Transportasi bukan hanya sekadar sarana perpindahan manusia dan barang, melainkan sebuah sistem kompleks yang melibatkan infrastruktur, teknologi, kebijakan, dan perilaku sosial. Dalam konteks dunia yang semakin terhubung, pemahaman tentang sistem transportasi lanjutan menjadi sangat penting baik bagi akademisi, praktisi, maupun pembuat kebijakan untuk menciptakan sistem transportasi yang efisien, aman, berkelanjutan, dan berkeadilan.

Buku ini diharapkan dapat memberikan pemahaman mendalam tentang konsep, komponen, dan penerapan sistem transportasi lanjutan yang meliputi aspek perencanaan, manajemen, rekayasa, dan inovasi teknologi. Setiap bab disusun secara sistematis agar pembaca dapat mengikuti alur berpikir dengan mudah serta mengaitkannya dengan fenomena transportasi yang terjadi dalam kehidupan nyata.

IKAPI
Penerbit Mitra Ilmu
Makassar Sul-Sel
Email : ikapimitrailmu@gmail.com
Website : www.mitrailmumakassar.com
PENERBIT CV. MITRA ILMU
ISBN 978-623-145-844-5
9 786231 458445

PENERBIT CV. MITRA ILMU

SISTEM TRANSPORTASI LANJUTAN

Dr. Ir. H. Hakzah, S.T., M.T.



Sistem Transportasi Lanjutan

Dr. Ir. H. Hakzah, S.T., M.T.

SISTEM
TRANSPORTASI LANJUTAN

Dr. Ir. H. Hakzah, S.T., M.T.

.

Mitra Ilmu
2025

SISTEM TRANSPORTASI LANJUTAN

Penulis :
Dr. Ir. H. Hakzah, S.T.,M.T.

Editor : A. Irmayani Pawelloi, S.T.,M.T.

ISBN: 978-623-145-844-5

Desain Sampul dan Tata Letak: Sulaiman Sahabuddin
Penerbit : Mitra Ilmu

Ukuran : 23 x 15 cm (Standar UNESCO)

Kantor:
Jl. Kesatuan 3 No. 11 Kelurahan Maccini Parang
Hp. 081340021801/ 0852-9947-3675/ 0821-9649-6667
Email : mitrailmua@gmail.com
Website : www.mitrailmumakassar.com
Anggota IKAPI Nomor: 041/SSL/2022

Cetakan pertama: Oktober 2025
Dilarang memperbanyak, menyalin, merekam sebagian atau seluruh bagian buku ini dalam bahasa atau bentuk apapun tanpa izin tertulis dari penerbit atau penulis.

DAFTAR ISI

Daftar Isi iii
Kata Pengantar vi

BAB I KONSEP SISTEM TRANSPORTASI TERINTEGRASI 1
1.1 Pendahuluan 1
1.2 Elemen Dasar Sistem Transportasi 2
1.3 Keterpaduan Antar Moda Transportasi 5
1.4 Transportasi Berkelanjutan 7
1.5 Kesimpulan 9
1.6 Studi Kasus dan Praktik Terbaik Transportasi Terintegrasi 10
1.7 Tren dan Tantangan Global Transportasi Terintegrasi 13
1.8 Perspektif Transportasi Terintegrasi untuk Indonesia 15
1.9 Arah Pengembangan Transportasi Berkelanjutan di Indonesia 16

BAB II PERMODELAN TRANSPORTASI (TRANSPORT MODELING) 24
2.1 Pendahuluan 24
2.2 Konsep Dasar Permodelan Transportasi 24
2.3 Model Permintaan Perjalanan 25
2.4 Model Makroskopik vs Mikroskopik 28
2.5 Aplikasi Software Transportasi 29
2.6 Tantangan dan Tren Masa Depan 30
2.7 Kesimpulan 31

2.8 Studi Kasus Penerapan Model Transportasi 31
2.9 Tabel Perbandingan Software Transportasi 33
2.10 Ilustrasi Konseptual 34
2.11 Penutup 35

BAB III ANALISIS LALU LINTAS DAN KINERJA JARINGAN JALAN 43
3.1 Pendahuluan 43
3.2 Teori Arus Lalu Lintas Lanjutan 44
3.3 Kapasitas Jalan dan Level of Service 46
3.4 Simulasi Lalu Lintas 47
3.5 Kesimpulan 49
3.6 Studi Kasus Analisis Lalu Lintas 49
3.7 Metode Evaluasi Kuantitatif Kinerja Jaringan Jalan 51
3.8 Perkembangan Modern dalam Analisis Lalu Lintas 53
3.9 Kesimpulan 54

BAB IV PERENCANAAN SISTEM TRANSPORTASI 60
4.1 Pendahuluan 60
4.2 Perencanaan Transportasi Jangka Pendek dan Jangka Panjang 61
4.3 Transport Demand Management (TDM) 63
4.4 Transport Supply Management (TSM) 64
4.5 Integrasi TDM dan TSM dalam Perencanaan Transportasi 66
4.6 Kesimpulan 66

4.7 Metode Kuantitatif dalam Perencanaan Transportasi 67
4.8 Studi Kasus Internasional dalam Perencanaan Transportasi 69
4.9 Tren Modern dalam Perencanaan Transportasi 71
4.10 Kesimpulan 72

BAB V ANGKUTAN UMUM DAN TRANSIT SYSTEM 78
5.1 Pendahuluan 78
5.2 Desain Jaringan Angkutan Umum 79
5.3 Transit Oriented Development (TOD) 82
5.4 Integrasi Tarif dan Layanan 83
5.5 Kesimpulan 84
5.6 Metode Evaluasi Kinerja Transit System 85
5.7 Studi Kasus Kota-Kota Dunia 87
5.8 Tren Modern dalam Transportasi Publik 88
5.9 Kesimpulan 89

BAB VI SISTEM TRANSPORTASI CERDAS (INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEM/ITS) 95
6.1 Pendahuluan 95
6.2 Konsep Dasar dan Arsitektur ITS 96
6.3 Manajemen Lalu Lintas Berbasis Teknologi 97
6.4 Sistem Informasi Perjalanan 98
6.5 Kendaraan Otonom & Smart Logistics 99
6.6 Tantangan dan Peluang ITS 100
6.7 Studi Kasus Penerapan ITS 101

6.8 Sistem Informasi Perjalanan (Smart Mobility dan E-Ticketing) 101
6.9 Kendaraan Otonom dan Smart Logistics 104
6.10 Tantangan dan Peluang Implementasi ITS di Indonesia..... 106
6.11 Kesimpulan 108

BAB VII TRANSPORTASI DAN LINGKUNGAN 112
7.1 Pendahuluan 112
7.2 Dampak Transportasi terhadap Polusi Udara dan Energi 113
7.3 Green Transport dan Pengurangan Emisi CO_2..... 115
7.4 Transportasi Ramah Lingkungan 117
7.5 Ringkasan, Tantangan, dan Prospek Transportasi Ramah Lingkungan 121

BAB VIII EKONOMI & KEBIJAKAN TRANSPORTASI 126
8.1 Pendahuluan 126
8.2 Analisis Biaya-Manfaat Transportasi..... 127
8.3 Kebijakan Tarif, Subsidi, dan Regulasi Transportasi 129
8.4 Transportasi Inklusif dan Aksesibilitas 130
8.5 Ringkasan dan Prospek 131
8.6 Studi Kasus dan Aplikasi Ekonomi-Kebijakan Transportasi..... 132
8.7 Prospek Ekonomi dan Kebijakan Transportasi di Era Digital..... 135

BAB IX MANAJEMEN INFRASTRUKTUR TRANSPORTASI 139
9.1 Pendahuluan 139
9.2 Perencanaan dan Manajemen Jalan Tol 139
9.3 Pelabuhan, Bandara, Terminal, dan Stasiun 141
9.4 Sistem Logistik dan Rantai Pasok 143
9.5 Studi Kasus 144
9.6 Tantangan dan Prospek Masa Depan 145
9.7 Kesimpulan 145

BAB X STUDI KASUS & PROYEK TRANSPORTASI 151
10.1 Pendahuluan 151
10.2 Studi Jaringan Transportasi Perkotaan 152
10.3 Perencanaan Koridor Logistik 153
10.4 Evaluasi Proyek Transportasi Nasional dan Regional 154
10.5 Penutup 156

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala atas limpahan rahmat, taufik, dan karunia-Nya sehingga buku "Sistem Transportasi Lanjutan" ini dapat tersusun dengan baik dan terselesaikan sesuai rencana. Buku ini hadir sebagai bentuk kontribusi kecil dalam memperkaya literatur dan wawasan di bidang transportasi, khususnya mengenai sistem transportasi modern yang terus berkembang seiring kemajuan teknologi dan tuntutan mobilitas global.

Transportasi bukan hanya sekadar sarana perpindahan manusia dan barang, melainkan sebuah sistem kompleks yang melibatkan infrastruktur, teknologi, kebijakan, dan perilaku sosial. Dalam konteks dunia yang semakin terhubung, pemahaman tentang sistem transportasi lanjutan menjadi sangat penting baik bagi akademisi, praktisi, maupun pembuat kebijakan untuk menciptakan sistem transportasi yang efisien, aman, berkelanjutan, dan berkeadilan.

Buku ini diharapkan dapat memberikan pemahaman mendalam tentang konsep, komponen, dan penerapan sistem transportasi lanjutan yang meliputi aspek perencanaan, manajemen, rekayasa, dan inovasi teknologi. Setiap bab disusun secara sistematis agar pembaca dapat mengikuti alur berpikir dengan mudah

serta mengaitkannya dengan fenomena transportasi yang terjadi dalam kehidupan nyata.

Akhir kata, semoga buku "Sistem Transportasi Lanjutan" ini dapat menjadi referensi yang bermanfaat bagi mahasiswa, dosen, peneliti, dan semua pihak yang memiliki perhatian terhadap pengembangan sistem transportasi yang lebih maju dan berkelanjutan.

Parepare, Oktober 2025

Penulis

BAB I
KONSEP SISTEM TRANSPORTASI TERINTEGRASI

1.1 Pendahuluan

Transportasi merupakan tulang punggung pembangunan sosial, ekonomi, dan budaya. Keberadaannya tidak hanya berfungsi sebagai sarana perpindahan orang dan barang dari satu lokasi ke lokasi lain, melainkan juga sebagai instrumen yang menghubungkan wilayah, memperkuat integrasi nasional, serta memfasilitasi pertumbuhan ekonomi. Dalam konteks modern, sistem transportasi dituntut untuk tidak hanya efisien dan aman, tetapi juga berkelanjutan serta mampu beradaptasi dengan dinamika perkembangan global seperti urbanisasi, digitalisasi, dan perubahan iklim.

Konsep sistem transportasi terintegrasi hadir sebagai respons terhadap tantangan tersebut. Sistem ini menekankan keterpaduan antara elemen-elemen dasar transportasi serta sinergi antar moda, sehingga terbentuk jaringan transportasi yang mampu memberikan layanan optimal, efisien, ramah lingkungan, dan berorientasi pada pengguna. Dengan demikian, transportasi bukan sekadar fasilitas mobilitas, melainkan bagian dari ekosistem pembangunan yang

mendukung daya saing nasional dan kesejahteraan masyarakat.

Bab ini membahas secara sistematis tiga aspek pokok dari sistem transportasi terintegrasi, yaitu (1) elemen dasar sistem transportasi, (2) keterpaduan antar moda, serta (3) orientasi pada transportasi berkelanjutan.

1.2 Elemen Dasar Sistem Transportasi

Sebuah sistem transportasi dapat dianalogikan sebagai organisme hidup yang terdiri dari komponen saling terkait. Dalam literatur transportasi klasik maupun modern, empat elemen utama selalu disebut sebagai fondasi sistem, yaitu manusia, kendaraan, infrastruktur, dan regulasi.

1.2.1 Manusia sebagai Subjek dan Objek Transportasi

Manusia menempati posisi sentral dalam sistem transportasi, baik sebagai pengguna maupun penyelenggara.

- Sebagai pengguna, manusia membutuhkan layanan transportasi untuk memenuhi kebutuhan mobilitas: bekerja, berbisnis, berwisata, serta mengakses layanan publik. Kualitas hidup masyarakat sangat dipengaruhi oleh ketersediaan transportasi yang aman, cepat, dan terjangkau.
- Sebagai penyelenggara, manusia bertindak sebagai perencana, operator, regulator, dan pengawas. Profesionalisme sumber daya manusia

menentukan efektivitas pengelolaan transportasi, termasuk dalam pengendalian lalu lintas, perawatan sarana-prasarana, serta penerapan teknologi.

Dengan demikian, aspek manusia menjadi pusat orientasi desain sistem transportasi. Keberhasilan sistem terintegrasi harus diukur dari tingkat kepuasan dan keselamatan pengguna, serta kompetensi tenaga pengelolanya.

1.2.2 Kendaraan sebagai Sarana Mobilitas

Kendaraan merupakan alat utama perpindahan dalam sistem transportasi. Jenisnya beragam: kendaraan darat (mobil, bus, truk, sepeda motor), kereta api, kapal laut, hingga pesawat udara. Fungsi kendaraan tidak hanya sebagai sarana angkut, melainkan juga sebagai simbol kemajuan teknologi dan kinerja sistem transportasi.

Dalam kerangka sistem terintegrasi, kendaraan dituntut memenuhi kriteria:

1. Efisiensi energi, melalui teknologi hemat bahan bakar atau elektrifikasi.
2. Keselamatan, dengan standar desain yang mengurangi risiko kecelakaan.
3. Kapasitas, yang disesuaikan dengan kebutuhan perjalanan massal maupun individu.
4. Interoperabilitas, yakni kemampuan beradaptasi dengan sistem moda lain, misalnya bus feeder

untuk stasiun kereta atau kapal Ro-Ro yang mendukung transportasi darat–laut.

1.2.3 Infrastruktur sebagai Tulang Punggung Sistem

Tanpa infrastruktur, transportasi tidak dapat berjalan. Infrastruktur mencakup jalan raya, rel kereta api, terminal, bandara, pelabuhan, serta fasilitas penunjang seperti jembatan, simpang susun, dan pusat logistik. Infrastruktur bukan hanya elemen fisik, melainkan juga jaringan digital yang semakin penting dalam era transportasi cerdas (intelligent transport system/ITS).

Kualitas infrastruktur menentukan konektivitas dan aksesibilitas suatu wilayah. Jalan yang baik mempercepat arus distribusi barang, pelabuhan modern memperlancar ekspor-impor, dan bandara internasional meningkatkan daya saing pariwisata. Oleh karena itu, pembangunan infrastruktur harus didasarkan pada perencanaan jangka panjang yang mempertimbangkan keterhubungan antar moda serta dampak lingkungan.

1.2.4 Regulasi sebagai Instrumen Pengendali

Regulasi menjadi elemen pengendali agar transportasi tidak hanya berjalan efisien, tetapi juga adil dan aman. Peraturan meliputi standar teknis kendaraan, tata cara operasi, tarif, keselamatan, hingga perlindungan lingkungan. Regulasi juga menjadi instrumen koordinasi antara sektor publik dan swasta dalam penyelenggaraan transportasi.

Dalam konteks sistem terintegrasi, regulasi diperlukan untuk:

- Menjamin keseragaman standar teknis antar moda.
- Mengatur interoperabilitas layanan seperti tiket terpadu atau tarif kombinasi.
- Menegakkan prinsip keberlanjutan, misalnya melalui pajak karbon atau insentif kendaraan listrik.

Dengan demikian, keempat elemen dasar tersebut harus dipandang sebagai satu kesatuan yang saling melengkapi.

1.3 Keterpaduan Antar Moda Transportasi

Transportasi modern tidak lagi berdiri sendiri per moda, melainkan harus terhubung dalam jaringan yang saling melengkapi. Konsep keterpaduan antar moda (intermodality) menjadi pilar utama sistem transportasi terintegrasi.

1.3.1 Pentingnya Keterpaduan

Keterpaduan antar moda memberikan berbagai manfaat strategis:

- Efisiensi perjalanan: pengguna dapat berpindah moda tanpa hambatan berarti.
- Pengurangan biaya logistik: distribusi barang lebih cepat dan terkontrol.

- Pengurangan kemacetan dan emisi: pergeseran dari kendaraan pribadi ke angkutan massal.
- Peningkatan daya saing ekonomi: keterhubungan antar wilayah memperlancar rantai pasok.

1.3.2 Integrasi Jalan Raya dengan Moda Lain

Transportasi jalan raya merupakan moda dominan di Indonesia. Namun, tanpa integrasi dengan kereta api, laut, dan udara, jalan raya akan mengalami beban berlebih.

- Dengan kereta api: truk sebagai feeder ke stasiun kargo.
- Dengan laut: jaringan jalan menuju pelabuhan harus dirancang sesuai kapasitas kapal.
- Dengan udara: bandara memerlukan akses tol, kereta bandara, atau bus pengumpan.

1.3.3 Integrasi Kereta Api dengan Moda Lain

Kereta api unggul dalam kapasitas dan efisiensi energi, terutama untuk angkutan massal dan barang jarak menengah hingga jauh. Integrasi dapat berupa:

- Intermoda penumpang: kereta bandara, integrasi tiket dengan bus kota.
- Intermoda barang: kereta peti kemas yang langsung terkoneksi dengan pelabuhan.

1.3.4 Integrasi Transportasi Laut

Sebagai negara kepulauan, Indonesia sangat bergantung pada transportasi laut. Keterpaduan dilakukan melalui:

- Pelabuhan terpadu dengan jalan tol, kereta api, dan bandara.
- Sistem logistik multimoda yang memanfaatkan kapal Ro-Ro untuk efisiensi distribusi.

1.3.5 Integrasi Transportasi Udara

Transportasi udara berperan vital untuk mobilitas jarak jauh. Integrasi dilakukan melalui:

- Kereta bandara dan bus feeder.
- Digitalisasi layanan tiket yang memudahkan kombinasi penerbangan dengan moda lain.

1.3.6 Teknologi dan Digitalisasi sebagai Enabler

Keterpaduan antar moda diperkuat dengan pemanfaatan teknologi digital, seperti:

- Sistem tiket terpadu (integrated ticketing system).
- Aplikasi perjalanan multimoda (journey planner).
- Internet of Things (IoT) untuk pelacakan barang.
- Big data dan AI untuk perencanaan lalu lintas.

1.4 Transportasi Berkelanjutan

Konsep transportasi berkelanjutan menekankan keseimbangan antara kebutuhan mobilitas, kelestarian lingkungan, dan keadilan sosial.

1.4.1 Definisi dan Prinsip

Transportasi berkelanjutan diartikan sebagai sistem transportasi yang mampu:

1. Memenuhi kebutuhan mobilitas generasi sekarang tanpa mengurangi kemampuan generasi mendatang.
2. Mengurangi dampak lingkungan, termasuk polusi udara, emisi karbon, dan kebisingan.
3. Mendorong akses yang adil bagi seluruh lapisan masyarakat.

1.4.2 Dimensi Lingkungan

- Pengurangan emisi melalui elektrifikasi kendaraan.
- Penggunaan energi terbarukan dalam operasi transportasi.
- Perlindungan ekosistem dalam pembangunan infrastruktur.

1.4.3 Dimensi Ekonomi

- Efisiensi biaya logistik untuk mendukung daya saing nasional.
- Investasi berkelanjutan pada infrastruktur hijau.
- Penerapan prinsip polluter pays untuk mendanai program lingkungan.

1.4.4 Dimensi Sosial

- Transportasi inklusif untuk penyandang disabilitas.
- Aksesibilitas transportasi publik ke wilayah terpencil.
- Peningkatan keselamatan lalu lintas sebagai hak dasar warga.

1.4.5 Strategi Implementasi

Untuk mewujudkan transportasi berkelanjutan, strategi yang dapat diterapkan antara lain:

1. Pengembangan angkutan massal perkotaan berbasis rel dan bus rapid transit (BRT).
2. Integrasi moda ramah lingkungan, seperti sepeda dan kendaraan listrik.
3. Digitalisasi sistem transportasi untuk efisiensi operasional.
4. Penerapan kebijakan insentif dan disinsentif, misalnya subsidi angkutan umum dan pajak kendaraan berbahan bakar fosil.

1.5 Kesimpulan

Sistem transportasi terintegrasi merupakan paradigma baru dalam penyelenggaraan transportasi modern. Elemen dasar sistem—manusia, kendaraan, infrastruktur, dan regulasi—harus dikelola secara sinergis. Keterpaduan antar moda merupakan prasyarat untuk meningkatkan efisiensi dan daya saing, sementara prinsip keberlanjutan menjadi landasan agar transportasi tidak menimbulkan beban bagi lingkungan maupun generasi mendatang.

Dengan demikian, pembangunan sistem transportasi terintegrasi dan berkelanjutan bukan hanya persoalan teknis, melainkan strategi nasional dalam menghadapi tantangan globalisasi, urbanisasi, dan perubahan iklim.

1.6 Studi Kasus dan Praktik Terbaik Transportasi Terintegrasi

1.6.1 Studi Kasus Internasional

Pengalaman berbagai negara menunjukkan bahwa transportasi terintegrasi bukan sekadar konsep, melainkan praktik nyata yang mendukung pertumbuhan ekonomi dan kualitas hidup.

- Jepang – Integrasi Kereta Api dan Transportasi Kota

  Jepang dikenal memiliki sistem kereta api paling efisien di dunia. Tokyo Metropolitan Area merupakan contoh terbaik integrasi moda: kereta bawah tanah, kereta komuter, bus kota, dan layanan taksi saling terhubung melalui jaringan terminal terpadu. Selain itu, sistem tiket elektronik seperti *Suica* dan *Pasmo* memungkinkan pengguna berpindah moda tanpa harus membeli tiket terpisah. Hasilnya adalah efisiensi perjalanan, pengurangan kemacetan, dan penurunan emisi karbon.

- Singapura – Smart Mobility

  Singapura mengembangkan sistem transportasi cerdas berbasis teknologi informasi. Integrasi dilakukan melalui *Mass Rapid Transit (MRT)* yang terkoneksi langsung dengan jaringan bus, taksi, hingga layanan sepeda berbagi. Semua moda terhubung melalui sistem pembayaran elektronik

terpadu (*EZ-Link*). Pemerintah juga menerapkan kebijakan Electronic Road Pricing (ERP) untuk mengurangi kemacetan sekaligus mendorong peralihan ke angkutan umum.

- Belanda – Integrasi Sepeda dan Transportasi Massal

  Belanda menjadi contoh transportasi ramah lingkungan. Infrastruktur sepeda yang luas terhubung dengan stasiun kereta api dan terminal bus. Dengan demikian, masyarakat lebih memilih bersepeda menuju stasiun lalu melanjutkan perjalanan menggunakan kereta. Sistem ini berhasil mengurangi ketergantungan pada kendaraan bermotor serta menekan emisi gas rumah kaca.
- Tiongkok – Revolusi Kendaraan Listrik

  Tiongkok mengembangkan transportasi terintegrasi dengan mendorong penggunaan bus listrik skala besar di kota-kota besar seperti Shenzhen dan Beijing. Integrasi dilakukan melalui *charging station* yang terkoneksi dengan jaringan energi terbarukan. Hasilnya, transportasi publik semakin ramah lingkungan, sekaligus memperkuat industri kendaraan listrik nasional.

1.6.2 Konteks Indonesia

Indonesia sebagai negara kepulauan dengan populasi besar menghadapi tantangan unik dalam mewujudkan

transportasi terintegrasi. Namun, sejumlah upaya telah dilakukan:

- KRL Jabodetabek dan Integrasi Moda
  Di wilayah Jabodetabek, KRL (Kereta Rel Listrik) menjadi moda backbone yang diintegrasikan dengan TransJakarta, MRT, LRT, dan angkutan pengumpan. Penerapan sistem pembayaran elektronik melalui *JakLingko* merupakan langkah penting menuju transportasi terintegrasi.
- Tol Laut
  Pemerintah menginisiasi program Tol Laut untuk mengurangi disparitas harga antar wilayah. Program ini menghubungkan pelabuhan-pelabuhan strategis dengan dukungan kapal reguler. Tantangan berikutnya adalah integrasi dengan transportasi darat agar distribusi logistik dari pelabuhan ke daerah tujuan lebih efisien.
- Bandara Internasional Yogyakarta (YIA)
  YIA dirancang dengan konsep integrasi. Akses menuju bandara ini dilayani oleh kereta bandara, jalan tol, dan bus antarkota. Hal ini merupakan langkah maju dalam meningkatkan konektivitas udara dengan moda darat.
- Transportasi Perkotaan Berbasis Bus Rapid Transit (BRT)
  Sejumlah kota seperti Jakarta, Semarang, dan Makassar telah mengembangkan sistem BRT.

