

Penentuan Lokasi Prioritas Intelligent Traffic Control System Di Jakarta

Anisa Lintang Kumala Cahya¹, Mohammad Arif Rohman²

^{1,2} Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia
Jalan Raya ITS 60111 Sukolilo East Java
Email: anisalintang8@gmail.com

ABSTRAK

Dinas Perhubungan DKI Jakarta sedang melakukan penerapan *Intelligent Traffic Control System* (ITCS) untuk meningkatkan efisiensi lalu lintas dan mengurangi kemacetan. ITCS merupakan sistem terintegrasi yang menggabungkan sensor, kamera, data real-time dan algoritma adaptif untuk mengoptimalkan pengaturan lampu lalu lintas secara dinamis. Penerapannya masih terbatas, yaitu baru mencakup 50 dari total 321 persimpangan karena adanya keterbatasan infrastruktur. Saat ini, penentuan lokasi prioritas belum didasarkan pada analisis sistematis berbasis multi kriteria, sehingga berpotensi mengabaikan lokasis yang benar-benar membutuhkan intervensi ITCS. Penelitian ini menggunakan pendekatan hybrid, yaitu Analytical Hierarchy Process (AHP) dan Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution (TOPSIS). AHP digunakan untuk menentukan kriteria utama seperti geometrik jalan, tata guna lahan dan kepadatan aktivitas serta menetapkan bobot prioritasnya. Sementara itu, TOPSIS diterapkan untuk mePeringkat lokasi persimpangan berdasarkan kedekatannya dengan solusi ideal positif dan jauhnya dari solusi negatif. Analisis sensitivitas untuk mengevaluasi pengaruh perubahan bobot terhadap hasil peringkat lokasi prioritas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Geometrik Jalan merupakan kriteria paling dominan (50%), dengan Jumlah Fasilitas Transportasi sebagai subkriteria utama (88%). Berdasarkan metode hybrid AHP TOPSIS, Persimpangan Sawah Besar terpilih sebagai lokasi prioritas tertinggi ($CC_i = 0,811$), diikuti Kampung Bali, Cideng, dan KPU.

Kata Kunci: *Intelligent Traffic Control System, Intelligent Transportation System, Prioritasi Penerapan Lokasi Persimpangan, AHP, TOPSIS*

ABSTRACT

Dinas Perhubungan DKI Jakarta is implementing the ITCS (ITCS) to improve traffic efficiency and reduce congestion. ITCS is an integrated system that combines sensors, cameras, real-time data, and adaptive algorithms to dynamically optimize traffic light control. Its implementation is still limited, covering only 50 out of 321 intersections due to infrastructure constraints. At present, the determination of priority locations has not been based on a systematic multi-criteria analysis, which may result in overlooking intersections that genuinely require ITCS intervention. This study employs a hybrid approach combining the Analytical Hierarchy Process (AHP) and the Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution (TOPSIS). AHP is used to determine the main criteria such as road geometry, land use, and activity density and to assign their priority weights. Meanwhile, TOPSIS is applied to rank the intersections based on their proximity to the positive ideal solution and their distance from the negative ideal solution. A sensitivity analysis is conducted to evaluate the impact of weight variations on the ranking results. The study results indicate that Road Geometry is the most dominant criterion (50%), with Number of Transportation Facilities as the primary sub-criterion (88%). Using the hybrid AHP-TOPSIS method, Sawah Besar Intersection was selected as the highest-priority location ($CC_i = 0.811$), followed by Kampung Bali, Cideng, and KPU intersections.

Keywords: *Intelligent Traffic Control System, Intelligent Transportation System, Intersection Location Prioritization, AHP, TOPSIS*

Pendahuluan

Tingginya mobilitas kendaraan akibat jumlah penduduk yang mencapai sekitar 20 juta jiwa [1] Persimpangan sebagai titik pertemuan arus lalu lintas dari berbagai arah memiliki peran krusial dalam mempengaruhi kelancaran perjalanan dan sering menjadi lokasi terjadinya kemacetan akibat interaksi kendaraan yang kompleks [2]. Kondisi ini tidak hanya menimbulkan ketidaknyamanan bagi pengguna jalan, tetapi juga berdampak pada efisiensi ekonomi, kualitas lingkungan, dan kesehatan masyarakat melalui peningkatan konsumsi bahan bakar serta emisi karbon [3]

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, Dinas Perhubungan DKI Jakarta mulai menerapkan Intelligent Traffic Control System (ITCS) sebagai solusi berbasis teknologi guna menggantikan sistem pengaturan lampu

lalu lintas manual dan timer statis yang tidak adaptif terhadap kondisi lalu lintas dinamis. ITCS memanfaatkan sensor, sistem pemantauan, dan kecerdasan buatan (Artificial Intelligence) untuk mengidentifikasi volume kendaraan secara real time, menganalisis data lalu lintas, dan menyesuaikan fase sinyal secara adaptif. Meskipun penerapan ITCS menunjukkan potensi dalam meningkatkan efisiensi lalu lintas, implementasinya masih terbatas akibat keterbatasan anggaran dan infrastruktur. Hingga tahun 2025, ITCS baru diterapkan pada 50 dari total 321 persimpangan bersinyal di Jakarta, sehingga penentuan lokasi prioritas menjadi kebutuhan strategis yang mendesak.

Permasalahan utama dalam penerapan ITCS adalah belum adanya mekanisme penentuan lokasi prioritas yang objektif dan berbasis data. Selama ini, pemilihan lokasi cenderung belum mengevaluasi secara sistematis faktor geometrik jalan, tata guna lahan, dan kepadatan aktivitas, sehingga berpotensi menimbulkan ketidaktepatan alokasi teknologi. Padahal, evaluasi efektivitas ITCS terhadap mengurangi waktu tempuh, meningkatkan kapasitas jalan, dan menurunkan emisi kendaraan sangat bergantung pada ketepatan lokasi penerapannya. Oleh karena itu, dibutuhkan metode pengambilan keputusan yang mampu mengakomodasi berbagai kriteria secara terstruktur dan objektif.

