PERENCANAAN DAN PEMODELAN TRANSPORTASI DALAM PENGEMBANGAN INFRASTRUKTUR



Penulis

- Yosef Adicita
- Akhmad Andi Saputra
- Ita Suhermin Ingsih
- Anton Kaharu
- Muhammad Djaya Bakri
- Vita Fajriani Ridwan
- Erning Ertami Anton
- Arqam Laya

ISBN 978-634-255-823-2

PERENCANAAN DAN PEMODELAN TRANSPORTASI DALAM PENGEMBANGAN INFRASTRUKTUR

Yosef Adicita
Akhmad Andi Saputra
Ita Suhermin Ingsih
Anton Kaharu
Muhammad Djaya Bakri
Vita Fajriani Ridwan
Erning Ertami Anton
Arqam Laya

GET PRESS INDONESIA

PERENCANAAN DAN PEMODELAN TRANSPORTASI DALAM PENGEMBANGAN INFRASTRUKTUR

Penulis :
Yosef Adicita
Akhmad Andi Saputra
Ita Suhermin Ingsih
Anton Kaharu
Muhammad Djaya Bakri
Vita Fajriani Ridwan
Erning Ertami Anton
Arqam Laya

ISBN : 978-634-255-823-2

Editor : Mila Sari, M. Si.
Desain Sampul dan Tata Letak : Yuliatri Novita, M.Hum.

PENERBIT : GET PRESS INDONESIA
Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022
Jl. Palarik RT 01 RW 06 Kelurahan Air Pacah
Kecamatan Koto Tangah Padang Sumatera Barat
website: www.getpress.co.id
email: adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, Oktober 2026

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

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga buku berjudul *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi dalam Pengembangan Infrastruktur* ini dapat diselesaikan dengan baik. Buku ini disusun sebagai referensi untuk memahami berbagai aspek perencanaan transportasi secara sistematis, mulai dari konsep dasar dan ruang lingkup perencanaan, proses dan tahapan perencanaan sistem transportasi, model transportasi dan perencanaan jaringan, hingga perencanaan transportasi publik, transportasi barang, pemilihan moda, serta hubungan transportasi dengan tata guna lahan. Pembahasan dalam buku ini juga mencakup aspek lingkungan dan keberlanjutan, termasuk transportasi berkelanjutan, elektrifikasi, energi terbarukan, serta kebijakan transportasi hijau yang semakin penting dalam menghadapi perkembangan perkotaan dan tantangan lingkungan.

Penyusunan buku ini tidak terlepas dari dukungan dan kontribusi berbagai pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian hingga buku ini dapat digunakan sebagai bahan referensi. Penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, masukan, dan motivasi selama proses penyusunan buku. Buku ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi mahasiswa, akademisi, praktisi, perencana transportasi, pemerintah, serta pihak lain yang berkepentingan dalam memahami dan mengembangkan sistem transportasi yang efektif, terintegrasi, aman, dan berkelanjutan. Penulis menyadari bahwa buku ini masih memiliki kekurangan, sehingga kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan untuk penyempurnaan pada masa mendatang. Semoga buku ini dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu dan praktik perencanaan transportasi di Indonesia.