Tantangan yang dihadapi adalah memperluas integrasi dengan angkutan pengumpan, moda rel, serta digitalisasi layanan tiket.

1.7 Tren dan Tantangan Global Transportasi Terintegrasi

1.7.1 Tren Global

- Digitalisasi dan Smart Mobility
  Transformasi digital mendorong lahirnya aplikasi perencanaan perjalanan multimoda, pembayaran non-tunai, dan pelacakan real-time. Konsep *Mobility as a Service (MaaS)* berkembang pesat, yaitu integrasi berbagai moda transportasi dalam satu platform digital.
- Elektrifikasi Kendaraan
  Kendaraan listrik semakin mendominasi pasar global. Integrasi infrastruktur *charging station* dengan sistem transportasi publik menjadi strategi kunci mengurangi emisi.
- Transportasi Otonom
  Mobil dan bus tanpa pengemudi sedang diuji coba di Amerika Serikat, Eropa, dan Asia. Kehadiran kendaraan otonom akan menuntut integrasi baru dalam sistem transportasi, termasuk regulasi keselamatan.
- Logistik Multimoda dan E-Commerce

Pertumbuhan e-commerce mendorong kebutuhan distribusi cepat. Integrasi transportasi darat, laut, dan udara menjadi kunci dalam efisiensi rantai pasok global.

- Keberlanjutan dan Green Mobility
  Negara-negara maju mendorong pembangunan transportasi rendah karbon. Investasi diarahkan pada angkutan massal, energi terbarukan, dan jalur non-motorized seperti sepeda serta pejalan kaki.

1.7.2 Tantangan Global

- Urbanisasi: kota-kota besar menghadapi tekanan mobilitas akibat lonjakan penduduk.
- Kemacetan dan Polusi: transportasi berbasis kendaraan pribadi masih mendominasi.
- Pendanaan Infrastruktur: keterbatasan dana publik menghambat pembangunan infrastruktur terintegrasi.
- Ketimpangan Akses: wilayah terpencil sering tertinggal dalam layanan transportasi.
- Perubahan Iklim: transportasi menyumbang sekitar 24% emisi CO_2 global (IEA, 2023).

1.8 Perspektif Transportasi Terintegrasi untuk Indonesia

1.8.1 Peluang

- Posisi Strategis Geografis: Indonesia dapat menjadi simpul logistik global.
- Bonus Demografi: tenaga kerja produktif mendukung pembangunan sistem transportasi modern.
- Transformasi Digital: perkembangan startup transportasi membuka peluang integrasi berbasis teknologi.
- Dukungan Pemerintah: RPJMN 2020–2024 menempatkan pembangunan transportasi sebagai prioritas nasional.

1.8.2 Tantangan

- Ketimpangan Wilayah: integrasi transportasi di Jawa jauh lebih maju dibanding kawasan timur Indonesia.
- Pendanaan: pembangunan moda rel dan pelabuhan membutuhkan investasi besar.
- Koordinasi Lintas Sektor: sinergi antara pemerintah pusat, daerah, dan swasta sering menghadapi kendala birokrasi.
- Kesadaran Publik: budaya penggunaan kendaraan pribadi masih dominan, sehingga pergeseran ke angkutan umum memerlukan waktu.

1.9 Arah Pengembangan Transportasi Berkelanjutan di Indonesia

1.9.1 Strategi Jangka Pendek

- Optimalisasi integrasi KRL, MRT, LRT, dan BRT di kota besar.
- Digitalisasi sistem tiket melalui *JakLingko* atau aplikasi nasional sejenis.
- Peningkatan konektivitas pelabuhan dan bandara dengan jaringan jalan dan kereta.

1.9.2 Strategi Jangka Menengah

- Pengembangan jaringan kereta api antarkota di luar Jawa.
- Modernisasi pelabuhan utama dengan konsep *seaport city*.
- Penyediaan bus listrik di kota besar.

1.9.3 Strategi Jangka Panjang

- Pembangunan sistem logistik multimoda nasional.
- Integrasi transportasi darat, laut, dan udara berbasis digital.
- Penerapan prinsip green transport melalui energi terbarukan dan kendaraan listrik massal.

1.10 Penutup

Konsep sistem transportasi terintegrasi bukan sekadar kebutuhan teknis, melainkan fondasi pembangunan nasional yang berkelanjutan. Integrasi antar moda, pengelolaan elemen dasar transportasi secara harmonis,

serta penerapan prinsip keberlanjutan akan menjadi penentu daya saing Indonesia di era globalisasi.

Ke depan, keberhasilan implementasi sistem transportasi terintegrasi akan bergantung pada tiga faktor utama: komitmen pemerintah, partisipasi swasta, dan kesadaran masyarakat. Dengan sinergi ketiga faktor tersebut, transportasi Indonesia dapat menjadi tulang punggung pertumbuhan ekonomi sekaligus motor penggerak pembangunan berkelanjutan.

Tambahan Ilustrasi

Tabel 1.1 Elemen Dasar Sistem Transportasi dan Perannya

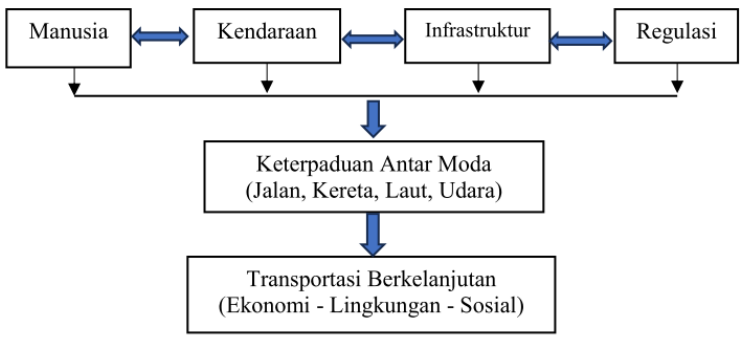
Elemen	Fungsi Utama	Contoh Implementasi
Manusia	Pengguna, operator, regulator, perencana	Penumpang, sopir, pilot, pengawas lalu lintas, perencana transportasi
Kendaraan	Sarana mobilitas dan angkutan barang/orang	Bus, truk, kereta api, kapal laut, pesawat
Infrastruktur	Fasilitas fisik dan digital yang mendukung pergerakan	Jalan tol, rel kereta, pelabuhan, bandara, terminal, sistem ITS
Regulasi	Instrumen hukum dan kebijakan untuk pengendalian, keselamatan, dan keberlanjutan	UU Lalu Lintas, tarif terpadu, pajak karbon, standar teknis kendaraan

Tabel 1.2 Contoh Integrasi Antar Moda Transportasi

Moda Utama	Moda Terintegrasi	Contoh Implementasi
Jalan Raya	Kereta Api, Laut, Udara	Jalan tol menuju pelabuhan dan bandara; terminal bus terhubung stasiun kereta
Kereta	Jalan, Laut, Udara	Kereta bandara; kereta peti kemas ke

Api		pelabuhan
Laut	Jalan Raya, Kereta Api, Udara	Pelabuhan dengan akses jalan tol dan rel kargo
Udara	Jalan Raya, Kereta Api	Akses bandara melalui kereta bandara dan bus pengumpan

Skema 1.1 Konsep Sistem Transportasi Terintegrasi



Skema di atas menunjukkan hubungan elemen dasar transportasi dengan keterpaduan antar moda, yang pada akhirnya mengarah pada sistem transportasi berkelanjutan.

Gambar 1.1 Tren Global Transportasi Terintegrasi

(Visualisasi sederhana yang dapat dikembangkan dalam versi grafis buku)

1. Digitalisasi & MaaS
2. Kendaraan listrik & energi terbarukan
3. Transportasi otonom
4. Logistik multimoda global
5. Mobilitas ramah lingkungan (*green mobility*)

Executive Summary

Bab I menjelaskan kerangka konseptual mengenai **sistem transportasi terintegrasi** sebagai fondasi pembangunan mobilitas modern. Fokus utama pembahasan adalah elemen dasar sistem transportasi, keterpaduan antar moda, serta prinsip transportasi berkelanjutan.

1. Elemen Dasar Sistem Transportasi

- Manusia: berperan sebagai pengguna, operator, dan regulator. Kompetensi SDM menjadi faktor penentu efektivitas transportasi.
- Kendaraan: sarana mobilitas yang harus memenuhi prinsip efisiensi energi, keselamatan, dan interoperabilitas antar moda.
- Infrastruktur: mencakup jaringan jalan, rel, pelabuhan, bandara, dan teknologi digital sebagai tulang punggung mobilitas.
- Regulasi: instrumen hukum untuk menjaga keselamatan, keadilan, keterpaduan, serta keberlanjutan transportasi.

2. Keterpaduan Antar Moda

- Transportasi jalan, kereta, laut, dan udara harus saling melengkapi dalam sistem multimoda.
- Integrasi penumpang: tiket terpadu, terminal penghubung, kereta bandara, bus feeder.

- Integrasi barang: kereta peti kemas terhubung pelabuhan, kapal Ro-Ro mendukung distribusi logistik.
- Teknologi digital (*Mobility as a Service, big data, IoT*) mempercepat implementasi keterpaduan.

3. Transportasi Berkelanjutan

- Lingkungan: mengurangi emisi, menggunakan energi terbarukan, melindungi ekosistem.
- Ekonomi: menekan biaya logistik, investasi infrastruktur hijau, dan efisiensi biaya perjalanan.
- Sosial: aksesibilitas adil, transportasi inklusif, keselamatan lalu lintas.
- Strategi implementasi mencakup pengembangan angkutan massal perkotaan, digitalisasi layanan, dan kebijakan insentif-disinsentif.

4. Studi Kasus dan Tren Global

- Jepang: integrasi kereta dengan transportasi kota.
- Singapura: smart mobility berbasis digital dan road pricing.
- Belanda: integrasi sepeda dengan transportasi massal.
- Tiongkok: elektrifikasi transportasi publik.
- Indonesia: integrasi KRL–MRT–TransJakarta, program Tol Laut, kereta bandara, dan BRT perkotaan.

5. Arah untuk Indonesia

- Jangka pendek: digitalisasi tiket, optimalisasi angkutan umum di kota besar.
- Jangka menengah: perluasan jaringan rel di luar Jawa, modernisasi pelabuhan, adopsi bus listrik.
- Jangka panjang: sistem logistik multimoda nasional, kendaraan listrik massal, dan green transport.

Kesimpulan Ringkas

Transportasi terintegrasi adalah kunci bagi mobilitas efisien, daya saing ekonomi, dan pembangunan berkelanjutan. Elemen dasar (manusia, kendaraan, infrastruktur, regulasi) harus dikelola secara harmonis, keterpaduan antar moda harus dipercepat dengan dukungan digitalisasi, dan orientasi pada keberlanjutan harus menjadi landasan utama.

Soal

1. Jelaskan empat elemen dasar dalam sistem transportasi dan berikan contoh bagaimana keempat elemen tersebut saling berhubungan dalam membentuk transportasi terintegrasi!
2. Apa perbedaan utama antara integrasi transportasi penumpang dan integrasi transportasi barang? Berikan contoh penerapan di Indonesia!
3. Mengapa konsep transportasi berkelanjutan penting dalam pembangunan sistem transportasi

modern? Sebutkan tiga aspek utamanya dan bagaimana penerapannya di Indonesia!

Daftar Pustaka

1. Asian Development Bank. (2019). *Sustainable Transport for Development: Policy, Planning, and Implementation*. Manila: ADB.
2. Banister, D. (2008). The sustainable mobility paradigm. *Transport Policy, 15*(2), 73–80. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2007.10.005
3. Black, W. R. (2010). *Sustainable Transportation: Problems and Solutions*. New York: Guilford Press.
4. Cervero, R. (2013). Transport infrastructure and the environment: Sustainable mobility and urbanism. *International Journal of Sustainable Transportation, 7*(1), 1–3.
5. Geerlings, H., Shiftan, Y., & Stead, D. (Eds.). (2012). *Transition towards Sustainable Mobility: The Role of Instruments, Individuals and Institutions*. London: Routledge.
6. International Energy Agency (IEA). (2023). *CO_2 Emissions from Fuel Combustion 2023*. Paris: OECD/IEA.
7. Litman, T. (2021). *Transportation and Environmental Policy Planning*. Victoria Transport Policy Institute.
8. Nasution, M. N. (2004). *Manajemen Transportasi*. Jakarta: Ghalia Indonesia.

9. Pojani, D., & Stead, D. (2015). Sustainable urban transport in developing countries: Beyond megacities. *Sustainability, 7*(6), 7784–7805. https://doi.org/10.3390/su7067784
10. Rodrigue, J.-P. (2020). *The Geography of Transport Systems* (5th ed.). New York: Routledge.
11. Susantono, B. (2016). *Transportasi untuk Pembangunan Berkelanjutan di Indonesia*. Jakarta: Gramedia.
12. United Nations. (2016). *Mobilizing Sustainable Transport for Development*. Report of the Secretary-General's High-Level Advisory Group on Sustainable Transport. New York: United Nations.
13. World Bank. (2018). *Transforming Transportation in Emerging Economies*. Washington, DC: The World Bank.

BAB II
PERMODELAN TRANSPORTASI (TRANSPORT MODELING)

2.1 Pendahuluan

Transportasi modern tidak dapat dipahami hanya melalui pengamatan empiris. Kompleksitas interaksi antara manusia, kendaraan, dan infrastruktur menuntut adanya pendekatan analitis yang sistematis, salah satunya melalui permodelan transportasi. Permodelan ini memungkinkan perencana dan insinyur transportasi untuk memproyeksikan permintaan perjalanan, mengevaluasi skenario kebijakan, serta menilai dampak dari pembangunan infrastruktur baru.

Transport modeling telah berkembang dari pendekatan sederhana berbasis persamaan hingga sistem simulasi berbasis komputer dengan visualisasi tiga dimensi. Pada bab ini akan dibahas:

1. Model permintaan perjalanan (trip generation, trip distribution, modal split, route assignment).
2. Model makroskopik vs mikroskopik.
3. Aplikasi perangkat lunak transportasi (VISSIM, TransCAD, SATURN, dsb.).

2.2 Konsep Dasar Permodelan Transportasi

Permodelan transportasi adalah representasi matematis atau komputasional dari sistem transportasi dunia

nyata. Tujuannya adalah memahami, memprediksi, dan mengevaluasi pola perjalanan dalam suatu wilayah. Secara umum, model transportasi dibangun atas dasar empat tahap klasik (four-step model), yaitu:

1. Trip Generation (Pembangkitan Perjalanan)
2. Trip Distribution (Distribusi Perjalanan)
3. Modal Split (Pembagian Moda)
4. Route Assignment (Pembebanan Rute)

2.2.1 Karakteristik Model Transportasi

- Abstraksi: menyederhanakan kondisi nyata yang kompleks.
- Kuantifikasi: menggunakan data numerik untuk mewakili perilaku transportasi.
- Prediktif: digunakan untuk proyeksi di masa depan.
- Evaluatif: menilai kebijakan, tarif, dan pembangunan infrastruktur.

2.3 Model Permintaan Perjalanan

2.3.1 Trip Generation (Pembangkitan Perjalanan)

Trip generation menjawab pertanyaan: berapa banyak perjalanan yang dihasilkan dan ditarik oleh suatu zona? Faktor utama: jumlah penduduk, karakteristik sosial-ekonomi, tata guna lahan, serta tingkat pendapatan.

- Metode Analisis:

- *Cross Classification*: membagi populasi berdasarkan kategori (misalnya, pendapatan dan kepemilikan kendaraan).
- *Regression Analysis*: menghubungkan jumlah perjalanan dengan variabel independen (pendapatan, luas lahan komersial).

Contoh: Sebuah zona dengan dominasi kawasan perumahan akan menghasilkan perjalanan (trip production), sementara zona pusat perbelanjaan akan menarik perjalanan (trip attraction).

2.3.2 Trip Distribution (Distribusi Perjalanan)

Tahap ini menjawab pertanyaan: ke mana perjalanan tersebut akan menuju? Hasilnya berupa matriks asal-tujuan (OD matrix).

- Metode Populer:
  - *Growth Factor Method*: memperkirakan distribusi berdasarkan kondisi awal dengan faktor pertumbuhan.
  - *Gravity Model*: analogi hukum gravitasi Newton, di mana interaksi antara dua zona berbanding lurus dengan "massa" (penduduk/aktivitas) dan berbanding terbalik dengan jarak atau biaya perjalanan.

2.3.3 Modal Split (Pembagian Moda)

Tahap ini menentukan: moda transportasi apa yang dipilih pengguna (mobil pribadi, bus, kereta, sepeda, dll.)?

- Faktor Penentu: biaya, waktu tempuh, kenyamanan, aksesibilitas, dan ketersediaan fasilitas.
- Metode Analisis:
  - *Logit Model*: probabilitas pemilihan moda dihitung berdasarkan utilitas relatif masing-masing moda.
  - *Disaggregate Models*: pendekatan berbasis individu dengan karakteristik lebih detail.

Contoh: Jika biaya dan waktu perjalanan kereta lebih rendah dibandingkan mobil pribadi, model akan menunjukkan peningkatan pangsa moda kereta.

2.3.4 Route Assignment (Pembebanan Rute)

Tahap terakhir menjawab: rute mana yang dipilih pengguna transportasi?

- Pendekatan:
  - *All-or-Nothing Assignment*: semua perjalanan memilih rute dengan biaya terendah.
  - *User Equilibrium (Wardrop's First Principle)*: setiap pengguna memilih rute yang meminimalkan biaya pribadinya, hingga tidak ada yang dapat memperbaiki kondisi dengan berganti rute.
  - *System Optimal (Wardrop's Second Principle)*: rute ditetapkan agar biaya total sistem minimum, meskipun beberapa pengguna mengalami biaya lebih tinggi.

2.4 Model Makroskopik vs Mikroskopik

2.4.1 Model Makroskopik

- Definisi: memandang arus lalu lintas seperti aliran fluida.
- Karakteristik: fokus pada volume, kecepatan rata-rata, kepadatan.
- Contoh: model fundamental hubungan kecepatan–arus–kepadatan (fundamental diagram).
- Kelebihan: sederhana, cocok untuk perencanaan jangka panjang.
- Kekurangan: tidak menangkap perilaku individu pengemudi.

2.4.2 Model Mikroskopik

- Definisi: merepresentasikan perilaku individu kendaraan atau pejalan kaki.
- Karakteristik: mempertimbangkan *car-following*, *lane changing*, interaksi antar agen.
- Contoh: simulasi berbasis agen dalam software VISSIM.
- Kelebihan: detail, realistis, mendukung analisis operasional.
- Kekurangan: membutuhkan data rinci dan komputasi tinggi.

2.4.3 Model Mesoskopik (Tambahan)

Sebagai kompromi, model mesoskopik menggabungkan aspek makroskopik dan mikroskopik: perilaku

kendaraan dimodelkan agregat, tetapi dengan elemen interaksi terbatas.

2.5 Aplikasi Software Transportasi

Seiring perkembangan teknologi, analisis transportasi tidak lagi mengandalkan perhitungan manual, melainkan perangkat lunak simulasi. Berikut beberapa aplikasi yang banyak digunakan:

2.5.1 VISSIM

- Dikembangkan oleh PTV Group.
- Tipe: mikroskopik berbasis agen.
- Fitur: *car-following model*, *lane-changing behavior*, simulasi pejalan kaki, integrasi dengan sinyal lalu lintas.
- Aplikasi: analisis simpang bersinyal, evaluasi desain jalan, uji coba manajemen lalu lintas.

2.5.2 TransCAD

- Dikembangkan oleh Caliper Corporation.
- Tipe: makroskopik dengan kemampuan GIS.
- Fitur: pemodelan jaringan transportasi berbasis peta digital, analisis matriks OD, perencanaan jaringan transit.
- Aplikasi: perencanaan transportasi kota dan regional.

2.5.3 SATURN (Simulation and Assignment of Traffic to Urban Road Networks)

- Dikembangkan di University of Leeds.

- Tipe: gabungan makroskopik–mikroskopik.
- Fitur: analisis *dynamic traffic assignment*, pemodelan interaksi simpang dan jaringan perkotaan.
- Aplikasi: studi dampak lalu lintas akibat pembangunan infrastruktur baru.

2.5.4 AIMSUN

- Tipe: mesoskopik dan mikroskopik.
- Fitur: simulasi multi-skala, integrasi dengan data waktu nyata (*real-time traffic management*).
- Aplikasi: smart city dan manajemen lalu lintas adaptif.

2.5.5 VISUM

- Tipe: makroskopik.
- Fitur: perencanaan transportasi strategis, prediksi permintaan jangka panjang.
- Aplikasi: masterplan transportasi regional.

2.6 Tantangan dan Tren Masa Depan

1. Big Data dan AI: penggunaan data GPS, sensor lalu lintas, serta machine learning untuk meningkatkan akurasi model.
2. Integrasi Transportasi Cerdas (ITS): simulasi lalu lintas terhubung dengan sistem kendali real-time.
3. Model Berkelanjutan: mempertimbangkan emisi karbon, energi, dan dampak lingkungan.
4. Multimodal Integration: model masa depan harus menangkap interaksi jalan raya, kereta api,

angkutan sungai, hingga moda baru seperti kendaraan otonom.

2.7 Kesimpulan

Permodelan transportasi merupakan fondasi penting dalam perencanaan, perancangan, dan manajemen sistem transportasi. Melalui empat tahap utama (trip generation, trip distribution, modal split, route assignment), model ini mampu menjelaskan pola perjalanan dari skala makro hingga perilaku individu. Perbedaan pendekatan makroskopik dan mikroskopik memungkinkan fleksibilitas analisis sesuai kebutuhan, sementara perangkat lunak modern seperti VISSIM, TransCAD, dan SATURN menjadi alat utama profesional transportasi dalam praktik.

Di masa depan, tantangan utama adalah menyatukan data besar, kecerdasan buatan, dan konsep keberlanjutan ke dalam model transportasi agar mampu mendukung sistem mobilitas yang efisien, inklusif, dan ramah lingkungan.

2.8 Studi Kasus Penerapan Model Transportasi

2.8.1 Jakarta: Permodelan Transportasi dalam Integrasi Moda

Jakarta sebagai kota megapolitan menghadapi tantangan serius berupa kemacetan kronis, polusi udara, dan ketidakseimbangan penggunaan moda transportasi.

Pemerintah DKI Jakarta melalui Jakarta Transport Master Plan memanfaatkan perangkat lunak seperti VISUM dan TransCAD untuk:

- Menghasilkan matriks asal–tujuan (OD matrix) berbasis data perjalanan dari survei rumah tangga dan data telepon seluler.
- Memodelkan skenario integrasi TransJakarta, MRT, dan LRT.
- Mengevaluasi kebijakan pembatasan kendaraan pribadi (Ganjil-Genap).

Hasil: model menunjukkan peningkatan signifikan pangsa moda angkutan umum dari <30% menjadi >50% jika integrasi moda diperkuat, ditambah dengan pembatasan kendaraan pribadi.

2.8.2 Singapura: Model untuk Manajemen Lalu Lintas Dinamis

Singapura dikenal sebagai pionir dalam penerapan road pricing (ERP: Electronic Road Pricing). Untuk merancang kebijakan ini, digunakan kombinasi AIMSUN (mesoskopik) dan VISSIM (mikroskopik):

- Simulasi skenario tarif jalan pada berbagai jam sibuk.
- Evaluasi dampak pada waktu tempuh, kepadatan, dan emisi kendaraan.
- Integrasi dengan data real-time dari sensor lalu lintas.

Hasil: Singapura berhasil menjaga kecepatan rata-rata jalan tol dalam kota tetap di atas 40 km/jam meskipun pertumbuhan jumlah kendaraan meningkat.

2.8.3 London: SATURN untuk Evaluasi Infrastruktur Baru

London banyak menggunakan SATURN dalam analisis dampak lalu lintas akibat pembangunan infrastruktur. Salah satu studi penting adalah Crossrail Project:

- Analisis distribusi perjalanan baru akibat tambahan jalur kereta bawah tanah.
- Evaluasi redistribusi lalu lintas jalan perkotaan.
- Simulasi interaksi simpang pada pusat kota.

