

## **BAB II**

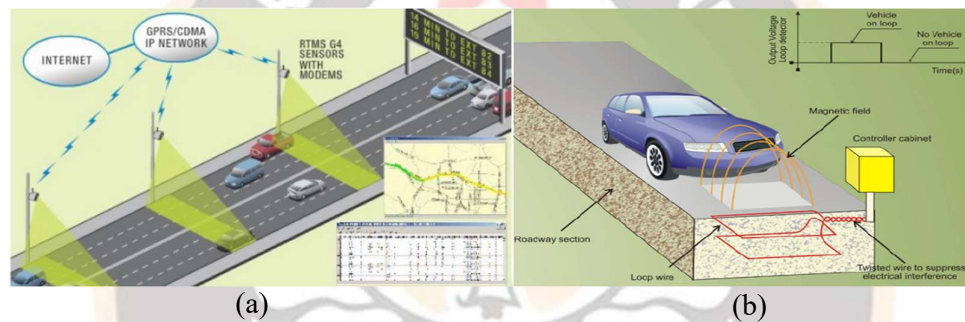
### **TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Letak geografis suatu lokasi bisnis memiliki pengaruh signifikan terhadap sistem produksi yang ekonomis karena berbagai faktor yang memengaruhi penentuan fasilitas. Lebih penting lagi, letak geografis akan berdampak langsung pada biaya operasional. Faktor-faktor yang menentukan lokasi bisnis meliputi lingkungan masyarakat, sumber daya manusia, potensi pasar dengan banyak konsumen, ketersediaan bahan baku, transportasi, lahan untuk ekspansi, kondisi alam, kebudayaan, peraturan pemerintah, pajak, serta akses terhadap air dan listrik. Pemilihan lokasi bisnis yang tepat sangat penting untuk menentukan keberhasilan usaha, terutama karena berhubungan dengan efisiensi biaya operasional, penetapan harga jual, dan kemampuan bisnis untuk bersaing di pasar. Alternatif pemilihan lokasi perlu mempertimbangkan biaya yang dikeluarkan dibandingkan dengan tingkat keuntungan yang dapat diperoleh (Imron & Mochammad, 2021).

Sistem transportasi cerdas dikembangkan untuk memenuhi tuntutan perkembangan transportasi yang semakin kompleks. Sistem ini mengintegrasikan teknologi informasi, komunikasi, komputer, dan teknologi lainnya untuk membangun hubungan yang terintegrasi antara manusia, jalan, dan kendaraan melalui pemanfaatan teknologi komunikasi data yang canggih. Dengan adanya sistem informasi cerdas, pengelola jalan dapat menyediakan layanan yang lebih baik bagi pengguna jalan. Teknologi canggih ini memungkinkan penyampaian informasi jalan secara *real-time* kepada pengemudi, serta menyediakan layanan yang nyaman untuk mengurangi kemacetan lalu-lintas dan meningkatkan kapasitas jalan secara keseluruhan (An *et al.*, 2011). Di Indonesia, upaya untuk membangun sistem transportasi cerdas telah mengalami perkembangan signifikan dalam beberapa tahun terakhir. Melalui pusat informasi Kementerian Perhubungan pada tahun 2020, telah dilaporkan berbagai upaya peningkatan sarana transportasi, mencakup sektor darat, laut, dan udara. Upaya ini terus berkembang seiring dengan kemajuan teknologi informasi, khususnya dalam penerapan *Internet of Things*

(IoT). Penelitian lainnya mencakup implementasi teknologi *cloud & fog computing* (Bittencourt *et al.*, 2018), serta pemanfaatan layanan *RESTful web service* dan *MAPs-API service* sebagai alat deteksi berbasis IoT untuk memantau kondisi kepadatan lalu-lintas jalan secara real-time (Arkanuddin *et al.*, 2019; Mishra *et al.*, 2018). Kemajuan teknologi pemrosesan komputasi, banyak sistem transportasi cerdas diperkenalkan untuk mengumpulkan data waktu perjalanan. Banyak negara di sebagian jalan besar perkotaan sudah menggunakan sensor seperti sensor *loop induktasi*, sensor gerak *Bluetooth* dan sensor tekanan untuk mengidentifikasi waktu tempuh dengan mempertimbangkan kecepatan rata-rata.



Gambar 2.1 Sistem Transportasi Cerdas  
(a) Sensor lalu-lintas  
(b) Mekanisme pendeteksian kendaraan

Pada Gambar 2.1(a), ditampilkan penggunaan sensor lalu-lintas yang dilengkapi dengan detektor gelombang mikro untuk pemantauan kondisi lalu-lintas. Sensor ini terhubung ke internet, memungkinkan identifikasi kondisi lalu-lintas secara *real-time* di sepanjang jalan. Sementara itu, gambar (b) menunjukkan mekanisme pendeteksian kendaraan menggunakan detektor loop. Detektor loop bekerja dengan menginduksi arus melalui kumparan tertanam di tanah, yang menghasilkan medan magnet. Kendaraan terdeteksi ketika medan magnet tersebut terganggu oleh pergerakan kendaraan yang melintas, menghasilkan arus yang dapat diidentifikasi oleh sistem. Sistem pengawasan berbasis video telah dipasang di banyak jaringan jalan untuk mengontrol lalu-lintas. Kamera pengintai digunakan untuk memperoleh data waktu perjalanan, di mana analisis video dilakukan menggunakan algoritma pemrosesan gambar. Salah satu kelebihan teknik berbasis

sistem transportasi cerdas ini adalah kemampuannya untuk diimplementasikan pada jaringan jalan yang lebih luas sekaligus mendapatkan data waktu tempuh secara *real-time*. Selain itu, metode analisis video memberikan keunggulan dalam pengumpulan data waktu perjalanan karena mampu memantau semua kendaraan yang bergerak di area pengawasannya, sehingga menghasilkan sampel yang representatif.

Kepadatan lalu-lintas adalah indikator penting dalam mengukur tingkat kemacetan, tetapi pengukurannya secara langsung sering kali sulit dilakukan dan biasanya diperkirakan melalui parameter lain. Salah satu tantangan utama dalam pengukuran ini adalah tingginya kemungkinan kegagalan sensor, yang dapat menyebabkan hilangnya data. Untuk mengatasi masalah ini, *Adaptive-R Extended Kalman Filter* (AREKF) digunakan bersama dengan teknik masukan data berbasis model untuk memperkirakan kepadatan lalu-lintas. AREKF terbukti mampu secara akurat memperkirakan kepadatan lalu-lintas bahkan ketika terdapat data yang hilang. Selain itu, sistem ini dapat digunakan untuk mengontrol lampu lalu-lintas, yang secara signifikan membantu mengurangi tingkat kemacetan (Bakibillah *et al.*, 2022). Perkiraan kepadatan lalu-lintas dapat dihitung menggunakan sensor radar kendaraan yang dipasang di bagian depan dan belakang. Langkah-langkah yang dilakukan meliputi pengembangan modul perangkat lunak, simulasi lalu-lintas untuk eksperimen, dan prosedur evaluasi dengan membandingkan hasil estimasi kepadatan lalu-lintas terhadap nilai kepadatan sebenarnya. Hasil percobaan menunjukkan bahwa metode ini memiliki kinerja yang baik, ditandai dengan nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) yang rendah, sehingga dapat digunakan untuk estimasi kepadatan yang akurat (Lee *et al.*, 2021).

Di Wuhan, China, pemerintah melakukan pengamatan terhadap kepadatan lalu-lintas selama pandemi dan setelahnya, khususnya saat diberlakukan *lockdown*. Observasi permukaan jalan dilakukan menggunakan *Open Street Map* dan metode deteksi kendaraan berbasis *filter morfologi* serta *deep learning* untuk mengekstrak data kendaraan. Hasil pengamatan menunjukkan tingkat akurasi sebesar 62,56%, yang mencerminkan efektivitas metode ini meskipun masih memiliki ruang untuk peningkatan (C. Wu *et al.*, 2021). Perkiraan kepadatan lalu-lintas dilakukan dengan

mengimplementasikan algoritma *Single Shot Detection (SSD)* dan *MobileNet-SSD*, menggunakan data dari 59 kamera lalu-lintas. Hasil analisis menunjukkan bahwa kedua algoritma tersebut dibandingkan dengan metode perkiraan kepadatan lalu-lintas secara manual. SSD mencapai tingkat akurasi deteksi rata-rata sebesar 92,97%, sementara *MobileNet-SSD* mencatatkan akurasi deteksi rata-rata sebesar 79,30%, menjadikan SSD lebih unggul dalam mendeteksi kepadatan lalu-lintas (Biswas *et al.*, 2019).

Penelitian tentang prediksi kepadatan lalu-lintas juga dilakukan dengan memanfaatkan teknik pembelajaran mesin. Dalam penelitian ini, sensor ditempatkan pada kendaraan, melibatkan 5 mobil penumpang dan 19 truk sebagai subjek percobaan. Perilaku pengemudi yang dipengaruhi oleh kepadatan lalu-lintas dianalisis untuk memperkirakan tingkat kepadatan lalu-lintas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa korelasi antara perilaku pengemudi dan kepadatan lalu-lintas dapat dibangun secara signifikan. Penelitian ini mencapai akurasi keseluruhan lebih dari 95%, dengan presisi sebesar 92%, menunjukkan potensi metode ini dalam prediksi lalu-lintas yang akurat (Heyns *et al.*, 2019). Metode berbasis Fuzzy Logic digunakan untuk pengendalian lalu-lintas di jalan bebas hambatan dengan mempertimbangkan dua variabel utama: kecepatan dan kepadatan arus lalu-lintas. Pendekatan ini dirancang untuk meminimalkan potensi bias dalam representasi pengoperasian lalu-lintas, terutama dalam kondisi kemacetan parah. Dengan mempertimbangkan kedua variabel secara simultan, metode ini dapat memberikan solusi yang lebih akurat dan adaptif untuk pengelolaan lalu-lintas di jalan bebas hambatan (Toan & Wong, 2021).

Penilaian lokasi untuk mendirikan pusat distribusi atau pusat bisnis biasanya dikategorikan sebagai masalah *Multi-Criteria Decision-Making (MCDM)*. Pendekatan ini dianggap sebagai metode sistematis untuk menangani berbagai faktor, baik kuantitatif maupun kualitatif, yang memengaruhi pemilihan lokasi secara holistik dan strategis (Ocampo *et al.*, 2020). AHP menjadi salah satu metode yang paling banyak digunakan (Yap *et al.*, 2019). Teknologi telah menjadi solusi utama untuk berbagai tantangan dalam bisnis dan transportasi. Beberapa inovasi teknologi telah secara signifikan mengubah cara bisnis dijalankan dengan

mengurangi biaya operasional dan meningkatkan efisiensi. *Artificial Intelligence* (AI), misalnya, menawarkan solusi untuk masalah transportasi dengan menyediakan rute alternatif, melacak lampu lalu-lintas selama kemacetan, dan membantu pengaturan lalu-lintas secara efisien. Pendekatan ini tidak hanya mengurangi kemacetan, tetapi juga membantu membatasi pencemaran lingkungan, mendukung pembangunan kota berkelanjutan, dan meningkatkan pertumbuhan ekonomi. AI juga memberikan prediksi pola lalu-lintas, manajemen jalan, dan panduan kepada pengguna transportasi sebelum memulai perjalanan. Dukungan teknologi ini sangat membantu dalam perencanaan pembangunan sistem transportasi dan ekonomi bisnis yang efisien, sekaligus mendukung proses pengambilan keputusan yang lebih baik (Iyer, 2021).

Kota Pittsburgh menggunakan pendekatan *Graph-Convolutional Neural Networks* (GCNN) untuk mengekstraksi hubungan spasial dari arus lalu-lintas dalam penentuan lokasi bisnis. Selain itu, model ini memanfaatkan *Recurrent Neural Networks* (RNN) dengan *Long Short-Term Memory* (LSTM) untuk memproses data sekuensial. Model tersebut mampu menggunakan berbagai sumber data lalu-lintas terstruktur sebagai masukan, termasuk lama waktu transaksi, kecepatan lalu-lintas, dan kondisi cuaca. Penggabungan antara kecepatan lalu-lintas dan informasi cuaca terbukti secara signifikan meningkatkan kinerja prediksi model. Studi kasus menunjukkan bahwa model prediksi ini bekerja lebih baik untuk area bisnis dibandingkan untuk lokasi rekreasi, menandakan efektivitasnya dalam mendukung keputusan strategis untuk pengembangan lokasi bisnis (Yang *et al.*, 2019). Media sosial, terutama Twitter, memiliki peran penting dalam membantu membuat profil lokasi bisnis. Metodologi yang digunakan berfokus pada pemetaan informasi lokasi yang terkait dengan pelanggan. Sebanyak hampir 10.000 tweet data dikumpulkan untuk dianalisis. Data tersebut diolah menggunakan metode eksplorasi data dan model pengelompokan untuk mengidentifikasi pola spasial di seluruh platform Twitter. Analisis ulasan Twitter dilakukan menggunakan algoritma *K-means clustering*, yang berfungsi untuk mengelompokkan data berdasarkan pola tertentu. Teknik pengelompokan ini digunakan untuk mengidentifikasi lokasi yang memiliki nilai sosial tinggi, sehingga

dapat membantu dalam menentukan lokasi strategis untuk membuka bisnis baru atau cabang tambahan (Alaskar *et al.*, 2019).

PT Pertamina memanfaatkan *Distribution Center* (DC) untuk menghemat biaya produksi dan transportasi. DC berfungsi sebagai pusat distribusi material untuk memenuhi kebutuhan di berbagai field di sekitarnya. Untuk memilih lokasi fasilitas DC yang paling efisien, digunakan model optimasi P-Median yang mempertimbangkan jarak, biaya, dan permintaan material guna meminimalkan biaya transportasi. Solusi optimal dari model P-Median dihasilkan menggunakan perangkat lunak pemrograman matematis AMPL dengan pemecah GUROBI. Hasil penerapan DC menunjukkan bahwa biaya transportasi dapat dipangkas sebesar 13%, yang setara dengan penghematan Rp 6.116.732.500. Pendekatan ini membuktikan efisiensi dalam pengelolaan distribusi logistik dan operasional perusahaan (Fadhil *et al.*, 2020). Jaringan sosial menjadi salah satu media yang dapat diandalkan untuk menarik pelanggan dalam dunia bisnis. Model difusi pengaruh baru dikembangkan untuk menstimulasikan penyebaran iklan pada lokasi tertentu dalam jaringan geo-sosial, dengan mempertimbangkan jarak pengguna jejaring sosial terhadap lokasi tersebut. Untuk mengevaluasi potensi pengaruh maksimum yang dapat dicapai oleh suatu lokasi bisnis, digunakan algoritma aproksimasi. Proses pemilihan lokasi dilakukan secara efisien dengan pendekatan optimal dari beberapa kandidat, menggunakan strategi pemangkasan berbasis pengelompokan. Pendekatan ini memungkinkan pemanfaatan jaringan sosial untuk mendukung keputusan strategis dalam menentukan lokasi bisnis yang paling potensial (Zeng *et al.*, 2021). Penentuan lokasi *EV Charging Station* (EVCS) termasuk dalam kategori *Multiple Attribute Group Decision Making* (MAGDM), yang melibatkan banyak atribut dengan konflik yang saling bertentangan. Metode *Grey Relational Analysis* (GRA) digunakan untuk mengatasi ketidakpastian linguistik dalam MAGDM, di mana probabilitasnya tidak pasti dan bobot atribut sepenuhnya tidak diketahui. Untuk menentukan bobot atribut secara objektif, digunakan metode *CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation* (CRITIC). Alternatif optimal dipilih berdasarkan perhitungan derajat relasional tertinggi dari *Probabilistic Uncertain Linguistic Negative Ideal Solution*

(PULNIS). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendekatan ini sederhana, efektif, dan mudah dihitung (Wei *et al.*, 2020).

