

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Studi Sebelumnya

Perkembangan implementasi metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP) dalam sistem pengambilan keputusan operasional logistik telah menunjukkan kemajuan signifikan dalam dekade terakhir. Berbagai penelitian telah membuktikan efektivitas AHP dalam menyelesaikan permasalahan multikriteria, khususnya dalam konteks operasi logistik dan manajemen rantai pasok. Integrasi AHP dengan teknologi informasi berbasis web kemudian membuka dimensi baru dalam pengembangan sistem pengambilan keputusan yang lebih aksesibel dan transparan.

Kompleksitas analisis dan optimasi sistem logistik modern dikaji oleh Amjath dkk. [7] yang melakukan *systematic literature review* mengenai queueing network models untuk analisis dan optimasi *Material Handling Systems* (MHS). Penelitian ini meninjau lebih dari 60 publikasi untuk memahami penerapan model jaringan antrian dalam mengevaluasi performa dan meningkatkan efisiensi sistem penanganan material. Hasil penelitian menunjukkan bahwa MHS merupakan bagian vital dari fungsi logistik yang memengaruhi efisiensi operasional gudang dan pusat distribusi. Kajian ini menegaskan bahwa pendekatan antrian berperan penting dalam pengembangan multikriteria Sistem Pengambilan Keputusan yang mendukung efisiensi pengelolaan arus barang, relevan dengan upaya penelitian ini dalam mengintegrasikan konsep AHP pada konteks antrian LCL.

Perkembangan komprehensif penerapan AHP dalam domain transportasi dikaji oleh Kriswardhana dkk. [8] melalui *systematic literature review* terhadap 2659 dokumen ilmiah yang dipublikasikan antara tahun 2000-2022. Penelitian ini menggunakan kombinasi bibliometric analysis dan systematic review untuk mengidentifikasi tema dan tren penggunaan AHP dalam pengambilan keputusan transportasi selama dua dekade. Hasil kajian menunjukkan bahwa AHP menjadi metode *Multi Criteria Decision Making* (MCDM) yang paling dominan digunakan dalam sektor transportasi, dengan sub-tema utama meliputi pemilihan lokasi infrastruktur logistik, analisis dampak lingkungan, pencegahan kecelakaan, dan pengembangan infrastruktur transportasi. Studi ini juga mengidentifikasi tren hybrid models yang menggabungkan AHP dengan metode lain

seperti fuzzy-AHP, TOPSIS, dan Delphi untuk meningkatkan ketepatan dan reliabilitas hasil keputusan. Temuan ini memperkuat pemilihan AHP sebagai metode utama dalam penelitian ini, karena terbukti efektif menangani kompleksitas multikriteria dalam berbagai konteks operasional transportasi dan logistik, termasuk pengelolaan antrian dan prioritas layanan.

Dalam konteks optimasi infrastruktur logistik, Georgoulas dkk. [9] mengembangkan Sistem Pengambilan Keputusan (SPK) berbasis AHP untuk pemilihan pelabuhan dengan pendekatan *multi source decision support system*. Penelitian ini menunjukkan bahwa AHP merupakan prosedur yang kuat untuk melakukan ranking options dan mendukung pengambilan keputusan multikriteria dalam menentukan pelabuhan optimal bagi operator pelayaran. Sistem yang dikembangkan sebagai bagian dari proyek *ENIRISST* berhasil mengintegrasikan berbagai kriteria operasional seperti fasilitas pelabuhan, kedalaman, konektivitas, waktu kapal di pelabuhan, dan kedekatan dengan area ekspor-impor. Keberhasilan implementasi ini menunjukkan potensi AHP dalam menangani kompleksitas operasional yang melibatkan banyak pemangku kepentingan dengan kepentingan berbeda.