Hasil: SATURN memprediksi penurunan volume kendaraan pribadi di pusat kota hingga 15% pasca-operasional Crossrail, dengan peningkatan signifikan penggunaan transportasi umum.

2.9 Tabel Perbandingan Software Transportasi

Untuk mempermudah pemahaman, berikut perbandingan perangkat lunak transportasi yang umum digunakan:

Software	Jenis Model	Kelebihan	Keterbatasan	Aplikasi Utama
VISSIM	Mikroskopik	Akurasi tinggi, simulasi realistis perilaku pengemudi & pejalan kaki	Membutuhkan data rinci, komputasi berat	Analisis simpang, uji coba desain jalan, manajemen lalu lintas
TransCAD	Makroskopik berbasis	Integrasi kuat dengan peta	Kurang detail pada level	Perencanaan jaringan kota,

	GIS	digital, cocok untuk perencanaan regional	operasional	analisis OD matrix
SATURN	Makro–mikro gabungan	Kuat untuk evaluasi kebijakan transportasi perkotaan	Antarmuka kurang ramah dibanding software baru	Analisis dampak pembangunan infrastruktur
AIMSUN	Mesoskopik & mikroskopik	Fleksibel, mendukung *real-time simulation*	Lisensi relatif mahal	Smart city, manajemen lalu lintas adaptif
VISUM	Makroskopik	Cocok untuk analisis jangka panjang & strategi transportasi	Kurang detail untuk operasional jalan	Masterplan transportasi regional

2.10 Ilustrasi Konseptual

Walaupun tidak disajikan dalam bentuk grafis langsung, berikut adalah gambaran deskriptif:

1. **Empat Tahap Model Permintaan Perjalanan (Four-Step Model)**
    - Bayangkan sebuah diagram alur berbentuk kotak-kotak berurutan:
        - Kotak pertama: *Trip Generation* (berapa perjalanan terbentuk).
        - Panah menuju kotak kedua: *Trip Distribution* (ke mana perjalanan menuju).
        - Panah menuju kotak ketiga: *Modal Split* (moda apa yang dipilih).

- Panah menuju kotak keempat: *Route Assignment* (jalan mana yang dipilih).

2. **Spektrum Model Transportasi**
   - Sebuah garis horizontal dengan 3 titik:
     - Kiri: *Makroskopik* (global, sederhana, prediksi jangka panjang).
     - Tengah: *Mesoskopik* (kombinasi, efisiensi komputasi).
     - Kanan: *Mikroskopik* (detail individu, operasional).
3. **Integrasi Software Transportasi**
   - Bayangkan sebuah peta kota digital dengan lapisan data:
     - Lapisan 1: *GIS (TransCAD)*.
     - Lapisan 2: *Jaringan jalan & OD matrix (VISUM)*.
     - Lapisan 3: *Simulasi lalu lintas (VISSIM, AIMSUN)*.
     - Lapisan 4: *Evaluasi kebijakan (SATURN)*.

2.11 Penutup

Bab ini menegaskan bahwa permodelan transportasi adalah inti perencanaan dan manajemen mobilitas modern. Melalui four-step model, perencana dapat memahami dinamika perjalanan masyarakat, memilih moda yang tepat, hingga menentukan jalur optimal.

Perbedaan makroskopik, mesoskopik, dan mikroskopik memberikan fleksibilitas analisis dari perencanaan

strategis hingga operasional detail. Sementara itu, aplikasi perangkat lunak seperti VISSIM, TransCAD, SATURN, VISUM, dan AIMSUN menjadi alat penting profesional transportasi untuk pengambilan keputusan berbasis data.

Studi kasus dari Jakarta, Singapura, dan London menunjukkan bagaimana permodelan transportasi mampu menjawab tantangan kota besar dan memandu kebijakan yang efektif.

Ke depan, permodelan transportasi akan semakin bergantung pada big data, kecerdasan buatan, serta integrasi dengan sistem transportasi cerdas (ITS), dengan orientasi tidak hanya pada efisiensi mobilitas, tetapi juga keberlanjutan lingkungan.

Executive Summary

Bab II membahas konsep, metodologi, dan aplikasi permodelan transportasi (transport modeling) sebagai alat analitis utama dalam perencanaan, pengelolaan, dan evaluasi sistem transportasi. Fokus utama bab ini meliputi empat tahap model permintaan perjalanan, perbedaan model makroskopik dan mikroskopik, serta aplikasi perangkat lunak transportasi modern.

1. Model Permintaan Perjalanan (Four-Step Model):

- *Trip Generation* – menentukan jumlah perjalanan yang dihasilkan dan ditarik suatu zona.
- *Trip Distribution* – menghubungkan asal dan tujuan perjalanan melalui matriks OD.

- *Modal Split* – menjelaskan pilihan moda berdasarkan faktor biaya, waktu, kenyamanan.
- *Route Assignment* – menentukan rute optimal berdasarkan prinsip *user equilibrium* atau *system optimal*.

2. Model Makroskopik vs Mikroskopik:

- *Makroskopik* memandang lalu lintas sebagai aliran agregat, sederhana dan efisien, cocok untuk perencanaan jangka panjang.
- *Mikroskopik* menyoroti perilaku individu kendaraan dan pejalan kaki, detail dan realistis, namun data-intensif dan komputasi berat.
- *Mesoskopik* menawarkan kompromi antara keduanya.

3. Aplikasi Software Transportasi: Perangkat lunak seperti VISSIM, TransCAD, SATURN, AIMSUN, dan VISUM menjadi instrumen utama profesional transportasi.

- TransCAD & VISUM: analisis makroskopik, perencanaan strategis.
- VISSIM & AIMSUN: simulasi mikroskopik/mesoskopik, analisis operasional detail.
- SATURN: kombinasi makro–mikro, ideal untuk evaluasi jaringan perkotaan.

4. Studi Kasus Internasional:

- *Jakarta*: integrasi TransCAD & VISUM untuk perencanaan MRT dan kebijakan pembatasan kendaraan.
- *Singapura*: penggunaan AIMSUN & VISSIM untuk manajemen lalu lintas dinamis (ERP).
- *London*: SATURN untuk evaluasi dampak Crossrail terhadap redistribusi perjalanan.

5. Tren Masa Depan:

Pengembangan permodelan transportasi semakin mengarah pada:

- Pemanfaatan big data (GPS, sensor lalu lintas) dan kecerdasan buatan.
- Integrasi dengan Intelligent Transport Systems (ITS).
- Orientasi pada keberlanjutan dan pengurangan emisi.

Kesimpulan:

Permodelan transportasi adalah fondasi penting dalam pengambilan keputusan strategis maupun operasional di sektor transportasi. Dengan dukungan perangkat lunak modern dan data besar, permodelan kini mampu memberikan gambaran lebih akurat tentang perilaku perjalanan dan dampak kebijakan. Hal ini memungkinkan terciptanya sistem transportasi yang efisien, adaptif, dan berkelanjutan.

Soal

1. Jelaskan secara ringkas empat tahap utama (four-step model) dalam permodelan transportasi. Sertakan contoh nyata penerapannya pada sistem transportasi perkotaan.
2. Bandingkan model makroskopik dan mikroskopik dalam permodelan transportasi. Sebutkan masing-masing kelebihan dan keterbatasannya, serta jelaskan dalam situasi apa model tersebut paling tepat digunakan.
3. Berikan perbandingan dua perangkat lunak transportasi yang berbeda jenis (misalnya TransCAD dan VISSIM), lalu jelaskan bagaimana keduanya dapat digunakan secara komplementer dalam sebuah proyek perencanaan transportasi perkotaan.

Daftar Pustaka

1. Ortúzar, J. de D., & Willumsen, L. G. (2011). *Modelling Transport* (4th ed.). Chichester: Wiley. → Buku fundamental yang menjelaskan teori, metodologi, dan aplikasi permodelan transportasi, termasuk four-step model.
2. Sheffi, Y. (1985). *Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods.* Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

→ Rujukan klasik mengenai teori *route assignment* dan konsep *user equilibrium*.

3. Ben-Akiva, M., & Lerman, S. R. (1985). *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand.* Cambridge, MA: MIT Press.
   → Landasan teori untuk *modal split* menggunakan pendekatan *logit model* dan model pilihan diskrit.
4. Meyer, M. D., & Miller, E. J. (2001). *Urban Transportation Planning: A Decision-Oriented Approach.* New York: McGraw-Hill.
   → Membahas perencanaan transportasi perkotaan dengan fokus pada pengambilan keputusan berbasis model.
5. Papacostas, C. S., & Prevedouros, P. D. (2001). *Transportation Engineering and Planning* (3rd ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
   → Buku teknik transportasi yang menjelaskan aspek rekayasa dan perencanaan transportasi secara makroskopik.
6. Wardrop, J. G. (1952). "Some Theoretical Aspects of Road Traffic Research." *Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Part II, 1(36),* 325–378.
   → Artikel seminal yang memperkenalkan prinsip *user equilibrium* dan *system optimal*.
7. PTV Group. (2022). *VISSIM 2022 User Manual.* Karlsruhe: PTV Group.

→ Panduan resmi penggunaan VISSIM untuk simulasi lalu lintas mikroskopik.

8. Caliper Corporation. (2021). *TransCAD Transportation Planning Software: User's Guide.* Newton, MA: Caliper.
   → Manual perangkat lunak TransCAD untuk analisis jaringan transportasi dan perencanaan berbasis GIS.
9. Van Vliet, D., & Hall, M. D. (2015). *SATURN: Simulation and Assignment of Traffic to Urban Road Networks – Technical Report.* Leeds: University of Leeds.
   → Dokumentasi akademik mengenai SATURN dan aplikasinya dalam analisis jaringan perkotaan.
10. TSS (Transport Simulation Systems). (2020). *AIMSUN Next User Manual.* Barcelona: TSS.
    → Panduan penggunaan AIMSUN untuk simulasi mesoskopik dan mikroskopik.
11. PTV Group. (2022). *VISUM 2022 User Manual.* Karlsruhe: PTV Group.
    → Manual VISUM untuk perencanaan transportasi strategis dan analisis makroskopik.
12. Cetin, N., Nagel, K., Raney, B., & Voellmy, A. (2002). "Large-Scale Multi-Agent Transportation Simulations." *Computer Physics Communications, 147(1–2),* 559–564.

→ Studi mengenai simulasi transportasi berbasis agen, relevan untuk model mikroskopik.

13. Litman, T. (2022). *Transportation and Environmental Policy: Evaluating Sustainability Strategies.* Victoria, Canada: Victoria Transport Policy Institute.
    → Referensi terkini mengenai integrasi permodelan transportasi dengan aspek keberlanjutan.
14. Cervero, R., & Murakami, J. (2010). "Effects of Built Environments on Vehicle Miles Traveled: Evidence from 370 US Urbanized Areas." *Environment and Planning A, 42(2),* 400–418.
    → Artikel empiris yang menghubungkan tata guna lahan dengan permintaan perjalanan.
15. FHWA (Federal Highway Administration). (2018). *Traffic Analysis Toolbox Volume I–X.* Washington, DC: U.S. Department of Transportation.
    → Kumpulan panduan analisis lalu lintas yang digunakan sebagai standar internasional, termasuk perbandingan software transportasi.

BAB III
ANALISIS LALU LINTAS DAN KINERJA JARINGAN JALAN

3.1 Pendahuluan

Analisis lalu lintas merupakan pilar utama dalam perencanaan, perancangan, dan pengelolaan sistem transportasi darat. Tujuan utama dari analisis ini adalah untuk memahami bagaimana arus lalu lintas terbentuk, berinteraksi, dan berubah seiring dengan variasi permintaan perjalanan maupun kapasitas infrastruktur. Dengan pemahaman yang komprehensif, perencana dan insinyur transportasi dapat merancang solusi yang mampu meningkatkan efisiensi jaringan jalan, mengurangi kemacetan, serta menjaga tingkat pelayanan (*level of service*/*LOS*) pada kondisi yang optimal.

Bab ini akan membahas tiga komponen utama:

1. Teori arus lalu lintas lanjutan (fundamental diagram), yang menggambarkan hubungan matematis dan empiris antara variabel kunci dalam arus lalu lintas.
2. Kapasitas jalan dan level of service, yang menjadi dasar evaluasi kinerja infrastruktur transportasi darat.

3. Simulasi lalu lintas, sebagai pendekatan modern untuk menganalisis skenario operasional dan perencanaan di dunia nyata.

3.2 Teori Arus Lalu Lintas Lanjutan

3.2.1 Konsep Dasar

Arus lalu lintas dapat dipandang sebagai fenomena fisik sekaligus sosial, di mana kendaraan bergerak di sepanjang jaringan jalan dengan interaksi kompleks antara pengemudi, kendaraan, dan lingkungan jalan. Tiga variabel dasar yang menjadi fondasi teori arus lalu lintas adalah:

- Arus (Flow, q): jumlah kendaraan yang melewati suatu titik dalam satuan waktu (kendaraan/jam).
- Kepadatan (Density, k): jumlah kendaraan per satuan panjang jalan (kend/km).
- Kecepatan (Speed, v): rata-rata kecepatan kendaraan (km/jam).

Hubungan matematis sederhana yang mengikat ketiganya adalah:

$$\mathbf{q = k \times v}$$

3.2.2 Fundamental Diagram

Fundamental Diagram of Traffic Flow menggambarkan hubungan antara arus, kecepatan, dan kepadatan. Diagram ini menjelaskan dinamika pergerakan lalu lintas dari kondisi lancar hingga macet total.

- Pada kepadatan rendah, arus lalu lintas meningkat seiring penambahan kendaraan karena kecepatan relatif tinggi.
- Pada titik tertentu, arus mencapai kapasitas maksimum (qmax).
- Setelah melewati titik kritis tersebut, penambahan kepadatan justru menurunkan arus karena kecepatan menurun drastis.

Terdapat tiga zona penting dalam fundamental diagram:

1. Free Flow (Arus Bebas): kepadatan rendah, kecepatan mendekati maksimum.
2. Congested Flow (Arus Padat): arus mendekati kapasitas, interaksi antar kendaraan intensif.
3. Breakdown / Stop-and-Go: kemacetan, kecepatan rendah, arus menurun meskipun kepadatan tinggi.

3.2.3 Model Matematis Fundamental Diagram

Beberapa pendekatan model telah dikembangkan, antara lain:

- Model Greenshields (Linear): hubungan linier antara kecepatan dan kepadatan.
- Model Greenberg (Logaritmik): hubungan logaritmik, sesuai dengan kondisi lalu lintas perkotaan.

- Model Underwood (Eksponensial): kecepatan menurun secara eksponensial terhadap kepadatan.

Masing-masing model memiliki keunggulan dan keterbatasan, serta diaplikasikan sesuai dengan konteks jaringan jalan dan data yang tersedia.

3.3 Kapasitas Jalan dan Level of Service

3.3.1 Kapasitas Jalan

Kapasitas jalan didefinisikan sebagai arus maksimum yang dapat melewati suatu ruas jalan dalam kondisi tertentu, biasanya diukur dalam kendaraan per jam per lajur. Faktor-faktor yang memengaruhi kapasitas meliputi:

- Karakteristik geometrik: jumlah lajur, lebar lajur, keberadaan median, tikungan, dan gradien.
- Kondisi lalu lintas: campuran kendaraan, persentase kendaraan berat, perilaku pengemudi.
- Faktor lingkungan: cuaca, penerangan, hambatan samping (pedagang kaki lima, pejalan kaki).
- Faktor operasional: manajemen lalu lintas, pengendalian persimpangan.

3.3.2 Level of Service (LOS)

Level of Service adalah ukuran kinerja operasional jalan berdasarkan persepsi pengguna, dikategorikan dari A hingga F.

- LOS A: arus bebas, kecepatan tinggi, kenyamanan maksimal.
- LOS B–C: arus stabil, interaksi antar kendaraan mulai terasa.
- LOS D: mendekati kapasitas, kecepatan menurun signifikan.
- LOS E: kapasitas maksimum, arus sangat padat, tidak stabil.
- LOS F: macet total, arus menurun, kecepatan sangat rendah.

3.3.3 Metodologi Evaluasi

Evaluasi kapasitas dan LOS umumnya mengacu pada standar seperti Highway Capacity Manual (HCM). Parameter yang dianalisis meliputi kecepatan rata-rata, volume lalu lintas, kepadatan, dan waktu tempuh.

3.4 Simulasi Lalu Lintas

3.4.1 Peran Simulasi dalam Analisis

Simulasi lalu lintas merupakan metode analitis berbasis komputer yang memodelkan interaksi kendaraan secara detail dalam suatu jaringan jalan. Keunggulan simulasi adalah kemampuannya untuk:

- Menganalisis skenario "what-if" sebelum implementasi kebijakan.
- Mengevaluasi dampak intervensi terhadap kinerja lalu lintas.

- Memvisualisasikan dinamika arus lalu lintas secara real-time.

3.4.2 Jenis Simulasi

- Makroskopik: merepresentasikan lalu lintas sebagai aliran agregat (contoh: VISUM).
- Mikroskopik: memodelkan perilaku kendaraan individu (contoh: VISSIM, AIMSUN).
- Mesoskopik: kombinasi keduanya, menyeimbangkan detail dan efisiensi (contoh: DynusT).

3.4.3 Aplikasi Praktis

Beberapa aplikasi simulasi yang umum digunakan oleh profesional transportasi:

- Perancangan persimpangan: evaluasi efektivitas lampu lalu lintas, bundaran, atau flyover.
- Manajemen lalu lintas perkotaan: penerapan *traffic calming*, jalur bus khusus, kebijakan ERP (Electronic Road Pricing).
- Perencanaan jangka panjang: analisis dampak pembangunan jalan tol atau jaringan MRT terhadap lalu lintas perkotaan.

3.4.4 Tantangan dan Keterbatasan

Meskipun simulasi sangat bermanfaat, terdapat beberapa tantangan:

- Kebutuhan data detail dan akurat.
- Kompleksitas model yang tinggi.
- Biaya perangkat lunak dan pelatihan.

- Validasi hasil simulasi agar sesuai dengan kondisi nyata.

3.5 Kesimpulan

Analisis lalu lintas dan kinerja jaringan jalan merupakan fondasi dalam perencanaan dan rekayasa transportasi. Pemahaman mendalam terhadap teori arus lalu lintas, konsep kapasitas dan LOS, serta penerapan simulasi modern sangat penting untuk mendukung pengambilan keputusan yang berbasis data dan evidence. Integrasi teori dan teknologi memungkinkan terciptanya sistem transportasi jalan yang lebih efisien, aman, dan berkelanjutan.

3.6 Studi Kasus Analisis Lalu Lintas

3.6.1 Jakarta – Evaluasi Kebijakan Ganjil-Genap

Kota Jakarta menghadapi tingkat kemacetan yang sangat tinggi dengan kecepatan rata-rata < 20 km/jam di jam sibuk. Untuk mengendalikan arus lalu lintas, Pemerintah Provinsi DKI Jakarta menerapkan kebijakan ganjil-genap berdasarkan nomor kendaraan.

- Pendekatan analisis: menggunakan *mesoskopik simulation* (DynusT) dan *mikroskopik simulation* (VISSIM) untuk menguji skenario lalu lintas.
- Hasil: terjadi penurunan volume kendaraan pribadi hingga 25% di koridor tertentu, kecepatan

meningkat 20–30%, namun perpindahan moda belum signifikan.

- Catatan: efektivitas kebijakan sangat tergantung pada ketersediaan transportasi publik yang memadai sebagai substitusi.

3.6.2 Surabaya – Penerapan ATCS (Area Traffic Control System)

Surabaya mengembangkan sistem ATCS dengan sensor, kamera, dan pengendalian sinyal lalu lintas adaptif.

- Pendekatan analisis: pemodelan arus dengan TransCAD untuk prediksi makro, kemudian VISSIM untuk evaluasi operasional.
- Hasil: waktu tunggu di persimpangan menurun hingga 25%, antrian berkurang signifikan, dan efisiensi bahan bakar meningkat.
- Catatan: ATCS efektif pada jaringan perkotaan padat, tetapi memerlukan integrasi sistem transportasi cerdas (ITS) secara menyeluruh.

3.6.3 Singapura – ERP (Electronic Road Pricing)

Singapura dikenal sebagai pelopor ERP, sistem tol elektronik berbasis tarif dinamis.

- Pendekatan analisis: kombinasi *macroscopic traffic assignment* dengan VISUM dan evaluasi mikroskopik dengan AIMSUN.
- Hasil: distribusi perjalanan lebih merata, lalu lintas pusat kota terkendali, dan pendapatan dari ERP dialokasikan untuk transportasi publik.

- Pelajaran: tarif dinamis berbasis waktu dan lokasi terbukti lebih efektif dibandingkan kebijakan pembatasan kendaraan statis.

3.6.4 Tokyo – Integrasi Jaringan Jalan dan Transportasi Publik

Tokyo mengintegrasikan jalan raya, jalur kereta, dan transportasi publik dalam perencanaan jangka panjang.

- Pendekatan analisis: *four-step model* untuk perencanaan, dilanjutkan dengan simulasi dinamis multi-moda.
- Hasil: meskipun kepadatan tinggi, sistem tetap efisien karena distribusi moda yang seimbang antara jalan raya dan angkutan massal.
- Catatan: integrasi multi-moda menjadi faktor kunci dalam menjaga keberlanjutan transportasi di kota megapolitan.

3.7 Metode Evaluasi Kuantitatif Kinerja Jaringan Jalan

3.7.1 Volume to Capacity Ratio (V/C Ratio)

Indikator utama untuk menilai kinerja ruas jalan:

$$V/C = \frac{\text{Volume Lalu Lintas}}{\text{Kapasitas}}$$

- V/C < 0,7: arus masih lancar, LOS A–C.
- V/C 0,7–1,0: mendekati kapasitas, LOS D–E.
- V/C > 1,0: melebihi kapasitas, kondisi macet, LOS F.

3.7.2 Delay (Waktu Tunda)

Digunakan untuk evaluasi simpang bersinyal maupun tak bersinyal.

- Tunda rata-rata dihitung dalam detik/kendaraan.
- HCM membagi LOS simpang berdasarkan nilai delay (misalnya LOS A: <10 detik, LOS F: >80 detik per kendaraan).

3.7.3 Travel Time Reliability

Keandalan waktu perjalanan menjadi aspek penting di era modern.

- Buffer Time Index (BTI): proporsi waktu ekstra yang perlu disiapkan pengguna agar tiba tepat waktu.
- Planning Time Index (PTI): perbandingan antara waktu perjalanan pada kondisi 95th percentile terhadap waktu tempuh normal.

3.7.4 Emisi dan Energi

Dalam evaluasi kinerja modern, aspek lingkungan juga diperhitungkan. Simulasi mikroskopik (misalnya dengan VISSIM atau AIMSUN) memungkinkan estimasi konsumsi bahan bakar dan emisi CO_2 berdasarkan pola stop-and-go.

3.8 Perkembangan Modern dalam Analisis Lalu Lintas

3.8.1 Big Data dan Sensor Lalu Lintas

Kemajuan teknologi sensor (CCTV, GPS, data ponsel) memungkinkan pengumpulan data lalu lintas secara real-time.

- Aplikasi: pengukuran kecepatan rata-rata (Google Maps, Waze), prediksi kepadatan, manajemen lalu lintas adaptif.
- Kelebihan: data besar dengan resolusi tinggi, akurat, dan terus diperbarui.

3.8.2 Artificial Intelligence (AI) dan Machine Learning

AI digunakan untuk memprediksi pola lalu lintas, optimasi sinyal, hingga manajemen jaringan adaptif.

- *Deep learning* dapat mengidentifikasi pola kemacetan dari data kamera.
- *Reinforcement learning* diaplikasikan untuk optimasi lampu lalu lintas adaptif.

3.8.3 Connected and Autonomous Vehicles (CAVs)

Perkembangan kendaraan otonom menambah kompleksitas analisis.

- Simulasi lalu lintas kini harus memperhitungkan interaksi kendaraan otonom dengan kendaraan konvensional.
- Potensi peningkatan kapasitas jalan karena jarak antar kendaraan lebih efisien.

3.8.4 Integrasi dengan Intelligent Transport Systems (ITS)

ITS menjadi pilar transformasi transportasi modern.

- Traffic Management Center (TMC): mengintegrasikan data sensor, prediksi lalu lintas, dan pengendalian sinyal.
- Dynamic Traffic Assignment (DTA): simulasi lalu lintas berbasis waktu nyata untuk redistribusi rute perjalanan.
- Smart Mobility: integrasi data transportasi publik, kendaraan pribadi, dan pejalan kaki untuk manajemen multimoda.