Pada penelitian sebelumnya, penentuan lokasi gudang baru mempertimbangkan jumlah faktor dan kriteria yang terbatas, sehingga kurang mencerminkan kondisi pengambilan keputusan yang sebenarnya. Penelitian tersebut menganalisis bagaimana variasi karakteristik memengaruhi keputusan akhir terkait lokasi. Oleh karena itu, dalam penelitian (Ocampo *et al.*, 2020), diadopsi teknik urutan preferensi dengan kesamaan terhadap solusi ideal menggunakan metode TOPSIS. Pendekatan ini digunakan untuk mengatasi masalah keputusan lokasi gudang dengan mempertimbangkan berbagai kriteria dan faktor yang ditentukan oleh kelompok ahli. Pemilihan lokasi konstruksi dilakukan menggunakan metode *Fuzzy CODAS*, yang mempertimbangkan banyak alternatif dan kriteria yang saling bertentangan. Metode CODAS, yang berbasis pada jarak, dianggap berguna dan efisien karena menggabungkan keunggulan jarak Euclidean dan Hamming dalam proses pengambilan keputusan (Karasan *et al.*, 2019). Mencari lokasi terbaik yang memenuhi perspektif bisnis sekaligus mendukung keberlanjutan merupakan tantangan yang membutuhkan perencanaan matang. Pemilihan lokasi ideal dapat dilakukan melalui pra-perencanaan dan studi kelayakan yang mencakup kebutuhan saat ini dan masa depan. Dalam hal ini, model *Multiple Attribute Decision Making* (MADM) berbasis BWM-WASPAS diterapkan untuk menentukan lokasi hotel. Pendekatan terintegrasi antara *Best Worst Method* (BWM) untuk evaluasi kriteria dan *Weighted Aggregated Sum Product Assessment* (WASPAS) untuk pemeringkatan alternatif merupakan salah satu metode analitis terbaik untuk mengevaluasi dan menilai lokasi hotel secara efektif dan efisien berdasarkan kriteria yang relevan (Zolfani *et al.*, 2019). Perencanaan pembangkit listrik tenaga angin dilakukan menggunakan metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP), dengan mempertimbangkan kriteria seperti kemiringan medan, kecepatan angin, jarak dari jaringan listrik, jarak dari gardu induk, jarak dari perkotaan, jarak dari jalan raya, serta aspek struktural, topografi, dan ekologi beserta sub-kriterianya. Pendekatan ini digunakan untuk menyaring lokasi yang tidak memenuhi kriteria. Hasilnya menunjukkan bahwa 20% wilayah

di Iran dinilai cocok untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga angin (Moradi *et al.*, 2020).

Penentuan pusat logistik merupakan salah satu elemen penting dalam pembangunan kota. Proses pengambilan keputusan dikembangkan melalui dua tahap model. Tahap pertama menggunakan model berbasis kelompok yang dianalisis dan dievaluasi berdasarkan lima kriteria utama dengan metode *Data Envelopment Analysis* (DEA) untuk mengidentifikasi alternatif yang efisien dan tidak efisien. Tahap kedua dirancang untuk mengevaluasi kinerja kelompok yang telah teridentifikasi sebagai efisien. Dalam tahap ini, metode *Rough Full Consistency* (R-FUCOM) digunakan untuk menentukan bobot kriteria secara optimal, sedangkan metode *Combined Compromise Solution* (R-CoCoSo) digunakan untuk memeringkat kelompok yang efisien (Yazdani *et al.*, 2020). Pemilihan lokasi yang pernah dilakukan pada penelitian sebelumnya dan metode-metode yang digunakan dirangkum pada Tabel 2.1, Tabel 2.2, dan Tabel 2.3.

Tabel 2.1 Penelitian penentuan lokasi dengan MCDM.

| No. | Topik                                         | Metode                                                                                                                                                                                                        | Referensi                            |
|-----|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 1   | Lokasi untuk Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir | Fuzzy Entropy                                                                                                                                                                                                 | (Erol <i>et al.</i> , 2014)          |
| 2   | Pemilihan lokasi pusat logistik               | <i>ELimination Et Choix Traduisant la REalité</i> (ELEKTRE III/IV)                                                                                                                                            | (Żak & Węgliński, 2014)              |
| 3   | Pemilihan konsep logistik kota                | <i>Fuzzy Decision making trial and evaluation laboratory</i> (Fuzzy DEMATEL), <i>Fuzzy Analytic Hierarchy Process</i> (Fuzzy ANP), <i>Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje</i> (Fuzzy VIKOR) | (Tadić <i>et al.</i> , 2014)         |
| 4   | Terminal gas alam cair                        | <i>Simple Additive Weighting</i> (SAW), <i>Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution</i> (TOPSIS), <i>COmplex Proportional ASsessment</i> (COPRAS)                                    | (Bagočius <i>et al.</i> , 2014)      |
| 5   | Penilaian daerah terabaikan                   | <i>COmplex Proportional ASsessment</i> (COPRAS)                                                                                                                                                               | (Vytautas <i>et al.</i> , 2015)      |
| 6   | Lokasi rumah kaca                             | <i>Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis</i> (SWARA), <i>COmplex Proportional ASsessment</i> (COPRAS)                                                                                                     | (Kouchaksaraei <i>et al.</i> , 2015) |
| 7   | Pemilihan lokasi ladang angin lepas pantai    | <i>Analytic Hierarchy Process</i> (Fuzzy ANP), <i>ELimination Et Choix Traduisant la REalité</i> (Fuzzy ELECTRE), <i>Decision</i>                                                                             | (Fetanat & Khorasaninejad, 2015)     |

Tabel 2.1 Penelitian penentuan lokasi dengan MCDM.

| No. | Topik                                                     | Metode                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Referensi                        |
|-----|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
|     |                                                           | <i>Making Trial and Evaluation Laboratory</i> (Fuzzy DEMATEL)                                                                                                                                                                                                                                         |                                  |
| 8   | Lokasi fasilitas                                          | <i>Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution</i> (TOPSIS), <i>Simple Additive Weighting Method</i> (SAW), <i>ELimination Et Choix Traduisant la REalité</i> (ELECTRE-1), <i>Multi-Objective Optimization by Ratio Analysis</i> (MOORA), <i>Grey Relational Analysis</i> (GRA) | (Ray <i>et al.</i> , 2015)       |
| 9   | Lokasi stasiun layanan darurat                            | <i>Preference Ranking Organization METHod for Enrichment of Evaluations</i> (PROMETHEE IV)                                                                                                                                                                                                            | (Esmaelian <i>et al.</i> , 2015) |
| 10  | Lokasi pelabuhan kering                                   | <i>Confirmatory Factor Analysis</i> (CFA), <i>Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique</i> (MACBETH), <i>Preference Ranking Organization METHod for Enrichment of Evaluations</i> (PROMETHEE)                                                                             | (Komchornrit, 2017)              |
| 11  | Pemilihan lokasi garasi                                   | <i>Weighted Aggregated Sum Product ASsessment</i> (WASPAS)                                                                                                                                                                                                                                            | (Baušys & Juodagalvienė, 2017)   |
| 12  | Lokasi ladang angin                                       | <i>Decision Making Trial and Evaluation Laboratory</i> (DEMATEL), <i>Analytic Hierarchy Process</i> (ANP), <i>Multi-Attributive Border Approximation area Comparison</i> (MABAC)                                                                                                                      | (Gigović <i>et al.</i> , 2017)   |
| 13  | Perencanaan lokasi pertanian surya                        | <i>Fuzzy Analytic Hierarchy Process</i> (Fuzzy AHP)                                                                                                                                                                                                                                                   | (Tavana <i>et al.</i> , 2017)    |
| 14  | Lokasi bandara militer                                    | <i>Analytic Hierarchy Process</i> (AHP), <i>Preference Ranking Organization METHod for Enrichment of Evaluations</i> (PROMETHEE), <i>Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje</i> (VIKOR)                                                                                                | (Sennaroglu & Celebi, 2018)      |
| 15  | Pemilihan stasiun berbagi mobil                           | <i>Weighted Aggregated Sum Product Assessment</i> (WASPAS), <i>Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution</i> (TOPSIS)                                                                                                                                                         | (Deveci <i>et al.</i> , 2018)    |
| 16  | Pemilihan lokasi untuk pembangkit listrik tenaga surya PV | <i>Analytic Hierarchy Process</i> (AHP)                                                                                                                                                                                                                                                               | (Ozdemir & Sahin, 2018)          |
| 17  | Stasiun berbagi sepeda                                    | <i>Analytic Hierarchy Process</i> (AHP), <i>Multi-Objective Optimization by Ratio Analysis</i> (MOORA)                                                                                                                                                                                                | (Kabak <i>et al.</i> , 2018)     |
| 18  | Lokasi pabrik desalinasi berkelanjutan                    | <i>Analytic Hierarchy Process</i> (AHP)                                                                                                                                                                                                                                                               | (Dweiri <i>et al.</i> , 2018)    |
| 19  | Lokasi ritel strategis                                    | <i>Analytic Hierarchy Process</i> (AHP), <i>Grey Relational Analysis</i> (GRA)                                                                                                                                                                                                                        | (Yıldız & Tüysüz, 2019)          |

Tabel 2.1 Penelitian penentuan lokasi dengan MCDM.

| No. | Topik        | Metode                                                                                                                   | Referensi                      |
|-----|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| 20  | Lokasi hotel | <i>Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis Method (SWARA), Weighted Sum Preferred Levels of Performances (WS PLP)</i> | (Popovic <i>et al.</i> , 2019) |

Tabel 2.2 Rangkuman penelitian sebelumnya 2019-2022.

| Referensi                      | Judul                                                                                                                                       | Metode                                                                                                              | Hasil                                                                                                                                                                                                                  |
|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (Alaskar <i>et al.</i> , 2019) | <i>Twitter Analytics for Discovering Socially Important Locations for Business Improvement</i>                                              | Metode Eksplorasi data dan pengelompokan K-Means                                                                    | Penentuan lokasi dengan metode eksplorasi data dan model pengelompokan digunakan untuk menganalisis pola spasial di seluruh Twitter. Ulasan di Twitter di analisa menggunakan K-means sebagai algoritma pengelompokan. |
| (Karasan <i>et al.</i> , 2019) | <i>Residential Construction Site Selection Through Interval-Valued Hesitant Fuzzy CODAS Method</i>                                          | <i>Fuzzy COmbinative Distance-based Assessment (Fuzzy CODAS)</i>                                                    | Metode CODAS dalam pemilihan lokasi konstruksi berbasis jarak yang berguna dan efisien karena menggabungkan keuntungan jarak Euclidean dan Hamming.                                                                    |
| (Zolfani <i>et al.</i> , 2019) | <i>A Pre-Planning For Hotel Locating According To The Sustainability Perspective Based On Bwm-Waspas Approach</i>                           | <i>Best-Worst Method (BWM) – Weighted Aggregated Sum Product Assessment (WASPAS)</i>                                | Penentuan lokasi Hotel dengan metode yang terintegrasi antara BWM untuk evaluasi kriteria dan WASPAS untuk pemeringkatan alternatif.                                                                                   |
| (Yazdani <i>et al.</i> , 2020) | <i>Development of an integrated decision making model for location selection of logistics centers in the Spanish autonomous communities</i> | Metode <i>rough full consistency method (R-FUCOM)</i> & metode <i>Rough Combined Compromise Solution (R-CoCoSo)</i> | Penentuan pusat logistik menggunakan 2 metode, yaitu Metode R-FUCOM digunakan untuk mendapatkan bobot kriteria yang optimal, sedangkan metode R-CoCoSo digunakan untuk menentukan peringkat kelompok yang efisien.     |
| (Moradi <i>et al.</i> , 2020)  | <i>Multi-criteria decision support system for wind farm site selection and sensitivity analysis: Case study of Alborz Province, Iran</i>    | <i>Analytic Hierarchy Process (AHP)</i>                                                                             | Perencanaan pembangkit listrik tenaga Angin menggunakan AHP menunjukkan bahwa 20% dari wilayah di Iran cocok untuk pengembangan.                                                                                       |
| (Ocampo <i>et al.</i> , 2020)  | <i>Warehouse location selection with TOPSIS group decision-making under different</i>                                                       | <i>Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)</i>                                   | Metode TOPSIS digunakan untuk penentuan lokasi gudang baru dengan masukan faktor dan kriteria dari para ahli dengan jumlah 22 kriteria.                                                                                |

Tabel 2.2 Rangkuman penelitian sebelumnya 2019-2022.

| Referensi                     | Judul                                                                                                                                                                                                        | Metode                                                                                                                                                                                                                  | Hasil                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                               | <i>expert priority allocations</i>                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| (Wei <i>et al.</i> , 2020)    | <i>Algorithms for probabilistic uncertain linguistic multiple attribute group decision making based on the GRA and CRITIC method: application to location planning of electric vehicle charging stations</i> | <i>Grey Relational Analysis (GRA) dan CRiteria Importance Through Interriteria Correlation (CRITIC)</i>                                                                                                                 | Penerapan pada perencanaan lokasi stasiun pengisian kendaraan listrik menggunakan metode <i>Grey Relational Analysis (GRA)</i> dan <i>CRiteria Importance Through Interriteria Correlation (CRITIC)</i> . Hasilnya menunjukkan pendekatannya sederhana, efektif dan mudah dihitung.                                                |
| (Balbontin & Hensher, 2020)   | <i>Identifying the role of stated process strategies in business location decisions</i>                                                                                                                      | (1) <i>Attribute non-attendance</i> ; (2) <i>Value learning (VL)</i> ; (3) <i>Majority of confirming dimensions (MCD)</i> ; and (4) <i>Traditional linear in the parameters and additive in the attributes (LPAA)</i> . | Membandingkan beberapa alternatif lokasi bisnis menggunakan metode <i>Attribute non-attendance (ANA)</i> , <i>Value learning (VL)</i> , <i>Majority of confirming dimensions (MCD)</i> , dan <i>Traditional linear in the parameters and additive in the attributes (LPAA)</i> .                                                   |
| (Fadhil <i>et al.</i> , 2020) | Penentuan Lokasi Distribusi Center dengan Metode P-Median di PT Pertamina EP                                                                                                                                 | Metode P-Median                                                                                                                                                                                                         | Model Optimasi P-Median digunakan untuk memilih lokasi bisnis baru ( <i>Distribusi Center</i> ) yang memiliki biaya transportasi paling minimal dengan mempertimbangkan jarak, biaya, dan permintaan bahan baku. Dengan menerapkan metode tersebut biaya transportasi dapat di pangkas sebesar 13% atau sebesar Rp 6.167.325.000,- |
| (Zeng <i>et al.</i> , 2021)   | <i>Business location planning based on a novel geo-social influence diffusion model</i>                                                                                                                      | Aproksimasi Algoritma                                                                                                                                                                                                   | Menentukan lokasi bisnis dan target pembeli menggunakan aproksimasi Algoritma. Berdasarkan data dari jejaring sosial.                                                                                                                                                                                                              |
| (Balbontin & Hensher, 2021)   | <i>Understanding business location decision making for transport planning: An investigation of the role of process rules in identifying influences on firm location</i>                                      | <i>Attribute-non-attendance (ANA); mixed multinomial logit model with ANA</i>                                                                                                                                           | Keputusan penentuan lokasi bisnis baru / cabang dengan menggunakan <i>Attribute-non-attendance (ANA)</i> . Memperhatikan faktor Aksesibilitas angkutan umum, waktu berjalan kaki ke stasiun terdekat, aglomerasi, aksesibilitas pelanggan, dan biaya sewa kantor.                                                                  |

Tabel 2.2 Rangkuman penelitian sebelumnya 2019-2022.

| Referensi                     | Judul                                                                                                | Metode                                                                                                                     | Hasil                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (Rezaei <i>et al.</i> , 2021) | <i>Accurate Location planning for a wind powered hydrogen refueling station : Fuzzy VIKOR method</i> | <i>Fuzzy Multi-criteria Optimization and Compromise Solution (FVIKOR) dan Fuzzy Multi-criteria Decision-making (FMCDM)</i> | <i>Metode Fuzzy Multi-criteria Optimization and Compromise Solution (FVIKOR) untuk memastikan alternatif mana yang harus dipilih sebagai yang paling efisien sehubungan dengan kriteria. Untuk mengoptimalkan proses pemilihan lokasi menggunakan model Fuzzy Multi-criteria Decision-making (FMCDM).</i>                           |
| (Iyer, 2021)                  | <i>AI enabled applications towards intelligent transportation</i>                                    | <i>Artificial intelligence (AI)</i>                                                                                        | AI memberikan solusi untuk masalah transportasi dengan membantu mengatur lalu-lintas dengan cara yang efisien yang pada akhirnya mengarah pada pembatasan pencemaran lingkungan dan pembangunan kota yang berkelanjutan sehingga bisa meningkatkan ekonomi bisnis.                                                                  |
| (Kellner & Schroder, 2022)    | <i>Location Planning &amp; Analysis Using Uncertain Data</i>                                         | <i>Using Machine Learning for Geospatial Analysis</i>                                                                      | Pengambilan keputusan lokasi bisnis baru menggunakan <i>Machine learning</i> dengan 4 metode yaitu <i>a logistic regression, a (classic) decision tree</i> memprediksi dengan tepat 7%, <i>gradient boosted trees</i> (XGBoost) hasil klasifikasi 60% dan 73% lokasi potensial dengan benar, dan <i>sequential neural network</i> . |

Tabel 2.3 Pengambilan keputusan Multi-Kriteria dengan GIS.