Model Multi Criteria Decision Making (MCDM) merupakan pendekatan yang relevan dalam menyelesaikan permasalahan pengambilan keputusan yang melibatkan banyak kriteria [4]. Di antara metode MCDM yang umum digunakan, Analytical Hierarchy Process (AHP) dan Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) memiliki keunggulan yang saling melengkapi. AHP memungkinkan penetapan bobot prioritas kriteria secara sistematis melalui kombinasi pendekatan kuantitatif dan kualitatif serta dilengkapi dengan pengujian konsistensi penilaian responden [5]. Namun, AHP memiliki keterbatasan dalam melakukan evaluasi alternatif berdasarkan kedekatan dengan solusi ideal [6]

TOPSIS digunakan untuk melengkapi keterbatasan tersebut dengan prinsip bahwa alternatif terbaik adalah yang memiliki jarak terdekat terhadap solusi ideal positif dan jarak terjauh dari solusi ideal negatif [7] Metode ini mampu mempertimbangkan secara simultan kondisi terbaik dan terburuk dari setiap alternative [8], meskipun tidak dirancang untuk menentukan bobot kriteria secara langsung [9]. Oleh karena itu, penggabungan AHP dan TOPSIS dalam pendekatan hybrid memungkinkan bobot kriteria yang digunakan dalam proses pemeringkatan berasal dari analisis yang konsisten dan mendalam, sehingga menghasilkan rekomendasi yang lebih objektif dan berbasis data.

Pendekatan hybrid AHP–TOPSIS telah terbukti efektif dalam berbagai penelitian penentuan lokasi prioritas, seperti pada bidang transportasi dan perencanaan infrastruktur [10], namun penerapannya dalam penentuan lokasi prioritas implementasi ITCS di Jakarta masih terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan menetapkan kriteria geometrik jalan, tata guna lahan, dan kepadatan aktivitas menggunakan AHP, kemudian melakukan pemeringkatan lokasi persimpangan dengan TOPSIS berdasarkan kedekatannya terhadap solusi ideal. Dengan pendekatan ini, diharapkan dapat dihasilkan rekomendasi lokasi prioritas penerapan ITCS yang objektif, valid, dan relevan untuk mendukung kebijakan pengelolaan lalu lintas di Kota Jakarta secara berkelanjutan.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk: (1) Menentukan kriteria dan sub-kriteria untuk prioritas lokasi ITCS di Jakarta. (2) Menentukan pembobotan kriteria dan sub-kriteria. (3) Menentukan Peringkat prioritas lokasi ITCS di Jakarta.

Metode Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan lokasi prioritas penerapan Intelligent Traffic Control System (ITCS) pada persimpangan bersinyal di Jakarta yang selama ini masih ditetapkan secara subjektif dan belum berbasis analisis prioritas yang komprehensif. Mengingat kompleksitas permasalahan lalu lintas perkotaan serta keterbatasan sumber daya, penentuan lokasi ITCS dipandang sebagai permasalahan pengambilan keputusan multikriteria yang melibatkan faktor geometrik jalan, tata guna lahan, dan kepadatan aktivitas. Oleh karena itu, penelitian ini menerapkan pendekatan hybrid Analytical Hierarchy Process (AHP) dan Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) untuk menghasilkan keputusan yang lebih objektif, sistematis, dan berbasis data.

Metode AHP digunakan untuk menentukan bobot kepentingan relatif dari setiap kriteria dan subkriteria melalui teknik perbandingan berpasangan dengan skala 1–9, serta dilengkapi dengan pengujian konsistensi guna memastikan keandalan penilaian responden. Penyusunan struktur hierarki AHP mengacu pada sintesis temuan empiris penelitian Area Traffic Control System (ATCS) di Kota Ambon oleh Hendriks dan Andani (2024) [11], yang mengidentifikasi geometrik jalan, tata guna lahan, dan kinerja jalan sebagai faktor dominan. Dalam konteks Jakarta, indikator kinerja jalan digantikan dengan kepadatan aktivitas sebagai proksi yang lebih terukur akibat keterbatasan akses data volume kendaraan real time. Pendekatan ini didasarkan pada asumsi bahwa tingginya aktivitas kawasan memiliki korelasi kuat dengan intensitas pergerakan kendaraan.

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui penyebaran kuesioner AHP kepada responden ahli dari Dinas Perhubungan DKI Jakarta yang memiliki kewenangan dan pengalaman dalam pengambilan keputusan serta implementasi ITCS dan sistem lampu lalu lintas konvensional. Penilaian ahli digunakan untuk menetapkan bobot kriteria dan subkriteria secara objektif. Sementara itu, data sekunder dikumpulkan dari dokumen teknis dan laporan Dinas Cipta Karya, Tata Ruang, dan Pertanahan DKI Jakarta, yang mencakup informasi geometrik jalan, tata guna lahan, dan kepadatan aktivitas pada persimpangan yang menjadi objek penelitian. Penggabungan kedua jenis data ini bertujuan untuk menghasilkan analisis yang komprehensif, valid, dan berbasis kondisi nyata di lapangan.

Setelah bobot kriteria diperoleh melalui AHP, metode TOPSIS digunakan untuk menentukan peringkat prioritas lokasi penerapan ITCS. TOPSIS mengevaluasi setiap alternatif berdasarkan kedekatannya dengan solusi ideal positif dan jaraknya dari solusi ideal negatif, di mana solusi ideal tersebut merupakan kondisi hipotetis terbaik dan terburuk dari seluruh kriteria secara simultan. Konsep ini merujuk pada pendekatan yang dikemukakan oleh Mvembe et al. (2025) [12] yang menyatakan bahwa alternatif terbaik adalah alternatif yang memiliki jarak minimum terhadap solusi ideal positif dan jarak maksimum terhadap solusi ideal negatif. Hasil akhir dari analisis TOPSIS berupa urutan prioritas persimpangan yang direkomendasikan untuk penerapan ITCS.

Dengan pendekatan hybrid AHP-TOPSIS ini, penelitian diharapkan mampu memberikan rekomendasi lokasi prioritas penerapan ITCS di Jakarta secara objektif dan terukur, serta dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan oleh Dishub DKI Jakarta dalam meningkatkan efisiensi lalu lintas, mengurangi kemacetan, dan mendukung upaya mitigasi dampak lingkungan perkotaan.