3.9 Kesimpulan

Analisis lalu lintas dan kinerja jaringan jalan merupakan bidang multidimensional yang terus berkembang. Dengan pemahaman teoritis melalui fundamental diagram, evaluasi kapasitas dan LOS, serta penerapan simulasi canggih, para profesional dapat merumuskan kebijakan berbasis data untuk mengatasi tantangan transportasi modern.

- Fundamental diagram menyediakan kerangka konseptual hubungan arus–kecepatan–kepadatan.
- Kapasitas jalan dan LOS menjadi standar evaluasi operasional yang diakui internasional.

- Simulasi lalu lintas memberi kemampuan untuk menguji skenario secara realistis.
- Metode kuantitatif seperti V/C ratio, delay, dan reliability menambah presisi evaluasi.
- Tren modern termasuk big data, AI, dan ITS akan semakin memperkaya metode analisis di masa depan.

Dengan mengintegrasikan pendekatan klasik dan teknologi modern, sistem transportasi jalan dapat dikelola secara lebih efisien, adaptif, berkelanjutan, dan responsif terhadap kebutuhan masyarakat.

Executive Summary

Bab III membahas pendekatan komprehensif dalam memahami dan mengevaluasi dinamika lalu lintas serta kinerja jaringan jalan. Tiga aspek utama menjadi fokus pembahasan:

- Teori Arus Lalu Lintas (Fundamental Diagram):
  - Menguraikan hubungan arus, kecepatan, dan kepadatan melalui model matematis (Greenshields, Greenberg, Underwood).
  - Menjelaskan perbedaan kondisi *free flow*, *congested flow*, hingga *breakdown*.
- Kapasitas Jalan dan Level of Service (LOS):
  - Kapasitas didefinisikan sebagai arus maksimum dalam kondisi ideal, dipengaruhi faktor geometrik, lalu lintas, dan lingkungan.

    - LOS menjadi ukuran kinerja jalan, dari A (arus bebas) hingga F (macet total).
    - Evaluasi dilakukan dengan indikator kuantitatif seperti V/C ratio, delay, dan reliability.
- Simulasi Lalu Lintas:
    - Digunakan untuk mengevaluasi kebijakan transportasi sebelum implementasi.
    - Terdapat tiga pendekatan: makroskopik (agregat), mikroskopik (individu), dan mesoskopik (gabungan).
    - Perangkat lunak seperti VISSIM, AIMSUN, VISUM, TransCAD, dan DynusT menjadi alat utama profesional transportasi.

Studi kasus di Jakarta, Surabaya, Singapura, dan Tokyo menunjukkan penerapan nyata analisis lalu lintas untuk kebijakan pembatasan kendaraan, ATCS, ERP, serta integrasi multimoda.

Perkembangan modern meliputi pemanfaatan big data, AI, kendaraan otonom, dan ITS, yang memungkinkan analisis lebih akurat, real-time, dan berorientasi pada keberlanjutan.

Kesimpulan: Analisis lalu lintas modern tidak hanya berfungsi untuk mengevaluasi kapasitas jalan, tetapi juga menjadi instrumen strategis dalam mewujudkan sistem transportasi yang efisien, aman, dan adaptif terhadap tantangan masa depan.

Soal

1. Jelaskan perbedaan mendasar antara fundamental diagram Greenshields, Greenberg, dan Underwood dalam memodelkan hubungan arus–kecepatan–kepadatan.
2. Apa yang dimaksud dengan Level of Service (LOS), dan bagaimana kaitannya dengan rasio volume/kapasitas (V/C ratio)?
3. Sebutkan tiga keunggulan utama penggunaan simulasi lalu lintas dalam perencanaan dan evaluasi transportasi dibandingkan dengan metode analisis manual.

Daftar Pustaka

1. Federal Highway Administration (FHWA). (2010). *Traffic Analysis Toolbox: Volume III – Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software.* U.S. Department of Transportation.
2. Gartner, N. H., Messer, C. J., & Rathi, A. K. (Eds.). (2001). *Traffic Flow Theory: A State-of-the-Art Report*. Transportation Research Board (TRB), Washington, D.C.
3. Highway Capacity Manual (HCM). (2016). *Highway Capacity Manual: A Guide for Multimodal Mobility Analysis.* Transportation Research Board, Washington, D.C.

4. May, A. D. (1990). *Traffic Flow Fundamentals.* Prentice Hall, New Jersey.
5. Ortúzar, J. D., & Willumsen, L. G. (2011). *Modelling Transport* (4th ed.). Wiley, United Kingdom.
6. Papageorgiou, M. (1990). *Dynamic Modeling, Assignment, and Route Guidance in Traffic Networks.* Transportation Research Part B: Methodological, 24(6), 471–495.
7. PTV Group. (2020). *VISSIM 2020 User Manual.* Karlsruhe, Germany.
8. Transportation Research Board (TRB). (2012). *NCHRP Report 825: Planning and Preliminary Engineering Applications Guide to the Highway Capacity Manual.* National Academies Press.
9. Van Aerde, M. (1995). *Single Regime Speed-Flow-Density Relationship for Congested and Uncongested Highways.* 74th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.
10. Vukan R. Vuchic. (2007). *Urban Transit Systems and Technology.* John Wiley & Sons, Hoboken.
11. Barceló, J. (2010). *Fundamentals of Traffic Simulation.* Springer, New York.
12. Gartner, N. H., & Improta, G. (1995). *Urban Traffic Networks: Dynamic Flow Modeling and Control.* Springer-Verlag, Berlin.

13. Chowdhury, D., Santen, L., & Schadschneider, A. (2000). *Statistical Physics of Vehicular Traffic and Some Related Systems.* Physics Reports, 329(4–6), 199–329.
14. Chen, C., Skabardonis, A., & Varaiya, P. (2003). *Travel-Time Reliability as a Measure of Service.* Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1855, 74–79.
15. Watanatada, T., Dhareshwar, A. M., & Lima, P. (1987). *The Highway Design and Maintenance Standards Model (HDM-III).* World Bank, Washington D.C.

BAB IV
PERENCANAAN SISTEM TRANSPORTASI

4.1 Pendahuluan

Perencanaan sistem transportasi merupakan salah satu aspek strategis dalam pembangunan infrastruktur dan pelayanan transportasi di berbagai negara. Tujuan utamanya adalah menciptakan sistem transportasi yang efisien, aman, inklusif, dan berkelanjutan, sesuai dengan kebutuhan masyarakat serta arah kebijakan pembangunan.

Dalam praktik profesional, perencanaan transportasi tidak hanya sekadar pembangunan fisik infrastruktur jalan atau sarana transportasi, tetapi juga mencakup manajemen permintaan (*transport demand management*/*TDM*) dan manajemen suplai (*transport supply management*/*TSM*). Integrasi antara aspek permintaan dan penyediaan infrastruktur menjadi kunci untuk menjaga keseimbangan antara kebutuhan mobilitas dengan kapasitas sistem transportasi yang ada.

Bab ini akan membahas tiga elemen utama:

1. Perencanaan transportasi jangka pendek dan jangka panjang.
2. Transport Demand Management (TDM).
3. Transport Supply Management (TSM).

4.2 Perencanaan Transportasi Jangka Pendek dan Jangka Panjang

4.2.1 Karakteristik Perencanaan Jangka Pendek

Perencanaan jangka pendek umumnya melibatkan intervensi taktis yang dapat diimplementasikan dalam waktu singkat (1–5 tahun). Tujuannya adalah merespons permasalahan lalu lintas yang muncul secara cepat dan efektif.

Contoh tindakan jangka pendek:

- Rekayasa lalu lintas (*traffic engineering*) seperti pengaturan ulang fase lampu lalu lintas, penataan marka jalan, dan penerapan sistem satu arah.
- Implementasi kebijakan operasional seperti pembatasan kendaraan berdasarkan plat nomor (misalnya sistem ganjil-genap di Jakarta).
- Pengembangan fasilitas pejalan kaki dan pesepeda sebagai solusi cepat mendukung mobilitas berkelanjutan.
- Optimalisasi penggunaan transportasi umum yang sudah ada dengan penyesuaian jadwal, tarif, atau integrasi layanan.

Karakteristik utama: biaya relatif rendah, waktu implementasi cepat, fleksibilitas tinggi, dan berorientasi pada penyelesaian masalah yang bersifat lokal maupun operasional.

4.2.2 Karakteristik Perencanaan Jangka Panjang

Perencanaan jangka panjang bersifat strategis dengan cakupan 10–30 tahun ke depan. Fokusnya adalah pembangunan sistem transportasi yang terintegrasi dan mendukung arah pembangunan ekonomi, sosial, dan lingkungan.

Contoh tindakan jangka panjang:

- Pembangunan jaringan mass rapid transit (MRT), light rail transit (LRT), atau kereta cepat.
- Pengembangan jalan tol baru, ring road, dan jaringan arteri metropolitan.
- Perencanaan terminal terpadu multimoda untuk integrasi antar transportasi darat, laut, dan udara.
- Implementasi smart mobility systems berbasis data besar, Internet of Things (IoT), dan kecerdasan buatan.

Karakteristik utama: investasi besar, studi kelayakan mendalam, memerlukan koordinasi lintas sektor, dan hasilnya berdampak luas pada struktur ruang kota maupun pertumbuhan ekonomi wilayah.

4.2.3 Integrasi Perencanaan Jangka Pendek dan Panjang

Meskipun berbeda dalam horizon waktu, perencanaan jangka pendek dan panjang harus saling melengkapi. Perencanaan jangka pendek dapat berfungsi sebagai langkah mitigasi sebelum proyek jangka panjang terealisasi, sementara perencanaan jangka panjang

memberikan kerangka strategis untuk memastikan bahwa kebijakan jangka pendek tetap sejalan dengan visi besar pembangunan transportasi.

4.3 Transport Demand Management (TDM)

4.3.1 Definisi dan Tujuan

TDM adalah pendekatan manajemen transportasi yang berfokus pada pengendalian dan pengelolaan permintaan perjalanan daripada sekadar menambah kapasitas infrastruktur. Tujuan utamanya adalah mengurangi ketergantungan pada kendaraan pribadi, mendorong penggunaan moda transportasi publik, serta meningkatkan efisiensi perjalanan.

4.3.2 Strategi Utama TDM

- Pricing Policy:
    - Road pricing, *congestion charge*, atau ERP (Electronic Road Pricing).
    - Tarif parkir progresif untuk membatasi penggunaan kendaraan pribadi di pusat kota.
- Regulasi dan Restriksi:
    - Pembatasan lalu lintas berdasarkan plat nomor, zona rendah emisi (*low emission zone*).
    - Pembatasan operasional kendaraan berat di jam sibuk.
- Promosi Moda Alternatif:

    - Fasilitas *park and ride*.
    - Penyediaan jalur sepeda dan trotoar yang nyaman.
    - Subsidi atau insentif penggunaan transportasi umum.
- Manajemen Perjalanan Perusahaan (Employer-Based TDM):
    - Kebijakan *flexible working hours* atau *telecommuting*.
    - Insentif bagi karyawan yang menggunakan angkutan umum.

4.3.3 Studi Kasus TDM

- Singapura: ERP terbukti mengurangi volume lalu lintas 15–20% di pusat kota.
- London: *Congestion Charging* menurunkan lalu lintas hingga 30% dan meningkatkan penggunaan transportasi umum.
- Jakarta: sistem ganjil-genap mengurangi kepadatan di koridor utama, meskipun efektivitas jangka panjang terbatas tanpa dukungan transportasi publik massal.

4.4 Transport Supply Management (TSM)

4.4.1 Definisi dan Tujuan

Berbeda dengan TDM yang fokus pada pengendalian permintaan, TSM menitikberatkan pada optimalisasi penyediaan kapasitas transportasi yang ada tanpa harus

membangun infrastruktur baru dalam skala besar. Tujuannya adalah meningkatkan efisiensi operasional jaringan jalan melalui rekayasa dan manajemen lalu lintas.

4.4.2 Strategi Utama TSM

- Traffic Engineering:
  - Penambahan lajur khusus bus (*bus lane*) atau *high-occupancy vehicle (HOV) lane*.
  - Penerapan sistem satu arah untuk meningkatkan kapasitas jaringan.
  - Rekayasa persimpangan melalui flyover, underpass, atau roundabout.
- Traffic Control and Management:
  - ATCS (Area Traffic Control System): sistem sinyal lalu lintas adaptif.
  - Incident Management System: penanganan kecelakaan atau gangguan lalu lintas secara cepat.
  - Intelligent Transport Systems (ITS): aplikasi teknologi informasi untuk pengendalian lalu lintas.
- Public Transport Priority:
  - Jalur prioritas untuk angkutan umum (BRT, LRT, MRT).
  - Pengaturan prioritas sinyal untuk bus atau kereta ringan.

4.4.3 Studi Kasus TSM

- Surabaya: ATCS menurunkan waktu tunda hingga 25%.
- Bogotá, Kolombia: sistem BRT TransMilenio sukses meningkatkan kapasitas transportasi publik dengan biaya lebih rendah dibandingkan MRT.
- Tokyo: integrasi transportasi publik dan manajemen jalan menghasilkan efisiensi mobilitas perkotaan dengan kepadatan tinggi.

4.5 Integrasi TDM dan TSM dalam Perencanaan Transportasi

Perencanaan transportasi modern tidak bisa hanya mengandalkan TDM atau TSM secara terpisah. Keduanya harus berjalan paralel dalam satu kerangka kebijakan. Misalnya, pembatasan kendaraan pribadi melalui TDM perlu diiringi dengan peningkatan kapasitas angkutan umum melalui TSM. Tanpa integrasi, kebijakan pembatasan permintaan dapat menimbulkan resistensi publik, sedangkan penambahan kapasitas tanpa manajemen permintaan justru akan memicu induced demand.

4.6 Kesimpulan

Perencanaan sistem transportasi adalah proses multidimensi yang mencakup aspek teknis, ekonomi,

sosial, dan lingkungan. Pendekatan yang tepat harus mempertimbangkan keseimbangan antara perencanaan jangka pendek dan jangka panjang, serta sinergi antara TDM dan TSM.

- Jangka pendek memberikan solusi operasional cepat, sementara jangka panjang membangun kerangka strategis untuk transportasi berkelanjutan.
- TDM mengelola perilaku permintaan perjalanan melalui kebijakan harga, regulasi, dan promosi moda alternatif.
- TSM mengoptimalkan kapasitas yang ada melalui rekayasa lalu lintas, ITS, dan prioritas transportasi publik.
- Integrasi keduanya menciptakan sistem transportasi yang lebih efisien, inklusif, dan berorientasi masa depan.

4.7 Metode Kuantitatif dalam Perencanaan Transportasi

Perencanaan transportasi modern menuntut pendekatan berbasis data dan analisis kuantitatif agar keputusan yang diambil lebih obyektif dan dapat dipertanggungjawabkan. Beberapa metode yang umum digunakan antara lain:

4.7.1 Forecasting (Peramalan Transportasi)

Forecasting bertujuan memprediksi kebutuhan transportasi di masa depan berdasarkan tren demografi, ekonomi, tata ruang, dan pola mobilitas.

- Metode Ekstrapolasi: menggunakan tren historis untuk memprediksi masa depan, misalnya pertumbuhan kendaraan bermotor tahunan.
- Model Kausal: menghubungkan variabel transportasi (misalnya volume lalu lintas) dengan faktor eksternal (misalnya PDB per kapita, kepadatan penduduk).
- Scenario-Based Forecasting: menyusun beberapa skenario (optimis, moderat, pesimis) untuk menghadapi ketidakpastian ekonomi, sosial, atau teknologi.

4.7.2 Scenario Analysis (Analisis Skenario)

Digunakan untuk memahami dampak dari berbagai pilihan kebijakan transportasi.

- Contoh: membandingkan skenario pembangunan jalan tol baru dengan peningkatan kapasitas transportasi publik.
- Pendekatan ini memungkinkan perencana mengevaluasi trade-off antara biaya investasi, dampak lingkungan, dan manfaat sosial.

4.7.3 Multi-Criteria Evaluation (MCE)

Dalam banyak kasus, perencanaan transportasi tidak bisa hanya mengandalkan satu kriteria (misalnya

efisiensi ekonomi). Perlu ada penilaian multi-kriteria, termasuk:

- Kriteria ekonomi: biaya investasi, manfaat ekonomi, efisiensi operasional.
- Kriteria sosial: aksesibilitas, keadilan sosial, dampak terhadap kelompok rentan.
- Kriteria lingkungan: emisi karbon, polusi udara, penggunaan energi.
- Kriteria teknis: kelayakan teknis, keandalan, fleksibilitas sistem.

MCE sering dilakukan dengan metode kuantitatif seperti Analytical Hierarchy Process (AHP) atau Multi-Attribute Utility Theory (MAUT**)**, yang memungkinkan pengambilan keputusan secara terstruktur.

4.8 Studi Kasus Internasional dalam Perencanaan Transportasi

4.8.1 Seoul, Korea Selatan

Seoul berhasil menerapkan kombinasi TDM dan TSM. Pada awal 2000-an, pemerintah kota membatasi pembangunan jalan baru di pusat kota dan fokus pada peningkatan transportasi umum. Reorganisasi sistem bus dengan Bus Rapid Transit (BRT) dan integrasi tarif dengan MRT membuat pangsa pengguna angkutan umum meningkat signifikan, sementara tingkat kemacetan menurun.

4.8.2 Curitiba, Brasil

Curitiba dikenal sebagai kota pionir sistem BRT (Bus Rapid Transit) sejak 1970-an. Strategi ini merupakan contoh TSM yang inovatif dengan biaya rendah namun berdampak besar. Sistem koridor BRT Curitiba mendukung tata ruang kota berbasis transportasi publik (*transit-oriented development*), mengurangi ketergantungan pada mobil pribadi, dan mendorong perkembangan kawasan ekonomi di sepanjang koridor.

4.8.3 Amsterdam, Belanda

Amsterdam menekankan mobilitas berkelanjutan dengan mempromosikan penggunaan sepeda sebagai moda utama. Infrastruktur jalur sepeda dibangun secara sistematis, sementara kebijakan TDM berupa pembatasan parkir dan tarif tinggi di pusat kota membuat masyarakat beralih ke moda non-motorized.

4.8.4 Jakarta, Indonesia

Jakarta merupakan contoh kota megapolitan yang menghadapi tantangan serius dalam perencanaan transportasi. Implementasi sistem ganjil-genap (TDM) terbukti efektif mengurangi lalu lintas di koridor tertentu. Namun, keberhasilan jangka panjang baru terlihat setelah hadirnya MRT Jakarta (2019) dan pengembangan integrasi **multimoda** dengan TransJakarta, LRT, dan KRL.

4.9 Tren Modern dalam Perencanaan Transportasi

Seiring dengan perkembangan teknologi dan kesadaran terhadap isu lingkungan, perencanaan transportasi kini bergerak ke arah sistem yang lebih canggih, adaptif, dan berkelanjutan.

4.9.1 Smart Mobility

- Intelligent Transport Systems (ITS): integrasi teknologi informasi untuk manajemen lalu lintas, seperti *adaptive traffic signals*, aplikasi navigasi real-time, dan *vehicle-to-infrastructure (V2I)* communication.
- Mobility as a Service (MaaS): platform digital yang mengintegrasikan berbagai moda (bus, MRT, sepeda sewa, taksi online) dalam satu sistem pembayaran dan perencanaan perjalanan.
- Big Data dan Artificial Intelligence: digunakan untuk memprediksi pola perjalanan, mengoptimalkan rute, dan merencanakan kapasitas angkutan umum secara dinamis.

4.9.2 Sustainable Urban Transport

Isu keberlanjutan menjadi pilar utama dalam perencanaan transportasi global. Fokus utamanya:

- Pengurangan emisi CO_2 melalui kendaraan listrik (EVs).
- Peningkatan non-motorized transport (NMT) seperti bersepeda dan berjalan kaki.

- Desain kota berbasis Transit-Oriented Development (TOD) yang mengintegrasikan perumahan, perkantoran, dan transportasi publik.

4.9.3 Green Logistics

Selain mobilitas orang, perencanaan transportasi juga mencakup logistik perkotaan. Green logistics mendorong distribusi barang yang ramah lingkungan, seperti:

- Urban consolidation center untuk mengurangi jumlah kendaraan barang di pusat kota.
- Penggunaan kendaraan listrik untuk distribusi jarak pendek.
- Optimisasi rute pengiriman berbasis algoritma AI untuk efisiensi energi.

4.10 Kesimpulan

Bab ini menegaskan bahwa perencanaan transportasi adalah disiplin multidimensional yang mengintegrasikan strategi jangka pendek dan panjang, serta menggabungkan TDM dan TSM dalam kerangka kebijakan terpadu.

1. Perencanaan jangka pendek memberikan solusi cepat melalui rekayasa lalu lintas dan kebijakan operasional, sedangkan jangka panjang menyiapkan kerangka strategis melalui pembangunan infrastruktur besar.

2. TDM fokus pada manajemen permintaan perjalanan, sementara TSM mengoptimalkan suplai infrastruktur yang ada.
3. Metode kuantitatif seperti forecasting, scenario analysis, dan multi-criteria evaluation memberikan landasan analitis bagi keputusan perencanaan.
4. Studi kasus internasional menunjukkan bahwa keberhasilan perencanaan transportasi bergantung pada integrasi kebijakan, konsistensi implementasi, dan dukungan masyarakat.
5. Tren modern seperti smart mobility, sustainable transport, dan green logistics akan menjadi pilar utama sistem transportasi masa depan.

Dengan demikian, perencanaan transportasi harus mampu mengantisipasi tantangan urbanisasi, perubahan iklim, dan perkembangan teknologi, serta menyeimbangkan kebutuhan mobilitas dengan prinsip keberlanjutan.

Executive Summary

Bab IV membahas Perencanaan Sistem Transportasi sebagai proses strategis dalam mewujudkan mobilitas perkotaan dan regional yang efisien, aman, serta berkelanjutan. Fokus utama bab ini mencakup perencanaan jangka pendek dan jangka panjang, manajemen permintaan transportasi (TDM), serta manajemen suplai transportasi (TSM).

- Perencanaan jangka pendek menekankan pada solusi cepat melalui rekayasa lalu lintas, kebijakan operasional, dan intervensi taktis, sedangkan perencanaan jangka panjang membangun infrastruktur besar dan terintegrasi dengan horizon 10–30 tahun.
- TDM berorientasi pada pengelolaan perilaku perjalanan melalui kebijakan harga, regulasi, dan promosi moda alternatif. TSM mengoptimalkan kapasitas jaringan jalan melalui rekayasa lalu lintas, teknologi cerdas, dan prioritas transportasi publik.
- Metode kuantitatif seperti forecasting, scenario analysis, dan multi-criteria evaluation digunakan untuk mendukung pengambilan keputusan berbasis data.
- Studi kasus internasional (Seoul, Curitiba, Amsterdam, Jakarta) menunjukkan pentingnya integrasi kebijakan serta konsistensi dalam implementasi.
- Tren modern seperti smart mobility, sustainable transport, dan green logistics menjadi arah baru perencanaan transportasi global.

Kesimpulannya, keberhasilan perencanaan transportasi tidak hanya bergantung pada pembangunan infrastruktur fisik, tetapi juga pada manajemen

permintaan, manajemen suplai, integrasi kebijakan, serta inovasi berbasis teknologi dan keberlanjutan.

Soal

1. Jelaskan perbedaan mendasar antara perencanaan transportasi jangka pendek dan perencanaan jangka panjang, serta berikan contoh penerapannya di Indonesia!
2. Apa perbedaan fokus utama antara Transport Demand Management (TDM) dan Transport Supply Management (TSM), dan mengapa keduanya harus diintegrasikan?
3. Sebutkan dan jelaskan dua tren modern dalam perencanaan transportasi yang berkontribusi terhadap keberlanjutan mobilitas perkotaan.