| No. | Referensi                             | Metode                                                                                                                   | Kriteria                                                                                                                                                                                                                                                                              | GIS                                                                                                                                                                                                                |
|-----|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | (Sánchez-Lozano <i>et al.</i> , 2013) | <i>Analytic Hierarchy Process (AHP) &amp; Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)</i> | Lingkungan :<br>Kapasitas agrologi<br>Orografis :<br>Kemiringan lahan,<br>Orientasi lahan,<br>Area kaveling<br>Lokasi : Jarak ke<br>desa, Jarak ke<br>jalan utama, Jarak<br>ke gardu induk,<br>Jarak ke jaringan<br>listrik<br>Iklim : Potensi<br>iradiasi matahari<br>Suhu rata-rata | GIS digunakan untuk mendapatkan faktor Kapasitas Agrologi, Lereng, Orientasi, Luas, Jarak ke jalan utama, Jarak ke saluran listrik, Jarak ke desa, Jarak ke gardu induk, Potensi iradiasi matahari, Suhu rata-rata |

Tabel 2.3 Pengambilan keputusan Multi-Kriteria dengan GIS.

| No. | Referensi                         | Metode                                                                                                                       | Kriteria                                                                                                                                                                                                                                                                                     | GIS                                                                                                                                                                                                              |
|-----|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2   | (Rikalovic <i>et al.</i> , 2014)  | <i>Multi-Objective Decision Analysis (MODA) &amp; Multi-Attribute Decision Making (MADA)</i>                                 | GIS : Pemilihan konten, negara, dan kota madya                                                                                                                                                                                                                                               | GIS digunakan untuk analisis data atribut, analisis jarak, jaringan dan teknik non parameter                                                                                                                     |
| 3   | (Noorollahi <i>et al.</i> , 2016) | Metode klasifikasi dan model konseptual                                                                                      | Lingkungan<br>Fisiografi<br>Ekonomi<br>Teknis                                                                                                                                                                                                                                                | GIS digunakan untuk mengetahui potensi sumber energi angin                                                                                                                                                       |
| 4   | (Díaz & Guedes Soares, 2020)      | <i>a selection methodology &amp; A common-sense method</i>                                                                   | Daerah militer<br>Hidrokarbon dan mineral<br>pasir dan kerikil<br>Budidaya dan perikanan<br>Zona percontohan energi terbarukan laut<br>Kawasan lindung lingkungan<br>Jalur dan pipa bawah air<br>Lalu lintas maritim daerah warisan<br>Kecepatan angin<br>Kedalaman air<br>Jarak dari Pantai | GIS digunakan untuk mengetahui sumber daya angin, kedalaman air, kondisi gelombang, arus laut dan suhu. Kegunaan alat dan model berbasis GIS untuk tugas perencanaan untuk angin lepas pantai yang berkelanjutan |
| 5   | (Xu <i>et al.</i> , 2020)         | <i>Interval Analytic Hierarchy Process (IAHP) &amp; Višekriterijumsko Kompromisno Rangiranje (VIKOR)</i>                     | Kecepatan angin<br>Jarak ke saluran listrik<br>Jarak ke jalan utama<br>Lereng<br>Kawasan burung yang dilindungi<br>Jarak ke perkotaan                                                                                                                                                        | GIS untuk Identifikasi daerah yang tidak layak dan layak untuk penempatan pembangkit tenaga angin                                                                                                                |
| 6   | (Zafar <i>et al.</i> , 2021)      | <i>Maximal Covering Location Problem (MCLP)</i>                                                                              | SPBU pada QGIS<br>Sensus Penduduk<br>Data permintaan lalu-lintas jalan raya                                                                                                                                                                                                                  | GIS digunakan untuk mengetahui lokasi SPBU                                                                                                                                                                       |
| 7   | (Torkayesh <i>et al.</i> , 2021)  | <i>Best-Worst Method (BWM) &amp; Measurement of Alternatives and Ranking according to the Compromise Solution (G-MARCOS)</i> | Teknik<br>Ekonomi<br>Lingkungan<br>Sosial                                                                                                                                                                                                                                                    | Kriteria dari GIS :<br>topografi kesalahan<br>Arah lereng<br>Penggunaan lahan<br>Jaringan jalan Daerah yang dilindungi<br>Pembangunan fisik perkotaan Air bawah tanah Air tanah Arah                             |

Tabel 2.3 Pengambilan keputusan Multi-Kriteria dengan GIS.

| No. | Referensi                   | Metode                                                                             | Kriteria                                                                                                                                                                                                                                                     | GIS                                                                                                                                                       |
|-----|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|     |                             |                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                              | angin Peternakan<br>Perkiraan curah hujan<br>Estimasi tanah harga<br>tanah Kemungkinan<br>ekspansi di masa<br>depan Jarak ke<br>perkotaan dan<br>pedesaan |
| 8   | (Dehshiri & Dehshiri, 2022) | <i>Geographic Information Systems (GIS) &amp; Analytic Hierarchy Process (AHP)</i> | Kecepatan angin<br>Potensi produksi<br>hidrogen<br>Lereng<br>Kedekatan dengan<br>saluran transmisi<br>Dekat dengan<br>perkotaan<br>Dekat dengan<br>jalan raya<br>Dekat dengan rel<br>kereta api<br>Kedekatan dengan<br>permintaan<br>hidrogen yang<br>tinggi | di ArcGIS digunakan<br>untuk menghitung<br>kriteria yang<br>bergantung pada<br>jarak                                                                      |

Tinjauan pustaka ini mengungkapkan bahwa metode dan teknologi yang digunakan dalam penelitian sebelumnya, seperti pengambilan keputusan multi-kriteria (MCDM), algoritma kecerdasan buatan, dan teknik berbasis data, telah memberikan kontribusi signifikan dalam menentukan lokasi yang optimal. Namun, masih terdapat kekurangan dalam hal integrasi teknologi canggih, seperti pengolahan citra, untuk mendukung analisis yang lebih komprehensif dan akurat. Untuk penentuan lokasi *rest area* yang baru, pendekatan yang menggabungkan metode MCDM dengan teknologi modern seperti pengolahan citra dapat memberikan hasil yang lebih efektif dan efisien. Kombinasi ini memungkinkan analisis yang mempertimbangkan berbagai faktor kompleks, seperti aksesibilitas, kebutuhan, dan kenyamanan pengguna.

Tujuan akhir dari penelitian ini adalah menghasilkan model pengambilan keputusan dalam memilih lokasi *rest area* yang baru, tetapi juga mendukung perencanaan infrastruktur yang berkelanjutan. Dengan demikian, model yang

diusulkan diharapkan dapat memberikan kontribusi praktis bagi pengembangan transportasi yang lebih terintegrasi dan responsif terhadap kebutuhan pengguna.

## **2.2 Keaslian (orisinalitas) penelitian**

Penelitian ini memiliki keaslian yang signifikan dalam pendekatan dan kontribusinya terhadap bidang perencanaan infrastruktur transportasi, khususnya dalam penentuan lokasi rest area. Kebaruan dari penelitian ini adalah pemanfaatan metode analisis data berbasis Google Maps Jam Favorit untuk menghasilkan pola kunjungan dan tingkat kepadatan pengunjung di *rest area* secara lebih rinci. Dengan pendekatan inovatif ini, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan infrastruktur transportasi, menyediakan model yang relevan bagi pengambil kebijakan untuk merancang *rest area* yang lebih strategis dan responsif terhadap kebutuhan pengguna jalan.

Keaslian lain penelitian ini terletak pada integrasi teknologi pengolahan citra kepadatan lalu-lintas dari platform Google Maps dengan metode pengambilan keputusan multi-kriteria *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM). Berbeda dengan pendekatan sebelumnya yang cenderung mengandalkan data statis atau survei manual, penelitian ini memanfaatkan data dinamis dari Google Maps untuk memperoleh informasi kepadatan lalu-lintas secara *real-time* atau historis, yang divisualisasikan melalui indikator warna (merah, kuning, dan hijau). Data ini memungkinkan analisis kepadatan lalu-lintas yang lebih akurat dan sesuai dengan kondisi lapangan. Selain itu, penelitian ini memperkenalkan pendekatan yang lebih komprehensif dalam pengambilan keputusan, dengan mempertimbangkan berbagai kriteria secara terintegrasi seperti aksesibilitas, keamanan, ketersediaan infrastruktur, dan kepadatan lalu lintas. Pendekatan hybrid ini menggabungkan teknologi pengolahan citra dengan metode MCDM untuk menghasilkan solusi yang lebih efektif dan efisien dalam menentukan lokasi *rest area* yang baru.

## 2.3 Landasan Teori

### 2.3.1 GIS (*Geographic Information System*)

GIS (*Geographic Information System*) merupakan sekumpulan prosedur yang menyediakan fungsi untuk memasukkan data, menyimpan, mengambil, memetakan, dan menganalisis data, baik berupa data spasial maupun atribut, guna mendukung proses pengambilan keputusan (B.Pick, 2005). GIS telah berkembang menjadi bidang penelitian dan aplikasi yang matang, dengan melibatkan berbagai disiplin ilmu akademik. GIS dapat mendukung berbagai kueri spasial yang berguna untuk mendukung analisis dan studi lokasi (Church, 2002). Aplikasi Google Maps yang tersedia secara luas merupakan contoh nyata dari penerapan kemampuan GIS (Dutkowski, 2021). Google Maps menawarkan peta dan gambar satelit untuk seluruh dunia. Layanan pemetaan web yang dikembangkan oleh Google ini menyediakan berbagai fitur, termasuk citra satelit, peta jalan, foto udara, pemandangan panorama interaktif 360 derajat melalui Street View, serta perencanaan rute untuk berjalan kaki, berkendara, bersepeda, dan transportasi umum. Selain itu, Google Maps juga menyajikan informasi lalu-lintas secara *real-time*. *Google Maps Places* adalah fitur tambahan yang menyediakan informasi terperinci tentang berbagai tempat atau lokasi di seluruh dunia, mencakup lokasi seperti kantor, hotel, restoran, toko, dan lainnya. Beberapa fitur utamanya meliputi informasi bisnis, seperti nomor telepon, alamat, jam operasional, ulasan pengguna, waktu tempuh perjalanan, serta grafik yang menunjukkan waktu kunjungan paling populer berdasarkan data pengguna. Dengan fitur-fitur ini, Google Maps menjadi alat yang sangat berguna untuk navigasi dan eksplorasi tempat-tempat baru (Svennerberg, 2010). Algoritma waktu populer dalam Google Maps adalah proses komputasional yang dirancang untuk menganalisis data lokasi dari pengguna aplikasi Google Maps. Algoritma ini berfungsi menentukan waktu-waktu dengan tingkat keramaian tertinggi dan terendah di suatu lokasi berdasarkan data historis. Prosesnya melibatkan pengumpulan dan pemrosesan data lokasi dari pengguna aplikasi, diikuti dengan analisis pola waktu yang terbentuk dari data tersebut. Hasil analisis ini disajikan dalam bentuk grafik yang menunjukkan tingkat keramaian

pada berbagai waktu. Grafik ini digunakan sebagai bagian dari pendekatan penelitian dalam studi ini.

Data kondisi lalu-lintas diperoleh dari pengguna Google Maps yang mengaktifkan fitur lokasi di perangkat genggam mereka. Aplikasi ini secara anonim mengirimkan data lokasi yang dikumpulkan secara waktu nyata ke Google untuk dianalisis (Layuk & Patasik, 2015). Layanan Google Maps dirancang secara interaktif, memungkinkan pengguna untuk menyesuaikan peta sesuai kebutuhan, seperti menggeser peta, mengubah tingkat *zoom*, dan memilih jenis tampilan peta. Salah satu mode yang dapat dipilih adalah Mode *Traffic*, yang memberikan informasi tentang kondisi lalu-lintas. Mode ini menggunakan indikator warna untuk menunjukkan tingkat kepadatan lalu-lintas: warna merah menunjukkan kemacetan, dengan intensitas warna merah yang lebih gelap menandakan lalu-lintas yang semakin lambat; warna kuning menunjukkan lalu-lintas padat; sedangkan warna hijau menandakan bahwa lalu-lintas lancar tanpa kemacetan.

Informasi lalu-lintas yang tersedia dapat dimanfaatkan oleh masyarakat umum, misalnya melalui indikator warna untuk menunjukkan tingkat kepadatan lalu-lintas atau estimasi waktu perjalanan. Selain itu, data ini juga dapat digunakan untuk membangun kumpulan data yang berguna bagi perencanaan kota dan pengelolaan lalu-lintas yang lebih baik dengan biaya rendah. Pengelolaan arus lalu-lintas yang lebih efisien, berdasarkan data tersebut, dapat membantu mengurangi emisi gas buang dan mendukung keberlanjutan lingkungan (Wagner *et al.*, 2020). Di Santiago, Google Maps API digunakan untuk memperoleh data waktu perjalanan secara terperinci guna menganalisis dampak dari infrastruktur baru. Infrastruktur tersebut mencakup 150 km jalan raya perkotaan, jaringan transportasi umum, dan jalur kereta bawah tanah yang memungkinkan perjalanan dalam waktu yang relatif singkat (Fielbaum & Jara-Diaz, 2021). Pemrograman aplikasi Google Maps digunakan untuk menghasilkan perkiraan waktu perjalanan yang realistis bagi angkutan umum dan mobil pribadi selama berbagai periode waktu. Metode ini lebih akurat dibandingkan dengan metode tradisional dalam penghitungan aksesibilitas, karena mampu menyediakan informasi waktu nyata tentang kondisi lalu-lintas, seperti batas kecepatan, kemacetan, dan waktu tunggu. Studi ini bertujuan untuk

mengoptimalkan distribusi sosio-spasial layanan angkutan umum di tujuh kota yang tersebar di lima wilayah berbeda di Brasil (Costa *et al.*, 2021). Google Maps digunakan dalam penelitian lain untuk memperoleh informasi mengenai durasi perjalanan (A. Ali *et al.*, 2021; Costa *et al.*, 2021; Fielbaum & Jara-Diaz, 2021; J. Li *et al.*, 2021; Wagner *et al.*, 2020).

Penelitian di London, Birmingham, dan Manchester menggunakan data ulasan Google Maps dari 5.010 restoran, melibatkan analisis kuantitatif terhadap 935.386 ulasan. Sentimen ulasan dianalisis menggunakan metode VADER untuk mengukur sentimen pada empat atribut utama restoran: makanan, layanan, suasana, dan nilai. Regresi logistik digunakan untuk menguji hubungan antara atribut-atribut tersebut dengan peringkat bintang lima serta untuk membandingkan perubahan peluang pada berbagai tingkat peringkat bintang. Selain itu, analisis mendalam dilakukan untuk memahami faktor-faktor yang mendorong ulasan positif dan negatif, dengan memeriksa 30 jenis makanan terpopuler dari delapan kategori restoran (Mathayomchan & Taecharungroj, 2020). Pertumbuhan suatu kota atau wilayah sering kali diiringi dengan terbatasnya kapasitas jalan, yang dapat menyebabkan kemacetan lalu-lintas. Oleh karena itu, memahami dan mengetahui kondisi lalu-lintas perkotaan secara menyeluruh menjadi sangat penting, tidak hanya selama jam-jam sibuk pagi dan sore (saat puncak kepadatan orang pergi dan pulang kerja), tetapi juga sepanjang minggu, dari Senin hingga Minggu. Di Boston, AS, tingkat kemacetan ditentukan menggunakan metode *K-means*, yang mengklasifikasikan data lalu-lintas untuk mengidentifikasi tingkat kemacetan yang berbeda. Klasifikasi ini dilakukan berdasarkan faktor-faktor seperti perkiraan kecepatan kendaraan, jumlah penduduk, zona wilayah, dan jenis jalan di setiap area, memberikan gambaran yang lebih komprehensif tentang kondisi lalu-lintas perkotaan (Muñoz-Villamizar *et al.*, 2021). Google Maps menyimpan riwayat data lokasi dari ponsel cerdas yang telah terpasang aplikasi Google Maps dalam jangka waktu satu minggu. Data dari *Google Maps Location History* (GMLH) kemudian dibandingkan dengan data GPS untuk mengevaluasi efektivitas dan keakuratan GMLH. Hasil perhitungan harian menunjukkan bahwa kesalahan antara data GMLH dan GPS berada di bawah 1,2%, mengindikasikan tingkat akurasi yang

tinggi (Yu *et al.*, 2019). Di Chennai, India, dilakukan survei terhadap 1.500 peserta lanjut usia yang memerlukan kunjungan mingguan secara teratur selama tiga tahun. 'Global Positioning System' (GPS) digunakan untuk mendapatkan koordinat lokasi rumah semua peserta. Data koordinat ini kemudian digabungkan dengan data demografis dan diunggah ke 'Google My Map'. Google Maps digunakan sebagai alat navigasi untuk mengunjungi rumah peserta, yang secara signifikan mengurangi waktu kerja di lapangan hingga 18% dan meningkatkan rata-rata jumlah kunjungan pengawasan sebesar 150%. Metode ini terbukti sangat memudahkan pengumpulan data dalam studi penelitian berbasis kohort (Mohan *et al.*, 2020).