Hasil Dan Pembahasan

Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Penelitian ini berfokus pada penerapan Intelligent Traffic Control System (ITCS) di wilayah DKI Jakarta dengan empat lokasi utama, yaitu Persimpangan Sawah Besar, Persimpangan Cideng, Persimpangan KPU, dan Persimpangan Kampung Bali. Tujuan penelitian adalah membantu Dinas Perhubungan DKI Jakarta menentukan prioritas lokasi berikutnya yang paling membutuhkan intervensi ITCS dengan mempertimbangkan tiga kriteria utama, yaitu geometrik jalan, tata guna lahan, dan kepadatan aktivitas. Objek penelitian dipilih dari daftar persimpangan yang belum terintegrasi dengan ITCS, namun memiliki karakteristik yang berpotensi memberikan dampak signifikan apabila sistem ini diterapkan.

Geometrik jalan di Jakarta sangat bervariasi dan karakteristik tersebut berpengaruh langsung terhadap kompleksitas pengaturan lalu lintas serta kebutuhan akan ITCS. Data geometrik jalan diperoleh dari Dinas Cipta Karya, Tata Ruang, dan Pertanahan Provinsi DKI Jakarta. Persimpangan Cideng, misalnya, memiliki ruas Jalan Kyai Haji Hasyim Ashari, Jalan Cideng Barat, dan Jalan Cideng Timur dengan tipe jalan arteri dan jumlah jalur bervariasi. Persimpangan Sawah Besar melintasi ruas Jalan Kiai Haji Zainul Arifin, Jalan Sukarjo W, Jalan Hayam Wuruk, dan Jalan Gajah Mada, semuanya berstatus jalan arteri dengan jumlah jalur yang berbeda-beda. Persimpangan Kampung Bali mencakup Jalan Abdul Muis, KH. Fakrudin, Jatibaru, dan Kebon Sirih, dengan kombinasi tipe jalan kolektor dan arteri. Persimpangan KPU memiliki ruas Jalan Imam Bonjol dan Haji Oemar Said Cokrominoto dengan tipe jalan kolektor. Variasi geometrik jalan ini menjadi dasar pertimbangan dalam menentukan prioritas penerapan ITCS.

Tata guna lahan di sekitar persimpangan juga menjadi faktor penting karena mempengaruhi pola dan intensitas lalu lintas. Data tata guna lahan diperoleh dari DCKTRP Pemprov DKI Jakarta. Persimpangan Cideng didominasi kawasan komersial sebesar 72% dan lingkungan sebesar 20%, sedangkan Persimpangan Sawah Besar 80% komersial dan 19% lingkungan. Persimpangan Kampung Bali terdiri dari 76% komersial dan 18% kawasan umum, sedangkan Persimpangan KPU sebagian besar adalah kawasan lingkungan sebesar 80% dengan komersial hanya 13%. Perbedaan karakteristik tata guna lahan ini mencerminkan fluktuasi pergerakan lalu lintas yang berbeda di setiap persimpangan.

Kepadatan aktivitas menjadi indikator utama potensi beban lalu lintas di sekitar persimpangan. Data diperoleh melalui survei lapangan, mencatat jumlah fasilitas transportasi dan titik aktivitas. Persimpangan Cideng memiliki 10 fasilitas transportasi dan 49 titik aktivitas pada Jalan Kyai Haji Hasyim Ashari. Persimpangan Sawah Besar memiliki 9 fasilitas transportasi dengan 59 titik aktivitas di Jalan Kiai Haji Zainul Arifin. Persimpangan Kampung Bali memiliki 14 fasilitas transportasi dan 34 titik aktivitas di Jalan Abdul Muis, sementara Persimpangan KPU memiliki 9 fasilitas transportasi dan 24 titik aktivitas di Jalan Imam Bonjol. Data ini memberikan gambaran mengenai potensi kepadatan lalu lintas yang memerlukan pengaturan adaptif dari ITCS.

Pemilihan empat persimpangan tersebut bukan bersifat acak, melainkan berdasarkan pertimbangan operasional dan keterbatasan anggaran yang dimiliki Dinas Perhubungan DKI Jakarta. Setiap tahap implementasi ITCS dibatasi maksimal 4-5 persimpangan karena kompleksitas instalasi infrastruktur dan alokasi anggaran. Berdasarkan hasil rembukan internal Dishub, lokasi yang dipilih adalah persimpangan yang belum terintegrasi ITCS namun memiliki potensi dampak tinggi terhadap kelancaran lalu lintas, efisiensi rute, dan pengurangan

emisi. Persimpangan Cideng memiliki empat ruas jalan dengan empat unit lampu lalu lintas, Persimpangan Sawah Besar empat ruas jalan dengan dua unit lampu lalu lintas, Persimpangan Kampung Bali empat ruas jalan dengan satu unit lampu, dan Persimpangan KPU empat ruas jalan dengan dua unit lampu lalu lintas. Keempat lokasi ini menjadi kandidat prioritas untuk penelitian lebih lanjut terkait penerapan ITCS guna mengoptimalkan alokasi sumber daya dan dampak pengaturan lalu lintas di Jakarta.

Analisis AHP Menggunakan Expert Choice

Analisis AHP bertujuan untuk menentukan bobot dari setiap kriteria dan subkriteria yang digunakan dalam menetapkan prioritas rehabilitasi. Metode AHP berfungsi untuk memecah permasalahan kompleks menjadi struktur hierarki yang lebih sederhana, yang mencakup kriteria utama beserta subkriteria yang relevan. Setiap kriteria kemudian dibandingkan secara berpasangan guna memperoleh bobot masing-masing. Proses perhitungan AHP juga mencakup uji konsistensi melalui Consistency Ratio (CR) untuk memastikan bahwa perbandingan berpasangan dilakukan secara konsisten. Bobot kriteria yang diperoleh selanjutnya digunakan sebagai input dalam analisis TOPSIS.