Daftar Pustaka

1. Black, J. A. (1981). *Urban Transport Planning: Theory and Practice*. London: Croom Helm.
2. Ortúzar, J. de D., & Willumsen, L. G. (2011). *Modelling Transport* (4th ed.). Chichester: John Wiley & Sons.
3. Rodrigue, J. P., Comtois, C., & Slack, B. (2020). *The Geography of Transport Systems* (5th ed.). New York: Routledge.
4. Papacostas, C. S., & Prevedouros, P. D. (2001). *Transportation Engineering and Planning* (3rd ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

5. Meyer, M. D., & Miller, E. J. (2001). *Urban Transportation Planning: A Decision-Oriented Approach* (2nd ed.). Boston: McGraw-Hill.
6. Banister, D. (2005). *Unsustainable Transport: City Transport in the New Century*. London: Routledge.
7. Litman, T. (2021). *Transportation Demand Management Encyclopedia*. Victoria Transport Policy Institute (VTPI).
8. Cervero, R. (1998). *The Transit Metropolis: A Global Inquiry*. Washington, DC: Island Press.
9. Pojani, D., & Stead, D. (2017). *The Urban Transport Crisis in Emerging Economies*. Springer.
10. Currie, G. (2006). *Bus Rapid Transit in Australasia: Performance, Lessons Learned and Futures*. *Journal of Public Transportation*, 9(3), 1–30.
11. Wright, L., & Hook, W. (2007). *Bus Rapid Transit Planning Guide*. Institute for Transportation and Development Policy (ITDP).
12. Newman, P., & Kenworthy, J. (2015). *The End of Automobile Dependence: How Cities are Moving Beyond Car-Based Planning*. Washington DC: Island Press.
13. UITP (2019). *Integrating Mobility Services – A Practical Guide for Local Authorities*. International Association of Public Transport.

14. Geerlings, H., Shiftan, Y., & Stead, D. (2012). *Transition towards Sustainable Mobility: The Role of Instruments, Individuals and Institutions*. Ashgate.
15. Pemerintah Provinsi DKI Jakarta. (2019). *Rencana Induk Transportasi Jakarta (RITJ) 2019–2030*. Jakarta.

BAB V
ANGKUTAN UMUM DAN TRANSIT SYSTEM

5.1 Pendahuluan

Angkutan umum merupakan tulang punggung mobilitas perkotaan dan regional, berperan penting dalam mengurangi kemacetan, emisi, serta ketergantungan pada kendaraan pribadi. Sistem transit modern tidak hanya sekadar menyediakan moda transportasi massal, tetapi juga harus dirancang agar efisien, terintegrasi, inklusif, dan berkelanjutan.

Pada era urbanisasi yang pesat, tantangan utama transportasi publik bukan hanya kapasitas, melainkan juga kenyamanan, keterjangkauan, serta integrasi dengan tata ruang kota. Konsep seperti Bus Rapid Transit (BRT), Mass Rapid Transit (MRT), Light Rail Transit (LRT), dan Transit Oriented Development (TOD) menjadi instrumen penting dalam membangun sistem mobilitas modern yang tangguh.

Bab ini akan membahas tiga aspek utama:

1. Desain jaringan angkutan umum (Bus, BRT, MRT, LRT).
2. Transit Oriented Development (TOD).
3. Integrasi tarif dan layanan.

5.2 Desain Jaringan Angkutan Umum

5.2.1 Prinsip Umum Desain Jaringan

Desain jaringan angkutan umum mencakup penentuan koridor, rute, kapasitas, dan frekuensi layanan yang disesuaikan dengan permintaan perjalanan. Beberapa prinsip utama yang harus diperhatikan:

1. Konektivitas: sistem harus menjangkau kawasan pemukiman, pusat bisnis, pendidikan, dan fasilitas publik utama.
2. Frekuensi: layanan harus tersedia dengan headway pendek agar menarik bagi pengguna.
3. Kapasitas: armada harus mampu menampung permintaan puncak tanpa menimbulkan kepadatan berlebihan.
4. Keandalan: waktu tempuh dan jadwal harus konsisten.
5. Keterjangkauan: biaya perjalanan harus kompetitif dibandingkan kendaraan pribadi.

5.2.2 Sistem Bus Konvensional

Bus merupakan moda paling fleksibel karena membutuhkan investasi infrastruktur relatif kecil.

- Kelebihan: biaya murah, adaptif terhadap perubahan permintaan, dapat menjangkau area luas.
- Kekurangan: rentan terhadap kemacetan, keterlambatan, dan kualitas layanan yang fluktuatif.

5.2.3 Bus Rapid Transit (BRT)

BRT adalah inovasi transportasi massal berbasis bus dengan jalur khusus (*dedicated lane*) yang mampu mendekati kualitas layanan kereta.

- Karakteristik:
  - Jalur eksklusif, bebas hambatan.
  - Stasiun dengan akses cepat dan sistem tiket prabayar.
  - Armada berkapasitas tinggi (articulated bus).
  - Integrasi dengan moda lain.
- Contoh:
  - TransJakarta (Indonesia): jaringan BRT terpanjang di dunia (>250 km).
  - Curitiba (Brasil): pelopor BRT dengan konsep koridor linear dan TOD.
  - Bogotá (Kolombia): TransMilenio mampu mengangkut >2 juta penumpang/hari.

5.2.4 Mass Rapid Transit (MRT)

MRT adalah sistem angkutan massal berbasis kereta dengan jalur bawah tanah atau layang, cocok untuk kota megapolitan dengan permintaan perjalanan sangat tinggi.

- Kelebihan: kapasitas besar (>30.000 penumpang per arah per jam), bebas hambatan lalu lintas, waktu tempuh singkat.
- Kekurangan: biaya investasi dan operasi sangat tinggi, membutuhkan waktu konstruksi panjang.

- Contoh:
    - Tokyo Metro (Jepang): salah satu jaringan MRT terpadat dan tersibuk di dunia.
    - MRT Jakarta (Indonesia): beroperasi sejak 2019, menjadi backbone transportasi massal perkotaan.

5.2.5 Light Rail Transit (LRT)

LRT merupakan sistem kereta ringan dengan kapasitas menengah, biasanya dipilih untuk kota dengan kebutuhan perjalanan besar namun belum sepadat kota megapolitan.

- Kelebihan: biaya lebih rendah dibanding MRT, fleksibilitas rute, ramah lingkungan.
- Kekurangan: kapasitas lebih rendah dibanding MRT, rentan terhadap overcapacity bila permintaan melonjak.
- Contoh:
    - LRT Jabodebek (Indonesia): menghubungkan kawasan Bodetabek dengan pusat Jakarta.
    - Docklands Light Railway (London, UK): contoh sukses integrasi LRT dalam jaringan multimoda.

5.2.6 Integrasi Jaringan Multimoda

Desain jaringan transportasi publik idealnya berbasis hierarki layanan:

- MRT/LRT: backbone untuk perjalanan jarak jauh dan kapasitas besar.

- BRT/Bus express: penghubung antar koridor dan feeder.
- Bus lokal/minibus: distribusi ke area pemukiman.
- NMT (Non-Motorized Transport): sepeda dan pejalan kaki sebagai akses first-mile dan last-mile.

5.3 Transit Oriented Development (TOD)

5.3.1 Konsep Dasar TOD

TOD adalah strategi pembangunan kota yang berorientasi pada transportasi publik, dengan menempatkan pusat aktivitas pada radius tertentu dari simpul transit (stasiun MRT/LRT/BRT).

Karakteristik utama TOD:

1. Kepadatan tinggi di sekitar simpul transportasi.
2. Campuran fungsi ruang (mixed-use) – perumahan, kantor, komersial.
3. Akses pejalan kaki dan pesepeda yang ramah.
4. Konektivitas tinggi dengan moda transportasi publik.

5.3.2 Manfaat TOD

- Mengurangi ketergantungan pada mobil pribadi.
- Meningkatkan efisiensi lahan perkotaan.
- Mendorong mobilitas berkelanjutan.
- Mengurangi emisi karbon.
- Meningkatkan nilai ekonomi properti di sekitar simpul transit.

5.3.3 Studi Kasus TOD

- Hong Kong: sukses mengembangkan TOD melalui integrasi properti dan transportasi publik oleh MTR Corporation.
- Seoul (Korea Selatan): menghubungkan TOD dengan pembangunan mixed-use yang ramah lingkungan.
- Jakarta (Indonesia): mulai mengembangkan kawasan TOD di sekitar stasiun MRT, LRT, dan KRL (contoh: Dukuh Atas, Lebak Bulus).

5.4 Integrasi Tarif dan Layanan

5.4.1 Pentingnya Integrasi Tarif

Integrasi tarif bertujuan agar perjalanan multimoda menjadi seamless, murah, dan efisien. Tanpa integrasi, pengguna harus membayar tiket terpisah yang meningkatkan biaya perjalanan dan mengurangi daya tarik transportasi publik.

5.4.2 Model Integrasi Tarif

- Flat Fare: satu tarif berlaku untuk semua moda (contoh: Hong Kong Octopus Card).
- Distance-Based Fare: tarif berdasarkan jarak, berlaku untuk semua moda (contoh: Singapura dengan EZ-Link Card).
- Time-Based Fare: pengguna dapat berpindah moda tanpa biaya tambahan dalam periode tertentu (contoh: London Travelcard).

5.4.3 Integrasi Layanan

Integrasi layanan mencakup sinkronisasi jadwal, sistem informasi perjalanan, serta interoperabilitas teknologi.

- Physical Integration: koneksi fisik antar moda (terminal terpadu, park and ride).
- Operational Integration: jadwal dan frekuensi moda saling mendukung.
- Information Integration: aplikasi tunggal untuk perencanaan perjalanan.
- Payment Integration: kartu pintar atau aplikasi digital untuk semua moda.

5.4.4 Studi Kasus Integrasi

- Singapura: integrasi penuh tarif dan jadwal antara MRT, bus, dan taksi.
- Tokyo: penggunaan IC Card (Suica, Pasmo) memungkinkan perjalanan seamless di MRT, bus, hingga convenience store.
- Jakarta: JakLingko mengintegrasikan tarif KRL, MRT, LRT, dan TransJakarta.

5.5 Kesimpulan

Bab ini menegaskan bahwa **angkutan umum dan transit system** merupakan pilar utama mobilitas perkotaan modern.

1. Desain jaringan multimoda (Bus, BRT, MRT, LRT) harus mempertimbangkan hierarki layanan, kapasitas, efisiensi, dan integrasi.

2. Transit Oriented Development (TOD) memberikan kerangka integrasi tata ruang dengan sistem transportasi publik, mendukung mobilitas berkelanjutan.
3. Integrasi tarif dan layanan adalah syarat mutlak untuk menciptakan pengalaman perjalanan yang seamless dan kompetitif terhadap kendaraan pribadi.

Dengan desain jaringan yang efektif, dukungan TOD, serta sistem tarif dan layanan terintegrasi, angkutan umum dapat menjadi tulang punggung mobilitas perkotaan yang efisien, inklusif, dan berorientasi pada masa depan.

5.6 Metode Evaluasi Kinerja Transit System

Agar sistem angkutan umum berjalan optimal, diperlukan mekanisme evaluasi yang obyektif, sistematis, dan berbasis data. Evaluasi ini mencakup aspek operasional, pelayanan, serta dampak sosial-ekonomi dan lingkungan.

5.6.1 Indikator Operasional

- Headway (interval waktu antar kendaraan): semakin kecil headway, semakin baik pelayanan.
- Load Factor (rasio penumpang terhadap kapasitas):
    - Ideal: 70–85% agar efisiensi tercapai tanpa mengorbankan kenyamanan.

    - Overcapacity: >100% menunjukkan kebutuhan peningkatan armada.
- On-time Performance (ketepatan waktu): mengukur keterandalan jadwal.
- Kecepatan Operasional**:** perbandingan jarak tempuh dengan waktu perjalanan aktual.

5.6.2 Indikator Pelayanan

- Aksesibilitas: jarak maksimum 400–500 meter ke halte/stasiun.
- Kenyamanan: mencakup kualitas armada, sistem pendingin udara, kebersihan, dan ruang gerak.
- Keamanan: sistem CCTV, pencahayaan halte, serta standar keselamatan operasi.
- Keterjangkauan**:** rasio biaya perjalanan terhadap pendapatan pengguna.

5.6.3 Indikator Sosial-Ekonomi

- Peningkatan mobilitas masyarakat berpendapatan rendah.
- Pertumbuhan nilai properti dan ekonomi di sekitar simpul transit (TOD effect).
- Peningkatan produktivitas kota akibat pengurangan waktu perjalanan.

5.6.4 Indikator Lingkungan

- Penurunan emisi CO_2 akibat peralihan dari kendaraan pribadi.
- Efisiensi penggunaan energi per penumpang-kilometer.

- Pengurangan kebisingan lalu lintas.

5.6.5 Metode Analisis Kinerja

- Analisis Kuantitatif: survei pengguna, analisis data tiket elektronik, GPS tracking.
- Analisis Kualitatif: wawancara, focus group discussion (FGD), dan survei kepuasan.
- Benchmarking: perbandingan dengan standar internasional (misalnya standar ITDP untuk BRT).

5.7 Studi Kasus Kota-Kota Dunia

5.7.1 London (United Kingdom)

- Sistem: kombinasi Underground (MRT), Overground, LRT, bus, dan BRT.
- Inovasi: Travelcard dan Oyster Card memungkinkan integrasi tarif lintas moda.
- Pelajaran: integrasi tarif dan jadwal adalah kunci mobilitas seamless.

5.7.2 Curitiba (Brasil)

- Sistem: pelopor Bus Rapid Transit (BRT) sejak 1974.
- Karakteristik: jalur eksklusif, stasiun tubular, integrasi tata ruang dengan koridor.
- Pelajaran: perencanaan kota berbasis transportasi publik lebih efektif daripada perencanaan transportasi yang mengikuti kota.

5.7.3 Seoul (Korea Selatan)

- Sistem: integrasi subway, BRT, dan bus feeder.
- Inovasi: kartu T-money untuk semua moda, tarif berbasis jarak, integrasi TOD.
- Pelajaran: digitalisasi transportasi publik memudahkan pengguna dan meningkatkan efisiensi.

5.7.4 Jakarta (Indonesia)

- Sistem: kombinasi TransJakarta (BRT), MRT, LRT, KRL, dan mikrotrans feeder.
- Inovasi: program JakLingko dengan integrasi tarif dan layanan.
- Tantangan: kemacetan jalan masih tinggi, first-mile/last-mile belum sepenuhnya teratasi.
- Pelajaran: integrasi multimoda butuh konsistensi kebijakan, bukan sekadar infrastruktur.

5.8 Tren Modern dalam Transportasi Publik

5.8.1 Digitalisasi & Smart Transit

- E-ticketing: kartu pintar, QR code, dan mobile payment.
- Big Data: analisis pergerakan penumpang untuk perencanaan rute dinamis.
- Real-Time Information: aplikasi yang menampilkan jadwal kedatangan armada.

5.8.2 On-Demand Transit

- Layanan shuttle berbasis aplikasi (contoh: Grab Shuttle, Bluebird Smart Mobility).
- Lebih fleksibel untuk wilayah dengan permintaan rendah hingga menengah.
- Tantangan: regulasi dan integrasi dengan jaringan transportasi massal utama.

5.8.3 Kendaraan Otomatis (Autonomous Transit)

- Uji coba di Singapura, Dubai, dan Paris: shuttle otomatis di kawasan kampus dan distrik bisnis.
- Potensi mengurangi biaya operasional, meningkatkan keselamatan.
- Tantangan: keamanan siber, penerimaan publik, regulasi keselamatan.

5.8.4 Transportasi Ramah Lingkungan

- Bus listrik dan hidrogen: mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil.
- Kereta berteknologi hijau: regenerative braking, energi terbarukan.
- Kebijakan zero-emission zones: mendorong operator beralih ke armada bersih.

5.9 Kesimpulan

Bab ini menegaskan bahwa angkutan umum modern tidak lagi sekadar moda transportasi, tetapi sistem terintegrasi yang menghubungkan manusia, ruang, dan teknologi.

1. Desain jaringan multimoda (Bus, BRT, MRT, LRT) harus mempertimbangkan kapasitas, efisiensi, dan integrasi hierarkis.
2. Transit Oriented Development (TOD) menjadi instrumen penting untuk menyatukan perencanaan kota dan mobilitas publik.
3. Integrasi tarif dan layanan menciptakan pengalaman perjalanan seamless, meningkatkan daya saing terhadap kendaraan pribadi.
4. Evaluasi kinerja sistem transit harus berbasis indikator operasional, sosial, ekonomi, dan lingkungan.
5. Studi kasus kota-kota dunia menunjukkan pentingnya konsistensi kebijakan, integrasi digital, dan keberlanjutan.
6. Tren modern seperti digitalisasi, on-demand transit, kendaraan otomatis, dan armada ramah lingkungan akan membentuk wajah transportasi publik masa depan.

Dengan pendekatan yang menyeluruh, sistem angkutan umum dan transit dapat menjadi tulang punggung pembangunan perkotaan yang berkelanjutan, inklusif, dan kompetitif secara global.

Executive Summary

Bab V membahas angkutan umum dan transit system sebagai fondasi utama mobilitas perkotaan modern. Fokus utama mencakup desain jaringan multimoda

(Bus, BRT, MRT, LRT), konsep Transit Oriented Development (TOD), serta pentingnya integrasi tarif dan layanan.

- Desain jaringan angkutan umum menuntut pembagian peran antar moda: bus sebagai layanan dasar, BRT sebagai tulang punggung, MRT dan LRT untuk kapasitas tinggi dan kecepatan, serta feeder untuk melayani perjalanan first-mile dan last-mile.
- Transit Oriented Development (TOD) menyatukan tata ruang dan transportasi dengan membangun kawasan berbasis transit, sehingga mendorong penggunaan angkutan umum, mengurangi ketergantungan kendaraan pribadi, dan meningkatkan nilai ekonomi lahan.
- Integrasi tarif dan layanan menciptakan mobilitas seamless, di mana penumpang hanya menggunakan satu sistem pembayaran untuk seluruh moda transportasi, didukung oleh jadwal terkoordinasi.
- Evaluasi kinerja transit system menggunakan indikator operasional (headway, load factor), pelayanan (aksesibilitas, kenyamanan), serta dampak sosial-ekonomi dan lingkungan.
- Studi kasus dari London, Curitiba, Seoul, dan Jakarta menekankan pentingnya inovasi

kebijakan, konsistensi perencanaan, dan integrasi multimoda.

- Tren modern seperti digitalisasi, e-ticketing, on-demand transit, kendaraan otomatis, dan armada ramah lingkungan menjadi arah masa depan transportasi publik.

Kesimpulannya, angkutan umum modern bukan hanya sarana mobilitas, tetapi juga instrumen pembangunan kota yang berkelanjutan, inklusif, dan terintegrasi. Perencanaan dan pengelolaan sistem transit yang baik mampu meningkatkan kualitas hidup masyarakat serta daya saing global sebuah kota.

Soal

1. Jelaskan keunggulan dan keterbatasan dari masing-masing moda angkutan umum berikut: Bus, BRT, MRT, dan LRT dalam konteks perencanaan jaringan transportasi perkotaan.
2. Apa itu Transit Oriented Development (TOD), dan bagaimana penerapannya dapat memengaruhi pola penggunaan lahan serta perilaku mobilitas masyarakat?
3. Mengapa integrasi tarif dan layanan dianggap sebagai salah satu faktor kunci keberhasilan sistem transportasi publik multimoda? Berikan contoh penerapannya.

Daftar Pustaka

1. Black, A. (1995). *Urban Mass Transportation Planning*. New York: McGraw-Hill.
2. Cervero, R. (1998). *The Transit Metropolis: A Global Inquiry*. Washington, DC: Island Press.
3. Wright, L., & Hook, W. (2007). *Bus Rapid Transit Planning Guide*. New York: Institute for Transportation and Development Policy (ITDP).
4. Currie, G. (2006). Bus Rapid Transit in Australasia: Performance, Lessons Learned and Futures. *Journal of Public Transportation*, 9(3), 1–30.
5. Newman, P., & Kenworthy, J. (2015). *The End of Automobile Dependence: How Cities Are Moving Beyond Car-Based Planning*. Washington DC: Island Press.
6. Suzuki, H., Cervero, R., & Iuchi, K. (2013). *Transforming Cities with Transit: Transit and Land-Use Integration for Sustainable Urban Development*. Washington DC: World Bank.
7. UITP. (2019). *Integrating Mobility Services – A Practical Guide for Local Authorities*. International Association of Public Transport.
8. Vuchic, V. R. (2007). *Urban Transit Systems and Technology*. Hoboken, NJ: Wiley.
9. Litman, T. (2021). *Evaluating Public Transit Benefits and Costs*. Victoria Transport Policy Institute.

10. Rodrigue, J. P., Comtois, C., & Slack, B. (2020). *The Geography of Transport Systems* (5th ed.). New York: Routledge.
11. Pojani, D., & Stead, D. (2017). *The Urban Transport Crisis in Emerging Economies*. Cham: Springer.
12. Pemerintah Provinsi DKI Jakarta. (2020). *JakLingko: Integrasi Transportasi Jakarta*. Jakarta: Dishub DKI.
13. ITDP Indonesia. (2019). *Laporan Evaluasi Kinerja TransJakarta*. Jakarta: ITDP.
14. UITP (2020). *The Future of Public Transport: Digitalisation and Smart Mobility*. Brussels: International Association of Public Transport.
15. World Bank. (2019). *Sustainable Urban Transport Program: Policy and Practice*. Washington DC: World Bank.

BAB VI
SISTEM TRANSPORTASI CERDAS (INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEM/ITS)

6.1 Pendahuluan

Perkembangan teknologi informasi, komunikasi, dan otomasi telah melahirkan paradigma baru dalam pengelolaan sistem transportasi, yang dikenal dengan Intelligent Transportation System (ITS). ITS mengintegrasikan perangkat keras, perangkat lunak, jaringan komunikasi, serta basis data untuk meningkatkan efisiensi, keamanan, keselamatan, dan keberlanjutan transportasi.

ITS mencakup spektrum luas mulai dari manajemen lalu lintas berbasis sensor dan kamera, sistem informasi perjalanan real-time, integrasi tiket elektronik, hingga penerapan kendaraan otonom dan manajemen rantai pasok melalui *smart logistics*.

Penerapan ITS menjadi sangat penting di era urbanisasi dan digitalisasi, ketika jumlah kendaraan meningkat pesat sementara kapasitas jalan terbatas. Melalui teknologi cerdas, transportasi dapat dioptimalkan tanpa harus selalu menambah infrastruktur
fisik.

6.2 Konsep Dasar dan Arsitektur ITS

6.2.1 Definisi ITS

ITS adalah penerapan teknologi informasi dan komunikasi dalam sistem transportasi untuk meningkatkan efisiensi, keamanan, keselamatan, dan kenyamanan perjalanan.

Menurut European Commission (EC), ITS berperan dalam:

- Optimisasi kapasitas jaringan transportasi.
- Penyediaan informasi real-time bagi pengguna jalan.
- Pengurangan dampak lingkungan transportasi.
- Integrasi transportasi multimoda.

6.2.2 Komponen Utama ITS

1. Perangkat Deteksi: sensor lalu lintas, kamera CCTV, radar, GPS.
2. Komunikasi: jaringan fiber optic, wireless, satelit, IoT (Internet of Things).
3. Pusat Kendali: Traffic Management Center (TMC).
4. Aplikasi Layanan: e-ticketing, informasi jadwal real-time, smart parking.

6.2.3 Arsitektur ITS

- Layer Data: sensor, kamera, dan GPS.
- Layer Komunikasi: 4G/5G, Dedicated Short Range Communication (DSRC), IoT.

- Layer Aplikasi: manajemen lalu lintas, e-ticketing, kendaraan otonom.
- Layer Pengguna: pemerintah, operator transportasi, pengemudi, dan masyarakat.

6.3 Manajemen Lalu Lintas Berbasis Teknologi

6.3.1 Adaptive Traffic Signal Control (ATSC)

- Sistem lampu lalu lintas berbasis sensor yang menyesuaikan waktu hijau/merah secara real-time.
- Contoh: *Sydney Coordinated Adaptive Traffic System (SCATS)* dan *SCOOT* di Inggris.

6.3.2 Electronic Road Pricing (ERP)

- Sistem tarif berbasis penggunaan jalan (congestion pricing).
- Contoh: ERP di Singapura dengan sensor RFID dan kamera OCR (Optical Character Recognition).

6.3.3 Automatic Incident Detection (AID)

- Penggunaan CCTV dan algoritma komputer untuk mendeteksi kecelakaan, kendaraan mogok, atau lalu lintas abnormal.

6.3.4 Smart Parking System

- Aplikasi mobile yang menampilkan ketersediaan slot parkir secara real-time.
- Mengurangi *cruising traffic* hingga 30%.