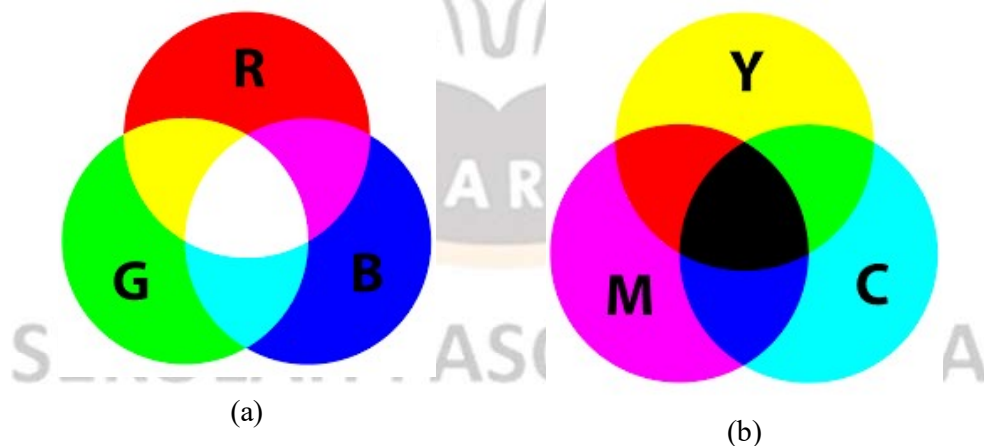
### 2.3.2 Pengolahan Pola Citra Digital

Pengolahan pola citra merupakan proses untuk mengambil, memperbaiki kualitas, dan mengubah informasi pada suatu citra. Pengolahan pola citra telah banyak dikembangkan peneliti, termasuk warna dapat dijadikan sebagai nilai acuan untuk melakukan pendeteksian objek (Fashiha Hastawan *et al.*, 2019; Putra, 2010; Putranto *et al.*, 2011). Citra Digital merupakan sebuah larik (array) yang berisi nilai-nilai real maupun kompleks yang direpresentasikan dengan deretan bit tertentu. Citra yang disimpan dalam memori komputer hanyalah angka-angka yang menunjukkan besar intensitas pada masing-masing piksel tersebut. Sebuah citra dapat mewakili oleh sebuah matriks yang terdiri dari N baris dan M kolom, di mana perpotongan antara baris dan kolom disebut piksel (*picture element*) yaitu elemen terkecil dari sebuah citra. Piksel mempunyai dua parameter yaitu intensitas atau warna dan koordinat. Nilai yang terdapat pada koordinat (x,y) adalah  $f(x,y)$ , yaitu besar intensitas atau warna dari piksel di titik itu (Putra, 2010).

Citra digital dikirimkan secara elektronik, file ditransfer ke media penyimpanan fisik, identifikasi objek berdasarkan foto dan video adalah salah satu layanan yang bisa digunakan (Taoufik *et al.*, 2022). Proses ekstraksi citra digital ada beberapa tahap, di antaranya meliputi citra digital diambil setiap *frame*, kecepatan pengambilan adalah 30 *frame* per detik dan setiap *frame* dibaca oleh algoritma yang dikembangkan, rubah gambar *Red, Green, Blue* (RGB) ke *Hue Saturation Value* (HSV). Citra yang ditangkap oleh *webcam* dalam format piksel

RGB, ambang gambar HSV digunakan untuk mendapatkan ambang batas, merupakan metode untuk memisahkan daerah yang lebih tinggi atau lebih rendah dari nilai ambang batas yang telah ditetapkan berdasarkan nilai batas atas dan batas bawah. Ambang batas diterapkan untuk semua piksel citra dengan mengubah citra HSV menjadi citra biner. Citra biner merupakan satu set *array* yang memiliki nilai 0 dan 1, tanda *bitwise* sangat berguna saat mengekstrak bagian mana pun dari citra, yang termasuk operasi *bitwise* adalah *and*, *or*, *not* dan *xor*. Citra kontur dengan warna hijau sebagai ambang batas, kontur merupakan kurva yang menghubungkan semua titik secara berkelanjutan, yang memiliki warna atau intensitas yang sama. Dalam menghitung piksel per rasio matrik, untuk menentukan sifat geometris objek pada suatu citra, terlebih dahulu perlu melakukan kalibrasi menggunakan objek referensi. Objek referensi tidak lain adalah objek yang tinggi dan lebarnya akan dihitung (Gupta *et al.*, 2022).

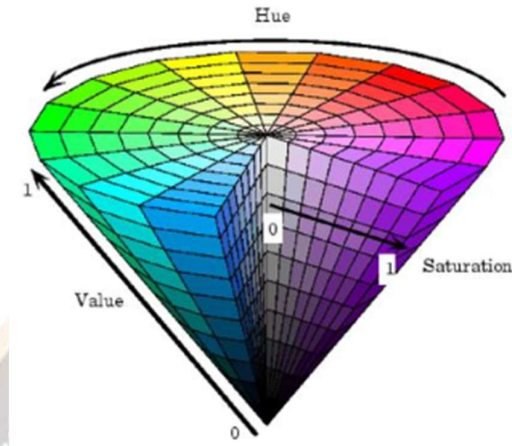
Setiap warna pada citra atau gambar adalah kombinasi dari warna RGB (Red, Green, Blue). Nilai pembacaan warna dari 0%-100% yaitu 0-255. Red (255, 0, 0), Green (0, 255, 0), dan Blue (0, 0, 255). Warna sekunder yang biasa disebut dengan CMY (Cian, Magenta, Yellow) maka dua warna diberikan nilai 100% satu warna dengan nilai 0% misal RGB (255, 0, 255), (255, 255, 0), (0, 255, 255) (Fashiha Hastawan *et al.*, 2019; Putra, 2010; Putranto *et al.*, 2011).



Gambar 2.2 (a) Warna RGB (b) CMY.

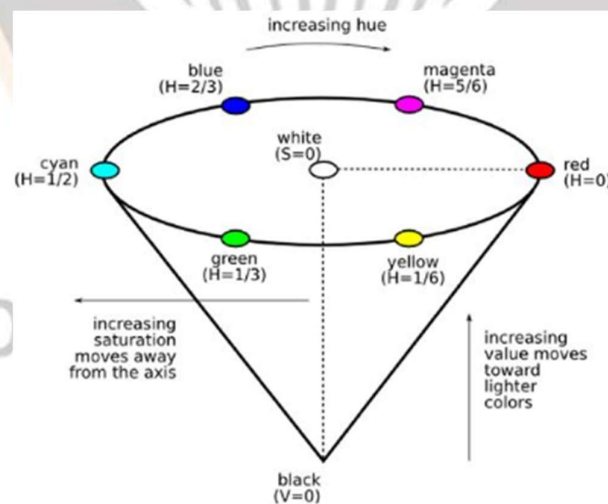
Dalam Gambar 2.2 pendeteksian warna, model HSV (*Hue, Saturation, Value*) ini membutuhkan warna dasar RGB sebagai acuan. Ruang warna pada HSV

merupakan transformasi dari kubus warna RGB menjadi kerucut (Widayati dan Ire Puspa Wardhani, 2020).



Gambar 2.3 HSV.

Gambar 2.3 menunjukkan H (*Hue*) merupakan sebuah sudut warna sumbu lingkaran pada kerucut, warna merah sebagai sumbu  $0^\circ$ . V (*Value*) merupakan bagian warna dari sumbu vertikal pada kerucut. Nilai  $V=1$  pada ujung sumbu berwarna putih dan nilai  $V=0$  terletak pada bagian akhir sumbu yang berwarna hitam dan. Sumbu V ini merupakan presentasi semua jenis warna keabuan. Hue menyatakan warna sebenarnya seperti merah, violet, dan kuning (Kusumanto & Tompunu, 2011).



Gambar 2.4 Hue dikuantisasi dengan nilai dari 0-255.

Gambar 2.4 menunjukkan Hue di kuantisasi dengan nilai 0 sampai 255. 0 menyatakan merah, lalu memutar nilai-nilai spektrum tersebut kembali lagi ke 0 untuk menyatakan merah lagi. Ini dapat dipandang sebagai sudut dari  $0^\circ$  sampai  $360^\circ$ . *Saturation* (S) menyatakan tingkat kemurnian warna cahaya, yaitu mengindikasikan seberapa banyak warna putih diberikan pada warna. *Saturation* dapat digambarkan sebagai panjang garis dari titik pusat lingkaran ke titik warna.

Citra skala keabuan merupakan citra digital yang hanya memiliki satu nilai kanal pada setiap pikselnya, dengan kata lain nilai bagian RED = GREEN = BLUE. Nilai tersebut digunakan untuk menunjukkan tingkat intensitas. Warna yang dimiliki adalah warna hitam, putih, dan keabuan. Tingkat keabuan di sini merupakan warna abu dengan berbagai tingkatan dari hitam hingga mendekati putih. Citra skala keabuan berikut memiliki kedalaman warna 8 bit (256 kombinasi warna keabuan) (Putra, 2010). Pengambangan merupakan proses konversi citra abu-abu menjadi citra biner, yang dilakukan dengan cara mengelompokkan nilai intensitas setiap piksel ke dalam dua kelas: putih (255), yang direpresentasikan dengan bit 1, dan hitam (0), yang direpresentasikan dengan bit 0. Warna hitam akan merepresentasikan latar belakang, sedangkan warna putih digunakan untuk menggambarkan target atau objek *foreground* (Fashiha Hastawan *et al.*, 2019; Putra, 2010; Widayati dan Ire Puspa Wardhani, 2020).

Morfologi adalah teknik pengolahan citra yang bertujuan untuk memperbaiki hasil segmentasi citra tersebut. Transformasi morfologi terbagi menjadi 2 yaitu Dilasi dan Erosi. Dilasi yang merupakan proses “penumbuhan” atau “penebalan” dalam citra biner. Dilasi sangat berguna ketika diterapkan dalam objek-objek yang terputus dikarenakan hasil pengambilan citra yang terganggu *noise*, kerusakan objek fisik yang dijadikan citra digital, atau disebabkan resolusi yang jelek. Erosi merupakan proses mengecilkan atau menipiskan objek citra biner. Kontur merupakan rangkaian piksel yang membentuk batas daerah (*region boundary*). Pada dasarnya terdapat dua jenis kontur, yaitu kontur tertutup dan kontur terbuka. Kontur adalah keadaan yang ditimbulkan oleh perubahan intensitas pada piksel-piksel yang bertetangga atau berdekatan satu sama lain. Perubahan intensitas itulah yang menyebabkan tepi (*edges*) objek pada citra dapat terdeteksi (Putra, 2010).

OpenCV (*Open Computer Vision*) merupakan sebuah (*API Application Programming Interface*) *library open source* yang sangat cocok untuk pengolahan citra. OpenCV dapat digunakan berbagai macam bahasa pemrograman seperti C++, Python, dan Java. OpenCV tersedia dalam berbagai platform, seperti Windows, Linux, OSX, Android, dan IOS. OpenCV juga dapat melakukan operasi high-speed GPU dengan menggunakan antarmuka-antarmuka berbasis CUDA dan OpenCL. Kombinasi terbaik untuk dapat melakukan operasi berkecepatan tinggi tersebut adalah dengan perpaduan antara OpenCV, C++ API dan bahasa pemrograman Python (Mulyawan *et al.*, 2011; Putra, 2010).

Python adalah bahasa pemrograman interpretatif multiguna. Python lebih menekankan pada keterbacaan kode agar lebih mudah untuk memahami sintaks. Dalam pemrograman bahasa Python juga terdapat *library Nump* dan *Scipy*. Bahasa pemrograman Python sangat cocok digunakan dalam bidang pengolahan citra. Layanan Google Map salah satu mode yang dapat dipilih adalah Mode *Traffic*. Mode tersebut menampilkan informasi mengenai keadaan lalu-lintas dengan indikator warna merah menunjukkan kemacetan, semakin gelap warna maka kondisi lalu-lintas semakin lambat kecepatannya, kuning menunjukkan lalu-lintas mengalami kepadatan, dan hijau menunjukkan tidak terjadi kemacetan lalu-lintas. Penelitian ini akan mencari jalur kemacetan jalan raya di Google Map pada mode *Traffic* dengan pengolahan pola citra.

### 2.3.3 Tempat Istirahat (*Rest area*)

Rest area jalan raya adalah fasilitas publik yang terletak di jalan nasional atau provinsi yang tidak termasuk dalam jaringan tol. Tujuannya untuk memenuhi kebutuhan dasar pengguna jalan jarak jauh seperti istirahat, toilet, dan konsumsi ringan. Perencanaan dan penempatannya mengacu pada pertimbangan lalu lintas, keamanan, dan kesiapan lahan, serta terkadang dijabarkan dalam rencana tata ruang wilayah (RTRW) dan pedoman teknis PU Nomor 28 Tahun 2021. Waktu istirahat yang tepat bagi pengemudi saat melakukan perjalanan jarak jauh sangat penting untuk menghindari kelelahan dan meningkatkan keselamatan berkendara. Kecelakaan di jalan raya sering kali disebabkan oleh kelelahan pengemudi, yang

dapat dipicu oleh berbagai faktor. Delapan elemen yang dapat menyumbang terhadap kelelahan pengemudi termasuk jam kerja yang melelahkan, waktu istirahat yang terbatas, kurangnya pengalaman dalam mengemudi, tekanan pekerjaan yang tinggi, kurang tidur, manajemen algoritma, kemacetan lalu-lintas, dan beban kerja yang berlebihan (Jaydarifard *et al.*, 2023). Kantuk pengemudi bertanggung jawab atas sekitar 20%–30% dari kecelakaan kendaraan bermotor, yang sering menyebabkan cedera serius atau kematian (Garbarino *et al.*, 2001). Kecelakaan lalu-lintas adalah salah satu penyebab kematian yang paling umum terjadi setiap tahun (OECD/WHO (2020), 2020). Kelelahan juga bertanggung jawab atas sekitar 10%–30% dari kecelakaan kendaraan bermotor (Higgins *et al.*, 2017; Husain *et al.*, 2019; Marcus & Rosekind, 2017).

*Rest area* di sepanjang jalan baik tol dan jalan raya adalah salah satu tempat yang disediakan untuk pengemudi beristirahat. *Rest area* adalah fasilitas penting yang disediakan di jalan tol dan sepanjang jalan raya untuk memberikan kesempatan bagi pengemudi untuk menghindari kelelahan, dan meningkatkan keselamatan berkendara. (*Rest area DeGISn Elements and their Effects on Drivers' Rest Behavior*). *Rest area* memberikan kesempatan kepada pengemudi atau pengguna jalan untuk ke kamar kecil, berjalan-jalan, makan, tidur sejenak, atau hanya sekedar untuk menggunakan telepon seluler. Tingkat kepadatan *rest area* pada siang hari berkisar 13% - 17% dari jumlah pengguna jalan (Al-Kaisy *et al.*, 2011) . Menurut (Jung *et al.*, 2017b) menunjukkan bahwa tempat istirahat memberikan lebih banyak kesempatan untuk menghindari pengemudi yang mengantuk dan dapat mengurangi angka kecelakaan sebesar 14%. Keberadaan *rest area* benar-benar bisa menekan tingkat kecelakaan baik di jalan tol maupun jalan raya (McArthur *et al.*, 2013). Kriteria *rest area* di tol dan jalan raya meliputi fasilitas parkir, fasilitas makan dan minum, fasilitas toilet, informasi dan papan petunjuk, dan keamanan. Salah satu parameter dalam perencanaan *rest area* adalah volume lalu-lintas. Volume lalu-lintas yang ada dan yang diproyeksikan memberikan dasar dari mana tempat istirahat di masa depan, kebutuhan dan fasilitas yang diperlukan (Herman, 1981). Meningkatkan durasi istirahat di *rest area* memberikan dampak positif pada kantuk dan meningkatkan kinerja pengemudi

(Cori *et al.*, 2021). *Rest area* juga berfungsi sebagai tempat bagi pengemudi untuk menyegarkan tubuh dan pikiran, dengan menyediakan fasilitas seperti tempat makan dan minum. Fasilitas toilet yang ada sangat penting bagi pengemudi untuk memenuhi kebutuhan fisiologis di tengah perjalanan. Beberapa pengemudi memanfaatkan fasilitas mandi di *rest area* agar merasa segar kembali setelah perjalanan panjang. Selain itu, pengisian bahan bakar kendaraan menjadi alasan utama bagi sebagian pengemudi untuk singgah. *Rest area* sering pula menjadi tempat berkumpul atau titik pertemuan bagi rombongan yang bepergian bersama. Beberapa *rest area* dilengkapi dengan toko atau pusat perbelanjaan, memungkinkan pengemudi membeli kebutuhan mendesak atau oleh-oleh selama perjalanan. Dengan demikian, *rest area* memiliki peran penting dalam memenuhi berbagai kebutuhan pengemudi selain sebagai tempat istirahat sejenak.