Padang, September 2026

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR i

DAFTAR ISI ii

DAFTAR GAMBAR vi

DAFTAR TABEL ix

BAB 1 KONSEP DASAR DAN RUANG LINGKUP PERENCANAAN TRANSPORTASI 1

1.1 Konsep Dasar Transportasi 1

1.2 Pengertian Perencanaan Transportasi 2

1.3 Sistem Transportasi sebagai Kesatuan 8

1.4 Hubungan Transportasi, Tata Guna Lahan, dan Infrastruktur 14

1.5 Tujuan dan Prinsip Perencanaan Transportasi 19

1.6 Ruang Lingkup Perencanaan Transportasi 28

1.7 Pergeseran Paradigma Perencanaan 36

1.8 Data, Model, dan Penilaian Alternatif 39

1.9 Aktor, Partisipasi, dan Tata Kelola 43

1.10 Kerangka Berpikir Perencanaan Transportasi 46

1.11 Isu Kontemporer dalam Perencanaan Transportasi 49

1.12 Batasan dan Kesalahan Umum 51

1.13 Ilustrasi Penerapan Konsep 53

DAFTAR PUSTAKA 55

BAB 2 PROSES DAN TAHAPAN PERENCANAAN SISTEM TRANSPORTASI 59

2.1 Urgensi Perencanaan Transportasi 59

2.2 Definisi dan Filosofi Perencanaan Sistem Transportasi 61
2.3 Siklus dan Tahapan Makro Perencanaan Transportasi 64
2.4 Proses Perencanaan Transportasi..... 68
2.5 Model Perencanaan Transportasi Empat Tahap (*Four-Step Travel Demand Model*)..... 70
2.6 Perencanaan Transportasi Berkelanjutan dan Integrasi Tata Guna Lahan 77
DAFTAR PUSTAKA..... 83
BAB 3 MODEL TRANSPORTASI DAN PERENCANAAN JARINGAN 85
3.1 Pengantar Perencanaan Transportasi 85
3.2 Kerangka Konseptual Sistem Transportasi 86
3.3 Model Perencanaan Transportasi Empat Tahap 88
3.4 Perencanaan Jaringan Transportasi 95
3.5 Aplikasi dan Tren Terkini 100
DAFTAR PUSTAKA..... 102
BAB 4 PERENCANAAN TRANSPORTASI PUBLIK DAN INTEGRASI MODA 109
4.1 Evolusi Sistem Transportasi Perkotaan..... 109
4.2 Sistem Transit Massal: BRT, LRT, dan MRT..... 111
4.3 Aksesibilitas dan Konektivitas Antarmoda..... 114
4.4 Pengembangan Kawasan Berbasis Transit (*Transit-Oriented Development* - TOD)..... 117
4.5 Studi Kasus dan Pembelajaran Praktis..... 120

4.6 Kebijakan Strategis dan Arah Masa Depan 124

DAFTAR PUSTAKA 126

BAB 5 PERENCANAAN TRANSPORTASI BARANG DAN SISTEM JARINGAN JALAN 129

5.1 Transportasi Barang 129

5.2 Karakteristik Transportasi Barang dan Kebutuhan Jaringan Jalan 134

5.4 Perencanaan Jaringan Lintas Angkutan Barang dan Strategi Pengembangan Jalan 141

DAFTAR PUSTAKA 147

BAB 6 ANALISIS SEBARAN PERJALANAN DAN TATA GUNA LAHAN 149

6.1 Hubungan Antara Tata Guna Lahan dan Sistem Transportasi 149

6.2 Interaksi Tata Guna Lahan dan Transportasi 152

6.3 Pendekatan Metodologis: Integrasi GIS, Peta Mental, dan Analisis Spasial 167

6.4 Studi Kasus: Sebaran Perjalanan Mahasiswa dan Tata Guna Lahan Kampus di Politeknik Negeri Ujung Pandang 171

6.5 Implikasi bagi Perencanaan Tata Guna Lahan dan Transportasi Kampus 185

DAFTAR PUSTAKA 191

BAB 7 PEMILIHAN MODA TRANSPORTASI DALAM SISTEM PERJALANAN 195

7.1 Pengantar Sistem Transportasi 195

7.2 Konsep Dasar Pemilihan Moda dalam Sistem Perencanaan Transportasi 197

7.3 Faktor-Faktor yang Memengaruhi Pemilihan Moda 202
7.4 Teori Perilaku dalam Pemilihan Moda 205
7.5 Klasifikasi Model Pemilihan Moda 207
7.6 Model Logit dan Aplikasinya 209
7.7 Data dan Estimasi Model Pemilihan Moda..... 215
7.8 Penerapan pada Konteks Indonesia 217
7.9 Isu Kontemporer dalam Pemilihan Moda 219
DAFTAR PUSTAKA..... 222
BAB 8 ASPEK LINGKUNGAN DAN KEBERLANJUTAN DALAM PERENCANAAN TRANSPORTASI 225
8.1 Analisis Dampak Lingkungan (AMDAL) dan Inventarisasi Emisi Karbon 226
8.2 Kerangka Kerja Transportasi Berkelanjutan: Paradigma *Avoid-Shift-Improve* (ASI)..... 229
8.3 Energi Terbarukan dan Elektrifikasi Transportasi 230
8.4 Kebijakan Transportasi Hijau (Green Transportation Policy) 232
8.5 Matriks Sintesis Aspek Keberlanjutan Transportasi 233
DAFTAR PUSTAKA..... 234
BIODATA PENULIS..... 235