Penerapan AHP dalam optimasi infrastruktur logistik juga mencakup aspek pemilihan lokasi gudang. Rakhman dkk. [10] mengembangkan model kombinasi SWOT-AHP untuk mengoptimalkan pemilihan gudang di Kawasan Industri Pulogadung, Jakarta. Penelitian ini mengidentifikasi faktor-faktor kritis yang memengaruhi keputusan pemilihan gudang, meliputi kedekatan dengan jalan utama (bobot 63,44%), lokasi terpusat (26,83%), kedekatan dengan terminal distribusi (11,72%), serta pertimbangan biaya sewa dan perawatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa AHP mampu memberikan pemeringkatan objektif terhadap alternatif lokasi gudang dengan mempertimbangkan kekuatan (*strengths*), kelemahan (*weaknesses*), peluang (*opportunities*), dan ancaman (*threats*) secara simultan. Keberhasilan integrasi SWOT-AHP dalam konteks pemilihan gudang menunjukkan fleksibilitas metode AHP dalam menangani berbagai permasalahan pengambilan keputusan operasional logistik yang melibatkan kriteria kualitatif dan kuantitatif.

Keberhasilan integrasi metodologi pengambilan keputusan dengan simulasi operasional ditunjukkan oleh Sencer dan Karaismailoglu [11] yang mengembangkan SPK

berbasis kombinasi simulasi dan AHP untuk desain kapasitas air cargo warehouse. Penelitian ini mengevaluasi berbagai alternatif desain gudang berdasarkan kriteria seperti biaya, risiko kegagalan sistem, persepsi pelanggan, dan kekuatan pemasaran. SPK yang dikembangkan memungkinkan pengguna untuk menghasilkan alternatif desain, mengevaluasi kinerja melalui simulasi, dan memberikan peringkat menggunakan AHP. Hasil penelitian ini menegaskan efektivitas integrasi AHP dalam pengambilan keputusan operasional multikriteria di sektor logistik, sejalan dengan kebutuhan optimasi sistem prioritas layanan operasional LCL.

Aspek praktis implementasi AHP dalam lingkungan manajerial dikaji secara komprehensif oleh Stofkova dkk. [12] yang melakukan analisis komparatif terhadap berbagai metode kalkulasi AHP, termasuk Saaty method, geometric mean, arithmetic mean, row sum of adjusted matrix, dan reverse sums of matrix columns. Penelitian ini melibatkan 346 manajer dari berbagai level di Slovakia dan menunjukkan bahwa meskipun Saaty method merupakan metode paling akurat dengan *Consistency Index* (CI) = 0.02110, metode geometric mean memberikan hasil yang sangat mendekati dengan deviasi minimal (CI = 0.00010). Studi ini juga membuktikan bahwa AHP dapat diimplementasikan secara efektif menggunakan Microsoft Excel tanpa memerlukan software khusus yang mahal, sehingga meningkatkan aksesibilitas metode ini bagi organisasi dengan sumber daya terbatas. Temuan penelitian menunjukkan bahwa 72% manajer menganggap penguasaan metode pengambilan keputusan terstruktur sebagai kemampuan penting dalam posisi manajerial, meskipun hanya 46% yang memiliki pengalaman menggunakan metode tersebut. Hasil ini menegaskan pentingnya pengembangan sistem pengambilan keputusan berbasis AHP yang tidak hanya akurat tetapi juga mudah diakses dan digunakan oleh praktisi operasional.

Evolusi teknologi informasi turut mendorong kemunculan sistem pengambilan keputusan berbasis web yang kolaboratif dan mudah diakses. François dkk. [13] mengembangkan sistem web-based software untuk pengambilan keputusan kelompok menggunakan metode AHP. Studi ini menyoroti tiga keterbatasan utama AHP tradisional, yaitu jumlah perbandingan berpasangan yang besar, keterbatasan pengambilan keputusan kelompok, dan ketergantungan pada platform tertentu. Sistem yang dikembangkan menggunakan metode *Aggregation of Individual Priorities* (AIP) dengan

rata-rata geometrik untuk menghasilkan konsistensi dan efisiensi yang lebih tinggi. Penelitian ini sangat relevan dengan pengembangan sistem berbasis web yang dilakukan dalam penelitian ini karena mengilustrasikan penerapan AHP dalam lingkungan digital yang terdistribusi.