Dalam perencanaan dan pengembangan fasilitas pendukung jaringan jalan, keberadaan *rest area* atau tempat istirahat dan pelayanan (TIP) merupakan salah satu elemen penting yang bertujuan untuk meningkatkan keselamatan, kenyamanan, dan pelayanan bagi pengguna jalan. Khusus pada jaringan jalan tol, ketentuan mengenai pembangunan TIP telah diatur secara teknis dan normatif melalui Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Permen PUPR) Nomor 28 Tahun 2021 tentang Tempat Istirahat dan Pelayanan pada Jalan Tol. Meskipun peraturan tersebut secara yuridis hanya berlaku untuk jalan tol, substansi teknis dan prinsip-prinsip di dalamnya tetap relevan dan dapat dijadikan referensi dalam perencanaan *rest area* pada jalan non tol, dengan penyesuaian terhadap karakteristik wilayah dan kebutuhan lokal. Permen PUPR No. 28 Tahun 2021 mengatur beberapa aspek penting yang dapat dijadikan dasar dalam menyusun kriteria penelitian, antara lain klasifikasi TIP menjadi tiga tipe utama: TIP Tipe A, B, dan C. TIP Tipe A merupakan tempat istirahat yang paling lengkap dengan fasilitas utama seperti area parkir, SPBU, toilet, musala, rumah makan, kios UMKM, fasilitas penginapan, serta fasilitas keselamatan lalu lintas. TIP Tipe B memiliki fasilitas dasar tanpa SPBU, sedangkan TIP Tipe C merupakan bentuk paling sederhana, umumnya hanya menyediakan fasilitas dasar seperti toilet dan area parkir. Dalam peraturan tersebut juga dijelaskan bahwa TIP harus tersedia pada

setiap rentang maksimal 50 kilometer di setiap arah jalan tol, dan pengembangannya harus mempertimbangkan aspek keselamatan, kenyamanan, kemudahan akses, serta pemberdayaan ekonomi lokal. Selain aspek fasilitas, Permen PUPR ini juga memuat kriteria teknis yang relevan, seperti persyaratan kelayakan lokasi, kebutuhan luas lahan, ketersediaan utilitas dasar (listrik, air bersih, telekomunikasi), keamanan lingkungan, hingga integrasi dengan sistem pengelolaan lalu lintas. Prinsip-prinsip ini dapat diterjemahkan menjadi variabel atau kriteria yang dapat dikaji lebih lanjut dalam penelitian, terutama yang berkaitan dengan penentuan lokasi atau pengukuran tingkat kelayakan suatu wilayah untuk pengembangan *rest area*. Dengan demikian, dalam konteks penelitian ini, Permen PUPR No. 28 Tahun 2021 dijadikan sebagai salah satu rujukan utama dalam merumuskan kriteria yang akan digunakan untuk menilai dan menentukan lokasi ideal *rest area*, meskipun objek kajian tidak terbatas pada jalan tol. Pendekatan adaptif ini memungkinkan pemanfaatan regulasi yang telah ada untuk membentuk kerangka analisis yang lebih kontekstual dan aplikatif, sesuai dengan kebutuhan pembangunan fasilitas istirahat di jaringan jalan non tol.

Kurangnya *rest area* yang memadai memiliki dampak negatif yang signifikan, terutama terhadap kesejahteraan dan keselamatan pengguna jalan. Dampak-dampak ini mencakup beberapa aspek penting sebagai berikut:

1. Kelelahan Pengemudi: Keterbatasan jumlah *rest area* yang memadai dapat mengakibatkan kelelahan bagi pengemudi yang menempuh perjalanan jarak jauh. Ketika tidak tersedia tempat istirahat yang memadai, pengemudi cenderung untuk terus melanjutkan perjalanan dalam keadaan lelah, yang pada akhirnya dapat meningkatkan risiko kecelakaan.
2. Penurunan Konsentrasi: Tanpa keberadaan *rest area* yang memadai, pengemudi dapat merasa terganggu dan mengalami tekanan selama perjalanan. Kondisi ini mengakibatkan penurunan konsentrasi dan memperlambat waktu reaksi mereka, yang secara langsung dapat meningkatkan potensi kecelakaan di jalan.
3. Stres dan Ketegangan: *Rest area* yang tidak memadai juga dapat memicu stres dan ketegangan bagi pengemudi. Kurangnya tempat istirahat yang nyaman

berpotensi memengaruhi kesejahteraan mental dan emosional mereka serta mengganggu kualitas keseluruhan perjalanan.

4. Dampak terhadap Kesehatan dan Kesejahteraan: Ketiadaan fasilitas yang memadai, seperti toilet, tempat untuk minum, dan ruang istirahat, dapat menyebabkan masalah kesehatan bagi pengemudi, seperti dehidrasi, gangguan pencernaan, dan tidak nyamanan fisik lainnya.
5. Penurunan Produktivitas: Bagi pengemudi yang melakukan perjalanan bisnis, kekurangan *rest area* yang memadai dapat mengurangi produktivitas mereka. Tanpa tempat yang nyaman untuk beristirahat atau melakukan pekerjaan ringan, seperti menjawab panggilan telepon atau memeriksa email, tugas-tugas ini menjadi sulit dilakukan secara efisien.
6. Kemacetan Lalu-lintas: Kurangnya *rest area* dapat memaksa pengemudi untuk beristirahat di tempat yang tidak aman atau tidak teratur, seperti bahu jalan atau area pinggir jalan, yang pada akhirnya dapat mengakibatkan kemacetan lalu-lintas di sepanjang jalur utama.
7. Keterbatasan Aksesibilitas: *Rest area* yang tidak cukup atau yang jaraknya terlalu jauh satu sama lain mengakibatkan kesulitan akses bagi pengemudi yang membutuhkan tempat istirahat mendadak, terutama bagi mereka yang mengalami masalah kesehatan atau keadaan darurat lainnya.
8. Penggunaan Tempat Istirahat Tidak Resmi: Keterbatasan *rest area* yang memadai juga mendorong pengemudi untuk menggunakan tempat istirahat yang tidak resmi atau kurang aman, seperti bahu jalan atau area pinggir jalan, yang meningkatkan risiko kecelakaan dan potensi kejahatan.

Mempertimbangkan kriteria yang benar dalam menentukan lokasi *rest area* memiliki manfaat yang substansial dalam menyediakan layanan yang optimal bagi pengguna jalan. Memastikan aksesibilitas yang mudah dari jalan raya utama, *rest area* dapat menjadi titik istirahat yang nyaman dan praktis bagi pengemudi yang membutuhkan waktu istirahat sejenak. Selanjutnya, pemilihan lokasi yang mempertimbangkan jarak yang sesuai antara *rest area* dapat membantu menghindari kelelahan berlebihan dan meningkatkan keselamatan selama

perjalanan. Selain itu, dengan menyediakan fasilitas yang memadai seperti toilet yang bersih, tempat parkir yang luas, dan area istirahat yang nyaman, *rest area* dapat meningkatkan kenyamanan pengguna jalan dan memberikan pengalaman perjalanan yang lebih menyenangkan. Terakhir, penempatan *rest area* yang tepat juga dapat memberikan dampak positif bagi pembangunan wilayah sekitarnya dengan mendorong pertumbuhan ekonomi lokal dan menciptakan peluang kerja bagi masyarakat setempat. Dengan demikian, mempertimbangkan kriteria yang benar dalam menentukan lokasi *rest area* tidak hanya memberikan manfaat bagi pengguna jalan, tetapi juga mendukung kesejahteraan wilayah sekitarnya (Banerjee *et al.*, 2009). Berikut merupakan faktor-faktor pertimbangannya:

1. Aksesibilitas

Memastikan aksesibilitas dalam penentuan lokasi *rest area* adalah langkah penting untuk menjamin kemudahan akses bagi pengguna jalan. Dengan memilih lokasi yang mudah dijangkau dari jalan raya utama, *rest area* dapat diakses dengan mudah oleh pengemudi yang menempuh perjalanan panjang. Hal ini tidak hanya meningkatkan kenyamanan pengguna jalan, tetapi juga memungkinkan mereka untuk beristirahat dengan lebih efisien, mengurangi risiko kelelahan berlebihan yang dapat berujung pada kecelakaan. Aksesibilitas yang baik juga memungkinkan *rest area* untuk digunakan oleh berbagai jenis kendaraan, termasuk mobil, truk, dan bus, sehingga memenuhi kebutuhan berbagai kategori pengguna jalan. Oleh karena itu, memastikan aksesibilitas dalam penentuan lokasi *rest area* merupakan langkah fundamental untuk meningkatkan keselamatan, kenyamanan, dan efisiensi perjalanan. Beberapa faktor yang harus dipertimbangkan dalam menentukan aksesibilitas lokasi *rest area* meliputi kedekatan dengan jalan tol atau jalan raya utama agar mudah diakses oleh pengemudi; akses dari kedua arah jalan untuk memastikan bahwa semua pengguna dapat mengaksesnya dengan mudah; serta kapasitas jalan masuk dan keluar yang memadai untuk menghindari kemacetan di sekitar area saat pengemudi masuk atau keluar. Selain itu, *rest area* harus dirancang untuk mengakomodasi berbagai jenis kendaraan, termasuk mobil penumpang, truk, dan bus, dengan mempertimbangkan kebutuhan ruang dan fasilitas yang sesuai untuk masing-masing kategori. Faktor lain yang harus diperhatikan adalah

ketersediaan jalan akses yang memadai, baik yang menghubungkan *rest area* dengan jalan tol atau jalan raya utama, maupun jalan internal yang menghubungkan berbagai fasilitas di dalam *rest area* itu sendiri. Pemasangan tanda petunjuk yang jelas dan tepat juga sangat penting untuk memudahkan pengemudi menemukan lokasi *rest area*. Selain itu, aksesibilitas bagi pengguna difabel perlu diperhatikan dengan menyediakan fasilitas khusus, seperti jalan setapak yang rata, area parkir khusus, serta akses ke fasilitas yang ramah bagi pengguna dengan disabilitas.

## 2. Keamanan

Keamanan pada *rest area* adalah aspek yang sangat penting untuk diperhatikan dalam perencanaan dan pengelolaan fasilitas tersebut. *Rest area* yang aman memberikan rasa nyaman dan perlindungan kepada pengguna jalan yang beristirahat di sana. Upaya untuk memastikan keamanan termasuk penerangan yang memadai di malam hari guna mencegah kejahatan, pengawasan yang efektif melalui personel keamanan atau kamera pengawas, dan pemeliharaan kebersihan serta keamanan fasilitas. Patroli rutin juga diperlukan untuk memastikan keamanan terjaga sepanjang waktu. Komitmen yang kuat dari pihak pengelola *rest area* dalam memprioritaskan keselamatan pengguna jalan, bersama dengan pemberian informasi yang jelas tentang layanan keamanan yang tersedia, sangatlah penting. Selain itu, kemitraan dengan pihak kepolisian setempat atau lembaga keamanan lainnya dapat meningkatkan pengawasan dan tanggapan terhadap situasi keamanan yang mungkin timbul. Dengan mengelola risiko secara terencana dan mengambil langkah-langkah pencegahan yang sesuai, *rest area* dapat menjadi lingkungan yang aman dan nyaman bagi semua pengguna jalan yang melintas.

Pertimbangan keamanan dalam menentukan lokasi *rest area* memiliki implikasi yang signifikan terhadap keselamatan dan kenyamanan pengguna jalan. Lokasi *rest area* yang dipilih haruslah memperhatikan faktor-faktor seperti tingkat kejahatan di sekitar area, pencahayaan yang memadai, dan ketersediaan pengawasan keamanan. Dengan memilih lokasi yang aman, pengelola *rest area* dapat memberikan perlindungan yang lebih baik kepada pengguna jalan dari potensi risiko kejahatan atau tindakan kriminal lainnya. Selain itu, *rest area* yang aman juga dapat membantu mencegah kecelakaan dengan menyediakan lingkungan

yang teratur dan terawat dengan baik. Ini tidak hanya meningkatkan kenyamanan pengguna jalan, tetapi juga menciptakan citra positif bagi *rest area* dan wilayah sekitarnya. Dengan mempertimbangkan keamanan dalam menentukan lokasi *rest area*, pengelola *rest area* dapat menciptakan lingkungan yang aman dan nyaman bagi pengguna jalan, yang pada akhirnya akan meningkatkan pengalaman perjalanan mereka serta memastikan keselamatan selama beristirahat di *rest area* tersebut.

### 3. Parkir

Tempat parkir di *rest area* adalah fasilitas vital yang disediakan di sepanjang jalan tol atau jalan raya untuk memungkinkan pengemudi beristirahat sejenak atau melakukan kegiatan lain seperti makan atau menggunakan fasilitas toilet. Mereka biasanya terletak di sekitar fasilitas *rest area* yang dilengkapi dengan toko-toko makanan, toilet, dan kadang-kadang area bermain untuk anak-anak. Tempat parkir ini bervariasi dalam kapasitas, mulai dari yang besar dengan ratusan tempat parkir hingga yang lebih kecil dengan kapasitas terbatas. Mereka dilengkapi dengan fasilitas seperti tempat sampah, toilet, dan area piknik, serta sering kali memiliki pencahayaan yang cukup dan sistem keamanan untuk meningkatkan rasa aman pengguna jalan. Tempat parkir di *rest area* biasanya mudah diakses dari jalan tol atau jalan raya utama dan kebanyakan gratis untuk digunakan, meskipun ada beberapa yang mungkin menerapkan biaya parkir. Sebagian besar *rest area* memiliki peraturan khusus terkait waktu maksimum parkir, larangan menginap, atau aturan lainnya yang ditetapkan oleh otoritas terkait. Secara keseluruhan, tempat parkir di *rest area* merupakan fasilitas yang penting untuk meningkatkan keselamatan jalan raya dan kenyamanan pengemudi selama perjalanan panjang. Parkir adalah keadaan tidak bergerak suatu kendaraan yang bersifat sementara, sedang berhenti adalah keadaan tidak bergerak suatu kendaraan untuk sementara dengan pengemudi tidak meninggalkan kendaraannya. Dasar pengaturan mengenai parkir adalah Keputusan Menteri Perhubungan Nomor : KM 66 Tahun 1993 tentang Fasilitas Parkir untuk umum (Abubakar *et al.*, 1998).

Kemudahan parkir pada lokasi *rest area* memiliki peran yang sangat penting dalam meningkatkan pengalaman perjalanan pengemudi dan penumpang. Dengan

tersedianya tempat parkir yang cukup dan mudah diakses, pengemudi dapat dengan nyaman berhenti sejenak untuk beristirahat, makan, atau menggunakan fasilitas lainnya yang disediakan di *rest area*. Ini sangat membantu dalam mencegah kelelahan dan meningkatkan kewaspadaan selama perjalanan jarak jauh. Selain itu, kemudahan parkir juga berkontribusi pada keselamatan, karena pengemudi tidak perlu mencari tempat parkir di area yang tidak aman atau tidak sesuai. Dengan demikian, fasilitas parkir yang baik di *rest area* tidak hanya memastikan kenyamanan pengguna jalan, tetapi juga membantu meningkatkan keselamatan dan efisiensi perjalanan secara keseluruhan.

#### 4. Toilet Umum

Toilet umum di *rest area* merupakan salah satu fasilitas utama yang disediakan untuk memenuhi kebutuhan pengemudi dan penumpang selama perjalanan. Biasanya, toilet umum di *rest area* dilengkapi dengan beberapa jenis fasilitas, termasuk toilet duduk, *urinoir*, wastafel dengan air mengalir, dan tempat sampah. Toilet duduk biasanya tersedia baik untuk pria maupun wanita, sementara *urinoir* ditujukan khusus untuk pria. Luasan toilet umum di *rest area* bervariasi tergantung pada ukuran *rest area* itu sendiri, namun mereka sering kali dirancang dengan cukup luas untuk mengakomodasi jumlah pengguna yang cukup banyak pada saat yang bersamaan. Beberapa toilet umum di *rest area* juga dilengkapi dengan fasilitas tambahan seperti ruang laktasi untuk ibu menyusui atau ruang distabilitas yang memadai untuk pengguna kursi roda. Fasilitas toilet yang bersih, terawat, dan luas di *rest area* memberikan kenyamanan tambahan kepada pengguna jalan dan memainkan peran penting dalam meningkatkan pengalaman perjalanan mereka.