Pengumpulan Data Kuesioner

Kuesioner dibuat berdasarkan struktur hierarki AHP untuk memperoleh penilaian atau *expert judgement* mengenai kepentingan relatif antara kriteria dan sub-kriteria dalam menentukan prioritas lokasi penerapan Intelligent Traffic Control System (ITCS) di Jakarta. Kuesioner disusun menggunakan skala perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*) menurut metode Saaty dan hanya disebarakan kepada responden yang memenuhi kriteria khusus, yaitu memiliki keahlian di bidang Intelligent Transportation System (ITS), pengalaman langsung dalam perencanaan atau evaluasi sistem pengaturan lalu lintas, serta keterlibatan dalam pengambilan keputusan terkait prioritas lokasi ITCS. Berdasarkan kriteria ini, kuesioner diberikan kepada lima ahli dari Dinas Perhubungan DKI Jakarta yang dipilih secara purposive sampling agar mewakili berbagai aspek keahlian dan kewenangan. Hasil penilaian dari seluruh responden direkapitulasi untuk menghasilkan matriks perbandingan berpasangan yang konsisten. Data rekapitulasi menunjukkan nilai total dan *geometric mean* untuk setiap perbandingan antar kriteria dan sub-kriteria, yang kemudian digunakan sebagai input utama dalam metode AHP untuk menetapkan bobot kepentingan masing-masing kriteria secara sistematis dan terstruktur. Kuesioner yang terkumpul dan valid menunjukkan bahwa data telah memenuhi kebutuhan analisis dan siap digunakan dalam proses penentuan prioritas lokasi ITCS.

Perbandingan Berpasangan

Nilai perbandingan dari kuesioner kemudian diubah menjadi narasi untuk menjelaskan tingkat kepentingan relatif antar kriteria dan sub-kriteria. Berdasarkan penilaian lima ahli dari Dinas Perhubungan DKI Jakarta, tiga kriteria utama, yaitu Geometrik Jalan, Tata Guna Lahan, dan Kepadatan Aktivitas, memiliki tingkat kepentingan yang berbeda satu sama lain. Geometrik Jalan menempati posisi penting dengan nilai 1,00 terhadap dirinya sendiri, 3,50 lebih penting dibanding Tata Guna Lahan, dan 1,72 dibanding Kepadatan Aktivitas. Tata Guna Lahan memiliki kepentingan 1,00 terhadap dirinya sendiri, namun lebih rendah dibanding Geometrik Jalan dan Kepadatan Aktivitas, dengan nilai 0,29 dan 0,23. Sedangkan Kepadatan Aktivitas memiliki kepentingan 1,00 terhadap dirinya sendiri, 0,58 dibanding Geometrik Jalan, dan 4,35 dibanding Tata Guna Lahan. Total penjumlahan nilai masing-masing kriteria adalah 1,87 untuk Geometrik Jalan, 8,85 untuk Tata Guna Lahan, dan 2,95 untuk Kepadatan Aktivitas, menunjukkan distribusi bobot kepentingan yang digunakan sebagai dasar dalam analisis AHP.

Untuk sub-kriteria Geometrik Jalan, tiga komponen yang dianalisis adalah Fungsi Jalan, Tipe Jalan, dan Jarak menuju persimpangan terdekat. Fungsi Jalan memiliki nilai 1,00 terhadap dirinya sendiri, 1,10 lebih penting dibanding Tipe Jalan, dan 0,64 dibanding Jarak menuju persimpangan terdekat. Tipe Jalan memiliki kepentingan 1,00 terhadap dirinya sendiri, 0,28 dibanding Jarak menuju persimpangan terdekat, dan 0,91 dibanding Fungsi Jalan. Sedangkan Jarak menuju persimpangan terdekat memiliki nilai 1,00 terhadap dirinya sendiri, 1,56 dibanding Fungsi Jalan, dan 3,52 dibanding Tipe Jalan. Total penjumlahan masing-masing sub-kriteria adalah 3,47 untuk Fungsi Jalan, 5,62 untuk Tipe Jalan, dan 1,93 untuk Jarak menuju persimpangan terdekat, menunjukkan bobot relatif masing-masing sub-kriteria dalam Geometrik Jalan.

Untuk sub-kriteria Tata Guna Lahan, empat komponen yang dianalisis adalah Kawasan Komersial, Kawasan Industri, Kawasan Permukiman, dan Kawasan Umum. Kawasan Komersial menempati nilai 1,00 terhadap dirinya sendiri, lebih tinggi dibanding Kawasan Industri 4,36, Kawasan Permukiman 4,83, dan Kawasan Umum 5,16. Kawasan Industri memiliki kepentingan 1,00 terhadap dirinya sendiri, 0,23 dibanding Kawasan Komersial, 1,55 dibanding Kawasan Permukiman, dan 0,80 dibanding Kawasan Umum. Kawasan Permukiman memiliki nilai 1,00 terhadap dirinya sendiri, 0,21 dibanding Kawasan Komersial, 0,65 dibanding Kawasan Industri, dan 1,10 dibanding Kawasan Umum. Kawasan Umum memiliki nilai 1,00 terhadap dirinya sendiri, 0,19 dibanding Kawasan Komersial, 1,25 dibanding Kawasan Industri, dan 0,91 dibanding Kawasan Permukiman. Total penjumlahan nilai masing-masing sub-kriteria adalah 1,63 untuk Kawasan Komersial, 7,25 untuk Kawasan

Industri, 8,29 untuk Kawasan Permukiman, dan 8,07 untuk Kawasan Umum, yang mencerminkan bobot relatif dari setiap sub-kriteria Tata Guna Lahan.

Untuk sub-kriteria Kepadatan Aktivitas, terdapat dua komponen utama, yaitu Jumlah Fasilitas Transportasi dan Jumlah Titik Aktivitas. Jumlah Fasilitas Transportasi memiliki nilai 1,00 terhadap dirinya sendiri dan 7,24 dibanding Jumlah Titik Aktivitas. Jumlah Titik Aktivitas memiliki nilai 1,00 terhadap dirinya sendiri dan 0,14 dibanding Jumlah Fasilitas Transportasi. Total penjumlahan nilai masing-masing sub-kriteria adalah 1,14 untuk Jumlah Fasilitas Transportasi dan 8,24 untuk Jumlah Titik Aktivitas, menunjukkan bobot kepentingan relatif masing-masing sub-kriteria dalam Kepadatan Aktivitas.

Dengan demikian, seluruh kriteria dan sub-kriteria telah diuraikan dalam bentuk narasi berdasarkan hasil *geometric mean* dari penilaian lima ahli Dishub DKI Jakarta, yang menjadi dasar perhitungan bobot dalam metode AHP.