DAFTAR GAMBAR

‘Gambar 1. 1 Perbedaan orientasi mobilitas kendaraan dan aksesibilitas terhadap kegiatan. 5
Gambar 1. 2 Keterhubungan komponen sistem transportasi perkotaan dan pelabuhan. 9
Gambar 1. 3 Keseimbangan tujuan dalam perencanaan transportasi. 22
Gambar 1. 4 Siklus perencanaan transportasi yang berulang dan adaptif. 48
Gambar 1. 5 Paket penanganan koridor transportasi pada kota industri kepulauan. 54
Gambar 2. 1 Siklus Makro Perencanaan Transportasi (Meyer, 2016) 65
Gambar 2. 2 Proses Perencanaan Transportasi Sederhana 69
Gambar 2. 3 Alur Proses *Four Step Travel Demand Model* 71
Gambar 2. 4 Perjalanan meninggalkan (Pi) dan menuju zona (Aj) 72
Gambar 3. 1 Kerangka konseptual sistem transportasi 87
Gambar 3. 2 Model perencanaan transportasi empat tahap 88
Gambar 3. 3 Ilustrasi garis keinginan (*desire lines*) hasil tahap distribusi perjalanan antarzona 91
Gambar 3. 4 Kurva probabilitas model logit biner terhadap selisih utilitas antarmoda 92
Gambar 3. 5 Fungsi hambatan volume (BPR function) yang digunakan pada tahap pembebanan jaringan 94
Gambar 3. 6 Elemen dasar jaringan transportasi: simpul dan ruas 95
Gambar 3. 7 Hierarki fungsi jaringan jalan 98
Gambar 4. 1 Evolusi Sistem Transportasi Perkotaan 110
Gambar 4. 2 Perbandingan Tipologi Transit Massal 113
Gambar 4. 3 Rantai Perjalanan End-to-End 115
Gambar 4. 4 Model Integrasi Transportasi Publik 117
Gambar 4. 5 Model Konseptual TOD 119

Gambar 4. 6 Perbandingan Studi Kasus Integrasi Transportasi Publik.....122
Gambar 4. 8 Arsitektur Masa Depan Transportasi Publik.....125
Gambar 5. 1 Keterkaitan Komponen dalam Sistem Transportasi Barang *(Sumber: Data Primer, 2026)* 132
Gambar 5. 2 Pola Asal–Tujuan Pergerakan Barang Pada Suatu Wilayah *(Sumber: Data Primer, 2026)* 136
Gambar 5. 3 Hubungan Tata Guna Lahan, Simpul Kegiatan, dan Jaringan Distribusi Barang *(Sumber: Data Primer, 2026)* 140
Gambar 5. 4 Kerangka Pemilihan Jaringan Lintas Angkutan Barang *(Sumber: Data Primer, 2026)*.....143
Gambar 6. 1 Siklus umpan balik tata guna lahan dan transportasi. 153
Gambar 6. 2 Posisi sebaran perjalanan dalam model perencanaan transportasi empat tahap. 156
Gambar 6. 3 Kurva peluruhan jarak (distance decay) terhadap perilaku berjalan kaki, diplot dari data Tabel 6.3 175
Gambar 6. 4 Kendala geografi waktu Hägerstrand pada pola pergerakan mahasiswa pada pagi dan sore hari. 181
Gambar 7. 1 Kedudukan pemilihan moda dalam Model Empat Tahap perencanaan transportasi *(Sumber: Diadaptasi dari Ortúzar and Willumsen (2011) serta Tamin (2008))*.....198
Gambar 7. 2 Kurva probabilitas model logit biner terhadap selisih utilitas antarmoda (Sumber: Diadaptasi dari Ben-Akiva and Lerman (1985) serta Train (2009)) 210
Gambar 7. 3 Contoh struktur hierarki (*nesting structure*) model *nested logit* untuk pemilihan moda (Sumber: Diadaptasi dari Koppelman and Bhat (2006)) 213

Gambar 8. 1 Alur Penilaian Dampak Lingkungan (AMDAL & KLHS) dalam Proyek Infrastruktur Transportasi.....227
Gambar 8. 2 Perbandingan Intensitas Emisi Karbon (gCO_2/penumpang-km) Berdasarkan Moda Transportasi.....228
Gambar 8. 3 Skema Kerangka Kerja Transportasi Berkelanjutan Avoid - Shift - Improve (ASI).....230
Gambar 8. 4 Ekosistem Elektrifikasi Transportasi dan Integrasi Energi Terbarukan (Grid Decarbonization).....231

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Perbedaan orientasi indikator dasar dalam perencanaan transportasi..... 7
Tabel 1. 2 Dimensi tujuan perencanaan transportasi dan contoh indikator. 20
Tabel 1. 3 Skala spasial dan keluaran perencanaan..... 29
Tabel 3. 1 Tahapan perencanaan transportasi empat tahap..... 89
Tabel 3. 2. Karakteristik teknik jalan 97
Tabel 4. 1 Komparasi Matriks Teknis dan Operasional BRT, LRT, dan MRT..... 112
Tabel 4.2 Matriks Integrasi Sistem Perencanaan Transportasi Publik dan TOD. 123
Tabel 6. 1 Perbandingan bentuk kota berdasarkan karakteristik sebaran perjalanan dan implikasi moda..... 166
Tabel 6. 2 Perbandingan fokus analisis dan temuan utama dari dua pendekatan analisis yang diterapkan pada dataset mahasiswa PNUP..... 173
Tabel 6. 3 Distribusi proporsi mahasiswa berjalan kaki dan tidak berjalan kaki berdasarkan jarak dari kampus. 175
Tabel 6. 4 Hasil korelasi Spearman antara konsistensi rute dengan jarak, waktu tempuh, dan kenyamanan 178
Tabel 6. 5 Perbandingan rerata penilaian faktor pendorong dan penghambat berjalan kaki antara seluruh responden dan kelompok pejalan kaki..... 179
Tabel 6. 6 Perbandingan bentuk kota berdasarkan karakteristik sebaran perjalanan dan implikasi moda..... 189
Tabel 7. 1 Karakteristik umum moda transportasi darat sebagai alternatif pemilihan moda..... 201
Tabel 7. 2 Pengelompokan faktor-faktor yang memengaruhi pemilihan modal..... 205
Tabel 7. 3 Perbandingan ringkas model-model dalam keluarga logit 214