Penelitian-penelitian sebelumnya telah menunjukkan keberhasilan penerapan *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dalam berbagai konteks logistik, seperti pemilihan pelabuhan, optimasi lokasi gudang, desain kapasitas fasilitas kargo, serta pengembangan sistem pendukung keputusan berbasis web. Namun, masih terdapat kesenjangan penelitian yang signifikan dalam penerapan AHP untuk mendukung pengambilan keputusan prioritas layanan operasional pada tingkat operasional depo logistik, khususnya pada pengiriman *Less-than-Container Load* (LCL). Sebagian besar penelitian terdahulu lebih berfokus pada keputusan strategis di tingkat manajemen, seperti pemilihan lokasi atau vendor, sementara keputusan operasional harian di level depo yang melibatkan kombinasi kriteria administratif, teknis, dan layanan belum banyak dieksplorasi. Selain itu, belum ditemukan penelitian yang secara spesifik mengintegrasikan hasil pembobotan AHP ke dalam sistem berbasis web untuk mendukung penentuan prioritas layanan operasional secara real-time di lingkungan depo LCL, di mana kecepatan, objektivitas, dan transparansi keputusan menjadi faktor kritis dalam operasional harian. Oleh karena itu, penelitian ini diarahkan untuk mengisi kesenjangan tersebut melalui perancangan dan pengembangan sistem pendukung keputusan berbasis web guna mendukung penentuan prioritas layanan operasional LCL secara lebih terstruktur dan konsisten.

Tabel 2.1. Perbandingan Studi Sebelumnya

No	Penulis	Tahun	Metode	Hasil
1	Amjath dkk. [7]	2024	<i>Systematic literature review</i>	Menunjukkan bahwa model jaringan antrian efektif untuk analisis performa MHS serta mendukung pengembangan <i>multi-criteria decision support systems</i> di bidang logistik.
2	Kriswardhana dkk. [8]	2024	Bibliometric Analysis & Systematic Review	Mengidentifikasi AHP sebagai metode MCDM paling dominan dalam transportasi (2000-2022). Hybrid models (fuzzy-AHP, AHP-TOPSIS, AHP-Delphi) efektif untuk kompleksitas operasional. Belum ada penelitian spesifik untuk queue management LCL.
3	Georgoulas dkk. [9]	2023	AHP-SPK	Sistem AHP berhasil mengintegrasikan kriteria seperti fasilitas, kedalaman, dan konektivitas pelabuhan, serta menunjukkan hasil validasi yang akurat terhadap data throughput aktual.
4	Rakhman dkk. [10]	2023	SWOT-AHP	Identifikasi faktor kritis pemilihan gudang: lokasi dekat jalan utama (63,44%), lokasi terpusat (26,83%), kedekatan terminal (11,72%). Kombinasi SWOT-AHP efektif untuk evaluasi alternatif lokasi gudang dengan mempertimbangkan faktor internal dan eksternal secara objektif.

No	Penulis	Tahun	Metode	Hasil
5	Sencer dkk. [11]	2022	Simulation-AHP	SPK (<i>CargoSim</i>) berhasil menggabungkan evaluasi kuantitatif dan kualitatif untuk menentukan desain optimal gudang. Kriteria terpenting adalah <i>system failure risk</i> dan <i>cost</i> .
6	Stofkova dkk. [12]	2022	AHP (comparative analysis of calculation methods)	Membandingkan 5 metode kalkulasi AHP. Saaty method paling akurat (CI=0.02110), diikuti geometric mean (deviasi CI=0.00010). Membuktikan AHP dapat diimplementasikan di Excel. Survey 346 manajer menunjukkan 72% menganggap metode decision-making penting, namun hanya 46% memiliki pengalaman menggunakannya.
7	Françoze dkk. [13]	2023	Web-based AHP	AHP-WEB berhasil mengurangi jumlah perbandingan menjadi (n-1) dan mendukung <i>group decision making</i> dengan <i>geometric mean aggregation</i> , meningkatkan efisiensi dan konsistensi keputusan.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. *Less-than-Container Load (LCL)*

Less-than-Container Load (LCL) adalah sistem pengiriman di mana beberapa pelanggan berbagi satu kontainer karena volume kargo masing-masing tidak mencukupi untuk *Full Container Load (FCL)*. Van Heeswijk dkk. [5] menjelaskan bahwa dalam jaringan transportasi antarmoda, algoritma penjadwalan LCL dirancang untuk mengidentifikasi rute terkonsolidasi optimal dengan mempertimbangkan volume muatan, jarak asal-tujuan, dan tingkat pengisian kontainer. Konsolidasi LCL tidak hanya menawarkan efisiensi biaya tetapi juga berkontribusi terhadap pengurangan emisi CO₂, yang mendukung aspek keberlanjutan dalam logistik.