6.3.5 Traffic Management Center (TMC)

- Pusat kendali lalu lintas yang mengintegrasikan data sensor, kamera, dan laporan pengguna jalan.
- Digunakan untuk pengendalian lalu lintas kota besar seperti Jakarta, Seoul, dan Tokyo.

6.4 Sistem Informasi Perjalanan

6.4.1 Smart Mobility

- Integrasi teknologi digital untuk menyediakan informasi real-time mengenai kondisi lalu lintas, rute tercepat, jadwal angkutan umum, hingga ketersediaan parkir.
- Aplikasi: Google Maps, Moovit, Trafi, dan aplikasi lokal seperti JakLingko.

6.4.2 E-ticketing

- Sistem pembayaran elektronik yang memudahkan pengguna mengakses berbagai moda transportasi dengan satu kartu/aplikasi.
- Contoh: Oyster Card (London), Octopus (Hong Kong), T-Money (Seoul), JakLingko (Jakarta).
- Manfaat: mengurangi biaya transaksi, meningkatkan transparansi pendapatan, serta mendukung integrasi multimoda.

6.4.3 Passenger Information System (PIS)

- Layanan informasi real-time melalui aplikasi, layar di halte/stasiun, atau pesan suara.

- Meningkatkan kenyamanan dan mengurangi ketidakpastian perjalanan.

6.4.4 Smart Ticketing dan MaaS (Mobility as a Service)

- Konsep MaaS menyatukan seluruh layanan mobilitas (bus, MRT, taksi, ride-hailing, sepeda) dalam satu aplikasi dengan integrasi pembayaran.
- Studi kasus: MaaS Global (Whim App) di Helsinki.

6.5 Kendaraan Otonom & Smart Logistics

6.5.1 Kendaraan Otonom

- Mobil tanpa pengemudi (self-driving cars) dengan teknologi LIDAR, radar, kamera, dan AI.
- Tingkatan otonomi (SAE Levels 0–5): dari bantuan pengemudi (level 1–2) hingga sepenuhnya tanpa pengemudi (level 5).
- Potensi manfaat:
  - Mengurangi kecelakaan akibat human error.
  - Meningkatkan efisiensi lalu lintas.
  - Membuka peluang aksesibilitas bagi penyandang disabilitas.
- Tantangan: regulasi hukum, keamanan siber, penerimaan publik, serta etika kecelakaan.

6.5.2 Smart Logistics

- Integrasi ITS dalam logistik mencakup:

1. Fleet Management: pelacakan armada berbasis GPS.
2. Electronic Freight Management (EFM): pertukaran data digital antar pelaku logistik.
3. Intelligent Warehousing: otomatisasi pergudangan dengan IoT dan robotika.
4. Green Logistics: pengiriman berbasis energi ramah lingkungan.

- Contoh aplikasi: UPS Orion System (routing optimization), DHL SmartTruck, JNE GPS Tracking di Indonesia.

6.6 Tantangan dan Peluang ITS

6.6.1 Tantangan

1. Investasi awal tinggi untuk infrastruktur teknologi.
2. Interoperabilitas antar sistem yang berbeda.
3. Keamanan data & privasi.
4. Regulasi dan standar teknis.
5. Kesenjangan teknologi antara kota besar dan daerah rural.

6.6.2 Peluang

1. Efisiensi energi dan penurunan emisi.
2. Peningkatan keselamatan jalan.
3. Optimisasi logistik dan distribusi barang.
4. Peluang industri baru dalam bidang teknologi mobilitas digital.

6.7 Studi Kasus Penerapan ITS

1. Singapura: ERP (Electronic Road Pricing), smart traffic lights, dan smart parking.
2. Tokyo: sistem informasi perjalanan multimoda terintegrasi.
3. Seoul: e-ticketing T-Money, big data untuk perencanaan transportasi.
4. London: integrasi Oyster Card, smart traffic management, dan autonomous shuttle trials.
5. Jakarta: ATCS (Area Traffic Control System), JakLingko, TransJakarta e-ticketing.

6.8 Sistem Informasi Perjalanan (Smart Mobility dan E-Ticketing)

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi telah mengubah cara masyarakat merencanakan, memilih, dan menggunakan moda transportasi. Sistem informasi perjalanan modern menjadi elemen penting dalam mewujudkan **smart mobility**, yaitu mobilitas yang efisien, aman, berkelanjutan, dan ramah lingkungan.

6.8.1 Smart Mobility

Smart mobility adalah konsep mobilitas berbasis teknologi digital yang mengintegrasikan data transportasi, sistem informasi real-time, dan layanan multimoda untuk mendukung pergerakan orang

maupun barang. Beberapa elemen kunci smart mobility mencakup:

1. Informasi Real-Time:
   Penumpang dapat mengakses jadwal kedatangan bus, keterlambatan kereta, atau kondisi lalu lintas melalui aplikasi berbasis smartphone. Contoh: Google Maps, Moovit, atau aplikasi lokal seperti Trafi di Jakarta.
2. Mobility as a Service (MaaS):
   MaaS mengintegrasikan berbagai moda (angkutan umum, ride-hailing, sepeda sewa, hingga parkir) dalam satu platform dengan sistem pembayaran terpadu. Hal ini memudahkan pengguna untuk merencanakan perjalanan multimoda tanpa hambatan administrasi.
3. Efisiensi Energi dan Lingkungan:
   Smart mobility mendukung penggunaan kendaraan listrik (EV), berbagi kendaraan (carpooling), dan integrasi dengan transportasi aktif (jalan kaki, sepeda) guna menekan emisi karbon.
4. Keamanan dan Keselamatan:
   Sistem smart mobility dilengkapi dengan sensor, pemantauan CCTV, dan teknologi pelacakan GPS untuk meningkatkan keamanan perjalanan.

6.8.2 E-Ticketing

E-ticketing merupakan salah satu aplikasi paling nyata dari ITS dalam layanan publik. Sistem ini menggantikan tiket konvensional berbasis kertas dengan kartu pintar (smart card) atau aplikasi digital.

- Manfaat E-Ticketing:
  - Mengurangi antrian dan transaksi tunai.
  - Memudahkan integrasi tarif antar moda.
  - Memberikan transparansi dan akurasi data perjalanan.
  - Mendukung big data analytics untuk perencanaan transportasi.
- Teknologi yang Digunakan:
  - Smart Card (RFID/NFC): contoh kartu JakLingko di Jakarta atau Octopus Card di Hong Kong.
  - Mobile Ticketing (QR Code): tiket berbasis aplikasi seperti MRT Jakarta atau KRL Commuterline.
  - Contactless Payment: integrasi dengan kartu debit/kredit atau e-wallet (misalnya GoPay, OVO, DANA).
- Tantangan Implementasi:
  - Keterbatasan infrastruktur jaringan di daerah tertentu.
  - Standardisasi sistem agar interoperabilitas berjalan baik.

- Kesenjangan digital bagi masyarakat yang belum terbiasa dengan teknologi.

Dengan adanya e-ticketing, sistem transportasi menjadi lebih inklusif, transparan, dan mampu mendorong masyarakat untuk lebih memilih angkutan umum.

6.9 Kendaraan Otonom dan Smart Logistics

6.9.1 Kendaraan Otonom

Kendaraan otonom (autonomous vehicles/AV) adalah kendaraan yang dapat bergerak tanpa kendali langsung manusia, menggunakan teknologi sensor, kecerdasan buatan, dan sistem navigasi canggih. AV dikembangkan dalam beberapa tingkat otonomi, mulai dari Level 1 (driver assistance) hingga Level 5 (fully autonomous).

- Komponen Utama AV:
  - Sensor LIDAR dan Radar: untuk mendeteksi objek dan lingkungan sekitar.
  - Kamera dan Vision System: membaca marka jalan, rambu, dan lampu lalu lintas.
  - Artificial Intelligence (AI): pengambilan keputusan berbasis machine learning.
  - V2X Communication: komunikasi kendaraan dengan kendaraan lain (V2V) atau infrastruktur (V2I).
- Manfaat AV dalam Sistem Transportasi:
  - Meningkatkan keselamatan lalu lintas dengan mengurangi human error.

    - Efisiensi bahan bakar melalui pengendalian kecepatan yang lebih stabil.
    - Mendukung integrasi dengan layanan transportasi publik (misalnya shuttle otonom di kawasan TOD).
- Tantangan Implementasi AV:
    - Regulasi dan aspek hukum (siapa yang bertanggung jawab saat terjadi kecelakaan?).
    - Penerimaan masyarakat yang masih skeptis terhadap keamanan.
    - Infrastruktur jalan yang harus siap untuk teknologi canggih (marka jelas, sinyal komunikasi).

6.9.2 Smart Logistics

Smart logistics adalah penerapan teknologi digital, IoT, dan big data dalam manajemen logistik untuk meningkatkan efisiensi rantai pasok.

- Elemen Smart Logistics:
    - Tracking and Tracing: pemantauan posisi barang secara real-time melalui GPS dan RFID.
    - Warehouse Automation: penggunaan robot dan AI dalam manajemen gudang.
    - Predictive Analytics: peramalan permintaan untuk mengoptimalkan distribusi.
    - Green Logistics: penggunaan kendaraan listrik, rute optimal, dan manajemen energi.

- Aplikasi dalam Transportasi:
  - Sistem pelacakan kontainer di pelabuhan.
  - Optimalisasi distribusi barang melalui algoritma rute.
  - Integrasi data antara operator logistik, pelabuhan, dan transportasi darat.

Smart logistics bukan hanya meningkatkan efisiensi biaya, tetapi juga mendukung keberlanjutan dan mengurangi dampak lingkungan.

6.10 Tantangan dan Peluang Implementasi ITS di Indonesia

Meskipun ITS menawarkan potensi besar dalam meningkatkan efisiensi, keselamatan, dan keberlanjutan transportasi, penerapannya di Indonesia menghadapi sejumlah tantangan. Namun, pada saat yang sama juga terdapat peluang strategis yang dapat dimanfaatkan.

6.10.1 Tantangan Implementasi ITS

- Keterbatasan Infrastruktur:
  Sebagian besar jaringan jalan di Indonesia masih belum dilengkapi dengan marka dan sensor standar ITS. Penerapan sistem cerdas memerlukan investasi signifikan dalam infrastruktur komunikasi, seperti fiber optic, 5G, dan perangkat IoT.
- Fragmentasi Kelembagaan:
  Pengelolaan transportasi di Indonesia tersebar di

berbagai instansi pusat dan daerah, sehingga koordinasi dalam penerapan ITS seringkali kurang efektif.

- Pendanaan dan Investasi:
  Biaya implementasi ITS sangat tinggi, mulai dari pembangunan pusat kontrol lalu lintas, perangkat deteksi, hingga pengembangan perangkat lunak.
- Kesiapan Regulasi dan Hukum:
  Kehadiran kendaraan otonom, data sharing, dan sistem pembayaran digital membutuhkan regulasi baru terkait keamanan, privasi, dan tanggung jawab hukum.
- Literasi Digital Masyarakat:
  Tidak semua pengguna transportasi memiliki akses atau kemampuan menggunakan aplikasi digital, yang dapat menimbulkan kesenjangan dalam pemanfaatan layanan ITS.

6.10.2 Peluang Implementasi ITS

- Urbanisasi dan Pertumbuhan Kota Besar:
  Dengan meningkatnya kebutuhan mobilitas di kota metropolitan seperti Jakarta, Surabaya, dan Medan, ITS menjadi solusi untuk mengatasi kemacetan dan polusi.
- Transformasi Digital Nasional:
  Program Indonesia Digital 2045 dan dukungan

pemerintah terhadap teknologi 5G menciptakan ekosistem yang mendukung penerapan ITS.

- Potensi Integrasi Multimoda:
  ITS dapat memperkuat integrasi antara bus, BRT, MRT, LRT, KRL, dan angkot melalui sistem e-ticketing dan big data analytics.
- Dukungan pada Green Economy:
  Penerapan smart logistics dan kendaraan listrik sejalan dengan target Indonesia dalam menurunkan emisi karbon sesuai Paris Agreement.
- Kemitraan Publik-Swasta (PPP):
  Banyak perusahaan teknologi (lokal maupun global) yang tertarik berkolaborasi dalam pengembangan aplikasi smart mobility, e-payment, dan manajemen lalu lintas berbasis AI.

6.11 Kesimpulan

ITS menjadi pilar transformasi transportasi modern, dengan fokus pada:

1. Manajemen lalu lintas berbasis teknologi yang meningkatkan efisiensi dan keselamatan.
2. Sistem informasi perjalanan (smart mobility, e-ticketing, MaaS) yang memudahkan pengguna.
3. Kendaraan otonom dan smart logistics yang merevolusi mobilitas dan rantai pasok global.

Keberhasilan ITS tidak hanya ditentukan oleh kecanggihan teknologi, tetapi juga dukungan regulasi, investasi, integrasi antar moda, dan penerimaan publik. Dengan strategi yang tepat, ITS dapat menjadi solusi nyata untuk menciptakan sistem transportasi yang efisien, aman, berkelanjutan, dan kompetitif.

Executive Summary

Bab VI membahas Sistem Transportasi Cerdas (Intelligent Transportation System/ITS) yang menjadi tulang punggung transformasi transportasi modern. ITS bukan hanya sekadar alat bantu teknologi, melainkan juga kerangka kerja integratif yang mencakup manajemen lalu lintas berbasis teknologi, sistem informasi perjalanan (smart mobility & e-ticketing), serta pengembangan kendaraan otonom dan smart logistics.

- Pada aspek manajemen lalu lintas, ITS memungkinkan pemantauan kondisi jalan secara real-time, prediksi kepadatan, dan pengendalian adaptif melalui teknologi sensor, AI, dan sistem komunikasi V2X.
- Dalam sistem informasi perjalanan, konsep smart mobility dan e-ticketing memperkuat pengalaman pengguna dengan menghadirkan layanan multimoda yang terintegrasi, transparan, serta efisien.

- Kendaraan otonom dan smart logistics menghadirkan peluang besar dalam mengurangi human error, meningkatkan efisiensi distribusi barang, serta mendukung transportasi berkelanjutan.
- Indonesia menghadapi sejumlah tantangan seperti keterbatasan infrastruktur, regulasi, dan literasi digital. Namun, peluang yang ada sangat besar, terutama dengan meningkatnya urbanisasi, dukungan digitalisasi nasional, serta integrasi transportasi multimoda.

Dengan demikian, penerapan ITS di Indonesia perlu diarahkan pada kolaborasi multi-stakeholder, regulasi yang progresif, investasi berkelanjutan, serta peningkatan kapasitas sumber daya manusia. Keberhasilan implementasi ITS akan menentukan efektivitas sistem transportasi nasional dalam menghadapi tuntutan mobilitas masa depan.

Soal

1. Jelaskan bagaimana manajemen lalu lintas berbasis teknologi melalui ITS dapat mengurangi kemacetan di perkotaan. Sertakan contoh implementasi nyata.
2. Apa perbedaan antara smart mobility dan e-ticketing dalam kerangka ITS, dan bagaimana keduanya saling melengkapi?

3. Diskusikan potensi manfaat dan tantangan dari penerapan kendaraan otonom (autonomous vehicles/AV) dalam konteks sistem transportasi Indonesia.

Daftar Pustaka

1. Button, K. J., & Hensher, D. A. (2020). *Handbook of Transport Systems and Traffic Control*. Elsevier.
2. Ceder, A. (2016). *Public Transit Planning and Operation: Modeling, Practice and Behavior*. CRC Press.
3. FHWA (Federal Highway Administration). (2021). *ITS Strategic Plan*. U.S. Department of Transportation.
4. Litman, T. (2022). *Transportation and Environmental Policy*. Victoria Transport Policy Institute.
5. OECD/ITF. (2020). *Transport Innovation and System Efficiency*. OECD Publishing.
6. PTV Group. (2021). *Smart Mobility and Traffic Management Solutions*.
7. Schrank, D., Eisele, B., & Lomax, T. (2021). *Urban Mobility Report*. Texas A&M Transportation Institute.
8. Tsugawa, S. (2019). *Trends and issues in vehicle automation and intelligent transport systems*. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems.
9. UNECE (United Nations Economic Commission for Europe). (2020). *Intelligent Transport Systems for Sustainable Mobility*. Geneva.

BAB VII
TRANSPORTASI DAN LINGKUNGAN

7.1 Pendahuluan

Transportasi modern merupakan salah satu sektor yang memiliki kontribusi signifikan terhadap pertumbuhan ekonomi dan mobilitas manusia. Namun demikian, sistem transportasi juga menjadi salah satu penyumbang utama terhadap berbagai permasalahan lingkungan, termasuk polusi udara, peningkatan konsumsi energi fosil, dan emisi gas rumah kaca yang mempercepat perubahan iklim. Hubungan antara transportasi dan lingkungan menjadi semakin penting untuk dikaji, terutama di era urbanisasi pesat dan transisi menuju ekonomi hijau.

Dalam konteks global, sektor transportasi menyumbang sekitar 25% dari total emisi CO_2 berbasis energi. Di Indonesia, dengan jumlah kendaraan bermotor yang terus meningkat (lebih dari 150 juta unit pada 2023), peran transportasi sebagai sumber polusi udara dan emisi karbon semakin nyata. Hal ini mendorong perlunya pendekatan green transport yang tidak hanya menekankan pada efisiensi energi, tetapi juga pada peralihan ke moda transportasi yang lebih berkelanjutan seperti angkutan umum massal, kendaraan listrik (EV),

serta transportasi non-motorized (sepeda dan pejalan kaki).

Bab ini membahas secara komprehensif hubungan antara transportasi dan lingkungan dengan fokus pada tiga aspek utama:

1. Dampak transportasi terhadap polusi udara dan energi.
2. Konsep green transport dan pengurangan emisi CO_2.
3. Transportasi ramah lingkungan melalui pengembangan moda non-motorized serta kendaraan rendah emisi.

7.2 Dampak Transportasi terhadap Polusi Udara dan Energi

7.2.1 Polusi Udara akibat Transportasi

Polusi udara yang berasal dari transportasi terutama disebabkan oleh pembakaran bahan bakar fosil (bensin, solar, CNG) pada kendaraan bermotor. Polutan utama meliputi:

- Karbon Monoksida (CO): gas beracun akibat pembakaran tidak sempurna.
- Nitrogen Oksida (NOx): berkontribusi terhadap pembentukan kabut asap (smog) dan hujan asam.
- Partikulat (PM2.5 dan PM10): partikel halus yang berbahaya bagi kesehatan pernapasan.

- Sulfur Oksida (SOx): berasal dari solar berkadar sulfur tinggi.
- Karbon Dioksida (CO_2): gas rumah kaca utama yang memicu perubahan iklim.

Studi WHO menunjukkan bahwa polusi udara perkotaan menyumbang lebih dari 4 juta kematian prematur setiap tahun. Di kota besar Indonesia seperti Jakarta, Surabaya, dan Medan, kualitas udara sering berada di kategori tidak sehat, terutama akibat emisi kendaraan bermotor.

7.2.2 Konsumsi Energi dalam Sektor Transportasi

Transportasi merupakan pengguna energi terbesar kedua setelah sektor industri. Lebih dari 90% energi transportasi masih bersumber dari bahan bakar fosil, sehingga meningkatkan ketergantungan terhadap impor minyak.

Beberapa isu strategis terkait konsumsi energi transportasi adalah:

- Inefisiensi penggunaan energi: kendaraan pribadi menyumbang konsumsi energi terbesar, padahal kapasitas angkutnya relatif rendah.
- Ketergantungan pada BBM: harga minyak dunia sangat fluktuatif, memengaruhi biaya logistik dan ekonomi nasional.
- Minimnya energi alternatif: penggunaan biofuel, listrik, dan hidrogen masih terbatas dalam skala nasional.

7.2.3 Studi Kasus: Polusi Transportasi di Jakarta

Jakarta merupakan contoh nyata kota dengan beban lingkungan transportasi yang tinggi. Data Dinas Lingkungan Hidup DKI Jakarta (2022) menunjukkan bahwa 47% polusi udara di Jakarta berasal dari sektor transportasi, terutama kendaraan bermotor berbahan bakar fosil. Selain itu, kepadatan lalu lintas memperburuk konsumsi energi karena kendaraan banyak menghabiskan bahan bakar saat berhenti dan berjalan lambat.

7.3 Green Transport dan Pengurangan Emisi CO_2

7.3.1 Konsep Green Transport

Green transport merujuk pada sistem transportasi yang berupaya mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dengan:

1. Mengurangi penggunaan energi fosil.
2. Mendorong efisiensi moda transportasi.
3. Mengurangi emisi gas rumah kaca.
4. Meningkatkan kualitas hidup melalui transportasi berkelanjutan.

7.3.2 Strategi Reduksi Emisi CO_2 di Sektor Transportasi

Beberapa strategi utama yang dapat diterapkan meliputi:

- Peralihan moda (modal shift): dari kendaraan pribadi ke angkutan umum massal, sepeda, dan berjalan kaki.
- Kendaraan rendah emisi: pengembangan kendaraan listrik (EV), kendaraan hibrid, dan penggunaan bahan bakar alternatif (biofuel, hidrogen).
- Transport Demand Management (TDM): pembatasan kendaraan pribadi melalui kebijakan ganjil-genap, tarif kemacetan (congestion pricing), atau pembatasan parkir.
- Peningkatan efisiensi logistik**:** penggunaan rute optimal, manajemen armada, dan integrasi multimoda.

7.3.3 Target Global dan Nasional

- Paris Agreement (2015): membatasi kenaikan suhu global di bawah 2°C. Transportasi menjadi sektor kunci pengurangan emisi.
- Indonesia's Nationally Determined Contribution (NDC): menargetkan pengurangan emisi sebesar 29% pada 2030 (dengan usaha sendiri) dan 41% dengan dukungan internasional. Transportasi berkontribusi signifikan dalam pencapaian target ini.

7.4 Transportasi Ramah Lingkungan

7.4.1 Peran Transportasi Non-Motorized (Sepeda dan Pejalan Kaki)

Transportasi non-motorized, seperti berjalan kaki dan bersepeda, merupakan moda yang paling ramah lingkungan karena tidak menghasilkan emisi langsung dan memiliki konsumsi energi yang hampir nol. Selain itu, moda ini juga mendukung kesehatan publik, mengurangi kemacetan, serta memperkuat interaksi sosial di perkotaan.

1. **Berjalan Kaki (Walking):**
    - Merupakan moda paling dasar dalam sistem transportasi.
    - Efektif untuk perjalanan jarak pendek (<1 km).
    - Sangat penting sebagai moda penghubung (first mile–last mile) menuju angkutan umum.
    - Infrastruktur yang diperlukan: trotoar lebar dan aman, penyeberangan ramah pejalan kaki, area teduh dengan vegetasi.
2. **Bersepeda (Cycling):**
    - Cocok untuk perjalanan menengah (1–10 km).
    - Efisien dalam penggunaan ruang jalan, serta mengurangi polusi dan kebisingan.
    - Membutuhkan jalur khusus sepeda, parkir sepeda, serta integrasi dengan transportasi publik (park & ride).

- Contoh sukses: Amsterdam dan Kopenhagen yang lebih dari 30% perjalanan hariannya dilakukan dengan sepeda.

Di Indonesia, tren bersepeda meningkat pasca pandemi COVID-19, namun belum diikuti oleh ketersediaan infrastruktur memadai. Perlu kebijakan **kota ramah sepeda** yang konsisten untuk mendorong peralihan moda ini.

7.4.2 Kendaraan Listrik (Electric Vehicles/EV)

Kendaraan listrik menjadi salah satu solusi utama dalam menekan emisi CO_2 dari sektor transportasi. EV tidak menghasilkan emisi langsung (tailpipe emission), meskipun masih bergantung pada sumber energi listrik nasional.

- Jenis Kendaraan Listrik:
  - Battery Electric Vehicle (BEV): sepenuhnya menggunakan baterai.
  - Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV): kombinasi baterai dan bahan bakar fosil.
  - Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV): menggunakan hidrogen sebagai sumber energi.
- Keunggulan EV:
  - Mengurangi emisi karbon dan polusi udara perkotaan.
  - Biaya operasional lebih rendah dibanding kendaraan konvensional.