Tabel 8. 1 Komparasi Intensitas Emisi Karbon berdasarkan Moda Transportasi.....228
Tabel 8. 2 Matriks Penerapan Kebijakan Transportasi Berkelanjutan.....233

BAB 1
KONSEP DASAR DAN RUANG LINGKUP PERENCANAAN TRANSPORTASI

Oleh Yosef Adicita

1.1 Konsep Dasar Transportasi

Transportasi hadir karena manusia, barang, dan jasa berada pada lokasi yang berbeda dengan tempat aktivitas atau kebutuhan berlangsung. Perjalanan menuju tempat kerja, sekolah, pasar, pelabuhan, kawasan industri, dan fasilitas kesehatan merupakan konsekuensi dari susunan ruang dan pembagian fungsi wilayah. Karena itu, transportasi tidak dapat dipahami hanya sebagai kendaraan dan jalan. Transportasi adalah sistem yang menghubungkan lokasi, waktu, pelaku, kegiatan, jaringan, layanan, aturan, pembiayaan, teknologi, dan dampak yang ditimbulkannya. Dalam pengembangan infrastruktur, keputusan transportasi mempunyai umur layanan panjang dan membentuk arah perkembangan wilayah. Jalan baru dapat mempercepat hubungan antarkawasan, tetapi juga dapat memicu perubahan guna lahan, perjalanan yang lebih jauh, ketergantungan pada kendaraan pribadi, serta permintaan

lalu lintas tambahan. Studi mengenai Jakarta telah lama menunjukkan hubungan dua arah antara penyediaan infrastruktur transportasi, perkembangan lahan, dan penyebaran perkotaan (Susantono, 1998). Temuan mengenai permintaan terinduksi juga memperlihatkan bahwa penambahan kapasitas jalan dapat diikuti pertumbuhan perjalanan sehingga manfaat pengurangan kemacetan tidak selalu bertahan lama (Noland, 2001). Perencanaan transportasi diperlukan agar pembangunan infrastruktur tidak berhenti pada pertanyaan "berapa besar kapasitas yang harus dibangun", tetapi dilanjutkan dengan pertanyaan yang lebih mendasar: kebutuhan siapa yang dilayani, aktivitas apa yang dibuat lebih mudah dicapai, moda apa yang diprioritaskan, dampak apa yang dipindahkan kepada kelompok lain, dan apakah keputusan tersebut tetap layak dalam kondisi masa depan yang tidak pasti. Dengan sudut pandang ini, perencanaan transportasi merupakan proses publik dan teknis untuk memilih arah sistem transportasi, bukan sekadar kegiatan menghitung arus lalu lintas.

1.2 Pengertian Perencanaan Transportasi

Perencanaan transportasi dapat didefinisikan sebagai proses sistematis untuk mengenali masalah dan kebutuhan pergerakan, merumuskan tujuan, membangun dan menilai alternatif, memilih paket kebijakan atau investasi, serta menyiapkan implementasi dan evaluasinya. Proses tersebut menggunakan bukti mengenai kondisi wilayah, perilaku perjalanan, kinerja jaringan, tata guna lahan, biaya, lingkungan, keselamatan, dan distribusi manfaat. Hasilnya dapat berupa kebijakan, program, rencana jaringan, standar

pelayanan, pengelolaan permintaan, maupun proyek fisik. Definisi tersebut menegaskan empat ciri. Pertama, perencanaan berorientasi tujuan. Suatu solusi tidak disebut baik hanya karena meningkatkan kecepatan, tetapi karena membantu mencapai tujuan yang telah disepakati. Kedua, perencanaan berorientasi sistem. Perubahan satu ruas, simpul, tarif, atau pola guna lahan dapat memengaruhi bagian lain. Ketiga, perencanaan bersifat pilihan. Sumber daya terbatas mengharuskan perencana membandingkan alternatif dan pertukaran kepentingan. Keempat, perencanaan bersifat berulang. Kinerja perlu dipantau, asumsi diperbarui, dan tindakan disesuaikan ketika kondisi berubah.

