

IMPLEMENTASI SISTEM TRANSPORTASI CERDAS

Disusun Oleh :

Nini Apriani Rumata, Rhaptyalyani Herno Della, Farhan Sholahudin
Gito Sugiyanto, Arnetha Sari Raintung, Defry Basrin
Anton Kaharu, Sahabuddin Latif, Rudi



IMPLEMENTASI SISTEM TRANSPORTASI CERDAS

**Nini Apriani Rumata
Rhapyalyani Herno Della
Farhan Sholahudin
Gito Sugiyanto
Arnetha Sari Raintung
Defry Basrin
Anton Kaharu
Sahabuddin Latif
Rudi**



GETPRESS INDONESIA

IMPLEMENTASI SISTEM TRANSPORTASI CERDAS

Penulis :

Nini Apriani Rumata
Rhapyalyani Herno Della
Farhan Sholahudin
Gito Sugiyanto
Arnetha Sari Raintung
Defry Basrin
Anton Kaharu
Sahabuddin Latif
Rudi

ISBN : 978-623-125-788-8

Editor : Mila Sari, M.Si.

Desain Sampul dan Tata Letak : Tri Putri Wahyuni, S.Pd.

PENERBIT GET PRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022
Jl. Palarik RT 01 RW 06 Kelurahan Air Pacah
Kecamatan Koto Tengah Padang Sumatera Barat

website: www.getpress.co.id
email: adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, Juni 2025

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk
dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga buku berjudul **“Implementasi Sistem Transportasi Cerdas”** ini dapat disusun dan diselesaikan dengan baik. Buku ini hadir untuk memberikan pemahaman yang komprehensif mengenai sistem transportasi cerdas (*Intelligent Transportation Systems/ITS*), mulai dari konsep dasar, peranan, hingga tantangan dan strategi implementasinya. Dalam buku ini dibahas pula komponen-komponen penting ITS seperti *Electronic Road Pricing*, *Traffic Information System*, *Advanced Traveller Information System (ATIS)*, *Autonomous Driving System*, *Variable Message Sign (VMS)*, dan *Integrated Ticketing System*, yang dilengkapi dengan studi kasus penerapan di berbagai negara. Setiap topik disusun secara sistematis untuk memberikan gambaran menyeluruh baik dari sisi teoritis maupun praktis.

Diharapkan buku ini dapat menjadi referensi yang bermanfaat bagi mahasiswa, akademisi, peneliti, perencana transportasi, serta pemangku kebijakan yang tertarik dalam pengembangan sistem transportasi modern yang efisien, berkelanjutan, dan adaptif terhadap kemajuan teknologi. Kami menyadari bahwa penyusunan buku ini belum sempurna, sehingga kritik dan saran yang konstruktif sangat kami harapkan demi perbaikan di masa yang akan datang. Semoga buku ini dapat memberikan kontribusi nyata dalam upaya menciptakan sistem transportasi yang lebih baik di Indonesia.

Padang, April 2025

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL	vii
BAB 1 PERANAN TRANSPORTASI CERDAS	1
1.1 Pendahuluan.....	1
1.2 Sejarah Transportasi Cerdas	2
1.3 Aspek Utama Transportasi Cerdas	4
1.4 Konsep Dasar Transportasi Cerdas	5
1.5 Manfaat Transportasi Cerdas.....	7
1.6 Peranan Transportasi Cerdas	8
1.7 Prinsip Transportasi Cerdas.....	9
DAFTAR PUSTAKA	13
BAB 2 TANTANGAN IMPLEMENTASI SISTEM	
TRANSPORTASI CERDAS.....	15
2.1 Signifikansi dan Manfaat Transportasi Cerdas	15
2.2 Tantangan Teknis	17
2.3 Tantangan Sosial.....	25
2.4 Tantangan Lingkungan.....	32
2.5 Strategi Mengatasi Tantangan	40
DAFTAR PUSTAKA	44
BAB 3 TRAFFIC INFORMATION SYSTEM	49
3.1 Pendahuluan.....	49
3.2 Peran Teknologi dalam Sistem Informasi Lalu Lintas.....	54
3.3 Jenis-Jenis Sistem Informasi Lalu Lintas	59
3.4 Tantangan dalam Penerapan Sistem Informasi Lalu Lintas.....	60

3.5 Studi Kasus : Implementasi Sistem Informasi Lalu Lintas di Berbagai Negara	61
3.6 Penutup.....	65
DAFTAR PUSTAKA.....	69
BAB 4 ELECTRONIC ROAD PRICING.....	73
4.1 Pendahuluan.....	73
4.2 Definisi <i>Electronic Road Pricing</i>	73
4.3 Komponen <i>Electronic Road Pricing</i>	75
4.4 Pengelompokan <i>Road Pricing</i>	77
4.5 Manfaat dan Dampak Penerapan <i>Electronic Road Pricing</i>	81
4.6 Penerapan <i>Electronic Road Pricing</i> (ERP) di Luar Negeri.....	85
DAFTAR PUSTAKA.....	93
BAB 5 ADVANCED TRAVELLER INFORMATION SYSTEM....	101
5.1 Pendahuluan.....	101
5.2 Konsep Dasar Advanced Traveller Information System (ATIS)	108
5.3 Teknologi dan Infrastruktur ATIS	112
5.4 Implementasi ATIS	115
5.5 Manfaat Dan Dampak ATIS.....	118
5.6 Masa Depan ATIS	120
5.7 Kesimpulan.....	123
DAFTAR PUSTAKA.....	124
BAB 6 AUTONOMOUS DRIVING SYSTEM.....	127
6.1 Pendahuluan.....	127
6.2 Tingkatan <i>Autonomous Driving</i> (AV)	128
6.3 Situasi Saat Ini	135
6.4 Manfaat Etis Kendaraan Otonom (AVS)	136
6.5 Kecelakaan dengan Kendaraan Otonom (AVs).....	138

6.6 Pedoman Etis untuk Kendaraan Otonom (AVs)	139
6.7 Pertanyaan Etis dalam Kendaraan Otonom (AVs)	140
DAFTAR PUSTAKA	149
BAB 7 VARIABLE MESSAGE SIGN	153
7.1 Peran VMS dalam Sistem Transportasi Cerdas	153
7.2 Teknologi dan Mekanisme Kerja VMS	157
7.3 Jenis-jenis VMS dan Spesifikasinya	159
7.4 Integrasi VMS dengan Komponen ITS Lainnya	160
7.5 Pengaruh VMS terhadap Perilaku Pengemudi	161
7.6 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Respon Pengemudi terhadap VMS	161
7.7 Studi Kasus Implementasi VMS dan Analisis Perilaku Pengemudi	162
7.8 Optimasi Penempatan dan Pengoperasian VMS	163
7.10 Model Optimasi Penempatan VMS	164
7.11 Strategi Perencanaan Pesan VMS yang Efektif	164
7.12 Dampak VMS terhadap Efisiensi dan Keselamatan Lalu Lintas	165
7.13 Pengurangan Kemacetan dan Peningkatan Waktu Tempuh	166
7.14 Peningkatan Keselamatan dan Pengurangan Kecelakaan	166
7.15 Tantangan dan Perkembangan Masa Depan VMS	167
7.16 Integrasi VMS dengan Teknologi Canggih	168
7.17 Arah Penelitian dan Pengembangan VMS di Masa Depan	168
7.18 Kesimpulan	169
DAFTAR PUSTAKA	171
BAB 8 INTEGRATED TICKETING SYSTEM	178
8.1 Pendahuluan	178
8.2 Gambaran Umum Sistem Tiket Terintegrasi	180

8.3 Evolusi dan Sejarah	181
8.4 Manfaat dan Tantangan.....	182
8.5 Kerangka Kerja Teknologi	183
8.6 Integrasi dan Manajemen Data	187
8.7 Area Aplikasi.....	190
8.8 Tantangan Implementasi	193
8.9 Kesimpulan.....	196
DAFTAR PUSTAKA	198
BAB 9 AREA TRAFFIC CONTROL SYSTEM	203
9.1 Pendahuluan	203
9.2 Sarana dan Prasarana Transportasi	204
9.3 Sarana dan Prasarana Transportasi	209
9.4 Badan Pengendalian Transportasi	215
9.5 Penutup.....	218
DAFTAR PUSTAKA	219
INDEKS.....	221
GLOSARIUM.....	223
BIODATA PENULIS.....	227

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1. Contoh Penggunaan ITS oleh Pngendara Mobil	2
Gambar 4. 1. <i>In-vehicle unit</i>	76
Gambar 4. 2. Salah satu gerbang ERP di Singapura.....	76
Gambar 4. 3. Peta daerah penerapan ERP di Singapura.....	87
Gambar 6. 1. Minivan Chrysler Pacifica Hybrid milik Waymo yang sepenuhnya otonom di jalan umum.....	137
Gambar 6. 2. Contoh pertanyaan dari eksperimen Moral Machine yang menghadapkan orang pada dilema trolley problem.....	142
Gambar 7. 1. Ilustrasi dari Variable Message Signs (VMS).....	154
Gambar 7. 2. VMS di Jalan Tol Cipali	155
Gambar 7. 3. VMS di Jalan Tol Trans Jawa.....	155
Gambar 7. 4. VMS oleh PT DCT Total Solutions.....	156
Gambar 7. 5. VMS oleh Javadeka LED.....	156
Gambar 9. 1. Jalan Terpanjang Dunia	206
Gambar 9. 2. Perkembangan Panjang Rel KAI (2016-2020).....	207
Gambar 9. 3. Rambu Larangan	210
Gambar 9. 4. Rambu Perintah.....	210
Gambar 9. 5. Rambu Peringatan	211
Gambar 9. 6. Rambu Peringatan	211
Gambar 9. 7. Rambu Jalan Rel.....	213

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1. Pengelompokan <i>road pricing</i> berdasarkan tujuan	78
Tabel 7. 1. Diagram Alur Kerja VMS.....	158
Tabel 9. 1. Panjang Jalan Menurut Tingkat Kewenangan 2018- 2019	207

BAB 1

PERANAN TRANSPORTASI CERDAS

Oleh Nini Apriani Rumata

1.1 Pendahuluan

Sistem transportasi cerdas (Intelligent Transportation System atau ITS) merupakan gabungan dari berbagai solusi yang sangat inovatif dengan melakukan penggabungan dengan menggunakan teknologi pada sistem transportasi yang diterapkan. Sistem Transportasi Cerdas (Intelligent Transportation System - ITS) merupakan penerapan teknologi informasi, komunikasi, dan sensor untuk meningkatkan efisiensi, keselamatan, dan keberlanjutan sistem transportasi. ITS digunakan untuk mengoptimalkan lalu lintas, mengurangi kemacetan, meningkatkan keamanan, serta mengurangi dampak lingkungan akibat transportasi konvensional.

Perkembangan pesat teknologi kecerdasan buatan (artificial intelligence/AI) dalam beberapa waktu terakhir membuka banyak peluang untuk penyediaan analisis data secara real-time, pemodelan prediktif, kontrol lalu lintas yang adaptif, serta penerapan infrastruktur cerdas lainnya. Hal ini semakin memperkuat peran ITS dalam mewujudkan sistem mobilitas perkotaan yang lebih efisien, aman, dan berkelanjutan (Rodrigue, 2020).

Pengintegrasian antara teknologi dan manajemen dalam pengoperasian sistem transportasi memberikan harapan dalam manajemen dan pengelolaan sistem transportasi dapat berjalan dengan lancar dan efisien. Dengan terwujudnya transportasi yang lancar dan efisien dapat memberikan dampak yang sangat signifikan pada polusi emisi carbon yang ditimbulkan oleh kendaraan bermotor.

Penerapan sistem transportasi cerdas pada umumnya telah terlihat pada Kota-Kota Besar di Indonesia. Penerapan tersebut terutama di persimpangan maupun jalan arteri yang memiliki kapasitas kendaraan yang cukup besar diadakan pemasangan kamera atau cctv yang bisa memantau secara langsung aktivitas pengemudi dan pengendara kendaraan.



Gambar 1. 1. Contoh Penggunaan ITS oleh Pngendara Mobil

1.2 Sejarah Transportasi Cerdas

Perkembangan teknologi akan berkembang seiring dengan perkembangan waktu. Salah satu perkembangan teknologi yang memiliki perkembangan paling pesat adalah bidang transportasi. Bermula dari perpindahan orang dan

barang yang dilakukan dengan berjalan kaki dan menggunakan hewan seperti kuda untuk menunjang pergerakan, lambat laun tercipta moda transportasi yang bertenaga mesin. Untuk pengembangan transportasi cerdas yang menggunakan teknologi yang inovasi dan efisien. Dalam perkembangan transportasi cerdas ini mulai bermunculan pada tahun 1960 sampai sekarang (Caroles, 2024).

1. Tahun 1960, muncul ITS (Intelligent Transport System) memiliki awal di negara jepang dengan pengembangan pengendalian dari sirkulasi lalu lintas berupa Comprehensive Automobile Control System (CACS).selain itu, terdapat pengaturan terhadap lampu lalu lintas yang sebelumnya masih analog beralih menggunakan sensor dengan penyesuaian terhadap waktu durasi dan kondisi lalu lintas.
2. Tahun 1990an – 2000, pengembangan ITS difokuskan pada peningkatan keselamatan dalam berkendara, selain itu terdapat pula navigasi GPS yang dapat membantu merencanakan perjalanan serta tiket elektronik yang membantu dalam proses pembayaran.
3. Tahun 2000an – 2010, telah terdapat konsep *Smart City* yang mendorong integrasi antara teknologi, tata guna lahan, infrastruktur dan transportasi di wilayah perkotaan. Selain itu telah terdapat kecerdasan buatan yang dapat mengoptimalisasi sistem transportas serta mulai bermunculan kendaraan Hibrida yang menggunakan listrik dan bahan bakar serta kendaraan listrik.

4. Tahun 2010 sampai sekarang, telah terdapat mobilitas sebagai pelayanan, ekonomi berbagi seperti grab dan gojek, kendaraan otonom dan micromobility seperti skuter listrik dan sepeda listrik.

1.3 Aspek Utama Transportasi Cerdas

Dalam mewujudkan sistem transportasi cerdas yang bersifat inovatif, efisien dan berkelanjutan pada saat ini telah dilakukan pengintegrasian antara teknologi yang cerdas dan adaptif pada sistem maupun moda transportasi yang tersedia. Adapun aspek utama dari transportasi cerdas meliputi:

1. Kendaraan Otonom, kendaraan ini dilengkapi dengan berbagai fitur canggih misalnya sensor sebagai peringatan jika terjadi potensi tabrakan atau kecelakaan, sistem navigasi yang dapat melakukan penentuan jalur tercepat dan aman untuk dilalui oleh kendaraan untuk mencapai tujuan, maupun kamera yang terpasang depan dan belakang kendaraan sehingga dapat memantau kondisi sekitar apabila kendaraan terparkir maupun pada saat bergerak.
2. Transportasi berbagi atau moda transportasi umum yang telah tersedia dapat dijangkau dengan mudah, aman dan biaya yang murah dengan melalui telepon genggam. Estimasi waktu menunggu dan posisi moda transportasi yang akan digunakan dapat di lihat melalui navigasi.
3. Jaringan transportasi cerdas dapat dilakukan dengan menggunakan analisis dan pemetaan melalui aplikasi GIS (Geography Information System) sehingga dapat diketahui pergerakan suatu moda transportasi dari

asal menuju tujuan menggunakan jalur atau rute kendaraan yang aman dan bebas hambatan dengan estimasi waktu yang sangat akurat.

4. Infrastruktur Pintar yang dimaksud adalah infrastruktur yang dapat mengatur lalu lintas dengan lancar dengan menggunakan teknologi. Contoh dari transportasi pintar seperti eparkir, lampu lalu lintas, pemantauan pelanggaran berkendara dengan menggunakan kamera atau cctv.
5. Big Data dan Analitik. Dalam proses pengumpulan data dan analisis dilakukan dengan mengumpulkan informasi dari berbagai sumber seperti sensor yang dapat memberikan jumlah kendaraan yang melintas dengan sangat akurat.
6. Penggunaan Energi Berkelanjutan. Penggunaan ini seperti penggunaan kendaraan listrik sehingga potensi menghasilkan emisi carbon dari kendaraan dapat menurun produksinya.
7. Penggunaan teknologi konstruksi cerdas. Penggunaan pada bidang konstruksi seperti penggunaan material yang ramah terhadap lingkungan maupun infrastruktur yang siap dilakukan perubahan sesuai dengan perkembangan teknologi.

1.4 Konsep Dasar Transportasi Cerdas

ITS mengintegrasikan berbagai teknologi untuk mendukung transportasi yang lebih baik. Beberapa teknologi utama dalam ITS meliputi:

1. **Sistem Pemantauan dan Pengelolaan Lalu Lintas**
 - Menggunakan sensor, kamera, dan perangkat lunak berbasis AI untuk mengatur arus lalu lintas secara real-time.
 - Sistem deteksi kecelakaan dan insiden untuk respons cepat dari layanan darurat.
2. **Komunikasi Antar Kendaraan (Vehicle-to-Vehicle/V2V) dan Kendaraan ke Infrastruktur (Vehicle-to-Infrastructure/V2I)**
 - Kendaraan dapat berbagi informasi mengenai kondisi lalu lintas, kecelakaan, atau bahaya di jalan.
 - Infrastruktur jalan cerdas seperti lampu lalu lintas adaptif yang berubah sesuai dengan kepadatan lalu lintas.
3. **Sistem Navigasi dan Manajemen Transportasi**
 - Aplikasi navigasi berbasis GPS yang memberikan informasi real-time tentang kondisi jalan dan rute terbaik.
 - Sistem manajemen angkutan umum yang meningkatkan efisiensi perjalanan dan ketepatan waktu.
4. **Kendaraan Otonom dan Teknologi Pengemudian Cerdas**
 - Mobil tanpa pengemudi yang menggunakan sensor, AI, dan sistem kendali otomatis untuk meningkatkan keselamatan.
 - Teknologi bantuan pengemudi seperti pengereman otomatis dan peringatan tabrakan.
5. **Sistem Pembayaran Elektronik dan Manajemen Mobilitas**
 - Penggunaan e-toll, e-ticketing, dan metode pembayaran digital untuk transportasi umum.
 - Integrasi transportasi multimoda untuk meningkatkan efisiensi perjalanan pengguna.

6. Sistem Transportasi Ramah Lingkungan

- Penggunaan kendaraan listrik dan infrastruktur pengisian daya yang terintegrasi.

1.5 Manfaat Transportasi Cerdas

1. Meningkatkan Efisiensi Transportasi

- Mengurangi waktu perjalanan dengan sistem manajemen lalu lintas adaptif.
- Mengurangi konsumsi bahan bakar melalui optimalisasi rute perjalanan.
- Meningkatkan efisiensi sistem transportasi umum dengan informasi real-time.

2. Meningkatkan Keselamatan Jalan

- Mengurangi risiko kecelakaan dengan sistem peringatan dini.
- Deteksi pelanggaran lalu lintas secara otomatis menggunakan kamera AI.
- Kendaraan otonom yang lebih aman dengan sistem penghindaran tabrakan.

3. Mengurangi Dampak Lingkungan

- Mengurangi emisi gas rumah kaca dengan optimalisasi lalu lintas.
- Mendorong penggunaan kendaraan listrik dengan infrastruktur pengisian daya yang cerdas.
- Mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil.

4. Meningkatkan Pengalaman Pengguna

- Memberikan informasi real-time tentang rute dan transportasi umum.

- Memudahkan pembayaran dengan sistem tiket elektronik dan e-toll.
- Meningkatkan aksesibilitas transportasi dengan integrasi aplikasi ride-sharing.

1.6 Peranan Transportasi Cerdas

Sistem Transportasi Cerdas (ITS) adalah penerapan teknologi informasi, komunikasi, dan sensor untuk meningkatkan efisiensi, keselamatan, dan keberlanjutan sistem transportasi. ITS berperan dalam berbagai aspek, antara lain:

1. Meningkatkan Efisiensi Transportasi

- Mengoptimalkan arus lalu lintas melalui sistem manajemen lalu lintas adaptif (contoh: lampu lalu lintas cerdas).
- Mengurangi kemacetan dengan sistem navigasi berbasis data real-time (contoh: Google Maps, Waze).
- Meningkatkan kecepatan respon terhadap kecelakaan atau insiden di jalan.

2. Meningkatkan Keselamatan Jalan

- Sistem peringatan dini terhadap tabrakan dan pelanggaran lalu lintas.
- Penggunaan sensor dan AI untuk mendeteksi pelanggaran seperti menerobos lampu merah dan kecepatan berlebih.
- Sistem komunikasi antar kendaraan (Vehicle-to-Vehicle/V2V) dan kendaraan ke infrastruktur (Vehicle-to-Infrastructure/V2I).

3. Mengurangi Dampak Lingkungan

- Mengoptimalkan konsumsi bahan bakar melalui manajemen lalu lintas yang lebih baik.
- Mendukung pengembangan kendaraan listrik dan infrastruktur pengisian daya cerdas.
- Mengurangi emisi gas rumah kaca dengan sistem transportasi berbasis data dan otomatisasi.

4. Meningkatkan Pengalaman Pengguna

- Informasi real-time tentang jadwal dan keterlambatan transportasi umum.
- Sistem pembayaran elektronik seperti e-toll dan e-ticketing untuk meningkatkan kenyamanan pengguna.
- Platform berbagi kendaraan (ride-sharing) seperti Gojek dan Grab untuk meningkatkan fleksibilitas transportasi.

5. Mendukung Transportasi Otonom

- Pengembangan kendaraan tanpa pengemudi yang menggunakan sensor, AI, dan data real-time.
- Integrasi dengan *Smart City* untuk meningkatkan efektivitas transportasi umum dan pribadi.

1.7 Prinsip Transportasi Cerdas

Transportasi cerdas memiliki prinsip dalam penggabungan antara teknologi dan informasi dengan ditunjang oleh infrastruktur transportasi yang ramah, aman, efisien, murah dan inovatif. Prinsip utama dari transportasi cerdas meliputi:

1. Integrasi Teknologi – Menggunakan teknologi seperti IoT, AI, dan Big Data untuk mengoptimalkan lalu lintas, manajemen kendaraan, dan infrastruktur. Contohnya adalah sensor di jalan raya yang mengumpulkan data lalu lintas secara real-time dan sistem manajemen lalu lintas yang menyesuaikan lampu lalu lintas secara otomatis berdasarkan kepadatan kendaraan
2. Efisiensi Energi dan Lingkungan – Mengurangi emisi karbon dengan transportasi berbasis listrik, energi terbarukan, dan sistem berbagi kendaraan (ride-sharing). Transportasi cerdas berfokus pada penggunaan teknologi yang ramah lingkungan, seperti kendaraan listrik (EV) dan sistem transportasi berbasis energi terbarukan. Konsep ride-sharing dan carpooling juga diterapkan untuk mengurangi jumlah kendaraan di jalan, menghemat bahan bakar, dan menekan polusi udara.
3. Keselamatan dan Keamanan – Menerapkan sistem deteksi dini kecelakaan, pemantauan lalu lintas, dan peringatan dini untuk meningkatkan keselamatan pengguna jalan. Sistem transportasi cerdas mengadopsi teknologi untuk meningkatkan keselamatan di jalan, seperti Advanced Driver Assistance Systems (ADAS), pemantauan CCTV berbasis AI, dan sistem peringatan dini kecelakaan. Beberapa kota juga menerapkan teknologi Vehicle-to-Everything (V2X), yang memungkinkan kendaraan berkomunikasi dengan infrastruktur jalan dan kendaraan lain untuk mencegah kecelakaan.
4. Mobilitas Berkelanjutan – Mendorong penggunaan transportasi publik, kendaraan ramah lingkungan, dan infrastruktur yang mendukung pejalan kaki serta pesepeda. Transportasi cerdas mendorong penggunaan transportasi umum dengan sistem yang

lebih efisien dan nyaman, seperti bus listrik otomatis, kereta cepat, dan layanan sepeda sewa berbasis aplikasi. Infrastruktur juga dirancang untuk mendukung pejalan kaki dan pesepeda dengan jalur khusus serta zona ramah lingkungan yang membatasi kendaraan berbahan bakar fosil.

5. Konektivitas dan Interoperabilitas – Menghubungkan berbagai moda transportasi melalui sistem tiket elektronik, integrasi data, dan aplikasi pintar. Integrasi berbagai moda transportasi dalam satu sistem mempermudah perjalanan pengguna, seperti penerapan tiket elektronik terintegrasi (e-ticketing) untuk bus, kereta, dan taksi dalam satu aplikasi. Contohnya adalah konsep Mobility as a Service (MaaS), di mana pengguna bisa merencanakan, memesan, dan membayar perjalanan mereka dengan berbagai moda transportasi dalam satu platform digital.
6. Manajemen Lalu Lintas yang Adaptif – Menggunakan sistem berbasis AI untuk mengatur arus lalu lintas secara real-time guna mengurangi kemacetan. Sistem transportasi cerdas menggunakan AI dan analitik data real-time untuk mengatur arus lalu lintas guna mengurangi kemacetan. Contohnya, sistem manajemen lalu lintas cerdas di kota-kota besar menggunakan kamera dan sensor untuk menyesuaikan durasi lampu lalu lintas agar kendaraan dapat bergerak lebih lancar.
7. Fokus pada Pengguna – Memberikan pengalaman perjalanan yang nyaman dengan navigasi cerdas, informasi waktu nyata, dan solusi berbasis kebutuhan pengguna. Transportasi cerdas menempatkan pengalaman pengguna sebagai prioritas, dengan menyediakan informasi lalu lintas real-time, navigasi berbasis AI, dan sistem reservasi

yang fleksibel. Teknologi seperti aplikasi perjalanan cerdas (Google Maps, Waze, Moovit, dll.) memberikan solusi yang disesuaikan dengan kebutuhan pengguna, seperti perkiraan waktu tiba dan rekomendasi rute terbaik.

DAFTAR PUSTAKA

Caroles, L. (2024). *Smart Mobility*. Wawasan Ilmu.

Rodrigue, J. P. (2020). *The geography of transport systems*.

BAB 2

TANTANGAN IMPLEMENTASI SISTEM TRANSPORTASI CERDAS

Oleh Rhaptyalyani Herno Della

2.1 Signifikansi dan Manfaat Transportasi Cerdas

Transportasi cerdas memiliki peran krusial dalam membentuk sistem transportasi yang lebih efisien, aman, dan berkelanjutan. Dengan menerapkan teknologi seperti *Internet of Things* (IoT), kecerdasan buatan (AI), dan *big data*, sistem transportasi cerdas mampu mengoptimalkan pengelolaan lalu lintas, mengurangi kemacetan, serta meningkatkan kenyamanan dan keselamatan pengguna jalan (Ercan dan Kutay, 2021). Selain itu, transportasi cerdas juga berkontribusi dalam mengurangi dampak lingkungan dengan mengintegrasikan solusi ramah lingkungan seperti kendaraan listrik dan transportasi berbasis energi terbarukan (Hou *dkk.*, 2020).

Salah satu manfaat utama dari transportasi cerdas adalah peningkatan efisiensi lalu lintas (Nikitas *dkk.*, 2020). Sistem transportasi yang dilengkapi dengan sensor dan analitik data dapat mengatur arus kendaraan secara real-time, mengurangi waktu perjalanan, serta meminimalkan konsumsi bahan bakar. Hal ini berdampak langsung pada pengurangan emisi gas rumah kaca yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor, sehingga mendukung upaya

pelestarian lingkungan. Selain itu, dengan adanya sistem informasi lalu lintas yang canggih, pengemudi dapat mengakses data mengenai kondisi jalan dan memilih rute terbaik, sehingga perjalanan menjadi lebih lancar.

Dari sisi keselamatan, transportasi cerdas memberikan kontribusi besar dalam mengurangi angka kecelakaan. Teknologi seperti sistem pengereman otomatis, peringatan tabrakan, serta kendaraan otonom membantu mengurangi risiko human error yang sering menjadi penyebab utama kecelakaan di jalan raya. Selain itu, pemantauan lalu lintas berbasis AI dapat mendeteksi pola perilaku pengemudi dan memberikan peringatan dini terhadap potensi bahaya, sehingga meningkatkan kesadaran pengguna jalan terhadap keselamatan berkendara (Ramos *dkk.*, 2020).

Lebih lanjut, implementasi sistem transportasi cerdas juga memiliki manfaat ekonomi yang signifikan. Dengan mengurangi kemacetan dan meningkatkan efisiensi transportasi, produktivitas masyarakat dapat meningkat karena waktu yang biasanya terbuang di jalan dapat dialokasikan untuk kegiatan yang lebih produktif. Selain itu, transportasi cerdas juga membuka peluang bagi industri baru di sektor teknologi transportasi, menciptakan lapangan kerja, serta mendorong inovasi dalam pengelolaan mobilitas perkotaan (Ercan dan Kutay, 2021).

Secara keseluruhan, transportasi cerdas merupakan elemen penting dalam mewujudkan sistem transportasi yang modern dan adaptif terhadap perkembangan zaman. Dengan terus mengembangkan dan mengintegrasikan teknologi canggih dalam sistem transportasi, diharapkan dapat tercipta infrastruktur yang lebih efisien, aman, dan berkelanjutan, serta memberikan manfaat besar bagi masyarakat dan lingkungan.

2.2 Tantangan Teknis

Implementasi sistem transportasi cerdas menghadapi berbagai tantangan teknis yang harus diatasi agar dapat berfungsi secara optimal. Salah satu tantangan utama adalah integrasi teknologi yang kompleks. Sistem transportasi cerdas melibatkan berbagai teknologi seperti *Internet of Things* (IoT), kecerdasan buatan (AI), *big data*, serta komunikasi berbasis cloud. Mengintegrasikan berbagai komponen ini ke dalam satu sistem yang terkoordinasi memerlukan infrastruktur yang handal dan kompatibilitas antara berbagai platform serta perangkat yang digunakan.

Selain itu, keandalan dan kestabilan sistem juga menjadi faktor krusial. Sistem transportasi cerdas sangat bergantung pada data real-time untuk mengatur lalu lintas, memantau kondisi jalan, serta mengoptimalkan rute perjalanan. Namun, gangguan teknis seperti kegagalan jaringan komunikasi, keterlambatan pemrosesan data, atau bahkan serangan siber dapat menghambat kinerja sistem secara keseluruhan (Nikitas dkk., 2020). Oleh karena itu, diperlukan solusi yang mampu meningkatkan keamanan data serta menjaga kestabilan sistem agar tetap berfungsi dengan baik dalam berbagai kondisi operasional.

Tantangan lain yang tidak kalah penting adalah ketersediaan infrastruktur digital yang mendukung. Banyak kota di negara berkembang masih mengalami keterbatasan dalam hal jaringan internet berkecepatan tinggi, sensor lalu lintas yang canggih, serta sistem pemantauan berbasis AI. Tanpa infrastruktur yang memadai, penerapan sistem transportasi cerdas akan sulit mencapai potensi maksimalnya. Selain itu, biaya investasi awal yang tinggi dalam pembangunan dan pengelolaan infrastruktur digital juga menjadi kendala bagi pemerintah dan sektor swasta

dalam mengadopsi teknologi transportasi cerdas (Herno Della dan Rachmannullah, 2024).

Interoperabilitas antara sistem yang berbeda juga menjadi tantangan signifikan. Transportasi cerdas mencakup berbagai moda transportasi seperti bus, kereta, angkutan berbasis aplikasi, dan kendaraan pribadi yang harus saling terhubung dalam satu ekosistem (Ercan dan Kutay, 2021). Kurangnya standar universal dalam teknologi transportasi dapat menghambat kelancaran integrasi antar sistem, sehingga diperlukan regulasi dan kebijakan yang mengatur standar interoperabilitas agar berbagai teknologi dapat beroperasi secara harmonis.

Terakhir, adopsi teknologi transportasi cerdas juga menghadapi tantangan dalam hal penerimaan oleh masyarakat dan operator transportasi. Tidak semua pengguna dan penyedia layanan transportasi memiliki pemahaman yang cukup mengenai sistem transportasi cerdas, sehingga diperlukan sosialisasi dan pelatihan yang memadai. Selain itu, kekhawatiran mengenai privasi data dan pengawasan yang berlebihan juga dapat menimbulkan resistensi dalam penerapan sistem ini.

Secara keseluruhan, meskipun sistem transportasi cerdas menawarkan banyak manfaat, berbagai tantangan teknis perlu diatasi agar implementasinya dapat berjalan dengan lancar dan memberikan dampak yang maksimal. Dibutuhkan kolaborasi antara pemerintah, sektor swasta, dan masyarakat untuk memastikan bahwa solusi transportasi cerdas dapat diterapkan secara efektif dan berkelanjutan.

2.2.1 Infrastruktur yang Memadai

Dari segi infrastruktur, tantangan utama dalam implementasi sistem transportasi cerdas adalah keterbatasan fasilitas pendukung yang dibutuhkan untuk menjalankan teknologi secara optimal. Sistem transportasi cerdas bergantung pada berbagai komponen infrastruktur digital, seperti jaringan internet berkecepatan tinggi, sensor lalu lintas yang canggih, sistem komunikasi berbasis cloud, serta pusat data untuk menyimpan dan mengelola informasi dalam jumlah besar (Witkowski, 2017). Namun, di banyak daerah, terutama di negara berkembang, infrastruktur tersebut masih belum tersedia secara luas atau memiliki kualitas yang kurang memadai.

Salah satu masalah utama adalah keterbatasan jaringan komunikasi yang stabil dan luas. Sistem transportasi cerdas memerlukan konektivitas internet yang kuat untuk memastikan transmisi data real-time antara kendaraan, pusat kontrol lalu lintas, dan pengguna jalan. Jika jaringan komunikasi tidak stabil atau memiliki keterlambatan yang tinggi, maka efektivitas sistem transportasi cerdas akan menurun, yang dapat menyebabkan gangguan dalam pengaturan lalu lintas dan informasi yang diterima pengguna menjadi tidak akurat (Abduljabbar *dkk.*, 2019).

Selain itu, infrastruktur jalan dan fasilitas transportasi yang belum mendukung penerapan teknologi cerdas juga menjadi kendala. Misalnya, banyak kota masih menggunakan sistem transportasi konvensional dengan minimnya sensor lalu lintas, kamera pengawas, atau sistem manajemen lalu lintas berbasis AI. Kurangnya lampu lalu lintas yang terhubung dengan sistem kontrol otomatis atau

kurangnya jalur khusus untuk kendaraan ramah lingkungan juga dapat menghambat efektivitas transportasi cerdas.

Kendala lainnya adalah biaya tinggi dalam membangun dan memelihara infrastruktur transportasi cerdas. Pengadaan perangkat seperti sensor IoT, kamera pengawasan, dan sistem pemantauan lalu lintas berbasis AI membutuhkan investasi besar. Pemerintah dan sektor swasta sering kali menghadapi keterbatasan anggaran untuk mengembangkan infrastruktur ini, terutama jika dibandingkan dengan kebutuhan pembangunan infrastruktur dasar lainnya seperti jalan dan jembatan.

Untuk mengatasi tantangan ini, diperlukan strategi investasi yang berkelanjutan dalam pengembangan infrastruktur digital dan fisik. Pemerintah dapat bekerja sama dengan sektor swasta melalui skema *public-private partnership* (PPP) untuk mempercepat pembangunan jaringan komunikasi dan perangkat pendukung transportasi cerdas (Massami, Myamba dan Edward, 2016). Selain itu, penerapan teknologi berbasis cloud dan kecerdasan buatan juga bisa menjadi solusi untuk mengurangi kebutuhan perangkat fisik yang mahal dan meningkatkan efisiensi operasional sistem transportasi cerdas.

Dengan memperkuat infrastruktur yang mendukung transportasi cerdas, sistem ini dapat diimplementasikan secara lebih efektif dan memberikan manfaat yang lebih luas bagi pengguna jalan, pemerintah, dan lingkungan secara keseluruhan.

2.2.2 Integrasi Teknologi dan Sistem

Integrasi teknologi dan sistem menjadi salah satu tantangan terbesar dalam implementasi sistem transportasi cerdas. Hal ini disebabkan oleh kompleksitas infrastruktur yang melibatkan berbagai teknologi, perangkat, dan jaringan komunikasi yang harus bekerja secara sinkron. Untuk mencapai sistem transportasi yang cerdas dan efisien, dibutuhkan interoperabilitas antara berbagai komponen seperti sensor lalu lintas, kendaraan berbasis IoT, sistem navigasi berbasis kecerdasan buatan (AI), serta platform pemrosesan *big data*. Namun, perbedaan dalam standar teknologi, protokol komunikasi, serta kapasitas sistem menjadi kendala utama dalam proses integrasi (Hasan, Whyte dan Jassmi, 2020).

Salah satu tantangan dalam integrasi teknologi adalah kompatibilitas antara sistem yang sudah ada (*legacy systems*) dengan teknologi baru. Banyak kota masih menggunakan sistem lalu lintas dan transportasi yang konvensional, sehingga perlu ada upaya modernisasi agar dapat mendukung konsep transportasi cerdas. Menghubungkan sistem lama dengan teknologi berbasis cloud dan AI sering kali membutuhkan investasi besar dalam infrastruktur dan sumber daya manusia yang memiliki keahlian khusus dalam integrasi sistem (Hasan, Whyte dan Jassmi, 2020).

Selain itu, tantangan lainnya adalah sinkronisasi data dari berbagai sumber yang berbeda. Sistem transportasi cerdas mengandalkan data real-time dari berbagai perangkat, termasuk sensor jalan, GPS kendaraan, kamera pengawas, dan sistem pemantauan cuaca (Herno Della dan Rachmannullah, 2024). Data dari sumber yang berbeda ini harus diproses dan dianalisis dengan cepat agar dapat

memberikan rekomendasi yang akurat untuk pengelolaan lalu lintas. Namun, perbedaan format data, keterbatasan bandwidth, serta keandalan jaringan komunikasi sering kali menjadi hambatan dalam memastikan data dapat diakses dan diproses secara efektif.

Keamanan dan privasi juga menjadi aspek krusial dalam integrasi sistem transportasi cerdas. Dengan meningkatnya konektivitas antar perangkat, risiko serangan siber terhadap infrastruktur transportasi juga semakin tinggi. Serangan terhadap sistem lalu lintas, pemalsuan data GPS, atau peretasan kendaraan otonom dapat menimbulkan gangguan serius terhadap keselamatan dan efisiensi transportasi. Oleh karena itu, diperlukan protokol keamanan siber yang kuat, seperti enkripsi data, autentikasi perangkat, serta sistem deteksi ancaman berbasis AI untuk memastikan bahwa sistem transportasi tetap aman dan terlindungi.

Terakhir, koordinasi antara berbagai pemangku kepentingan dalam integrasi sistem juga menjadi tantangan tersendiri. Sistem transportasi cerdas melibatkan berbagai pihak, termasuk pemerintah, operator transportasi, pengembang teknologi, dan masyarakat. Tanpa adanya koordinasi yang baik dan kebijakan yang mendukung standar interoperabilitas, integrasi teknologi transportasi cerdas dapat berjalan secara tidak optimal dan tidak memberikan manfaat maksimal bagi pengguna (Ercan dan Kutay, 2021). Oleh karena itu, diperlukan regulasi yang jelas serta kerja sama lintas sektor untuk memastikan bahwa sistem transportasi cerdas dapat diterapkan secara efektif dan berkelanjutan.

2.2.3 Keamanan dan Privasi Data

Keamanan dan privasi data merupakan salah satu tantangan teknis utama dalam implementasi sistem transportasi cerdas. Sistem ini bergantung pada teknologi seperti *Internet of Things* (IoT), *big data*, dan kecerdasan buatan (AI) untuk mengumpulkan, mengolah, serta menganalisis data secara real-time. Namun, dengan meningkatnya ketergantungan pada data digital, risiko kebocoran informasi, peretasan sistem, dan penyalahgunaan data pribadi juga semakin besar.

Salah satu ancaman utama dalam keamanan sistem transportasi cerdas adalah serangan siber (Bolbot *dkk.*, 2020). Hacker dapat mengeksploitasi kelemahan dalam jaringan komunikasi atau infrastruktur digital untuk mengakses data sensitif, mengganggu sistem lalu lintas, atau bahkan mengambil kendali atas kendaraan yang terhubung. Contoh nyata dari ancaman ini adalah kemungkinan serangan ransomware yang dapat mengunci sistem transportasi dan menuntut tebusan untuk mengembalikan aksesnya. Oleh karena itu, diperlukan sistem keamanan yang kuat, termasuk enkripsi data, firewall canggih, serta pemantauan keamanan secara berkala untuk mencegah dan mendeteksi serangan siber.

Selain ancaman keamanan, privasi data pengguna juga menjadi perhatian utama. Sistem transportasi cerdas mengumpulkan berbagai informasi pribadi, seperti lokasi real-time pengguna, riwayat perjalanan, serta kebiasaan berkendara (Verma dan Ramanayya, 2014). Jika data ini tidak dikelola dengan baik, ada risiko penyalahgunaan oleh pihak yang tidak bertanggung jawab, baik untuk kepentingan komersial maupun kriminal. Oleh karena itu, regulasi ketat mengenai perlindungan data pribadi sangat

diperlukan agar informasi pengguna tidak disalahgunakan atau dijual tanpa izin.

Tantangan lainnya adalah transparansi dalam penggunaan data. Banyak pengguna khawatir bahwa data mereka dipantau dan disimpan tanpa sepengetahuan mereka. Oleh karena itu, penting bagi penyedia layanan transportasi cerdas untuk memiliki kebijakan privasi yang jelas dan mudah dipahami, serta memberikan opsi kepada pengguna untuk mengontrol bagaimana data mereka digunakan.

Untuk mengatasi tantangan ini, diperlukan kombinasi pendekatan teknologi dan kebijakan. Dari sisi teknologi, implementasi protokol keamanan yang kuat, seperti autentikasi multi-faktor dan enkripsi end-to-end, dapat membantu melindungi data dari akses yang tidak sah. Sementara itu, dari sisi kebijakan, regulasi seperti General Data Protection Regulation (GDPR) atau Undang-Undang Perlindungan Data Pribadi (UU PDP) perlu diterapkan untuk memastikan bahwa pengelolaan data dilakukan secara etis dan sesuai dengan standar yang berlaku (Vojković dan Milenković, 2020).

Secara keseluruhan, keamanan dan privasi data dalam sistem transportasi cerdas adalah aspek yang tidak boleh diabaikan. Tanpa perlindungan yang memadai, sistem ini dapat menjadi target serangan yang berpotensi mengganggu operasional transportasi dan merugikan pengguna. Oleh karena itu, investasi dalam keamanan siber dan kebijakan perlindungan data harus menjadi prioritas utama dalam pengembangan transportasi cerdas yang andal dan berkelanjutan.

2.3 Tantangan Sosial

Selain tantangan teknis, implementasi sistem transportasi cerdas juga menghadapi berbagai tantangan sosial yang dapat mempengaruhi efektivitas dan keberhasilannya. Salah satu tantangan utama adalah resistensi dari masyarakat terhadap perubahan. Banyak pengguna transportasi yang sudah terbiasa dengan sistem konvensional, sehingga beradaptasi dengan teknologi baru bisa menjadi tantangan tersendiri. Kurangnya pemahaman mengenai manfaat dan cara kerja transportasi cerdas dapat menimbulkan ketidakpercayaan atau bahkan penolakan terhadap inovasi yang diterapkan. Oleh karena itu, edukasi dan sosialisasi yang efektif sangat penting agar masyarakat dapat memahami dan menerima perubahan ini (Lirn, Rachmannullah dan Herno Della, 2023).

Tantangan lain yang signifikan adalah kesenjangan akses terhadap teknologi. Tidak semua kelompok masyarakat memiliki akses yang sama terhadap perangkat digital seperti smartphone atau internet, yang sering kali menjadi bagian integral dari sistem transportasi cerdas. Hal ini dapat menciptakan ketimpangan dalam pemanfaatan layanan transportasi modern, di mana kelompok masyarakat dengan keterbatasan teknologi atau ekonomi bisa tertinggal. Pemerintah dan penyedia layanan perlu memastikan bahwa sistem transportasi cerdas tetap inklusif dan dapat diakses oleh semua lapisan masyarakat, termasuk mereka yang kurang melek teknologi atau berada di daerah dengan infrastruktur digital yang terbatas.