Normalisasi dan Bobot Rerata Kriteria

Hasil normalisasi dan pembobotan kriteria serta sub-kriteria ITCS di Jakarta dapat dijelaskan secara naratif sebagai berikut. Setelah nilai perbandingan dari kuesioner dikonversi menjadi proporsi standar melalui proses normalisasi, diperoleh distribusi bobot yang valid untuk setiap kriteria dan sub-kriteria. Tiga kriteria utama, yaitu Geometrik Jalan, Tata Guna Lahan, dan Kepadatan Aktivitas, memiliki nilai normalisasi masing-masing 0,54; 0,40; dan 0,58 untuk Geometrik Jalan, 0,15; 0,11; dan 0,08 untuk Tata Guna Lahan, serta 0,31; 0,49; dan 0,34 untuk Kepadatan Aktivitas, dengan total setiap kolom mencapai 1,00. Hal ini menunjukkan bahwa proses normalisasi berhasil dan dapat digunakan untuk menghitung bobot prioritas secara konsisten.

Pada sub-kriteria Geometrik Jalan, Fungsi Jalan memiliki nilai normalisasi 0,29 terhadap dirinya sendiri, 0,20 dibanding Tipe Jalan, dan 0,33 dibanding Jarak menuju persimpangan terdekat. Tipe Jalan memiliki nilai 0,26, 0,18, dan 0,15 terhadap Fungsi Jalan, Tipe Jalan, dan Jarak menuju persimpangan terdekat, sedangkan Jarak menuju persimpangan terdekat memiliki nilai 0,45, 0,63, dan 0,52. Total nilai kolom masing-masing sub-kriteria mencapai 1,00, menunjukkan normalisasi yang valid. Sub-kriteria Tata Guna Lahan menunjukkan pola serupa, dengan Kawasan Komersial menempati nilai tertinggi 0,61–0,64 terhadap sub-kriteria lainnya, diikuti Kawasan Industri, Kawasan Permukiman, dan Kawasan Umum, yang total normalisasinya juga 1,00. Pada Kepadatan Aktivitas, Jumlah Fasilitas Transportasi memiliki nilai normalisasi dominan 0,88, sedangkan Jumlah Titik Aktivitas hanya 0,12, total kolom juga mencapai 1,00.

Langkah berikutnya adalah pembobotan untuk menentukan kontribusi masing-masing kriteria dan sub-kriteria. Pada kriteria utama, Geometrik Jalan memiliki bobot tertinggi sebesar 50%, Kepadatan Aktivitas sebesar 38%, dan Tata Guna Lahan sebesar 11%, menandakan bahwa karakteristik geometrik jalan menjadi faktor paling kritis dalam menentukan lokasi prioritas ITCS, diikuti oleh kepadatan aktivitas, sementara tata guna lahan memiliki pengaruh lebih rendah. Pada sub-kriteria Geometrik Jalan, Jarak menuju persimpangan terdekat mendominasi dengan bobot 53%, diikuti Fungsi Jalan 27% dan Tipe Jalan 20%, yang menunjukkan bahwa jarak antar-persimpangan sangat menentukan koordinasi sinyal dan risiko antrean kendaraan. Untuk sub-kriteria Tata Guna Lahan, Kawasan Komersial paling dominan dengan bobot 61%, disusul Kawasan Industri 14%, Kawasan Umum 13%, dan Kawasan Permukiman 12%, menandakan bahwa persimpangan di dekat kawasan komersial lebih mendesak untuk penerapan ITCS karena karakteristik lalu lintasnya yang tinggi dan fluktuatif. Pada sub-kriteria Kepadatan Aktivitas, Jumlah Fasilitas Transportasi mendominasi dengan bobot 88%, sedangkan Jumlah Titik Aktivitas hanya 12%, yang menegaskan pentingnya keberadaan infrastruktur transportasi publik sebagai faktor utama dalam menentukan prioritas implementasi ITCS, karena secara langsung mempengaruhi kompleksitas arus lalu lintas di persimpangan.

Dengan demikian, hasil normalisasi dan pembobotan menunjukkan secara jelas prioritas relatif kriteria dan sub-kriteria, memberikan dasar yang sistematis dan konsisten bagi pengambilan keputusan untuk penentuan lokasi prioritas ITCS di DKI Jakarta.

Evaluasi Konsistensi

Tahapan Penentuan konsistensi dalam metode AHP bertujuan untuk memverifikasi sejauh mana penilaian subjektif yang diberikan dalam matriks perbandingan berpasangan bersifat logis dan tidak kontradiktif, mengingat preferensi manusia cenderung mengandung inkonsistensi dalam penilaian relatif. Menurut standar Saaty, suatu matriks dianggap konsisten jika nilai $CR \leq 0,10$ bila melebihi nilai ini, penilaian perlu direvisi karena menunjukkan inkonsistensi yang signifikan, yang dapat mengurangi keandalan bobot prioritas yang dihasilkan. Dengan demikian, uji konsistensi berperan krusial sebagai quality check dalam AHP untuk memastikan validitas dan ketepatan hasil pengambilan keputusan. Konsistensi diukur melalui *Consistency Index* (CI), yang dihitung dengan rumus berikut.

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

Berikut rekapitulasi evaluasi konsistensi terhadap sub kriteria yang telah dilakukan.

Tabel 1. Nilai CR Sub Kriteria ITCS

Kriteria	CR	Keterangan
Geometrik Lahan	0.03	Konsisten
Tata Guna lahan	0.02	Konsisten
Kepadatan Aktivitas	0.00	Konsisten

Hasil evaluasi konsistensi menunjukkan bahwa seluruh matriks perbandingan berpasangan pada level kriteria memiliki CR maksimal 0,03, di bawah ambang kritis 0,10. Hal ini membuktikan bahwa penilaian 5 ahli dari Dishub DKI Jakarta bersifat logis, koheren, dan bebas dari bias, sehingga bobot AHP yang dihasilkan memiliki validitas tinggi dan layak dijadikan dasar pengambilan keputusan.

Rekapitulasi Bobot AHP

Bobot yang telah diperoleh dari perhitungan AHP untuk kriteria dan sub-kriteria disajikan dalam bentuk tabel untuk memudahkan interpretasi serta visualisasi hierarki kepentingan.