1.2.1 Perbedaan transportasi, lalu lintas, dan mobilitas

Lalu lintas merujuk pada gerakan kendaraan atau pengguna pada prasarana tertentu dan lazim diukur dengan volume, kecepatan, kepadatan, tundaan, atau derajat kejenuhan. Transportasi mempunyai cakupan lebih luas karena mencakup perjalanan manusia dan barang, jaringan, moda, pelayanan, institusi, biaya, serta dampak. Mobilitas menunjukkan kemampuan atau tingkat perpindahan, misalnya jumlah perjalanan dan jarak yang ditempuh. Ketiga istilah ini berkaitan, tetapi bukan sinonim. Perbedaan tersebut penting dalam penetapan indikator. Jalan yang membuat kendaraan bergerak lebih cepat mungkin memperbaiki kondisi lalu lintas dalam jangka pendek, tetapi belum tentu meningkatkan akses masyarakat tanpa kendaraan. Sebaliknya, penempatan sekolah dan layanan dasar lebih dekat dengan permukiman dapat meningkatkan akses meskipun total jarak perjalanan menurun. Paradigma mobilitas berkelanjutan karena itu menantang anggapan

bahwa lebih banyak dan lebih cepat perjalanan selalu merupakan hasil terbaik (Banister, 2008).

1.2.2 Aksesibilitas sebagai orientasi hasil

Aksesibilitas adalah kemudahan seseorang atau barang mencapai kesempatan, kegiatan, layanan, dan tujuan yang dibutuhkan. Konsep ini menggabungkan unsur tata guna lahan, sistem transportasi, waktu, dan karakteristik individu. Geurs dan van Wee (2004) membedakan ukuran aksesibilitas berbasis infrastruktur, berbasis lokasi, berbasis individu, dan berbasis utilitas (Geurs and van Wee, 2004). Kerangka tersebut menunjukkan bahwa kecepatan jaringan hanyalah satu bagian dari kemampuan mencapai kesempatan. Perencanaan berbasis aksesibilitas menggeser fokus dari "berapa banyak kendaraan dapat lewat" menjadi "berapa banyak kesempatan dapat dicapai, oleh siapa, dengan moda apa, pada waktu dan biaya berapa". Pergeseran ini relevan bagi kawasan perkotaan, wilayah kepulauan, daerah perdesaan, dan koridor logistik karena setiap konteks memiliki hambatan akses yang berbeda. Instrumen aksesibilitas juga dapat membantu menghubungkan keputusan tata guna lahan dengan keputusan transportasi, meskipun penggunaannya harus mempertimbangkan ketersediaan data dan kemudahan komunikasi kepada pengambil Keputusan (Papa *et al.*, 2016). Perbandingan orientasi mobilitas kendaraan dan aksesibilitas terhadap kegiatan divisualisasikan pada Gambar 1.1.



‘Gambar 1. 1 Perbedaan orientasi mobilitas kendaraan dan aksesibilitas terhadap kegiatan.

Sumber: Ilustrasi orisinal penulis dengan bantuan AI generatif (2026).

1.2.3 Perencanaan transportasi sebagai proses teknis, sosial, dan etis

Perencanaan transportasi mempunyai dimensi teknis karena menggunakan data, teori, model, standar, dan metode evaluasi. Dimensi teknis diperlukan untuk menjawab pertanyaan mengenai kapasitas, pola perjalanan, biaya, risiko, serta konsekuensi alternatif. Namun, hasil analisis tidak dapat berdiri sendiri. Pilihan variabel, batas wilayah, tahun dasar, nilai waktu, tingkat diskonto, maupun kelompok yang dijadikan prioritas selalu mengandung pertimbangan tentang apa yang dianggap penting. Oleh sebab itu, transparansi asumsi merupakan bagian dari integritas perencanaan, bukan sekadar lampiran metodologis. Perencanaan juga merupakan

proses sosial karena kebutuhan perjalanan dibentuk oleh kehidupan masyarakat. Pekerja dengan jadwal bergilir, pelajar, pengasuh keluarga, pelaku usaha kecil, pengemudi angkutan, penyandang disabilitas, dan operator logistik mengalami sistem yang sama dengan cara berbeda. Data agregat dapat menunjukkan waktu tempuh rata-rata yang membaik, tetapi menyembunyikan kelompok yang kehilangan layanan atau harus membayar lebih mahal. Jones dan Lucas (2012) mengingatkan bahwa keputusan transportasi menghasilkan dampak sosial melalui aksesibilitas, kesehatan, beban keuangan, hubungan komunitas, serta distribusi dampak menurut ruang dan kelompok penduduk. Dimensi etis muncul ketika manfaat dan beban harus dibagikan (Jones and Lucas, 2012).