Selain itu, perubahan dalam sistem transportasi juga dapat berdampak pada tenaga kerja di sektor ini. Implementasi transportasi cerdas yang mengandalkan otomatisasi dan teknologi digital dapat mengurangi

kebutuhan akan tenaga kerja manusia, terutama dalam bidang operasional seperti pengemudi dan petugas transportasi. Jika tidak dikelola dengan baik, hal ini dapat menimbulkan kekhawatiran mengenai hilangnya lapangan pekerjaan dan menciptakan konflik sosial. Oleh karena itu, diperlukan strategi yang tepat, seperti program pelatihan ulang (*reskilling*) dan peningkatan keterampilan (*upskilling*), agar tenaga kerja yang terdampak dapat beradaptasi dengan perubahan yang terjadi.

Tantangan sosial lainnya adalah isu privasi dan pengawasan. Sistem transportasi cerdas sering kali melibatkan penggunaan teknologi pemantauan seperti kamera CCTV, sensor lalu lintas, dan analitik data yang dapat mengumpulkan informasi tentang pergerakan individu. Meskipun teknologi ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan keselamatan, sebagian masyarakat mungkin merasa tidak nyaman dengan tingkat pengawasan yang tinggi. Kekhawatiran mengenai bagaimana data pribadi digunakan dan siapa yang memiliki akses terhadapnya perlu dijawab dengan kebijakan transparan serta perlindungan data yang ketat.

Secara keseluruhan, tantangan sosial dalam implementasi sistem transportasi cerdas memerlukan pendekatan yang holistik dan inklusif. Pemerintah, penyedia layanan, dan masyarakat perlu bekerja sama untuk mengatasi hambatan ini melalui edukasi, kebijakan yang adil, serta strategi yang memastikan bahwa manfaat transportasi cerdas dapat dirasakan oleh semua orang tanpa meningkatkan kesenjangan sosial. Dengan pendekatan yang tepat, transportasi cerdas dapat menjadi solusi yang tidak hanya inovatif, tetapi juga adil dan berkelanjutan bagi seluruh masyarakat.

2.3.1 Kesenjangan Akses dan Inklusi

Salah satu tantangan sosial yang krusial dalam implementasi sistem transportasi cerdas adalah kesenjangan akses dan inklusi. Tidak semua masyarakat memiliki akses yang sama terhadap teknologi yang menjadi dasar dari sistem transportasi cerdas, seperti aplikasi transportasi berbasis digital, pembayaran nontunai, dan layanan berbasis IoT. Faktor-faktor seperti keterbatasan ekonomi, tingkat literasi digital yang rendah, serta kesenjangan infrastruktur antara daerah perkotaan dan pedesaan dapat menghambat sebagian kelompok masyarakat dalam memanfaatkan layanan ini secara optimal (Albino, Berardi dan Dangelico, 2015).

Di daerah perkotaan, transportasi cerdas sering kali terintegrasi dengan aplikasi smartphone dan layanan berbasis internet. Namun, tidak semua warga memiliki perangkat yang mendukung atau konektivitas yang stabil, terutama mereka yang berasal dari kelompok ekonomi menengah ke bawah. Jika akses terhadap layanan transportasi hanya tersedia dalam format digital, maka ada risiko eksklusi sosial terhadap kelompok yang tidak memiliki sumber daya untuk mengadopsi teknologi ini. Oleh karena itu, diperlukan solusi yang inklusif, seperti menyediakan kios layanan transportasi digital di tempat umum atau tetap mempertahankan opsi pembayaran tunai sebagai alternatif.

Kesenjangan akses juga lebih terlihat di daerah pedesaan dan wilayah dengan infrastruktur transportasi yang kurang berkembang. Sebagian besar inovasi transportasi cerdas saat ini lebih difokuskan pada kota-kota besar, sementara daerah terpencil sering kali tertinggal dalam hal pengembangan sistem transportasi berbasis

teknologi. Padahal, di wilayah-wilayah ini, kebutuhan akan transportasi yang efisien dan terjangkau juga sangat tinggi. Untuk mengatasi hal ini, diperlukan kebijakan yang memastikan distribusi infrastruktur transportasi cerdas secara lebih merata, seperti investasi dalam jaringan internet yang lebih luas serta pengembangan sistem transportasi yang disesuaikan dengan kebutuhan masyarakat setempat (Ercan dan Kutay, 2021).

Selain itu, aspek inklusi juga harus mempertimbangkan kelompok masyarakat yang memiliki keterbatasan fisik, seperti penyandang disabilitas dan lansia. Banyak sistem transportasi cerdas dirancang dengan asumsi bahwa pengguna memiliki mobilitas penuh dan dapat mengakses layanan digital dengan mudah. Padahal, kelompok ini mungkin mengalami kesulitan dalam menggunakan aplikasi berbasis *smartphone* atau mengakses kendaraan tanpa fasilitas yang ramah bagi mereka. Oleh karena itu, transportasi cerdas harus mengedepankan prinsip desain universal dengan menyediakan fitur aksesibilitas, seperti antarmuka yang ramah bagi penyandang disabilitas, sistem suara untuk tunanetra, serta layanan yang tetap dapat digunakan oleh mereka yang tidak terbiasa dengan teknologi digital (Nikitas *dkk.*, 2020).

Secara keseluruhan, kesenjangan akses dan inklusi dalam sistem transportasi cerdas merupakan tantangan yang harus diatasi agar manfaat teknologi ini dapat dirasakan oleh semua kalangan. Pemerintah dan penyedia layanan transportasi harus memastikan bahwa inovasi yang dikembangkan tidak hanya fokus pada efisiensi dan modernisasi, tetapi juga memperhatikan aspek keadilan sosial dengan menciptakan sistem yang lebih inklusif dan dapat diakses oleh seluruh lapisan masyarakat.

2.3.2 Dampak Sosial dan Ekonomi

Dari segi sosial, implementasi sistem transportasi cerdas dapat menimbulkan kesenjangan dalam aksesibilitas layanan transportasi. Tidak semua masyarakat memiliki akses yang sama terhadap teknologi digital yang menjadi bagian integral dari transportasi cerdas, seperti aplikasi pemesanan kendaraan, pembayaran elektronik, atau sistem navigasi berbasis AI (Nikitas *dkk.*, 2020). Kelompok masyarakat yang kurang melek teknologi, seperti lansia atau mereka yang tinggal di daerah dengan infrastruktur digital terbatas, berisiko tertinggal dalam perubahan ini. Hal ini dapat memperburuk ketimpangan sosial jika tidak ada upaya untuk menyediakan alternatif atau solusi yang lebih inklusif.

Selain itu, penggunaan teknologi transportasi cerdas yang semakin meluas juga dapat mengubah pola interaksi sosial. Misalnya, sistem transportasi otonom dan berbasis digital mengurangi interaksi langsung antara pengguna dan penyedia layanan, seperti pengemudi atau petugas loket. Hal ini dapat mengubah dinamika sosial yang sebelumnya didasarkan pada komunikasi langsung dalam transaksi dan layanan transportasi. Sementara bagi sebagian orang hal ini dapat meningkatkan efisiensi, bagi yang lain mungkin justru mengurangi aspek humanis dalam layanan transportasi (Lirn, Rachmannullah dan Herno Della, 2023).

Dari segi ekonomi, salah satu tantangan utama adalah dampak terhadap lapangan pekerjaan di sektor transportasi. Dengan meningkatnya penggunaan kendaraan otonom, sistem tiket otomatis, serta manajemen lalu lintas berbasis AI, peran manusia dalam sektor transportasi dapat semakin berkurang (Mills *dkk.*, 2022). Profesi seperti pengemudi angkutan umum, petugas tiket, atau operator transportasi

bisa mengalami penurunan permintaan. Jika tidak ada program pelatihan ulang atau transisi pekerjaan yang memadai, hal ini dapat meningkatkan tingkat pengangguran dan memperburuk kondisi ekonomi kelompok yang terdampak.

Di sisi lain, implementasi transportasi cerdas juga dapat menciptakan peluang ekonomi baru. Sektor teknologi transportasi akan berkembang, membuka lapangan pekerjaan di bidang pemrograman, analisis data, pemeliharaan sistem teknologi, serta pengembangan infrastruktur digital. Selain itu, sistem transportasi yang lebih efisien dapat meningkatkan produktivitas ekonomi dengan mengurangi waktu tempuh, mengoptimalkan distribusi barang dan jasa, serta meningkatkan konektivitas antarwilayah (Mills *dkk.*, 2022). Oleh karena itu, penting bagi pemerintah dan pemangku kepentingan untuk memastikan bahwa manfaat ekonomi dari transportasi cerdas dapat dirasakan secara merata oleh berbagai lapisan masyarakat.

Dengan demikian, tantangan sosial dalam implementasi sistem transportasi cerdas tidak hanya berkaitan dengan aspek teknologi, tetapi juga memiliki dampak luas terhadap keseimbangan sosial dan ekonomi masyarakat. Untuk mengatasi tantangan ini, diperlukan kebijakan yang mendukung inklusivitas, pengembangan keterampilan tenaga kerja, serta regulasi yang memastikan bahwa manfaat transportasi cerdas dapat diakses oleh semua orang tanpa menimbulkan kesenjangan yang lebih besar.

2.3.3 Ketidakpastian Regulasi

Ketidakpastian regulasi merupakan salah satu tantangan sosial yang signifikan dalam implementasi sistem transportasi cerdas. Seiring dengan pesatnya perkembangan teknologi transportasi, regulasi yang ada sering kali tidak dapat mengikuti perubahan dengan cukup cepat. Banyak negara atau daerah yang belum memiliki kebijakan yang jelas mengenai penggunaan teknologi seperti kendaraan otonom, sistem transportasi berbasis IoT, atau analitik *big data* dalam transportasi publik (Mensah *dkk.*, 2020). Hal ini dapat menciptakan ketidakpastian bagi investor, operator transportasi, dan masyarakat dalam mengadopsi sistem transportasi cerdas secara luas.

Salah satu dampak dari ketidakpastian regulasi adalah hambatan dalam perizinan dan pengoperasian teknologi baru. Misalnya, kendaraan otonom memerlukan regulasi yang jelas mengenai standar keselamatan, asuransi, serta tanggung jawab hukum dalam kasus kecelakaan. Tanpa kejelasan regulasi, pengembang teknologi dan penyedia layanan transportasi akan menghadapi kesulitan dalam mengimplementasikan inovasi mereka, yang pada akhirnya dapat memperlambat adopsi sistem transportasi cerdas.

Selain itu, ketidakpastian regulasi juga dapat memicu konflik antara berbagai pemangku kepentingan. Misalnya, dalam sektor ride-hailing atau transportasi berbasis aplikasi, sering terjadi perbedaan kepentingan antara penyedia layanan, pemerintah, dan pengemudi konvensional. Tanpa regulasi yang adil dan seimbang, persaingan yang tidak sehat dapat terjadi, yang berpotensi menimbulkan ketidakpuasan sosial dan penolakan terhadap sistem transportasi cerdas.

Lebih jauh, kurangnya regulasi yang tegas dalam aspek privasi dan keamanan data juga menjadi perhatian utama. Sistem transportasi cerdas mengandalkan data pengguna untuk mengoptimalkan layanan, tetapi tanpa regulasi yang ketat, ada risiko penyalahgunaan data pribadi. Masyarakat mungkin menjadi enggan menggunakan layanan transportasi cerdas jika mereka merasa data mereka tidak dilindungi dengan baik. Oleh karena itu, kebijakan perlindungan data yang transparan dan ketat sangat dibutuhkan untuk meningkatkan kepercayaan publik terhadap sistem ini.

Untuk mengatasi tantangan ini, diperlukan kolaborasi antara pemerintah, akademisi, industri, dan masyarakat dalam merancang regulasi yang fleksibel dan adaptif terhadap perkembangan teknologi. Regulasi yang jelas dan mendukung inovasi akan menciptakan kepastian hukum bagi para pelaku industri, sekaligus melindungi kepentingan masyarakat dalam penerapan sistem transportasi cerdas. Dengan adanya regulasi yang tepat, sistem transportasi cerdas dapat berkembang secara optimal dan memberikan manfaat maksimal bagi semua pihak.

2.4 Tantangan Lingkungan

Meskipun sistem transportasi cerdas bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi dampak lingkungan, implementasinya tetap menghadapi berbagai tantangan lingkungan yang perlu diperhatikan. Salah satu tantangan utama adalah konsumsi energi yang tinggi dalam pengoperasian teknologi transportasi cerdas. Sistem ini sangat bergantung pada infrastruktur digital seperti sensor, kamera pemantau, server cloud, serta jaringan komunikasi

yang terus beroperasi secara real-time. Penggunaan perangkat ini dalam skala besar dapat meningkatkan konsumsi listrik secara signifikan, terutama jika sumber energinya masih berasal dari bahan bakar fosil, yang justru dapat memperburuk emisi karbon.

Selain konsumsi energi, limbah elektronik juga menjadi tantangan yang harus diatasi. Transportasi cerdas mengandalkan perangkat keras seperti sensor IoT, unit kontrol kendaraan, dan sistem pemantauan yang memiliki umur pakai terbatas. Seiring dengan berkembangnya teknologi, perangkat lama akan terus diperbarui atau diganti, yang berpotensi menambah jumlah limbah elektronik. Jika tidak dikelola dengan baik, limbah ini dapat mencemari lingkungan dan mengganggu ekosistem. Oleh karena itu, diperlukan strategi pengelolaan limbah yang berkelanjutan, seperti program daur ulang perangkat elektronik serta kebijakan produksi yang lebih ramah lingkungan.

Tantangan lainnya adalah dampak pembangunan infrastruktur transportasi cerdas terhadap lingkungan. Pembangunan jalan pintar, jaringan komunikasi 5G, serta fasilitas pendukung transportasi berbasis teknologi sering kali membutuhkan lahan baru, yang dapat menyebabkan perubahan tata guna lahan serta degradasi lingkungan (Hasan, Whyte dan Jassmi, 2020). Misalnya, pelebaran jalan atau pemasangan infrastruktur digital dapat berkontribusi terhadap pengurangan ruang hijau di kawasan perkotaan, yang berpotensi meningkatkan suhu kota dan mengurangi daya serap air tanah. Oleh karena itu, diperlukan perencanaan yang matang agar infrastruktur transportasi cerdas dapat dibangun tanpa merusak keseimbangan ekosistem.

Selain itu, meskipun transportasi cerdas bertujuan untuk mengurangi emisi dengan meningkatkan efisiensi lalu lintas, efek rebound dapat terjadi jika peningkatan kenyamanan transportasi justru mendorong lebih banyak perjalanan. Sebagai contoh, jika sistem transportasi yang lebih efisien membuat biaya perjalanan menjadi lebih murah dan lebih cepat, masyarakat mungkin akan lebih sering bepergian, yang pada akhirnya tetap meningkatkan konsumsi energi dan emisi karbon secara keseluruhan. Untuk mengatasi tantangan ini, diperlukan pendekatan yang tidak hanya berfokus pada efisiensi, tetapi juga mendorong pola perjalanan yang lebih berkelanjutan, seperti penguatan transportasi publik dan infrastruktur ramah lingkungan.

Secara keseluruhan, meskipun sistem transportasi cerdas menawarkan banyak solusi untuk mengurangi dampak lingkungan, implementasinya tetap perlu mempertimbangkan aspek keberlanjutan. Diperlukan kebijakan yang mendukung penggunaan energi terbarukan, strategi pengelolaan limbah elektronik, serta perencanaan infrastruktur yang selaras dengan prinsip ekologi agar manfaat transportasi cerdas dapat tercapai tanpa menambah beban lingkungan.

2.4.1 Reduksi Emisi Karbon

Salah satu tujuan utama sistem transportasi cerdas adalah mengurangi emisi karbon melalui peningkatan efisiensi lalu lintas, penggunaan kendaraan ramah lingkungan, serta optimalisasi sistem transportasi publik. Namun, meskipun transportasi cerdas menawarkan berbagai solusi untuk menekan emisi karbon, implementasinya tetap menghadapi sejumlah tantangan yang perlu diatasi agar manfaatnya dapat benar-benar tercapai.

Salah satu tantangan utama adalah ketergantungan pada sumber energi konvensional. Banyak sistem transportasi cerdas masih mengandalkan jaringan listrik yang bersumber dari pembangkit berbasis bahan bakar fosil. Meskipun kendaraan listrik dan sistem transportasi otomatis dapat mengurangi emisi langsung dari kendaraan, jika listrik yang digunakan masih berasal dari batu bara atau bahan bakar fosil lainnya, maka dampak positif terhadap lingkungan menjadi terbatas. Oleh karena itu, diperlukan transisi menuju penggunaan energi terbarukan, seperti tenaga surya dan angin, untuk memastikan bahwa transportasi cerdas benar-benar berkontribusi terhadap reduksi emisi karbon secara keseluruhan.

Selain itu, penerapan transportasi cerdas dapat menghadapi efek rebound, di mana efisiensi yang lebih tinggi justru mendorong peningkatan mobilitas yang berlebihan. Jika perjalanan menjadi lebih cepat, murah, dan nyaman akibat sistem transportasi yang lebih cerdas, masyarakat mungkin akan lebih sering menggunakan kendaraan pribadi dibandingkan dengan transportasi publik atau berjalan kaki. Hal ini dapat menyebabkan peningkatan total emisi, meskipun emisi per perjalanan individu berkurang (Bronzini, 2004). Oleh karena itu, perlu adanya kebijakan yang mendorong penggunaan transportasi publik berbasis energi hijau dan pengembangan kota yang berorientasi pada mobilitas berkelanjutan.

Tantangan lainnya adalah lambatnya adopsi kendaraan rendah emisi, seperti kendaraan listrik dan hidrogen. Meskipun sistem transportasi cerdas dapat mengintegrasikan kendaraan ramah lingkungan, keterbatasan infrastruktur pendukung seperti stasiun pengisian daya listrik dan hidrogen masih menjadi

hambatan utama. Selain itu, harga kendaraan ramah lingkungan yang relatif lebih mahal dibandingkan kendaraan berbahan bakar fosil juga menjadi kendala bagi banyak masyarakat dalam beralih ke opsi yang lebih berkelanjutan. Oleh karena itu, dibutuhkan insentif pemerintah, subsidi, serta percepatan pembangunan infrastruktur pendukung agar adopsi kendaraan rendah emisi dapat berjalan lebih cepat dan efektif.

Lebih lanjut, integrasi sistem transportasi cerdas dengan transportasi multimoda yang berkelanjutan juga masih menjadi tantangan. Untuk mencapai reduksi emisi karbon yang optimal, transportasi cerdas perlu dikombinasikan dengan sistem transportasi umum yang efisien, jalur sepeda, serta infrastruktur bagi pejalan kaki. Namun, banyak kota masih menghadapi tantangan dalam menyediakan konektivitas yang baik antar moda transportasi. Oleh karena itu, diperlukan strategi perencanaan kota yang lebih komprehensif agar transportasi cerdas dapat benar-benar mengurangi emisi karbon dengan cara yang efektif dan berkelanjutan.

Secara keseluruhan, meskipun transportasi cerdas memiliki potensi besar dalam mengurangi emisi karbon, implementasinya memerlukan pendekatan yang lebih holistik. Diperlukan transisi ke energi terbarukan, kebijakan yang mendorong penggunaan transportasi ramah lingkungan, serta integrasi transportasi multimoda agar sistem ini benar-benar dapat menjadi solusi yang berkelanjutan bagi lingkungan.

2.4.2 Pengelolaan Sumber Daya

Pengelolaan sumber daya merupakan salah satu tantangan utama dalam implementasi sistem transportasi cerdas, terutama dalam hal pemanfaatan energi, material, dan infrastruktur yang berkelanjutan. Sistem transportasi cerdas membutuhkan berbagai sumber daya, mulai dari listrik untuk mengoperasikan teknologi hingga bahan baku untuk produksi kendaraan dan infrastruktur digital. Jika tidak dikelola dengan baik, penggunaan sumber daya ini dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan dan menghambat tujuan keberlanjutan sistem transportasi.

Salah satu tantangan utama adalah ketergantungan pada sumber energi konvensional. Banyak teknologi transportasi cerdas seperti kendaraan listrik, sistem pemantauan lalu lintas, dan infrastruktur berbasis IoT masih mengandalkan energi dari jaringan listrik yang sebagian besar berasal dari bahan bakar fosil. Jika transisi ke energi terbarukan tidak dilakukan dengan cepat, peningkatan penggunaan teknologi transportasi cerdas justru dapat meningkatkan jejak karbon secara keseluruhan. Oleh karena itu, pengembangan dan integrasi sumber energi bersih, seperti tenaga surya dan angin, menjadi langkah penting dalam memastikan transportasi cerdas tetap ramah lingkungan.

Selain itu, ketersediaan bahan baku untuk perangkat transportasi cerdas juga menjadi tantangan besar. Produksi kendaraan listrik dan komponen digital memerlukan material langka seperti lithium, kobalt, dan tanah jarang, yang proses ekstraksinya dapat merusak lingkungan. Penambangan mineral ini sering kali menyebabkan deforestasi, pencemaran air, dan eksploitasi tenaga kerja (Kutz, 2003). Oleh karena itu, perlu dikembangkan teknologi

daur ulang dan penggunaan kembali bahan baku agar ketergantungan pada sumber daya alam baru dapat dikurangi. Inovasi dalam baterai yang lebih ramah lingkungan serta kebijakan daur ulang perangkat elektronik menjadi langkah strategis dalam mengatasi tantangan ini.

Selain aspek energi dan material, pengelolaan sumber daya lahan juga menjadi tantangan dalam implementasi sistem transportasi cerdas. Pembangunan infrastruktur seperti jalan pintar, pusat data, dan jaringan komunikasi memerlukan lahan yang signifikan, terutama di daerah perkotaan yang sudah padat. Jika tidak direncanakan dengan baik, ekspansi infrastruktur ini dapat menyebabkan alih fungsi lahan hijau dan meningkatkan risiko degradasi lingkungan. Oleh karena itu, pendekatan pembangunan yang berbasis tata ruang berkelanjutan harus diterapkan agar infrastruktur transportasi cerdas dapat terintegrasi dengan ekosistem perkotaan tanpa merusak lingkungan sekitar.

Secara keseluruhan, pengelolaan sumber daya dalam implementasi sistem transportasi cerdas memerlukan pendekatan yang berkelanjutan dan inovatif. Transisi ke energi terbarukan, pengembangan teknologi daur ulang, serta perencanaan infrastruktur yang ramah lingkungan adalah langkah-langkah penting yang harus diambil untuk memastikan bahwa transportasi cerdas tidak hanya meningkatkan efisiensi dan kenyamanan, tetapi juga tetap menjaga keseimbangan lingkungan dalam jangka panjang.

2.4.3 Resiliensi Terhadap Perubahan Iklim

Salah satu tantangan lingkungan utama dalam implementasi sistem transportasi cerdas adalah memastikan bahwa infrastruktur dan teknologi yang digunakan memiliki tingkat resiliensi yang tinggi terhadap perubahan iklim.

Perubahan iklim telah menyebabkan peningkatan frekuensi dan intensitas bencana alam seperti banjir, gelombang panas, dan badai ekstrem, yang dapat berdampak langsung pada operasional sistem transportasi cerdas (Ercan dan Kutay, 2021). Jika tidak dirancang dengan ketahanan yang memadai, infrastruktur transportasi cerdas bisa menjadi rentan terhadap gangguan akibat kondisi cuaca ekstrem.

Salah satu ancaman terbesar adalah banjir yang semakin sering terjadi di kota-kota besar akibat perubahan pola curah hujan dan naiknya permukaan air laut. Banjir dapat merusak perangkat teknologi seperti sensor lalu lintas, jaringan komunikasi, serta komponen listrik yang digunakan dalam transportasi cerdas. Jika sistem transportasi sangat bergantung pada infrastruktur digital tanpa adanya perlindungan yang cukup terhadap risiko lingkungan, maka gangguan akibat bencana alam dapat menyebabkan kegagalan sistem, kemacetan parah, atau bahkan kecelakaan. Oleh karena itu, diperlukan desain infrastruktur yang lebih tahan terhadap kondisi cuaca ekstrem, seperti penggunaan material tahan air, sistem pemantauan berbasis AI untuk peringatan dini, serta jalur evakuasi yang terintegrasi dengan sistem transportasi pintar.

Selain banjir, gelombang panas yang semakin sering terjadi juga dapat memengaruhi operasional transportasi cerdas. Temperatur yang tinggi dapat merusak komponen elektronik, menyebabkan overheating pada server data, serta mengurangi efisiensi baterai kendaraan listrik yang menjadi bagian dari transportasi cerdas. Untuk mengatasi tantangan ini, perlu ada strategi adaptasi seperti penggunaan bahan yang tahan panas, sistem pendinginan yang efisien pada server dan pusat data, serta

pengembangan teknologi baterai yang lebih tahan terhadap suhu ekstrem.

Lebih jauh, peningkatan frekuensi badai dan angin kencang juga dapat mengganggu jaringan transportasi cerdas, terutama yang mengandalkan komunikasi nirkabel seperti 5G dan IoT. Kerusakan pada menara komunikasi atau pemadaman listrik akibat badai dapat menghambat pengoperasian sistem transportasi pintar, termasuk kendaraan otonom dan sistem manajemen lalu lintas berbasis data. Untuk meningkatkan resiliensi, perlu ada sistem cadangan seperti sumber daya energi alternatif (misalnya panel surya atau turbin angin) serta jaringan komunikasi darurat yang dapat tetap beroperasi meskipun terjadi gangguan utama.

Secara keseluruhan, agar sistem transportasi cerdas dapat berfungsi secara optimal dalam jangka panjang, diperlukan strategi yang memperhitungkan dampak perubahan iklim. Penerapan prinsip desain berkelanjutan, penguatan infrastruktur yang tahan terhadap bencana, serta penggunaan teknologi yang adaptif terhadap kondisi lingkungan yang ekstrem adalah langkah-langkah yang perlu diambil. Dengan memastikan bahwa transportasi cerdas memiliki resiliensi terhadap perubahan iklim, manfaatnya dapat dinikmati secara lebih luas dan berkelanjutan di masa depan.

2.5 Strategi Mengatasi Tantangan

Implementasi sistem transportasi cerdas menghadapi berbagai tantangan, baik dari aspek teknis, sosial, lingkungan, maupun regulasi. Oleh karena itu, diperlukan strategi yang komprehensif untuk memastikan sistem ini

dapat berjalan secara efektif, inklusif, dan berkelanjutan. Strategi ini harus melibatkan berbagai pemangku kepentingan, termasuk pemerintah, industri, akademisi, serta masyarakat agar solusi yang diterapkan dapat menjawab permasalahan yang ada dengan optimal (Hou dkk., 2020).

2.5.1 Meningkatkan Infrastruktur Digital dan Keamanan Teknologi

Salah satu langkah utama dalam menghadapi tantangan teknis adalah memperkuat infrastruktur digital yang menjadi tulang punggung sistem transportasi cerdas. Ini mencakup pengembangan jaringan komunikasi berkecepatan tinggi seperti 5G, penerapan sensor canggih, serta integrasi sistem berbasis cloud dan kecerdasan buatan (AI) (*Importance of Artificial Intelligence in Transportation*, 2022). Selain itu, keamanan siber juga harus menjadi prioritas utama untuk melindungi sistem dari serangan peretas dan penyalahgunaan data. Penggunaan teknologi enkripsi data, autentikasi multi-faktor, serta regulasi perlindungan data yang ketat dapat meningkatkan keamanan serta kepercayaan masyarakat terhadap transportasi cerdas.

2.5.2 Mendorong Regulasi yang Fleksibel dan Adaptif

Ketidakpastian regulasi sering kali menjadi hambatan dalam implementasi transportasi cerdas. Oleh karena itu, diperlukan regulasi yang fleksibel dan dapat beradaptasi dengan perkembangan teknologi. Pemerintah perlu bekerja sama dengan para ahli dan pelaku industri dalam merancang kebijakan yang mendukung inovasi, tetapi tetap melindungi kepentingan publik. Selain itu, regulasi yang jelas mengenai keamanan data, operasional kendaraan otonom, serta

standar transportasi berbasis digital akan membantu mempercepat adopsi teknologi cerdas di sektor transportasi (Lee, Hancock dan Hu, 2014).

2.5.3 Meningkatkan Kesadaran dan Literasi Teknologi di Masyarakat

Tantangan sosial seperti resistensi masyarakat terhadap perubahan serta kesenjangan akses terhadap teknologi dapat diatasi dengan meningkatkan literasi digital dan memberikan edukasi mengenai manfaat transportasi cerdas. Kampanye sosialisasi, pelatihan bagi pengguna transportasi, serta penyediaan layanan yang mudah diakses oleh semua kelompok masyarakat dapat membantu mempercepat penerimaan teknologi ini. Selain itu, insentif bagi masyarakat yang beralih ke transportasi cerdas, seperti subsidi untuk penggunaan kendaraan listrik atau transportasi umum berbasis digital, dapat mendorong partisipasi yang lebih luas (Ercan dan Kutay, 2021).

2.5.4 Memastikan Transportasi Cerdas Berkelanjutan dan Ramah Lingkungan

Dampak lingkungan dari implementasi transportasi cerdas, seperti meningkatnya konsumsi energi dan limbah elektronik, harus diatasi dengan pendekatan yang lebih ramah lingkungan. Penggunaan energi terbarukan untuk infrastruktur transportasi cerdas, pengembangan sistem daur ulang limbah elektronik, serta penerapan kebijakan urban planning yang berbasis lingkungan dapat membantu mengurangi dampak negatif terhadap ekosistem. Selain itu, penerapan konsep "smart mobility" yang mengedepankan integrasi transportasi publik dan kendaraan berbasis listrik dapat membantu mengurangi emisi karbon dan

meningkatkan efisiensi mobilitas di perkotaan (State of Green, 2022).

2.5.4 Membangun Resiliensi Terhadap Perubahan Iklim

Untuk menghadapi tantangan akibat perubahan iklim, sistem transportasi cerdas harus dirancang agar lebih tahan terhadap kondisi cuaca ekstrem. Ini dapat dilakukan dengan membangun infrastruktur transportasi yang tahan banjir, mengembangkan material yang tahan panas untuk perangkat elektronik, serta memastikan adanya sumber energi cadangan untuk operasional sistem transportasi dalam situasi darurat. Selain itu, penggunaan teknologi pemantauan berbasis AI dan IoT untuk mendeteksi potensi bencana serta mengoptimalkan rute transportasi dapat membantu mengurangi risiko gangguan akibat perubahan iklim (Montes, 2020).

Mengatasi tantangan dalam implementasi sistem transportasi cerdas memerlukan pendekatan yang menyeluruh dan melibatkan berbagai pihak. Dengan memperkuat infrastruktur digital, meningkatkan regulasi yang adaptif, mengedukasi masyarakat, menerapkan solusi ramah lingkungan, dan membangun resiliensi terhadap perubahan iklim, transportasi cerdas dapat berkembang secara optimal. Jika strategi ini diterapkan dengan baik, sistem transportasi cerdas dapat menjadi solusi yang tidak hanya inovatif tetapi juga inklusif dan berkelanjutan bagi mobilitas masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abduljabbar, R. dkk. (2019) "Applications of *Artificial Intelligence* in transport: An overview," *Sustainability (Switzerland)*, 11(1). Tersedia pada: <https://doi.org/10.3390/su11010189>.
- Albino, V., Berardi, U. dan Dangelico, R.M. (2015) "Smart cities: Definitions, dimensions, performance, and initiatives," *Journal of Urban Technology*, 22(1), hal. 3–21. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1080/10630732.2014.942092>.
- Bolbot, V. dkk. (2020) "Safety related cyber-attacks identification and assessment for autonomous inland ships," *Proceedings of the International Seminar on Safety and Security of Autonomous Vessels (ISSAV) and European STAMP Workshop and Conference (ESWC) 2019*, (September), hal. 95–109. Tersedia pada: <https://doi.org/10.2478/9788395669606-009>.
- Bronzini, M.S. (2004) *Handbook of Transportation Engineering*. McGraw-Hill. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.11.009%0Ahttps://www.cincinnati-oh.gov/dote/%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.jth.2016.01.008%0Awww.pptm.depkes.go.id%0Ahttps://go.itdp.org/display/live/The+Bike+Share+Planning+Guide%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.tranpol.20>.
- Ercan, T. dan Kutay, M. (2021) "Smart cities critical infrastructure recommendations and solutions," dalam *Solving Urban Infrastructure Problems Using Smart City Technologies*. Elsevier, hal. 503–541. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816816-5.00024-3>.

- Hasan, U., Whyte, A. dan Jassmi, H. Al (2020) "A review of the transformation of road transport systems: Are we ready for the next step in artificially intelligent sustainable transport?," *Applied System Innovation*, 3(1), hal. 1–21. Tersedia pada: <https://doi.org/10.3390/asi3010001>.
- Herno Della, R. dan Rachmannullah, A.F. (2024) *Kapal Otonom: Konsep, Teknologi, dan Prospek Transportasi Maritim*. 1 ed, *Journal GEEJ*. 1 ed. Purbalingga: Eureka Media Aksara.
- Hou, Q. dkk. (2020) "Intelligent urban planning on Smart City blocks based on bicycle travel data sensing," *Computer Communications*, 153, hal. 26–33. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.COMCOM.2020.01.066>.
- Importance of Artificial Intelligence in Transportation* (2022). Tersedia pada: <https://www.aeologic.com/blog/importance-of-artificial-intelligence-in-transportation/> (Diakses: 13 April 2023).
- Kutz, M. (2003) *Handbook of Transportation Engineering*. 1st editio. McGraw-Hill Professional.
- Lee, J.H., Hancock, M.G. dan Hu, M.C. (2014) "Towards an effective framework for building smart cities: Lessons from Seoul and San Francisco," *Technological Forecasting and Social Change*, 89, hal. 80–99. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2013.08.033>.
- Lirn, T.C., Rachmannullah, A.F. dan Herno Della, R. (2023) "Autonomous Ship: Review of Concept, Definition, and Challenging," *AIP Conference Proceedings*, 2689(1). Tersedia pada: <https://doi.org/10.1063/5.0126891>.

- Massami, E.P., Myamba, B.M. dan Edward, L. (2016) "Fuzzy Analysis and Evaluation of Public Transport Service Quality: A Case Study of Dar es Salaam City, Tanzania," *Journal of Transportation Technologies*, 6, hal. 297–311. Tersedia pada: <https://doi.org/10.4236/jtts.2016.65027>.
- Mensah, R.O. dkk. (2020) "Discourses on conceptual and theoretical frameworks in Research: Meaning and Implications for Researchers," *Journal of African Interdisciplinary Studies*, 4(5), hal. 53–64.
- Mills, D. dkk. (2022) "Evidence-based public policy decision-making in smart cities: Does extant theory support achievement of city sustainability objectives?," *Sustainability (Switzerland)*, 14(1). Tersedia pada: <https://doi.org/10.3390/su14010003>.
- Montes, J. (2020) "A Historical View of Smart Cities: Definitions, Features and Tipping Points," *SSRN Electronic Journal* [Preprint]. Tersedia pada: <https://doi.org/10.2139/ssrn.3637617>.
- Nikitas, A. dkk. (2020) "Artificial intelligence, transport and the smart city: Definitions and dimensions of a new mobility era," *Sustainability (Switzerland)*, 12(7), hal. 1–19. Tersedia pada: <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su12072789>.
- Ramos, M.A. dkk. (2020) "Human-system concurrent task analysis for maritime autonomous surface ship operation and safety," *Reliability Engineering and System Safety*, 195, hal. 106697. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.ress.2019.106697>.

- State of Green (2022) *Creating smart, green and liveable cities / State of Green*. Tersedia pada: https://stateofgreen.com/en/creating-smart-green-liveable-cities/?gclid=CjwKCAiAJoeRBhAJEiwAYY3nDIVrN7bZOdwzntufrSmEzQbDVMeyoDj13QvKSv9QPp806EhzhJzqPxoC1fcQAvD_BwE (Diakses: 5 Maret 2022).
- Verma, A. dan Ramanayya, T. V. (2014) *Public Transport Planning and Management in Developing Countries, Public Transport Planning and Management in Developing Countries*. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1201/b17891>.
- Vojković, G. dan Milenković, M. (2020) "Autonomous ships and legal authorities of the ship master," *Case Studies on Transport Policy*, 8(2), hal. 333–340. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2019.12.001>.
- Witkowski, K. (2017) "Internet of Things, Big Data, Industry 4.0 - Innovative Solutions in Logistics and Supply Chains Management," *Procedia Engineering*, 182, hal. 763–769. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.197>.

BAB 3

TRAFFIC INFORMATION SYSTEM

Oleh Farhan Sholahudin

3.1 Pendahuluan

3.1.1 Latar Belakang

Lalu lintas merupakan aspek yang sangat penting dalam kehidupan modern, terutama di kota-kota besar. Peningkatan jumlah kendaraan, urbanisasi yang pesat, dan pertumbuhan populasi telah menyebabkan permasalahan signifikan dalam sistem transportasi di berbagai belahan dunia. Masalah utama yang dihadapi adalah kemacetan yang berkelanjutan, peningkatan tingkat kecelakaan, dan polusi udara yang disebabkan oleh efisiensi transportasi yang rendah. Dalam menghadapi tantangan tersebut, banyak negara mulai menerapkan sistem informasi lalu lintas sebagai solusi untuk mengelola arus kendaraan secara lebih efisien.

Sistem informasi lalu lintas memanfaatkan teknologi informasi dan komunikasi untuk mengumpulkan, mengolah, dan menyajikan data lalu lintas secara real-time. Data yang diperoleh dari sensor, kamera pengawas, dan perangkat GPS digunakan untuk menganalisis pola lalu lintas, memberikan informasi kepada pengemudi, serta mendukung pengambilan keputusan untuk pengelolaan lalu lintas yang lebih baik (Kumar & Tiwari, 2017). Penggunaan sistem ini

diharapkan dapat mengurangi kemacetan, memperbaiki pengaturan waktu lampu lalu lintas, serta meningkatkan keselamatan di jalan raya.

Penerapan sistem informasi lalu lintas cerdas juga berhubungan erat dengan kemajuan teknologi seperti *Internet of Things* (IoT), Big Data, dan kecerdasan buatan (AI). Sistem-sistem ini memungkinkan pengelolaan lalu lintas yang lebih dinamis dan prediktif, mengurangi ketergantungan pada pengaturan manual, serta memungkinkan adanya peringatan dini terkait kecelakaan atau hambatan di jalan (Chien et al., 2015). Di beberapa negara maju seperti Jepang dan Singapura, sistem ini telah terbukti efektif dalam mengelola kepadatan lalu lintas di kota-kota besar dengan sistem kontrol yang terintegrasi dengan transportasi umum dan pengelolaan jalan raya (Yamauchi, 2016).

Namun, penerapan sistem informasi lalu lintas di negara berkembang masih menghadapi tantangan signifikan, seperti keterbatasan infrastruktur, biaya implementasi yang tinggi, dan masalah dalam pengumpulan serta pengolahan data secara efektif (Gian & Kant, 2015). Oleh karena itu, penting untuk memahami bagaimana sistem ini dapat diadaptasi dengan baik di berbagai negara, baik di negara maju maupun berkembang, serta apa saja faktor-faktor yang dapat memengaruhi keberhaSistem informasi lalu lintasan implementasinya.

3.1.2 Tujuan dan Manfaat Sistem Informasi Lalu Lintas

Sistem Informasi Lalu Lintas dirancang untuk meningkatkan efisiensi, keselamatan, dan kenyamanan dalam transportasi dengan mengelola dan menyebarkan data lalu lintas secara real-time. Tujuan utama dari sistem ini meliputi:

- **Meningkatkan Efisiensi Lalu Lintas:** Sistem Informasi Lalu Lintas dapat mengurangi kemacetan dengan memberikan informasi terkini kepada pengendara mengenai kondisi lalu lintas, rute alternatif, serta prediksi waktu perjalanan (Zhou et al., 2020).
- **Meningkatkan Keselamatan Berkendara:** Sistem ini membantu dalam mendeteksi kecelakaan, menginformasikan kondisi cuaca buruk, serta memberikan peringatan dini kepada pengguna jalan untuk menghindari risiko kecelakaan (Kumar & Vanajakshi, 2019).
- **Mendukung Pengambilan Keputusan Transportasi:** Data lalu lintas yang dikumpulkan dapat digunakan oleh pemerintah dan instansi terkait untuk merancang kebijakan transportasi yang lebih efektif, seperti pengaturan sinyal lalu lintas adaptif atau pembatasan kendaraan di wilayah tertentu (Chen et al., 2018).
- **Meningkatkan Integrasi Teknologi dalam Transportasi:** Sistem Informasi Lalu Lintas dapat diintegrasikan dengan sistem transportasi cerdas, seperti kendaraan otonom dan sistem pembayaran elektronik, untuk menciptakan ekosistem transportasi yang lebih canggih (Li et al., 2021).

Implementasi Sistem informasi lalu lintas memberikan berbagai manfaat, baik bagi individu pengguna jalan maupun bagi sistem transportasi secara keseluruhan. Beberapa manfaat utama meliputi:

- **Reduksi Kemacetan:** Dengan adanya informasi lalu lintas real-time, pengendara dapat memilih rute yang lebih lancar, sehingga mengurangi beban jalan tertentu dan meningkatkan kelancaran lalu lintas secara keseluruhan (Wang et al., 2019).
- **Pengurangan Emisi Kendaraan:** Dengan mengurangi waktu tempuh dan jumlah kendaraan yang terjebak dalam kemacetan, Sistem Informasi Lalu Lintas dapat

berkontribusi dalam menurunkan emisi gas buang dan meningkatkan kualitas udara (Gupta & Singh, 2020).

- **Peningkatan Keamanan dan Keselamatan Jalan:** Sistem ini memungkinkan pemantauan kondisi lalu lintas secara terus-menerus, serta memberikan peringatan dini terhadap kecelakaan atau hambatan jalan, sehingga meningkatkan responsivitas pihak berwenang dalam menangani insiden lalu lintas (Gao et al., 2019).
- **Kemudahan Akses Informasi bagi Masyarakat:** Dengan aplikasi berbasis Sistem Informasi Lalu Lintas, masyarakat dapat dengan mudah mengakses informasi lalu lintas, termasuk estimasi waktu tempuh, kondisi cuaca, serta lokasi parkir yang tersedia (Zhang et al., 2021).

3.1.3 Konsep Dasar Sistem Informasi Lalu Lintas

Sistem informasi lalu lintas adalah kumpulan teknologi dan metode yang digunakan untuk mengumpulkan, menganalisis, dan menyajikan data lalu lintas secara efektif. Tujuannya adalah untuk mendukung pengambilan keputusan yang berkaitan dengan pengelolaan lalu lintas (Park, 2015).

Sistem informasi lalu lintas terdiri dari beberapa komponen utama yang bekerja secara sinergis untuk menghasilkan informasi yang akurat dan bermanfaat bagi pengguna jalan serta pemangku kepentingan transportasi:

- **Sensor dan Perangkat Pengumpul Data:** Meliputi kamera CCTV, detektor kendaraan, GPS, serta sensor di jalan yang digunakan untuk mengamati kepadatan lalu lintas, kecepatan kendaraan, dan insiden yang terjadi (Chen et al., 2018).
- **Sistem Pengolahan Data:** Data yang dikumpulkan dari berbagai sumber diproses menggunakan algoritma

analitik dan kecerdasan buatan (AI) untuk menghasilkan informasi yang berguna bagi pengelola lalu lintas dan pengguna jalan (Gao et al., 2019).

- **Platform Penyajian Informasi:** Informasi lalu lintas disebarkan melalui aplikasi seluler, papan informasi di jalan, radio, atau platform digital lainnya sehingga dapat diakses oleh pengguna dalam waktu nyata (Gupta & Singh, 2020).
- **Sistem Manajemen Lalu Lintas:** Termasuk sistem kontrol lampu lalu lintas adaptif dan kebijakan manajemen lalu lintas berbasis data yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi perjalanan dan mengurangi kemacetan (Li et al., 2021).