    - Mendukung pengembangan energi terbarukan jika listrik bersumber dari PLTS, PLTA, atau biomassa.
- Tantangan Pengembangan EV:
    - Harga kendaraan yang masih relatif tinggi.
    - Infrastruktur pengisian baterai (charging station) yang terbatas.
    - Ketergantungan pada impor teknologi baterai.
    - Dampak lingkungan dari daur ulang baterai lithium-ion.
- Inisiatif di Indonesia:
    - Pemerintah telah meluncurkan Peraturan Presiden No. 55 Tahun 2019 tentang percepatan kendaraan bermotor listrik.
    - Pembangunan infrastruktur charging station oleh PLN dan swasta.
    - Insentif pajak dan subsidi pembelian kendaraan listrik.
    - Pilot project bus listrik di Jakarta dan kota-kota besar.

7.4.3 Transit Oriented Development (TOD) sebagai Pendukung Transportasi Ramah Lingkungan

Pengembangan TOD memiliki peran penting dalam mendukung transportasi berkelanjutan. Dengan menempatkan fasilitas hunian, kantor, dan komersial di sekitar simpul transportasi publik, TOD mendorong masyarakat untuk menggunakan angkutan umum,

berjalan kaki, dan bersepeda, sehingga mengurangi penggunaan kendaraan pribadi.

Karakteristik TOD yang ramah lingkungan antara lain:

- Kepadatan tinggi di sekitar stasiun.
- Desain kota berorientasi pejalan kaki dan pesepeda.
- Integrasi moda transportasi publik (MRT, LRT, BRT).
- Ruang hijau yang mendukung kualitas lingkungan.

7.4.4 Studi Kasus Global dan Nasional

- Global:
  - Kopenhagen, Denmark: 41% perjalanan dilakukan dengan sepeda, berkat jalur sepeda khusus dan parkir sepeda yang luas.
  - Shenzhen, Tiongkok: seluruh armada bus umum telah beralih ke bus listrik sejak 2017, menjadikannya pionir global dalam EV publik.
- Indonesia:
  - Jakarta: pengembangan jalur sepeda sepanjang ±300 km serta uji coba bus listrik TransJakarta.
  - Surabaya: program sepeda gratis di beberapa taman kota serta peningkatan fasilitas trotoar.

- Bandung: pilot project kendaraan listrik untuk angkutan kota dan motor listrik sebagai kurir logistik ramah lingkungan.

7.5 Ringkasan, Tantangan, dan Prospek Transportasi Ramah Lingkungan

7.5.1 Ringkasan

Bab ini membahas keterkaitan antara transportasi dan lingkungan, dengan menyoroti dampak negatif transportasi terhadap polusi udara, emisi CO_2, dan konsumsi energi. Transportasi menyumbang lebih dari 20% emisi gas rumah kaca global, sehingga sektor ini menjadi kunci dalam mitigasi perubahan iklim.

Tiga isu utama dibahas secara mendalam:

- Dampak Transportasi terhadap Polusi Udara & Energi: kendaraan bermotor menjadi penyumbang utama pencemar udara perkotaan (CO, NOx, PM2.5).
- Green Transport & Emisi CO_2: penerapan strategi efisiensi energi, penggunaan bahan bakar rendah karbon, serta kebijakan pengendalian emisi.
- Transportasi Ramah Lingkungan: pengembangan moda non-motorized (sepeda dan pejalan kaki), kendaraan listrik (EV), serta Transit Oriented Development (TOD) sebagai solusi masa depan.

7.5.2 Tantangan

Beberapa tantangan dalam mewujudkan transportasi ramah lingkungan di Indonesia dan global antara lain:

- Ketergantungan pada kendaraan pribadi yang tinggi.
- Infrastruktur terbatas untuk EV, jalur sepeda, dan fasilitas pejalan kaki.
- Harga kendaraan listrik yang relatif mahal dan keterbatasan teknologi baterai.
- Koordinasi lintas sektor antara pemerintah, swasta, dan masyarakat yang belum optimal.
- Kesadaran publik mengenai dampak lingkungan transportasi yang masih rendah.

7.5.3 Prospek

Meskipun menghadapi tantangan, prospek transportasi ramah lingkungan sangat besar, terutama dengan dukungan teknologi dan kebijakan pemerintah:

- Kendaraan listrik akan semakin masif dengan penurunan harga baterai dan insentif fiskal.
- Smart mobility & green logistics akan terintegrasi dengan sistem transportasi cerdas.
- Kota berkelanjutan (sustainable cities) akan mengadopsi TOD untuk mengurangi emisi transportasi.
- Perubahan perilaku masyarakat menuju penggunaan transportasi publik, sepeda, dan kendaraan berbagi (ride-sharing, carpooling).

Executive Summary

Bab VII menekankan pentingnya menyeimbangkan kebutuhan transportasi dengan kelestarian lingkungan. Transportasi merupakan salah satu sektor penyumbang terbesar emisi gas rumah kaca dan polusi udara, namun juga menawarkan peluang besar untuk transisi menuju ekonomi rendah karbon.

Pendekatan utama yang dibahas mencakup:

1. Pengendalian dampak negatif transportasi melalui efisiensi energi, regulasi emisi, dan penggunaan energi bersih.
2. Green transport strategies yang menekankan pengembangan moda non-motorized (jalan kaki dan bersepeda), serta elektrifikasi kendaraan bermotor.
3. Transportasi berkelanjutan dengan dukungan TOD, EV, dan integrasi moda publik yang ramah lingkungan.

Dengan adanya dukungan kebijakan pemerintah, adopsi teknologi baru, serta perubahan perilaku masyarakat, transportasi ramah lingkungan dapat menjadi tulang punggung pembangunan kota berkelanjutan di masa depan.

Soal

1. Jelaskan bagaimana sektor transportasi berkontribusi terhadap emisi CO_2 global dan

mengapa transportasi menjadi fokus utama dalam strategi mitigasi perubahan iklim.

2. Apa yang dimaksud dengan green transport, dan sebutkan strategi utama yang dapat diterapkan untuk mengurangi dampak lingkungan dari transportasi?
3. Diskusikan peran kendaraan listrik (EV) dalam mewujudkan transportasi ramah lingkungan di Indonesia, serta tantangan implementasinya.

Daftar Pustaka

1. Banister, D. (2005). *Unsustainable Transport: City Transport in the New Century*. Routledge.
2. Chapman, L. (2007). Transport and climate change: a review. *Journal of Transport Geography*, 15(5), 354–367.
3. Creutzig, F., Jochem, P., Edelenbosch, O. Y., Mattauch, L., van Vuuren, D. P., McCollum, D., & Minx, J. (2015). Transport: A roadblock to climate change mitigation?. *Science*, 350(6263), 911–912.
4. Newman, P., & Kenworthy, J. (2015). *The End of Automobile Dependence: How Cities are Moving Beyond Car-Based Planning*. Island Press.
5. Schipper, L., & Fulton, L. (2013). Dazzled by diesel? The impact on carbon dioxide emissions of the shift to diesels in Europe through 2009. *Energy Policy*, 54, 3–10.

6. Susilo, Y. O., Joewono, T. B., & Santosa, W. (2017). Policy challenges for sustainable urban transport in Indonesia. *Case Studies on Transport Policy*, 5(4), 484–491.
7. World Bank. (2020). *Transforming Transportation for Climate Change*. Washington, D.C.
8. Kementerian Perhubungan RI (2019). *Peraturan Presiden No. 55 Tahun 2019 tentang Percepatan Program Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai*.

BAB VIII
EKONOMI & KEBIJAKAN TRANSPORTASI

8.1 Pendahuluan

Transportasi merupakan salah satu sektor yang memiliki peran strategis dalam pembangunan ekonomi, sosial, dan lingkungan. Perannya tidak hanya sebatas sebagai sarana pergerakan manusia dan barang, tetapi juga sebagai pendorong pertumbuhan ekonomi, pemerataan wilayah, serta peningkatan daya saing nasional. Oleh karena itu, analisis transportasi tidak dapat dilepaskan dari perspektif ekonomi dan kebijakan publik.

Dalam konteks ekonomi, transportasi harus dilihat sebagai sistem yang memiliki biaya (cost) dan manfaat (benefit) baik secara langsung maupun tidak langsung. Dari sisi kebijakan, transportasi diatur melalui instrumen tarif, subsidi, dan regulasi untuk mencapai keseimbangan antara efisiensi, keadilan, keberlanjutan, dan aksesibilitas.

Bab ini membahas tiga pilar utama:

1. Analisis biaya-manfaat transportasi (Cost-Benefit Analysis/CBA).
2. Kebijakan tarif, subsidi, dan regulasi transportasi.

3. Transportasi inklusif dan aksesibilitas.

Dengan memahami aspek ekonomi dan kebijakan transportasi, para profesional di bidang ini dapat merancang sistem transportasi yang tidak hanya efisien secara teknis, tetapi juga adil, berkelanjutan, dan inklusif.

8.2 Analisis Biaya-Manfaat Transportasi

8.2.1 Konsep Dasar

Analisis biaya-manfaat (Cost-Benefit Analysis, CBA) merupakan pendekatan ekonomi untuk menilai apakah suatu proyek transportasi layak secara sosial dan ekonomi. Prinsip utamanya adalah membandingkan total manfaat (benefit) dengan total biaya (cost) sepanjang umur proyek.

- Biaya langsung: biaya investasi, biaya operasional, biaya perawatan.
- Biaya eksternalitas: polusi udara, kebisingan, kecelakaan, penggunaan lahan.
- Manfaat langsung: penghematan waktu perjalanan, pengurangan biaya operasi kendaraan (BOK), peningkatan kenyamanan dan keamanan.
- Manfaat tidak langsung: pertumbuhan ekonomi wilayah, peningkatan nilai properti, pengurangan emisi karbon.

Jika rasio manfaat terhadap biaya (Benefit-Cost Ratio, BCR) lebih besar dari 1, atau Net Present Value (NPV) positif, maka proyek dianggap layak.

8.2.2 Aplikasi pada Proyek Transportasi

Contoh penerapan CBA:

- Pembangunan jalan tol: manfaat berupa penghematan waktu dan biaya logistik dibanding jalan arteri biasa.
- Pengembangan MRT atau LRT: meskipun investasi awal sangat tinggi, manfaat berupa pengurangan kemacetan, polusi, dan peningkatan nilai properti jangka panjang dapat menjadikannya layak.
- Pelabuhan dan bandara: manfaat berupa efisiensi logistik internasional, peningkatan perdagangan, dan multiplier effect pada ekonomi lokal.

8.2.3 Tantangan dalam CBA

- Valuasi manfaat intangible: misalnya kenyamanan, kualitas udara, dan keselamatan sulit dihitung secara kuantitatif.
- Ketidakpastian proyeksi: permintaan perjalanan masa depan sering tidak pasti.
- Keadilan sosial: proyek dengan BCR tinggi belum tentu adil, misalnya pembangunan jalan tol yang lebih menguntungkan pengguna berpenghasilan tinggi.

8.3 Kebijakan Tarif, Subsidi, dan Regulasi Transportasi

8.3.1 Kebijakan Tarif Transportasi

Tarif adalah instrumen penting dalam manajemen permintaan dan pembiayaan transportasi. Penetapan tarif harus mempertimbangkan:

- Biaya operasional: agar operator dapat beroperasi secara berkelanjutan.
- Kemampuan bayar masyarakat (affordability).
- Tujuan sosial dan lingkungan: misalnya tarif rendah untuk mendorong penggunaan transportasi publik.

Contoh:

- Tarif BRT TransJakarta relatif murah untuk mendorong peralihan dari kendaraan pribadi.
- Tarif tol menggunakan sistem distance-based untuk mencerminkan prinsip "user pays".

8.3.2 Subsidi Transportasi

Subsidi diperlukan karena transportasi publik sering tidak mampu menutup biaya operasional hanya dari tarif. Subsidi diberikan untuk:

- Menjaga keterjangkauan tarif.
- Mendukung layanan publik di daerah terpencil.
- Mengurangi eksternalitas negatif seperti polusi dan kemacetan.

Contoh di Indonesia: subsidi untuk angkutan perintis laut dan udara di wilayah 3T (Tertinggal, Terdepan, dan Terluar).

8.3.3 Regulasi Transportasi

Regulasi merupakan instrumen pemerintah untuk mengatur pasar transportasi, baik dari sisi keselamatan, persaingan, maupun dampak lingkungan. Regulasi meliputi:

- Keselamatan: standar teknis kendaraan, aturan lalu lintas.
- Kompetisi: mencegah monopoli operator angkutan umum.
- Lingkungan: regulasi emisi, standar bahan bakar, kewajiban penggunaan energi bersih.

8.4 Transportasi Inklusif dan Aksesibilitas

8.4.1 Konsep Transportasi Inklusif

Transportasi inklusif berarti sistem transportasi dapat diakses oleh semua kelompok masyarakat, termasuk kelompok rentan seperti difabel, lansia, anak-anak, dan masyarakat berpenghasilan rendah.

8.4.2 Dimensi Aksesibilitas

- Fisik: tersedianya fasilitas untuk difabel (ramps, lift, guiding blocks).
- Ekonomi: tarif yang terjangkau bagi semua lapisan masyarakat.

- Informasi: sistem informasi perjalanan yang mudah dipahami dan real-time.
- Geografis: jangkauan transportasi hingga ke wilayah terpencil.

8.4.3 Praktik Terbaik (Best Practices)

- Tokyo Metro: dilengkapi lift, jalur khusus difabel, dan signage multibahasa.
- London: tarif konsesi untuk lansia dan difabel.
- Jakarta: JakLingko mengintegrasikan tarif bus, MRT, LRT, dan angkot agar lebih inklusif.

8.4.4 Tantangan Inklusivitas di Indonesia

- Infrastruktur transportasi publik yang belum sepenuhnya ramah difabel.
- Tarif transportasi yang meski murah, masih membebani masyarakat berpenghasilan sangat rendah.
- Ketimpangan akses antara perkotaan dan pedesaan.

8.5 Ringkasan dan Prospek

Bab ini menekankan pentingnya pendekatan ekonomi dan kebijakan dalam merancang sistem transportasi. Analisis biaya-manfaat membantu menilai kelayakan proyek, sementara kebijakan tarif, subsidi, dan regulasi memastikan keseimbangan antara efisiensi, keadilan, dan keberlanjutan. Transportasi inklusif menjadi agenda

penting agar sistem transportasi melayani seluruh lapisan masyarakat, bukan hanya kelompok tertentu.
Ke depan, prospek ekonomi dan kebijakan transportasi akan semakin terkait dengan isu global seperti dekarbonisasi, digitalisasi, dan kesetaraan sosial. Profesional transportasi dituntut untuk mampu mengintegrasikan analisis ekonomi, kebijakan publik, dan prinsip keadilan sosial dalam setiap perencanaan dan implementasi proyek.

8.6 Studi Kasus dan Aplikasi Ekonomi-Kebijakan Transportasi

8.6.1 Studi Kasus 1 – Analisis Biaya-Manfaat MRT Jakarta

MRT Jakarta merupakan salah satu proyek transportasi publik terbesar di Indonesia. Dengan investasi awal sekitar Rp16 triliun untuk fase 1 (Lebak Bulus – Bundaran HI), proyek ini menimbulkan perdebatan mengenai kelayakan ekonomi.
Biaya:

- Investasi awal: Rp16 triliun.
- Biaya operasional tahunan: Rp800 miliar.

Manfaat:

- Penghematan waktu perjalanan: sekitar 30 menit per pengguna.
- Penurunan biaya operasional kendaraan pribadi (BBM, parkir).

- Peningkatan kualitas udara karena penurunan penggunaan kendaraan pribadi.
- Peningkatan nilai properti di sepanjang koridor.

Analisis sederhana:

Jika jumlah penumpang rata-rata 200 ribu per hari, maka penghematan waktu setara Rp10.000 per orang/hari menghasilkan:

200.000×Rp10.000×365=Rp730miliar/tahun200.000 \times Rp10.000 \times 365 = Rp730 miliar/tahun200.000×Rp10.000×365=Rp730miliar/tahun

Ditambah penghematan BBM Rp500 miliar/tahun dan manfaat lingkungan Rp200 miliar/tahun, maka total manfaat = Rp1,43 triliun/tahun.

Jika dibandingkan dengan biaya operasional Rp800 miliar, proyek masih memerlukan subsidi. Namun dalam horizon 30 tahun, dengan mempertimbangkan multiplier effect (misalnya peningkatan nilai tanah, pertumbuhan ekonomi kota, dan pengurangan emisi), proyek ini menjadi layak secara sosial.

8.6.2 Studi Kasus 2 – Subsidi Transportasi Perintis di Indonesia

Subsidi transportasi diberikan pemerintah untuk wilayah 3T (Tertinggal, Terdepan, Terluar). Misalnya, angkutan laut perintis yang menghubungkan pulau-pulau kecil di Maluku dan Papua.

- Biaya operasional kapal: Rp30 miliar/tahun.
- Pendapatan tiket: Rp5 miliar/tahun.

- Subsidi pemerintah: Rp25 miliar/tahun.

Jika hanya melihat sisi finansial, subsidi ini tampak "rugi". Namun manfaat sosial yang diperoleh meliputi:

- Menjamin ketersediaan bahan pokok di wilayah terpencil.
- Menjaga stabilitas harga (inflasi lebih rendah).
- Meningkatkan mobilitas masyarakat untuk pendidikan dan kesehatan.

Dengan demikian, subsidi transportasi bukan hanya persoalan ekonomi, tetapi juga strategi keadilan sosial dan kohesi nasional.

8.6.3 Studi Kasus 3 – Tarif Progresif dan Manajemen Permintaan

Beberapa kota dunia, seperti Singapura dan London, menerapkan road pricing atau congestion charge untuk mengurangi kemacetan.

- Singapura: Electronic Road Pricing (ERP) dengan tarif dinamis Rp30.000 – Rp60.000 per masuk kawasan CBD.
- London: Congestion charge sekitar £15 per hari (Rp300.000).

Hasilnya:

- Volume lalu lintas berkurang 20–30%.
- Emisi CO_2 menurun sekitar 15%.
- Pendapatan dari tarif digunakan untuk subsidi transportasi publik.

Pelajaran bagi Indonesia: kebijakan tarif dapat efektif bila diiringi dengan penyediaan transportasi publik yang handal, terjangkau, dan terintegrasi.

8.7 Prospek Ekonomi dan Kebijakan Transportasi di Era Digital

8.7.1 Digitalisasi Transportasi

Ekonomi transportasi akan semakin dipengaruhi oleh **big data, artificial intelligence** (AI), dan platform digital. Misalnya:

- E-ticketing dan cashless payment mempermudah tarif integrasi.
- Ridesharing platform (Gojek, Grab) mengubah pola permintaan dan pasokan transportasi.
- Dynamic pricing berbasis algoritma AI untuk mengoptimalkan tarif.

8.7.2 Green Economy dan Transportasi

Kebijakan transportasi masa depan akan selaras dengan agenda **dekarbonisasi**. Beberapa tren:

- Subsidi kendaraan listrik (EV).
- Kredit karbon transportasi (carbon credit trading).
- Green bonds untuk pembiayaan proyek transportasi publik.

8.7.3 Transportasi Inklusif sebagai Agenda Global

Agenda global seperti Sustainable Development Goals (SDGs) mendorong transportasi yang inklusif dan berkeadilan. Beberapa poin penting:

- SDG 11: *Sustainable Cities and Communities* → akses transportasi publik yang aman, terjangkau, dan ramah lingkungan.
- SDG 13: *Climate Action* → transportasi rendah emisi sebagai strategi mitigasi perubahan iklim.

Executive Summary

Bab VIII menyoroti peran ekonomi dan kebijakan dalam transportasi melalui tiga aspek utama:

1. Analisis biaya-manfaat transportasi sebagai dasar penilaian kelayakan proyek.
2. Kebijakan tarif, subsidi, dan regulasi yang memastikan keseimbangan antara efisiensi, keberlanjutan, dan keadilan sosial.
3. Transportasi inklusif dan aksesibilitas yang memastikan semua lapisan masyarakat memperoleh hak mobilitas.

Studi kasus menunjukkan bahwa meskipun transportasi publik sering memerlukan subsidi, manfaat sosial, ekonomi, dan lingkungan yang dihasilkan jauh lebih besar. Kebijakan transportasi masa depan akan semakin dipengaruhi oleh isu digitalisasi, green economy, dan keadilan sosial.

Soal

1. Jelaskan mengapa proyek transportasi publik seperti MRT Jakarta dianggap layak secara sosial meskipun secara finansial masih memerlukan subsidi besar?
2. Apa perbedaan antara subsidi transportasi publik di perkotaan dan transportasi perintis di wilayah 3T (Tertinggal, Terdepan, Terluar)?
3. Bagaimana penerapan kebijakan tarif progresif (congestion charge) dapat mendorong perubahan perilaku masyarakat dalam penggunaan transportasi?

Daftar Pustaka

1. Banister, D. (2018). *Transport Policy and the Environment*. Routledge.
2. Button, K. (2010). *Transport Economics*. Edward Elgar Publishing.
3. De Rus, G. (Ed.). (2010). *Economic Analysis of High Speed Rail in Europe*. Springer.
4. Litman, T. (2021). *Transportation Cost and Benefit Analysis: Techniques, Estimates and Implications*. Victoria Transport Policy Institute.
5. Nash, C. (2016). *Transport Economics and Policy*. Edward Elgar.
6. Pojani, D., & Stead, D. (2017). *The Urban Transport Crisis in Emerging Economies*. Springer.
7. Small, K. A., & Verhoef, E. T. (2007). *The Economics of Urban Transportation*. Routledge.

8. Vickerman, R. (2017). *Transport and the Economy*. Routledge.
9. Wright, L., & Hook, W. (2018). *Bus Rapid Transit Planning Guide*. Institute for Transportation and Development Policy (ITDP).
10. World Bank. (2019). *Sustainable Transport and Inclusive Development*. World Bank Publications.

Daftar Pustaka Nasional

11. Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. (2021). *Rencana Induk Transportasi Nasional (RITN) 2021–2045*. Jakarta: Kemenhub RI.
12. Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas). (2020). *Kajian Kebijakan Transportasi Berkelanjutan di Indonesia*. Jakarta: Bappenas.
13. Susantono, B., & Berawi, M. A. (2012). *Transportasi untuk Pembangunan Berkelanjutan*. Jakarta: UI Press.
14. Tamin, O. Z. (2000). *Perencanaan dan Permodelan Transportasi*. Bandung: ITB Press.
15. Kementerian Keuangan Republik Indonesia. (2022). *Kebijakan Subsidi dan Tarif Transportasi Publik*. Jakarta: Kemenkeu RI.

BAB IX
MANAJEMEN INFRASTRUKTUR TRANSPORTASI

9.1 Pendahuluan

Infrastruktur transportasi merupakan tulang punggung pembangunan ekonomi dan mobilitas sosial. Jalan tol, pelabuhan, bandara, terminal, dan stasiun adalah simpul-simpul penting yang tidak hanya berfungsi sebagai sarana pergerakan manusia dan barang, tetapi juga sebagai katalis pertumbuhan wilayah dan pusat aktivitas ekonomi. Manajemen infrastruktur transportasi menuntut pendekatan yang komprehensif, mencakup aspek perencanaan, pengembangan, pengoperasian, pemeliharaan, dan evaluasi berkelanjutan.

Bab ini membahas manajemen infrastruktur transportasi dengan fokus pada tiga pilar utama: (1) perencanaan dan manajemen jalan tol; (2) manajemen simpul transportasi seperti pelabuhan, bandara, terminal, dan stasiun; serta (3) sistem logistik dan rantai pasok yang terintegrasi.

9.2 Perencanaan dan Manajemen Jalan Tol

9.2.1 Perencanaan Jalan Tol

Jalan tol merupakan infrastruktur strategis yang berperan penting dalam mendukung konektivitas

antarwilayah. Perencanaan jalan tol melibatkan berbagai tahapan:

- Studi kelayakan teknis dan finansial: meliputi analisis lalu lintas, kondisi geoteknik, potensi pendapatan dari tarif, serta perhitungan biaya konstruksi.
- Kajian kelayakan lingkungan (AMDAL): menilai dampak pembangunan jalan tol terhadap lingkungan hidup.
- Model pembiayaan: dapat berupa skema pemerintah, swasta, maupun kemitraan publik-swasta (Public Private Partnership/PPP).
- Proyeksi permintaan lalu lintas: menggunakan model pergerakan kendaraan dan skenario pertumbuhan ekonomi.

9.2.2 Operasi dan Pemeliharaan Jalan Tol

Manajemen jalan tol tidak berhenti pada tahap pembangunan, melainkan mencakup operasi dan pemeliharaan:

- Sistem pembayaran: mulai dari manual, e-toll berbasis kartu, hingga multi-lane free flow (MLFF) berbasis sensor.
- Keselamatan lalu lintas: penyediaan rambu, marka, CCTV, dan sistem tanggap darurat.
- Pemeliharaan rutin: perbaikan permukaan jalan, inspeksi jembatan, serta pengelolaan rest area.