#### 5. Layanan Umum

*Rest area* adalah tempat istirahat yang penting di sepanjang jalan tol atau jalan raya yang dirancang untuk memberikan kenyamanan dan kemudahan kepada para pengemudi dan penumpang. Salah satu fasilitas utama di *rest area* adalah tempat duduk, yang biasanya tersedia dalam berbagai bentuk seperti bangku, kursi, atau bahkan meja piknik. Tempat duduk ini memungkinkan pengguna jalan untuk beristirahat sejenak, mengambil napas, atau mengonsumsi makanan yang mereka

bawa. Selain itu, telepon umum juga merupakan fasilitas yang penting, meskipun keberadaannya semakin berkurang dengan perkembangan teknologi. Meskipun demikian, telepon umum masih diperlukan sebagai fasilitas darurat atau bagi mereka yang tidak memiliki akses ke telepon seluler. Untuk memenuhi kebutuhan keagamaan, *rest area* sering kali dilengkapi dengan mushola atau ruang ibadah yang menyediakan fasilitas untuk Shalat, wudhu, dan kegiatan keagamaan lainnya. Ini penting terutama di negara-negara dengan mayoritas Muslim, di mana kebutuhan ini sangat dihargai oleh pengemudi dan penumpang. Taman atau area rekreasi kecil juga sering ditemukan di *rest area*. Taman ini biasanya dilengkapi dengan bangku-bangku, jalur berjalan, dan mungkin juga area bermain untuk anak-anak. Mereka memberikan kesempatan bagi pengunjung untuk bersantai dan menikmati udara segar sebelum melanjutkan perjalanan mereka. Dengan menyediakan fasilitas-fasilitas ini, *rest area* menjadi lebih dari sekadar tempat singgah untuk pengisian bahan bakar dan istirahat. Mereka menciptakan lingkungan yang ramah dan nyaman bagi pengguna jalan, memberikan mereka kesempatan untuk beristirahat, beribadah, dan menikmati waktu bersantai sebelum melanjutkan perjalanan mereka. Ini berkontribusi pada pengalaman perjalanan yang lebih baik dan meningkatkan keselamatan di jalan raya.

#### 6. Restoran

Restoran di *rest area* adalah fasilitas penting yang menyediakan berbagai macam makanan dan minuman kepada para pengemudi dan penumpang yang melakukan perjalanan panjang. Restoran-restoran ini sering kali menawarkan pilihan menu yang beragam, mulai dari hidangan lokal hingga makanan cepat saji internasional, untuk memenuhi selera dan preferensi pengunjung. Mereka juga dapat menyediakan ruang makan dalam dan luar ruangan, yang terkadang dilengkapi dengan pemandangan yang menarik atau area bermain untuk anak-anak. Selain itu, beberapa restoran di *rest area* dilengkapi dengan fasilitas tambahan seperti pompa bensin atau minimarket, sehingga pengunjung dapat mengisi bahan bakar atau membeli kebutuhan lainnya tanpa harus meninggalkan tempat istirahat. Restoran-restoran ini tidak hanya menyediakan makanan dan minuman, tetapi juga menjadi tempat bagi para pengguna jalan untuk beristirahat sejenak, bertemu

dengan sesama pengemudi, atau merencanakan bagian berikutnya dari perjalanan mereka. Dengan menyediakan layanan yang nyaman dan bervariasi, restoran di *rest area* memainkan peran penting dalam meningkatkan kenyamanan dan kesejahteraan pengguna jalan selama perjalanan mereka.

#### 7. Kios

Kios pada *rest area* adalah bagian penting dari infrastruktur yang menyediakan berbagai layanan dan produk kepada para pengemudi dan penumpang yang melewati jalan tol atau jalan raya. Biasanya, kios ini menawarkan berbagai macam barang dan jasa, mulai dari makanan ringan, minuman, dan camilan hingga barang-barang kebutuhan sehari-hari seperti rokok, minyak wangi, dan perlengkapan perjalanan. Beberapa kios juga mungkin menawarkan produk-produk lokal atau suvenir sebagai bentuk promosi pariwisata. Selain itu, beberapa kios dilengkapi dengan fasilitas seperti ATM, pembayaran tol, atau penukaran uang untuk memudahkan transaksi bagi pengguna jalan. Kios-kios ini juga berfungsi sebagai tempat bagi pengemudi dan penumpang untuk singgah sejenak, mengisi kembali persediaan mereka, atau sekadar mengambil sesuatu untuk menemani perjalanan mereka. Dengan menyediakan berbagai layanan dan produk di lokasi yang strategis, kios pada *rest area* memberikan kontribusi yang signifikan dalam meningkatkan kenyamanan dan kesejahteraan para pengguna jalan selama perjalanan mereka.

#### 8. SPBU (Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum)

Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) yang terdapat di *rest area* merupakan fasilitas vital yang memiliki peran penting dalam mendukung kelancaran perjalanan para pengemudi yang melewati jalan tol atau jalan raya. SPBU ini tidak hanya berfungsi sebagai tempat untuk mengisi bahan bakar kendaraan, tetapi juga menjadi pusat layanan yang menyediakan berbagai jenis bahan bakar, seperti bensin dengan berbagai oktan, solar untuk kendaraan berbasis diesel, dan gas alam cair (LPG) bagi kendaraan tertentu, guna memenuhi kebutuhan berbagai jenis kendaraan bermotor yang berbeda. Selain menyediakan bahan bakar, SPBU di *rest area* juga dilengkapi dengan fasilitas tambahan untuk memberikan kenyamanan lebih bagi pengguna jalan. Fasilitas tersebut meliputi layanan

pengisian angin untuk ban kendaraan agar tetap aman dan stabil saat berkendara, area pencucian kendaraan untuk menjaga kebersihan kendaraan selama perjalanan, serta toko serba ada yang menawarkan beragam produk. Di toko ini, pengemudi dan penumpang dapat menemukan berbagai kebutuhan, mulai dari makanan dan minuman ringan untuk menghilangkan rasa lapar atau haus, hingga perlengkapan kendaraan seperti oli, wiper, atau aksesoris lainnya yang mungkin diperlukan selama perjalanan. Dengan kombinasi layanan utama dan tambahan ini, SPBU di *rest area* berperan tidak hanya sebagai penyedia bahan bakar, tetapi juga sebagai pusat layanan terpadu yang mendukung kenyamanan, keamanan, dan efisiensi perjalanan bagi para pengguna jalan. Syarat luas fasilitas SPBU dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Luas Fasilitas SPBU.

| No. | Tipe fasilitas | Jumlah Flowmeter minimum (buah) | Ruang pengisian bahan bakar minimum (m <sup>2</sup> ) | Kantor minimum (m <sup>2</sup> ) | Ruang untuk cuci mobil/bengkel, minimum (m <sup>2</sup> ) | Lain-lain (m <sup>2</sup> ) | Luas Total minimum (m <sup>2</sup> ) |
|-----|----------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| 1   | I dan II       | 4                               | 300                                                   | 120                              |                                                           | 50                          | 470                                  |
| 2   | III            | 4                               | 300                                                   | 120                              | 80                                                        | 50                          | 550                                  |

Tabel 2.4 menunjukkan luasan fasilitas pada SPBU di *rest area* sangat penting karena mereka memberikan akses mudah dan nyaman bagi pengemudi untuk mengisi bahan bakar dan melanjutkan perjalanan mereka tanpa harus keluar dari jalan tol atau jalan raya. Hal ini memungkinkan pengguna jalan untuk menghemat waktu dan tenaga, serta memberikan keamanan tambahan karena mereka tidak perlu mencari SPBU di daerah yang mungkin tidak mereka kenal. Selain itu, SPBU di *rest area* juga sering kali dilengkapi dengan fasilitas lain seperti minimarket, toilet, dan area istirahat, yang membuat mereka menjadi tempat singgah yang ideal bagi para pengemudi dan penumpang yang membutuhkan istirahat sejenak selama perjalanan mereka. Dengan demikian, SPBU di *rest area* tidak hanya berfungsi sebagai tempat pengisian bahan bakar, tetapi juga sebagai pusat layanan lengkap yang memenuhi berbagai kebutuhan para pengguna jalan dan membantu meningkatkan kenyamanan serta keselamatan selama perjalanan.

## 9. Kebersihan

Kondisi lingkungan dan kebersihan pada *rest area* memiliki peran yang sangat penting dalam memberikan pengalaman yang nyaman dan aman bagi pengguna jalan. Pertama-tama, lingkungan yang bersih dan terawat pada *rest area* memberikan kesan positif kepada pengguna jalan tentang komitmen pemerintah atau pengelola *rest area* terhadap kebersihan dan kenyamanan. Hal ini juga mencerminkan rasa tanggung jawab terhadap lingkungan sekitar dan kesadaran akan pentingnya menjaga kebersihan. Selain itu, kebersihan *rest area* juga berdampak pada kesehatan pengguna jalan. *Rest area* yang bersih dapat mengurangi risiko penularan penyakit dan infeksi, karena lingkungan yang bersih lebih sulit untuk menjadi tempat berkembang biak bagi bakteri dan virus. Ini sangat penting terutama dalam konteks kesehatan masyarakat dan pencegahan penyakit menular, terutama dalam situasi seperti pandemi atau wabah penyakit.

Kondisi lingkungan yang bersih juga dapat meningkatkan keselamatan pengguna jalan. Tanpa sampah yang berserakan atau limbah yang tidak tertangani dengan baik, risiko terjadinya kecelakaan karena gangguan penglihatan atau jalan yang tidak rata dapat diminimalkan. Lingkungan yang bersih juga memungkinkan pengguna jalan untuk menghindari hambatan atau bahaya yang dapat muncul akibat kondisi lingkungan yang tidak terawat. Selain itu, *rest area* yang bersih dan terjaga lingkungannya juga dapat meningkatkan citra dan daya tarik tempat tersebut sebagai destinasi wisata atau tempat beristirahat. Hal ini dapat mendorong lebih banyak orang untuk mengunjungi *rest area* dan menghabiskan waktu di sana, yang pada gilirannya dapat meningkatkan pendapatan bagi pengelola *rest area* dan memberikan manfaat ekonomi bagi masyarakat sekitar. Dengan demikian, pentingnya kondisi lingkungan dan kebersihan pada *rest area* tidak hanya berkaitan dengan kenyamanan pengguna jalan, tetapi juga memiliki dampak yang lebih luas terhadap kesehatan, keselamatan, dan ekonomi.

Sejumlah masalah dan tantangan telah dihadapi selama proses pengembangan dan penerapan area istirahat, termasuk jarak antar area istirahat, kapasitas tempat parkir truk, dan potensi pengurangan biaya infrastruktur sambil menjaga permintaan yang memadai. Dari analisis literatur, terlihat bahwa kekurangan

fasilitas parkir di area istirahat menyebabkan masalah keamanan dan penggunaan yang tidak optimal. Oleh karena itu, sangat disarankan untuk mengimplementasikan strategi guna mengatasi kelebihan kapasitas dan memastikan ketersediaan parkir yang mencukupi. Penelitian yang dilakukan oleh Fleger dkk., Kimley Horn, dan Pigman dkk. merekomendasikan pemanfaatan fasilitas pinggir jalan lainnya seperti jembatan timbang, atau fasilitas yang tidak terpakai sebagai tambahan tempat parkir untuk mengurangi kebutuhan akan fasilitas parkir konvensional seperti area istirahat dan halte truk. Kolaborasi antara pemerintah dan sektor swasta diharapkan untuk menutupi biaya yang terkait dengan pengembangan dan pembangunan area istirahat serta layanan bagi pengguna jalan.

Sejumlah penelitian telah menginvestigasi pola kecelakaan di sekitar area istirahat dan fasilitas parkir. Menariknya, penelitian ini menemukan beberapa temuan yang bertentangan mengenai dampak keselamatan dari area istirahat dan fasilitas parkir terhadap pengguna jalan. Meskipun beberapa penelitian menyimpulkan bahwa fasilitas tersebut berkontribusi pada peningkatan tingkat keselamatan, penelitian lain menunjukkan bahwa dampaknya terhadap jenis kecelakaan tertentu masih belum jelas. Para peneliti merekomendasikan beberapa strategi yang bermanfaat untuk meningkatkan aspek keamanan area istirahat. Salah satunya adalah pengetahuan kepada pengguna jalan tentang bahaya dan konsekuensi dari kelelahan dan tidur saat mengemudi, serta penerapan tindakan pencegahan yang tepat. Informasi real-time mengenai lokasi area istirahat yang tersedia harus disediakan kepada pengguna jalan. Keamanan area istirahat juga harus ditingkatkan dengan penerangan yang memadai, pengawasan melalui kamera CCTV, patroli keamanan, dan lain sebagainya. Penerapan sistem Deteksi Dini dan Aksi (DDA) antara dua area istirahat berturut-turut, khususnya yang berjarak jauh dan/atau berada di daerah pedesaan, dianggap sebagai langkah yang efektif dalam mengurangi kecelakaan yang disebabkan oleh kelelahan. Penggunaan perangkat pencatatan elektronik memerlukan strategi dan penegakan hukum yang lebih ketat, serta regulasi yang memaksa pengemudi truk untuk mematuhi aturan. Strategi lainnya meliputi perluasan kapasitas parkir dengan menggunakan *Intelligent Transport Systems* (ITS) serta pembangunan fasilitas parkir baru. Terakhir,

pengolahan teknologi transportasi cerdas, seperti otomatisasi kendaraan, diharapkan dapat mengurangi masalah kelelahan saat berkendara, sehingga membantu mengurangi kebutuhan dan keberadaan area istirahat di sepanjang jalan raya di masa depan.

Banyak penelitian yang berfokus pada area istirahat, terutama di bidang Sistem Informasi. Namun demikian, penelitian yang secara eksplisit membahas penambahan data terkait kunjungan di area istirahat masih terbatas dalam beberapa tahun terakhir. Wolf dkk. (Wolf *et al.*, 2012) telah melakukan pemantauan jumlah pengunjung dengan menggunakan pelacakan GPS dan survei berbasis kuesioner wawancara, namun metode tersebut masih sangat tradisional. Foto geotag dari internet serta data GPS digunakan untuk menentukan perjalanan pengunjung. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Orsi dan Geneletti (Orsi & Geneletti, 2013) dapat dimanfaatkan untuk memperkirakan arus kunjungan.

Kombinasi *GPS Visitor Tracking* (GVT) dan *Recreation Suitability Mapping* (RSM) digunakan untuk memahami pola kunjungan rekreasi. Data yang diperoleh dapat diintegrasikan ke dalam perencanaan geografis pada berbagai skala. Studi ini dapat dijadikan rekomendasi bagi manajer dalam pengembangan di masa mendatang (Beeco *et al.*, 2014). Korpilo dkk. (Korpilo *et al.*, 2018) menggunakan *platform Public Participation GIS* (PPGIS) berbasis web milik MyDynamicForest, yang mengintegrasikan pelacakan GPS dari telepon pintar, pembuatan rute perjalanan, serta kuesioner untuk mengumpulkan informasi pengunjung. Data yang dihasilkan dapat dimanfaatkan untuk perencanaan dan pengelolaan di masa mendatang. Prediksi jumlah pengunjung taman nasional di Jerman dilakukan dengan membandingkan data survei dan foto geotag berbasis media sosial. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Sinclair dkk. (Sinclair *et al.*, 2020) menunjukkan bahwa struktur pengunjung yang dihasilkan cukup representatif, dengan tingkat akurasi mencapai 62%-89%.

Manajemen pengunjung telah menjadi aspek penting dalam pengelolaan destinasi berkelanjutan di sektor pariwisata. Luas area sebesar 2 hektar dianggap relevan untuk mendukung peningkatan pengelolaan yang lebih baik dan pengembangan di masa mendatang (Kebete & Wondirad, 2019). Pengamatan

terhadap pengunjung dilakukan melalui dua metode, yaitu menggunakan citra dari drone dan foto yang diambil dari kamera yang dipasang di area tersebut (Donaire *et al.*, 2020). Pemantauan kepadatan pengunjung di kawasan hutan dilakukan dengan memanfaatkan teknologi GPS (Pouwels *et al.*, 2020). *Passive Mobile Data* (PMD) merupakan data yang direkam oleh *Mobile Network Operators* (MNOs) yang diperoleh dari perangkat seluler konsumen yang terhubung ke jaringan suara dan data publik. Data tersebut menghasilkan informasi yang mencakup identifikasi wisatawan, pola distribusi temporal dan spasial, serta analisis hubungan ruang dan waktu (Reif & Schmücker, 2020). Survei yang dilakukan terhadap 24 lokasi taman hijau di *Urban Green Spaces* (UGSs) di Guangzhou, Tiongkok, dengan menggunakan 595 kuesioner yang diberikan kepada pengunjung, menunjukkan bahwa kunjungan lebih sering terjadi pada malam hari dan akhir pekan. Sebaliknya, kunjungan pada siang hari yang terik cenderung dihindari (Shan, 2020).

Pengawasan pergerakan pengunjung di *Parks and Protected Areas* (PPAs) dilakukan menggunakan platform analitik data perangkat seluler yang disediakan oleh *Streetlight, Inc.* Dengan platform ini, manajemen taman dapat memperkirakan jumlah pengunjung yang memasuki area melalui gerbang tertentu, memantau kepadatan pengunjung, serta merencanakan pengelolaan dan pengembangan kawasan lindung di masa depan (Creany *et al.*, 2021). Penelitian sebelumnya memperkirakan jumlah pengunjung menggunakan radar, yang digunakan untuk mengukur panjang kendaraan. Kendaraan seperti bus, yang terukur lebih panjang, menunjukkan jumlah pengunjung yang lebih banyak, sementara kendaraan kecil seperti mobil pribadi dianggap memuat lebih sedikit. Namun, kesalahan dalam mengukur kendaraan dapat menyebabkan kekeliruan dalam menghitung jumlah pengunjung (Thórhallsdóttir *et al.*, 2021).