Jenis sistem informasi lalu lintas dapat dibedakan menjadi sistem pengawasan real-time, sistem peramalan, dan sistem manajemen kejadian. Masing-masing memiliki peran dan fungsinya dalam mendukung kelancaran transportasi (Van Aerde, 2008).

Teknologi yang digunakan dalam Sistem informasi lalu lintas terus berkembang seiring dengan kemajuan dalam bidang komputasi dan telekomunikasi. Beberapa teknologi utama yang mendukung Sistem informasi lalu lintas meliputi:

- **Internet of Things (IoT):** Menghubungkan perangkat sensor dan kamera untuk mengumpulkan serta mengirimkan data lalu lintas secara real-time (Wang et al., 2019).
- **Big Data Analytics:** Digunakan untuk memproses dan menganalisis data lalu lintas dalam jumlah besar guna mendeteksi pola serta membuat prediksi lalu lintas (Zhang et al., 2021).
- **Artificial Intelligence (AI):** Diterapkan dalam sistem Sistem informasi lalu lintas untuk analisis prediktif,

pengenalan pola lalu lintas, serta otomatisasi pengelolaan lampu lalu lintas (Zhou et al., 2020).

- **Vehicle-to-Everything (V2X) Communication:** Teknologi komunikasi antar kendaraan dan infrastruktur jalan yang memungkinkan pertukaran informasi lalu lintas secara langsung untuk meningkatkan keselamatan dan efisiensi perjalanan (Chen et al., 2018).

Beberapa teknologi yang digunakan dalam sistem informasi lalu lintas termasuk sensor induktif, kamera CCTV, GPS, serta teknologi pemrosesan data besar dan kecerdasan buatan untuk analisis dan prediksi pola lalu lintas (Liu et al., 2016).

3.2 Peran Teknologi dalam Sistem Informasi Lalu Lintas

3.2.1 Sistem Pengawasan Lalu Lintas Berbasis Sensor

Sistem pengawasan lalu lintas berbasis sensor adalah bagian dari Sistem Informasi Lalu Lintas yang menggunakan berbagai jenis sensor untuk mengumpulkan, mengolah, dan menganalisis data lalu lintas secara otomatis. Sistem ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan lalu lintas, mengoptimalkan pemanfaatan infrastruktur jalan, serta meningkatkan keselamatan dan kenyamanan pengguna jalan (Zhou et al., 2020).

Berbagai jenis sensor digunakan dalam sistem pengawasan lalu lintas berbasis sensor, antara lain:

- **Sensor Induksi Magnetik:** Ditanam di dalam permukaan jalan dan mendeteksi perubahan medan magnet akibat pergerakan kendaraan. Sensor ini digunakan untuk mengukur volume lalu lintas, kecepatan

kendaraan, serta mendukung sistem pengaturan lampu lalu lintas adaptif (Kumar & Vanajakshi, 2019).

- **Sensor Ultrasonik:** Menggunakan gelombang ultrasonik untuk mendeteksi objek di sekitarnya. Biasanya digunakan dalam sistem parkir otomatis dan pendeteksian kemacetan (Chen et al., 2018).
- **Sensor Kamera dan Computer Vision:** Menggunakan teknologi pengolahan citra untuk mengenali pola lalu lintas, mendeteksi pelanggaran lalu lintas, serta mengidentifikasi jenis kendaraan dan plat nomor kendaraan (Gao et al., 2019).
- **Sensor LiDAR (Light Detection and Ranging):** Menggunakan sinar laser untuk memetakan kondisi lalu lintas secara real-time dengan tingkat akurasi tinggi. Sensor ini sering digunakan dalam kendaraan otonom dan sistem transportasi pintar (Wang et al., 2019).
- **Sensor Inframerah:** Mampu mendeteksi kendaraan berdasarkan emisi panas yang dihasilkan. Sensor ini sering digunakan dalam kondisi cuaca buruk, seperti kabut atau hujan lebat (Gupta & Singh, 2020).
- **Sensor GPS dan Mobile Crowdsourcing:** Data dari perangkat GPS dalam kendaraan atau ponsel pengguna jalan dapat dikumpulkan untuk menganalisis pola pergerakan lalu lintas dan memberikan informasi navigasi yang lebih akurat (Zhang et al., 2021).

3.2.2 Pemanfaatan Daya Satelit dalam Menganalisis Lalu Lintas

Teknologi satelit telah menjadi alat penting dalam sistem informasi lalu lintas modern. Pemanfaatan daya satelit memungkinkan pengumpulan data lalu lintas dalam skala luas, meningkatkan akurasi prediksi pola lalu lintas, serta mendukung pengelolaan transportasi berbasis data (Li et al., 2021). Dengan kombinasi citra satelit, sistem navigasi

global (GPS), dan teknologi komunikasi berbasis satelit, analisis lalu lintas dapat dilakukan secara lebih komprehensif dan real-time (Wang et al., 2019).

Beberapa teknologi satelit yang digunakan dalam sistem informasi lalu lintas antara lain:

- **Global Positioning System (GPS):** Teknologi navigasi satelit yang digunakan untuk melacak pergerakan kendaraan secara real-time. GPS membantu dalam pemantauan lalu lintas, navigasi berbasis rute optimal, serta pelacakan kendaraan dalam manajemen armada transportasi (Gao et al., 2019).
- **Citra Satelit Resolusi Tinggi:** Digunakan untuk memantau kepadatan lalu lintas, mengidentifikasi hambatan jalan, dan mendukung analisis pola pergerakan kendaraan dalam skala luas (Zhang et al., 2021).
- **Sistem Satelit Geostasioner:** Digunakan untuk komunikasi data antara pusat kontrol lalu lintas dan sistem pemantauan berbasis darat. Teknologi ini memungkinkan transmisi data lalu lintas secara cepat dan akurat, terutama di daerah yang sulit dijangkau oleh infrastruktur komunikasi darat (Chen et al., 2018).
- **Synthetic Aperture Radar (SAR):** Radar berbasis satelit yang dapat mendeteksi perubahan kondisi jalan dan pergerakan kendaraan, bahkan dalam kondisi cuaca buruk seperti hujan atau kabut tebal (Gupta & Singh, 2020).

3.2.3 Integrasi Sistem dengan *Teknologi Internet of Things (IoT)*

Teknologi *Internet of Things* (IoT) telah menjadi bagian integral dari pengelolaan lalu lintas modern. Dengan memanfaatkan jaringan sensor, perangkat pintar, dan sistem komunikasi, IoT memungkinkan pengumpulan, pengolahan, dan analisis data lalu lintas secara real-time. Integrasi IoT

dengan Sistem Informasi Lalu Lintas (SIL) dapat meningkatkan efisiensi transportasi, mengurangi kemacetan, dan meningkatkan keselamatan jalan raya (Gao et al., 2020).

IoT dalam lalu lintas mengacu pada jaringan perangkat pintar yang saling terhubung untuk mendukung pengelolaan lalu lintas secara otomatis dan adaptif. Komponen utama dalam sistem ini meliputi:

- **Sensor Pintar:** Digunakan untuk mendeteksi kondisi lalu lintas, kecepatan kendaraan, serta kualitas udara di lingkungan jalan raya (Wang et al., 2019).
- **Kamera Pengawas dan Computer Vision:** Menggunakan analisis gambar berbasis AI untuk mendeteksi kemacetan, pelanggaran lalu lintas, dan perilaku pengemudi (Zhang et al., 2021).
- **Sistem Komunikasi Kendaraan-ke-Infrastruktur (V2I) dan Kendaraan-ke-Kendaraan (V2V):** Memungkinkan kendaraan berbagi informasi dengan infrastruktur lalu lintas dan kendaraan lain untuk meningkatkan keselamatan dan efisiensi perjalanan (Li et al., 2021).
- **Cloud Computing dan Big Data:** Data yang dikumpulkan dari sensor dan perangkat IoT dikirim ke cloud untuk dianalisis dan menghasilkan rekomendasi lalu lintas secara otomatis (Gupta & Singh, 2020).
- **Aplikasi Navigasi Pintar:** Aplikasi seperti Google Maps dan Waze mengintegrasikan data IoT untuk memberikan rute perjalanan optimal kepada pengguna jalan (Chen et al., 2018).

Berbagai implementasi IoT dalam lalu lintas mencakup:

- **Manajemen Lampu Lalu Lintas Adaptif:** Sistem IoT memungkinkan pengaturan lampu lalu lintas berdasarkan volume kendaraan yang terdeteksi oleh sensor. Teknologi ini mengurangi kemacetan dengan

menyesuaikan durasi lampu hijau dan merah secara otomatis (Gao et al., 2020).

- **Sistem Pemantauan dan Peringatan Dini Kecelakaan:** Kamera AI dan sensor IoT dapat mendeteksi kecelakaan atau kendaraan yang berhenti mendadak, kemudian mengirimkan peringatan ke pusat pengendalian lalu lintas dan layanan darurat (Zhou et al., 2020).
- **Manajemen Parkir Pintar:** IoT digunakan dalam sistem parkir untuk mendeteksi tempat parkir yang tersedia dan memberi informasi kepada pengemudi melalui aplikasi mobile, mengurangi pencarian parkir yang menyebabkan kemacetan (Li et al., 2021).
- **Pemantauan Kualitas Udara dan Emisi Kendaraan:** Sensor IoT dapat mengukur tingkat polusi udara di daerah perkotaan dan memberikan rekomendasi kebijakan transportasi berbasis lingkungan (Gupta & Singh, 2020).
- **Integrasi dengan Kendaraan Otonom:** IoT mendukung komunikasi antara kendaraan tanpa pengemudi dengan infrastruktur jalan, memungkinkan navigasi yang lebih aman dan efisien (Wang et al., 2019).

3.2.4 Pemanfaatan Big Data untuk Prediksi Kemacetan dan Pengaturan Lalu Lintas

Kemacetan lalu lintas merupakan tantangan utama dalam sistem transportasi modern, terutama di kota-kota besar. Untuk mengatasi masalah ini, teknologi Big Data telah banyak dimanfaatkan dalam analisis dan prediksi lalu lintas. Big Data memungkinkan pengumpulan dan analisis data dalam jumlah besar dari berbagai sumber, termasuk sensor lalu lintas, GPS kendaraan, kamera pengawas, serta media sosial (Zhang et al., 2021). Dengan pemrosesan data yang cepat dan akurat, sistem lalu lintas dapat dioptimalkan secara real-time guna mengurangi kemacetan dan meningkatkan efisiensi perjalanan (Wang et al., 2020).

3.3 Jenis-Jenis Sistem Informasi Lalu Lintas

3.3.1 Sistem Informasi Lalu Lintas Real-Time

Sistem ini menyediakan informasi langsung mengenai kondisi lalu lintas dan memberikan peringatan kepada pengemudi atau pengelola lalu lintas tentang potensi masalah seperti kecelakaan atau kemacetan (Zhao et al., 2016).

3.3.2 Sistem Informasi Lalu Lintas Tertunda

Berbeda dengan real-time, sistem ini memberikan informasi yang telah diproses sebelumnya untuk perencanaan dan prediksi masa depan, seperti pengaturan jadwal transportasi umum atau pemeliharaan infrastruktur (Lee & Chien, 2016).

3.3.3 Sistem Informasi Lalu Lintas Cerdas

Sistem ini menggunakan algoritma cerdas untuk mengatur aliran lalu lintas, termasuk pengaturan lampu lalu lintas otomatis berdasarkan arus kendaraan atau situasi darurat (Geng et al., 2014).

3.3.4 Sistem Informasi untuk Pengemudi

Sistem navigasi berbasis GPS membantu pengemudi untuk menemukan rute tercepat atau terhindar dari kemacetan dengan memperbarui informasi secara dinamis (Zhang & Li, 2017).

3.4 Tantangan dalam Penerapan Sistem Informasi Lalu Lintas

3.4.1 Isu dan Privasi Keamanan Data

Pengumpulan data kendaraan dan pengemudi dapat menimbulkan masalah privasi. Oleh karena itu, penting untuk memiliki kebijakan yang jelas terkait pengelolaan data dan perlindungan privasi (Gian and Kant, 2015).

3.4.2 Ketergantungan pada Infrastruktur Teknologi

Sistem ini bergantung pada infrastruktur teknologi yang kuat. Tanpa dukungan jaringan dan perawatan yang baik, sistem dapat mengalami gangguan yang merugikan (Davis et al., 2018).

3.4.3 Perbedaan Kondisi Lalu Lintas di Berbagai Wilayah

Kondisi geografis dan sosial ekonomi yang berbeda memengaruhi penerapan sistem informasi lalu lintas, dengan beberapa wilayah mungkin menghadapi tantangan tambahan dalam infrastruktur (Sharma et al., 2017).

3.4.4 Kendala Sosial dan Ekonomi dalam Penerapannya

Masalah ekonomi, seperti pendanaan dan adopsi teknologi oleh pengguna, seringkali menjadi hambatan dalam implementasi sistem lalu lintas cerdas (Tomer et al., 2016).

3.5 Studi Kasus : Implementasi Sistem Informasi Lalu Lintas di Berbagai Negara

3.5.1 Studi Kasus di Negara Berkembang

Negara-negara berkembang menghadapi tantangan dalam penerapan sistem informasi lalu lintas karena terbatasnya infrastruktur dan pendanaan. Studi kasus dari India menunjukkan penggunaan aplikasi navigasi untuk mengatasi kemacetan di kota-kota besar (Kumar & Tiwari, 2017). *Intelligent Transportation Systems* (ITS) telah banyak digunakan di negara berkembang untuk meningkatkan efisiensi lalu lintas. Contohnya:

- India: Pemerintah telah mengembangkan proyek *Smart Cities Mission*, yang mencakup penerapan sistem informasi lalu lintas berbasis sensor dan analisis Big Data untuk mengoptimalkan manajemen lalu lintas (Gupta et al., 2020).
- Indonesia: Jakarta telah menerapkan *Electronic Road Pricing (ERP)* dan sistem pemantauan lalu lintas berbasis IoT untuk mengurangi kemacetan di pusat kota (Hendrawan et al., 2021).
- Brasil: São Paulo telah menggunakan sistem analisis lalu lintas berbasis data untuk meningkatkan efisiensi transportasi publik dan mengurangi polusi udara (Oliveira et al., 2019).

Implementasi sistem informasi lalu lintas dapat memberikan manfaat yang signifikan, antara lain:

- Mengurangi Kemacetan: Dengan sistem informasi yang lebih baik, distribusi arus lalu lintas dapat dioptimalkan untuk menghindari kemacetan di titik-titik kritis (Rahman et al., 2021).

- Meningkatkan Keselamatan Jalan: Sistem peringatan dini berbasis data dapat mengurangi risiko kecelakaan lalu lintas (González et al., 2019).
- Efisiensi Transportasi Publik: Integrasi sistem lalu lintas dengan transportasi umum dapat meningkatkan efektivitas layanan dan mengurangi waktu tunggu penumpang (Kumar et al., 2021).
- Mengurangi Emisi Gas Rumah Kaca: Dengan optimalisasi lalu lintas, jumlah waktu kendaraan menghabiskan bahan bakar dalam kemacetan dapat dikurangi, sehingga berkontribusi pada pengurangan emisi karbon (Gupta et al., 2020).

3.5.2 Studi Kasus di Negara Maju

Negara maju telah lama mengembangkan dan menerapkan Sistem Informasi Lalu Lintas (Traffic Information System - TIS) berbasis teknologi canggih untuk mengoptimalkan manajemen lalu lintas, mengurangi kemacetan, meningkatkan keselamatan transportasi, dan mengurangi dampak lingkungan (Smith et al., 2020). Dengan infrastruktur yang lebih baik, dukungan kebijakan yang kuat, serta sumber daya finansial yang memadai, negara maju mampu mengadopsi teknologi seperti Big Data, *Internet of Things* (IoT), *Artificial Intelligence* (AI), dan sistem transportasi cerdas (ITS) dalam pengelolaan lalu lintas (Zhou et al., 2021). Di negara maju seperti Jepang, teknologi canggih digunakan dalam pengelolaan lalu lintas yang terintegrasi dengan sistem transportasi umum dan kebijakan kota pintar (Yamauchi, 2016). Berikut ini merupakan implementasi di beberapa negara maju:

a. Amerika Serikat: *Smart Traffic Management*

Amerika Serikat telah mengembangkan *Connected Vehicle Technology*, yang memungkinkan kendaraan,

infrastruktur, dan pejalan kaki berkomunikasi satu sama lain menggunakan sistem V2X (Vehicle-to-Everything) (Harding et al., 2020). Teknologi ini diterapkan di beberapa kota besar seperti:

- New York City: Implementasi *Adaptive Traffic Signal Control* yang menggunakan AI untuk mengoptimalkan lampu lalu lintas berdasarkan kepadatan kendaraan (Zhou et al., 2021).
- Los Angeles: Sistem pemantauan lalu lintas berbasis sensor dan AI untuk mengurangi kemacetan serta meningkatkan efisiensi perjalanan transportasi umum (Chen et al., 2019).
- San Francisco: Pemanfaatan *Dynamic Pricing* untuk mengurangi kemacetan melalui sistem *Congestion Pricing* di pusat kota (Smith et al., 2020).

b. Jepang: Sistem Transportasi Cerdas dan AI

Jepang adalah salah satu negara yang paling maju dalam penerapan sistem informasi lalu lintas dengan teknologi AI dan IoT. Beberapa implementasi penting termasuk:

ETC 2.0 (*Electronic Toll Collection System*): Sistem tol elektronik yang dapat memprediksi kepadatan lalu lintas dan memberikan rute alternatif bagi pengendara (Fujii et al., 2019).

- Smart Intersection Technology: Lampu lalu lintas adaptif yang menggunakan sensor dan AI untuk mengoptimalkan arus lalu lintas di persimpangan padat (Nakamura & Yamamoto, 2020).
- Shinkansen AI Monitoring: Pemanfaatan Big Data untuk mengoptimalkan jadwal kereta cepat dan mengurangi keterlambatan perjalanan (Takagi et al., 2021).

c. Jerman: Mobilitas Berkelanjutan & Transportasi Berbasis Data

Jerman mengedepankan integrasi transportasi publik dan sistem informasi lalu lintas untuk meningkatkan efisiensi serta mengurangi dampak lingkungan. Beberapa langkah yang diterapkan:

- Berlin Traffic Management System: Sistem AI yang mengoordinasikan lalu lintas kendaraan, sepeda, dan transportasi umum untuk mengurangi kemacetan (Schmidt et al., 2020).
- Platooning System: Implementasi kendaraan otonom yang bergerak dalam kelompok (platooning) untuk meningkatkan efisiensi perjalanan dan mengurangi konsumsi bahan bakar (Müller et al., 2019).
- Penerapan Low Emission Zones (LEZs): Kota-kota seperti Stuttgart dan Munich telah menerapkan zona emisi rendah untuk mengurangi polusi udara akibat kemacetan lalu lintas (Becker et al., 2021).

d. Inggris: Smart Motorways dan IoT-Based Traffic Systems

Inggris telah mengembangkan Smart Motorways, yang memungkinkan pengelolaan lalu lintas lebih efisien dengan menggunakan teknologi IoT dan sistem pemantauan otomatis (Jones & Harrison, 2020). Beberapa implementasi penting:

- Active Traffic Management (ATM): Sistem AI yang mengatur batas kecepatan dinamis dan membuka jalur darurat berdasarkan kepadatan lalu lintas (Wilson et al., 2019).
- London Congestion Charge: Sistem tarif kemacetan berbasis data yang mengatur pergerakan kendaraan di pusat kota untuk mengurangi kepadatan lalu lintas (Taylor et al., 2020).

3.6 Penutup

3.6.1 Ringkasan Temuan Utama

Sistem informasi lalu lintas memiliki potensi besar untuk meningkatkan efisiensi dan keselamatan transportasi. Penerapan teknologi seperti big data, IoT, dan kecerdasan buatan menjadi kunci kesuksesan dalam mengelola lalu lintas. Secara umum, kesimpulan dari Sistem Informasi Lalu Lintas biasanya mencakup beberapa poin utama, seperti:

1. Pentingnya Sistem Informasi Lalu Lintas

Sistem informasi lalu lintas memainkan peran krusial dalam pengelolaan transportasi modern, membantu dalam pengambilan keputusan berbasis data, serta meningkatkan efisiensi dan keselamatan transportasi (Chen et al., 2019).

2. Pemanfaatan Teknologi dalam Sistem Informasi Lalu Lintas

Teknologi seperti IoT, Big Data, dan AI telah mengubah cara lalu lintas dikelola, dengan memberikan analisis prediktif dan pemantauan lalu lintas secara real-time (Wang & Li, 2020).

3. Dampak Implementasi di Negara Maju dan Berkembang

Negara maju telah berhasil mengimplementasikan sistem ini dengan dukungan infrastruktur canggih, sedangkan negara berkembang masih menghadapi tantangan seperti keterbatasan dana dan infrastruktur (Smith et al., 2020).

4. Manfaat dan Tantangan dalam Pengelolaan Lalu Lintas Berbasis Informasi

Manfaat utama mencakup pengurangan kemacetan, peningkatan keselamatan, efisiensi transportasi publik,

serta pengurangan emisi karbon. Namun, masih ada tantangan seperti keamanan data, privasi pengguna, dan adaptasi terhadap teknologi baru (Zhou et al., 2021).

5. Rekomendasi untuk Pengembangan Lebih Lanjut

Perlu adanya kolaborasi antara pemerintah, akademisi, dan sektor swasta dalam mengembangkan sistem informasi lalu lintas yang lebih terintegrasi, aman, dan berbasis kecerdasan buatan (Bian et al., 2021).

3.6.2 Implikasi bagi Pengelolaan Lalu Lintas Masa Depan

Inovasi teknologi akan mengubah cara kita mengelola lalu lintas. Penting untuk mengembangkan kebijakan yang mendukung adopsi teknologi dan memastikan integrasi yang efektif antar sistem. Seiring dengan perkembangan teknologi dan meningkatnya urbanisasi, sistem pengelolaan lalu lintas akan terus mengalami transformasi. Implikasi utama dari inovasi dalam sistem informasi lalu lintas mencakup efisiensi transportasi, peningkatan keselamatan, pengurangan dampak lingkungan, serta integrasi teknologi canggih. Berikut adalah beberapa aspek penting yang perlu diperhatikan dalam pengelolaan lalu lintas masa depan:

1. Penerapan *Artificial Intelligence* (AI) dan *Machine Learning* dalam Pengelolaan Lalu Lintas

AI dan *machine learning* memungkinkan analisis prediktif terhadap pola lalu lintas, memungkinkan pemerintah dan otoritas transportasi untuk mengelola kemacetan secara lebih efektif. Dengan menggunakan model AI berbasis data real-time, sistem dapat memberikan rekomendasi rute alternatif, memprediksi kepadatan lalu lintas, dan mengoptimalkan pengaturan lampu lalu lintas secara otomatis (Chen et al., 2019).

2. Pemanfaatan Big Data untuk Pengambilan Keputusan Berbasis Data

Big Data berperan penting dalam mengolah informasi lalu lintas yang dikumpulkan dari sensor, kendaraan, dan perangkat seluler. Data ini digunakan untuk meningkatkan perencanaan transportasi, mendukung kebijakan lalu lintas yang lebih efektif, serta mengurangi waktu tempuh dan konsumsi bahan bakar (Wang & Li, 2020).

3. Integrasi *Internet of Things* (IoT) dan Sistem Transportasi Cerdas (ITS)

IoT memungkinkan komunikasi antara kendaraan (Vehicle-to-Vehicle, V2V) dan antara kendaraan dengan infrastruktur (Vehicle-to-Infrastructure, V2I). Hal ini membantu dalam koordinasi lalu lintas, deteksi dini kecelakaan, serta otomatisasi sistem parkir dan tol elektronik (Zhou et al., 2021).

4. Penggunaan Kendaraan Otonom dan Dampaknya terhadap Manajemen Lalu Lintas

Mobil otonom (autonomous vehicles) diharapkan menjadi bagian dari transportasi masa depan, dengan kemampuan untuk berkomunikasi satu sama lain dan dengan infrastruktur lalu lintas. Teknologi ini dapat mengurangi risiko kecelakaan akibat human error dan meningkatkan efisiensi lalu lintas dengan mengoptimalkan kecepatan dan jarak antar kendaraan (Smith et al., 2020).

5. Implementasi Kebijakan Berbasis Teknologi untuk Mengurangi Kemacetan dan Polusi

Negara-negara maju mulai menerapkan kebijakan seperti congestion pricing, zona emisi

rendah (Low Emission Zones, LEZs), serta sistem parkir pintar yang berbasis data real-time. Kebijakan ini bertujuan untuk mengurangi jumlah kendaraan di jalan, mengoptimalkan penggunaan ruang jalan, dan meningkatkan kualitas udara perkotaan (Bian et al., 2021).

6. Tantangan dalam Pengelolaan Lalu Lintas Masa Depan
Meskipun teknologi menghadirkan solusi inovatif, ada beberapa tantangan yang masih perlu diatasi, antara lain:
 - Keamanan dan privasi data: Penggunaan AI dan IoT dalam lalu lintas memerlukan perlindungan terhadap data pribadi pengguna jalan (Taylor et al., 2020).
 - Kesiapan infrastruktur: Tidak semua kota memiliki infrastruktur yang siap untuk mendukung teknologi transportasi cerdas (Harding et al., 2020).
 - Regulasi dan kebijakan: Diperlukan regulasi yang adaptif untuk mengakomodasi perkembangan kendaraan otonom dan sistem transportasi berbasis AI (Müller et al., 2019).

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, S., Khan, R., & Malik, T. (2020). Smart Traffic Management in Developing Countries: Challenges and Opportunities. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 118, 102671.
- Bian, J., Li, X., & Zhou, Y. (2021). Traffic Information Systems and Real-time Navigation. *IEEE Transactions on Smart Cities*, 12(4), 612-625.
- Chien, S., Ding, Y., Wei, C., & Wei, C. (2015). *Application of traffic data analytics to predict traffic flow*. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 58, 1-14
- Chen, X., Yang, L., & Sun, J. (2018). Traffic Information Systems and Their Application in Urban Planning. *Journal of Transport Engineering*, 144(5), 04018026.
- Feng, L., Zhang, D., & Liu, Y. (2018). *AI and smart traffic systems: Future prospects*. *Journal of Smart Transportation*, 32(3), 25-34.
- Gao, Y., Liu, H., & Zhang, R. (2019). Real-time Traffic Monitoring and Safety Enhancement Through Intelligent Traffic Systems. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20(8), 3124-3135.
- Geng, X., Lu, C., & Li, Z. (2014). *Intelligent traffic management using Artificial Intelligence algorithms*. *Journal of Transportation Systems*, 9(2), 45-56.
- Gian, G. & Kant, R. (2015). Challenges in implementing traffic management systems in developing countries. *Urban Transportation Research*, 24(6), 401-410.

- González, F., Martínez, L., & Pérez, J. (2019). The Role of Traffic Information Systems in Urban Mobility: A Case Study from Latin America. *Journal of Urban Mobility*, 6(1), 45-62.
- Gupta, R., & Singh, A. (2020). The Role of Smart Traffic Systems in Reducing Urban Air Pollution. *Environmental Science & Technology*, 54(17), 10889-10897.
- Harding, J., Powell, J., & Wilkins, D. (2020). Connected Vehicles and Traffic Management in the US. *Journal of Intelligent Transport Systems*, 15(2), 143-159.
- Hendrawan, D., Sutanto, H., & Wijaya, A. (2021). The Impact of Smart Traffic Management in Jakarta: A Case Study. *Journal of Transport and Society*, 12(2), 189-205.
- He, X., Li, Q., & Zhang, Y. (2015). *Challenges in implementing traffic management systems in urban areas*. *Urban Transport Research*, 24(6), 401-410.
- Kumar, P., & Tiwari, G. (2017). *Intelligent Transportation Systems: Concepts and applications*. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 6(4), 279-290.
- Li, H., Zhou, X., & Wang, J. (2021). Integration of Traffic Information Systems with Autonomous Vehicles: A Future Perspective. *Journal of Advanced Transportation*, 2021, 1-12.
- Müller, T., Becker, F., & Schmidt, H. (2019). Autonomous Vehicles and the Future of Traffic Management. *Urban Mobility Journal*, 8(1), 33-48.

- Oliveira, R., Lima, C., & Santos, B. (2019). Big Data Analytics for Traffic Management in Developing Countries. *IEEE Access*, 7, 55612-55626.
- Rahman, M., Hasan, M., & Chowdhury, F. (2021). Traffic Flow Optimization in Emerging Economies: A Data-Driven Approach. *Journal of Advanced Transportation*, 2021, 1-12.
- Smith, R., Taylor, J., & Wilson, P. (2020). The Role of AI in Traffic Prediction and Congestion Control. *Urban Transport Research*, 14(1), 98-115.
- Taylor, M., Jones, D., & Harrison, P. (2020). Smart Policies for Sustainable Traffic Management. *Journal of Transport Policy and Planning*, 10(2), 150-167.
- Wang, T., Chen, Y., & Xu, L. (2019). The Impact of Real-time Traffic Information on Urban Congestion: A Simulation Approach. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 121, 273-285.
- Yamauchi, H. (2016). Advanced traffic management systems in Japan: The development and application. *Journal of Transportation Engineering*, 142(4), 04016009.
- Zhang, Y., Luo, M., & Feng, Q. (2021). Smart Traffic Information Systems: Enhancing Urban Mobility and Commuter Experience. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 10(2), 67-79.
- Zhou, Z., Chen, B., & Li, J. (2020). Traffic Flow Prediction Using Big Data Analytics in Smart Cities. *IEEE Access*, 8, 56055-56064.

BAB 4

ELECTRONIC ROAD PRICING

Oleh Gito Sugiyanto

4.1 Pendahuluan

Electronic Road Pricing (ERP) atau jalan berbayar elektronik adalah pungutan terhadap para pengguna jalan pada area tertentu yang merupakan area terbatas (*restricted area*) dan dilakukan pembayaran secara elektronik. Setiap kali para pengguna jalan melewati area terbatas dengan menggunakan kendaraan, maka harus membayar sesuai dengan besaran tarif yang telah ditetapkan. ERP digunakan sebagai salah satu metode penerapan manajemen permintaan perjalanan atau *Transportation Demand Management* (TDM) yang bertujuan untuk mengurangi pengguna mobil pribadi memasuki jalan dalam kota pada zona tertentu untuk mengurangi kemacetan lalu lintas. Tujuan penerapan *road pricing* selanjutnya yaitu untuk meningkatkan penggunaan transportasi umum massal yang berasal dari pengguna kendaraan pribadi baik sepeda motor maupun mobil penumpang (Sugiyanto, 2011).

4.2 Definisi *Electronic Road Pricing*

Electronic Road Pricing (ERP) adalah sistem pemungutan biaya jalan dengan menggunakan teknologi elektronik untuk memungut biaya dari para pengendara

yang melewati ruas jalan tertentu yang ditunjuk sebagai area terbatas (*restricted area*). Sistem ini dikembangkan untuk mengurangi kemacetan di jalan-jalan utama kota dan mempromosikan transportasi yang lebih ramah lingkungan (Litman, 2019; Small dan Verhoef, 2007). ERP adalah sistem jalan berbayar yang diterapkan dengan tujuan untuk mengurangi kemacetan lalu lintas. Dengan menggunakan prinsip *pay as you use* maka pengguna kendaraan bermotor dikenakan tarif pada saat melewati ruas jalan berbayar pada saat jam sibuk (*peak hour*). Besarnya tarif pada jalan berbayar berbeda-beda tergantung pada kondisi lokal dan tingkat kemacetan lalu lintas. Hal ini dimaksudkan untuk mendorong pengguna kendaraan pribadi (sepeda motor atau mobil pribadi) untuk berpindah ke moda transportasi umum atau hanya melakukan perpindahan rute tujuan dan jam saat melewati ruas jalan berbayar (<https://www.lta.gov.sg>, 1 Februari 2025).

Congestion pricing merupakan salah satu instrumen ekonomi yang bertujuan untuk mengurangi penggunaan kendaraan pribadi. Dengan penerapan *congestion pricing* maka pengguna kendaraan pribadi akan dikenakan sejumlah biaya jika melewati satu area atau koridor yang macet pada periode waktu tertentu (Hu dan Saleh, 2005). Pengguna kendaraan pribadi harus menentukan pilihan apakah akan tetap meneruskan perjalanannya melalui area atau koridor dengan membayar sejumlah uang, mencari rute lain, mengubah tujuan perjalanan, mengubah waktu dalam melakukan perjalanan (O'Mahony dkk., 2000) atau berpindah menggunakan moda angkutan umum yang diizinkan untuk melewati area tersebut. Biaya kemacetan yang dikenakan mempunyai tujuan untuk memberi kesadaran ke pengguna kendaraan pribadi bahwa perjalanan yang dilakukan berkontribusi terhadap

kerusakan lingkungan dan kerugian kepada masyarakat yang tidak menggunakan kendaraan pribadi (Susantono, 2008).

Electronic road pricing adalah pungutan pada ruas jalan tertentu dan cara pembayarannya dilakukan secara elektronik. Ruas jalan tempat dilakukannya pungutan disebut sebagai area terbatas atau *restricted area*. ERP merupakan suatu kebijakan pemberlakuan jalan berbayar untuk setiap kendaraan yang melewatinya. Tujuan dari penerapan ERP adalah untuk mengurangi tingkat kemacetan lalu lintas pada ruas jalan tertentu meskipun pada simpul jalan yang lain justru akan mengalami penambahan kemacetan (Susantono, 2010). ERP merupakan salah satu strategi kebijakan yang diterapkan dalam sistem transportasi yang berkelanjutan (*sustainable transport system*) dan menjadi bagian dari upaya manajemen permintaan perjalanan atau *transportation demand management*). *Transportation demand management* atau manajemen permintaan transportasi adalah penerapan kebijakan dan strategi untuk meningkatkan efisiensi sistem transportasi, yang mengurangi permintaan perjalanan, atau untuk mendistribusikan kembali permintaan dalam ruang atau waktu.

4.3 Komponen *Electronic Road Pricing*

Terdapat beberapa komponen dalam penerapan sistem jalan berbayar elektronik yaitu *in-vehicle unit* dan gerbang *electronic road pricing*. *In-vehicle unit* merupakan alat yang harus dipasangkan pada setiap kendaraan. Pada alat ini dimasukkan kartu deposit dengan besaran saldo yang akan berkurang setiap kali melewati gerbang ERP. Komponen kedua yaitu gerbang ERP. Gerbang ini berfungsi untuk mendeteksi kendaraan dengan sistem sensor yang

melintasi ruas jalan yang dipasang sistem *electronic road pricing*. Gambar jenis-jenis *in-vehicle unit* dan gerbang ERP di Singapura dapat dilihat pada **Gambar 6.1** dan **Gambar 6.2**.



(Sumber: <https://www.lta.gov.sg>, 1 Februari 2025)

Gambar 4. 1. In-vehicle unit.



(Sumber: <https://www.todayonline.com/>, 15 Maret 2025)

Gambar 4. 2. Salah satu gerbang ERP di Singapura.

4.4 Pengelompokan *Road Pricing*

Menurut Susantono (2010) kebijakan manajemen permintaan transportasi atau *transportation demand management* dikelompokkan menjadi tiga yaitu: instrumen ekonomi atau *economic instruments*, persetujuan kerja sama atau *cooperative agreements*, dan instrumen regulasi atau *regulatory instruments*. Instrumen-instrumen ekonomi menggunakan insentif atau disinsentif untuk mencapai tujuan transportasi yang berkelanjutan (*sustainable transportation*). Bentuk instrumen ekonomi yang sering diterapkan di beberapa kota adalah *road pricing*. *Road pricing* adalah pengenaan biaya kepada para pengguna jalan yang melewati ruas jalan tertentu yang ditetapkan sebagai area terbatas (Button, 2022). Tujuan dari penerapan *road pricing* yang pertama yaitu menambah pendapatan daerah atau negara dari pricing yang dibayarkan oleh pengguna jalan dan tujuan yang kedua sebagai sarana mengatur penggunaan kendaraan agar tidak terjadi kemacetan lalu lintas.

Tujuan penerapan *road pricing* yaitu untuk mengurangi kemacetan lalu lintas, menjadi sumber pendapatan daerah, mengurangi dampak lingkungan, dan mendorong penggunaan transportasi massal (Susantono, 2010). Pengelompokan *road pricing* berdasarkan tujuannya dapat dilihat pada **Tabel 4.1**.

Tabel 4. 1. Pengelompokan *road pricing* berdasarkan tujuan

No.	Type Pricing	Deskripsi	Tujuan
1.	<i>Road toll (fixed-rates)</i>	Pengenaan biaya atas penggunaan jalan-jalan tertentu.	Untuk meningkatkan pendapatan daerah dan investasi.
2.	<i>Congestion pricing (time-variable)</i>	Pengenaan biaya yang didasarkan atas tingkat kepadatan lalu lintas, jika lalu lintas padat maka biaya yang dikenakan tinggi, namun sebaliknya jika lalu lintas tidak padat maka biaya yang dikenakan akan rendah.	Untuk meningkatkan pendapatan daerah dan mengurangi kemacetan lalu lintas.
3.	<i>High Occupancy Vehicle (HOV)-lanes</i>	Diterapkan untuk kendaraan yang tidak bisa menampung jumlah penumpang yang banyak, maka akan dikenakan pungutan.	Untuk mendorong peralihan penggunaan kendaraan pribadi ke kendaraan yang memiliki daya tampung yang banyak, sehingga jumlah kendaraan di jalan dapat dikurangi.

No.	Tipe Pricing	Deskripsi	Tujuan
4.	<i>Distance-based Fees</i>	Biaya yang dikenakan terhadap kendaraan bergantung pada sebe-rapa jauh kendaraan tersebut digunakan.	Untuk meningkatkan pendapatan daerah dan mengurangi berbagai masalah lalu lintas.
5.	<i>Pay-as-You-Drive Insurance</i>	Membagi rata pembayaran berdasarkan jarak sehingga asuransi kendaraan menjadi biaya yang tidak tetap.	Mengurangi berbagai permasalahan lalu lintas khususnya kecelakaan lalu lintas.
6.	<i>Road space rationing</i>	Kredit <i>revenue-neutral</i> yang digunakan untuk menurunkan kapasitas jalan periode puncak.	Untuk mengurangi kemacetan di jalan raya utama atau pusat kota.

Sumber: Susantono, 2010; Victoria Transport Policy Institute (VTPI), 2019.

Persetujuan kerja sama adalah keterlibatan dari individu, institusi pemerintah atau perusahaan swasta dalam upaya mengurangi kemacetan lalu lintas. Contoh dari persetujuan kerja sama adalah *car-pooling* yaitu penggunaan kendaraan yang memiliki daya tampung besar agar dapat mengangkut penumpang dalam jumlah yang lebih banyak, misalnya penggunaan bus jemputan pegawai/karyawan (Susantono, 2010). Instrumen regulasi biasanya ditetapkan

oleh pemerintah yang berisi standar, larangan, dan prosedur administrasi untuk mengurangi penggunaan kendaraan pribadi. Contoh dari instrumen regulasi yaitu penerapan hari bebas kendaraan (*car free-day*), pelarangan kendaraan pribadi masuk di wilayah tertentu, pembatasan jumlah penumpang lebih dari 3 (*three-in-one*) (Susantono, 2010).

Jenis-jenis Kutipan Biaya Kemacetan

Menurut Wachs dan May (2010) terdapat tiga tipe kutipan biaya kemacetan (*congestion charging*) yaitu:

1) Tol (*toll based*).

Di mana setiap kali pengemudi akan memasuki jalan/daerah yang dikenakan kutipan biaya kemacetan, pengemudi diharuskan untuk membayar.

2) Berdasarkan jarak (*distance based charging*)

Cara ini mengharuskan pengemudi membayar berapa jauh jarak yang pengemudi tempuh di jalan atau daerah yang dikenakan kutipan biaya kemacetan.

3) Berdasarkan waktu (*time based charging*)

Dengan cara ini pengemudi harus membayar berapa lama pengemudi berada di jalan atau daerah yang dikenakan kutipan biaya kemacetan.

Penerapan *congestion pricing* sukses dilakukan di beberapa kota di dunia seperti: Singapura, Stockholm, Swedia, London, Toronto, Ontario, Canada, Oslo, Bergen, Trondheim, New Jersey Turnpike, dan Abu Dhabi, Uni Emirat Arab. Dana yang terkumpul dari penerapan *congestion pricing* dijadikan sebagai salah satu sumber pembiayaan untuk mendukung beroperasinya moda transportasi seperti *Bus Rapid Transit* (BRT), *Mass Rapid Transit* (MRT), dan lain-lain. Menurut Button (2022), Santos dan Shaffer (2004), *road pricing* adalah sebuah konsep

sederhana yang menggunakan harga untuk mencerminkan kelangkaan dan untuk mengalokasikan sumber daya untuk individu yang menggunakannya.

4.5 Manfaat dan Dampak Penerapan *Electronic Road Pricing*

Manfaat dan dampak dari penerapan *electronic road pricing* di beberapa negara yang sudah berhasil menerapkannya dijelaskan sebagai berikut:

1. Manfaat bagi pihak pemerintah:
 - a) Mengurangi kemacetan lalu lintas.
 - b) Sebagai sumber pendapatan baru dari sektor transportasi jalan.
 - c) Mempermudah dalam penerapan pembatasan lalu lintas (*traffic restriction*).
 - d) Mendorong peralihan moda dari kendaraan pribadi ke transportasi umum.
 - e) Meningkatkan efektivitas dan efisiensi dari manajemen permintaan perjalanan (*transport demand management*).
2. Manfaat bagi para pengendara dan pengguna jalan:
 - a) Meningkatkan kenyamanan dalam berkendara.
 - b) Perjalanan yang dilakukan menjadi lebih tepat waktu.
 - c) Memberikan kemudahan dalam pembayaran.
 - d) Memberikan kemudahan dalam berpindah moda ke transportasi umum.
3. Manfaat bagi masyarakat umum:
 - a) Mengurangi tingkat kebisingan yang dihasilkan oleh kendaraan.
 - b) Menurunkan tingkat pencemaran udara yang berasal dari asap kendaraan bermotor.

- c) Meminimalkan terjadinya kerugian ekonomi yang diakibatkan adanya kemacetan lalu lintas.