Dalam konteks operasional depo LCL, proses bisnis dimulai dari tahap pra-operasional di kantor pusat dimana pelanggan melakukan pembayaran, menyerahkan informasi awal terkait jenis barang dan dokumen, serta menetapkan tingkat urgensi pengiriman berdasarkan kebutuhan mereka. Setelah pembayaran selesai, pelanggan diarahkan ke depo untuk tahap operasional yang mencakup gate-in (penyerahan dokumen fisik dan barang), stuffing (pemuatan barang ke kontainer), dan dooring (pengiriman kontainer ke pelabuhan). Sistem pengambilan keputusan prioritas layanan operasional LCL berperan pada tahap *gate-in* hingga *stuffing*, dimana keputusan prioritas harus mempertimbangkan kesiapan administratif, kesiapan teknis, serta komitmen estimasi waktu yang telah dikomunikasikan pada tahap pra-operasional.

Giao dkk. [14] menemukan bahwa kepuasan pelanggan LCL sangat dipengaruhi oleh proses layanan, kecepatan pengiriman, transparansi informasi, dan pengelolaan sumber daya, dengan faktor harga dan hasil layanan menjadi aspek utama yang diperhatikan pelanggan. Wei dkk. [15] menunjukkan bahwa permasalahan utama dalam sistem LCL adalah pengelolaan antrian pada proses *stuffing* dan *unstuffing* di terminal, di mana efisiensi *transshipment* sangat bergantung pada waktu kedatangan kargo, tingkat pemuatan, volume muatan, dan kapasitas jaringan. Oleh karena itu, dibutuhkan sistem pengambilan keputusan yang mampu menilai berbagai kriteria operasional untuk menentukan prioritas layanan secara objektif, konsisten, dan efisien.

2.2.2. Multi Criteria Decision Making (MCDM)

Multi Criteria Decision Making (MCDM) adalah pendekatan pengambilan keputusan yang mempertimbangkan lebih dari satu kriteria atau faktor dalam mengevaluasi alternatif, terutama ketika kriteria tersebut saling bertentangan [16]. Dalam konteks operasional logistik, MCDM digunakan untuk menyeimbangkan berbagai pertimbangan seperti biaya operasional, waktu tunggu, kualitas layanan, kompatibilitas kargo, dan prioritas pelanggan, sehingga memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih sistematis dan objektif dengan menetapkan bobot untuk setiap kriteria. Beberapa metode MCDM yang populer termasuk AHP, PROMETHEE, TOPSIS, SAW, VIKOR, ELECTRE, serta metode hibrida yang menggabungkan beberapa pendekatan [21].

Mardani dkk. [17] dalam *systematic review* terhadap 393 artikel MCDM dari tahun 2000-2014 menunjukkan bahwa AHP merupakan metode yang paling dominan digunakan karena kemampuannya mengatur masalah menjadi hierarki, melakukan perbandingan berpasangan, dan menguji konsistensi bobot kriteria. Yazdani dkk. [18] menunjukkan bahwa pendekatan hibrida MCDM, seperti kombinasi *AHP-PROMETHEE* atau integrasi *DEMATEL-COPRAS-MOORA*, mampu meningkatkan akurasi dan konsistensi penentuan prioritas alternatif dalam aplikasi kompleks seperti green supplier selection. Dengan metode ini, setiap kriteria operasional dapat diberi bobot secara sistematis untuk menghasilkan keputusan yang lebih objektif dan transparan dalam konteks operasional LCL.