Tabel 2. Rekapitulasi Bobot AHP

Kriteria	Bobot	Sub Kriteria	Bobot
Geometrik Lahan	50%	Fungsi Jalan	27%
		Tipe Jalan	20%
		Jarak menuju persimpangan terdekat	53%
Tata Guna lahan	11%	Kawasan Komersial	61%
		Kawasan Industri	14%
		Kawasan Permukiman	12%
		Kawasan Umum	13%
Kepadatan Aktivitas	38%	Jumlah Fasilitas Transportasi	88%
		Jumlah Titik Aktivitas	12%

Berdasarkan penilaian 5 ahli Dishub DKI Jakarta, Geometrik Jalan (50%) dan Kepadatan Aktivitas (38%) menjadi dua kriteria dominan dalam penentuan lokasi prioritas ITCS, sementara Tata Guna Lahan (11%) berperan pendukung. Secara lebih spesifik, dua subkriteria menyumbang bobot terbesar yaitu Jumlah Fasilitas Transportasi (88%) dan Kawasan Komersial (61%), yang mengonfirmasi bahwa prioritas ITCS di Jakarta harus diarahkan pada persimpangan kondisi yang berisiko tinggi terhadap *queue spillback* dan konflik lalu lintas. Temuan ini tidak hanya memvalidasi sebagai prioritas utama, tetapi juga memberikan kerangka objektif bagi Dishub dalam menyusun SOP alokasi ITCS berbasis bukti, transparan, dan tahan terhadap bias subjektif.

Analisis TOPSIS

Pada tahap ini dilakukan proses pemeringkatan lokasi penerapan ITCS di empat persimpangan berdasarkan bobot kriteria yang telah diperoleh dari hasil analisis AHP. Prosedur dimulai dengan melakukan normalisasi matriks keputusan, di mana data dikonversi menjadi bentuk tanpa dimensi agar dapat dibandingkan secara objektif. Selanjutnya, metode TOPSIS digunakan untuk menentukan solusi ideal positif dan negatif dari setiap kriteria. Solusi ideal positif menggambarkan kondisi terbaik, sedangkan solusi ideal negatif menunjukkan kondisi terburuk. Setelah itu, dihitung jarak antara masing-masing alternatif terhadap kedua solusi tersebut, dan nilai preferensi diperoleh untuk menentukan urutan prioritas lokasi penerapan ITCS.

Normalisasi Matriks Keputusan

Dalam pembentukan matriks keputusan, setiap persimpangan diberikan nilai untuk masing-masing kriteria dan subkriteria berdasarkan data kualitatif maupun kuantitatif yang tersedia. Semua subkriteria yang bersifat kualitatif dan kuantitatif akan dilakukan konversi ke dalam bentuk skala penilaian agar dapat diolah secara numerik. Contoh: Jumlah fasilitas transportasi: >20 = skor 5. Semakin banyak, semakin tinggi kebutuhan koordinasi ITCS. Rentang nilai dari skala penilaian tersebut ditunjukkan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Skala Kriteria dan Sub Kriteria ITCS

No.	Kriteria dan Sub Kriteria	Sangat tidak sesuai	Tidak sesuai	Sedang	Sesuai	Sangat sesuai
		skor 1	skor 2	skor 3	skor 4	skor 5
Geometrik Jalan						
1.	Fungsi jalan	-	Jalan lingkungan	Jalan lokal	Jalan kolektor	Jalan arteri
	Tipe jalan			1/1 ST	2/1 T	2/2 TT
	Jarak menuju persimpangan terdekat	300 M	350 M	400 M	500 M	550 M
Tata Guna Lahan						
2.	Kawasan Komersial	< 20%	20 - 40%	50-60%	70-80%	> 80%
	Kawasan Umum	< 20%	20 - 40%	50-60%	70-80%	> 80%
	Kawasan Industri	< 20%	20 - 40%	50-60%	70-80%	> 80%

	Kawasan Permukiman	< 20%	20 - 40%	50-60%	70-80%	> 80%
Kepadatan Aktivitas						
3.	Jumlah fasilitas transportasi	< 3	4-9	10-19	> 20	
	Jumlah titik aktivitas	< 3	4-9	10-19	> 20	

Tabel 3 menunjukkan bahwa nilai setiap kriteria dan sub-kriteria pada Tabel 4.22 diolah menjadi matriks keputusan untuk masing-masing alternatif. Ringkasan nilai dari seluruh alternatif tersebut kemudian ditampilkan pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Matriks Keputusan Alternatif

Persimpangan	Jarak menuju persimpangan terdekat	Fungsi Jalan	Tipe Jalan	Kawasan Komersial	Kawasan Industri	Kawasan Permukiman	Kawasan Umum	Jumlah Fasilitas Transportasi	Jumlah Titik Aktivitas
Persimpangan Cideng	4	15	11	11	3	5	4	8	12
Persimpangan Sawah Besar	5	20	15	18	4	7	4	9	17
Persimpangan Kampung Bali	3	18	15	16	4	4	5	11	13
Persimpangan KPU	3	8	8	2	2	8	2	6	8

Tabel 4. menyajikan nilai mentah dari keempat persimpangan terhadap sembilan subkriteria, sebelum proses normalisasi. Nilai-nilai ini diperoleh melalui konversi data kualitatif dan kuantitatif ke dalam skala penilaian ordinal 1–5, sebagaimana diatur dalam Tabel 4, lalu dikalikan dengan bobot komponen masing-masing.

Matriks keputusan alternatif pada Tabel 4 selanjutnya dinormalisasi, dan hasil proses normalisasi tersebut disajikan pada Tabel 5 berikut. Proses normalisasi ini dilakukan untuk menyetarakan skala setiap kriteria agar dapat dibandingkan secara objektif. Dengan demikian, seluruh nilai pada masing-masing alternatif berada pada rentang yang sama sehingga analisis perhitungan TOPSIS dapat dilakukan secara lebih akurat.