Tujuan dari penerapan *Electronic Road Pricing* (ERP) adalah untuk mengurangi kemacetan lalu lintas di jalan-jalan utama kota dan mempromosikan transportasi yang lebih ramah lingkungan (European Commission, 2019; Global Future Cities Programme, 2022). Selanjutnya tujuan dari penerapan ERP secara spesifik, diuraikan sebagai berikut:

- a. Mengurangi kemacetan jalan raya. Penerapan ERP di jalan jalan yang sibuk dapat mengurangi tingkat kemacetan lalu lintas (Abulibdeh, 2018). Dengan mengenakan biaya tambahan untuk melewati jalan-jalan yang macet, diharapkan akan ada pengurangan kendaraan yang melewati jalan tersebut, sehingga dapat mengurangi kemacetan. Salah satu contoh simulasi yang dilakukan di Jakarta diperoleh bahwa probabilitas perpindahan dari Jalan Medan Merdeka Barat menuju jalan alternatif sebesar 6%, dari Jalan Medan Merdeka Barat berpindah menggunakan TransJakarta sebesar 24% (Leandro, 2018). Dengan adanya perpindahan menuju jalan alternatif dan peralihan ke moda transportasi umum maka akan menurunkan tingkat kemacetan lalu lintas.
- b. Penerapan ERP dapat mengurangi pencemaran udara dan menurunkan emisi karbon (Chen dkk., 2018). Salah satu sumber pencemaran udara adalah dari sektor transportasi yaitu asap kendaraan bermotor.
- c. Penerapan *electronic road pricing* dapat meningkatkan keselamatan bagi para pengguna jalan yang rentan (*vulnerable road users*), seperti pejalan kaki dan pengguna sepeda (Naumann dkk., 2022).
- d. Penerapan ERP dapat meningkatkan efisiensi perjalanan. Penerapan *electronic road pricing* dapat meningkatkan efisiensi perjalanan dengan cara mengurangi waktu yang

- dihabiskan dalam kemacetan dan meningkatkan kecepatan rata-rata perjalanan (Levinson, 2010; Sugiyanto, 2016; Sugiyanto, 2018; Yang dkk., 2023).
- e. Penerapan ERP dapat mempromosikan transportasi yang lebih ramah lingkungan dengan cara mengurangi jumlah kendaraan yang melewati jalan-jalan yang ditunjuk dan mendorong pengendara untuk menggunakan transportasi alternatif seperti transportasi umum atau bersepeda. Penerapan *congestion pricing* dapat mengalihkan penggunaan moda transportasi dari kendaraan pribadi ke moda transportasi berkelanjutan (*sustainable transport modes*) di Tiongkok (Li dkk., 2019).
 - f. Penerapan ERP dapat mengumpulkan dana. *Electronic road pricing* juga dapat digunakan sebagai sumber pendapatan bagi daerah atau pemerintah dan dana yang berhasil dikumpulkan dapat digunakan untuk pembangunan dan pemeliharaan jalan (VTPI, 2019).
 - g. Membuat distribusi kendaraan menjadi lebih rasional dan seimbang. Hal ini dilakukan dengan cara mengenakan biaya tambahan pada jalan raya yang ramai pada saat jam puncak, sehingga diharapkan akan ada pengalihan lalu lintas pada jalan raya lain yang kurang sibuk, sehingga distribusi kendaraan menjadi lebih rasional dan seimbang (Abulibdeh, 2018).

Pilihan yang dihadapkan ke pengemudi dengan adanya penerapan *electronic road pricing* yaitu membayar *pricing* dan menikmati perjalanan, mengubah waktu perjalanan untuk membayar *pricing* yang lebih murah, mengubah rute perjalanan untuk menghindari area terbatas, mengubah moda angkutan yang digunakan, mengubah tujuan perjalanan, atau tidak jadi melakukan pergerakan atau membatalkan perjalanan.

Dampak penerapan kebijakan electronic road pricing dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a) Tercapainya efisiensi dalam aspek transportasi seperti tercapainya kelancaran lalu lintas yang menyebabkan penghematan waktu tempuh (Hasnine dkk., 2020), dan biaya perjalanan. Dampak penerapan *congestion pricing* terhadap pengguna *transportation network company* (TNC) *pick-up* di Chicago yaitu pengurangan 7,1% dari total perjalanan *pick-up* TNC, peningkatan 16,4% dari perjalanan *pick-up* TNC bersama, dan pengurangan 11% perjalanan *pick-up* TNC tunggal (Zheng dkk., 2023). Penerapan *congestion pricing* sebesar 7 yuan di Xi'an, berdampak pada kecepatan jaringan jalan keseluruhan dan emisi karbon. Kecepatan pada jaringan jalan rata-rata meningkat dari 29,64 km/jam menjadi 43,31 km/jam dan emisi karbon berkurang sebesar 852,4 kg (Yang dkk., 2023). Besaran biaya pricing juga akan mempengaruhi perjalanan orang dengan kendaraan pribadi, angkutan umum, atau angkutan sewa khusus (*ride-hailing transport services*) (Sugiyanto dkk., 2023a; Sugiyanto dkk., 2023b).
- b) Peningkatan kualitas lingkungan, dimana *Transportation Demand Management* (TDM) dalam aspek lingkungan diharapkan dapat mengurangi polusi udara serta mengurangi polusi bunyi dan getaran. Penerapan *road pricing* mengakibatkan terjadinya pergeseran temporal transportasi barang dan emisi polutan kendaraan dalam jaringan transportasi perkotaan (Chen dkk., 2018). Penerapan *road pricing* di Kota Milan juga berhasil menurunkan pencemaran udara (Gibson dan Carnovale, 2015). Penerapan *congestion pricing* berpotensi untuk mengurangi emisi CO₂ yang signifikan, yaitu lebih dari 10% (Cavallaro dkk., 2018).

- c) Penataan sistem tata guna lahan (*land use*), dimana penerapan *road pricing* diharapkan dapat merevitalisasi fasilitas-fasilitas yang ada di perkotaan sesuai dengan fungsinya.
- d) Meningkatkan ekonomi, dimana penerapan *road pricing* diharapkan dapat memberikan pendapatan tambahan bagi pemerintah sehingga mendapat dana tambahan untuk meningkatkan transportasi umum (VTPI, 2019).
- e) Menjamin persamaan hak bagi para pengguna jalan, dimana *transportation demand management* diharapkan dapat memberikan keadilan bagi pengguna jalan dengan memberikan kewajiban yang lebih berat bagi pengguna jalan yang lebih berkontribusi terhadap kemacetan lalu lintas. Selain itu, jaminan terhadap pengguna jalan yang rentan atau (*vulnerable road users*) seperti para pejalan kaki, pengguna sepeda, dan penghuni daerah lokal diharapkan dapat terealisasi (Naumann dkk., 2022).

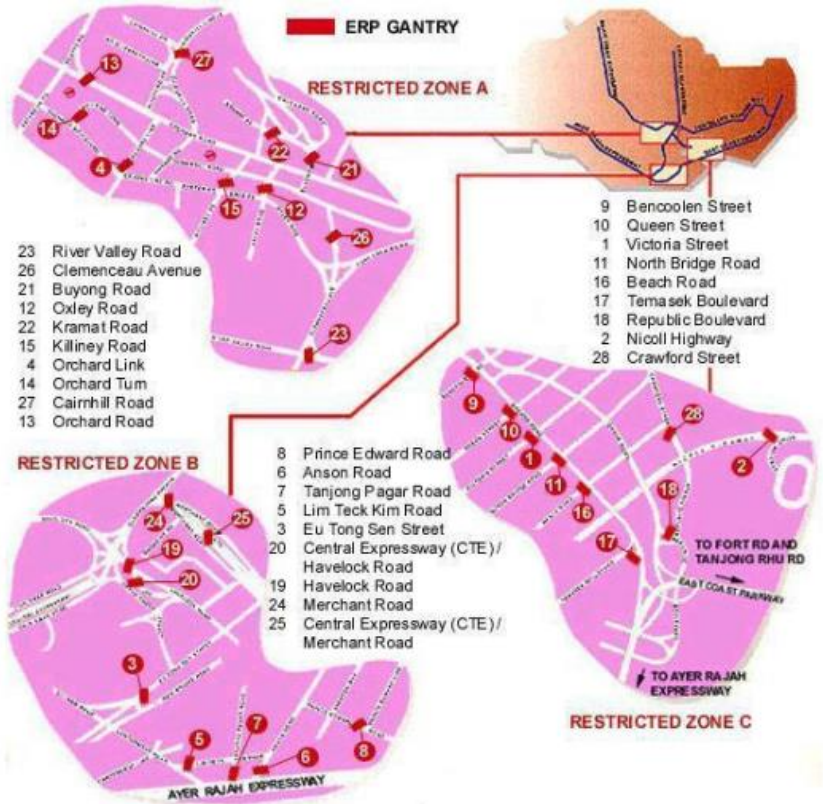
4.6 Penerapan *Electronic Road Pricing* (ERP) di Luar Negeri

Membangun jalan baru dan meningkatkan jalan yang sudah ada adalah dua pendekatan umum untuk mengatasi kemacetan yang disebabkan oleh peningkatan volume lalu lintas (Harris dkk., 2024). Strategi lainnya untuk di kawasan *central business district* yaitu penerapan *congestion pricing* (Sugiyanto, 2008; Sugiyanto dkk., 2010). Penerapan *Electronic Road Pricing* (ERP) yang sudah direncanakan dengan maksimal berhasil menurunkan kemacetan (Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), 2018; World Bank, 2021). Beberapa contoh negara yang sudah menerapkan *road pricing* dan berhasil

diantaranya adalah Singapura, Swedia, Inggris, Norwegia, dan Amerika Serikat.

4.6.1 Penerapan *Electronic Road Pricing* (ERP) di Singapura

Singapura merupakan kota pertama yang mengaplikasikan *Electronic Road Pricing* (ERP) pada awalnya disebut *urban road user charging*. Penerapan ERP dimulai sejak tahun 1998, dengan daerah operasi di kawasan *Central Business District* (CBD), *highway*, dan *trunk road* (Menon, 2000). Tujuannya adalah untuk membatasi lalu lintas yang masuk pada saat jam puncak untuk mengurangi kemacetan. Sebelum menerapkan *electronic road pricing*, Singapura terlebih dahulu menggunakan *Area-Licensing Scheme* (ALS) (Goh, 2002). Jam operasional penerapan ERP untuk pusat kota setiap hari kecuali waktu libur pada jam 7.30-19.00 sedangkan untuk *highway* dan *trunk* diberlakukan setiap hari kecuali waktu libur pada jam 7.30-21.30 (<https://www.lta.gov.sg>). Target kendaraan yang dikenai ERP adalah semua jenis kendaraan yang melewati area ERP kecuali kendaraan *emergency* (Menon, 2000). Peta daerah penerapan ERP di Singapura dapat dilihat pada **Gambar 4.3**.



(Sumber: <https://www.lta.gov.sg>, 1 Februari 2025)

Gambar 4. 3. Peta daerah penerapan ERP di Singapura.

Harga untuk memasuki daerah atau koridor *electronic road pricing* bervariasi berdasarkan rata-rata kecepatan jaringan. Besarnya biaya pembayaran memasuki daerah tersebut \$0,5-\$3,5 per sekali masuk. Besaran tarif ERP bervariasi yang ditentukan berdasarkan jenis kendaraan, waktu, lokasi, dan kondisi lalu lintas yang ada. Besaran tarif akan dikaji ulang setiap 3 (tiga) bulan sekali dan tidak ada maksimum biaya pembayaran. Metode pembayarannya dengan *pre-paid smart card*. Harga yang bervariasi ditujukan

untuk dapat mempertahankan kecepatan antara 45-65 km/jam pada *express ways* dan 20-30 km/jam untuk jalan arteri. Penerapan ERP memberikan dampak yang signifikan. Penggunaan *carpools* dan bus meningkat dari 41% menjadi 62%, dan volume lalu lintas menuju daerah diterapkannya ERP turun 44%.

Keong (2002) menyatakan bahwa penerapan *electronic road pricing* di Singapura sangat efektif untuk mengatasi kemacetan lalu lintas di ruas jalan dalam kawasan *Central Business District* (CBD) dan ruas jalan utama di luar kawasan CBD. ERP merupakan metode yang paling efektif untuk mengontrol kemacetan. Olszewski dan Xie (2005) mempelajari bukti empiris pengaruh perubahan ERP pada volume lalu lintas dan mengusulkan kerangka kerja praktis untuk memodelkan dampak *electronic road pricing* terhadap distribusi waktu dari volume lalu lintas. Rata-rata koefisien dari variasi volume 15 menit dimana 3,9% selama seminggu sebelum ERP dimulai sudah turun menjadi 3,3% setelah pengenalan ERP dan menurun menjadi 2,8% pada minggu setelah tarif ERP direvisi. Hal ini menunjukkan bahwa arus pada kondisi *equilibrium* berkembang sangat cepat setelah perubahan *pricing* dan menegaskan bahwa lalu lintas tidak macet. Hasil dari penerapan *electronic road pricing* memberikan dampak yang sangat signifikan yaitu dapat mengurangi kemacetan lalu lintas 20-24%, meningkatkan kecepatan kendaraan.

4.6.2 Penerapan *Electronic Road Pricing* di Swedia

Biaya kemacetan diperkenalkan di Stockholm pada tahun 2006. Setelah melewati diskusi panjang, Pemerintah Swedia memutuskan ERP sebagai pajak yang dikenakan pada kendaraan yang memasuki Stockholm yang diberi nama "*Stockholm Congestion Tax* (SCT)" dan berlaku efektif

mulai tanggal 1 Agustus 2007 setelah 7 (tujuh) bulan melalui uji coba (Börjesson dkk., 2012). Daerah operasi berada di kawasan *central area* dan berlaku pada jam operasional hari Senin-Jumat kecuali pada hari libur pada jam 6.30-18.30. Semua jenis kendaraan dikenakan *road pricing* kecuali sepeda motor, kendaraan diplomatik, kendaraan ramah lingkungan, kendaraan militer, taksi, dan kendaraan di atas 14 ton. Besarnya tarif ditetapkan 5 SEK, 10 SEK, 20 SEK sekali lewat baik masuk maupun keluar dengan maksimum pembayaran 60 SEK/hari. Penegakan pelanggaran dalam sistem *charging* ini menggunakan kamera dan *Automatic Number Plate Recognition*. Stockholm menerapkan *single gantry multi-lane free-flow* untuk menekan biaya pembangunan. *Single gantry* diimplementasikan di 42 (empat puluh dua) titik pembayaran di Gothenburg.

Melalui publikasi oleh Swedia National Road Administration (SNRA), otoritas pengelolaan jalan raya Swedia menyebutkan penerapan ERP berhasil menurunkan tingkat kemacetan lalu lintas di pusat kota sebesar 21%. Selama periode jam sibuk (*peak-hours*), perjalanan melewati wilayah tersebut menjadi lebih cepat. Jika perjalanan biasanya ditempuh dalam waktu 30 menit dengan adanya penerapan ERP menjadi 10 menit. Penerapan *congestion pricing* juga berdampak terhadap permintaan kendaraan yang hemat energi di Stockholm, Swedia (Whitehead dkk., 2014). Hasil dari penerapan ERP di Stockholm yaitu dapat menurunkan kemacetan lalu lintas lebih dari 20-25%, menurunkan waktu tempuh perjalanan sekitar 10-30% dan polusi udara berkurang antara 10-15%. Penerapan ERP di Stockholm, Swedia berhasil menurunkan total emisi kendaraan bermotor sebesar 10-14% di pusat kota dan 2-3% untuk total satu kota (Eliasson dkk., 2003).

4.6.3 Penerapan *Electronic Road Pricing* di London, Inggris

Electronic Road Pricing (ERP) diaplikasikan di London sejak tanggal 17 Februari 2003 dengan daerah operasi *central area*. Jam operasional penerapan *road pricing* dimulai dari hari Senin hingga Jumat kecuali hari libur dan diberlakukan pada jam 7.30-18.30. Kendaraan yang dikenai kebijakan ini adalah semua jenis kendaraan yang telah terdaftar kecuali taksi, *minicab* terdaftar, layanan darurat, dan kendaraan dengan tenaga alternatif dengan tarif 11 Euro untuk satu hari. Metode pembayaran dilakukan dengan *post paid*. Tujuan diterapkannya ERP di London adalah untuk mengurangi kemacetan, meningkatkan reliabilitas waktu perjalanan, dan mengurangi polusi udara.

Penerapan ERP di London berhasil menurunkan volume lalu lintas 15%, menurunkan tingkat kemacetan 30%, menurunkan pencemaran udara 12%, menjadikan perjalanan lebih reliabel, reliabilitas *bus schedule* meningkat signifikan, menurunkan kecelakaan lalu lintas, meningkatkan kecepatan kendaraan namun tidak meningkatkan fatalitas kecelakaan, tidak berdampak yang besar untuk daerah di luar area penerapan *congestion charging*, serta menjadi sumber pendapatan negara yang dipakai untuk perbaikan layanan transportasi umum. Prud'homme dan Bocarejo (2005) memberikan analisis kuantitatif dari skema *London Congestion Charge* (LCC) berdasarkan data *Transport for London* (TfL). Total biaya yang dikeluarkan adalah £177 juta per tahun sedangkan total manfaat yang diperoleh dengan adanya penerapan LCC £104 juta per tahun, dimana £68 juta per tahun diperoleh sebagai akibat dari penurunan kemacetan lalu lintas dan £31

juta per tahun akibat dari peningkatan kecepatan perjalanan pengguna bus (Prud'homme and Bocarejo, 2005).

4.6.4 Penerapan *Electronic Road Pricing* (ERP) di Norwegia

Tujuan utama penerapan pajak kemacetan di Oslo adalah untuk menutupi sebagian pembiayaan angkutan umum dan pembangunan jalan termasuk pembiayaan terowongan yang direncanakan akan melintasi tengah Kota Oslo. Pungutan dikumpulkan pada saat kendaraan melintasi pintu pungutan diperbatasan kawasan yang ditetapkan. Penerapan pajak yang sama juga diberlakukan di Bergen dan Trondheim. Pada saat itu modal berjalan perusahaan dan sahamnya akan dikembalikan dan pintu tol akan dihapus dan perusahaan dibubarkan. Rata-rata dalam sehari 200.000 kendaraan melintasi lingkaran batas tol. Berkat dioperasikannya kartu elektronik, pangsa lalu lintas yang berlangganan kartu elektronik naik dari 52% menjadi 60% di tahun 1992. Selain itu, di Kota Trondheim, penerapan biaya kemacetan dilakukan dengan cara memasang detektor pada bagian depan kendaraan yang dapat berkomunikasi dengan pintu tol pada saat kendaraan melaluinya (Blythe, 2004).

4.6.5 Penerapan *Electronic Road Pricing* di Amerika Serikat

Ozba dkk. (2005) menyelidiki dampak lalu lintas program *pricing* di New Jersey Turnpike, Amerika Serikat. Hasil analisis tingkat agregat menunjukkan pergeseran lalu lintas pada periode *off-peak* setelah tahap pertama program *pricing* dan bergeser ke periode *peak* setelah tahap kedua. Sebanyak 53% dari pengguna menyukai periode jam puncak (*peak-hour*) dengan waktu perjalanan lebih rendah dengan

toll lebih tinggi daripada dengan waktu perjalanan yang lebih tinggi tetapi dengan *toll* yang lebih rendah. Pengguna New Jersey Turnpike berusaha menghindari kemacetan lalu lintas bukan besaran *toll* yang sedikit lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abulibdeh, A. (2018) "Implementing congestion pricing policies in a MENA Region City: Analysis of the impact on travel behaviour and equity". *Cities*, vol. 74, hal. 196-207. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2017.12.003>.
- Blythe, P. T. (2004) "Congestion Pricing: Challenges to Meet the UK Policy Objectives". *Review of Network Economics*, vol. 3 issue 4, hal. 356-370.
- Börjesson, M., Eliasson, J., Hugosson, M. B., and Brundell-Freij, K. (2012) "The Stockholm congestion charges-5 years on effects, acceptability and lessons learnt". *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 20, hal. 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2011.11.001>.
- Button, K. (2022) "*Transport Economics* 4th Edition". Cheltenham Gloss: Edward Elgar Publishing.
- Cavallaro, F., Giaretta, F., and Nocera, S. (2018) "The potential of road pricing schemes to reduce carbon emissions". *Transport Policy*, vol. 67, hal. 85-92. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.03.006>.
- Chen, D., Ignatius, J., Sun, D., Goh, M., and Zhan, S. (2018) "Impact of congestion pricing schemes on emissions and temporal shift of freight transport". *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 118, hal. 77-105. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2018.07.006>.

- Eliasson, J., Lundberg, O. M., and Transek, A. B. (2003) "*Road pricing in Urban Areas*". Swedish National Road Administration: VV publication: 136E. <http://www.transport-pricing.net/download/swedishreport.pdf>.
- European Commission (2019) "*Electronic Tolling Systems in Europe*".
- Gibson, M. and Carnovale, M. (2015) "The effects of road pricing on driver behavior and air pollution". *Journal of Urban Economics*, vol. 89, hal. 62-73. <https://doi.org/10.1016/j.jue.2015.06.005>.
- Global Future Cities Programme (2022) "*Road Pricing and Sustainable Urban Mobility: Policy Recommendations*".
- Goh, M. (2002) "Congestion Management and Electronic Road Pricing in Singapore". *Journal of Transport Geography*, vol. 8 isu 1, hal. 29-38. [https://doi.org/10.1016/S0966-6923\(01\)00036-9](https://doi.org/10.1016/S0966-6923(01)00036-9).
- Harris, L., Harleman, M., Willis, M. D., Hystad, P., and Hill, E. L. (2024) "Limited impact of roadway construction and traffic congestion on nearby housing prices". *Transport Policy*, vol. 157, hal. 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2024.07.019>.
- Hasnine, M. S., Aboudina, A., Abdulhai, B., and Habib, K. N. (2020) "Mode shift impacts of optimal time-dependent congestion pricing in large networks: A simulation-based case study in the Greater Toronto Area". *Case Studies on Transport Policy*, vol. 8 Issue 2, hal. 542-552. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2019.11.007>.

- Hu, S. and Saleh, W. (2005) "Impacts of Congestion Pricing on Shopping Trips in Edinburg". *Transport Policy*, vol. 12, hal. 443-450.
- Keong, C. K. (2002) "*Road Pricing Singapore's Experience*". 3rd Seminar IMPRINT EUROPE, Brussel 23rd-24th October 2002.
- Land Transportation Authority of Singapore. (2025) "*Electronic Road Pricing*". <https://www.lta.gov.sg>, 1 Februari 2025.
- Leandro, A. (2018) "Perencanaan Penerapan *Electronic Road Pricing* (ERP) pada Jalan Medan Merdeka Barat-Jakarta". *Skripsi: Tugas Akhir*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November (ITS) Surabaya.
- Levinson, D. (2010) "Equity Effects of Road Pricing: A Review". *Transport Reviews*, vol. 30 issue 1, hal. 33-57. <https://doi.org/10.1080/01441640903189304>.
- Li, Y., Guo, Y., Lu, J., and Peeta, S. (2019) "Impacts of congestion pricing and reward strategies on automobile travelers' morning commute mode shift decisions". *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 125, hal. 72-88. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.05.008>.
- Litman, T. (2019) "*Congestion Pricing: Benefits, Costs, and Practical Considerations*". Victoria Transport Policy Institute (VTPI).
- Menon, A. P. G. (2000) "ERP in Singapore-A Perspective One Year On". *Journal of Transportation Engineering*.

- Naumann, R. B., Sabounchi, N. S., Kuhlberg, J., Singichetti, B., Marshall, S. W., and Lich, K. H. (2022) "Simulating congestion pricing policy impacts on pedestrian safety using a system dynamics approach". *Accident Analysis & Prevention*, vol. 171, 106662. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2022.106662>.
- Olszewski, P. and Xie, L. (2005) "Modeling the Effects of Road Pricing on Traffic in Singapore". *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 39 issues 7-9, hal. 755-772.
- O'Mahony, M., Geraghty, D. and Humphreys, I. (2000) "Distance and Time Based Road Pricing Trial in Dublin". *Transportation*, vol. 27 No. 3, hal. 269-283.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2018). "*Road Pricing: Setting the Right Charges and Policies*".
- Ozba, K., Yanmaz, O., and Holguin-Veras, J. (2005) "*The New Jersey Turnpike Road Pricing Initiative: Analysis Traffic Impacts*". PIARC Seminar on Road Pricing with Emphasis on Financing, Regulation and Equity. Mexico.
- Prud'homme, R. and Bocarejo, J. P. (2005) "The London congestion charge: A tentative economic appraisal". *Transport Policy*, vol. 12, hal. 279-287.
- Santos, G. and Shaffer, B. (2004) "Preliminary Results of the London Congestion Charging Scheme". *Transport Policy*, vol. 9 issue 2, <https://doi.org/10.1177/1087724X04268569>.
- Small, K. A. and Verhoef, E. T. (2007) "*The Economics of Urban Transportation*". Routledge.

- Sugiyanto, G. (2008) "Biaya Kemacetan (*Congestion Charging*) Mobil Pribadi di *Central Bussines District* (Studi Kasus Kawasan Malioboro, Yogyakarta)". *Media Teknik Sipil*, vol. 8 no. 1, hal. 59-65. <http://puslit2.petra.ac.id/ejournal/index.php/mts/article/view/17720/17634>.
- Sugiyanto, G., Malkhamah, S., Munawar, A., and Sutomo, H. (2010) " Estimation of Congestion Cost from Private Passenger Cars Users in Malioboro, Yogyakarta". *Civil Engineering Dimension*, vol. 12 no. 2, hal. 92-97. doi: www.puslit2.petra.ac.id/ejournal/index.php/mts/article/.../17720/17634.
- Sugiyanto, G. (2011) "Pengembangan Model dan Estimasi Biaya Kemacetan bagi Pengguna Mobil dan Sepeda Motor Pribadi di Kawasan Pusat Perkotaan". *Disertasi*. Yogyakarta: Program Doktor Ilmu Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- Sugiyanto, G. (2016) "The Impact of congestion pricing scheme on the generalized cost and speed of motorcycle to the City of Yogyakarta, Indonesia". *Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 11 no. 8, hal. 1740-1746. doi:10.3923/jeasci.2016.1740.1746.
- Sugiyanto, G. (2018) "The effect of congestion pricing scheme on the generalized cost and speed of a motorcycle". *Walailak Journal of Science and Technology*, vol. 15 no. 1, hal. 95-106. doi:10.48048/wjst.2018.2347.
- Sugiyanto, G., Yanto, Y., Wibowo, A., and Astoto, T. W. (2023a) "Service quality of transit and demand-supply forecasting for ride-hailing in the Jakarta Greater Area, Indonesia". *Journal of Engineering Research*, vol. 11 no. 2A, hal. 187-199. doi:10.36909/jer.14725.

- Sugiyanto, G., Yanto, Y., Wibowo, A., Tauladan, T., and Damantoro, T. (2023b) "Demand modeling for taxi and Ride-hailing Transport Services (RTS)". *Civil Engineering Journal*, vol. 9 no. 5, hal. 1039-1058. doi: 10.28991/CEJ-2023-09-05-03.
- Susantono, B. (2008) "*Electronic Road Pricing (ERP) Salah Satu Solusi Masalah Kemacetan di Kota Jakarta*". *Buletin Tata Ruang* Edisi September-Oktober 2008. Jakarta: Badan Koordinasi Tata Ruang Nasional.
- Susantono, B. (2010) "*Electronic Road Pricing (ERP) Salah Satu Solusi Masalah Kemacetan di Kota Jakarta*". Jakarta: DKI Jakarta.
- Victoria Transport Policy Institute (VTPI). (2019) "*Road Pricing Congestion Pricing, Value Pricing, Toll Roads, and HOT Lanes*". Victoria: TDM Encyclopedia.
- Wachs, M. and May, A. (2010) "Road pricing in context the efficient allocation of a limited resource". *Transport Research Board*. hal. 11-13. <http://www.trb.org/publications/conf/CP34roadpricing.pdf>.
- Whitehead, J., Franklin, J P., and Washington, S. (2014) "The impact of a congestion pricing exemption on the demand for new energy efficient vehicles in Stockholm". *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 70, hal. 24-40. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2014.09.013>.
- World Bank. (2021) "*Smart mobility and Road Pricing: Innovations for the Future*".

<https://www.todayonline.com/singapore/lta-calls-tender-next-generation-satellite-based-road-pricing-system>,
diunduh 15 Maret 2025.

Yang, Q., Zhang, X., Xu, X., Mao, X., and Chen, X. (2023) "Urban congestion pricing based on relative comfort and its impact on carbon emissions". *Urban Climate*, vol. 49, 101431. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101431>.

Zheng, Y., Meredith-Karam, P., Stewart, A., Kong, H., and Zhao, J. (2023) "Impacts of congestion pricing on ride-hailing ridership: Evidence from Chicago". *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 170, 103639. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2023.103639>.

BAB 5

Advanced Traveller Information System

Oleh Arnetha Sari Raintung

5.1 Pendahuluan

5.1.1 Latar Belakang

Perkembangan saat ini, sistem transportasi menghadapi tantangan semakin kompleks, seperti kemacetan lalu lintas, kecelakaan, ketidakpastian waktu perjalanan dan dampak lingkungan akibat emisi kendaraan bermotor. Mobilitas efisien dan informasi perjalanan yang akurat menjadi kebutuhan mendesak bagi masyarakat perkotaan dan pedesaan.

Teknologi informasi dan komunikasi telah diintegrasikan ke dalam sistem transportasi melalui konsep *Advanced Traveller Information System* (ATIS). ATIS adalah sistem cerdas yang menyediakan informasi perjalanan secara real time kepada pengguna jalan, baik pengendara kendaraan pribadi maupun pengguna transportasi umum. Sistem ini menggunakan berbagai sumber data seperti sensor lalu lintas, GPS, media sosial dan laporan cuaca untuk membantu pengguna dalam mengambil keputusan yang lebih baik terkait rute perjalanan serta keberangkatan yang optimal.

Negara-Negara maju seperti Amerika Serikat, Jepang dan negara-negara Eropa telah mengembangkan sistem ATIS yang terintegrasi dengan Intelligent Transportation System (ITS) untuk mendukung perencanaan transportasi yang lebih cerdas. Di Indonesia penerapan ATIS masih dalam tahap pengembangan terutama di kota-kota besar seperti Jakarta, Surabaya dan Bandung.

Perkembangan *Internet of Things* (IoT), *Artificial Intelligence* (AI) dan Big Data, sistem ATIS terus mengalami peningkatan dalam akurasi dan efisiensi. Oleh karena itu, kajian mengenai implementasi, manfaat serta tantangan dalam penerapan ATIS menjadi penting untuk mendukung pengembangan sistem transportasi lebih cerdas dan berkelanjutan.

5.1.2 Tujuan ATIS

Secara spesifik tujuan *Advanced Traveller Information System* (ATIS) sebagai berikut :

1. Menyediakan Informasi Perjalanan yang Real Time
 - Memberikan informasi mengenai kondisi lalu lintas, kecelakaan, cuaca serta alternatif rute terbaik bagi pengguna jalan.
2. Mengoptimalkan Waktu dan Biaya Perjalanan
 - Membantu pengguna dalam memilih rute perjalanan yang paling efisien, sehingga dapat mengurangi waktu tempu dan biaya bahan bakar.
3. Mengurangi Kemacetan Lalu Lintas
 - Mendistribusikan arus lalu lintas secara merata dengan memberikan informasi mengenai kepadatan lalu lintas dan alternatif jalur lain.

4. Meningkatkan Keselamatan di Jalan
 - Memberikan peringatan dini terkait kondisi jalan berbahaya, kecelakaan atau cuaca ekstrem yang dapat membahayakan pengendara.
5. Mendukung Integrasi Transportasi Publik
 - Membantu pengguna transportasi umum dalam merencanakan perjalanan dengan memberikan informasi mengenai jadwal, rute dan ketersediaan layanan transportasi umum.
6. Mengurangi Dampak Lingkungan
 - Mengoptimalkan pergerakan kendaraan dan mengurangi kemacetan, ATIS dapat membantu mengurangi konsumsi bahan bakar dan emisi gas rumah kaca.

5.1.3 Manfaat ATIS

ATIS memberikan berbagai manfaat bagi masyarakat, pemerintah dan lingkungan, antara lain :

1. Manfaat bagi Pengguna Jalan
 - Memudahkan perencanaan perjalanan dengan informasi lalu lintas yang akurat
 - Mengurangi waktu tempu dengan memilih rute tercepat
 - Meningkatkan keselamatan dengan peringatan dini terhadap bahaya di jalan.
2. Manfaat bagi Pemerintah dan Pengelola Transportasi
 - Membantu dalam pengelolaan lalu lintas secara lebih efektif
 - Mengurangi beban infrastruktur akibat kemacetan yang berlebihan

- Meningkatkan efisiensi operasional transportasi umum.
3. Manfaat bagi Lingkungan
- Mengurangi konsumsi bahan bakar dan emisi karbon akibat perjalanan yang lebih efisien
 - Mendukung transportasi berkelanjutan dengan meningkatkan penggunaan transportasi umum
 - Mengurangi polusi udara akibat kemacetan yang berkepanjangan.

5.1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup ATIS mencakup berbagai aspek dalam sistem transportasi yang berkaitan dengan pengumpulan, pemrosesan dan penyebaran informasi perjalanan kepada pengguna jalan. Ruang lingkup menjadi beberapa kategori, sebagai berikut :

5.1.4.1 Ruang lingkup berdasarkan cakupan geografis

1. ATIS untuk perkotaan

- Digunakan di Kota-kota besar dengan tingkat kepadatan lalu lintas tinggi
- Berfokus pada pengurangan kemacetan dan peningkatan efisiensi transportasi umum
- Contoh : Jakarta Smart City, ATIS di kota-kota metropolitan seperti Tokyo atau New York.

2. ATIS untuk jalan tol dan antar kota

- Memberikan informasi real time mengenai kondisi lalu lintas di jalan tol dan jalur antar kota
- Melibatkan sistem electronic toll collection (ETC) dan variable message signs (VMS)

- Contoh: ATIS pada jaringan jalan tol di Indonesia yang dikelola oleh Jasa Marga.

3. ATIS untuk daerah pedesaan

- Berfokus pada peningkatan aksesibilitas transportasi di daerah terpencil
- Memberikan informasi terkait kondisi jalan, cuaca dan transportasi umum terbatas.

9.1.4.2 Ruang Lingkup Berdasarkan Teknologi yang Digunakan

1. Sistem Pengumpulan Data

- Menggunakan sensor lalu lintas, GPS, CCTV, data crowdsourcing dan satelit
- Menganalisis data dari berbagai sumber untuk memberikan informasi yang akurat.

2. Sistem Pemrosesan dan Analisis Data

- Memanfaatkan *Artificial Intelligence* (AI) dan Big Data untuk memprediksi pola lalu lintas
- Menggunakan *Internet of Things* (IoT) untuk mengintegrasikan berbagai perangkat transportasi.

3. Sistem Penyebaran Informasi

- Menggunakan Variable Message Signs (VMS), aplikasi mobile, website dan media sosial
- Informasi disebarkan melalui radio, televisi atau layanan pesan singkat (SMS/Notifikasi Aplikasi).

9.1.4.3 Ruang Lingkup Berdasarkan Jenis Pengguna

1. Pengguna Kendaraan Pribadi

- Menggunakan aplikasi navigasi (Google maps, Waze) untuk mendapatkan informasi lalu lintas dan alternatif rute.

2. Pengguna Transportasi Umum

- Mendapatkan informasi mengenai jadwal kedatangan, kepadatan penumpang dan rute transportasi umum.

3. Pemerintah dan Pengelola Transportasi

- Memanfaatkan ATIS untuk pengelolaan lalu lintas, optimasi transportasi umum dan manajemen darurat.

4. Operator Logistik dan Komersial

- Digunakan oleh perusahaan logistik untuk perencanaan rute yang efisien guna mengurangi biaya operasional.

5.1.5 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan dalam kajian ATIS berfokus pada pendekatan sistematis dalam mengumpulkan, menganalisis dan mengevaluasi data terkait implementasi serta efektivitas ATIS. Metodologi penelitian yang digunakan:

1. Jenis Penelitian, dengan menggunakan deskriptif kualitatif, kuantitatif dan metode studi kasus serta data sekunder.
 - Pendekatan Kualitatif: Menggali pemahaman mendalam mengenai konsep, teknologi dan

tantangan dalam penerapan ATIS serta menggunakan wawancara dan observasi sebagai teknik pengumpulan data.

- Pendekatan Kuantitatif: Menganalisis data lalu lintas, efektivitas sistem ATIS, pengaruhnya terhadap efisiensi perjalanan dan keselamatan transportasi serta menggunakan data statistik dari instansi terkait.
2. Sumber Data dengan menggunakan 2 (dua) jenis sumber data utama :
 - Data primer: wawancara dengan pakar transportasi, pengguna jalan dan pihak berwenang terkait penerapan ATIS serta observasi langsung terhadap sistem ATIS yang telah ditetapkan di beberapa lokasi.
 - Data sekunder: literatur dari jurnal ilmiah, laporan pemerintah dan studi kasus implementasi ATIS diberbagai negara serta data lalu lintas dari instansi seperti, dinas perhubungan, badan pengelola transportasi dan data dari aplikasi navigasi (google maps,waze).
 3. Teknik Pengumpulan Data
 - Studi literatur: mengkaji teori dan konsep terkait ATIS melalui buku, jurnal serta publikasi ilmiah.
 - Observasi lapangan: melakukan pengamatan terhadap penggunaan ATIS di berbagai lokasi seperti, jalan tol, pusat kota dan sistem transportasi umum.
 - Wawancara dan kuesioner: mengumpulkan data dari pengguna ATIS mengenai efektivitas dan tantangan dalam penggunaannya serta

wawancara dengan pemangku kepentingan seperti pengembangan sistem ATIS, pemerintah dan operator transportasi.

- Analisis data: menggunakan metode statistik deskriptif untuk memahami tren lalu lintas dan efektivitas ATIS dalam mengurangi kemacetan serta menggunakan metode komparatif untuk membandingkan efektivitas ATIS di berbagai kota atau negara.

4. Tahapan Penelitian

- Perumusan masalah: menentukan isu utama yang akan dikaji seperti, dampak ATIS terhadap pengurangan kemacetan dan peningkatan keselamatan transportasi.
- Pengumpulan data: mengumpulkan data primer dan sekunder yang relevan.
- Analisis data: menggunakan teknik analisis deskriptif dan komparatif untuk memahami efektivitas ATIS.
- Evaluasi dan kesimpulan: merumuskan kesimpulan berdasarkan hasil analisis dan memberikan rekomendasi untuk pengembangan ATIS di masa depan.

5.2 Konsep Dasar Advanced Traveller Information System (ATIS)

5.2.1 Definisi dan Pengertian ATIS

ATIS adalah sistem berbasis teknologi informasi yang digunakan untuk mengumpulkan, menganalisis dan menyebarkan informasi perjalanan secara real time kepada pengguna jalan.

ATIS merupakan bagian dari Intelligent Transportation Sistem (ITS) yang mengintegrasikan berbagai teknologi seperti, sensor lalu lintas, GPS, data crowdsourcing dan kecerdasan buatan (Artificial Intelligence/AI) untuk memberikan informasi akurat mengenai kondisi lalu lintas, cuaca dan alternatif rute perjalanan.

5.2.2 Komponen Utama ATIS

ATIS terdiri dari beberapa komponen utama yang bekerja secara terintegrasi:

1. Sistem Pengumpulan Data: menggunakan sensor lalu lintas, CCTV, satelit, GPS dan data crowdsourcing dari pengguna jalan serta mengumpulkan informasi mengenai kepadatan lalu lintas, kecelakaan, kondisi jalan dan cuaca.
2. Sistem Pemrosesan dan Analisis Data: menggunakan teknologi Big Data dan *Artificial Intelligence* (AI) untuk menganalisis pola lalu lintas dan memprediksi kondisi jalan di masa yang akan datang serta mengolah data dikumpulkan untuk menghasilkan rekomendasi perjalanan yang optimal.
3. Sistem Penyebaran Informasi: menyampaikan informasi kepada pengguna melalui berbagai media seperti:
 - Aplikasi Navigasi (Google maps, waze, moovit)
 - Variable Message Signs (VMS) di jalan raya
 - Situs web dan media sosial
 - Radio dan televisi
 - Pemberitahuan SMS dan notifikasi aplikasi.
4. Sistem Umpan Balik Pengguna: memungkinkan pengguna untuk melaporkan kondisi lalu lintas

secara langsung melalui aplikasi navigasi atau media sosial serta data yang dikirim oleh pengguna digunakan untuk meningkatkan akurasi prediksi dan memberikan informasi lebih relevan.

5.2.3 Prinsip Kerja ATIS

ATIS bekerja berdasarkan prinsip pengumpulan, pemrosesan, dan penyebaran informasi untuk membantu pengguna dalam mengambil keputusan perjalanan yang lebih efisien. Alur kerja ATIS sebagai berikut :

1. Pengumpulan data: sensor lalu lintas, GPS, CCTV dan sumber lainnya serta data dari pengguna seperti laporan kemacetan atau kecelakaan juga dikumpulkan.
2. Pemrosesan dan Analisis: data yang dikumpulkan di analisis menggunakan algoritma berbasis AI dan Big Data untuk mendeteksi pola lalu lintas dan memprediksi kondisi perjalanan serta sistem akan menentukan rute alternatif terbaik berdasarkan kondisi lalu lintas saat ini.
3. Distribusi informasi: informasi perjalanan disampaikan melalui aplikasi navigasi, papan informasi elektronik (VMS), radio dan media lainnya serta pengguna menerima rekomendasi rute terbaik, informasi kecelakaan dan estimasi waktu perjalanan.
4. Umpan balik dan optimalisasi: sistem ATIS terus memperbaharui data berdasarkan laporan pengguna dan perubahan kondisi lalu lintas secara real time serta informasi yang dikumpulkan dari pengguna lain akan membantu meningkatkan akurasi prediksi sistem.

5.2.4 Teknologi yang Digunakan dalam ATIS

ATIS mengandalkan berbagai teknologi modern:

1. Sistem Sensor dan *Internet of Things* (IoT): sensor lalu lintas dan CCTV digunakan untuk memantau arus kendaraan dan mendeteksi kecelakaan serta GPS dan Satelit menyediakan data lokasi kendaraan, pergerakan lalu lintas secara real time.
2. *Artificial Intelligence* (AI) dan Machine Learning: digunakan untuk menganalisis pola lalu lintas, memprediksi kepadatan jalan dan memberikan rekomendasi rute terbaik serta AI membantu mengoptimalkan jadwal transportasi umum berdasarkan data historis kondisi saat ini.
3. Big Data Analytics: memproses data jumlah besar yang dikumpulkan dari berbagai sumber untuk menghasilkan informasi yang akurat serta membantu dalam pengambilan keputusan strategis untuk pengelolaan lalu lintas jangka panjang.
4. Cloud Computing: memungkinkan penyimpanan dan pemrosesan data dalam skala besar dengan aksesibilitas tinggi serta memastikan bahwa informasi dapat diakses oleh pengguna diberbagai lokasi secara real time.
5. Sistem Komunikasi Nirkabel (5G & V2X Communication): 5G memungkinkan transmisi data yang lebih cepat, sehingga pengguna mendapatkan pembaruan lalu lintas secara instan serta Vehicle to Everything (V2X) Communication, teknologi komunikasi antar kendaraan dan infrastruktur jalan untuk meningkatkan keselamatan, efisiensi lalu lintas.

6. Aplikasi Navigasi Berbasis Mobile: google maps, waze, moovit dan aplikasi sejenis menggunakan data ATIS untuk memberikan rekomendasi perjalanan kepada pengguna serta menggunakan sistem pemetaan digital yang terus diperbarui untuk menampilkan kondisi jalan secara akurat.

5.3 Teknologi dan Infrastruktur ATIS

ATIS menggunakan teknologi canggih dan infrastruktur yang kompleks untuk memastikan pengumpulan, pemrosesan dan penyebaran informasi lalu lintas secara real time.

5.3.1 Sistem Pengumpulan Data

Sistem pengumpulan data pada ATIS bertujuan untuk mendapatkan informasi lalu lintas, kondisi jalan dan faktor eksternal lainnya secara real time. Data diperoleh dari berbagai sumber yaitu:

1. Sensor lalu lintas & CCTV: sensor terpasang di jalan raya dan persimpangan untuk mendeteksi jumlah kendaraan, kecelakaan dan pola lalu lintas serta kamera CCTV digunakan memantau kondisi lalu lintas dan mendeteksi insiden seperti kecelakaan atau kemacetan.
2. GPS & Perangkat Navigasi: GPS dari kendaraan dan aplikasi navigasi (Google maps, waze) mengirimkan data posisi kendaraan untuk menganalisis kepadatan lalu lintas serta perangkat GPS pada transportasi umum membantu memantau posisi dan jadwal operasional bus, kereta dan taksi.

3. Crowdsourcing dari Pengguna Jalan: data dikumpulkan dari laporan pengguna melalui aplikasi navigasi atau media sosial. Contoh, pengguna waze dapat melaporkan kecelakaan, kemacetan atau penutupan jalan secara langsung.
4. Data Cuaca dan Kondisi Jalan: informasi dari badan meteorologi mengenai hujan, kabut atau bencana alam digunakan untuk memberi peringatan kepada pengemudi serta sensor lingkungan di jalan mengukur faktor-faktor seperti kelembaban, suhu dan visibilitas.
5. Database Transportasi Umum: informasi mengenai jadwal bus, kereta dan layanan ride sharing dikumpulkan dari sistem manajemen transportasi serta data ini membantu pengguna dalam merencanakan perjalanan yang lebih efisien.