Tabel 2.2. Perbandingan Metode MCDM

Aspek Pembanding	AHP	TOPSIS	SAW	PROMETHEE
Prinsip Dasar	Perbandingan berpasangan menggunakan skala 1–9 dengan struktur hierarki [19][20]	Berdasarkan jarak ke <i>ideal solution</i> (positif dan negatif) [16][17]	<i>Weighted sum</i> (penjumlahan terbobot) [21]	<i>Outranking</i> dengan <i>preference function</i> [18]
Jenis Data	Dapat menangani data kualitatif dan kuantitatif secara simultan [19][20]	Hanya untuk data kuantitatif atau memerlukan transformasi <i>fuzzy</i> untuk data [16][17]	Terbatas pada data kuantitatif [21]	Dapat menangani data kualitatif dan kuantitatif [18]
Mekanisme Pembobotan	Perbandingan berpasangan dengan skala Saaty (1–9) [19][20]	Bobot ditentukan secara eksternal dari metode lain [17]	Bobot ditentukan langsung oleh pengambil keputusan [21]	Bobot kriteria dan fungsi preferensi ditentukan oleh pengambil keputusan [18]
Uji Konsistensi	Menggunakan <i>Consistency Ratio</i> ($CR \leq 0.10$) [19][20]	Tidak tersedia.	Tidak tersedia.	Tidak tersedia.
Transparansi dan Kemudahan Interpretasi	Sangat tinggi karena struktur hierarki memudahkan pemahaman hubungan antar kriteria operasional [19][20]	Tinggi karena berbasis jarak ke solusi ideal yang jelas [17]	Sangat tinggi karena mekanisme perhitungan sederhana [21]	Tinggi karena mampu menunjukkan hubungan dominasi antar alternatif [18]

Aspek Pembanding	AHP	TOPSIS	SAW	PROMETHEE
Kelebihan	Mampu menangani kriteria kualitatif dan kuantitatif secara simultan melalui struktur hierarki dan perbandingan berpasangan. Mekanisme uji konsistensi (<i>Consistency Ratio</i>) memungkinkan validasi objektif terhadap preferensi pengambil keputusan, sementara struktur hierarki meningkatkan transparansi dan kemudahan interpretasi dalam penentuan prioritas layanan operasional LCL [19][20]	Memiliki prinsip perhitungan yang jelas berbasis jarak terhadap solusi ideal positif dan negatif, sehingga proses pemeringkatan alternatif bersifat transparan dan relatif mudah dipahami. Kompleksitas komputasi yang rendah membuat metode ini efisien untuk pengolahan data kuantitatif dalam konteks operasional[17]	Sangat sederhana dalam mekanisme pembobotan dan perhitungan, sehingga mudah diimplementasikan dan memiliki tingkat transparansi serta kemudahan interpretasi yang tinggi. Metode ini cocok untuk pengambilan keputusan operasional cepat dengan data numerik yang terbatas [21]	Menyediakan analisis dominasi antar alternatif melalui pendekatan <i>outranking</i> dengan fleksibilitas tinggi dalam pemilihan fungsi preferensi. Metode ini mampu menangani data kualitatif dan kuantitatif serta memberikan pemahaman mendalam terhadap hubungan preferensi antar alternatif [18]
Kelemahan	Jumlah perbandingan meningkat secara eksponensial seiring bertambahnya alternatif, sehingga memakan waktu pada sistem	Tidak memiliki mekanisme validasi konsistensi dan kurang sesuai untuk data	Tidak menyediakan uji konsistensi dan kurang akurat dalam menangani data kualitatif seperti	Kompleksitas tinggi dan kalibrasi fungsi preferensi sulit dilakukan untuk konteks

Aspek Pembanding	AHP	TOPSIS	SAW	PROMETHEE
	dengan volume antrian tinggi [19][20]	kualitatif tanpa pendekatan fuzzy [16][17]	kompleksitas <i>loading</i> dan kompatibilitas kargo [21]	operasional sederhana seperti pengelolaan antrian di depo logistik [18]

Berdasarkan hasil perbandingan konseptual pada Tabel diatas, metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP) dipilih sebagai pendekatan utama dalam penelitian ini karena kesesuaiannya dengan karakteristik masalah prioritas layanan operasional LCL yang melibatkan kriteria campuran (kualitatif dan kuantitatif) serta kebutuhan akan validasi konsistensi untuk memastikan objektivitas keputusan.

