3 dan K4 Batik Solo Trans menggunakan *Ant Colony Optimization (ACO)* yang terintegrasi dengan kriteria spasial berbobot untuk meningkatkan efisiensi operasional dan cakupan layanan.

### **I.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi Penulis

Penelitian ini dapat meningkatkan pemahaman tentang analisis data spasial dan metode optimasi berbasis *metaheuristic (Ant Colony Optimization)*, serta mengembangkan keterampilan menggunakan tools GIS dan pemrograman untuk implementasi algoritma optimasi, sekaligus memperkaya portofolio penelitian untuk kebutuhan akademik dan pengembangan karir di bidang transportasi.

2. Bagi Akademisi

Penelitian ini menyajikan referensi metodologis tentang penerapan integrasi GIS, *MCDA*, dan algoritma *Ant Colony Optimization* dalam optimasi transportasi umum yang dapat digunakan sebagai studi kasus untuk penelitian sejenis, khususnya dalam pengembangan metode optimasi rute angkutan berbasis multi-kriteria.

3. Bagi Pemerintah/Ahli

Pemerintah, khususnya Dinas Perhubungan Kota Surakarta dan operator Batik Solo Trans, memperoleh dasar ilmiah dan rekomendasi teknis yang mencakup rancangan rute alternatif untuk koridor K3 dan K4 yang mampu meningkatkan cakupan layanan melalui pengurangan area *overlap* serta peningkatan aksesibilitas terhadap fasilitas publik berdasarkan kriteria spasial terbobot. Selain itu, penelitian ini menghasilkan model pengambilan keputusan berbasis *MCDA-GIS* yang dapat dijadikan acuan dalam proses evaluasi dan perencanaan ulang koridor lain di masa

mendatang. Hasil penelitian ini juga memberikan informasi spasial mengenai karakteristik jaringan eksisting yang dapat digunakan untuk mendukung kebijakan penataan rute yang lebih efisien, terukur, dan berkelanjutan di Kota Surakarta.

#### 4. Bagi Masyarakat

Masyarakat pengguna Batik Solo Trans akan memperoleh manfaat tidak langsung berupa perbaikan layanan angkutan umum yang lebih efisien melalui pengurangan waktu tunggu, peningkatan cakupan layanan, dan distribusi rute yang lebih merata.

### **I.6 Sistematika Penulisan**

Dalam memahami skripsi lebih jelas, maka materi yang tertera pada skripsi ini dikelompokkan beberapa sub dengan sistematika

#### **BAB I : PENDAHULUAN**

Berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

#### **BAB II : TINJAUAN PUSTAKA**

Berisi mengenai studi literatur yang memberikan penjelasan tentang landasan teori penelitian yang terkait dengan penelitian dan menguraikan tentang bagian dari referensi buku, jurnal, penelitian terdahulu, maupun sumber instansi terkait mengenai angkutan umum, *Geographic Information System (GIS)*, *Multi-Criteria Decision Analysis (MCD)*, dan *Ant Colony Optimization (ACO)*.

#### **BAB III : METODE PENELITIAN**

Pada bab ini menjelaskan tentang langkah sistematika yang ditempuh untuk mencapai tujuan penelitian, terdiri dari lokasi penelitian, bagan alir penelitian, teknik pengumpulan data, teknik analisis data dan waktu penelitian.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

Berisi mengenai sumber-sumber referensi yang digunakan oleh penulis untuk mendukung pelaksanaan penyusunan skripsi yang berupa jurnal ataupun website (situs) pendukung lainnya.

#### **LAMPIRAN**

Bab ini berisi instrumen – instrumen penelitian yang digunakan dalam penyusunan laporan seperti formulir survey, tabel – tabel pendukung, gambar – gambar pendukung serta dokumentasi kegiatan.