5.3.2 Pemrosesan dan Analisis Data

ATIS melakukan pemrosesan dan analisis menggunakan teknologi canggih:

1. Big Data Analytics: data dari berbagai sumber dianalisis untuk mendeteksi pola lalu lintas, prediksi kepadatan dan estimasi waktu tempuh serta pemrosesan data dalam jumlah besar dilakukan menggunakan sistem berbasis cloud computing.
2. *Artificial Intelligence* (AI) dan Machine Learning (ML): AI digunakan untuk mengolah data lalu lintas secara real time dan memberikan rekomendasi rute alternatif serta ML membantu dalam mengenali pola perjalanan seperti jam sibuk dan titik rawan kecelakaan.

3. Sistem Prediksi Lalu Lintas: dengan kombinasi AI dan Big data, ATIS dapat memprediksi kepadatan lalu lintas di masa mendatang. Misalnya sistem dapat perkirakan kemacetan berdasarkan pola perjalanan histori dan kondisi cuaca.
4. Integrasi dengan ITS (Intelligent Transportation System): ATIS terhubung dengan sistem transportasi cerdas seperti sistem manajemen lalu lintas dan kendaraan otomatis serta data dari kendaraan otonom dan smart traffic lights digunakan untuk meningkatkan efisiensi lalu lintas.

5.3.3 Metode Penyebaran Informasi

ATIS disampaikan kepada pengguna jalan melalui berbagai metode berikut ini :

1. Aplikasi Navigasi dan Mobile Apps
2. Variable Message Signs (VMS)
3. Radio dan Televisi
4. Website dan Media Sosial
5. Layanan SMS dan Notifikasi Push

5.3.4 Peran *Internet of Things* (IoT) dan *Artificial Intelligence* (AI) dalam ATIS

5.3.4.1 Peran *Internet of Things* (IoT)

IoT memegang peranan penting dalam ATIS dengan menghubungkan berbagai perangkat yang berfungsi sebagai perangkat data sebagai berikut :

1. Sensor IoT untuk Pemantauan Lalu Lintas
2. Kendaraan Terhubung (Connected Vehicles)
3. Smart Traffic Lights

4. Sistem Pemantauan Cuaca Jalanan.

5.3.4.2 Peran *Artificial Intelligence* (AI)

1. Analisis Data Lalu Lintas secara Real Time
2. Sistem Navigasi Cerdas
3. Pengelolaan Transportasi Umum
4. Deteksi Insiden Secara Otomatis

5.4 Implementasi ATIS

Implementasi ini telah dilakukan diberbagai negara dengan tujuan meningkatkan efisiensi transportasi, mengurangi kemacetan serta meningkatkan keselamatan pengguna jalan. Sistem ini dintegrasikan dengan konsep *Smart City* dan Intelligent Transportation System (ITS) untuk menciptakan lingkungan transportasi yang lebih cerdas dan terintegrasi.

5.4.1 Contoh Implementasi ATIS di Berbagai Negara

1. Amerika Serikat-511 Traveler Information System: Pemerintah AS mengembangkan Traveler Information System, yang menyediakan informasi real time mengenai kondisi lalu lintas, cuaca dan rute alternatif. Sistem ini dapat diakses melalui telepon, situs web dan aplikasi mobile.
Dibeberapa kota seperti: Los Angeles dan New York, ATIS terintegrasi dengan sistem transportasi umum termasuk jadwal bus dan kereta.
2. Jepang - VICS (Vehicle Information and Communication System): Jepang menggunakan VICS untuk memberikan informasi lalu lintas real time

melalui navigasi kendaraan dan aplikasi mobile. Sistem ini mengumpulkan data dari sensor jalan, kamera lalu lintas dan laporan dari pengemudi.

Jepang telah mengembangkan teknologi smart highway yang menggunakan AI untuk menyesuaikan batas kecepatan berdasarkan kondisi lalu lintas.

5.4.2 Studi Kasus Kota Pintar (*Smart City*) dengan ATIS

ATIS merupakan salah satu komponen utama dalam *Smart City* yang bertujuan menciptakan sistem transportasi yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Kota pintar yang sukses menerapkan ATIS sebagai berikut :

1. Barcelona, Spanyol: Barcelona & Spanyol mengintegrasikan sensor lalu lintas IoT, lampu lalu lintas pintar dan data real time dari transportasi umum. Informasi lalu lintas dapat diakses melalui aplikasi yang memberikan saran rute terbaik dan prediksi kedatangan transportasi umum.
2. Jakarta Indonesia: Jakarta mengembangkan JakLingko yang mengintegrasikan berbagai moda transportasi publik seperti Trans Jakarta, MRT dan KRL. Aplikasi seperti google maps, dan Trafi digunakan untuk memberikan informasi real time mengenai jadwal transportasi umum dan kemacetan. Pemerintah DKI Jakarta menerapkan ETLE (Electronic Traffic Law Enforcement) yang menggunakan kamera AI untuk menilang pelanggar lalu lintas secara otomatis.

5.4.3 Integrasi ATIS dengan Sistem Transportasi Publik

Integrasi ATIS dengan sistem transportasi publik sangat penting untuk meningkatkan efisiensi perjalanan dan mengurangi ketergantungan pada kendaraan pribadi. Beberapa integrasi yang telah diterapkan:

1. Informasi Real Time Transportasi Publik: Aplikasi moovit, citymapper dan trafi menyediakan informasi real time mengenai jadwal bus, kereta dan layanan ride sharing. Notifikasi penundaan atau gangguan layanan dikirim langsung kepada pengguna.
2. Tiket Elektronik dan Sistem Pembayaran Terpadu: beberapa kota seperti, Singapura, London dan Jakarta menggunakan sistem pembayaran terpadu berbasis kartu pintar atau QR code. Pengguna dapat berpindah antar moda transportasi dengan satu sistem pembayaran.
3. Optimalisasi Rute Transportasi Umum: AI digunakan untuk menganalisis pola perjalanan dan mengoptimalkan jadwal serta rute transportasi umum. Contoh, Seoul menggunakan AI untuk menyesuaikan frekuensi bus berdasarkan jumlah penumpang di jam sibuk.

5.4.4 Tantangan dan Hambatan dalam Implementasi ATIS

ATIS memberikan banyak manfaat, beberapa tantangan yang dihadapi dalam implementasinya, yaitu sebagai berikut :

1. **Infrastruktur dan Biaya Implementasi:** penerapan ATIS memerlukan investasi besar dalam sensor IoT, pusat data dan jaringan komunikasi 5G.
2. **Keterbatasan Teknologi dan Interoperabilitas:** integrasi ATIS dengan sistem transportasi yang sudah ada sering memerlukan adaptasi teknologi yang kompleks.
3. **Keamanan Data dan Privasi Pengguna:** sistem ATIS mengumpulkan data dari sensor, GPS dan pengguna jalan sehingga rentan terhadap peretasan dan penyalahgunaan data.
4. **Ketergantungan pada Pengguna:** efektivitas ATIS bergantung pada keterlibatan pengguna dalam berbagai data lalu lintas melalui aplikasi navigasi.
5. **Regulasi dan Kebijakan Pemerintah:** implementasi ATIS memerlukan dukungan regulasi dari pemerintah termasuk kebijakan terkait pengelolaan lalu lintas, integrasi transportasi dan privasi data.

5.5 Manfaat Dan Dampak ATIS

ATIS bermanfaat bagi sistem transportasi, mulai dari peningkatan efisiensi perjalanan hingga pengurangan dampak lingkungan.

5.5.1 Efisiensi Perjalanan dan Pengurangan Kemacetan

Tujuan ATIS adalah mengoptimalkan perjalanan pengguna jalan dengan mengurangi kemacetan dan meningkatkan efisiensi waktu tempuh. Manfaat ATIS dalam efisiensi perjalanan berikut ini:

1. **Penyediaan informasi real time:** ATIS memberikan informasi tentang kepadatan lalu lintas, kecelakaan

dan kondisi jalan sehingga pengemudi dapat memilih rute terbaik.

2. Optimalisasi penggunaan jalan: sistem manajemen lalu lintas cerdas menyesuaikan lampu lalu lintas berdasarkan volume kendaraan untuk mengurangi antrean panjang.
3. Pengurangan waktu tempuh: studi menunjukkan sistem navigasi berbasis ATIS dapat mengurangi waktu perjalanan hingga 15-30% di kota-kota besar. Contoh: di Seoul, Korea Selatan integrasi ATIS dengan transportasi umum berhasil mengurangi kemacetan hingga 20%.
4. Dukungan untuk manajemen lalu lintas di acara besar: ATIS digunakan untuk mengelola arus lalu lintas selama acara besar seperti konser, pertandingan olahraga dan perayaan nasional.

5.5.2 Keamanan dan Keselamatan Transportasi

ATIS berkontribusi besar dalam meningkatkan keselamatan di jalan raya dengan menyediakan informasi penting membantu mencegah kecelakaan. Manfaat ATIS dalam meningkatkan keselamatan yaitu:

1. Peringatan dini terhadap kecelakaan dan insiden
2. Pemantauan kecepatan dan perilaku pengemudi
3. Penyebaran informasi cuaca ekstrem
4. Peningkatan respons darurat.

5.5.3 Dampak Lingkungan dan Pengurangan Emisi

ATIS berperan dalam mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dengan mengoptimalkan penggunaan kendaraan dan mengurangi konsumsi bahan bakar. Manfaat ATIS dalam pengurangan emisi yaitu:

1. Mengurangi konsumsi bahan bakar
2. Pengurangan emisi karbon (CO₂)
3. Promosi kendaraan ramah lingkungan
4. Peningkatan kesadaran lingkungan bagi pengguna jalan

5.5.4 Peningkatan Penggunaan Transportasi Umum

ATIS dalam meningkatkan penggunaan transportasi umum dengan menyediakan informasi yang akurat dan real time mengenai jadwal, rute dan kapasitas kendaraan. Manfaat ATIS dalam transportasi umum yaitu:

1. Informasi real time mengenai transportasi publik
2. Sistem navigasi transportasi multimedia
3. Pengurangan ketergantungan pada kendaraan pribadi
4. Sistem tiket elektronik dan pembayaran digital.

5.6 Masa Depan ATIS

Dengan perkembangan teknologi ATIS terus mengalami inovasi untuk meningkatkan efisiensi, keselamatan dan keberlanjutan sistem transportasi. Masa depan ATIS akan sangat dipengaruhi oleh perkembangan dalam *Artificial Intelligence* (AI), *Internet of Things* (IoT), big

data serta integrasi dengan kendaraan otonom dan konsep smart mobility.

5.6.1 Tren dan Perkembangan Teknologi ATIS

Teknologi ATIS terus berkembang untuk meningkatkan efektivitas sistem informasi perjalanan. Tren utama akan membentuk masa depan ATIS meliputi:

1. *Artificial Intelligence* (AI) dan *Machine Learning* (ML) dalam ATIS. Contoh google map dan waze menggunakan AI untuk memprediksi waktu tempuh berdasarkan pola lalu lintas historis
2. *Internet of Things* (IoT) untuk pemantauan lalu lintas. Contoh Singapura telah menerapkan sistem berbasis IoT untuk memantau lalu lintas dan mengoptimalkan transportasi umum.

5.6.2 Integrasi ATIS dengan Kendaraan Otonom dan *Smart Mobility*

Perkembangan kendaraan otonom dan konsep *smart mobility* akan membawa ATIS ke level yang lebih tinggi, berikut ini :

1. ATIS dan kendaraan otonom (*Autonomous Vehicles/AVs*): kendaraan otonom membutuhkan informasi lalu lintas real time dari ATIS untuk mengambil keputusan berkendara yang lebih aman.
2. Integrasi dengan *smart mobility* dan transportasi berbagi (*shared mobility*): ATIS semakin terhubung dengan ride sharing services seperti gojek, grab dan uber untuk meningkatkan efisiensi transportasi perkotaan.

5.6.3 Potensi Pengembangan ATIS di Indonesia

Indonesia berpeluang untuk mengembangkan ATIS guna mengatasi permasalahan transportasi, terutama di kota-kota besar seperti Jakarta, Surabaya dan Bandung.

1. Penguatan infrastruktur digital: peningkatan jaringan 5G dan IoT based trafic management dapat membantu dalam pengumpulan dan analisis data lalu lintas secara akurat.
2. Integrasi dengan transportasi umum: ATIS diintegrasikan dengan sistem JakLingko di Jakarta, Surabaya Bus di Surabaya dan Trans Jogja di Yogyakarta untuk memberikan informasi real time tentang transportasi umum.

5.6.4 Rekomendasi untuk Pengembangan ATIS di Masa Depan

1. Investasi dalam Infrastruktur digital: Pemerintah dan sektor swasta perlu berinvestasi dalam teknologi IoT, AI dan big data untuk mendukung ATIS
2. Regulasi yang mendukung smart mobility: kebijakan yang jelas diperlukan untuk mempercepat integrasi ATIS dengan transportasi umum dan kendaraan otonom
3. Meningkatkan kesadaran publik: sosialisasi penggunaan ATIS dapat meningkatkan keterlibatan masyarakat dalam berbagi data lalu lintas
4. Kerja sama dengan sektor swasta: kolaborasi dengan perusahaan teknologi dan startup transportasi akan mempercepat adopsi ATIS.

5.7 Kesimpulan

Advanced Traveller Information System (ATIS) merupakan sistem berbasis teknologi yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi, keselamatan dan kenyamanan dalam transportasi dengan menyediakan informasi real time bagi pengguna jalan.

1. Peningkatan efisiensi perjalanan dan pengurangan kemacetan. ATIS membantu pengguna jalan memilih rute terbaik melalui informasi lalu lintas real time sehingga mengurangi waktu tempuh dan kemacetan.
2. Meningkatkan keselamatan dan keamanan transportasi. ATIS memberikan peringatan dini terhadap kecelakaan, cuaca buruk dan kondisi jalan berbahaya, dapat membantu mengurangi angka kecelakaan.
3. Dampak positif terhadap lingkungan. ATIS membantu menekan konsumsi bahan bakar serta emisi gas rumah kaca.
4. Peningkatan penggunaan transportasi umum. ATIS memudahkan akses ke informasi transportasi publik seperti jadwal keberangkatan, kapasitas kendaraan dan rute perjalanan.
5. Integrasi dengan teknologi masa depan. ATIS akan terus berkembang dengan integrasi kendaraan otonom, *smart mobility* dan sistem transportasi berbasis AI.
6. Tantangan dalam implementasi ATIS. Biaya investasi yang tinggi serta keterbatasan infrastruktur digital menjadi hambatan utama dalam penerapan ATIS, terutama dinegara berkembang.

DAFTAR PUSTAKA

- Chen, B.,& Cheng, H.H. (2010). *"A Review of the Applications of Agent Technology in Traffic and Transportation Systems"*. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 11(2), 485-497.
- Daganzo, C.F.(1997). *"Fundamentals of Transportation and Traffic Operations"*. Elsevier Science.
- Google Research.(2021) *"Machine Learning in Traffic Prediction and Navigation System"*. Retrieved from research.google.com
- IBM.(2021). *"AI and Big Data in Intelligent Transport Systems"*. Retrieved from www.ibm.com.
- ITS America.(2020). *"The Role of ATIS in Modern Urban Mobility"*. Retrieved from www.itsa.com
- Ministry of Transportation, Singapore.(2022). *"Smart Transport Initiatives and ATIS Implementation"*. Retrieved from www.mot.gov.sg
- Papacostas, C.S.,& Prevedouros.P.D.(2008). *"Transportation Engineering and Planning"*. Pearson Education.
- Rakha,H.,&Van Aerde,M. (2000). *"Traveler Information Systems: Use and Benefits"*. Proceedings of the IEEE Intelligent Transportation Systems Conference,225-230.
- Shladover,S.E.(2018). *"Connected and Automated Vehicle Systems: Introduction and Overview"*.Journal of Intelligent Transportation Systems, 22 (3), 190-200.

- Transportation Research Board (TRB).(2021). *"Advancement in Traveller Information System and Smart Mobility"*. Retrieved from www.trb.org
- United Nations Economic Commission for Europe (UNECE).(2020). *"The Future of Smart Mobility: Integrating ATIS for Sustainable Transport Development"*. Retrieved from www.unece.org.
- Wang,Y., & Hensher,D.A.(2000). *"Traffic Information and the Use of ATIS: A Review and Future Directions"*. Transportation Research Part C:Emerging Technologies, 112,403-421.
- World Bank.(2021). *"Smart Transport: The Role of Advanced Traveller Information Systems"*. Retrieved from www.worldbank.org.

BAB 6

AUTONOMOUS DRIVING SYSTEM

Oleh Defry Basrin

6.1 Pendahuluan

Bab ini menjelaskan tentang pengertian kendaraan otonom dan cara kerjanya, resiko dan manfaat yang terkait, tidak hanya dari perspektif etika, tetapi juga dari sudut pandang hukum dan lingkungan. Isu utama yang dibahas meliputi tanggung jawab hukum dan keselamatan kendaraan otonom.

Dalam filsafat dan etika, “otonomi” adalah suatu konsep yang menyatakan bahwa manusia harus membuat keputusannya sendiri, tidak ada paksaan, dan harus bebas menetapkan aturan mereka sendiri dalam batas yang wajar (Dalam bahasa Yunani, “autos” berarti diri sendiri dan “nomos” berarti hukum). Jadi, dapat autonomous dapat diartikan sebagai kewenangan dalam mengatur diri sendiri. Berdasarkan hal ini, beberapa ahli menganggap lebih baik menggunakan istilah “kendaraan yang sangat otomatis” atau “kendaraan yang sepenuhnya otomatis” daripada menggunakan istilah “kendaraan otonom”.

Dalam konteks AV, istilah “otonom” digunakan dalam sensor robotika yang lebih umum, yakni kemampuan untuk beroperasi dalam jangka waktu lama tanpa dikendalikan manusia. Namun, istilah tersebut akan tetap digunakan

dalam tulisan ini. Adapun terdapat beberapa tingkatan AV sebagai berikut.

6.2 Tingkatan *Autonomous Driving* (AV)

Terdapat beberapa sistem untuk mengklasifikasikan tingkat mengemudi otonom, terutama yang dibuat oleh *Society of Automotive Engineers* (SAE) di Amerika Serikat dan *Verband der Automobilindustrie* (VDA) di Jerman. Namun, perbedaan antara keduanya hanya terletak pada detailnya. Secara umum, konsep di balik pengklasifikasian ini diantaranya

6.2.1 Level 0: Tanpa Otomatisasi Berkendara

Level 0 dalam sistem otomatisasi kendaraan mengacu pada kendaraan yang sepenuhnya dikendalikan oleh manusia tanpa bantuan teknologi otomatis. Pada level ini, pengemudi bertanggung jawab penuh atas setiap aspek mengemudi, termasuk kemudi, akselerasi, pengereman, dan pengambilan keputusan di jalan. Adapun ciri-ciri dari level 0 diantaranya :

1. Tidak ada kontrol otomatis, artinya semua manuver kendaraan dilakukan secara manual oleh pengemudi
2. Bantuan terbatas. Meskipun tidak memiliki otomatisasi, beberapa fitur keselamatan seperti peringatan tabrakan (*collision warning*) atau kamera belakang dapat tersedia, tetapi fitur ini tidak mengendalikan kendaraan
3. Tanggung jawab penuh berada pada pengemudi. Pengemudi harus selalu waspada dan siap merespons

setiap situasi di jalan tanpa bantuan sistem otomatis, dan

Contoh kendaraan level 0 adalah mobil konvensional tanpa fitur otomatisasi, seperti kebanyakan mobil-mobil yang diproduksi sebelum era sistem bantuan pengemudi modern.

6.2.2 Level 1: *Driver Assistance* (Bantuan Pengemudi)

Pada Level 1 otomatisasi kendaraan, sistem dapat membantu pengemudi dengan satu fungsi otomatisasi tertentu, tetapi pengemudi tetap bertanggung jawab penuh atas pengendalian kendaraan. Adapun ciri-ciri pada level 1 diantaranya;

1. Satu fungsi otomatisasi. Terdapat satu fitur otomatisasi yang membantu pengemudi, tetapi tidak menggantikan kendali penuh.
2. Tanggung jawab pada pengemudi. Meskipun ada bantuan, pengemudi harus tetap memegang kendali kemudi dan siap untuk mengambil alih kapan saja.
3. Fitur yang umum yang ditemukan, diantaranya
 - *Adaptive Cruise Control* (ACC), yakni sistem yang dapat menyesuaikan kecepatan kendaraan berdasarkan jarak dengan kendaraan di depan.
 - *Lane Keeping Assistance* (LKA) yakni sistem yang membantu menjaga kendaraan tetap berada di jalur dengan koreksi kemudi ringan.
 - *Automatic Emergency Braking* (AEB), yakni kendaraan yang dapat melakukan pengereman otomatis saat mendeteksi hambatan di depan untuk menghindari atau mengurangi dampak tabrakan.

Contoh Kendaraan pada level 1 adalah mobil dengan fitur *Adaptive Cruise Control*, tetapi pengemudi masih harus mengendalikan kemudi. Dan kendaraan yang memiliki *Lane Keeping Assistance*, tetapi tidak bisa berbelok sendiri secara penuh.

6.2.3 Level 2: *Partial Driving Automation* (Otomatisasi Berkendara Parsial)

Pada Level 2 otomatisasi kendaraan, sistem dapat mengontrol lebih dari satu fungsi berkendara secara bersamaan, seperti kemudi, percepatan, dan pengereman. Namun, pengemudi tetap harus selalu memantau sistem dan siap mengambil alih kendali kapan saja. Adapun Ciri-ciri level 2 diantaranya;

1. Kendaraan dapat mengemudi sendiri secara parsial. Sistem dapat mengontrol kemudi, akselerasi, dan pengereman secara bersamaan.
2. Pengemudi harus tetap waspada, meskipun kendaraan dapat melakukan sebagian besar tugas mengemudi, pengemudi tetap harus memantau jalan dan siap mengambil alih kendali kapan saja.
3. Batasan di lingkungan tertentu, sistem hanya dapat beroperasi dalam kondisi tertentu, seperti di jalan raya atau dalam situasi lalu lintas yang terkontrol.
4. Masih membutuhkan intervensi manusia. Jika sistem mengalami kebingungan atau menemui situasi yang tidak dapat ditangani, pengemudi harus segera mengambil alih kendali.

Contoh Fitur Level 2 diantaranya; 1) *Autopilot Tesla* – Meskipun dapat mengendalikan kemudi dan kecepatan, pengemudi harus tetap waspada dan memegang setir, 2) *GM Super Cruise* – Dapat mengemudi sendiri di jalan raya yang telah dipetakan sebelumnya, tetapi pengemudi tetap harus memperhatikan jalan, dan 3) *Mercedes-Benz Drive Pilot* – Sistem mengendalikan kendaraan dalam lalu lintas padat, tetapi tetap memerlukan perhatian pengemudi.

Contoh Kendaraan Level 2 diantaranya tesla (Model S, Model 3, Model X, Model Y) dengan fitur Autopilot, Mercedes-Benz dengan Drive Pilot dalam kondisi tertentu, dan general Motors (GM) Super Cruise yang memungkinkan hands-free driving di jalan tol tertentu.

6.2.4 Level 3: *Conditional Driving Automation* (Otomatisasi Berkendara Bersyarat)

Pada Level 3 merujuk pada kendaraan yang dapat mengemudi secara mandiri dalam kondisi tertentu tanpa memerlukan pemantauan terus-menerus dari pengemudi. Namun, jika sistem menemui situasi yang tidak dapat ditangani, kendaraan akan memberikan peringatan kepada pengemudi untuk mengambil alih kendali dalam waktu yang ditentukan (misalnya, 10 detik). Adapun Ciri-ciri level 3 diantaranya:

1. Sistem dapat mengemudi secara mandiri dalam kondisi tertentu, misalnya di jalan raya dengan lalu lintas lancar atau dalam situasi lalu lintas padat.
2. Tidak perlu melakukan pemantauan terus-menerus, pengemudi bisa melepaskan tangan dari kemudi dan tidak harus selalu memperhatikan jalan, tetapi tetap harus siap mengambil kendali jika diminta.

3. Waktu transisi kendali ke pengemudi. Jika sistem menghadapi situasi yang tidak dapat diatasi, kendaraan akan memberikan peringatan dan pengemudi harus mengambil alih dalam waktu tertentu.
4. Terbatas pada lingkungan yang terkontrol. Sistem hanya bekerja di kondisi yang telah diprogram, seperti jalan tol dengan marka yang jelas dan cuaca yang mendukung.

Contoh Kendaraan Level 3 diantaranya 1) Audi A8 (2018) – Diklaim sebagai mobil pertama dengan teknologi Traffic Jam Pilot, yang memungkinkan mobil mengemudi sendiri dalam kemacetan tanpa campur tangan pengemudi, 2) Mercedes-Benz S-Class dan EQS (2021) – Dengan fitur Drive Pilot, yang dapat mengemudi sendiri di jalan tol dengan kecepatan hingga 60 km/jam dalam kondisi tertentu, dan 3) Honda Legend (2021, Jepang) – Mobil pertama yang secara resmi mendapat sertifikasi Level 3 untuk digunakan di jalan umum.

6.2.5 Level 4: *High Driving Automation* (Otomatisasi Berkendara Tingkat Tinggi)

Pada Level 4, kendaraan dapat mengemudi secara mandiri dalam sebagian besar kondisi tanpa memerlukan intervensi pengemudi. Dalam lingkungan yang telah ditentukan (misalnya, kota atau jalan raya tertentu), kendaraan mampu menjalankan semua fungsi mengemudi, termasuk navigasi, percepatan, pengereman, dan perpindahan jalur. Adapun ciri-ciri level 4 adalah

1. Otomatisasi penuh dalam kondisi standar, maksudnya kendaraan dapat mengemudi sendiri dalam kondisi tertentu tanpa memerlukan intervensi manusia.
2. Tidak membutuhkan pengemudi di area yang ditetapkan. Dalam lingkungan yang sesuai, kendaraan dapat beroperasi sepenuhnya tanpa campur tangan pengemudi.
3. Masih memiliki batasan dalam kondisi non-standar, misalnya dalam cuaca ekstrem seperti hujan lebat atau salju tebal, sistem mungkin meminta pengemudi untuk mengambil alih.
4. Dapat beroperasi tanpa setir dan pedal (dalam beberapa kasus). Beberapa kendaraan level 4 dirancang tanpa kemudi atau pedal gas/rem karena tidak memerlukan pengemudi sama sekali dalam kondisi tertentu.

Contoh Kendaraan Level 4 diantaranya; 1) Waymo (Google's Self-Driving Car Project) – Kendaraan otonom yang sudah diuji di beberapa kota dan dapat beroperasi tanpa pengemudi dalam area tertentu (geofenced), 2) Cruise (GM's Autonomous Vehicle) – Mobil listrik otonom yang digunakan untuk layanan taksi tanpa pengemudi di beberapa kota AS, dan 3) Apollo (Baidu) – Proyek kendaraan otonom di China yang bertujuan menyediakan layanan robotaxi Level 4.

6.2.6 Level 5: *Full Driving Automation* (Otomatisasi Berkendara Penuh)

Pada Level 5, kendaraan sepenuhnya otonom dan dapat mengemudi sendiri dalam segala kondisi tanpa memerlukan pengemudi sama sekali. Tidak ada batasan lingkungan atau cuaca yang mengharuskan manusia untuk mengambil alih kendali. Adapun ciri-ciri level 5 adalah

1. Tidak memerlukan pengemudi sama sekali. Dengan kata lain, kendaraan dapat beroperasi sepenuhnya tanpa manusia di dalamnya.
2. Dapat beroperasi di segala kondisi dan tidak terbatas pada area tertentu seperti kendaraan level 4, serta bisa berfungsi di semua jenis jalan dan dalam segala cuaca.
3. Tidak memiliki setir dan pedal karena tidak memerlukan intervensi manusia, kendaraan level 5 kemungkinan besar tidak akan memiliki kemudi atau pedal gas/rem.
4. Sepenuhnya mandiri sehingga mampu menangani semua aspek berkendara, termasuk navigasi, pengambilan keputusan, serta beradaptasi dengan lingkungan yang kompleks dan tidak terduga.

Contoh Konsep Kendaraan Level 5 diantaranya 1) Waymo's Future Vision – Google dan perusahaan otonom lainnya sedang mengembangkan teknologi menuju Level 5. 2) Tesla (Rencana Jangka Panjang) – Elon Musk menyebutkan bahwa Tesla bertujuan mencapai Level 5 dalam pengembangan otonomi masa depan. Dan 3) Mercedes-Benz & BMW (Konsep Masa Depan) – Beberapa produsen mobil mewah sedang mengembangkan teknologi kendaraan tanpa pengemudi.

Kendatipun demikian, kendaraan level 5 memiliki tantangan diantaranya;

1. Regulasi dan keamanan karena banyak negara belum memiliki regulasi yang memungkinkan kendaraan sepenuhnya otonom beroperasi di jalan umum.
2. Teknologi yang masih berkembang, dalam hal ini AI dan sensor kendaraan harus terus disempurnakan agar bisa menghadapi segala situasi di jalan raya.
3. Penerimaan publik dimana masyarakat masih perlu beradaptasi dan mempercayai kendaraan yang sepenuhnya dikendalikan oleh sistem tanpa campur tangan manusia.

Level 5 merupakan puncak dari otomatisasi kendaraan, di mana mobil dapat beroperasi sendiri tanpa bantuan manusia, menjadikannya sepenuhnya otonom dan membuka era baru dalam industri transportasi.

6.3 Situasi Saat Ini

Sampai tahun 2019, belum ada kendaraan otonom yang tersedia secara komersial di luar level 2 atau level 3. Menariknya, sejumlah perusahaan baru malah mulai menantang produsen otomotif tradisional. Beberapa di antaranya sudah masuk pasar, seperti Tesla, sementara yang lain, seperti Waymo, masih dalam tahap pengujian dan pengumpulan data untuk persiapan masuk ke pasar di kemudian hari (Gambar 10.1).

Di sisi lain, uji coba kendaraan otonom sudah cukup luas. Nevada memberikan izin kepada Google untuk menguji kendaraan otonom pada tahun 2009. Di Eropa, Belanda,

Jerman, dan Inggris mengizinkan pengujian AV. Sejumlah negara bagian di AS juga telah mengubah atau menerapkan regulasi baru untuk memungkinkan uji coba kendaraan otonom dalam kondisi tertentu.

Pengujian AV di AS dimulai pada tahun 1995, ketika kendaraan otonom eksperimental yang dikembangkan oleh Carnegie Mellon University berhasil melakukan perjalanan dari Pittsburgh ke San Diego. Platform rideshare seperti Uber dan Lyft juga sedang mengembangkan serta menguji taksi otonom. Singapura menyelesaikan uji coba taksi otonom pada tahun 2018, sementara Jepang berencana memperkenalkan taksi otonom dalam skala besar untuk Olimpiade Tokyo 2020. Selain itu, di beberapa tempat, bus otonom sudah mulai digunakan, biasanya dalam lingkungan yang terkontrol.

6.4 Manfaat Etis Kendaraan Otonom (AVS)

Menurut beberapa studi, kendaraan otonom (AV) dapat memberikan berbagai manfaat dalam hal keselamatan, terutama dengan mengurangi kecelakaan dan insiden fatal. Diperkirakan sekitar 90–95% dari semua kecelakaan lalu lintas disebabkan oleh kesalahan manusia (Crew, 2015).



Gambar 6. 1. Minivan Chrysler Pacifica Hybrid milik Waymo yang sepenuhnya otonom di jalan umum (Sumber : Waymo)

Hal ini menimbulkan pertanyaan apakah masyarakat berkewajiban untuk secara hukum mengizinkan kendaraan otonom. Namun, beberapa pihak berpendapat bahwa keberadaan AV dapat secara tidak langsung menyebabkan jenis kecelakaan tertentu ketika kendaraan otonom secara ketat mengikuti peraturan lalu lintas. Misalnya saja, jika AV mengikuti batas kecepatan jalan raya Atlanta sebesar 55 mph, sementara rata-rata pengemudi manusia berkendara dengan kecepatan 70 mph, kemungkinan besar pengemudi lain akan mencoba menyalip kendaraan otonom tersebut. Hal ini dapat meningkatkan jumlah kecelakaan yang disebabkan oleh manusia. Namun, kendaraan otonom tidak dapat disalahkan atas jenis kecelakaan ini, karena pada dasarnya, pengemudi manusia lah yang tidak mematuhi peraturan lalu lintas sejak awal.

6.5 Kecelakaan dengan Kendaraan Otonom (AVs)

Kecelakaan yang melibatkan kendaraan otonom sudah pernah terjadi beberapa kali. Meskipun jumlahnya sedikit, namun kecelakaan ini menarik banyak perhatian media. Salah satu kecelakaan pertama terjadi pada tahun 2016 dengan kendaraan Tesla, di mana sistem tidak mengenali sebuah truk, yang mengakibatkan kematian pengemudi. Sejak saat itu, peralatan sensor telah mengalami peningkatan (Hawkins, 2018).

Pada Maret 2018, sebuah kendaraan otonom Uber Volvo secara fatal menabrak seorang wanita yang sedang menyeberang jalan di Tempe, Arizona. Kecelakaan ini kemungkinan besar tidak dapat dihindari oleh pengemudi manusia mana pun. Namun, sistem pengereman darurat mobil tersebut sengaja dinonaktifkan untuk menghindari deteksi yang salah (false positives), dan pengemudi cadangan tidak bertindak sebagaimana mestinya (O’Kane, 2018). Kasus lainnya yaitu kecelakaan fatal lainnya terjadi dengan kendaraan Tesla pada Maret 2018 di Mountain View, California, dan di Laguna Beach, California, pada Mei 2018. Dalam kedua kasus tersebut, terungkap bahwa pengemudi mengabaikan beberapa peringatan dari sistem “autopilot.”

Kasus-kasus ini menunjukkan bahwa kita memerlukan aturan yang jelas tentang bagaimana kendaraan otonom harus digunakan oleh pelanggan. Pengemudi tidak boleh duduk di belakang kemudi sambil bermain game atau membaca email. Perusahaan juga harus diwajibkan untuk mengkomunikasikan aturan ini dengan cara yang memadai.

6.6 Pedoman Etis untuk Kendaraan Otonom (AVs)

Selain regulasi yang telah disahkan di berbagai negara, sebuah kode etik juga sudah diadopsi untuk kendaraan otonom (AV). Pada Juli 2016, Menteri Transportasi dan Infrastruktur Digital Jerman membentuk komite etika nasional untuk mengemudi otomatis dan terhubung. Komite ini terdiri dari 14 anggota, termasuk profesor hukum, etika, dan teknik, serta perwakilan dari perusahaan otomotif dan organisasi konsumen. Ketua komite adalah mantan hakim Mahkamah Konstitusi Federal Jerman.

Selain itu, dilakukan juga dengar pendapat dengan para ahli tambahan dari disiplin teknis, hukum, dan etika, serta uji coba berkendara dengan beberapa kendaraan otonom. Pada Juni 2017, komite ini mengajukan 20 pedoman etis untuk kendaraan otonom (Federal Ministry of Transportation and Digital Infrastructure, 2017). Banyak dari pedoman ini memiliki dampak langsung maupun tidak langsung yang signifikan terhadap industri otomotif dan kebijakan etika mereka, baik di Jerman maupun Uni Eropa (Luetge, 2017).

Beberapa peneliti berpendapat bahwa perlu kehati-hatian dalam membahas manfaat etis kendaraan otonom (Brooks, 2017; Marshall, 2018) serta risiko yang terkait dengan teknologi ini (Cummings, 2017). Salah satu permasalahannya adalah bahwa data mengenai jarak tempuh dalam mode otonom mungkin tidak mencerminkan kondisi mengemudi yang sesungguhnya. Selain itu, perilaku kendaraan otonom dapat berbeda dari norma "tidak tertulis" yang biasa diikuti oleh pengemudi manusia (Surden dan Williams, 2016), serta kemungkinan bahwa orang dapat

menempatkan diri mereka dalam risiko lebih besar karena keberadaan kendaraan otonom (Rothenbücher et al., 2016).

Pada tahun 2016, RAND Corporation menyarankan bahwa kendaraan otonom harus menempuh jarak 275 juta mil tanpa kecelakaan fatal untuk membuktikan keamanannya (Kalra dan Paddock, 2016). Namun, para peneliti RAND kemudian juga menyatakan bahwa kendaraan otonom sebaiknya segera diterapkan guna menyelamatkan nyawa lebih banyak (Marshall, 2017).

6.7 Pertanyaan Etis dalam Kendaraan Otonom (AVs)

Setidaknya beberapa kecelakaan menunjukkan bahwa secara etis dapat dipertanyakan untuk menyebut suatu mode sebagai “autopilot” (seperti yang dilakukan Tesla), karena istilah tersebut dapat memberikan makna yang menyesatkan. Padahal, pengemudi mobil Tesla (yang secara resmi dikategorikan sebagai Level 2) tetap diwajibkan untuk selalu menjaga tangan di kemudi. Hanya menyatakan bahwa ini adalah tanggung jawab individu tidaklah cukup seperti yang telah terjadi di berbagai industri lainnya.

Dalam waktu dekat, kendaraan otonom mungkin akan diperkenalkan dalam skala besar. Oleh karena itu, perusahaan memiliki tanggung jawab untuk mengkomunikasikan secara jelas peran dan tanggung jawab pengemudi dalam menggunakan teknologi ini. Selain itu, terdapat berbagai pertanyaan etis lainnya yang biasanya dikaitkan dengan kendaraan otonom (AV).

6.7.1 Akuntabilitas dan Tanggung Jawab Hukum

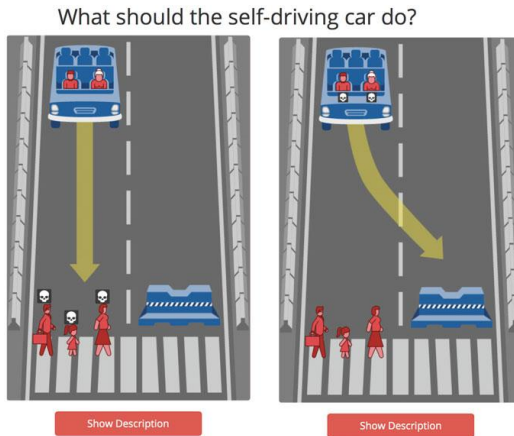
Pertanyaan mengenai tanggung jawab hukum akan menjadi hal yang krusial. Menurut Konvensi Wina tentang Lalu Lintas Jalan Raya 1968 (diperbarui pada 2014 dan mulai berlaku sejak 2016) (United Nations, 1968), pengemudi bertanggung jawab penuh atas kendaraannya. Namun, dalam kasus di mana sistem otonom mengendalikan kendaraan, aturan ini menjadi tidak relevan. Oleh karena itu, Kode Etik Jerman menyatakan bahwa dalam situasi seperti ini, tanggung jawab hukum harus dialihkan kepada produsen mobil serta perusahaan yang mengoperasikan atau mengembangkan perangkat lunaknya.

Dengan demikian, tanggung jawab dalam sistem mengemudi otonom akan menjadi bagian dari tanggung jawab produk (*product liability*). Selain itu, kendaraan otonom kemungkinan akan dilengkapi dengan perangkat pemantauan untuk merekam data selama berkendara. Perekam perjalanan AV di masa depan mungkin akan mirip dengan perekam data penerbangan (*black box*) yang digunakan pada pesawat saat ini.

6.7.2 Situasi Kecelakaan yang Tak Terhindarkan

Banyak literatur tentang etika kendaraan otonom (AV) berfokus pada situasi yang mirip dengan "trolley problem", di mana kecelakaan tidak dapat dihindari dan AV harus memilih antara dua pilihan buruk (Bonnefon et al., 2016; Lin, 2016). Haruskah mobil membelok untuk menghindari menabrak empat orang tetapi justru menabrak satu orang? Apakah faktor usia, seperti anak-anak atau orang tua, perlu dipertimbangkan? Haruskah kendaraan menabrak seseorang yang menyeberang jalan saat lampu merah

dibandingkan seseorang yang mematuhi aturan lalu lintas (lihat Gambar 10.2)



Gambar 6. 2. Contoh pertanyaan dari eksperimen Moral Machine yang dihadapkan orang pada dilema trolley problem (Sumber : MIT)

Seberapa sering situasi ini terjadi dalam praktik masih menjadi perdebatan. Beberapa pihak berpendapat bahwa situasi semacam ini akan sangat jarang terjadi karena kondisi yang memungkinkan sangat terbatas. Namun, jika kita menerima kemungkinan tersebut untuk saat ini, maka salah satu masalah yang harus dihindari adalah menciptakan mesin atau algoritma yang memilih target berdasarkan karakteristik pribadi (seperti usia atau jenis kelamin, yang dilarang oleh Kode Etik Jerman, atau Social Credit Score).

Meski begitu, perusahaan masih dapat merancang kode yang bertujuan untuk mengurangi jumlah korban jiwa atau cedera secara keseluruhan. Ini adalah masalah yang kompleks, yang biasanya tidak sesederhana memilih satu dari beberapa target untuk dikorbankan dengan kepastian. Misalnya, kemungkinan cedera atau korban jiwa dapat

berbeda untuk setiap individu dalam suatu kejadian. Hal ini dapat menciptakan situasi yang rumit di mana tidak etis untuk mengabaikan peluang dalam mengurangi total kerugian bagi manusia.

Penting untuk diperjelas bahwa kendaraan otonom saat ini tidak melakukan perhitungan *trolley problem*. Kendaraan ini hanya berusaha menghindari semua rintangan dan tidak berusaha mengidentifikasi jenis rintangan, meskipun dalam beberapa kasus, kendaraan mungkin menghindari rintangan berdasarkan ukuran.

Mobil sudah dapat mengetahui jumlah penumpang karena dilengkapi dengan sistem peringatan sabuk pengaman. Komunikasi nirkabel antar mobil juga sudah tersedia. Dalam kasus tabrakan yang tak terhindarkan, secara teknis memungkinkan bagi dua mobil untuk bernegosiasi mengenai perilaku berkendara, mirip dengan *Traffic Collision Avoidance System* yang saat ini digunakan di pesawat. Mobil dengan lebih banyak penumpang mungkin akan diberikan prioritas. Meskipun kemungkinan teknis ini ada, keputusan apakah sistem seperti ini diinginkan atau tidak akan bergantung pada masyarakat.

Namun, kode etik Jerman secara eksplisit tidak menyatakan bahwa korban individu dalam berbagai skenario dapat diperbandingkan satu sama lain. Dalam beberapa hal, ini merupakan pelajaran dari "Luftsicherheitsgesetz" (Undang-Undang Keamanan Penerbangan Jerman) yang dinyatakan inkonstitusional oleh Mahkamah Konstitusi Federal Jerman pada tahun 2006. Undang-undang ini awalnya memungkinkan penembakan terhadap pesawat yang dibajak jika dianggap akan digunakan sebagai senjata. Dalam kasus tersebut, individu

yang telah diketahui identitasnya akan dikorbankan demi keselamatan orang lain.

Namun, dalam kasus program otonom, tidak ada korban yang diketahui secara individu sebelumnya. Sebaliknya, keputusan yang dibuat adalah berdasarkan pedoman abstrak, dengan konsekuensi yang tidak dapat diprediksi secara pasti, tetapi bertujuan untuk mengurangi risiko keseluruhan bagi semua orang yang terlibat. Dengan cara ini, risiko tersebut dapat dianggap mirip dengan risiko yang muncul dalam proses vaksinasi.

Akhirnya, pihak yang tidak terlibat dalam situasi lalu lintas dengan kendaraan otonom (AV) tidak boleh dikorbankan. Ini berarti bahwa algoritma tidak boleh secara otomatis menyelamatkan pengemudi AV dengan mengorbankan orang lain. Namun, sebagaimana dinyatakan dalam Kode Etik Jerman, pengemudi juga tidak boleh menjadi pihak terakhir yang diprioritaskan. Karena pada akhirnya, akan muncul pertanyaan “siapa yang ingin membeli mobil seperti itu?”