Tabel 5. Normalisasi Matriks Keputusan Alternatif

Persimpangan	Jarak menuju persimpangan terdekat	Fungsi Jalan	Tipe Jalan	Kawasan Komersial	Kawasan Industri	Kawasan Permukiman	Kawasan Umum	Jumlah Fasilitas Transportasi	Jumlah Titik Aktivitas
Persimpangan Cideng	0.52	0.47	0.44	0.41	0.45	0.40	0.51	0.46	0.46
Persimpangan Sawah Besar	0.65	0.63	0.60	0.68	0.60	0.56	0.51	0.52	0.66
Persimpangan Kampung Bali	0.39	0.57	0.60	0.60	0.60	0.32	0.64	0.63	0.50
Persimpangan KPU	0.39	0.25	0.32	0.08	0.30	0.64	0.26	0.35	0.31

Proses normalisasi dengan menghilangkan dimensi dan menyetarakan skala semua kriteria, sehingga tidak ada kriteria yang mendominasi hanya karena skalanya besar. Contoh: Persimpangan Sawah Besar memperoleh nilai normalisasi tertinggi pada 6 dari 9 subkriteria. Jarak (0.65), Fungsi Jalan (0.63), Tipe Jalan (0.60), Kawasan Komersial (0.68), Kawasan Industri (0.56), dan Jumlah Titik Aktivitas (0.66). Ini mencerminkan dominasi Persimpangan Sawah Besar secara holistik dari aspek infrastruktur (geometrik), lingkungan (tata guna lahan), maupun aktivitas (kepadatan).

Bobot Kriteria yang Digunakan

Bobot kriteria yang diperoleh dari analisis AHP digunakan dalam tahapan TOPSIS. Bobot tersebut kemudian diaplikasikan pada matriks keputusan untuk menghasilkan perhitungan prioritas dan hasil bobot normalisasi matriks disajikan pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Bobot Normalisasi Matriks Keputusan Alternatif

Persimpangan	Jarak menuju persimpangan terdekat	Fungsi Jalan	Tipe Jalan	Kawasan Komersial	Kawasan Industri	Kawasan Permukiman	Kawasan Umum	Jumlah Fasilitas Transportasi	Jumlah Titik Aktivitas
Persimpangan Cideng	0.28	0.13	0.09	0.25	0.06	0.05	0.07	0.40	0.06
Persimpangan Sawah Besar	0.35	0.17	0.12	0.41	0.08	0.07	0.07	0.46	0.08
Persimpangan Kampung Bali	0.21	0.15	0.12	0.37	0.08	0.04	0.08	0.56	0.06
Persimpangan KPU	0.21	0.07	0.06	0.05	0.04	0.08	0.03	0.30	0.04

Hasil perkalian nilai ternormalisasi Tabel 6 dengan bobot AHP Tabel 4.20, menghasilkan kontribusi relatif tiap sub kriteria terhadap total penilaian. Menggabungkan bobot AHP dan skor aktual. Contoh: Kawasan

Komersial Sawah Besar memperoleh nilai tertinggi 0,41 karena bobot sub kriteria memperoleh nilai 0.60 dan bobot kriteria AHP memperoleh nilai 0.61.

Identifikasi Solusi Ideal Positif dan Negatif

Analisis selanjutnya dilakukan untuk menentukan solusi ideal positif dan solusi ideal negatif berdasarkan kriteria yang telah diberikan bobot dapat dilihat pada Tabel 7 berikut.

Tabel 7. Nilai Solusi Ideal Positif dan Solusi Ideal Negatif

Solusi Ideal+	0.35	0.17	0.12	0.41	0.08	0.08	0.08	0.56	0.08
Solusi Ideal -	0.21	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.30	0.04

Solusi Ideal+ : Kondisi terbaik hipotetis dengan nilai maksimum. Contoh: Jumlah Fasilitas Transportasi memperoleh nilai 0,56 pada Persimpangan Kampung Bali dan Kawasan Komersial memperoleh nilai 0,41 pada Persimpangan Sawah Besar

Solusi Ideal - : Kondisi terburuk hipotetis dengan nilai minimum. Contoh: Jumlah Fasilitas Transportasi memperoleh nilai 0,30 pada Persimpangan KPU dan Kawasan Komersial memperoleh nilai 0,05 pada Persimpangan KPU.

Hasil ini mengonfirmasi bahwa acuan mutlak untuk mengukur kedekatan relatif berdasarkan batas atas dan batas bawah.

Perhitungan Jarak dan Nilai Preferensi

Pada tahap ini dilakukan perhitungan jarak setiap alternatif terhadap solusi ideal positif (Di^+) dan solusi ideal negatif (Di^-) serta nilai *closeness coefficient* (CCi). Hasil perhitungan tersebut menjadi dasar dalam penentuan peringkat prioritas ITCS di Jakarta. Tabel 8 menyajikan ringkasan nilai (Di^+), (Di^-), dan CCi . Penetapan prioritas dilakukan berdasarkan nilai CCi , dimulai dari nilai tertinggi sebagai prioritas utama hingga nilai terendah sebagai prioritas akhir.

Tabel 8. Nilai Jarak Solusi Ideal Positif, Solusi Ideal Negatif dan CCi

Alternatif	(Di^+)	(Di^-)	CCi	Peringkat
Persimpangan Cideng	0.242	0.253	0.511	3
Persimpangan Sawah Besar	0.103	0.443	0.811	1
Persimpangan Kampung Bali	0.153	0.427	0.736	2
Persimpangan KPU	0.488	0.039	0.073	4

Di^+ : Jarak ke kondisi terbaik. Sawah Besar memperoleh nilai 0,103 (terkecil).

Di^- : Jarak ke kondisi terburuk. KPU memperoleh nilai 0,039 (terkecil).

CCi : Sawah Besar memperoleh nilai 0,811 yang mendekati solusi ideal sehingga menempati peringkat 1. Sebaliknya, KPU hanya memiliki nilai 0,073, sehingga berada pada peringkat 4 .

Hasil ini mengonfirmasi bahwa penentuan peringkat tidak semata-mata didasarkan pada siapa yang memiliki skor tertinggi, melainkan pada tingkat optimalitas alternatif relatif terhadap batas ekstrem.

Simpulan

Hasil penelitian mengenai penentuan lokasi prioritas penerapan Intelligent Traffic Control System (ITCS) di Jakarta menggunakan metode hybrid AHP dan TOPSIS menunjukkan beberapa temuan penting. Pertama, kriteria dan subkriteria yang relevan untuk menentukan prioritas lokasi berhasil diidentifikasi dan divalidasi dengan mempertimbangkan konteks operasional lalu lintas perkotaan serta keterbatasan data yang tersedia. Tiga kriteria utama yang digunakan adalah geometrik jalan, tata guna lahan, dan kepadatan aktivitas. Kriteria-kriteria ini dijabarkan lebih lanjut menjadi sembilan sub-kriteria, yaitu Fungsi Jalan, Tipe Jalan, dan Jarak menuju Persimpangan Terdekat untuk Geometrik Jalan; Kawasan Komersial, Kawasan Industri, Kawasan Permukiman, dan Kawasan Umum untuk Tata Guna Lahan; serta Jumlah Fasilitas Transportasi dan Jumlah Titik Aktivitas untuk Kepadatan Aktivitas. Pemilihan kriteria dan sub-kriteria ini didasarkan pada kemampuan mereka merepresentasikan aspek infrastrukural dan fungsional yang secara empiris memengaruhi kompleksitas lalu lintas dan urgensi penerapan sistem adaptif seperti ITCS.