- Manajemen risiko dan pembiayaan: terkait dengan ketidakpastian volume lalu lintas, perubahan regulasi, serta dinamika ekonomi.

9.2.3 Tantangan dan Inovasi

Pengelolaan jalan tol menghadapi tantangan seperti kemacetan di gerbang tol, tingginya biaya pemeliharaan, dan tuntutan integrasi dengan moda transportasi lain. Solusi inovatif termasuk:

- Digitalisasi manajemen tol: penggunaan *big data* untuk analisis volume lalu lintas.
- Penerapan teknologi MLFF yang mengurangi antrean di gerbang tol.
- Green toll road: penerapan standar ramah lingkungan dengan penggunaan energi terbarukan di fasilitas rest area.

9.3 Pelabuhan, Bandara, Terminal, dan Stasiun

9.3.1 Pelabuhan

Pelabuhan merupakan simpul logistik utama dalam perdagangan internasional. Efisiensi pelabuhan sangat memengaruhi daya saing suatu negara.

- Fungsi utama: bongkar muat kargo, terminal peti kemas, pergudangan, dan layanan logistik.
- Manajemen pelabuhan modern: menerapkan *port community system (PCS)* berbasis digital untuk integrasi antar-pelaku usaha (shipping line, bea cukai, logistik).

- Isu strategis: dwelling time, biaya logistik, serta konektivitas hinterland.

9.3.2 Bandara

Bandara merupakan simpul transportasi udara yang melayani pergerakan penumpang dan kargo.

- Perencanaan bandara mencakup runway, terminal, sistem navigasi, serta kapasitas parkir pesawat (*apron*).
- Manajemen operasional: keselamatan penerbangan, manajemen lalu lintas udara, serta layanan penumpang.
- Pengembangan bandara modern: menuju konsep *aerotropolis* di mana bandara menjadi pusat ekonomi yang menghubungkan transportasi, logistik, bisnis, dan pariwisata.

9.3.3 Terminal dan Stasiun

Terminal (angkutan jalan) dan stasiun (kereta api) adalah simpul transportasi darat yang berfungsi sebagai titik transfer penumpang.

- Terminal angkutan jalan: harus mampu mengatur arus keberangkatan, kedatangan, serta integrasi dengan angkutan umum perkotaan.
- Stasiun kereta api: berperan sebagai simpul multimoda, terutama untuk integrasi KRL, MRT, LRT, dan BRT.
- Prinsip TOD (Transit Oriented Development): pengembangan kawasan stasiun dan terminal

sebagai pusat aktivitas perkotaan dengan aksesibilitas tinggi.

9.4 Sistem Logistik dan Rantai Pasok

9.4.1 Konsep Sistem Logistik

Logistik mencakup proses pengelolaan aliran barang, informasi, dan modal dari titik asal ke titik konsumsi. Infrastruktur transportasi berperan vital dalam memastikan kelancaran rantai pasok.

Elemen utama logistik:

1. Transportasi: darat, laut, udara, dan kereta api.
2. Pergudangan: manajemen persediaan dan distribusi.
3. Teknologi informasi: pelacakan barang, *supply chain visibility*.
4. Distribusi akhir (last mile delivery): tantangan utama terutama di perkotaan.

9.4.2 Integrasi Infrastruktur dan Logistik

Manajemen infrastruktur transportasi harus terintegrasi dengan sistem logistik nasional. Hal ini terlihat dalam kebijakan Tol Laut di Indonesia yang bertujuan menekan disparitas harga antarwilayah.

9.4.3 Smart Logistics

Era digital menghadirkan inovasi dalam manajemen rantai pasok:

- Internet of Things (IoT): sensor untuk pelacakan kontainer.

- Artificial Intelligence (AI): peramalan permintaan logistik.
- Blockchain: keamanan transaksi logistik dan pelacakan dokumen.
- Green logistics: strategi mengurangi emisi dengan penggunaan EV untuk distribusi perkotaan.

9.5 Studi Kasus

9.5.1 Jalan Tol Trans-Jawa

Trans-Jawa berhasil meningkatkan konektivitas antarwilayah, memangkas waktu tempuh Jakarta–Surabaya dari 15 jam menjadi sekitar 9 jam. Namun, manajemen tol menghadapi tantangan seperti tarif tinggi dan distribusi beban lalu lintas yang tidak merata.

9.5.2 Pelabuhan Tanjung Priok

Sebagai pelabuhan utama Indonesia, Tanjung Priok menghadapi masalah dwelling time yang panjang. Penerapan *inaportnet* dan sistem logistik nasional (Sislognas) telah memperbaiki efisiensi layanan.

9.5.3 Bandara Internasional Soekarno-Hatta

Bandara ini dikembangkan menjadi *aerotropolis* dengan fasilitas terpadu, termasuk kereta bandara, *people mover system*, serta integrasi dengan moda transportasi perkotaan.

9.5.4 Sistem Tol Laut

Program tol laut bertujuan mengurangi disparitas harga antarwilayah, terutama kawasan timur Indonesia. Keberhasilan program ini ditentukan oleh keterpaduan antara pelabuhan, kapal, dan distribusi darat.

9.6 Tantangan dan Prospek Masa Depan

- Keterbatasan kapasitas: pertumbuhan kendaraan dan penumpang sering melebihi kapasitas infrastruktur.
- Pendanaan: keterbatasan anggaran negara mendorong model pembiayaan kreatif (PPP, obligasi infrastruktur).
- Digitalisasi: transformasi menuju infrastruktur pintar berbasis *big data* dan IoT.
- Sustainability: kebutuhan penerapan prinsip ramah lingkungan dalam manajemen infrastruktur.
- Resiliensi rantai pasok: pandemi COVID-19 menunjukkan pentingnya ketahanan logistik nasional.

9.7 Kesimpulan

Manajemen infrastruktur transportasi mencakup aspek yang luas, mulai dari perencanaan dan pengelolaan jalan tol, optimalisasi simpul transportasi seperti pelabuhan, bandara, terminal, dan stasiun, hingga integrasi dengan sistem logistik nasional. Keberhasilan

manajemen infrastruktur tidak hanya ditentukan oleh aspek teknis, tetapi juga oleh kebijakan, regulasi, inovasi teknologi, serta kolaborasi antara pemerintah, swasta, dan masyarakat.

Di era globalisasi dan digitalisasi, pendekatan manajemen infrastruktur transportasi harus berorientasi pada efisiensi, keberlanjutan, dan resiliensi rantai pasok, agar mampu mendukung daya saing nasional sekaligus meningkatkan kesejahteraan masyarakat.

Executive Summary

Infrastruktur transportasi adalah fondasi utama dalam mendukung mobilitas, distribusi barang, dan pertumbuhan ekonomi nasional. Bab ini mengulas tiga aspek strategis: **(1)** perencanaan dan manajemen jalan tol, (2) manajemen simpul transportasi seperti pelabuhan, bandara, terminal, dan stasiun, serta (3) sistem logistik dan rantai pasok terintegrasi.

1. Jalan Tol

Jalan tol merupakan tulang punggung konektivitas darat. Manajemennya meliputi studi kelayakan teknis, model pembiayaan, operasi, serta pemeliharaan berkelanjutan. Inovasi seperti Multi Lane Free Flow (MLFF), digitalisasi data lalu lintas, dan konsep green toll road menjadi tren masa depan. Tantangan utama adalah tingginya biaya konstruksi, kebutuhan integrasi dengan moda lain, dan keberlanjutan lingkungan.

2. Simpul Transportasi (Pelabuhan, Bandara, Terminal, Stasiun)

- Pelabuhan berperan vital dalam perdagangan internasional. Digitalisasi melalui *Port Community System* (PCS) dan *inaportnet* mempercepat alur logistik dan mengurangi *dwelling time*.
- Bandara berkembang ke arah *aerotropolis*, menjadikannya pusat ekonomi regional yang mengintegrasikan transportasi, logistik, bisnis, dan pariwisata.
- Terminal dan stasiun harus dikelola dengan prinsip Transit Oriented Development (TOD) agar mendukung pergerakan multimoda, efisien, dan ramah pengguna.

3. Sistem Logistik dan Rantai Pasok

Sistem logistik modern menekankan efisiensi distribusi, pengurangan biaya transportasi, dan peningkatan visibilitas rantai pasok. Inovasi digital seperti IoT, AI, blockchain, dan konsep green logistics meningkatkan transparansi dan keberlanjutan distribusi barang. Program Tol Laut di Indonesia menjadi contoh upaya strategis dalam mengurangi disparitas harga antarwilayah.

4. Tantangan dan Prospek

Manajemen infrastruktur transportasi menghadapi tantangan utama: keterbatasan kapasitas, keterbatasan anggaran, kebutuhan digitalisasi, tuntutan

keberlanjutan, dan resiliensi rantai pasok pasca-pandemi. Prospeknya menuntut kolaborasi publik-swasta, pemanfaatan teknologi cerdas, serta orientasi pada transportasi berkelanjutan.

Kesimpulan Utama

Manajemen infrastruktur transportasi tidak hanya menyangkut pembangunan fisik, tetapi juga manajemen operasional, integrasi multimoda, serta efisiensi logistik nasional. Dengan perencanaan strategis, penerapan teknologi, dan dukungan kebijakan yang tepat, infrastruktur transportasi dapat menjadi pilar utama daya saing nasional dan peningkatan kesejahteraan masyarakat.

Soal

1. Mengapa model *Public Private Partnership (PPP)* banyak digunakan dalam pembangunan jalan tol dan bandara di Indonesia, dan apa keuntungan utamanya dibanding pembiayaan murni pemerintah?
2. Bagaimana konsep *aerotropolis* pada bandara internasional dapat meningkatkan nilai ekonomi wilayah sekitar?
3. Apa peran sistem logistik nasional dalam mengurangi disparitas harga antarwilayah di Indonesia, dan bagaimana keterkaitannya dengan infrastruktur transportasi?

Daftar Pustaka Internasional

1. Button, K. (2010). *Transport Economics*. Edward Elgar Publishing.
2. Gwilliam, K. (2013). *Public–Private Partnerships in Transport Infrastructure: An International Perspective*. World Bank Publications.
3. Rodrigue, J.-P., Comtois, C., & Slack, B. (2020). *The Geography of Transport Systems* (5th ed.). Routledge.
4. Stopford, M. (2009). *Maritime Economics* (3rd ed.). Routledge.
5. Zhang, A. (2016). *Airport Economics and Policy: Efficiency, Competition, and Pricing*. Edward Elgar Publishing.
6. Notteboom, T., Pallis, A. A., & Rodrigue, J.-P. (2022). *Port Economics, Management and Policy*. Routledge.
7. Christopher, M. (2016). *Logistics & Supply Chain Management* (5th ed.). Pearson Education.
8. McKinnon, A., Browne, M., Piecyk, M., & Whiteing, A. (2015). *Green Logistics: Improving the Environmental Sustainability of Logistics*. Kogan Page.
9. Levinson, D. M., & Krizek, K. J. (2018). *The End of Traffic and the Future of Transport*. Network Design Lab.

10. World Bank. (2019). *Sustainable Logistics: Global Perspective and Practices*. Washington, D.C.: World Bank.

Daftar Pustaka Nasional

11. Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. (2021). *Rencana Induk Transportasi Nasional (RITN) 2021–2045*. Jakarta: Kemenhub RI.
12. Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas). (2020). *Sistem Logistik Nasional: Strategi Efisiensi Biaya Distribusi*. Jakarta: Bappenas.
13. Hutabarat, F. S., & Susantono, B. (2019). *Kebijakan Infrastruktur Transportasi dan Logistik di Indonesia*. Jakarta: UI Press.
14. Tamin, O. Z. (2000). *Perencanaan dan Permodelan Transportasi*. Bandung: ITB Press.
15. PT Jasa Marga (Persero) Tbk. (2022). *Annual Report – Infrastruktur Jalan Tol dan Inovasi Digital*. Jakarta: Jasa Marga.
16. Pelindo (Pelabuhan Indonesia). (2021). *Laporan Kinerja Pelabuhan Indonesia: Efisiensi dan Transformasi Digital*. Jakarta: PT Pelindo.
17. Angkasa Pura II. (2020). *Transformasi Bandara Menuju Konsep Aerotropolis*. Jakarta: PT Angkasa Pura II.
18. Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman dan Investasi RI. (2019). *Implementasi Tol Laut dalam Mendukung Sistem Logistik Nasional*. Jakarta: Kemenko Marves.

BAB X
STUDI KASUS & PROYEK TRANSPORTASI

10.1 Pendahuluan

Studi kasus dan proyek transportasi merupakan instrumen penting dalam memahami dinamika pembangunan infrastruktur serta implementasi kebijakan transportasi. Pendekatan berbasis studi kasus memungkinkan analisis empiris terhadap masalah nyata yang dihadapi dalam pengembangan sistem transportasi, sekaligus menjadi sarana pembelajaran bagi praktisi maupun akademisi.

Bab ini menyajikan tiga fokus utama. Pertama, studi mengenai jaringan transportasi perkotaan yang berkaitan dengan perencanaan, integrasi moda, serta tantangan mobilitas berkelanjutan. Kedua, perencanaan koridor logistik yang memegang peranan vital dalam meningkatkan efisiensi rantai pasok nasional maupun regional. Ketiga, evaluasi proyek transportasi berskala nasional dan regional, yang menekankan pentingnya analisis manfaat, risiko, dan dampak pembangunan infrastruktur.

10.2 Studi Jaringan Transportasi Perkotaan

10.2.1 Konsep Dasar Jaringan Perkotaan

Jaringan transportasi perkotaan adalah sistem yang terdiri atas jalan raya, jalur kereta, jaringan angkutan umum massal, dan fasilitas pejalan kaki serta pesepeda yang terhubung dalam suatu struktur tata ruang kota. Sistem ini dirancang untuk mengakomodasi mobilitas penduduk yang padat, sekaligus mendukung keberlanjutan lingkungan.

Dalam konteks perkotaan modern, tantangan utama adalah kemacetan, polusi udara, keterbatasan ruang, dan inefisiensi energi. Oleh karena itu, integrasi antar moda transportasi dan optimalisasi jaringan menjadi fokus penting dalam manajemen transportasi kota.

10.2.2 Studi Kasus: Integrasi Moda di Jakarta

Jakarta sebagai metropolitan terbesar di Indonesia menghadapi kompleksitas mobilitas yang tinggi. Sejak tahun 2019, implementasi Jakarta Mass Rapid Transit (MRT), Light Rail Transit (LRT), dan pengembangan TransJakarta BRT menjadi langkah strategis untuk mengurangi ketergantungan terhadap kendaraan pribadi.

Hasil studi menunjukkan bahwa:

- Penggunaan MRT fase I mampu mengurangi kepadatan lalu lintas di koridor Sudirman–Thamrin hingga 7%.

- Integrasi layanan dengan TransJakarta meningkatkan efisiensi waktu perjalanan rata-rata sebesar 12–15%.
- Namun, tantangan utama masih terletak pada akses first-mile dan last-mile, serta keterjangkauan tarif bagi seluruh lapisan masyarakat.

10.2.3 Analisis

Dari studi tersebut, terlihat bahwa perencanaan jaringan transportasi perkotaan tidak dapat berdiri sendiri, melainkan harus disinergikan dengan tata ruang kota, regulasi tarif, dan kebijakan transport demand management (TDM).

10.3 Perencanaan Koridor Logistik

10.3.1 Pentingnya Koridor Logistik

Koridor logistik merupakan jalur transportasi strategis yang menghubungkan pusat produksi, distribusi, dan konsumsi. Efisiensi koridor logistik berdampak langsung terhadap biaya distribusi nasional, daya saing ekspor, dan stabilitas harga komoditas.

10.3.2 Studi Kasus: Koridor Logistik Sulawesi Selatan

Sulawesi Selatan merupakan salah satu pusat logistik penting di kawasan timur Indonesia, khususnya untuk distribusi beras, ikan, dan komoditas pertanian. Penetapan Makassar sebagai hub pelabuhan utama dengan konektivitas Tol Laut telah mendorong

peningkatan arus barang hingga 20% dalam kurun 2017–2021.

Hasil penelitian menunjukkan:

- Biaya logistik turun rata-rata 8–10% setelah penerapan tol laut dan modernisasi Pelabuhan Makassar.
- Peningkatan kualitas jalan nasional poros Makassar–Parepare mempercepat waktu tempuh distribusi barang hingga 25%.
- Tantangan masih berupa ketidakseimbangan arus muatan balik dan ketergantungan pada transportasi jalan darat yang rentan terhadap kemacetan dan kerusakan infrastruktur.

10.3.3 Analisis

Perencanaan koridor logistik memerlukan pendekatan integratif antara jalan raya, kereta api barang, pelabuhan, dan bandara kargo. Selain itu, regulasi tarif, subsidi logistik, dan insentif investasi sangat memengaruhi keberlanjutan efisiensi sistem distribusi nasional.

10.4 Evaluasi Proyek Transportasi Nasional dan Regional

10.4.1 Kerangka Evaluasi

Evaluasi proyek transportasi dilakukan dengan memperhatikan tiga dimensi utama:

- Analisis biaya-manfaat (Cost-Benefit Analysis / CBA)
- Aspek sosial dan lingkungan
- Keberlanjutan finansial dan manajerial

10.4.2 Studi Kasus Nasional: Proyek Kereta Cepat Jakarta–Bandung

Proyek Kereta Cepat Jakarta–Bandung (KCJB) merupakan salah satu proyek transportasi terbesar di Indonesia. Meskipun memiliki potensi mengurangi waktu tempuh dari 3 jam menjadi 45 menit, proyek ini menghadapi tantangan besar dari sisi pembiayaan, akuisisi lahan, serta proyeksi jumlah penumpang.

Evaluasi awal menunjukkan:

- Manfaat: peningkatan konektivitas regional Jawa Barat, potensi pengembangan kawasan TOD (Transit Oriented Development).
- Biaya: pembengkakan anggaran hingga lebih dari USD 7,5 miliar, serta risiko keberlanjutan finansial.
- Sosial-lingkungan: perpindahan lahan masyarakat, dampak ekologi di beberapa titik trase.

10.4.3 Studi Kasus Regional: Jaringan Transportasi ASEAN

Dalam lingkup regional, proyek ASEAN Highway Network (AHN) dan Singapore–Kunming Rail Link

(SKRL) menjadi upaya integrasi transportasi darat di Asia Tenggara. Evaluasi menunjukkan bahwa:

- AHN meningkatkan konektivitas perdagangan lintas batas, terutama untuk sektor manufaktur.
- SKRL menghadapi kendala dalam standarisasi teknis rel antarnegara, perbedaan regulasi, serta kebutuhan investasi yang sangat besar.

10.4.4 Analisis

Evaluasi menunjukkan bahwa keberhasilan proyek transportasi nasional maupun regional sangat dipengaruhi oleh good governance, keterlibatan publik, serta sumber pendanaan berkelanjutan.

10.5 Penutup

Studi kasus dan proyek transportasi memperlihatkan bahwa keberhasilan perencanaan dan pembangunan transportasi tidak hanya bergantung pada faktor teknis, tetapi juga pada dimensi ekonomi, sosial, lingkungan, dan politik.

Pengembangan jaringan perkotaan, perencanaan koridor logistik, dan evaluasi proyek transportasi membutuhkan integrasi antar lembaga pemerintah, swasta, serta masyarakat. Dengan demikian, pembangunan transportasi dapat berkontribusi optimal terhadap efisiensi ekonomi, kualitas hidup masyarakat, dan keberlanjutan lingkungan.

Executive Summary

Bab ini membahas secara mendalam implementasi nyata dari teori dan konsep transportasi melalui studi kasus dan proyek strategis, baik pada skala perkotaan, logistik regional, maupun proyek nasional dan internasional.

Pertama, studi jaringan transportasi perkotaan menyoroti tantangan besar yang dihadapi kota-kota metropolitan, seperti kemacetan, polusi, dan keterbatasan ruang. Kasus Jakarta menunjukkan pentingnya integrasi moda transportasi massal (MRT, LRT, TransJakarta, KRL) yang didukung oleh konsep *Transit Oriented Development (TOD)* serta aksesibilitas *first-mile* dan *last-mile*. Keberhasilan integrasi moda terbukti mampu menurunkan waktu tempuh dan mengurangi tekanan pada lalu lintas jalan.

Kedua, perencanaan koridor logistik dibahas sebagai elemen vital dalam menekan biaya distribusi nasional dan meningkatkan daya saing ekspor. Studi kasus Sulawesi Selatan memperlihatkan bahwa modernisasi pelabuhan, peningkatan kualitas jalan, dan konektivitas transportasi mampu menurunkan biaya logistik hingga 10% dan mempercepat distribusi barang. Namun, tantangan tetap ada, terutama pada ketidakseimbangan arus muatan balik dan dominasi transportasi jalan darat yang rentan terhadap gangguan.

Ketiga, evaluasi proyek transportasi nasional dan regional menggarisbawahi pentingnya analisis manfaat

dan biaya, dampak sosial-lingkungan, serta keberlanjutan kelembagaan dan finansial. Kasus Kereta Cepat Jakarta–Bandung menunjukkan bahwa meskipun manfaat berupa konektivitas regional signifikan, risiko pembengkakan biaya dan ketidakpastian jumlah penumpang perlu ditangani dengan strategi tata kelola yang transparan. Pada level regional, proyek ASEAN Highway Network (AHN) dan Singapore–Kunming Rail Link (SKRL) mengilustrasikan kompleksitas integrasi infrastruktur lintas negara, khususnya pada aspek teknis, regulasi, dan investasi.

Secara keseluruhan, Bab X menekankan bahwa kesuksesan proyek transportasi tidak hanya ditentukan oleh perencanaan teknis, tetapi juga faktor sosial, ekonomi, lingkungan, dan politik. Studi kasus dan proyek yang dibahas menjadi bukti bahwa pendekatan integratif, tata kelola yang baik, serta partisipasi pemangku kepentingan merupakan kunci bagi pembangunan transportasi yang berkelanjutan dan inklusif.

Soal

1. Jelaskan tantangan utama dalam pengembangan jaringan transportasi perkotaan di Jakarta, serta bagaimana konsep integrasi moda dapat menjadi solusi.
2. Apa saja indikator yang digunakan dalam mengevaluasi koridor logistik, dan bagaimana

kasus koridor logistik Sulawesi Selatan dapat dijadikan pembelajaran nasional?

3. Evaluasi proyek transportasi besar, seperti Kereta Cepat Jakarta–Bandung, sering menimbulkan perdebatan publik. Apa tiga aspek utama yang harus dipertimbangkan dalam menilai keberlanjutan proyek transportasi berskala nasional?

Daftar Pustaka

1. Banister, D. (2018). *Transport Policy and Sustainable Development*. Routledge.
2. Black, W. R. (2010). *Sustainable Transportation: Problems and Solutions*. Guilford Press.
3. Button, K., & Hensher, D. (Eds.). (2020). *Handbook of Transport and the Environment*. Elsevier.
4. Cervero, R. (2013). *Transport Infrastructure and Urban Development: Transit-Oriented Approaches*. Journal of Transport and Land Use, 6(1), 45–58.
5. Hull, A. (2005). *Integrated Transport Planning in the UK: From Concept to Reality*. Journal of Transport Geography, 13(4), 318–328.
6. Rodrigue, J. P., Comtois, C., & Slack, B. (2020). *The Geography of Transport Systems* (5th ed.). Routledge.
7. Shah, R., & Rivera, L. (2019). *Supply Chain Resilience 4.0: Leveraging Digital Technologies and*

Advanced Analytics. International Journal of Logistics Management, 30(3), 1034–1052.

8. Stopher, P., & Stanley, J. (2014). *Introduction to Transport Policy: A Public Policy View*. Edward Elgar Publishing.
9. Tamin, O. Z. (2000). *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi*. Bandung: ITB.
10. United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific (UNESCAP). (2017). *ASEAN Highway Network and Regional Connectivity Report*. Bangkok: UNESCAP.
11. World Bank. (2021). *Transforming Transportation Infrastructure for Inclusive Growth*. Washington, DC: World Bank.

Yusak, O., & Taylor, M. A. P. (2019). *Evaluation of Mega Transport Projects: Challenges and Methods*. Transport Reviews, 39(5), 567–589.