6.7.3 Masalah Privasi

Masalah privasi semakin mendapat perhatian terutama dengan adanya perkembangan seperti Peraturan Perlindungan Data Umum Eropa (GDPR) yang mulai berlaku pada 2018, juga relevan untuk kendaraan otonom (AV). Kendaraan ini mengumpulkan sejumlah besar data setiap detik saat mereka bergerak, yang sangat penting untuk mengevaluasi kinerjanya dan meningkatkan keselamatan.

Di sisi lain, data tersebut bisa sangat bersifat pribadi, melacak lokasi penumpang serta perilaku pengemudi. Data ini mungkin digunakan untuk tujuan yang tidak sesuai

dengan maksud awal pengumpulannya. Pada akhirnya, menyalakan mesin AV kemungkinan akan berarti bahwa pengemudi (dan/atau penumpang) secara otomatis menyetujui syarat dan ketentuan dari produsen mobil, yang akan membutuhkan akses ke data tersebut.

Perlu juga dicatat bahwa masalah ini dipandang dari perspektif yang berbeda di berbagai wilayah di dunia, terutama di Amerika Serikat atau China, di mana pengumpulan data dianggap kurang bermasalah dibandingkan, misalnya, di Jerman atau negara-negara Uni Eropa lainnya.

Kendaraan otonom menghasilkan data saat bergerak dari satu lokasi ke lokasi lain. Data ini mungkin mencakup pengamatan terhadap individu di dalam mobil. Selain itu, pengamatan ini dapat digunakan untuk mengevaluasi apakah seseorang diizinkan mengemudikan kendaraan atau tidak. Teknologi dapat digunakan untuk mencegah orang dengan lisensi yang ditangguhkan atau masalah alkohol dari mengemudi. Dalam kasus kendaraan otonom, kendaraan itu sendiri mungkin dapat menentukan apakah perilaku seseorang menunjukkan tanda-tanda mabuk dan memutuskan apakah akan mengizinkan orang tersebut mengemudi atau tidak. Yang lebih mengkhawatirkan adalah ketika kendaraan otonom menggunakan data tentang keadaan emosional, suasana hati, atau kepribadian seseorang untuk menentukan apakah hak mengemudi mereka harus dibatasi.

6.7.4 Keamanan

Keamanan kendaraan otonom (AV) merupakan isu penting, karena peretas dapat menembus sistem keamanan mobil dan menyebabkan kerugian besar. Misalnya, pada

tahun 2015, peretas berhasil mengendalikan sebuah Jeep Cherokee dari jarak jauh saat sedang dikendarai (Greenberg 2015). Mobil dapat diprogram ulang untuk sengaja mengalami kecelakaan, bahkan dalam skala besar. Oleh karena itu, teknologi keamanan terancang harus diterapkan untuk memastikan bahwa AV seaman mungkin.

6.7.5 Desain yang Tepat untuk Antarmuka Manusia-Mesin

Antarmuka antara pengemudi manusia dan kendaraan otonom (AV) sangat penting, karena dalam situasi lalu lintas, waktu adalah faktor yang sangat krusial (Carsten dan Martens 2018). Harus selalu jelas siapa yang sedang mengendalikan kendaraan, prosedur pengalihan kendali harus didefinisikan dengan jelas, dan pencatatan perilaku serta kendali kendaraan harus diprogram dengan cara yang sesuai.

6.7.6 Machine Learning

Perangkat lunak AV pasti akan menggunakan pembelajaran mesin secara offline. Sistem ini akan belajar dari skenario lalu lintas yang mereka temui, dari kecelakaan, atau dari data yang dihasilkan oleh kendaraan lain. Namun, kendaraan tidak secara dinamis belajar tentang siapa dan apa yang harus dihindari saat mereka sedang berkendara.

Selain itu, pembelajaran biasanya terjadi pada tingkat seluruh armada kendaraan. Bahkan dalam konteks ini, proses pembelajaran harus cukup kuat sehingga kesalahan kecil (atau manipulasi eksternal) tidak menyebabkan dampak negatif dalam skala besar. Kendaraan yang belajar sendiri tanpa pengawasan dapat menjadi tidak stabil dan tidak dapat diprediksi.

6.7.7 Pengabaian Perintah (*overruling*) system secara manual

Akhirnya, satu masalah yang belum terselesaikan adalah apakah kendaraan otonom (AV) level 4 atau 5 harus diprogram sedemikian rupa sehingga pengemudi dapat membatalkan keputusan sistem otonom kapan saja. Para insinyur secara teratur menolak kemungkinan ini, dengan menyatakan bahwa fitur tersebut akan membuat sistem jauh lebih rentan daripada seharusnya. Waymo bahkan berargumen bahwa mobilnya akan menghindari tabrakan dengan pengendara motor pada tahun 2018 jika pengemudi tidak mengambil kembali kendali (Laris, 2018).

Sebaliknya, ada yang berpendapat bahwa menolak kemungkinan pembatalan (*overruling*) akan membahayakan penerimaan kendaraan otonom (AV). Setidaknya dalam situasi saat ini, di mana masyarakat belum terbiasa dengan teknologi tersebut, mungkin lebih baik untuk mengizinkan pembatalan, sehingga pengemudi merasa lebih nyaman. Namun, hal ini bisa ditinjau kembali di masa depan

6.7.8 Kemungkinan Pertanyaan Etis dalam Skenario Masa Depan

Meskipun pertanyaan etis yang disebutkan sebelumnya relevan saat ini, ada beberapa aspek etis dari kendaraan otonom (AV) yang sering dibahas di ruang publik, meskipun mungkin hanya akan menjadi relevan di masa depan yang jauh. Salah satunya adalah apakah pengenalan AV dalam skala besar dapat menyebabkan sentralisasi kekuasaan yang kritis di pusat kendali teknologi ini, yang pada gilirannya dapat mengarah pada pengawasan total terhadap warga dan/atau penyalahgunaan, baik secara sengaja maupun tidak disengaja. Tentu saja, ada beberapa

skenario yang perlu diperhatikan di sini, meskipun skenario *Big Brother* mungkin tidak realistis karena mengabaikan persaingan di antara berbagai perusahaan.

Hasil diskusi lain yang sering disebutkan adalah apakah kendaraan otonom (AV) mungkin akan menjadi wajib pada suatu saat di masa depan, sehingga melarang penggunaan kendaraan non-otonom sepenuhnya (Sparrow dan Howard 2017). Kami percaya bahwa saat ini masih terlalu dini untuk mengambil keputusan mengenai hal ini. Tentu saja, harus ada diskusi publik tentang apakah langkah seperti itu harus diambil. Namun, untuk saat ini, secara teknis kita masih jauh dari penerapannya, dan setidaknya dalam beberapa dekade ke depan, kita lebih mungkin menghadapi situasi lalu lintas campuran, di mana kendaraan otonom akan berbagi jalan dengan kendaraan tradisional. Studi memprediksi bahwa situasi ini sudah akan secara signifikan mencegah banyak kecelakaan dan menyelamatkan banyak nyawa (Crew 2015)

DAFTAR PUSTAKA

- Bonnefon, Jean-François, Azim Shariff, and Iyad Rahwan. (2016). The social dilemma of autonomous vehicles. *Science* 352 (6293): 1573-1576. doi: <https://doi.org/10.1126/science.aaf2654>. ISSN 0036-8075.
- Brooks, Rodney. 2017. Unexpected consequences of self driving cars. Rodney Brooks Blog. <https://rodneybrooks.com/unexpected-consequences-of-self-driving-cars/>.
- Carsten, Oliver, and Marieke H. Martens. 2018. How can humans understand their automated cars?
- Cummings, Missy. 2017. The brave new world of driverless cars. *TR News* 308: 34-37. <https://trid.trb.org/view/1467060>.
- Federal Ministry of Transportation and Digital Infrastructure. 2017. Ethics commission - auto-mated and connected driving. BMVI. https://www.bmvi.de/SharedDocs/EN/Documents/G/ethic-commission-report.pdf?_blob=publicationFile.
- Greenberg, Andy. 2015. Hackers remotely kill a jeep on the highway-with me in it. *Wired*. <https://www.wired.com/2015/07/hackers-remotely-kill-jeep-highway/>.

- Hawkins, Andrew J. 2018. Elon musk still doesn't think lidar is necessary for fully driverless cars. The Verge. <https://www.theverge.com/2018/2/7/16988628/elon-musk-lidar-self-driving-car-tesla>.
- Kalra, Nidhi, and Susan M. Paddock. 2016. Driving to safety: How many miles of driving would it take to demonstrate autonomous vehicle reliability? *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 94: 182-193. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.09.010>.
- Laris, Michael. 2018. A waymo safety driver collided with a motorcyclist. The company says a self-driving minivan would have done better. *Washington Post*. https://www.washingtonpost.com/technology/2018/11/06/waymo-safety-driver-collides-with-motorcyclist-company-says-self-driving-minivan-would-have-done-better/?utm_term=.e48719a57a13.
- Luetge, Christoph. 2017. The german ethics code for automated and connected driving. *Philosophy & Technology* 30 (4): 547-558. <https://doi.org/10.1007/s13347-017-0284-0>. ISSN 2210-5441.
- Lin, Patrick. 2016. Why ethics matters for autonomous cars. In *Autonomous driving*, ed. Markus Maurer, J. Christian Gerdes, Barbara Lenz, Hermann Winner, et al., 70-85. Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-48847-8_4. ISBN 978-3-662-48845-4.

- Marshall, Aarian. 2017. To save the most lives, deploy (imperfect) self-driving cars asap. Wired. <https://www.wired.com/story/self-driving-cars-rand-report/>.
- Marshall, Aarian. 2018. We've been talking about self-driving car safety all wrong. Wired. <https://www.wired.com/story/self-driving-cars-safety-metrics-miles-disengagements/>.
- O'Kane, Sean. 2018. Uber reportedly thinks its self-driving car killed someone because it 'decided' not to swerve. The Verge. <https://www.theverge.com/2018/5/7/17327682/uber-self-driving-car-decision-kill-swerve>.
- Rothenbücher, Dirk, Jamy Li, David Sirkin, Brian Mok, and Wendy Ju. 2016. Ghost driver: A field study investigating the interaction between pedestrians and driverless vehicles. In 25th IEEE international symposium on robot and human interactive communication (RO-MAN), 795-802.
- Sparrow, Robert, and Mark Howard. 2017. When human beings are like drunk robots: Driverless vehicles, ethics, and the future of transport. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 80: 206-215. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2017.04.014>.
- Surden, Harry, and Mary-Anne Williams. 2016. Technological opacity, predictability, and self-driving cars. *Cardozo Law Review* 38: 1-52. <http://hdl.handle.net/10453/120588>.

BAB 7

VARIABLE MESSAGE SIGN

Oleh Anton Kaharu

7.1 Peran VMS dalam Sistem Transportasi Cerdas

Sistem Transportasi Cerdas (*Intelligent Transportation Systems*, ITS) merupakan suatu sistem terintegrasi yang memanfaatkan teknologi informasi dan komunikasi untuk meningkatkan efisiensi, keselamatan, dan keberlanjutan sistem transportasi. Variable Message Signs (VMS) atau secara mendasar (harfiah) dapat dimaknai sebaga “rambu multi pesan”, memainkan peran krusial dalam kerangka kerja ITS ini. VMS, sebagai alat penyampaian informasi lalu lintas secara real-time, berkontribusi signifikan dalam mengoptimalkan aliran lalu lintas, meningkatkan keselamatan pengguna jalan, dan mengalokasikan sumber daya secara efisien. Uraian ini akan mengeksplorasi berbagai aspek VMS dalam implementasi ITS, mulai dari teknologi dan mekanisme kerjanya hingga pengaruhnya terhadap perilaku pengemudi dan optimasi penempatannya. Selanjutnya, uraian ini akan membahas tantangan dan perkembangan masa depan teknologi VMS (Johnston et al., 2006). Sistem VMS, sebagai komponen kunci dalam manajemen insiden, bertujuan meminimalkan dampak keselamatan, efisiensi, keandalan, dan lingkungan dari operasi dan insiden sistem (Johnston et al., 2006). Penggunaan VMS juga memberikan perlindungan hukum

bagi operator karena menunjukkan upaya komunikasi telah dilakukan. Dalam upaya mengurangi masalah transportasi seperti kecelakaan, polusi, dan kemacetan, berbagai pendekatan telah diusulkan, termasuk VMS yang menampilkan situasi lalu lintas kepada pengemudi di jalan raya.

Berikut gambar ilustrasi Variable Message Sign (VMS) yang menampilkan informasi lalu lintas di jalan tol. Gambar ini menunjukkan papan VMS yang terpasang di atas jalan, lengkap dengan tulisan informasi lalu lintas.



Gambar 7. 1. Ilustrasi dari Variable Message Signs (VMS)

Berikut beberapa contoh Variable Message Sign (VMS) yang digunakan di Indonesia:

a. VMS di Jalan Tol Cipali

ASTRA Tol Cipali memiliki 9 unit VMS, termasuk dua unit utama di KM 72 arah Cirebon dan KM 189 arah Jakarta. VMS ini menampilkan informasi seperti imbauan, peringatan, larangan, petunjuk, dan informasi seputar pekerjaan di lajur (lintasmarga.com)

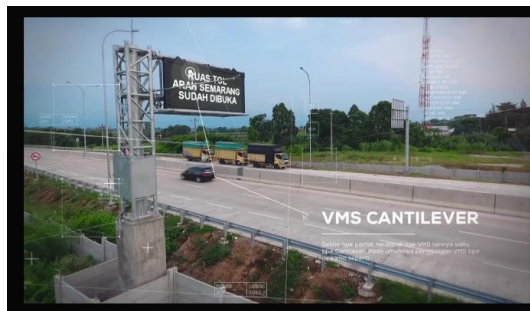


Gambar 7. 2. VMS di Jalan Tol Cipali

Sumber: <https://www.youtube.com/watch?v=TiGGbHU6k9U>

b. VMS di Jalan Tol Trans Jawa

PT Jasa Marga mengoperasikan VMS yang menampilkan informasi seperti kondisi jalan, info kecelakaan, dan himbauan lainnya. Layar tersebut membantu pengguna jalan mendapatkan informasi terkini saat melintasi ruas tol Trans Jawa (instagram.com).



Gambar 7. 3. VMS di Jalan Tol Trans Jawa

Sumber: <https://dct.co.id/variable-message-sign/>

c. VMS oleh PT DCT Total Solutions

PT DCT Total Solutions menyediakan layanan instalasi VMS pada jalan tol di Indonesia. VMS ini berfungsi untuk

menampilkan informasi lalu lintas, peringatan keselamatan, dan kondisi cuaca buruk (dct.co.id).



Gambar 7. 4. VMS oleh PT DCT Total Solutions

Sumber: <https://javadeka-led.com/produk-vms/>

d. VMS oleh Javadeka LED

Javadeka LED menawarkan produk VMS yang digunakan di jalan tol untuk menampilkan batas kecepatan dinamis, informasi kemacetan, atau kondisi cuaca buruk. Fungsi utama VMS ini adalah memberikan informasi lalu lintas, peringatan keselamatan, dan cuaca ekstrem (dct.co.id).



Gambar 7. 5. VMS oleh Javadeka LED

Sumber: <https://dct.co.id/articles/fungsi-instalasi-vms-pada-jalan-tol-di-indonesia/>

Selain itu, 3M Indonesia menawarkan sistem VMS pintar yang menampilkan data lalu lintas real-time, membantu pengendara mendapatkan informasi terkini (3m.co.id). Penggunaan VMS di Indonesia telah membantu meningkatkan keselamatan dan efisiensi lalu lintas dengan memberikan informasi real-time kepada pengguna jalan.

7.2 Teknologi dan Mekanisme Kerja VMS

VMS merupakan perangkat elektronik yang menampilkan pesan-pesan yang dapat diubah secara dinamis untuk memberikan informasi lalu lintas kepada pengguna jalan. Teknologi VMS telah berkembang pesat, dengan berbagai jenis teknologi tampilan yang tersedia, termasuk *Light Emitting Diode* (LED) dan *Liquid Crystal Display* (LCD). LED menawarkan keunggulan dalam hal kecerahan dan daya tahan, sementara LCD memungkinkan tampilan gambar dan warna yang lebih kompleks. Sistem VMS modern terintegrasi dengan berbagai komponen ITS lainnya melalui protokol komunikasi yang standar, seperti *National Transportation Communications for Intelligent Transportation Systems Protocol* (NTCIP). NTCIP memungkinkan interoperabilitas antar perangkat dan sistem dari berbagai produsen, sehingga meningkatkan fleksibilitas dan efisiensi sistem secara keseluruhan. Panduan pengadaan sistem ITS, termasuk VMS, detektor lalu lintas, dan pengontrol sinyal, sangat penting bagi pejabat pemerintah, insinyur lalu lintas, dan integrator sistem (Marshall & Tarnoff, 2006). Sistem VMS menerima, memproses, dan menampilkan informasi lalu lintas real-

time dari berbagai sumber data, seperti sensor lalu lintas, kamera, dan pusat kendali. Data tersebut kemudian diproses dan ditampilkan pada layar VMS dalam bentuk pesan teks, simbol, atau grafik yang mudah dipahami oleh pengemudi. Penggunaan *Common Object Request Broker Architecture* (CORBA) telah memungkinkan pengiriman informasi lalu lintas *real-time* melalui internet, termasuk pembaruan status sinyal matriks dan pengaturan VMS di jaringan jalan raya (Yearworth et al., 2000).

Berikut ini tabel diagram alur kerja VMS dan contoh teks standar VMS Indonesia sesuai regulasi nasional secara sistematis:

Tabel 7. 1. Diagram Alur Kerja VMS

No.	Tahapan Proses	Penjelasan
1	Input Data	Data diperoleh dari sensor lalu lintas (loop detector, CCTV, cuaca, kecepatan angin, dll) dan informasi manual dari operator Dishub atau TMC.
2	Pengolahan Data	Data dianalisis oleh sistem otomatis atau operator untuk menentukan jenis informasi yang perlu disampaikan.
3	Pembuatan Pesan	Sistem atau operator menyusun pesan yang sesuai (contoh: peringatan kecelakaan, cuaca buruk, kemacetan, informasi parkir).
4	Pengiriman	Pesan dikirim ke unit VMS melalui

No.	Tahapan Proses	Penjelasan
	Data ke VMS	jaringan komunikasi (fiber optic, 4G/5G, WiFi, atau radio frekuensi).
5	Penayangan Pesan di VMS	VMS menampilkan pesan dalam bentuk teks atau grafis (ikon), dengan format yang mudah dibaca oleh pengguna jalan.
6	Monitoring dan Update	Sistem terus memantau kondisi terbaru menggunakan sensor/CCTV dan memperbarui pesan VMS sesuai perkembangan situasi.

7.3 Jenis-jenis VMS dan Spesifikasinya

VMS dapat dikategorikan berdasarkan berbagai fitur, termasuk portabilitas, jenis tampilan, dan kapasitas pesan. VMS statis dipasang secara permanen di lokasi tetap, sementara VMS portabel dapat dipindahkan ke lokasi yang dibutuhkan sesuai dengan kondisi lalu lintas. Jenis tampilan bervariasi, mulai dari tampilan teks sederhana hingga tampilan grafik dan animasi yang lebih kompleks. Kapasitas pesan juga bervariasi, dengan beberapa VMS hanya mampu menampilkan pesan pendek, sementara yang lain mampu menampilkan pesan yang lebih panjang dan lebih detail. Sistem VMS dengan tampilan pesan yang dapat berubah, juga dikenal sebagai changeable message signs (CMS), tersedia dalam berbagai jenis di Amerika Serikat dan Kanada. Karakteristiknya meliputi jenis teknologi, jenis dan ukuran karakter, dan daya tampak. Sistem VMS dengan karakter scrolling, seperti yang digunakan di Kyoto,

memiliki spesifikasi tertentu seperti tinggi karakter dan susunan elemen tampilan. Sistem VMS yang lebih tua, seperti yang dideskripsikan dalam (Goldby, 1984), (Kersavage et al., 2020), diklasifikasikan berdasarkan cara operasinya dan menunjukkan masalah yang terkait dengan berbagai lokasi di mana VMS dapat digunakan, tetapi mungkin juga menyebabkan masalah.

7.4 Integrasi VMS dengan Komponen ITS Lainnya

VMS terintegrasi dengan berbagai komponen ITS lainnya untuk membentuk suatu sistem yang komprehensif dan efisien. Pusat kendali lalu lintas (traffic management center, TMC) menerima data lalu lintas dari berbagai sumber, termasuk sensor lalu lintas, kamera, dan detektor loop. Data ini kemudian diproses dan digunakan untuk menghasilkan informasi lalu lintas real-time yang ditampilkan pada VMS. Sistem ini dapat mencakup koordinasi manajemen lalu lintas dan respons insiden, seperti harmonisasi kontrol persimpangan yang disignalkan dengan skema pengalihan lalu lintas. Integrasi VMS dengan sistem kontrol sinyal memungkinkan koordinasi strategi manajemen lalu lintas dan respons insiden yang efektif (Li et al., 2014). Contohnya, model optimasi dapat digunakan untuk merancang strategi tampilan VMS yang optimal sebagai respons terhadap informasi lalu lintas real-time dan koordinasinya dengan sistem ITS lainnya seperti kontrol sinyal (Liu et al., 2018). Penggunaan perkiraan keadaan lalu lintas secara real-time yang diintegrasikan dengan penugasan lalu lintas dinamis (Dynamic Traffic Assignment, DTA) dapat mengoptimalkan kinerja jaringan selama kondisi lalu lintas yang tidak pasti melalui sistem informasi perjalanan (Ahmed, 2015).

7.5 Pengaruh VMS terhadap Perilaku Pengemudi

VMS secara signifikan memengaruhi perilaku pengemudi, terutama dalam pengambilan keputusan rute. Studi menunjukkan bahwa pengemudi cenderung mengalihkan rute perjalanan mereka sebagai respons terhadap informasi lalu lintas yang ditampilkan pada VMS (Diop et al., 2020). Namun, tingkat kepatuhan pengemudi terhadap informasi VMS bervariasi tergantung pada berbagai faktor, termasuk kejelasan pesan, visibilitas VMS, dan karakteristik pengemudi itu sendiri (Kim et al., 2014). Analisis terhadap uji coba lapangan VMS di berbagai kota Eropa menunjukkan bahwa reaksi pengemudi terhadap VMS dan dampaknya terhadap efisiensi jaringan jalan bervariasi tergantung pada jenis informasi lalu lintas yang disampaikan (Chatterjee & McDonald, 2004). Studi di Athena menunjukkan faktor-faktor yang menentukan respons pengemudi terhadap VMS, seperti karakteristik pesan, karakteristik perjalanan, dan karakteristik pengemudi itu sendiri (Spyropoulou & Antoniou, 2015). Studi di Al-Khobar, Arab Saudi, mengevaluasi respons pengemudi terhadap VMS yang digunakan untuk pesan terkait kondisi lalu lintas, menemukan hubungan statistik antara tingkat pengalihan rute dan alasan permintaan perubahan rute tersebut (Ratrouf & Issa, 2014).

7.6 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Respon Pengemudi terhadap VMS

Beberapa faktor kunci memengaruhi respons pengemudi terhadap VMS, termasuk isi pesan, kejelasan, visibilitas, lokasi, dan karakteristik pengemudi. Isi pesan harus singkat, jelas, dan mudah dipahami (Du et al., 2023).

Visibilitas VMS harus memadai, dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti pencahayaan, jarak pandang, dan kondisi cuaca (Wagner et al., 1997). Lokasi penempatan VMS juga penting, dengan mempertimbangkan jarak pandang yang optimal dan ketersediaan rute alternatif (Fancello et al., 2021). Karakteristik pengemudi, seperti usia, pengalaman mengemudi, dan keakraban dengan VMS, juga memengaruhi respons mereka terhadap informasi yang disampaikan. Penggunaan kosakata yang tepat dan format tampilan yang efektif juga penting untuk meningkatkan pemahaman pesan.

7.7 Studi Kasus Implementasi VMS dan Analisis Perilaku Pengemudi

Berbagai studi kasus menunjukkan dampak VMS terhadap perilaku pengemudi dan efisiensi lalu lintas. Studi di Connecticut menunjukkan bahwa lalu lintas meningkat pada rute alternatif selama periode pesan VMS dibandingkan periode tanpa pesan, menunjukkan respons perjalanan pengemudi terhadap pesan-pesan tersebut (Annino & Cromley, 2005). Studi simulasi mengevaluasi efektivitas VMS pada perilaku mengemudi, menunjukkan bahwa karakteristik VMS, lokasi, dan format pesan secara signifikan memengaruhi perilaku pengemudi (Yan & Wu, 2014). Integrasi simulator mengemudi dan simulator lalu lintas memungkinkan subjek mengemudi dalam lingkungan yang realistis, menunjukkan bahwa kepadatan lalu lintas, keandalan VMS, dan kepatuhan pengemudi lebih tinggi ketika simulator diintegrasikan (Jeihani et al., 2017). Studi di Maribor menunjukkan perbedaan antara sistem respons dan non-respons, dan fungsionalitas dan efisiensi sistem respons dalam menghadapi masalah yang tidak terduga (Lutar et al., 2018). Penggunaan model DTA dan simulasi lalu lintas

mikroskopis untuk mengevaluasi kinerja jaringan dengan penyebaran panduan rute prediktif dalam kasus insiden parah telah menunjukkan manfaat signifikan dari penggunaan VMS.

7.8 Optimasi Penempatan dan Pengoperasian VMS

Optimasi penempatan dan pengoperasian VMS sangat penting untuk memaksimalkan efektivitasnya dalam manajemen lalu lintas. Penempatan VMS harus mempertimbangkan topologi jaringan, pola lalu lintas, dan strategi manajemen insiden (Shang Hua-Yan et al., 2007). Model optimasi dapat digunakan untuk menentukan lokasi VMS yang optimal, dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti meminimalkan waktu perjalanan total (Gan et al., 2011). Model ini dapat berupa pemrograman dua tingkat yang memperhitungkan interaksi antara VMS dan distribusi aliran lalu lintas di seluruh jaringan (Gan et al., 2011). Selain itu, pemilihan lokasi VMS juga dapat didasarkan pada persepsi pengemudi dan tingkat kepuasan mereka terhadap layanan berbasis VMS (Wu & Liang, 2017). Evaluasi efektivitas skema lokasi VMS dalam sistem panduan parkir dapat dilakukan dengan menggunakan indeks yang mengungkapkan manfaat langsung dan tidak langsung (Ji et al., 2013). Integrasi strategi panduan perjalanan VMS dan kontrol sinyal lalu lintas memerlukan kerangka kerja sistematis untuk operasi yang kooperatif, dan masalah optimasi dua tahap dapat dirumuskan untuk mengoptimalkan strategi tersebut (Li et al., 2014).

7.10 Model Optimasi Penempatan VMS

Berbagai model dan algoritma optimasi dapat digunakan untuk menentukan lokasi VMS yang optimal. Model pemrograman dua tingkat dapat digunakan untuk memaksimalkan manfaat sistem VMS dengan mempertimbangkan interaksi antara VMS dan distribusi aliran lalu lintas di seluruh jaringan (Gan et al., 2011). Model ini dapat dipecahkan menggunakan algoritma khusus untuk pemrograman dua tingkat. Model lain dapat menggunakan Cell Transmission Model (CTM) untuk mereplikasi dinamika lalu lintas seperti gelombang kejutan dan kemacetan (Shang Hua-Yan et al., 2007). Algoritma optimasi, seperti particle swarm optimization, dapat digunakan untuk mencari solusi optimal untuk penempatan VMS dalam jaringan topologi. Strategi rilis yang diskriminatif dengan indikator okupansi ruang (SOI) dapat digunakan untuk menentukan konten tampilan pada VMS parkir, di mana simulasi berbasis agen diperkenalkan untuk menggabungkan model pilihan parkir dan algoritma penugasan lalu lintas secara dinamis.

7.11 Strategi Perencanaan Pesan VMS yang Efektif

Perencanaan pesan VMS yang efektif sangat penting untuk memastikan bahwa informasi yang disampaikan jelas, ringkas, dan mudah dipahami oleh pengemudi. Panjang pesan harus dipertimbangkan dengan cermat, dengan menghindari pesan yang terlalu panjang atau terlalu singkat (Kersavage et al., 2020). Kejelasan pesan sangat penting, dengan menggunakan bahasa yang sederhana dan mudah dipahami (Acharya & Mekker, 2022). Urgensi pesan harus tercermin dalam desain pesan, dengan menggunakan warna,

ukuran font, dan simbol yang tepat (Sharples et al., 2016). Jenis informasi yang disampaikan juga harus dipertimbangkan, dengan memilih format pesan yang paling sesuai untuk jenis informasi tersebut (Diop et al., 2020). Pertimbangan terhadap kapasitas memori jangka pendek pengemudi juga penting dalam menentukan jumlah informasi yang ditampilkan pada VMS (Du et al., 2023).

7.12 Dampak VMS terhadap Efisiensi dan Keselamatan Lalu Lintas

VMS memberikan kontribusi signifikan terhadap efisiensi dan keselamatan lalu lintas. VMS membantu mengurangi kemacetan dan meningkatkan waktu tempuh dengan memberikan informasi lalu lintas real-time kepada pengemudi, sehingga mereka dapat membuat keputusan rute yang lebih tepat. Pengurangan waktu perjalanan dan konsumsi bahan bakar, serta penurunan tingkat polusi emisi gas buang dan kelelahan pengemudi dapat dicapai melalui manajemen yang cerdas dan solusi lalu lintas yang efisien (Affandi et al., 2017). Sistem VMS yang efektif dapat mengurangi angka kecelakaan dengan memberikan peringatan dini tentang kondisi jalan yang berbahaya atau insiden yang terjadi. Penggunaan VMS bersama dengan adaptasi program sinyal dapat meningkatkan emisi kendaraan, sementara penggunaan VMS atau perubahan rencana sinyal saja tidak memberikan manfaat (Kolbl et al., 2015). Penggunaan VMS untuk mengalihkan lalu lintas dapat memberikan penghematan waktu yang signifikan, meskipun efektivitasnya mungkin terbatas pada jaringan yang sangat padat. Penggunaan VMS dalam sistem manajemen lalu lintas cerdas telah terbukti meningkatkan waktu perjalanan

jaringan dan mengurangi dampak lingkungan (Chatterjee & Mcdonald, 2004).

7.13 Pengurangan Kemacetan dan Peningkatan Waktu Tempuh

VMS berkontribusi pada pengurangan kemacetan dan peningkatan waktu tempuh dengan memungkinkan pengemudi untuk memilih rute alternatif yang kurang padat. Dengan memberikan informasi tentang kondisi lalu lintas real-time, VMS membantu pengemudi menghindari kemacetan dan mengurangi waktu perjalanan mereka (Wu & Liang, 2017). Strategi tampilan VMS yang adaptif, yang dikoordinasikan dengan kontrol sinyal, dapat meningkatkan potensi panduan rute real-time dalam mengatasi kemacetan (Liu et al., 2018). Penggunaan perkiraan keadaan lalu lintas secara real-time dalam model DTA dapat meningkatkan kinerja jaringan dan waktu perjalanan penumpang selama insiden (Ahmed, 2015). Penggunaan data Bluetooth, data detektor loop, dan data VMS dapat digunakan untuk memodelkan pilihan rute pengemudi truk dan menilai keputusan tersebut, yang dapat berpotensi meningkatkan efisiensi jalan raya.

7.14 Peningkatan Keselamatan dan Pengurangan Kecelakaan

VMS meningkatkan keselamatan jalan dan mengurangi kecelakaan dengan memberikan peringatan dini tentang kondisi jalan yang berbahaya atau insiden yang terjadi. Dengan memberikan informasi tentang kecelakaan, pekerjaan jalan, atau kondisi cuaca yang buruk, VMS memungkinkan pengemudi untuk menyesuaikan perilaku

mengemudi mereka dan menghindari situasi berbahaya. Penggunaan VMS dalam manajemen insiden bertujuan meminimalkan dampak keselamatan dari operasi dan insiden sistem (Johnston et al., 2006). Sistem VMS dapat diintegrasikan dengan sistem manajemen insiden untuk memberikan respons yang cepat dan efektif terhadap insiden yang terjadi. Sistem pencegahan tabrakan dengan hambatan di depan, yang diintegrasikan dengan VMS, telah terbukti efektif dalam mengurangi jumlah kecelakaan. Sistem pemantauan jalur bus otomatis telah terbukti meningkatkan waktu perjalanan, mengurangi pelanggaran, dan mengurangi tingkat tabrakan di persimpangan.

7.15 Tantangan dan Perkembangan Masa Depan VMS

Meskipun VMS telah terbukti efektif dalam manajemen lalu lintas, masih ada beberapa tantangan yang perlu diatasi. Salah satu tantangan utama adalah memastikan bahwa informasi yang disampaikan pada VMS akurat, tepat waktu, dan mudah dipahami oleh pengemudi (Amiri & Li, 2022). Tantangan lain adalah meningkatkan keandalan dan keamanan sistem VMS, dengan melindungi sistem dari serangan siber dan memastikan bahwa sistem tersebut selalu beroperasi dengan baik (Amiri & Li, 2022). Perkembangan masa depan VMS akan berfokus pada integrasi dengan teknologi canggih, seperti sistem kendaraan terhubung (V2X) dan kecerdasan buatan (AI) (Lagoa et al., 2024). Penelitian dan pengembangan masa depan juga akan berfokus pada peningkatan desain pesan, peningkatan keterlibatan pengemudi, dan perluasan fungsionalitas VMS (Ahmed, 2015). Penggunaan model berbasis real-time untuk perkiraan keadaan lalu lintas

dalam model DTA memungkinkan pemodelan dan perkiraan parameter perilaku dalam model DTA, yang meningkatkan akurasi proses pemodelan (Ahmed, 2015).

7.16 Integrasi VMS dengan Teknologi Canggih

Integrasi VMS dengan teknologi canggih seperti sistem kendaraan terhubung (V2X), kecerdasan buatan (AI), dan analisis big data akan meningkatkan kemampuan VMS dalam memberikan informasi lalu lintas yang lebih akurat, tepat waktu, dan personal (Ahmed, 2015). Sistem V2X memungkinkan komunikasi langsung antara kendaraan dan infrastruktur, sehingga informasi lalu lintas dapat disampaikan secara langsung kepada pengemudi (Shang et al., 2020). AI dapat digunakan untuk memproses dan menganalisis data lalu lintas dalam jumlah besar, sehingga informasi yang ditampilkan pada VMS lebih akurat dan relevan (Lagoa et al., 2024). Analisis big data dapat digunakan untuk mengidentifikasi pola lalu lintas dan memprediksi kondisi lalu lintas di masa mendatang, sehingga informasi yang ditampilkan pada VMS lebih efektif. Integrasi ini juga dapat meningkatkan keamanan sistem VMS dengan mendeteksi dan menanggapi ancaman siber secara real-time (Amiri & Li, 2022).

7.17 Arah Penelitian dan Pengembangan VMS di Masa Depan

Penelitian dan pengembangan masa depan VMS akan berfokus pada berbagai aspek, termasuk peningkatan desain pesan, peningkatan keterlibatan pengemudi, dan perluasan fungsionalitas VMS. Penelitian tentang desain pesan akan

berfokus pada pengembangan metode untuk merancang pesan yang lebih efektif, dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti panjang pesan, kejelasan, dan urgensi (Lagoa et al., 2024). Penelitian tentang keterlibatan pengemudi akan berfokus pada pengembangan metode untuk meningkatkan perhatian dan pemahaman pengemudi terhadap informasi yang disampaikan pada VMS (Du et al., 2023). Penelitian tentang fungsionalitas VMS akan berfokus pada pengembangan fitur-fitur baru yang dapat meningkatkan efektivitas VMS dalam manajemen lalu lintas, seperti integrasi dengan sistem navigasi dan sistem peringatan bahaya (Wagner et al., 1997). Penelitian lebih lanjut juga diperlukan untuk memahami bagaimana berbagai faktor, seperti usia pengemudi dan tata letak pesan, memengaruhi persepsi visual dan pemahaman tanda pesan variabel (Fancello et al., 2021). Studi lebih lanjut tentang dampak penggunaan kosakata dan konteks presentasi pada pemahaman pesan VMS juga dibutuhkan.

7.18 Kesimpulan

Variable Message Signs (VMS) memainkan peran penting dalam implementasi Sistem Transportasi Cerdas (ITS), memberikan kontribusi signifikan terhadap efisiensi dan keselamatan lalu lintas. VMS efektif dalam mengurangi kemacetan, meningkatkan waktu tempuh, dan meningkatkan manajemen insiden dengan memberikan informasi lalu lintas real-time kepada pengemudi. Optimasi penempatan dan desain pesan VMS sangat penting untuk memaksimalkan efektivitasnya. Perkembangan masa depan VMS akan berfokus pada integrasi dengan teknologi canggih dan peningkatan desain pesan untuk meningkatkan keterlibatan pengemudi dan memperluas fungsionalitas

VMS. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk sepenuhnya memahami dampak VMS pada perilaku pengemudi dan untuk mengoptimalkan desain dan implementasinya (Johnston et al., 2006). Penggunaan VMS yang efektif membutuhkan perencanaan yang cermat dan implementasi yang tepat untuk memaksimalkan manfaatnya bagi pengguna jalan dan operator sistem. Integrasi yang sukses dari VMS ke dalam sistem transportasi cerdas memerlukan pertimbangan yang komprehensif terhadap teknologi, perilaku pengemudi, dan faktor-faktor operasional lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Acharya, S., & Mekker, M. (2022). The verbiage in variable message signs and traffic diversion during crash incidents. *Journal of Intelligent and Connected Vehicles*, 5(3), 333–344. <https://doi.org/10.1108/JICV-06-2022-0022>
- Affandi, A., Rahardjo, D. S., Setijadi, E., Endroyono, E., & Kusrahardjo, G. (2017). Road-map Pengembangan Intelligent Transport System di Surabaya. *IPTEK Journal of Proceedings Series*, 0(1), 53–58. <https://doi.org/10.12962/j23546026.y2018i1.3346>
- Ahmed, A. (2015). *Integration of Real-time Traffic State Estimation and Dynamic Traffic Assignment with Applications to Advanced Traveller Information Systems* (Issue July). The University of Leeds, Institute for Transport Studies.
- Amiri, H., & Li, H. (2022). Paper the Resilience of ITS: Variable Message Signs Contribution to Road Network Resilience under Incident and High Congestion Conditions: A State of the Art Review. *World Journal of Engineering and Technology*, 10(01), 1–27. <https://doi.org/10.4236/wjet.2022.101001>
- Annino, J. M., & Cromley, R. (2005). *Intelligent Transportation Systems and Travel Behavior in Connecticut*. *The Professional Geographer*, 57(1), 106–114. <https://doi.org/10.1111/j.0033-0124.2005.00463.x>

- Chatterjee, K., & Mcdonald, M. (2004). Effectiveness of using variable message signs to disseminate dynamic traffic information: Evidence from field trails in European cities. *Transport Reviews*, 24(5), 559–585. <https://doi.org/10.1080/0144164042000196080>
- Diop, E. B., Zhao, S., Song, S., & Duy, T. Van. (2020). Modelling Travellers' Route Switching Behaviour In Response To Variable Message Signs Using The Technology Acceptance Model. *Transport*, 35(5), 533–547. <https://doi.org/10.3846/transport.2020.12498>
- Du, J., Ren, G., Cui, J., Liu, W., Ma, J., Wu, C., & Cao, Q. (2023). Validity of Variable Message Sign Information: Is It Influenced by Drivers' Short-Term Memory? *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2677(10), 107–123. <https://doi.org/10.1177/03611981231160161>
- Fancello, G., Serra, P., & Pinna, C. (2021). Visual Perception and Understanding of Variable Message Signs: The Influence of the Drivers' Age and Message Layout. *Safety*, 7(3), 60. <https://doi.org/10.3390/safety7030060>
- Gan, H., He, S., & Dong, J. (2011). A model for determining optimal variable message sign locations. *2011 International Conference on Business Management and Electronic Information*, 15–19. <https://doi.org/10.1109/ICBMEI.2011.5914420>
- Goldby, F. J. M. (1984). Variable Message Traffic Signs. *Highways and Transportation*, 31(July), 8–16. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:166517589>

- Jeihani, M., NarooieNezhad, S., & Bakhsh Kelarestaghi, K. (2017). Integration of a driving simulator and a traffic simulator case study: Exploring drivers' behavior in response to variable message signs. *IATSS Research*, 41(4), 164–171. <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2017.03.001>
- Ji, Y., Tang, D., & He, B. (2013). Evaluating the Effectiveness of Variable Message Signs Location Scheme in Parking Guidance System. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 96, 2051–2057. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.231>
- Johnston, K., Ferreira, L., & Bunker, J. (2006). Using Risk Analysis to Prioritize Intelligent Transport Systems: Variable Message Sign Case Study in Gold Coast City, Australia. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1959, 28–36. <https://doi.org/10.3141/1959-04>
- Kersavage, K., Guler, S. I., & Pietrucha, M. (2020). Analysis of Colored Variable Message Signs for Visibility and Comprehensibility. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2674(1), 125–134. <https://doi.org/10.1177/0361198119900127>
- Kim, S., Choi, J., Jeong, S., & Tay, R. (2014). Effects of variable message sign on driver detours and identification of influencing factors. *IET Intelligent Transport Systems*, 8(2), 87–92. <https://doi.org/10.1049/iet-its.2012.0088>

- Kolbl, R., Heilmann, B., Bauer, D., Lenz, G., Litzenberger, M., Cagran, B., Mascia, M., & Hu, S. (2015). An assessment of VMS-rerouting and traffic signal planning with emission objectives in an urban network — A case study for the city of Graz. *2015 International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS)*, 169–176. <https://doi.org/10.1109/MTITS.2015.7223253>
- Lagoa, P., Galvão, T., & Campos Ferreira, M. (2024). Variable Message Signs in Traffic Management: A Systematic Review of User Behavior and Future Innovations. *Infrastructures*, 9(10), 184. <https://doi.org/10.3390/infrastructures9100184>
- Li, M., Jiang, H., Zhang, Z., Ni, W., Zhang, P., & Song, J. (2014). A Simulation-Based Framework for the Cooperation of VMS Travel Guidance and Traffic Signal Control. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014(1). <https://doi.org/10.1155/2014/803647>
- Liu, B., Han, K., & Hu, J. (2018). Global Optimization Framework For Real-Time Route Guidance Via Variable Message Sign. *Paper Submitted to Transportmatrica A*, 23(July). <https://doi.org/https://doi.org/10.48550/arXiv.1611.08343>
- Lutar, R., D.d., N., Zagrebška, Maribor, & Slovenia. (2018). Assessment of Possibilities of On-Line Response Dynamic Traffic Management System Development in Medium Size Urban Areas. *Tehnicki Vjesnik - Technical Gazette*, 25(5). <https://doi.org/10.17559/TV-20160926123551>

- Marshall, K. R., & Tarnoff, P. J. (2006). *Guide to Contracting ITS Projects*. Transportation Research Board. <https://doi.org/10.17226/13925>
- Ratrout, N. T., & Issa, Y. F. (2014). Effectiveness of Newly Introduced Variable Message Signs in Al-Khobar, Saudi Arabia. *PROMET - Traffic&Transportation*, 26(2), 169–177. <https://doi.org/10.7307/ptt.v26i2.1305>
- Shang Hua-Yan, Huang Hai-Jun, & Gao Zi-You. (2007). Locating the variable message signs by cell transmission model. *Acta Physica Sinica*, 56(8), 4342. <https://doi.org/10.7498/aps.56.4342>
- Shang, W.-L., Chen, Y., & Ochieng, W. Y. (2020). Resilience Analysis of Transport Networks by Combining Variable Message Signs With Agent-Based Day-to-Day Dynamic Learning. *IEEE Access*, 8, 104458–104468. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2999129>
- Sharples, S., Shalloo, S., Burnett, G., & Crundall, D. (2016). Journey decision making: the influence on drivers of dynamic information presented on variable message signs. *Cognition, Technology & Work*, 18(2), 303–317. <https://doi.org/10.1007/s10111-015-0362-y>
- Spyropoulou, I., & Antoniou, C. (2015). Determinants of driver response to variable message sign information in Athens. *IET Intelligent Transport Systems*, 9(4), 453–466. <https://doi.org/10.1049/iet-its.2014.0053>
- Wagner, D., Vercruyssen, M., & Hancock, P. (1997). A Computer-Based Methodology for Evaluating the Content of Variable Message Signage. *ITS Journal - Intelligent Transportation Systems Journal*, 3(4), 353–373. <https://doi.org/10.1080/10248079708903730>

- Wu, Z., & Liang, Y. (2017). Variable Message Sign Location Selection Basing on Drivers' Perception. *Transportation Research Procedia*, 25, 1745–1754. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.133>
- Yan, X., & Wu, J. (2014). Effectiveness of Variable Message Signs on Driving Behavior Based on a Driving Simulation Experiment. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2014, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2014/206805>
- Yearworth, M., Taylor, N., Tidmus, J., Fraser, I., & Still, P. (2000). A CORBA service for road traffic information on the Internet. *Proceedings DOA'00. International Symposium on Distributed Objects and Applications*, 231–239. <https://doi.org/10.1109/DOA.2000.874194>

BAB 8

INTEGRATED TICKETING SYSTEM

Oleh Sahabuddin Latif

8.1 Pendahuluan

Sistem tiket terintegrasi atau *Integrated ticketing systems* (ITS) semakin dikenal sebagai kerangka kerja penting untuk meningkatkan efisiensi, aksesibilitas, dan kepuasan pengguna dalam jaringan transportasi perkotaan modern. Ketika kota-kota di seluruh dunia berusaha untuk meningkatkan sistem transportasi umum mereka, tiket terintegrasi telah muncul sebagai komponen penting untuk mencapai pengalaman penumpang yang mulus di berbagai moda transportasi, termasuk bus, kereta api, trem, dan layanan transit lainnya. Pada intinya, sistem tiket terintegrasi memfasilitasi penggunaan satu tiket atau metode pembayaran di berbagai layanan angkutan umum, menyederhanakan pengalaman pengguna dan mendorong penggunaan angkutan umum yang lebih tinggi (Chowdhury et al., 2016). Konsep ini sangat relevan dalam konteks kota pintar, di mana inovasi teknologi bertujuan untuk meningkatkan mobilitas perkotaan melalui sistem transportasi yang efisien dan ramah pengguna.