Pembangunan jalan dapat menguntungkan pengguna regional, tetapi membebani permukiman di koridor dengan kebisingan, polusi, risiko kecelakaan, atau pengadaan lahan. Jaringan angkutan umum yang diarahkan hanya pada koridor paling ramai dapat menaikkan jumlah penumpang, tetapi mengurangi cakupan bagi wilayah berpermintaan rendah. Karena tidak semua tujuan dapat dimaksimalkan sekaligus, perencana perlu menyatakan pertukaran tujuan secara terbuka dan menerangkan alasan suatu kelompok atau fungsi memperoleh prioritas. Kerangka keadilan transportasi menempatkan aksesibilitas sebagai kemampuan dasar untuk berpartisipasi dalam kegiatan sosial dan ekonomi. Pereira *et al*. (2017) menekankan perlunya standar minimum akses, perlindungan hak, prioritas bagi kelompok yang kurang beruntung, pengurangan ketimpangan kesempatan, dan mitigasi eksternalitas (Pereira, Schwanen and Banister, 2017). Implikasi praktisnya ialah evaluasi tidak berhenti pada

total manfaat, tetapi memeriksa siapa yang menerima manfaat, siapa yang menanggung beban, dan apakah kelompok yang sejak awal memiliki akses rendah mengalami perbaikan yang berarti. Dengan demikian, kualitas perencanaan tidak hanya ditentukan oleh kecanggihan model. Rencana yang baik harus dapat ditelusuri logikanya, dipahami oleh pemangku kepentingan, diuji terhadap beberapa tujuan, dilaksanakan oleh institusi yang ada, dan dikoreksi ketika hasil aktual menyimpang. Keterampilan utama perencana adalah menghubungkan bukti dengan keputusan sambil menjaga ketelitian, keterbukaan, serta kesadaran terhadap nilai yang terkandung dalam setiap pilihan.

Tabel 1. 1 Perbedaan orientasi indikator dasar dalam perencanaan transportasi.

Konsep	Pertanyaan utama	Contoh indikator	Risiko jika dipakai sendiri
Lalu lintas	Bagaimana arus bergerak pada fasilitas?	Volume, kecepatan, kepadatan, tundaan, derajat kejenuhan	Mengutamakan kendaraan dan mengabaikan tujuan perjalanan.
Mobilitas	Seberapa mudah atau banyak perpindahan terjadi?	Jumlah perjalanan, kilometer perjalanan, waktu tempuh	Menganggap perjalanan yang lebih banyak sebagai keberhasilan.

Konsep	Pertanyaan utama	Contoh indikator	Risiko jika dipakai sendiri
Konektivitas	Seberapa baik simpul dan ruas terhubung?	Kerapatan jaringan, jumlah sambungan, directness	Tidak menjamin layanan atau kesempatan dapat dijangkau.
Aksesibilitas	Seberapa mudah peluang dan layanan dicapai?	Pekerjaan/layanan dalam 30–60 menit, generalized cost	Hasil sensitif terhadap ambang waktu, data, dan kelompok pengguna.

Sumber: Diolah penulis berdasarkan Geurs dan van Wee (2004) serta Banister (2008).

1.3 Sistem Transportasi sebagai Kesatuan

Sistem transportasi tersusun atas permintaan, jaringan, simpul, sarana, pelayanan, operasi, pengguna, institusi, pembiayaan, teknologi, dan lingkungan. Permintaan muncul dari kebutuhan untuk beraktivitas dan dari pola produksi–konsumsi. Jaringan menyediakan hubungan ruang; simpul memfasilitasi perpindahan, pertukaran, atau alih moda; sarana membawa penumpang dan barang; sedangkan aturan dan institusi menentukan siapa yang merencanakan, membiayai, mengoperasikan, dan mengawasi sistem. Setiap komponen mempunyai fungsi yang berbeda, tetapi kinerjanya bergantung pada hubungan dengan komponen lain. Jaringan tanpa layanan yang andal tidak otomatis menghasilkan akses yang baik. Layanan yang baik juga tidak akan efektif apabila

halte, stasiun, pelabuhan, atau terminal sulit dijangkau. Aturan operasi, pembiayaan, dan kapasitas kelembagaan menentukan apakah fasilitas dapat dipertahankan sepanjang umur layanannya. Hubungan antarkomponen tersebut dirangkum secara visual pada Gambar 1.2.



Gambar 1. 2 Keterhubungan komponen sistem transportasi perkotaan dan pelabuhan.

Sumber: Ilustrasi orisinal penulis dengan bantuan AI generatif (2026).