Di Stołowe Mts. National Park, Polandia, arus pengunjung dihitung menggunakan 39 sensor piroelektrik yang merupakan bagian dari *Monitoring System of Tourist Traffic* (MSTT). Pengamatan dilakukan selama empat tahun (2017-2019), dan dari hasil pengamatan tersebut diidentifikasi empat jenis musim wisata: musim panas dengan kunjungan wisata yang tinggi; musim semi dan musim gugur dengan kunjungan yang masih cukup ramai; serta akhir musim gugur dan

musim dingin dengan kunjungan yang paling sepi. Data ini mendukung perencanaan pengelolaan dan peningkatan infrastruktur yang lebih baik (Mateusz, 2021). Volume kunjungan taman juga dihitung dengan mengolah data dari ponsel pengunjung, observasi lapangan, serta analisis citra satelit. Kombinasi berbagai metode analisis ini digunakan untuk memetakan pola kunjungan dan membangun hubungan antara pengunjung dan taman, termasuk dalam penyelenggaraan acara budaya (Guan *et al.*, 2021). Museum Galleria Borghese di Roma, Italia, memantau pengunjungnya menggunakan perangkat pelacak IoT larangan yang terhubung dengan penerima *Raspberry Pi* yang tersebar di seluruh area museum. Data yang diperoleh memberikan wawasan tentang perilaku pengunjung serta pola pergerakan pengunjung di dalam museum, seperti yang dikemukakan oleh Centorrino dan rekan-rekannya (Centorrino *et al.*, 2021).

Penggunaan lebih dari 20 juta data geolokasi dalam tweet dari Juli 2012 hingga Oktober 2016 terkait kunjungan ke 643 taman di Singapura memungkinkan metode statistik mengungkap hubungan antara kualitas taman dan pola kunjungan di taman kota (Chuang *et al.*, 2022). Suatu acara di Oshkosh dengan 1461 peserta melakukan studi tentang karakteristik perilaku para peserta. Data GPS digunakan untuk memperoleh urutan aktivitas peserta; urutan ini mencirikan partisipasi peserta dalam aktivitas perilaku selama acara. Pembelajaran mesin digunakan untuk mengelompokkan peserta ke dalam segmen yang berbeda berdasarkan urutan aktivitas. Validasi diusulkan menggunakan foto udara dari kerumunan yang diperkirakan dan dibandingkan dengan peta data dari GPS (Abkarian *et al.*, 2022). Metodologi pelacakan berbasis GPS harus dikombinasikan dengan Model Berbasis Agen (ABM) dan teknik GIS. Data dari ABM dapat mewakili jumlah total pengunjung ke EL Capitan Meadow di musim panas (D'Antonio *et al.*, 2022).

Pada (Huang, 2023) platform media sosial melacak aktivitas pengunjung di dalam Taman Nasional. Data dibuat dari geotag foto dan informasi waktu dari pengunjung. Aktivitas pengunjung, total waktu yang dihabiskan, dan perjalanan di taman juga dapat dideteksi. Akurasi tidak dijamin karena tidak semua pengunjung berbagi aktivitas di media sosial. Pemantauan pengunjung di Taman Nasional Hutan Bavaria, Jerman, menggunakan data dari *Volunteered Geographic*

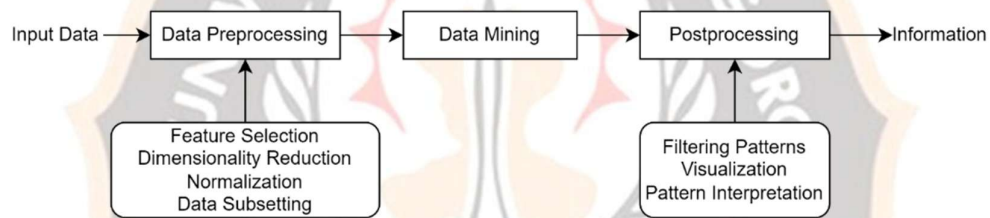
*Information* (VGI) berdasarkan Sistem Satelit Navigasi Global, data yang diperoleh dari tiga platform: GPSies, Outdooractive, dan Komoot untuk mengevaluasi pejalan kaki di taman. Data yang paling cocok diperoleh dari platform GPSies dan *Outdooractive* (Horst *et al.*, 2023). Sejumlah penelitian sebelumnya telah mengeksplorasi aspek-aspek tertentu dari penggunaan area istirahat, termasuk pemantauan jumlah pengunjung melalui pelacakan GPS dan survei berbasis wawancara. Penggunaan foto ber-geotag untuk memperkirakan arus pengunjung menunjukkan kemajuan dalam memahami pola kunjungan, meskipun cakupan dan penerapannya masih terbatas. Oleh sebab itu, dalam penelitian ini digunakan data yang lebih akurat dalam penentuan lokasi *rest area*.

#### **2.3.4 Data Mining**

Data Mining adalah proses menemukan pola tersembunyi, pengetahuan yang berharga, atau informasi yang berguna dari dataset yang besar, kompleks, dan tidak terstruktur. Tujuan utama dari *data mining* adalah untuk mengekstrak pengetahuan yang bermanfaat yang dapat digunakan untuk pengambilan keputusan yang lebih baik. *Data mining* atau penambangan data merupakan proses menemukan pola dan tren yang menjadi bagian dari data besar. Perkembangan yang terjadi pada penambangan data memiliki beberapa keuntungan seperti pertumbuhan eksplisif dalam pengumpulan data, penyimpanan data di server sehingga dapat diakses dari mana saja dan kapan saja, tersedianya peningkatan akses data dari web dan intranet, dan pertumbuhan yang luar biasa dalam daya komputasi dan kapasitas penyimpanan data (Larose & Larose, 2014). Secara umum Data Mining terbagi atas 2 (dua) kata, Data yaitu kumpulan fakta yang terekam atau sebuah entitas yang tidak memiliki arti dan selama ini terabaikan. Mining yaitu proses penambangan sehingga, Data Mining itu dapat diartikan sebagai proses penambangan data yang menghasilkan sebuah output (keluaran) berupa pengetahuan. Mengekstrak informasi penting yang bersifat tersirat dan sebelumnya tidak diketahui dari suatu set data (Han & Pei, 2012; Witten *et al.*, 2011).

*Data mining* merupakan suatu proses otomatis dalam mencari informasi yang berharga dari kumpulan data besar. Teknik ini digunakan untuk menyelidiki basis

data yang besar guna menemukan pola baru yang bermanfaat. Istilah lain yang sering terhubung dengan *data mining* termasuk penemuan pengetahuan (*mining*) dalam basis data, ekstraksi pengetahuan, analisis data/pola, arkeologi data, penggalian data, pemanenan informasi, dan kecerdasan bisnis. Data mining adalah bagian yang penting dari *Knowledge Discovery in Databases* (KDD). Data mining tidak hanya diterapkan dalam dunia bisnis, tetapi juga di berbagai bidang seperti kesehatan, pendidikan, dan transportasi untuk mendukung pengambilan keputusan berbasis data. Metode data mining terus mengalami inovasi untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi analisis. Keseluruhan proses KDD bertujuan mengubah data mentah menjadi informasi yang bermanfaat (Larose & Larose, 2014) ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Proses dalam KDD.

Gambar 2.5 menunjukkan data masukan dapat berasal dari berbagai format seperti *file* datar, *spreadsheet*, atau tabel-tabel relasional, dan dapat disimpan baik secara terpusat maupun terdistribusi. Setelah itu, dilakukan pra-pemrosesan data untuk mengubah data mentah menjadi format yang sesuai untuk analisis lebih lanjut. Tahap ini melibatkan penggabungan data dari sumber-sumber berbeda, membersihkan data dari *noise* dan duplikat, serta memilih catatan dan fitur yang relevan untuk proses *data mining*. Karena ada berbagai metode pengumpulan dan penyimpanan data, tahap pra-pemrosesan data sering kali menjadi langkah yang memakan waktu dalam proses KDD. Hasil dari *data mining* sering diintegrasikan dengan *Decision Support System* (DSS) atau sistem pendukung keputusan. Integrasi semacam itu memerlukan langkah pasca pemrosesan untuk memastikan bahwa hanya hasil yang valid dan berguna yang dimasukkan ke dalam DSS. Salah satu proses pasca pemrosesan adalah visualisasi, yang memungkinkan analisis untuk

mengeksplorasi data dan hasil *data mining* dari berbagai sudut pandang. Selain itu, ukuran-ukuran statistik dan teknik pengujian hipotesis juga dapat digunakan selama pasca pemrosesan untuk menghilangkan hasil *data mining* yang tidak akurat. Secara khusus, *data mining* menggabungkan ide-ide seperti pengambilan contoh, estimasi, dan pengujian hipotesis dari statistika, serta algoritma pencarian, teknik pemodelan, dan teori pembelajaran dari kecerdasan buatan, pengolahan pola, dan pembelajaran mesin. *Data mining* juga mengadopsi ide-ide dari berbagai bidang lain seperti optimasi, komputasi evolusioner, teori informasi, pemrosesan sinyal, visualisasi, dan pengambilan informasi. Beberapa bidang lain juga memberikan dukungan dalam *data mining*, seperti sistem basis data yang efisien untuk penyimpanan, pengindeksan, dan pemrosesan kueri (Larose & Larose, 2014). Terdapat berbagai teknik *data mining* yang digunakan untuk mengekstrak pola dari data set. Beberapa teknik yang umum digunakan meliputi:

- *Clustering*: Mengelompokkan data ke dalam kelompok-kelompok yang serupa berdasarkan kesamaan karakteristik.
- *Classification*: Membangun model untuk memprediksi kelas atau label dari data baru berdasarkan contoh data yang telah diberi label sebelumnya.
- *Association Rule Mining*: Menemukan hubungan atau asosiasi antara item dalam dataset.
- *Regression*: Memprediksi nilai kontinu berdasarkan variabel-variabel independen.
- *Anomaly Detection*: Mengidentifikasi pola yang tidak biasa atau anomali dalam data.

Perkembangan teknologi penggunaan data analitik yang efektif telah menjadi hal yang penting dalam bisnis dan memberikan peluang pada rantai pasok dalam meningkatkan daya saing serta meningkatkan kinerja dan produktivitas (Kusi-Sarpong *et al.*, 2021) (Papadopoulos & Balta, 2021) (Domino *et al.*, 2021). *Industrial Intelligent Twins* membantu perusahaan memanfaatkan nilai data dan membangun teknologi yang unggul. Mengadopsi teknologi data besar dan AI untuk menyediakan layanan yang lengkap, cerdas, dan mencakup masalah desain, logistik, penjualan dan layanan. *Industrial Intelligent Twins* mengubah industri

menjadi 3 aspek yaitu, dari pengambilan data secara manual ke basis data yang cerdas, dari digitalisasi menjadi analisis yang cerdas, dan dari produk menjadi inovasi. Manfaat untuk pelanggan bisa meningkatkan kualitas produk, kecerdasan O&M, dan dapat mengestimasi bahan produksi. Dalam *Campus Intelligent Twins* mengelola dan mengawasi industri kampus, perumahan, dan komersial, dengan mengadopsi teknologi AI seperti analitik video dan penambangan data untuk membuat pekerjaan dan kehidupan menjadi efisien dan lebih nyaman. Teknologi AI yang digunakan seperti pengolahan wajah, menjaga keamanan lingkungan kampus, akses otomatis menggunakan kartu, serta parkir pintar. Teknologi yang diadopsi membantu menjaga dan melindungi kampus, mengurangi beban kerja yang biasanya dilakukan secara manual, dan meningkatkan keamanan kampus (Huawei, 2020). Perkembangan IoT, 5G dan komputasi awan jumlah data bisnis meningkat pesat. Dengan data bisnis yang sangat besar, banyak hal yang telah dicapai seperti dalam desain produk, manufaktur dan proses pemeliharaan. Data analitik telah menjadi teknologi untuk pengolahan data secara cerdas (Wang *et al.*, 2021). Metode *data mining* digunakan untuk memperoleh informasi mengenai kepadatan pengunjung di *rest area* melalui platform *Google Maps Places*. Proses ini dilakukan dengan menganalisis data historis kunjungan yang telah terekam oleh *Google Maps Places*, baik untuk *rest area* di jalan tol maupun di jalan raya. Implementasi metode ini bertujuan untuk mengidentifikasi tingkat keramaian serta pola waktu istirahat pengendara di *rest area* berdasarkan data kepadatan yang tersedia.

### 2.3.5 Pengambilan Keputusan Multi-kriteria (MCDM)

*Multiple Criteria Decision Making* (MCDM) telah berkembang sejak tahun 1970-an, dan memiliki berbagai jenis aplikasi dunia nyata. Metode MCDM baru telah dikembangkan, dan metode yang ada ditingkatkan, menunjukkan bahwa penelitian dalam pengambilan keputusan masih kritis dan berharga. Profesor Edmundas Kazimieras Zavadskas sejak tahun 1976 terus bekerja pada pengembangan dan peningkatan metode MCDM (Kaplinski *et al.*, 2014). MCDM berfokus pada kerangka kerja keputusan yang sehat secara ilmiah, yang dapat

memberikan dasar yang komprehensif dan transparan untuk penilaian keberlanjutan (Labianca *et al.*, 2022). Proses pemilihan lokasi memerlukan identifikasi, analisis, pilihan antara alternatif, dan evaluasi dipengaruhi oleh banyak kriteria atau parameter kualitatif dan kuantitatif. Dapat dikatakan dan diartikan dengan jelas bahwa pemilihan lokasi mewakili masalah pembuatan keputusan Multi-kriteria (MCDM) (Meshram & Agrawal, 2015; Yuksek & Dakeev, 2014) dan menyediakan kumpulan algoritma untuk menentukan pilihan yang terbaik (Prasetyaningrum *et al.*, 2020).

MCDM dapat dikategorikan menjadi dua cabang yang berbeda, *Multi-objective Decision-making* (MODM) dan *multi-attribute decision-making* (MADM) (Abdulgader *et al.*, 2018). Beberapa metode dan teknik MCDM yang telah banyak digunakan oleh peneliti di berbagai bidang seperti WSM (Weighted Sum Model), COPRAS (COmplex PROportional ASsessment), EDAS (Evaluation based on Distance from Average Solution), AHP (Analytic Hierarchy Process), WASPAS (Weighted Aggregated Sum Product ASsessment), TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution), VIKOR (Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje), PROMETHEE (Preference Ranking Organization METHod for Enrichment of Evaluations), ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la REalité), dan BWM (Best-Worst Method) (Ban *et al.*, 2020; He *et al.*, 2020; Lin *et al.*, 2020; Mi *et al.*, 2020; Tian *et al.*, 2020). Proses evaluasi menggunakan pendekatan MCDM ada empat langkah: mendefinisikan alternatif dan kriteria yang terkait dengan masalah, menentukan bobot setiap ukuran, menetapkan kinerja individu untuk setiap opsi pada setiap ukuran, dan mengevaluasi alternatif berdasarkan kinerja agregat dari semua kriteria (Alfares & Duffuaa, 2016; Roszkowska, 2013). Penentuan lokasi bisnis merupakan keputusan strategis penting di berbagai sektor. Tinjauan ini menganalisis sektor-sektor utama dan metode yang digunakan, dengan fokus pada bobot kriteria dalam pengambilan keputusan. Sektor energi paling dominan, dengan metode MCDM berbobot objektif dan dukungan GIS untuk mempertimbangkan faktor geografis. Hasilnya membantu organisasi membuat keputusan lokasi yang lebih tepat dan terinformasi (Prasetyani *et al.*, 2023).

Metode TOPSIS, salah satu Metode Analisis Keputusan Multi Kriteria, pertama kali diperkenalkan oleh Hwang dan Yoon pada tahun 1981 untuk alternatif peringkat poin keputusan (Hwang & Yoon, 1981). TOPSIS untuk prioritas peringkat dengan mengevaluasi opsi alternatif atau poin keputusan menurut kriteria tertentu. Logika dasar dari metode ini didasarkan pada pemilihan alternatif/titik keputusan yang paling dekat dengan solusi ideal positif dan paling jauh dari solusi ideal negatif. TOPSIS digunakan dalam kasus di mana perlu untuk mengevaluasi Multi-kriteria secara bersamaan (Tzeng & Huang, 2011); (Beskese *et al.*, 2015); (Balioti *et al.*, 2018). TOPSIS tidak didasarkan pada algoritma matematika yang kompleks dibandingkan dengan metode MCDA lainnya seperti: sebagai ELECTRE dan PROMETHEE. (Behzadian *et al.*, 2012). TOPSIS dapat diintegrasikan dengan yang berbeda Metode MCDA seperti *Fuzzy Logic*, AHP, dan Fuzzy-AHP (Balist *et al.*, 2019); (Özkan *et al.*, 2019); (Bagherzadeh & Gholizadeh, 2016).