Motivasi untuk menerapkan sistem tiket terintegrasi berasal dari kebutuhan untuk meningkatkan mobilitas perkotaan melalui akses yang efisien ke berbagai moda transportasi. Metode tiket tradisional sering kali

mengakibatkan inefisiensi seperti antrian panjang, struktur tarif yang rumit, dan ketidakpuasan pengguna secara keseluruhan, terutama di daerah perkotaan yang padat penduduknya (Kokulavani et al., 2023). Tiket terintegrasi mengatasi masalah ini dengan menyediakan antarmuka terpadu untuk pembelian dan validasi tiket, sehingga mengurangi waktu transaksi dan meningkatkan kenyamanan pengguna (Zalar et al., 2018). Selain itu, sistem seperti ini semakin dipandang sebagai alat untuk mempromosikan transportasi umum daripada penggunaan kendaraan pribadi, sehingga berkontribusi pada pengurangan kemacetan lalu lintas dan emisi karbon yang lebih rendah (Zalar et al., 2018).

Cakupan sistem tiket terintegrasi tidak hanya terbatas pada peningkatan efisiensi transportasi dan kepuasan pengguna. Sistem ini juga sangat penting dalam memajukan tujuan yang lebih luas dari inisiatif kota pintar. Dengan memanfaatkan kemampuan pengumpulan dan pengelolaan data, sistem tiket terintegrasi dapat memberikan wawasan yang berharga tentang arus penumpang dan pola penggunaan transportasi, yang sangat penting untuk mengoptimalkan perencanaan kota dan meningkatkan sistem manajemen keadaan darurat (Syafira et al., 2023). Selain itu, sistem ini juga mendukung integrasi konsep-konsep yang sedang berkembang seperti *Mobility-as-a-Service* (MaaS), di mana berbagai pilihan transportasi dikoordinasikan untuk menawarkan pendekatan yang berpusat pada pengguna terhadap mobilitas perkotaan (Preece et al., 2024).

Bab ini bertujuan untuk memberikan gambaran umum yang komprehensif mengenai sistem tiket terintegrasi, dengan fokus pada definisi, kerangka kerja konseptual, dan

kontribusinya dalam meningkatkan efisiensi, aksesibilitas, dan kepuasan pengguna dalam transportasi perkotaan. Bab ini juga menyoroti relevansi ITS dalam konteks kota pintar dan mobilitas perkotaan, dengan menekankan bagaimana kemajuan teknologi dan praktik manajemen strategis dapat berkontribusi dalam mengembangkan sistem transportasi publik yang lebih berkelanjutan dan efisien. Dengan mengkaji berbagai studi kasus dan model teoritis, bab ini berusaha untuk menjelaskan peran penting dari sistem tiket terintegrasi dalam mempromosikan solusi transportasi perkotaan yang kohesif, ramah pengguna, dan ramah lingkungan.

8.2 Gambaran Umum Sistem Tiket Terintegrasi

8.2.1 Definisi dan Konsep

Sistem tiket terintegrasi (ITS) telah muncul sebagai komponen penting dalam kerangka kerja transportasi modern, yang dirancang untuk meningkatkan kenyamanan pengguna dan efisiensi operasional. Sistem ini memfasilitasi transisi yang mulus bagi penumpang di berbagai moda transportasi, mempromosikan pengalaman mobilitas yang terintegrasi. ITS terkait erat dengan konsep-konsep seperti *Mobility as a Service* (MaaS) dan *Collaboration as a Service* (CaaS), yang menekankan pada akses terpadu ke layanan transportasi umum dan pribadi melalui platform yang berpusat pada pengguna (Caballini et al., 2022). MaaS, khususnya, mengkonsolidasikan berbagai layanan transportasi ke dalam satu antarmuka pengguna, memungkinkan perjalanan multi-moda dengan solusi tiket yang terintegrasi. Pendekatan ini bertujuan untuk meningkatkan jumlah pengguna angkutan umum dengan

menyederhanakan akses ke berbagai pilihan perjalanan dan meningkatkan kenyamanan secara keseluruhan (Zhao et al., 2022). Sementara itu, CaaS berupaya untuk mengatasi inefisiensi sistemik dengan meningkatkan integrasi layanan melalui platform perangkat lunak yang kolaboratif, sehingga meningkatkan pengalaman pengguna melalui kerja sama para pemangku kepentingan (Merkert et al., 2020).

Sistem tiket terintegrasi tradisional bergantung pada teknologi seperti kartu pintar atau aplikasi ponsel pintar untuk memfasilitasi pembayaran tarif di berbagai layanan angkutan umum. Solusi yang lebih inovatif, seperti yang menggunakan teknologi *blockchain*, meningkatkan keamanan data dan interoperabilitas, mengatasi masalah seperti penipuan tiket dan kekakuan sistem sekaligus memungkinkan adaptasi terhadap jaringan transportasi yang terus berkembang (Preece et al., 2024).

8.3 Evolusi dan Sejarah

Evolusi sistem tiket dalam transportasi umum dari metode tradisional berbasis kertas ke platform digital didorong oleh kemajuan teknologi, pertimbangan ekonomi, dan dinamika sosial. Sistem tiket awal sangat bergantung pada tiket fisik yang membutuhkan pemrosesan dan distribusi secara manual, yang membatasi efisiensi dan skalabilitas. Perkembangan tiket digital telah mengubah mekanisme pengumpulan tarif, terutama melalui pembayaran nirsentuh dan aplikasi seluler. Khususnya, kartu pintar seperti *Spider Card* di Thailand telah meningkatkan pengalaman pengguna dengan menawarkan metode pengumpulan tarif yang nyaman dan aman. Selain itu, platform tiket mobile telah menyederhanakan operasi,

mengurangi biaya, dan meningkatkan analisis perilaku komuter dengan meminimalkan waktu transaksi dan mengurangi kemacetan di loket tiket (Bartin et al., 2018).

Dari perspektif ekonomi, platform digital telah memberikan manfaat yang signifikan bagi operator angkutan umum dengan mengurangi biaya yang terkait dengan pencetakan, penanganan, dan pengelolaan tiket kertas. Menerapkan solusi *e-ticketing* dapat menghasilkan penghematan finansial sekaligus menciptakan peluang pendapatan baru melalui strategi penetapan harga yang dinamis. Faktor sosial, seperti peningkatan adopsi ponsel pintar dan preferensi untuk transaksi digital, juga telah mempercepat transisi dari sistem tiket tradisional ke sistem tiket terintegrasi. Pandemi COVID-19 semakin memperkuat tren ini, karena pengguna mencari solusi nirsentuh untuk meminimalkan risiko kesehatan yang terkait dengan transaksi tunai (Anggraini and Windasari, 2024).

8.4 Manfaat dan Tantangan

Sistem tiket terintegrasi menawarkan banyak manfaat bagi pengguna dan penyedia layanan. Bagi pengguna, sistem ini menyederhanakan manajemen tarif dengan memungkinkan satu tiket untuk digunakan di berbagai moda transportasi, meningkatkan kenyamanan dan mendorong penggunaan angkutan umum yang lebih besar. Sistem kartu pintar dan opsi tiket elektronik mengurangi waktu tunggu dan mendorong pengalaman perjalanan yang lancar. Bagi penyedia layanan, ITS menyederhanakan proses pengumpulan tarif, mengurangi kasus penipuan tiket, dan meningkatkan kemampuan analisis data, sehingga

meningkatkan optimasi rute dan efisiensi operasional secara keseluruhan (Muhoro et al., 2021).

Terlepas dari keunggulannya, sistem tiket terintegrasi menghadapi tantangan yang signifikan, terutama dalam hal skalabilitas dan interoperabilitas. Diperlukan investasi awal yang substansial dan pendanaan yang berkelanjutan, yang seringkali membebani lembaga pemerintah daerah. Selain itu, kesiapan teknologi dan kesenjangan infrastruktur antara daerah perkotaan dan daerah mempersulit penerapan ITS secara seragam (Shafique et al., 2019). Masalah interoperabilitas, yang timbul dari kurangnya sistem yang terstandardisasi di antara penyedia transportasi yang berbeda, juga dapat merusak pengalaman pengguna dan efektivitas sistem (Preece et al., 2024).

Keberhasilan penerapan sistem tiket terintegrasi membutuhkan upaya untuk mengatasi tantangan-tantangan ini melalui perencanaan strategis dan keterlibatan pemangku kepentingan yang komprehensif. Kebutuhan akan solusi yang fleksibel dan terukur yang dapat beradaptasi dengan kebutuhan mobilitas perkotaan yang terus berkembang sangat penting untuk mempromosikan sistem transportasi umum yang berkelanjutan dan efisien.

8.5 Kerangka Kerja Teknologi

8.5.1 Teknologi IoT, RFID, dan NFC

Teknologi RFID (*Radio Frequency Identification*) dan NFC (*Near Field Communication*) telah menjadi hal yang fundamental dalam meningkatkan efisiensi dan keamanan sistem tiket dalam transportasi umum. Teknologi ini memfasilitasi tiket nirsentuh, meminimalkan interaksi fisik

dan memberikan pengalaman naik pesawat yang mulus. Pergeseran ini sangat bermanfaat dalam mematuhi protokol kesehatan yang diprakarsai selama pandemi COVID-19 (Nugraha et al., 2021). Dengan bertransisi dari tiket kertas tradisional ke sistem digital, teknologi RFID dan NFC memungkinkan pembaruan waktu nyata, validasi tiket instan, dan mengurangi kasus penghindaran tarif (Akshaya and Periasamy, 2023).

Manfaat operasional dari RFID dan NFC meliputi proses tiket yang efisien dan mengurangi beban kerja bagi operator manusia, sehingga mereka dapat fokus pada tugas-tugas yang lebih penting. Teknologi ini juga menawarkan pelacakan pergerakan penumpang yang akurat, yang penting untuk perencanaan kapasitas dan alokasi sumber daya (Sankarananrayanan and Hamilton, 2014). Solusi tiket otomatis yang memanfaatkan RFID dan NFC mengumpulkan data berharga yang berkontribusi dalam mengoptimalkan layanan angkutan umum dengan menganalisis pola perjalanan dan mengidentifikasi waktu penggunaan puncak.

Selain itu, *Internet of Things* (IoT) memainkan peran penting dalam memodernisasi sistem transportasi umum. Aplikasi IoT mencakup pelacakan bus dan kereta api secara *real-time*, memberikan informasi terkini kepada penumpang mengenai jadwal dan penundaan. Kemajuan tersebut meningkatkan efisiensi operasional dengan memprediksi kepadatan penumpang dan menyesuaikan frekuensi layanan yang sesuai. Opsi pembayaran pintar berbasis IoT semakin mendorong integrasi yang mulus dari solusi transportasi multi-moda, yang memungkinkan pengguna untuk berpindah dari satu moda transportasi ke moda transportasi lainnya dengan menggunakan satu sistem tiket (Subramaniyan et al., 2021).

8.5.2 Blockchain dan Keamanan

Teknologi *blockchain* secara signifikan meningkatkan efisiensi, transparansi, dan keamanan sistem tiket terintegrasi. Sebagai sebuah sistem terdesentralisasi, *blockchain* memungkinkan pembaruan secara *real-time* dan transaksi yang aman, menghilangkan hambatan operasional yang terkait dengan kerangka kerja terpusat tradisional. Sebagai contoh, *blockchain* memungkinkan transaksi langsung antara pengguna dan penyedia layanan, menghasilkan pembelian tiket yang lebih cepat dan validasi tanpa perantara. Pendekatan ini sangat penting untuk meningkatkan pengalaman penumpang dalam sistem transportasi publik, terutama yang menerapkan kerangka kerja *Mobility-as-a-Service* (MaaS) (Miron et al., 2024).

Transparansi, sebuah keuntungan penting dari *blockchain*, secara efektif mengatasi masalah seperti penipuan tiket dan *scalping*. Sifat *blockchain* yang tidak dapat diubah memastikan bahwa semua transaksi dicatat dengan aman dan dapat diverifikasi oleh para pemangku kepentingan, sehingga menumbuhkan kepercayaan pengguna. Selain itu, aplikasi *blockchain* dalam sistem tiket terintegrasi melalui kontrak pintar memungkinkan pembuatan kondisi yang telah ditentukan untuk transaksi, sehingga mencegah pemalsuan tiket dan meningkatkan keamanan transaksi. Kemampuan enkripsi *blockchain* lebih lanjut memastikan privasi dan keamanan data pengguna (Subramaniyan et al., 2021).

Mekanisme yang digunakan oleh sistem berbasis *blockchain* termasuk penyimpanan data terdesentralisasi dan kolaborasi pemangku kepentingan, meningkatkan keandalan operasional dan kualitas layanan. Integrasi NFC dan verifikasi biometrik dalam kerangka kerja *blockchain*

juga berkontribusi pada proses validasi tiket yang efisien dan otentikasi pengguna (Sall and Diallo, 2018).

8.5.3 AI dan Pembelajaran Mesin

Sistem tiket terintegrasi mendapat manfaat besar dari pemodelan prediktif dan teknik pengoptimalan yang didukung oleh Kecerdasan Buatan/*Artificial Intelligence* (AI) dan Pembelajaran Mesin/*Machine Learning* (ML). Teknik-teknik ini meningkatkan peramalan permintaan, alokasi sumber daya, dan pengoptimalan pengalaman pengguna dengan menganalisis data historis dan perilaku pengguna. Model-model seperti *XGBoost* dan *Random Forest* telah menunjukkan akurasi yang tinggi, mencapai akurasi hingga 95% dalam memprediksi penjualan tiket (Branda et al., 2020). Selain itu, analisis permintaan lalu lintas multi-mode yang menggabungkan data multi-sumber semakin menyempurnakan prediksi ini, sehingga meningkatkan efisiensi operasional secara keseluruhan.

Strategi penetapan harga dinamis juga didukung oleh model prediktif berbasis AI, yang menyesuaikan harga tiket berdasarkan perkiraan permintaan. Model-model tersebut meningkatkan perolehan pendapatan dengan mengantisipasi kondisi pasar dan perilaku pengguna secara akurat (Mojoodi et al., 2024). Selain itu, sistem berbasis AI yang mengintegrasikan prediksi perilaku pengguna dengan proses pengambilan keputusan memungkinkan pemberian layanan yang disesuaikan dan meningkatkan kepuasan pengguna.

Selain itu, model prediksi perilaku pengguna menginformasikan alokasi sumber daya dan peningkatan layanan dengan menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi kepuasan penumpang, seperti harga tiket dan

aksesibilitas informasi. Analisis perilaku penelusuran berbasis AI pada platform tiket online juga membantu mengoptimalkan strategi pemasaran dan meningkatkan keterlibatan pelanggan (Ling et al., 2019).

Integrasi kerangka kerja teknologi canggih yang melibatkan RFID, NFC, *blockchain*, dan AI/ML menawarkan peningkatan substansial pada sistem tiket terintegrasi. Teknologi-teknologi ini meningkatkan efisiensi, keamanan, dan kepuasan pengguna, yang berkontribusi pada tujuan yang lebih luas dari mobilitas perkotaan yang berkelanjutan dan efektif.

8.6 Integrasi dan Manajemen Data

8.6.1 Pengumpulan dan Penyimpanan Data

Mengelola dan mengintegrasikan data besar secara efektif dalam sistem tiket terintegrasi sangat penting untuk meningkatkan jaringan transportasi umum. Penerapan pendekatan integrasi data multi-sumber, yang menggabungkan data dari berbagai sistem seperti Identifikasi Kendaraan Otomatis/*Automatic Vehicle Identification* (AVI), pelacakan GPS, dan Sistem Tiket Elektronik/*Electronic Ticketing Systems* (ETS), menawarkan pemahaman yang komprehensif tentang pergerakan dan perilaku penumpang. Integrasi ini memungkinkan penjadwalan transportasi dan perencanaan rute yang lebih optimal, sehingga meningkatkan pelayanan secara keseluruhan. Selain itu, dengan menggunakan teknik analisis data yang canggih, termasuk pembelajaran mesin dan pembelajaran mendalam, dapat meningkatkan kemampuan prediksi, sehingga memungkinkan peramalan yang lebih

akurat atas permintaan penumpang dan meningkatkan efisiensi operasional (Ibáñez et al., 2020) .

Big data memainkan peran penting dalam mengembangkan sistem transportasi cerdas (ITS) yang dapat meningkatkan efisiensi operasional dan kepuasan penumpang. Sebagai contoh, menerapkan peringatan informasi kepadatan secara *real-time* dapat meningkatkan pengalaman perjalanan dan membantu otoritas transportasi dalam mengelola sumber daya secara efektif selama jam-jam sibuk. Penggunaan algoritma pembelajaran mesin untuk menganalisis pola data perjalanan historis memungkinkan jadwal transportasi yang lebih adaptif dan responsif yang disesuaikan dengan arus penumpang (Chen et al., 2020).

Selain itu, penerapan data lake dan sistem data terpusat telah terbukti bermanfaat dalam mengoptimalkan integrasi dan manajemen data dalam jaringan transportasi publik. Data lake menyediakan solusi penyimpanan fleksibel yang mampu menangani data yang tidak terstruktur, memfasilitasi penyerapan data *real-time* dalam jumlah besar secara cepat dari berbagai sumber. Pendekatan ini mendukung pengambilan keputusan operasional yang lebih baik dan selaras dengan tujuan perencanaan transportasi perkotaan yang strategis. Selain itu, sistem yang terpusat meningkatkan konektivitas dan aksesibilitas dengan mendorong koordinasi antar moda transportasi yang berbeda (Ghiasi et al., 2011).

8.6.2 Analisis Data

Model analitik prediktif merupakan bagian integral untuk meningkatkan efisiensi operasional dan mengoptimalkan alokasi sumber daya dalam sistem tiket terintegrasi. Model-model ini menggunakan data historis

dan algoritme canggih untuk memprediksi permintaan dan mengoptimalkan alokasi tiket. Sebagai contoh, Bin et al. (2020) menyoroti bagaimana peramalan permintaan, penetapan harga diferensial, dan model kontrol kapasitas dapat memproses data tiket dalam jumlah besar untuk menyelaraskan alokasi tiket dengan permintaan penumpang yang sebenarnya, terutama selama periode puncak ketika fluktuasi paling signifikan. Wang et al. (2022) menekankan pentingnya menggabungkan sistem alokasi tiket dengan mekanisme kontrol kepadatan untuk memaksimalkan pendapatan dan mengatasi masalah arus penumpang secara bersamaan.

Selain itu, penerapan teknik pembelajaran mesin yang canggih dalam sistem alokasi tiket menunjukkan keampuannya dalam pengambilan keputusan secara *real-time*. Seperti yang ditunjukkan oleh Tian et al. (2020), sistem cerdas dapat mengenali berbagai jenis tiket dan secara dinamis beradaptasi dengan kondisi yang berubah, sehingga menyederhanakan pemrosesan tiket dan meningkatkan alur kerja operasional. Kemampuan beradaptasi seperti itu sangat penting untuk sistem tiket terintegrasi karena memungkinkan respons yang gesit terhadap variabel waktu nyata dan mendorong alokasi sumber daya yang efektif.

Sistem pendukung pengambilan keputusan juga berperan penting dalam meningkatkan sistem tiket yang terintegrasi. Sistem berbasis pembelajaran mesin dapat memberikan wawasan yang dapat langsung ditindaklanjuti dengan menganalisis pola dari tiket layanan, memprediksi masalah operasional di masa mendatang, dan memungkinkan penyesuaian sumber daya secara proaktif. Selain itu, kerangka kerja seperti *Analytical Hierarchy Process* (AHP) yang dikombinasikan dengan metodologi

fuzzy menawarkan pendekatan terstruktur untuk pengambilan keputusan yang kompleks, yang memungkinkan untuk memprioritaskan alternatif berdasarkan kriteria dan preferensi pemangku kepentingan (Ikram et al., 2020).

Analisis prediktif dan sistem pendukung keputusan secara substansial meningkatkan sistem tiket terintegrasi dengan meningkatkan alokasi sumber daya dan memfasilitasi pengambilan keputusan secara *real-time*. Penggabungan model pembelajaran mesin yang canggih, peramalan permintaan, dan kerangka kerja pendukung keputusan yang terstruktur secara signifikan berkontribusi dalam mengembangkan strategi tiket yang efisien dan responsif yang bermanfaat bagi operator dan penumpang.

8.7 Area Aplikasi

8.7.1 Sistem Transportasi Umum

Sistem tiket terintegrasi merupakan dasar dari modernisasi transportasi perkotaan, terutama dalam bus, metro, dan kereta api. Untuk menerapkan sistem ini, diperlukan pemanfaatan teknologi canggih untuk meningkatkan efisiensi operasional, meningkatkan pengalaman pengguna, dan mendorong integrasi multimoda yang mulus. Sistem modern umumnya menggunakan teknologi seperti RFID (*Radio Frequency Identification*) dan NFC (*Near Field Communication*) untuk validasi dan manajemen tiket. Teknologi RFID memungkinkan pemrosesan tarif yang cepat, seperti yang ditunjukkan oleh Elzeweidy dan Sayed, yang menyoroti efisiensinya dalam pengaturan kereta metro melalui penghitungan tarif

otomatis berdasarkan jarak yang ditempuh. Selain itu, sistem kartu pintar merampingkan proses pengumpulan tarif, mengurangi waktu tunggu dan meningkatkan kepuasan pengguna secara keseluruhan (Lin and Zhu, 2019).

Aplikasi mobile telah memajukan implementasi sistem tiket terintegrasi. Styoko et al. menjelaskan aplikasi tiket online berbasis Android yang memanfaatkan layanan berbasis lokasi untuk memfasilitasi akses ke layanan transportasi. Sistem validasi tiket otomatis, seperti "Beep4Me", meningkatkan pengalaman transit dengan menyediakan kerangka kerja terpadu untuk berbagai moda transportasi, sehingga meningkatkan efisiensi operasional. Dengan mengintegrasikan berbagai moda transportasi, pusat-pusat kota dapat mengurangi waktu tempuh perjalanan secara keseluruhan dan meningkatkan aksesibilitas, sehingga berkontribusi pada jaringan transportasi umum yang lebih efisien (Cebecauer et al., 2021).

8.7.2 Acara Pariwisata dan Budaya

Sistem tiket digital juga telah menjadi terkenal dalam industri pariwisata, terutama dalam mengelola akses ke acara-acara budaya dan situs-situs warisan budaya. Teknologi seperti NFC, RFID, dan aplikasi seluler menyederhanakan proses pembelian tiket, meningkatkan efisiensi operasional dan kepuasan pengguna. Sebagai contoh, sistem tiket nirsentuh mengurangi waktu tunggu, memberikan pengalaman yang lebih lancar bagi para peserta acara (Zalar et al., 2018).

Adopsi pengguna terhadap sistem tiket digital dipengaruhi oleh persepsi kemudahan penggunaan dan faktor psikologis. Kim et al. (2021) menyoroti bagaimana

pandemi COVID-19 mempercepat penerimaan pengguna terhadap platform digital, meskipun pada awalnya terdapat ketidaknyamanan psikologis. Selain itu, sistem nirsentuh meningkatkan keamanan dengan mengatasi masalah pencurian identitas dan scalping tiket, meningkatkan kepercayaan dan kepuasan pengguna. Selain itu, Kim et al. (2021) menekankan peran tiket digital dalam memperkaya pengalaman wisata warisan budaya dengan menyediakan interaksi yang lebih mudah diakses dan informatif dengan situs budaya.

8.7.3 Pengangkutan dan Logistik

Penerapan sistem tiket terintegrasi dalam manajemen pengiriman barang, khususnya sistem transportasi multimoda, sangat penting untuk meningkatkan efisiensi dan koordinasi. Dengan menyinkronkan berbagai moda transportasi, sistem ini mengoptimalkan pergerakan barang, meningkatkan efisiensi operasional dari tempat asal ke tempat tujuan. Teknologi seperti RFID dan sistem cloud memungkinkan pemantauan waktu nyata, sehingga perusahaan dapat melacak pengiriman secara efektif dan memperbarui rencana operasional sebagai respons terhadap perubahan atau penundaan.

Teknologi pemantauan waktu nyata meningkatkan keandalan manajemen pengiriman dengan menyediakan pembaruan status pengiriman secara terus-menerus, sehingga meningkatkan proses pengambilan keputusan dan mengurangi biaya operasional. Integrasi IoT dan kecerdasan buatan lebih lanjut mendukung optimasi rute dinamis dan analitik prediktif, yang berkontribusi pada efisiensi dan kepuasan pelanggan yang lebih besar. Penerapan sistem tiket terintegrasi dalam logistik angkutan barang menawarkan manfaat yang cukup besar, termasuk

pengurangan biaya, peningkatan layanan, dan peningkatan posisi kompetitif di pasar (Khakdaman et al., 2023).

Sistem tiket terintegrasi memberikan peningkatan substansial di berbagai area aplikasi, termasuk transportasi umum, pariwisata, dan manajemen angkutan. Pengembangan dan pengadopsiannya yang berkelanjutan sangat penting untuk memajukan efisiensi operasional, meningkatkan pengalaman pengguna, dan mempromosikan solusi transportasi yang berkelanjutan.

8.8 Tantangan Implementasi

8.8.1 Tantangan Teknis

Implementasi sistem tiket terintegrasi dalam jaringan transportasi menghadirkan banyak tantangan teknis, terutama yang berkaitan dengan skalabilitas, interoperabilitas, dan keamanan. Masalah skalabilitas muncul dari kebutuhan untuk mengelola permintaan pengguna dan volume transaksi yang meningkat seiring dengan integrasi sistem di berbagai moda transportasi, termasuk bus, kereta api, dan layanan berbagi tumpangan. Meskipun solusi yang muncul seperti kerangka kerja *Mobility-as-a-Service* (MaaS) mengusulkan penggunaan teknologi *blockchain* untuk memfasilitasi kolaborasi antar pemangku kepentingan, skalabilitas teknologi ini di bawah beban operasional yang berbeda-beda tetap menjadi perhatian penting. Memastikan sistem yang elastis yang dapat mengakomodasi perilaku pengguna yang berfluktuasi selama waktu puncak perjalanan sangat penting untuk menjaga proses verifikasi tiket yang efektif dan kinerja sistem secara keseluruhan (Feulner et al., 2022).

Mengatasi masalah skalabilitas membutuhkan integrasi teknologi komputasi awan, yang menyediakan infrastruktur yang diperlukan untuk mendukung basis pengguna yang besar tanpa investasi awal yang signifikan. Sistem seperti ini sangat menguntungkan bagi operator transportasi yang lebih kecil. Solusi hibrida yang menggabungkan teknologi kartu pintar dengan protokol kriptografi yang aman juga dapat meningkatkan keamanan dan skalabilitas dengan mengurangi penipuan dan memastikan validasi tiket yang dapat diandalkan. Selain itu, terminal multifungsi yang mengintegrasikan berbagai fungsi tiket dapat menyederhanakan operasi dan mengurangi waktu tunggu pengguna (Kokulavani et al., 2023).

Tantangan interoperabilitas juga sama pentingnya, karena operator transportasi yang beragam dan sistem lama harus bekerja sama dengan mulus. Sistem berbasis *blockchain* dan standarisasi protokol telah diusulkan untuk meningkatkan interoperabilitas dengan menyediakan pendekatan terpadu untuk berbagi data dan pemrosesan transaksi. Akan tetapi, menyeimbangkan interoperabilitas dengan persyaratan keamanan yang ketat sangatlah penting, terutama dalam mengatasi potensi kerentanan siber sambil menjaga privasi pengguna (Han et al., 2019).

Masalah keamanan juga memainkan peran penting dalam penerapan sistem tiket terintegrasi. Pengguna semakin sadar akan potensi pelanggaran data dan akses tidak sah ke informasi pribadi. Menerapkan teknologi yang menjaga privasi seperti sistem identitas terdesentralisasi dan kontrak pintar dapat meningkatkan kepercayaan dan penerimaan pengguna dengan memastikan pengalaman pembelian tiket yang dapat dipercaya. Metode enkripsi yang kuat dan kebijakan penggunaan data yang jelas diperlukan

untuk mengatasi kompleksitas pengamanan identitas pengguna di lingkungan multi-operator (Marksteiner, 2018).

8.8.2 Hambatan Ekonomi dan Sosial

Faktor ekonomi memainkan peran penting dalam penerapan sistem tiket terintegrasi. Efektivitas biaya menjadi perhatian utama, yang mengharuskan pengeluaran dibenarkan oleh peningkatan efisiensi dan aksesibilitas layanan yang diantisipasi. Seperti yang dicatat oleh Himawan, sistem tiket terintegrasi harus meningkatkan aksesibilitas dan fleksibilitas, yang menuntut investasi yang cukup besar dalam infrastruktur, teknologi, dan strategi pelibatan pengguna (Himawan, 2019). Selain itu, skalabilitas teknologi sering kali bergantung pada keterjangkauan teknologi itu sendiri, sehingga adopsi solusi yang hemat biaya menjadi sangat penting.

Selain itu, kelayakan ekonomi dipengaruhi oleh kemampuan sistem yang terintegrasi untuk mengoptimalkan pengumpulan tarif dan mengurangi biaya operasional. Seperti yang ditunjukkan oleh Prayoonphan dan Xu, sistem seperti *Spider Card* di Thailand memberikan manfaat yang besar bagi pengguna dan operator melalui pengalaman perjalanan yang mulus dan efisiensi pengumpulan tarif yang lebih baik (Prayoonphan and Xu, 2019).

Di luar pertimbangan ekonomi, kesiapan masyarakat dan penerimaan publik merupakan faktor penting yang menentukan keberhasilan sistem tiket terintegrasi. Penerimaan pengguna sering kali bergantung pada utilitas yang dirasakan, kemudahan penggunaan, dan kualitas informasi yang disediakan oleh sistem. Persepsi dan keakraban masyarakat terhadap solusi teknologi secara

signifikan memengaruhi tingkat adopsi, terutama di negara-negara berkembang di mana keterlibatan masyarakat masih menjadi tantangan (Shafique et al., 2019).

Kesiapan masyarakat juga dibentuk oleh keragaman demografis dan ekspektasi pengguna. Faktor-faktor seperti dukungan multibahasa, antarmuka yang mudah digunakan, dan ketersediaan informasi waktu nyata sangat penting untuk mengatasi hambatan dan mendorong adopsi. Untuk mengatasi masalah ini, diperlukan strategi komprehensif yang mempertimbangkan aspek ekonomi, teknis, dan sosial untuk memfasilitasi penerapan sistem tiket terintegrasi yang lebih luas.

Keberhasilan implementasi sistem tiket terintegrasi membutuhkan penanganan tantangan teknis, ekonomi, dan sosial secara komprehensif. Memastikan skalabilitas, meningkatkan interoperabilitas, dan membangun kepercayaan publik melalui langkah-langkah keamanan yang kuat merupakan komponen penting dalam memajukan sistem tiket terintegrasi menuju solusi transportasi yang lebih efisien dan mudah diakses.

8.9 Kesimpulan

8.9.1 Ringkasan Temuan Utama

Bab ini telah memberikan gambaran umum yang komprehensif tentang sistem tiket terintegrasi, menyoroti peran penting mereka dalam meningkatkan efisiensi, aksesibilitas, dan kepuasan pengguna dalam jaringan transportasi perkotaan modern. Diskusi ini menggarisbawahi pentingnya kerangka kerja teknologi, termasuk RFID, NFC, *blockchain*, IoT, dan AI, dalam

memfasilitasi proses pembelian tiket yang lancar. Selain itu, integrasi big data dan analisis prediktif telah menunjukkan potensi yang signifikan dalam meningkatkan alokasi sumber daya dan proses pengambilan keputusan. Studi kasus dari berbagai negara telah mengilustrasikan manfaat dari penerapan sistem tiket terintegrasi, sekaligus mengungkapkan tantangan terkait skalabilitas, interoperabilitas, dan penerimaan masyarakat. Pada akhirnya, implementasi yang sukses membutuhkan pendekatan holistik yang mengatasi hambatan teknis, ekonomi, dan sosial.

8.9.2 Arah Masa Depan

Tren dan teknologi yang sedang berkembang diharapkan dapat mentransformasi sistem tiket terintegrasi lebih lanjut. Inovasi dalam teknologi *blockchain*, AI, dan IoT terus meningkatkan keamanan data, efisiensi operasional, dan pengalaman pengguna. Selain itu, integrasi kerangka kerja *Mobility-as-a-Service* (MaaS) menjanjikan untuk merevolusi bagaimana layanan transportasi diakses dan dikelola. Penelitian di masa depan harus berfokus pada pengembangan sistem yang dapat diskalakan dan dapat dioperasikan yang dapat memenuhi kebutuhan pengguna yang beragam sambil memastikan inklusivitas dan aksesibilitas. Menerapkan protokol standar, meningkatkan langkah-langkah keamanan siber, dan mendorong keterlibatan publik akan sangat penting dalam memfasilitasi adopsi sistem tiket terintegrasi yang lebih luas. Upaya kolaboratif di antara para pemangku kepentingan, termasuk operator transportasi, pembuat kebijakan, dan pengembang teknologi, sangat penting untuk menciptakan solusi transportasi yang berkelanjutan dan efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- Akshaya, M. & Periasamy, A. (2023). Ticketless Transportation System Using RFID Technology. *International Journal of Research Publication and Reviews*, 4(3), 4712-4716.
- Anggraini, A. R. & Windasari, N. A. (2024). Analysis of Customer's Continuous Use of Maritime Transportation Mobile Ticketing Application. *Jurnal Teknologi Dan Sistem Informasi Bisnis*, 6(4), 629-638.
- Bartin, B., Özbay, K. & Yang, H. (2018). Evaluation Framework for Mobile Ticketing Applications in Public Transit: A Case Study. *Iet Intelligent Transport Systems*, 12(9), 1166-1173.
- Bin, W., Ni, S., Jin, F. & Huang, Z. (2020). An Optimization Method of Multiclass Price Railway Passenger Transport Ticket Allocation Under High Passenger Demand. *Journal of Advanced Transportation*, 2020(1-15).
- Branda, F., Marozzo, F. & Talia, D. (2020). Ticket Sales Prediction and Dynamic Pricing Strategies in Public Transport. *Big Data and Cognitive Computing*, 4(4), 36.
- Caballini, C., Corazza, M. V., Costa, V., Delponte, I. & Olivari, E. (2022). Assessing the Feasibility of MaaS: A Contribution From Three Italian Case Studies. *Sustainability*, 14(24), 16743.
- Cebecauer, M., Burghout, W., Jenelius, E., Babicheva, T. & Leffler, D. (2021). Integrating Demand Responsive Services Into Public Transport Disruption Management. *Ieee Open Journal of Intelligent Transportation Systems*, 2(24-36).
- Chen, H., Cai, M. & Chen, X. (2020). Research on Human Travel Correlation for Urban Transport Planning Based on Multisource Data. *Sensors*, 21(1), 195.

- Chowdhury, S., Hadas, Y. & Patel, M. (2016). Tool to Assess Regional Public Transport Plans for Integrated Systems. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 2543(1), 116-124.
- Feulner, S., Sedlmeir, J., Schlatt, V. & Urbach, N. (2022). Exploring the Use of Self-Sovereign Identity for Event Ticketing Systems. *Electronic Markets*, 32(3), 1759-1777.
- Ghiasi, V., Husaini, O., Yusoff, Z., Ghiasi, S., Huat, B. K., Muni, R., Moharam, B., Seyed, G. H., Morteza, S., Nassimsadat, G., Amin, N., Mohammad, A. A., Arun, P. & Kazemian, S. (2011). Urban Rail Network Connectivity in Locating Transfer Stations: A Case Study of Tehran Urban Railway. *Scientific Research and Essays*, 6(9), 1891-1899.
- Han, J., Chen, L., Schneider, S., Treharne, H. & Wesemeyer*, S. (2019). Privacy-Preserving Electronic Ticket Scheme With Attribute-Based Credentials. *Ieee Transactions on Dependable and Secure Computing*, 1-1.
- Himawan, T. (2019). Integrated Ticketing System Pada Transportasi Umum Di Jakarta vs Värmland, Swedia. *Warta Penelitian Perhubungan*, 26(4), 263.
- Ibáñez, J. A. G., Contreras-Castillo, J. & Zeadally, S. (2020). Deep Learning Support for *Intelligent Transportation Systems*. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 32(3),
- Ikram, M., Zhang, Q. & Sroufe, R. (2020). Developing Integrated Management Systems Using an AHP-Fuzzy VIKOR Approach. *Business Strategy and the Environment*, 29(6), 2265-2283.
- Khakdaman, M., Rezaei, J. & Tavasszy, L. (2023). On the Drivers of Demand for Innovative Freight Transportation Services. *Ieee Engineering Management Review*, 51(1), 238-249.

- Kim, S.-H., Yu, H. Y. & Lee, H. W. (2021). Motivational Determinants of Digital Ticketing: The Mediating Effect of Service Satisfaction and the Moderating Effect of Psychological Discomfort. *International Journal of Sports Marketing and Sponsorship*, 23(2), 326-345.
- Kokulavani, K., Sumithra, S. & Purushothaman, R. (2023). Multifunctional Train Ticket Service Terminal: Integration of Train Ticket Trading System With ATM for Enhanced Efficiency and Convenience. *Ijfans*, 11(08),
- Lin, D. & Zhu, R. (2019). Understanding the Integration of Buses and Metro Systems Using Smart Card Data. *Proceedings of the Ica*, 2(1-6).
- Ling, C., Zhang, T. & Chen, Y. (2019). Customer Purchase Intent Prediction Under Online Multi-Channel Promotion: A Feature-Combined Deep Learning Framework. *Ieee Access*, 7(112963-112976).
- Marksteiner, S. (2018). Smart Ticket Protection: An Architecture for Cyber-Protecting Physical Tickets Using Digitally Signed Random Pattern Markers. 110-113.
- Merkert, R., Bushell, J. & Beck, M. J. (2020). Collaboration as a Service (CaaS) to Fully Integrate Public Transportation – Lessons From Long Distance Travel to Reimagine Mobility as a Service. *Transportation Research Part a Policy and Practice*, 131(267-282).
- Miron, R., Hulea, M. & Mureşan, V. (2024). Integrating Blockchain Technology Into Mobility-as-a-Service Platforms for Smart Cities.
- Mojoodi, A., Jalalian, S. & Kumail, T. (2024). Designing an Algorithm for Predicting Plane Ticket Prices Using Feedforward Neural Network Modeling. *Journal of Hospitality and Tourism Insights*, 7(3), 1577-1593.

- Muhoro, P., Wachira, A. W. & Kiarie, D. (2021). Effect of Integrated Ticketing on Sustainable Mobility in the Matatu Saccos in Nairobi County, Kenya. *Journal of Business and Strategic Management*, 6(2), 15-24.
- Nugraha, A., Daniel, D. R. & Anak Agung Gde Satia, U. (2021). Improving Multi-Sport Event Ticketing Accounting Information System Design Through Implementing RFID and Blockchain Technologies Within COVID-19 Health Protocols. *Heliyon*, 7(10), e08167.
- Prayoonphan, F. & Xu, X. (2019). Factors Influencing the Intention to Use the Common Ticketing System (Spider Card) in Thailand. *Behavioral Sciences*, 9(5), 46.
- Preece, J. D., Morris, C. R. & Easton, J. M. (2024). Leveraging Ontochains for Distributed Public Transit Ticketing: An Investigation With the System for Ticketing Ubiquity With Blockchains. *Iet Blockchain*, 4(4), 456-469.
- Sall, O. & Diallo, O. (2018). Modernization of Public Transports in Senegal: Case of Ticket Payment Method in Dakar Dem Dikk (3Ds) Buses. *Open Journal of Social Sciences*, 06(07), 167-179.
- Sankarananrayanan, S. & Hamilton, P. (2014). Mobile Enabled Bus Tracking and Ticketing System.
- Shafique, M. N., Raudeliūnienė, J., Davidavičienė, V. & Pěňčík, J. (2019). Acceptance of Intelligent Ticketing Systems in Developing Countries. *Engineering Economics*, 30(4), 451-460.
- Subramaniyan, J., Kumar, P., Sripriya, S., Jegan, C. & Jenny, M. (2021). Smart Ticketing System for Public Transport Vehicles.
- Syafira, A. N., Gufron, E. B., Rifqi, R. M. & Abdullah, A. (2023). Big Data Analytics as a Solution to Track Carbon Emission in Smart Cities: A Systematic Literature Review. 335-342.

- Tian, F., Wu, H. & Xu, B. (2020). Financial Ticket Intelligent Recognition System Based on Deep Learning.
- Wang, Y., Shan, X., Wang, H., Zhang, J., Lv, X. & Wu, J. (2022). Ticket Allocation Optimization of Fuxing Train Based on Overcrowding Control: An Empirical Study From China. *Sustainability*, 14(12), 7055.
- Zalar, D., Ušpalytė–Vitkūnienė, R., Rebolj, D. & Lep, M. (2018). A Methodological Framework for Measuring the Level of Convenience of Transport Ticketing Systems. *Transport*, 33(4), 1005-1016.
- Zhao, X., Zhang, Z., Guo, W., Zhou, Y., Papaix, C. & Sun, Q.-F. (2022). Evidence-Based Smart Transition Strategies for Long-Distance Commuters in Beijing. *Frontiers in Future Transportation*.