1.3.1 Permintaan perjalanan dan aktivitas

Permintaan perjalanan sering disebut sebagai permintaan turunan karena perjalanan umumnya dilakukan untuk mencapai kegiatan lain. Namun, pandangan ini perlu digunakan secara hati-hati. Pengalaman perjalanan, kegiatan selama perjalanan, dan nilai sosial perjalanan dapat membuat perjalanan tidak semata-mata menjadi biaya yang harus

diminimalkan. Yang lebih penting bagi perencanaan ialah memahami siapa yang melakukan perjalanan, untuk tujuan apa, kapan, dari dan menuju lokasi mana, dengan keterbatasan apa, serta bagaimana pilihan berubah ketika biaya, waktu, pelayanan, atau tata guna lahan berubah. Permintaan tidak bersifat tetap dan bebas dari kebijakan. Pembangunan jalan, perubahan tarif, penyediaan parkir, penambahan layanan angkutan umum, dan pembangunan kawasan baru dapat mengubah frekuensi, tujuan, moda, rute, dan waktu perjalanan. Bukti tentang permintaan terinduksi memperingatkan bahwa perencana tidak boleh memperlakukan volume masa depan sebagai besaran yang sepenuhnya berada di luar pengaruh rencana (Noland, 2001). Dengan memahami respons tersebut, perencana dapat menilai apakah suatu intervensi benar-benar memenuhi kebutuhan atau hanya memindahkan perjalanan dalam ruang dan waktu.

1.3.2 Penawaran: jaringan, sarana, dan layanan

Penawaran transportasi mencakup kapasitas dan kualitas yang disediakan oleh infrastruktur serta layanan. Pada jalan, penawaran dipengaruhi oleh geometri, pengendalian simpang, kondisi perkerasan, hambatan samping, dan manajemen lalu lintas. Pada angkutan umum, kapasitas fisik harus dibaca bersama frekuensi, keandalan, jam layanan, keterjangkauan tarif, kemudahan berpindah, informasi, dan akses menuju halte atau stasiun. Karena itu, keberadaan infrastruktur belum otomatis berarti tersedianya akses yang efektif. Perencanaan jaringan angkutan umum selalu berhadapan dengan pertukaran tujuan, misalnya antara cakupan wilayah dan frekuensi, kecepatan dan jumlah

pemberhentian, atau efisiensi operasi dan pelayanan kelompok dengan permintaan rendah. Walker (2008) menekankan pentingnya tujuan yang jelas agar desain jaringan dapat dinilai terhadap manfaat publik yang memang ingin dicapai (Walker, 2008). Kajian mutakhir juga menunjukkan bahwa praktik perencanaan perlu menimbang efisiensi, biaya, aksesibilitas, kebutuhan kelompok rentan, dan tujuan lingkungan secara Bersama (Hrelja, Levin and Camporeale, 2024). Prinsip jaringan angkutan umum berkembang dari pengaturan rute secara terpisah menuju pandangan jaringan yang terintegrasi, mudah dipahami, mempunyai koneksi yang andal, dan didukung struktur layanan yang konsisten. Tinjauan McLeod *et al*. (2017) menunjukkan bahwa praktik perencanaan angkutan umum menggabungkan prinsip jaringan dengan kebutuhan transisi menuju mobilitas berkelanjutan (McLeod, Scheurer and Curtis, 2017). Dalam Bab 1, gagasan ini digunakan untuk menegaskan sifat sistemik transportasi; pembahasan rinci transportasi publik dan integrasi moda disediakan pada bab tersendiri.

1.3.3 Umpan balik dalam sistem

Hubungan antara permintaan dan penawaran membentuk umpan balik. Ketika kapasitas meningkat, waktu tempuh dapat menurun dan lokasi tertentu menjadi lebih menarik. Perubahan tersebut dapat memengaruhi pilihan rute, moda, tujuan, lokasi tempat tinggal, serta investasi lahan. Dalam jangka panjang, pola perjalanan baru dapat kembali meningkatkan beban jaringan. Demikian pula, angkutan umum berkualitas dapat memperluas akses dan mendorong pembangunan di sekitar koridor, tetapi hasilnya bergantung

pada pengaturan ruang, kualitas lingkungan berjalan kaki, keterjangkauan hunian, dan koordinasi institusi. Umpan balik juga dapat bersifat memperkuat ketika peningkatan akses menarik kegiatan baru dan kegiatan baru kembali menaikkan permintaan perjalanan. Sebaliknya, penurunan kualitas layanan dapat mengurangi jumlah pengguna, menekan pendapatan operasi, dan selanjutnya memperburuk layanan. Karena itu, evaluasi perlu memeriksa perubahan perilaku dan tata guna lahan, bukan hanya kondisi jaringan segera setelah proyek dibuka.