2.2.3. *Analytic Hierarchy Process (AHP)*

Analytic Hierarchy Process (AHP) adalah metode pengambilan keputusan multikriteria yang dikembangkan oleh Thomas L. Saaty untuk membantu pengelolaan keputusan kompleks melalui penyusunan struktur hierarki yang terdiri dari tujuan, kriteria, sub-kriteria, dan alternatif [22]. Keunggulan AHP terletak pada kemampuannya menyederhanakan masalah kompleks menjadi hierarki yang lebih mudah dianalisis serta memfasilitasi penilaian yang sistematis melalui perbandingan berpasangan (*Pairwise Comparison*) menggunakan skala intensitas kepentingan 1-9. Taherdoost [19] menjelaskan bahwa prosedur AHP meliputi:

1. Menyusun hierarki keputusan,
2. Melakukan perbandingan berpasangan antar elemen,
3. Menyusun matriks dan menghitung bobot menggunakan metode eigenvector,
4. Memvalidasi konsistensi dengan *Consistency Ratio* ($CR \leq 0,10$),
5. Mensintesis bobot untuk menghasilkan peringkat akhir alternatif.

Wibowo dkk. [20] menunjukkan bahwa dalam konteks antrian LCL, AHP memungkinkan penggabungan kriteria seperti waktu tunggu, biaya operasional, fleksibilitas muatan, dan prioritas pelanggan dalam satu model terstruktur dengan kemampuan melakukan validasi konsistensi. Metode ini memungkinkan pengambilan keputusan yang melibatkan kriteria kualitatif maupun kuantitatif serta dapat digunakan untuk melakukan analisis sensitivitas terhadap bobot kriteria. Dalam penelitian ini, hasil pembobotan dan peringkat alternatif dari AHP akan diintegrasikan ke dalam sistem berbasis web, sehingga pengambilan keputusan antrian LCL dapat dilakukan lebih cepat, konsisten, dan objektif antar petugas operasional.

2.2.4. *Sistem Pengambilan Keputusan Berbasis Web*

Sistem Pengambilan Keputusan (SPK) berbasis web adalah sistem informasi interaktif yang dirancang untuk membantu pengguna dalam pengambilan keputusan dengan mengintegrasikan data, model, dan antarmuka yang dapat diakses secara daring [21][23]. Sistem ini terdiri atas tiga komponen utama:

1. *Frontend* (Antarmuka Pengguna) yang menampilkan formulir input data, kriteria, alternatif, dan hasil perhitungan secara visual;

2. *Backend* (Logika Aplikasi) yang menjalankan proses perhitungan AHP, termasuk perbandingan berpasangan, pembobotan kriteria, dan penentuan peringkat alternatif;
3. Database yang menyimpan data kriteria, alternatif, hasil perbandingan, serta prioritas yang dihasilkan oleh sistem.

Keunggulan SPK berbasis web terletak pada aksesibilitas, efisiensi, dan transparansi, di mana pengguna dapat melakukan input data, memproses perhitungan, serta menampilkan hasil prioritas secara real-time.

Mahardika dan Sisephaputra [21] menunjukkan bahwa penerapan SPK berbasis web dengan metode AHP mampu mempercepat proses pengambilan keputusan, meningkatkan objektivitas, dan mengurangi subjektivitas penilaian. Putra dan Hasugian [23] menegaskan bahwa SPK berbasis web mampu mengolah data kuantitatif secara sistematis, menampilkan hasil peringkat alternatif, dan memvalidasi konsistensi perhitungan secara otomatis (misalnya Rasio Konsistensi $< 0,1$). Dalam konteks penelitian ini, SPK berbasis web berfungsi sebagai *proof-of-concept* yang mengimplementasikan metode AHP untuk menentukan urutan prioritas layanan operasional LCL secara otomatis, sehingga proses pengambilan keputusan menjadi lebih konsisten, objektif, dan transparan, serta dapat diakses oleh petugas operasional dari berbagai perangkat tanpa kendala lokasi.