BAB 9

AREA TRAFFIC CONTROL SYSTEM

Oleh Rudi

9.1 Pendahuluan

Kemajuan teknologi berpengaruh besar terhadap globalisasi bidang transportasi. Sarana transportasi berevolusi cepat, berteknologi tinggi mendorong percepatan sistem transportasi bersinergi diantara elemen pendukung sistem. Transportasi merupakan usaha pemindahan orang hewan atau benda baik menggunakan sarana atau tidak menggunakan sarana dengan maksud dan tujuan tertentu. Perpindahan mendukung usaha pergerakan melalui penyesuaian kemampuan/kapasitas sarana angkutan dengan mengedepankan kebutuhan guna mendukung proses perpindahan yang cepat, adil, nyaman dan aman serta berkelanjutan.

Peranan penting transportasi di masa lalu guna mendukung perkembangan peradaban dan perdagangan diantara sesama manusia. Disamping itu transportasi dapat menaikkan tingkat aksesibilitas (*degree of accessibility*) terhadap sumber daya alam serta pengembangan pasar. Sumber daya alam yang semula tidak tersentuh dapat dijangkau dan dapat dikelola. Semakin tinggi mobilitas maka produktifitas semakin tinggi atau meningkat seiring dengan terpenuhi transportasi yang baik dan memadai.

Teknologi transportasi merupakan perkembangan lebih lanjut dari beberapa pilihan orang untuk mempermudah pergerakan dalam memenuhi segala kebutuhan atau keperluan hidup yang dilalui dengan menggunakan alat angkut (Transportasi) yang memadai. Sistem transportasi adalah bentuk keterkaitan terstruktur diantara variabel-variabel yang berperan dalam transportasi guna mendukung upaya untuk memobilisasi, memindahkan orang, hewan atau benda ke tempat lain. Sedangkan sistem pengendalian transportasi di dalamnya terdapat peraturan mengenai mekanisme yang perlu dipatuhi dalam operasional kendaraan dan lalu lintas sehingga terselenggara transport yang aman, nyaman dan efisien. Sistem Transportasi Nasional (Sistranas) merupakan tatanan dibidang transportasi yang terorganisir melalui sistem yang terdiri dari transportasi jalan, jalan rel, udara, laut, sungai, danau, penyeberangan serta pipa. Elemen-elemen yang membentuk sistem adalah sarana, prasarana, manusia dan badan yang berfungsi dalam mengatur dan mengontrol pelaksanaan sistem.

9.2 Sarana dan Prasarana Transportasi

9.2.1 Sarana Transportasi

Peruntukan guna lahan membangkitkan pergerakan dan akan menarik pergerakan lalu lintas yang erat hubungannya terhadap jenis moda dan volume pergerakan lalu lintas. Tingkat kebutuhan transportasi dipengaruhi tingkat pertumbuhan ekonomi, pertumbuhan populasi atau jumlah manusia dan barang serta jumlah atau karakter pergerakan.

Antar-moda merupakan perpaduan dua atau lebih metode/jenis transportasi untuk mendapatkan pengiriman dari satu titik ke titik yang lain. Moda pengiriman melalui perpaduan angkutan truk, kereta api, kapal laut, dan kemudian melalui truk untuk sampai pada tujuan. Dalam iklim logistik yang kompetitif saat ini, pengiriman skala besar melalui udara dengan pesawat terbang seperti raksasa Antonov An-225. Semua media transportasi ini membantu mempercepat pengiriman produk dan barang ke seluruh negara di dunia.

Sistem transportasi multi moda bisa terkoneksi di Indonesia sebagai negara yang mempunyai pulau sekitar 17 ribuan. Moda transportasi mempunyai karakteristik teknis yang berbeda dengan yang lainnya oleh karena itu daerah layanan disesuaikan kondisi geografisnya. Sistem transportasi massal diselenggarakan sesuai kebutuhan masyarakat guna terselenggaranya layanan lalu lintas jalan yang terpadu, lancar tanpa mengabaikan sisi keamanan, tertib dan aman.

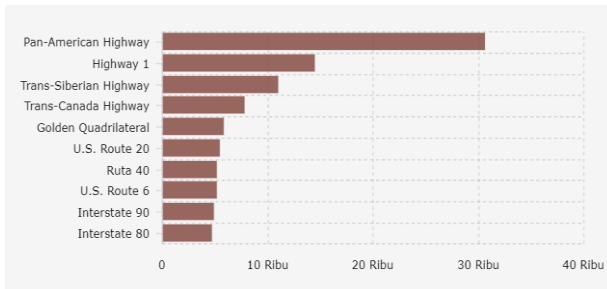
9.2.2 Prasarana Transportasi

Infrastruktur atau prasarana transportasi merupakan elemen utama yang memberikan andil dalam pembangunan sosial ekonomi masyarakat. Investasi sektor transportasi di masa depan lebih focus elemen system transportasi sebagai usaha mengembangkan/meningkatkan pertumbuhan industri suatu negara. Kebutuhan terhadap prasarana fisik, seperti; jalan, jalan rel, bandar udara dan pelabuhan laut sangat penting untuk pelayanan distribusi barang ke seluruh negara.

1. Jalan atau Jalan Raya adalah beberapa bagian terpenting dari infrastruktur transportasi untuk

kebutuhan negara-negara di dunia. Jalan merupakan jalur yang menghubungkan bagian- bagian dari satu sistem atau antara sistem yang berbeda. Fungsi jalan menghubungkan, menyatukan kota, provinsi dan antar negara bagian lainnya.

2. Jalan di dunia dimana sebuah studi dari 59 negara menunjukkan hasil dari 10 negara, Singapura memiliki keunggulan terkait transportasi dengan jalan raya terbaik di dunia. Singapura mencatatkan skor 9,44 point dari 10 untuk kategori kualitas jalan. Sebaliknya daftar jalan terburuk di dunia adalah Kuwait memiliki skor kualitas jalan terendah dengan skor 1,33 point. Sebanyak 10 negara di dunia yang mempunyai jalan terpanjang, digambarkan pada diagram berikut:



Gambar 9. 1. Jalan Terpanjang Dunia

(Sumber: Rizaty, MA. databoks 2021)

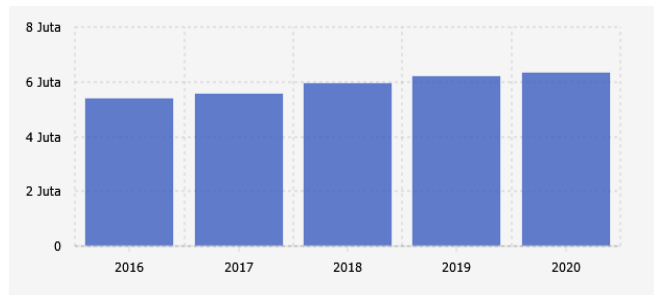
3. Jalan di Indonesia, tingkat kewenangan jalan di Indonesia dibagi menjadi jalan negara, provinsi dan kabupaten atau kota sesuai Panjang jalan yang digambarkan pada tabel berikut:

Tabel 9. 1. Panjang Jalan Menurut Tingkat Kewenangan 2018-2019

Kewenangan Jalan	Jalan Menurut Tingkat Kewenangan (km)		
	2018	2019	2020
Negara	47.017	47.042	47.042
Provinsi	54.544	54.749	54.845
Kabupaten/Kota	440.739	442.701	446.497
Jumlah	542.310	544.474	548.366

Sumber: Badan Pusat Statistik (2021)

4. Jalan Rel atau Jalan Kereta api salah satu moda transportasi terpopuler dari abad ke-19. Kereta api merupakan salah satu sarana transportasi darat yang pergerakannya dipandu atau mengikuti jalur rel. Kereta api merupakan moda angkutan paling efisien untuk sarana transportasi, berskala besar, dan diminati oleh karena Masyarakat karena bisa menjangkau perjalanan jarak jauh serta harga yang terjangkau.



Gambar 9. 2. Perkembangan Panjang Rel KAI (2016-2020)

Sumber. (BPS-Statistics Indonesia, 2015)

5. Bandar udara Indonesia dibagi dalam tiga jenis, yaitu; Bandar udara internasional, bandar udara domestik, dan bandar udara untuk pangkalan militer. Bandar udara internasional berfungsi melayani penerbangan internasional, bandar udara domestic berfungsi melayani penerbangan dalam negeri. Bandar udara untuk pangkalan militer merupakan kawasan yang dipergunakan *take off* dan *landing* bagi pesawat militer guna pertahanan negara dari Angkatan udara. Indonesia mempunyai Bandar Udara Internasional yang berada di Sumatra sebanyak 12 bandar udara, Jawa 9 bandar udara, Bali dan Nusa Tenggara 3 bandar udara, Kalimantan 8 bandar udara, Sulawesi 4 bandar udara dan Maluku/Papua 6 bandar udara.
6. Pelabuhan, Pemerintah terus melakukan pembenahan prasarana pelabuhan. infrastruktur, system teknologi, dan manajemen operasional transportasi termasuk meningkatkan efisiensi dan daya saing. Transportasi laut sangat penting bagi Indonesia yang merupakan negara maritim, oleh karena melalui transportasi laut punya kemampuannya angkut berskala besar. Ketersediaan sarana dan prasarana pelabuhan saat ini di Indonesia terdapat 2400 pelabuhan bertaraf internasional, taraf nasional, taraf regional, dan bertaraf lokal. Beberapa pelabuhan bertaraf Internasional di Indonesia, antara lain; Tanjung Priok di Jakarta, Merak di Banteng, Harbour Bay di Batam, Sunda Kelapa di Jakarta, serta Batam Center di Batam (Kepulauan Riau). Disamping itu terdapat pelabuhan Tanjung Perak di Jawa Timur, Bakaheuni di Lampung, dan Pelabuhan Soekarno-Hatta di Makassar.

9.3 Sarana dan Prasarana Transportasi

Sistem pengendalian transportasi merupakan peraturan dan prosedur diperuntukkan bagi kendaraan atau lalu lintas guna terselenggara layanan transportasi efisien dan aman tanpa mengabaikan konflik. Konflik yang terjadi berupa konflik fisik, Seperti penggunaan ruang gerak terhadap waktu bersamaan dan konflik kepentingan terhadap kecepatan kendaraan.

9.3.1 Pengendalian Jalan Raya

Elemen yang terkandung pada pengendalian jalan raya berupa, dilihat dan dilihat, rambu lalu lintas serta marka lalu lintas. Dilihat dan dilihat, maksudnya adalah kemampuan pengemudi di saat mengemudi melakukan kendali untuk melihat sesuatu yang berbahaya didepannya dan menghindarinya.

1. Rambu Lalu lintas, Rambu merupakan tanda atau sarana berupa perlengkapan di pasang di sisi atau jalan berupa petunjuk berupa papan petunjuk, patok darn penghalang. Tanda ini biasanya berbentuk lingkaran, segitiga, segi empat dan segi delapan. Jenis rambu berupa, rambu untuk larangan, peringatan, perintah dan petunjuk/informasi. Jenis rambu seperti berikut ini.
 - a. Larangan
 - b. Peringatan
 - c. Perintah
 - d. Petunjuk atau informasi
 - e. Tambahan
 - f. Nomor rute jalan
2. Marka, Marka Jalan merupakan tanda/symbol atau berupa tulisan yang di pasang di permukaan jalan yang berfungsi mengatur lalu lintas agar lancar dan aman. Umumnya marka jalan berwarna putih dan berwarna

kuning. Beberapa jenis Marka jalan berupa; Marka garis putus-putus, Marka garis penuh, Marka zebra cross, Marka pengarah jalur dan Marka pulau. Dari jenis marka dibagi kedalam bentuk marka berupa:

- Garis melintang
- Serong
- Lambing



Gambar 9. 3. Rambu Larangan

Sumber. <https://www.hyundai.com/id/id/hyundai-story/articles/arti-rambu-lalu-lintas-di-indonesia-yang-perlu-anda-ketahui-0000000015>



Gambar 9. 4. Rambu Perintah

Sumber. <https://www.hyundai.com/id/en/hyundai-story/articles/arti-rambu-lalu-lintas-di-indonesia-yang-perlu-anda-ketahui-0000000015>



Gambar 9. 5. Rambu Peringatan

Sumber: <https://www.hyundai.com/id/en/hyundai-story/articles/arti-rambu-lalu-lintas-di-indonesia-yang-perlu-anda-ketahui-0000000015>



Gambar 9. 6. Rambu Peringatan

Sumber: <https://www.hyundai.com/id/en/hyundai-story/articles/arti-rambu-lalu-lintas-di-indonesia-yang-perlu-anda-ketahui-0000000015>

3. Lampu Lalu Lintas, atau alat pemberi isyarat lalu lintas (APILL) berfungsi mengendalikan arus lalu lintas yang berada di simpang jalan, antara lain pada penyeberangan bagi pejalan kaki (*zebra cross*). Lampu jalan dibedakan

berdasarkan lingkup/fungsi dan layanan diuraikan berikut ini:

- a. Berdasarkan lingkup atau fungsi
- b. Berdasarkan layanan

9.3.2 Pengendalian Jalan Rel

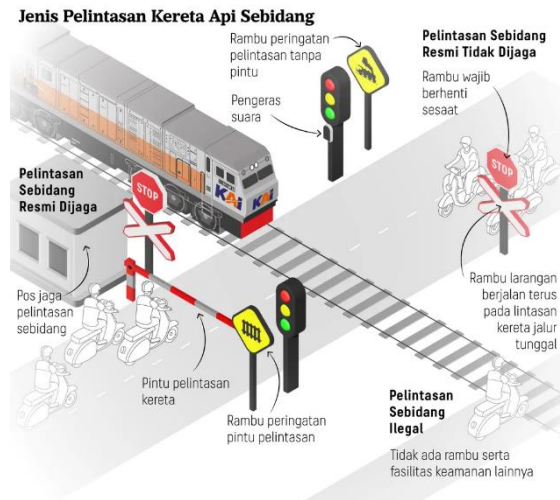
Dalam menjaga keamanan serta keselamatan operasional kereta api, dipasang rambu-rambu/lampu guna mendukung operasional jalan rel dan mengontrol sesuai fungsi masing-masing lampu adalah:

- a. Waktu tetap lampu lalu lintas
- b. Waktu *semi actuated*
- c. Waktu *full actuated*

Beberapa jenis pengendalian pada angkutan jalan rel adalah:

- a. Pengaturan terhadap persimpangan *isolated* lampu lalu lintas
- b. Pengaturan terhadap persimpangan terkoordinasi simpang
- c. Manual dan visual (kontrol pada masinis)
- d. Manual, signal dan sistem blok (kontrol masinis signal)
- e. Otomatis (semi atau *full*) biasa disebut *Automatic Train Operation*(ATO)

Berikut adalah rambu-rambu yang ada pada jalan rel



Gambar 9. 7. Rambu Jalan Rel

9.3.3 Pengendalian Bandar Udara

Elemen dalam sistem pengendalian bandar udara dibagi 2 bagian yaitu; sisi darat (land side) dan sisi udara (air side). Di sisi darat antara lain: Are terminal parkir darat, Sistem jalan masuk area terminal dan Gedung terminal (terminal building). Di sisi udara antara lain; Apron dan Gate (pintu gerbang ke apron), Taxiway dan dan keselamatan Runway. Guna mendukung keamanan pengoperasian transportasi udara, maka di sisi udara bandar udara membutuhkan prasarana berupa Tanda atau Marka.

Marka Banda Udara merupakan tanda yang digambar atau divisualkan di jalan pada daerah pergerakan pesawat udara guna sebagai petunjuk, informasi kondisi, dan batas-batas terhadap keselamatan penerbangan.

- a. Marka Landasan Pacu (*Runway*), yaitu tanda pada daerah *take-of* dan *landing* pesawat udara yang berberntuk

persegi panjang guna untuk memandu untuk *take-off* dan *landing*.

- b. Marka Landasan Penghubung (*Taxiway*), yaitu tanda di jalur penghubung antara apron dan runway guna untuk pergerakan pesawat udara dari apron ke runway atau sebaliknya. Taxiway merupakan jalan di bandara yang menghubungkan runway, apron, dan hanggar, terminal serta fasilitas lainnya.
- c. Marka di Apron yaitu area menurunkan dan menaikkan penumpang, kargo, pos, dan pengisian bahan bakar serta tempat perawatan ringan pesawat udara. Apron merupakan bagian penting sebagai tempat parkir pesawat terbang dari Bandar udara.

9.3.4 Pengendalian Pelabuhan

Pengendalian pada angkutan laut dibutuhkan untuk menentukan posisi dan untuk mendapat informasi terhadap daerah bahaya pada nakhoda pelayaran laut. Sistem pengendalian biasanya dilengkapi berupa suara, isyarat pluit guna pengendalian angkutan laut. Pengendalian ini dibedakan dalam fungsi dan bentuk isyarat sesuai uraian berikut.

- a. Sistem interval dalam waktu (*Headway*)
- b. Sistem interval ruang
- c. Sistem Visual, berupa instrumen pengendali visual dalam yang meliputi beberapa instrumen, antara lain:
 - Instrumen pengendali terapung di atas air (*Bouys*)
 - Mercusuar guna memberi tanda tempat berbahaya (*Light-house*)
 - Lampu atau alat bunyi (*Beacon Signal-Bel*)

Pengendali pelabuhan terdapat *Signal* pada lalu lintas air (*Bensor Bouys Light-house*), seperti berikut:

- a. Lampu merah; berarti pelabuhan sedang dalam keadaan penuh.
- b. Lampu kuning, berarti pelabuhan bisa dimasuki kapal untuk berlabuh.
- c. Lampu kuning, berarti kapal bersiap masuk pelabuhan dengan pergerakan hati-hati.

9.4 Badan Pengendalian Transportasi

Manajemen sistem transportasi berhubungan dengan perencanaan, dan pendanaan serta kebijakan yang diputuskan oleh legislatif dan pemerintah terhadap transportasi bertaraf lokal, regional, dan nasional. Program transportasi seperti pengelolaan transportasi darat atau kendaraan pribadi dan angkutan umum, berupa kendaraan mobil penumpang, kendaraan bus, serta angkutan sungai, danau dan penyeberangan, angkutan laut, angkutan udara dan dan angkutan kereta api. Penyelenggaraan pelayanan transportasi keamanan sebagai indikator pencapaian yang berhubungan dengan keselamatan dan keamanan sebagai indikator pencapaian penurunan rasio kecelakaan transportasi terhadap jumlah keberangkatan. Upaya ini dilakukan melalui sistem keselamatan dan keamanan yang secara efektif guna mencegah terjadinya *accident/incident*. Pada umumnya penyebab kecelakaan akibat dari manusia (*human*), kendaraan (*vehicle*), dan lingkungan sekitar. Diperlukan suatu sistem kebijakan yang dapat menginstruksi dan mempengaruhi kondisi penyebab kecelakaan. Unsur yang berperan penting dalam penyelenggaraan ini adalah Dinas Perhubungan dan Unsur Aparat, yaitu terkait angkutan jalan adalah Polisi lalu lintas

(Polantas), angkutan air adalah Satuan Utama Polisi Air (Subditpol Air) dan angkutan udara adalah Satuan Utama Polisi Udara (Subditpol Udara).

9.4.1 Dinas Perhubungan (Dishub) dan Pemerintah sebagai regulator

Pemerintah berperan dalam transportasi sebagai penyedia infrastruktur, pembangunan Jalan rel, Pelabuhan dan Bandar udara, perbaikan jalan raya hingga pembuat kebijakan regulasi terkait transportasi logistik. Pemerintah diwakili Dinas Perhubungan (Dishub) berperan sebagai regulator yang bertugas untuk membuat kebijakan atau aturan yang berkaitan dengan bidang transportasi. Dishub sebagai fasilitator yaitu sebagai institusi menyediakan sarana dan prasarana yang berkaitan dengan angkutan transportasi, sebagai evaluator yang mengawasi setiap kebijakan dan sarana prasarana.

Peranan pemerintah sebagai regulator sangat diperlukan dalam mengatur, membina dan mengawasi penyelenggaraan pelayanan transportasi (termasuk dalam transportasi perkotaan). Dalam kebijakan transportasi secara nasional pemerintah telah merumuskan berbagai strategi dan upaya diantaranya:

- a. Meningkatnya kualitas pelayanan transportasi
- b. Meningkatnya keselamatan dan keamanan transportasi
- c. Meningkatnya pembinaan pengusaha transportasi
- d. Meningkatnya kualitas Sumber Daya Manusia (SDM) serta ilmu pengetahuan dan teknologi (Iptek)
- e. Meningkatnya pemeliharaan dan kualitas lingkungan hidup serta penghematan penggunaan energi
- f. Meningkatnya penyediaan dana Pembangunan transportasi

- g. Meningkatnya kualitas administrasi negara di sektor transportasi.

Kebijakan transportasi meliputi banyak aspek. Pemerintah sebagai regulator harus mampu menyelenggarakan pelayanan transportasi nasional secara efektif dan efisien, dalam arti harus memperhatikan kepentingan seluruh unsur stakeholder dimana pihak perusahaan transportasi (operator), pihak tenaga kerja disektor transportasi dan pihak jasa pengguna transportasi (Masyarakat). Serta kebijakan transportasi digunakan sebagai arahan untuk menyelenggarakan kegiatan pelayanan transportasi secara komprehensif, serasi, seimbang, terkoordinasi, terkonsolidasi, terintegrasi dan harmonis untuk mewujudkan Sistem Transportasi Nasional (Sitranas) yang efektif dan efisien. Sitranas diorientasikan untuk mewujudkan wawasan Nusantara dalam wadah Negara Kesatuan Republik Indonesia (NKRI) yang terdiri dari ribuan pulau yang tersebar luas. Dimana sitranas dalam perumusan dan pengembagannya berpedoman pada peraturan menteri perhubungan no. 49 tahun 2005.

9.4.2 Unsur Aparat

Di bidang lalu lintas, Polisi Lalu Lintas (Polantas) bertugas pada bidang lalu-lintas meliputi pekerjaan dan kegiatan yang berhubungan dalam pengendalian lalu-lintas guna mencegah Semua bentuk gangguan berupa ancaman agar terjamin ketertiban, keselamatan dan kelancaran lalu-lintas di jalan raya. Satuan Utama Polisi Air (Subditpol Air) dan angkutan udara yaitu; Satuan Utama Polisi Udara (Subditpol Udara) yang tergabung dalam Korps Kepolisian Perairan dan Udara atau biasa disingkat Korpolaairud merupakan "Satuan di dalam Kepolisian Negara Republik

Indonesia" yang mendukung tugas-tugas kepolisian melalui air yaitu; sungai/laut dan udara.

9.5 Penutup

Pelayanan transportasi menekankan pada efisiensi dan keamanan tanpa adanya konflik baik fisik maupun konflik kepentingan dalam berlalu lintas. Semua ini akan tercapai jika didukung sarana dan prasarana yang memadai pada moda transportasi jalan, jalan rel, bandar udara dan air atau pelabuhan. Perpaduan dua atau lebih moda transportasi guna pelayanan pengiriman atau layanan angkutan yang efisien dan cepat sampai pada tujuan bahkan ke seluruh negara di dunia. Sistem pengendalian transportasi yang massif, terkendali dan terkoordinir melibatkan beberapa unsur atau elemen-elemen kelembagaan. Elemen-elemen yang terlibat dalam system pengendalian transportasi atau badan pengendali, yakni; Dinas perhubungan, Unsur aparat dan Pengelola transportasi bekerja sesuai fungsi dan tugas masing-masing serta membangun sinergi satu sama lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Adisasmita, R., Adisasmita, S.A. 2011. Manajemen Transportasi Darat Mengatasi Kemacetan Lalu Lintas di Kota Besar (Jakarta). Yogyakarta. Graha Ilmu.
- Adisasmita, S. A. 2019. Jaringan Transportasi Teori dan Analisis. Yogyakarta. Graha Ilmu.
- Adisasmita,S.A. 2015. Perencanaan Sistem Transportasi Publik. Yogyakarta. Graha Ilmu.
- Gusty, S., dkk. 2023. Dasar-dasar Transportasi. Makassar: Tohar Media.
- Kurnianingsih, O., dkk. 2024. Pengantar Teknik Sipil. Bandung. Penerbit Widina.

INDEKS

B

Big Data, 5, 10, 47, 50, 53, 57, 58, 61, 62, 63, 65, 67, 71, 102, 105, 109, 110, 111, 113, 198, 201

E

Energi Berkelanjutan, 5

G

GIS, 4

Gojek, 9

Google Maps, 8, 12, 57

Grab, 9

I

Interoperabilitas, 11, 18, 118

K

Kecerdasan Buatan, 186

Kendaraan otonom, 7, 133, 145

Kendaraan Otonom, iii, 4, 6, 58, 67, 121, 136, 138, 139, 140

Konektivitas, 11

M

Machine Learning, 66, 111, 113, 121, 124, 146, 186

N

Navigasi, 6, 57, 109, 112, 114, 115

P

Pembayaran Elektronik, 6

S

Sensor, 52, 54, 55, 57, 58, 111, 112, 114

T

Transportasi Cerdas, ii, iii, 1, 2, 4, 5, 7, 8, 9, 15, 42, 63, 67, 153, 169

GLOSARIUM

ACC (*Adaptive Cruise Control*) : yakni sistem yang dapat menyesuaikan kecepatan kendaraan berdasarkan jarak dengan kendaraan di depan

AEB (*Automatic Emergency Braking*) : yakni kendaraan yang dapat melakukan pengereman otomatis saat mendeteksi hambatan di depan untuk menghindari atau mengurangi dampak tabrakan

Big Data: kumpulan data yang sangat banyak dan dikelola dengan menggunakan teknologi.

CACS (*Comprehensive Automobile Control System*): alat pengendali dari sirkulasi lalu lintas

CBD (*Central Business District*) : Suatu kawasan yang dijadikan sebagai pusat kegiatan baik pemerintahan, perdagangan, perkantoran, pendidikan, dll.

CC (*Congestion Cost*) : Biaya kemacetan yaitu selisih antara *generalized cost* pada kondisi aktual dengan *generalized cost* pada kondisi kecepatan arus bebas.

CCS (*Congestion Charging Scheme*) : Skema penerapan kutipan biaya kemacetan yang sudah diterapkan di beberapa negara seperti di Hongkong.

Cctv: kamera yang digunakan dalam sistem pemantauan visual

Emisi Carbon: pelepasan gas carbon dioksida (CO₂) oleh kendaraan

Energi Berkelanjutan energi: yang dapat memenuhi kebutuhannya tanpa mengorbankan sumber daya alam.

ERP (*Electronic Road Pricing*) : Jalan berbayar elektronik adalah pungutan terhadap para pengguna jalan pada area tertentu yang dilakukan dengan cara membayar secara elektronik.

GC (*Generalized Cost*) : Biaya gabungan perjalanan yang dihitung berdasarkan kombinasi antara biaya yang dikeluarkan dan biaya waktu perjalanan serta biaya atribut perjalanan lainnya. Biaya gabungan perjalanan meliputi biaya operasi kendaraan (BOK), biaya waktu perjalanan (BWP), dan biaya polusi (BP).

GIS: Aplikasi Geography Information System

Gojek: Transportasi umum Online

Google Maps: aplikasi penunjuk arah bagi pengendara dalam bentuk peta online yang dapat memberikan estimasi waktu dan jarak tempuh secara akurat

Grab: Transportasi umum Online

Infrastruktur Pintar: infrastruktur yang dapat mengatur lalu lintas secara efektif dan efisien

Interoperabilitas: kemampuan sistem dan perangkat dalam bertukar informasi dengan efektif

Kecerdasan Buatan: pengembangan sistem komputer yang dapat menyerupai kecerdasan manusia

Kendaraan Hibrida: kendaraan yang menggunakan bahan bakar minyak dan listrik sebagai penggerak.

Kendaraan Otonom: kendaraan yang dapat beroperasi secara robotic tanpa manusia.

Konektivitas: penghubung antara sesuatu dengan yang lain.

LKA (*Lane Keeping Assistance*) yakni sistem yang membantu menjaga kendaraan tetap berada di jalur dengan koreksi kemudi ringan.

Machine Learning : Perangkat lunak AV pasti akan menggunakan pembelajaran mesin secara offline.

Navigasi: alat penentuan arah dengan memberikan informasi jalur dan waktu tempuh secara akurat.

Otonom: Dalam konteks AV, kemampuan untuk beroperasi dalam jangka waktu lama tanpa pengemudi manusia

Pembayaran Elektronik: pembayaran secara online dengan menggunakan aplikasi bank dan kartu elektronik

RP (*Road Pricing*) : Road pricing adalah pengenaan biaya secara langsung terhadap pengguna jalan karena melewati ruas jalan tertentu.

RZ (*Restricted Zone*) : Zona terbatas merujuk pada area yang ditetapkan dengan akses terbatas karena alasan keamanan, keselamatan, atau masalah lingkungan. Setiap pengendara yang masuk ke zona terbatas maka harus membayar sesuai dengan besaran tarif yang telah ditetapkan.

Sensor: pemberi sinyal elektronik yang memberikan informasi

Smart city: konsep perencanaan dan pengembangan kota dengan melibatkan teknologi

TDM (*Transportation Demand Management*) : Manajemen permintaan transportasi adalah penerapan kebijakan dan strategi untuk meningkatkan efisiensi sistem transportasi, yang mengurangi permintaan perjalanan, atau untuk mendistribusikan kembali permintaan dalam ruang atau waktu.

Transportasi Cerdas: sistem transportasi yang melibatkan teknologi dan pengelolaanya.

Trolley problem : Kecelakaan tidak dapat dihindari dan AV harus memilih antara dua pilihan buruk

BIODATA PENULIS



Ir. Nini Apriani Rumata, ST., MT., IPM

Dosen Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota
Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar

Penulis lahir di Masohi tanggal 26 April 1989. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota Universitas Muhammadiyah Makassar. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota Universitas Hasanuddin dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Perencanaan Transportasi di Universitas Hasanuddin.

BIODATA PENULIS



Ir. Rhapsyalyani Herno Della, ST., M.Eng., Ph.D., IPM.
Dosen Jurusan Teknik Sipil & Perencanaan
Universitas Sriwijaya

Menyelesaikan pendidikan Strata Satu pada Jurusan Teknik Sipil di Universitas Sriwijaya tahun 2007. Kemudian melanjutkan kuliah Magister di bidang Teknik Transportasi di Asian Institute of Technology, Thailand dengan beasiswa dari Asian Development Bank dan AIT-Thailand, selesai pada tahun 2012. Terakhir mulai melanjutkan studi lanjutnya dengan beasiswa dari Elite Scholarship yang dikhususkan untuk tenaga pengajar dari Kementerian Pendidikan Taiwan pada tahun 2017. Menyelesaikan pendidikan Doktorat di bidang Shipping and Transportation Management di National Taiwan Ocean University dengan bidang keahlian manajemen keselamatan dan kualitas pelayanan pelayaran pada tahun 2021. Penulis juga pernah mengikuti internship program mengenai Rekayasa & Kebijakan untuk Lingkungan Regional Daerah Dingin di Hokkaido University, Japan tahun 2010. Di akhir tahun 2020 terpilih sebagai delegasi Indonesia untuk mengikuti

Southeast Asia International Joint-Research and Training Program on Sustainable Development yang diikuti oleh perwakilan dari delapan negara Asia Tenggara dan Asia Selatan yang diselenggarakan oleh Ministry of Science and Technology Taiwan. Penulis aktif menulis karya-karya tulis ilmiah baik berupa karya tulis ilmiah di beberapa jurnal baik nasional dan internasional maupun dalam beberapa pertemuan ilmiah.

Email Penulis: rhapty@unsri.ac.id

BIODATA PENULIS



Farhan Sholahudin, S.ST., M.T.

Dosen - Program Studi S1 Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang

Penulis lahir di Tegal, tanggal 22 Februari 1995. Penulis adalah Dosen PNS pada Program Studi S-1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang. Menyelesaikan pendidikan D4 di Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan Tegal mengambil jurusan Manajemen Keselamatan Transportasi Jalan pada Tahun 2016. Kemudian penulis melanjutkan studi S2 di Universitas Islam Sultan Agung Semarang pada Jurusan Magister Teknik Sipil (Rekayasa Transportasi) yang lulus pada Tahun 2019.

Penulis menekuni bidang Transportasi dan *Road Safety*. Penulis memiliki sertifikat kompetensi di bidang transportasi, salah satunya di bidang analisis dampak lalu lintas dan bergabung dengan organisasi profesi IKALINDO (Ikatan Andalalin Indonesia). Selain itu, penulis juga merupakan Dewan Pengurus Pusat IKATRANSJAYA (Ikatan Alumni Transportasi Jalan Raya) di bidang Pengabdian Kepada Masyarakat.

Mata Kuliah yang diampu adalah Rekayasa Lalu Lintas dan Desain Geometrik Jalan. Penulis telah memiliki beberapa publikasi artikel penelitian dan pengabdian pada jurnal nasional terakreditasi bereputasi dan jurnal internasional bereputasi.

BIODATA PENULIS



Prof. Dr. Ir. Gito Sugiyanto, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng.

Dosen Program Studi Magister Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Jenderal Soedirman
Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi

Penulis lahir di Gunungkidul, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta pada tanggal 15 Februari 1980. Saat ini sebagai Dosen Tetap dengan jabatan fungsional Guru Besar (*Professor*) Bidang Ilmu Teknik Sipil Sistem Transportasi di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Soedirman Purwokerto. Gito Sugiyanto memperoleh gelar Doktor (Dr.) Ilmu Teknik Sipil bidang konsentrasi Rekayasa Transportasi dari Universitas Gadjah Mada (UGM) Yogyakarta pada tahun 2011. Gelar Magister Teknik (M.T.) pada bidang Ilmu Teknik Sipil konsentrasi Transportasi diperoleh dari Program Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung (ITB) pada tahun 2007. Gelar Sarjana Teknik (S.T.) bidang Teknik Sipil diperoleh dari Universitas Sebelas Maret (UNS) Surakarta pada tahun 2002. Gelar Insinyur (Ir.) diperoleh dari Program Studi Program Profesi Insinyur (PSPPI) Universitas Muhammadiyah Yogyakarta (UMY) pada tahun

2020. Insinyur Profesional Madya (IPM) diperoleh dari Persatuan Insinyur Indonesia (PII) pada tahun 2021. Gelar ASEAN Eng. dari ASEAN *Federation of Engineering Organizations* (AFEO) diperoleh pada tanggal 27 Agustus 2022.

Prof. Dr. Ir. Gito Sugiyanto, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng., telah melakukan beberapa penelitian dengan sumber dana dari Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, Kementerian Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi, Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP)-Kemenkeu, Kementerian Riset dan Teknologi/Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) dengan topik transportasi udara dan darat. Hasil penelitian dipublikasikan pada berbagai jurnal internasional bereputasi, jurnal nasional terakreditasi, konferensi internasional, seminar nasional, dan hak cipta. Jumlah artikel yang terindeks Scopus sebanyak 27 (dua puluh tujuh) artikel dengan *H-Index Scopus* = 11 dan 20 (dua puluh) buah karya hak cipta. Minat penelitian utamanya adalah bidang rekayasa lalu lintas, ekonomi transportasi, *pricing*, keselamatan lalu lintas, dan transportasi udara. Prof. Dr. Ir. Gito Sugiyanto adalah anggota dari Persatuan Insinyur Indonesia (PII), Masyarakat Transportasi Indonesia (MTI), Masyarakat Perkeretaapian Indonesia (MaskA), dan juga sebagai pengurus MTI Wilayah Jawa Tengah, Forum Dekan Teknik Indonesia (FDTI), dan Komite Ilmiah dalam Forum Studi Transportasi antar Perguruan Tinggi (FSTPT). *E-mail*: gito.sugiyanto@unsoed.ac.id, gito.sugiyanto@untidar.ac.id.

BIODATA PENULIS



Arnetha Sari Raintung,ST.,MT

Dosen Program Studi Teknik Sipil

Universitas Pembangunan Indonesia Manado

Penulis lahir di Manado tanggal 15 bulan Agustus Tahun 1985 Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik sipil Universitas Pembangunan Indonesia Manado. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Sipil di Universitas Sam Ratulangi Manado dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Sipil di Pascasarjana Universitas Sam Ratulangi Manado. Pengalaman dalam menulis Jurnal Ilmiah berISSN dengan judul Perbandingan Pengukuran Kinerja Simbang Bersinyal Menggunakan Program Aasidra 2.0 dan MKIJ 1997 (Studi Kasus Persimpangan Paal 2 Manado) dan lainnya.

BIODATA PENULIS

Defry Basrin, S.T., M.T

Dosen Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Samudra

Penulis lahir di Banda Aceh pada tahun 1988. Penulis merupakan dosen tetap sejak 2018 pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Samudra Langsa, Aceh. Menyelesaikan studi S1 dan S2 pada Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala Banda Aceh. Penulis menekuni bidang keahlian Teknik Sipil dengan sub bidang transportasi. Selain mengajar mata kuliah ketekniksipilan, penulis juga biasa mengampu mata kuliah basic sains seperti kalkulus, statistika, fisika dasar, dan lain-lain.

BIODATA PENULIS



DR. H. Anton Kaharu, A.Ma.T.S., S.T., M.T.

Dosen Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Negeri Gorontalo

Dr. H. Anton Kaharu, A.Ma.T.S., S.T., M.T. Associate Professor Departement of Civil Engineering, State University of Gorontalo. Lahir di Gorontalo Tahun 1968. Bidang keahlian yang ditekuni Rekayasa Transportasi, Geografi Transportasi, Pengindraan Jauh (Remote Sensing), Perencanaan & Pengembangan Wilayah, serta Filsafat Teknologi. Mengampu mata kuliah Perancangan Transportasi, Perancangan Geometrik Jalan, Jalan Rel, Teknik Jembatan, Bandar Udara, Pelabuhan, Algoritma & Pemrograman, Metode Numerik dan Kerja Praktek. Karya buku yang pernah ditulis sampai saat ini, berjumlah 9 (sembilan) buku. Masing-masing 2 (dua) buku referensi, dengan judul; (1) Transportasi Dan Karakteristik Operasi Becak Bermotor Sebagai Angkutan Paratransit Di Gorontalo-Teori, Analisis dan Aksi (2020); (2) Studi Kelayakan Proyek Jalan Dalam Pengembangan Wilayah dan Sistim Jaringan Transportasi Di Gorontalo Utara (2020); dan 7 (tujuh) book chapter, dengan judul (1) Infrastruktur Berbasis Kearifan Lokal (2022); (2) Pengembangan Infrastruktur dan Sumber Daya Manusia (2023), (3)

Pengantar Logistik dan Pelabuhan Perikanan (2024); (4) Revolusi Transportasi: Dari Mobilitas Tradisional ke Inovasi Moderen (2024); (5) Pencemaran Udara dan Mitigasi Lingkungan (2025); (6) Eksplorasi Beton dalam Arsitektur dan Teknik Sipil; dan (7) Dasar-dasar Pengelolaan Hasil Pertanian (2025). Selain sebagai akademisi, juga berkecimpung sebagai Konsultan Teknis dalam bidang Rekayasa Transportasi, Perencanaan Wilayah & Kota, Sistem Informasi Geografis dan AMDAL. Proyek-proyek yang pernah ditangani sebagai ketua tim ahli konsultan dalam kurun waktu tahun 2020-2023, antara lain proyek; “Penyusunan Sistem Informasi/Data Base Jalan”, “Penyusunan Dokumen Upaya Pengelolaan Lingkungan (UKL) dan Upaya Pemantawan Lingkungan (UPL)”, “Penyusunan Detail Engineering Design (DED) Renovasi Lapangan Sepak Bola, Tribun Stadion Merdeka, Pelataran Parkir Stadion Merdeka dan Gedung Olah Raga (GOR) Nani Wartabone” Kota Gorontalo, dan “Penyusunan Studi Jaringan Trayek AKDP” di Provinsi Gorontalo. Di bidang organisasi profesional, selama ini aktif sebagai Pengurus Persatuan Insinyur Indonesia (PII), Ikatan Nasional Tenaga Ahli Konsultan Indonesia (INTAKINDO), Perkumpulan Ahli Pendidikan Teknologi dan Kejuruan Indonesia (PAPTEKINDO), dan Ikatan Geograf Indonesia (IGI) di Provinsi Gorontalo.

email: anton.kaharu@ung.ac.id

BIODATA PENULIS



Dr. Ir. Sahabuddin Latif, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng.
Dosen Arsitektur Universitas Muhammadiyah Makassar

Sahabuddin Latif, saat ini bertugas sebagai Dosen dan Peneliti di Laboratorium Sains dan Teknologi Bangunan pada program studi S1 Arsitektur Universitas Muhammadiyah Makassar. Juga dipercaya untuk menjabat sebagai ketua Gugus Kendali Mutu (GKM) di Fakultas Teknik universitas yang sama. Dengan latar belakang pendidikan sebagai Doktor Ilmu Arsitektur dari Universitas Hasanuddin. Penulis aktif dalam pengembangan jurnal-jurnal di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar serta berperan sebagai editor dan reviewer untuk jurnal nasional maupun jurnal internasional. Dalam bidang pengajaran, mengampu mata kuliah seperti Fisika Bangunan, Pengondisian Bangunan, Arsitektur Tropis, Struktur dan Konstruksi Bangunan, Metodologi Penelitian, dan Studio Perancangan Arsitektur. Selain itu, telah menulis beberapa buku, antara lain "Strategi Pengaliran Udara Untuk

Kenyamanan Termal Ruang Dengan Metode Simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD)" (2023), "Smart Building: Desain, Tata Ruang, Dan Peralatan Cerdas" (2024), "Arsitektur, Lingkungan, Dan Perilaku" (2024), "Pengantar Ilmu Arsitektur" (2024), "Arsitektur Pra Modern" (2024), dan "Pengantar Arsitektur" (2025).

E-mail: sahabuddin.latief@unismuh.ac.id

BIODATA PENULIS



Ir. Rudi, S.T., M.T., CST

Dosen Program Studi Teknik Sipil

Fakultas Teknik Dan Perencanaan Universitas Pohuwato

Lahir pada tanggal 16 Oktober 1991 di Pinrang, Sulawesi Selatan. Menyelesaikan pendidikan formal S1 tahun 2015 pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Bosowa Makassar. Tahun 2018 menyelesaikan Pendidikan S2 pada program Magister Teknik Sipil Universitas Muslim Indonesia Makassar dan kemudian pada tahun 2024 menyelesaikan Program Profesi Insinyur di Universitas Tadulako Palu. Saya adalah anak ke Dua dari Dua bersaudara, dalam kehidupan sehari-hari biasa disapa kalau di rumah dan sekitar dengan nama Di, kalau sapaan di lingkungan kampus saat kuliah di Universitas 45 Makassar dengan sapaan Rud, kalau sapaan di lingkungan kerja dengan sapaan Rudi buah pasangan dari Bapak Arsyad dan Ibu Sanawiah, yang kehidupan sangat sederhana, bapak yang berprofesi sebagai Wiraswasta dan ibu mengurus

rumah tangga. Alhamdulillah sekarang Saya sudah menikah dengan wanita bernama Fatmawati, S.P., M.Si dan dikaruniai 1 orang putri yang Bernama Zahra Fathairah. Kemudian di Tahun 2019 sampai sekarang mengajar di Universitas Pohuwato Gorontalo pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Dan Perencanaan dan jabatan saat ini adalah sebagai Ketua Program Studi Teknik Sipil. Tahun 2022 sampai sekarang menjadi salah satu anggota Tim Profesi Ahli (TPA) SIMBG dari Akademisi di Dinas Pekerjaan Umum Dan Penataan Ruang Kabupaten Pohuwato Provinsi Gorontalo. Selain itu penulis juga aktif dalam kegiatan ilmiah dan organisasi keprofesian yaitu pengurus PII cabang Kabupaten Pohuwato, Pengurus di Kabupaten Kerukunan Keluarga Sulawesi Selatan (KKSS) dan KNPI Kabupaten Pohuwato Provinsi Gorontalo. Dan penulis juga aktif dalam menulis jurnal serta aktif menulis buku ajar dan *book chapter*. Bisa dicek Informasi kontak dibawah.

<https://scholar.google.com/citations?user=UgUnKYkAAAAJ&hl=id&authuser=2>

Email Penulis : rudiunipo@gmail.com