Penelitian sebelumnya metode TOPSIS digunakan untuk pemilihan lokasi gudang baru (Ocampo *et al.*, 2020), pemilihan stasiun pengisian mobil (Deveci *et al.*, 2018), pemilihan pembangkit listrik (Sánchez-Lozano *et al.*, 2013), pengambilan keputusan Multi-kriteria untuk lokasi pembangkit listrik tenaga angin lepas pantai yang optimal membandingkan dengan Fuzzy GIS (Gil-García *et al.*, 2022). Langkah-langkah yang diikuti untuk menerapkan Metode TOPSIS tercantum di bawah ini (Opricovic & Tzeng, 2004).

- a. Membangun matriks keputusan  $(X_{mn})_{ij}$  dengan  $i$  sebagai alternatif dan  $j$  adalah kriteria, dengan integrasi setiap kriteria dan alternatif sebagai  $X_{mn}$ .
- b. Metode normalisasi untuk menormalkan matriks keputusan. Rating kinerja setiap alternatif  $A_i$  pada setiap kriteria  $C_j$  yang ternormalisasi, yaitu:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (2.1)$$

dengan:

$r_{ij}$  = Elemen dari matriks keputusan yang ternormalisasi

$x_{ij}$  = Alternatif ke- $i$  pada kriteria ke- $j$

$\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}$  = Akar hasil penjumlahan dari pemangkatan tiap-tiap alternatif pada satu kriteria

i = Alternatif 1, 2, 3, ....., m;

j = Kriteria 1, 2, 3, ....., n;

- c. Membangun matriks ternormalisasi berbobot dengan menetapkan vektor bobot ternormalisasi ( $y_{ij}$ ) sebagai:

$$y_{ij} = w_i r_{ij} \quad (2.2)$$

dengan:

$y_{ij}$  = Elemen dari matriks keputusan yang ternormalisasi terbobot

$w_i$  = Bobot Sub kriteria ke -j

$r_{ij}$  = Ternormalisasi

i = 1, 2, 3....., m

j = 1, 2, 3....., n

- d. Solusi ideal positif  $A^+$  dan solusi negatif  $A^-$  sebagai berikut :

Menentukan matriks ideal positif  $A^+$ :

$$A^+ = (y_1^+, y_2^+, \dots, y_n^+) \quad (2.3)$$

dengan:

$A^+$  = Vektor solusi ideal positif (performa tertinggi dari setiap kriteria),

$y^+ = \{\max (y_{ij}), j \in J; \min (y_{ij}), j \in J^-\}$

Menentukan matriks ideal negatif  $A^-$ :

$$A^- = (y_1^-, y_2^-, \dots, y_n^-) \quad (2.4)$$

dengan:

$A^-$  = Solusi ideal Negatif (kriteria terendah dari setiap kriteria)

$y^- = \{\min (y_{ij}), j \in J; \max (y_{ij}), j \in J^-\}$

- e. Menentukan jarak antara nilai terbobot setiap alternatif terhadap solusi ideal positif dirumuskan sebagai :

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (y_i^+ - y_{ij})^2} \quad (2.5)$$

dengan:

$D_i^+$  = Solusi ideal positif

$y_{ij}$  = Matriks berbobot normal

$i$  = 1, 2, ..., m dan

$j$  = 1, 2, ..., n.

Menentukan jarak antara nilai terbobot setiap alternatif terhadap solusi ideal negatif dirumuskan sebagai berikut.

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (y_{ij} - y_i^-)^2} \quad (2.6)$$

dengan:

$D_i^-$  = Solusi ideal negatif

$y_{ij}$  = Matriks berbobot normal

$i$  = 1, 2, ..., m dan

$j$  = 1, 2, ..., n.

- f. Nilai preferensi untuk setiap alternatif ( $V_i$ ) diberikan sebagai berikut.

$$V_i = \frac{D_i^-}{D_i^- + D_i^+} \quad (2.7)$$

dengan:

$V_i$  = Nilai preferensi untuk setiap alternatif

$D_i^-$  = Solusi ideal negatif

$D_i^+$  = Solusi ideal positif

Memprioritaskan alternatif: Alternatif dengan  $V_i$  yang lebih besar sebagai solusi prioritas utama, semakin besar nilai indeks menunjukkan prioritas alternatif (Ikram *et al.*, 2020); (X. Liu *et al.*, 2019); (Ramya & Devadas, 2019). Bobot kriteria dalam masalah MCDM adalah elemen penting yang dapat mempengaruhi hasil secara signifikan. Dibutuhkan metode yang pas dan cocok dalam pengambilan keputusan. Penelitian ini menggunakan metode baru yang dirilis pada tahun 2021, yang di sebut MEREC (*METHode based on the Removal Effects of Criteria*) untuk menentukan bobot kriteria (Keshavarz-Ghorabae *et al.*, 2021). Berbeda dengan metode lainnya, metode yang diusulkan menggunakan efek penghilangan setiap kriteria pada kinerja agregat alternatif untuk menghitung bobot kriteria. Suatu kriteria memiliki bobot yang lebih besar ketika penghapusannya menyebabkan lebih banyak efek pada kinerja agregat alternatif. Selain bobot setiap kriteria, perspektif ini dapat membantu dalam pengambilan keputusan untuk mengecualikan beberapa kriteria dari proses pengambilan keputusan. Mempertimbangkan variasi, kinerja alternatif berdasarkan kriteria penghapusan adalah perspektif baru dalam menentukan bobot kriteria. Fungsi algoritma digunakan dalam penelitian ini untuk mengukur kinerja agregat alternatif, namun sebagai keuntungan utama dari metode yang diusulkan, metode ini fleksibel sehingga dapat membantu pengambilan keputusan meningkatkan kekuatan hasil berdasarkan integrasi dan kombinasi pendekatan.

Bobot yang lebih besar diberikan pada kriteria yang memiliki efek lebih tinggi pada kinerja. Metode ini harus menentukan ukuran kinerja alternatif terlebih dahulu. Ukuran algoritma sederhana digunakan dengan bobot yang sama untuk menghitung kinerja alternatif. Mengidentifikasi efek dari menghilangkan setiap kriteria, menggunakan ukuran deviasi absolut. Ukuran ini mencerminkan perbedaan antara kinerja alternatif secara keseluruhan dan kinerjanya dalam menghilangkan kriteria (Keshavarz-Ghorabae *et al.*, 2021). Penelitian sebelumnya metode MEREC digunakan untuk menilai bobot objektif dan subjektif dari berbagai parameter untuk penilaian *Alternative fuel vehicles* (AFVs) (Hezam *et al.*, 2022), penentuan bobot kriteria dalam evaluasi kinerja perusahaan logistik berdasarkan tahun (Toslak *et al.*, 2022), pemilihan lokasi rumah sakit untuk pasien

yang terinfeksi COVID-19 (Hadi & Abdullah, 2022). Percobaan kekasaran permukaan dan *material removal rate* (MRR) pada mesin bubut (Trung & Thinh, 2021), pengambilan keputusan multi-kriteria saat menggunakan *powder-mixed electrical discharge machining* (PMEDM) (Nguyen *et al.*, 2022), dan pemilihan truk palet (Ulutaş *et al.*, 2022).

Langkah-langkah yang digunakan untuk menghitung bobot objektif menggunakan metode MEREC (Keshavarz-Ghorabae *et al.*, 2021):

Langkah 1: Membangun matriks keputusan. Menunjukkan peringkat atau nilai alternatif setiap kriteria. Unsur matriks ini dilambangkan dengan  $x_{ij}$ , dan elemen ini harus lebih besar dari Nol ( $x_{ij} > 0$ ). Jika memiliki nilai negatif dalam matriks keputusan, harus diubah menjadi positif menggunakan teknik yang sesuai. Misalkan ada  $n$  alternatif dan  $m$  kriteria, dan bentuk matriks keputusannya adalah sebagai berikut.

$$\chi = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1j} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2j} & \cdots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ x_{i1} & x_{i2} & \cdots & x_{ij} & \cdots & x_{im} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nj} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

dengan:

- $\chi$  = Matriks keputusan
- $n$  = Alternatif
- $m$  = Kriteria
- $x_{ij}$  = Unsur Matriks

Langkah 2: Normalisasi matriks keputusan ( $N$ ). Pada langkah ini, normalisasi linier sederhana digunakan untuk mengubah elemen-elemen dari matriks keputusan. Elemen-elemen dari matriks yang dinormalisasi dilambangkan dengan  $n_{ij}^x$ . Jika  $\beta$  menunjukkan serangkaian kriteria yang menguntungkan, dan  $\mathcal{H}$  mewakili himpunan kriteria tidak menguntungkan, dapat digunakan persamaan berikut untuk normalisasi:

$$n_{ij}^x = \begin{cases} \frac{\min_k x_{kj}}{x_{ij}}, & \text{if } j \in \beta \\ \frac{x_{ij}}{\max_k x_{kj}}, & \text{if } j \in \mathcal{H} \end{cases} \quad (2.9)$$

dengan:

$n_{ij}^x$  = Elemen-elemen matriks yang dinormalisasi

$\beta$  = Kriteria yang menguntungkan

$\mathcal{H}$  = Kriteria yang tidak menguntungkan

$x_{ij}$  = Unsur Matriks

Perlu dicatat bahwa proses normalisasi serupa tetapi berbeda dari proses yang digunakan dalam metode WASPAS. Perbedaannya terletak pada peralihan antara formula kriteria menguntungkan dan tidak menguntungkan.

Langkah 3: Hitung kinerja keseluruhan dari alternatif ( $S_i$ ). Ukur algoritma dengan bobot kriteria yang sama diterapkan untuk mendapatkan kinerja keseluruhan alternatif dalam langkah ini. Menurut nilai normalisasi yang diperoleh dari langkah sebelumnya, dapat dipastikan bahwa lebih kecil nilai-nilai dari  $n_{ij}^x$  menghasilkan nilai kinerja  $S_i$  yang lebih besar. Persamaan berikut digunakan untuk menghilangkan nilai kinerja  $S_i$  tersebut.

$$S_i = \ln \left( 1 + \left( \frac{1}{m} \sum_j |\ln(n_{ij}^x)| \right) \right) \quad (2.10)$$

dengan:

$S_i$  = Kinerja keseluruhan dari alternatif

$m$  = Banyaknya kriteria

$n_{ij}^x$  = Elemen-elemen matriks yang dinormalisasi

Langkah 4: Hitung kinerja alternatif dengan menghapus setiap kriteria. Pada langkah ini, menggunakan ukuran logaritmik dengan cara yang mirip dengan langkah sebelumnya. Perbedaan antara langkah ini dengan langkah ke 3 adalah kinerja alternatif dihitung berdasarkan penghapusan setiap kriteria secara terpisah.

Oleh karena itu, kriteria memiliki  $m$  set berkaitan dengan kriteria ke- $m$ . Penghapusan kriteria ke- $j$  dari kinerja keseluruhan alternatif ke- $i$  ditunjukkan dengan  $S'_{ij}$ . Untuk perhitungan digunakan persamaan berikut.

$$S'_{ij} = \ln \left( 1 + \left( \frac{1}{m} \sum_{k, k \neq j} |\ln(n_{ik}^x)| \right) \right) \quad (2.11)$$

dengan:

- $S'_{ij}$  = Kinerja penghapusan
- $m$  = Banyaknya kriteria
- $n_{ij}^x$  = Elemen-elemen matriks yang dinormalisasi

Langkah 5 : Hitung penjumlahan simpangan baku. Pada langkah ini, dihitung efek penghapusan dari kriteria ke- $j$  berdasarkan nilai yang diperoleh dari langkah 3 dan langkah 4. Simpangan baku merupakan nilai efek penghapusan dari kriteria ke- $j$  dan diberi notasi  $E_j$ . Penghitungan nilai  $E_j$  digunakan persamaan:

$$E_j = \sum_i |S'_{ij} - S_i| \quad (2.12)$$

dengan:

- $E_j$  = Deviasi absolute
- $S'_{ij}$  = Kinerja penghapusan
- $S_i$  = Kinerja keseluruhan dari alternatif

Langkah 6 : Tentukan bobot akhir kriteria. Pada langkah ini, bobot objektif setiap kriteria dihitung menggunakan efek perhitungan  $E_j$  dari langkah 5. Berikut ini,  $w_j$  sebagai bobot dari  $j$  kriteria. Persamaan berikut untuk menghitung  $w_j$ .

$$w_j = \frac{E_j}{\sum_k E_k} \quad (2.13)$$

dengan:

- $w_j$  = Bobot akhir kriteria
- $E_j$  = Deviasi absolute

$$\sum_k E_k = \text{Jumlah deviasi absolute}$$

Metode WASPAS merupakan metode mencari prioritas pilihan lokasi yang paling sesuai dengan menggunakan pembobotan. Penerapan metode WASPAS yang merupakan kombinasi unik dari dua metode dikenal dengan pendekatan MCDM. Akurasi dari dua metode yang cukup dikenal, yaitu metode WSM (*Weighted Sum Model*) dan WPM (*Weighted Product Model*) serta akurasi agregat kedua metode dianalisis. Terbukti bahwa akurasi metode agregat lebih besar dibandingkan akurasi metode tunggal. Oleh karena itu, dilakukan optimasi agregasi dan diusulkan metode *Weighted Aggregated Sum Product Assessment* (WASPAS) untuk pemeringkatan alternatif. Akurasi penerapan WASPAS meingkat hingga 1,3 kali dibandingkan ke WPM, dan 1,6 kali dibandingkan dengan WSM (Zavadskas *et al.*, 2012). Metode WASPAS merupakan metode yang dapat mengurangi kesalahan-kesalahan atau mengoptimalkan dalam penaksiran atau pemilihan nilai tertinggi dan terendah (Agarwal *et al.*, 2020). Sangat efisien dalam situasi pengambilan keputusan yang kompleks dan juga hasil model yang sangat akurat (Mohammadi *et al.*, 2022). Langkah perhitungan penerapan metode WASPAS, yaitu (Zavadskas *et al.*, 2012):

1. Membuat satu matriks

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & x_{2n} \\ \dots & \ddots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

Dengan:

$X$  = Matriks keputusan

$m$  = Alternatif

$n$  = Kriteria

2. Mengadakan normalisasi tersebut untuk matriks  $X$

$$\text{Kriteria Cost } \bar{X}_{ij} = \frac{\text{Min}_i X_{ij}}{X_{ij}} \quad (2.15)$$

$$\text{Kriteria Benefit } \bar{X}_{ij} = \frac{X_{ij}}{\text{Max}_i X_{ij}} \quad (2.16)$$

Dengan:

$x_{ij}$  = Unsur Matriks

### 3. Mencari hasil nilai Qi

$$Q_i = 0,5 \sum_{j=1}^n \bar{X}_{ij} w + 0,5 \prod_{j=1}^n \bar{X}_{ij}^{w_j} \quad (2.17)$$

dengan:

$\bar{X}_{ij} w$  = perkalian nilai  $\bar{X}_{ij}$  dengan bobot ( $w$ )

$\bar{X}_{ij}^{w_j}$  = nilai  $\bar{X}_{ij}$  dipangkat dengan bobot ( $w$ )

0,5 = nilai ketetapan rumus

$Q_i$  = nilai dari Q ke i

#### 2.3.6 PCA (*Principal Component Analysis*)

*Principal Component Analysis* (PCA) merupakan salah satu metode statistik multivariat yang digunakan untuk mereduksi dimensi data yang kompleks menjadi lebih sederhana tanpa menghilangkan informasi penting. PCA bekerja dengan cara mentransformasikan variabel-variabel asli yang saling berkorelasi menjadi sejumlah komponen baru yang tidak saling berkorelasi (ortogonal), yang disebut sebagai komponen utama. Setiap komponen utama merepresentasikan arah variansi terbesar dalam data, dengan komponen pertama (PC1) menjelaskan variasi terbesar. Langkah-langkah utama dalam PCA dimulai dari standarisasi data, pembentukan matriks kovarians, perhitungan nilai eigen (eigenvalue dan eigenvector), hingga pembentukan komponen utama (Gewers *et al.*, 2021). PCA telah banyak digunakan dalam berbagai bidang seperti pengolahan citra, ekonomi, genetika, dan psikometri. Dalam konteks penelitian ini, PCA digunakan untuk memvalidasi pembentukan delapan kriteria utama dalam penentuan lokasi *rest area*.

PCA digunakan dalam penelitian ini untuk membantu menyaring pertanyaan-pertanyaan kuesioner yang paling dominan dalam menjelaskan variasi persepsi responden. Dengan PCA, dimungkinkan untuk mengetahui pertanyaan mana yang memberikan kontribusi terbesar melalui nilai *loading* terhadap komponen utama.

*Loading* ini dapat digunakan untuk mengukur pentingnya tiap variabel, dan selanjutnya dihitung bobot proporsionalnya sebagai dasar pengambilan keputusan. Proses ini membantu dalam menyusun struktur kriteria yang objektif dan berdasarkan data statistik.



SEKOLAH PASCASARJANA