Kedua, pembobotan kriteria dan sub-kriteria dilakukan melalui metode AHP dengan mengacu pada penilaian ahli dari lima responden di Dishub DKI Jakarta. Analisis menunjukkan bahwa Geometrik Jalan merupakan kriteria paling dominan dengan bobot 50%, diikuti Kepadatan Aktivitas sebesar 38% dan Tata Guna Lahan sebesar 11%. Pada tingkat sub-kriteria, Jumlah Fasilitas Transportasi memegang peran paling signifikan dengan kontribusi 88% dari kriteria Kepadatan Aktivitas, Kawasan Komersial memiliki bobot 61% dari kriteria Tata Guna Lahan, dan Jarak menuju Persimpangan Terdekat mendominasi sub-kriteria Geometrik Jalan dengan bobot 53%. Seluruh

matriks perbandingan berpasangan telah memenuhi uji konsistensi, sehingga bobot yang dihasilkan dapat dianggap valid dan dapat dijadikan dasar pengambilan keputusan.

Ketiga, hasil perankingan lokasi prioritas ITCS untuk keempat persimpangan yang diteliti diperoleh menggunakan metode TOPSIS berbasis bobot AHP. Berdasarkan nilai closeness coefficient (CC_i), Persimpangan Sawah Besar menempati peringkat pertama dengan CC_i sebesar 0,811, menunjukkan kedekatan terbesar dengan solusi ideal positif. Peringkat kedua ditempati Persimpangan Kampung Bali dengan $CC_i=0,736$, disusul Persimpangan Cideng dengan $CC_i=0,511$, dan Persimpangan KPU pada posisi terakhir dengan $CC_i=0,073$. Peringkat ini memberikan indikasi objektif mengenai lokasi mana yang paling mendesak untuk menerima intervensi ITCS, sekaligus memperlihatkan secara jelas perbedaan prioritas antar lokasi berdasarkan kombinasi faktor geometrik jalan, tata guna lahan, dan kepadatan aktivitas.

Dengan demikian, penelitian ini berhasil menghasilkan struktur kriteria dan sub-kriteria yang valid, pembobotan yang konsisten, serta rekomendasi lokasi prioritas ITCS yang terukur secara sistematis, sehingga dapat menjadi panduan strategis bagi Dinas Perhubungan DKI Jakarta dalam merencanakan penerapan sistem kontrol lalu lintas adaptif.

Daftar Pustaka

- [1] R. T. Sukma, *Dampak Pembangunan IKN Terhadap Kepadatan Penduduk di Jakarta Pusat*. 2022.
- [2] S. Purwanto, S. Haq, and S. N. Yanti, "Analisis Kinerja Simpang Tak Bersinyal Jalan Raya Pandeglang - Jalan Amd Lintas Tim - Jalan Raya Serang - Pandeglang," *Structure*, vol. 4, no. 1, p. 26, 2023, doi: 10.31000/civil.v4i1.8043.
- [3] M. G. Brilliant, R. Raja, S. Meilala, and D. Herwanis, *Manajemen Transportasi: Kerugian Transportasi Akibat Kemacetan Lalu Lintas di Aceh*. 2024.
- [4] Bekiryazici, "Assessing the Positioning of Rainwater Harvesting Systems in Recep Tayyip Erdoğan University Campuses Using Multi-Criteria Decision-Making Methods," *Adv. Res.*, vol. 25, no. 1, pp. 48–53, 2024, doi: 10.9734/air/2024/v25i11017.
- [5] A. Noor Rahmah and N. Kusuma Ningrat, "Penentuan Moda Transportasi Untuk Efisiensi Biaya Kirim Dengan Metode AHP Pada IKM Kerupuk Idaman Ciamis," *Jurnal Industrial Galuh*, vol. 2, no. 2, pp. 71–79, 2023, doi: 10.25157/jig.v2i2.2969.
- [6] M. Tavana, M. Soltanifar, and F. J. Santos-Arteaga, "Analytical Hierarchy Process: Revolution and Evolution," *Ann. Oper. Res.*, vol. 326, no. 2, 2023, doi: 10.1007/s10479-021-04432-2.
- [7] M. Madanchian and H. Taherdoost, "A Comprehensive Guide to the TOPSIS Method for Multi-Criteria Decision Making," *Sustainable Social Development*, vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2023, doi: 10.54517/ssd.v1i1.2220.
- [8] I. Jaelani, I. Kaniawulan, L. Sri, A. Muni, and A. Mahendra, "Implementation of the Analytical Hierarchy Process (AHP) Method to Support Selection of HCI Life Insurance Products," vol. 5, no. 1, pp. 107–115, 2024.
- [9] V. Liern and B. Pérez-Gladish, "Multiple Criteria Ranking Method Based on Functional Proximity Index: Un-weighted TOPSIS," *Ann. Oper. Res.*, vol. 311, no. 2, pp. 1099–1121, 2022, doi: 10.1007/s10479-020-03718-1.
- [10] F. A. Damanik, "Metode SAW dan TOPSIS dalam Sistem Pendukung Keputusan: Tinjauan Literatur Sistematis," pp. 108–118, 2023.
- [11] P. Y. Hendriks and I. G. A. Andani, "Analisis penerapan Area Traffic Control System (ATCS) di Pusat Kota Ambon," *Jurnal Komposit*, vol. 8, no. 1, pp. 139–146, 2024, doi: 10.32832/komposit.v8i1.14894.
- [12] A. A. Mvembe, T. Tawanda, G. Muzuka, and I. Jenje, "Multi-Criteria Optimisation of Landfill Site Selection Using AHP-TOPSIS-SWARA: A Case Study of Chegutu Municipality," vol. 15, no. 5, pp. 168–194, 2025, doi: 10.4236/ajor.2025.155009.