1.3.4 Batas sistem dan daerah pengaruh

Batas sistem menentukan apa yang dihitung sebagai bagian masalah dan siapa yang dianggap terdampak. Batas yang terlalu sempit dapat menghasilkan solusi yang tampak efektif di lokasi proyek tetapi memindahkan kemacetan, risiko, atau emisi ke ruas lain. Sebaliknya, batas yang terlalu luas dapat membuat analisis tidak terkelola dan kehilangan detail operasional. Batas yang tepat mengikuti mekanisme dampak: wilayah asal–tujuan utama, jaringan yang menerima pengalihan, lokasi kegiatan yang mungkin berubah, kelompok pengguna, serta periode ketika dampak muncul. Batas administratif sering tidak sama dengan wilayah fungsional. Perjalanan komuter, distribusi barang, akses pelabuhan, dan perjalanan menuju layanan kesehatan dapat melintasi beberapa kota atau kabupaten. Dalam kondisi tersebut, analisis perlu menggunakan daerah tangkapan perjalanan dan jaringan yang relevan, sementara pengambilan keputusan memerlukan kerja sama antarlembaga. Ketidaksesuaian antara wilayah masalah dan wilayah kewenangan merupakan salah satu penyebab rencana terfragmentasi. Dimensi waktu

juga merupakan bagian batas sistem. Dampak langsung pada lalu lintas dapat terlihat dalam hitungan hari, perubahan pilihan moda dalam bulan atau tahun, dan perubahan lokasi kegiatan dalam periode lebih panjang. Penilaian yang hanya menggunakan tahun pembukaan proyek berisiko mengabaikan biaya pemeliharaan, pertumbuhan permintaan, penurunan kualitas layanan, atau perubahan penggunaan lahan. Analisis siklus hidup keputusan membantu melihat apakah manfaat dapat dipertahankan setelah fase konstruksi.

1.3.5 Kinerja sistem dan kualitas perjalanan

Kinerja sistem tidak dapat diwakili oleh satu indikator. Kecepatan rata-rata, misalnya, tidak menunjukkan variasi waktu tempuh, keterjangkauan, keselamatan, kenyamanan, ataupun kemudahan berpindah. Bagi kegiatan produksi dan logistik, keandalan kedatangan sering lebih penting daripada pengurangan beberapa menit waktu rata-rata. Bagi pengguna angkutan umum, kepastian jadwal dan waktu tunggu dapat lebih menentukan daripada kecepatan kendaraan pada segmen utama. Kualitas perjalanan harus dibaca dari pintu ke pintu. Perjalanan angkutan umum mencakup akses menuju halte, menunggu, naik kendaraan, berpindah, dan berjalan ke tujuan. Hambatan pada salah satu tahap dapat menggagalkan keseluruhan perjalanan. Prinsip yang sama berlaku bagi barang: proses pengambilan, konsolidasi, pemeriksaan, antrean terminal, bongkar muat, dan perjalanan kosong memengaruhi kinerja logistik.

Pendekatan sistem mencegah optimasi pada satu segmen yang justru memperburuk rangkaian perjalanan. Kapasitas efektif juga dipengaruhi oleh cara fasilitas dioperasikan. Ruas jalan dengan geometri sama dapat

memiliki kinerja berbeda karena pengaturan simpang, parkir tepi jalan, akses langsung, perilaku menyeberang, komposisi kendaraan, dan penanganan insiden. Infrastruktur baru bukan satu-satunya cara meningkatkan kinerja; operasi, pemeliharaan, informasi, penegakan, desain akses, dan koordinasi jadwal dapat menghasilkan perbaikan besar dengan kebutuhan ruang lebih kecil. Konsep sistem akhirnya mengarahkan perencana untuk mencari kombinasi intervensi. Paket dapat menyatukan pembangunan terbatas, perbaikan layanan, pengelolaan permintaan, kebijakan tata guna lahan, dan perubahan kelembagaan. Keunggulan paket bukan karena selalu lebih kompleks, melainkan karena penyebab masalah transportasi jarang berada pada satu komponen. Tantangannya adalah memastikan setiap instrumen saling mendukung, mempunyai penanggung jawab, dan dapat diterapkan pada urutan yang realistis.

1.4 Hubungan Transportasi, Tata Guna Lahan, dan Infrastruktur

Tata guna lahan menentukan lokasi dan intensitas kegiatan, sedangkan sistem transportasi menentukan biaya dan kemudahan hubungan antarlokasi. Rumah, pekerjaan, pendidikan, perdagangan, industri, pelabuhan, dan ruang publik membentuk pola asal–tujuan. Sebaliknya, tingkat akses yang dihasilkan jaringan transportasi memengaruhi nilai dan daya tarik lokasi. Hubungan ini bersifat dua arah dan berlangsung pada skala waktu berbeda. Karakter lingkungan terbangun termasuk kepadatan, keragaman guna lahan, dan rancangan jaringan berkaitan dengan perilaku perjalanan. Cervero dan Kockelman (1997) memperkenalkan tiga

dimensi yang banyak digunakan, yaitu density, diversity, dan design (Cervero and Kockelman, 1997). Hubungan tersebut bukan berarti satu bentuk kota selalu menghasilkan perilaku yang sama; pendapatan, preferensi, kualitas pelayanan, harga, dan konteks kelembagaan tetap berpengaruh. Namun, bukti ini cukup untuk menolak pemisahan mutlak antara perencanaan transportasi dan perencanaan ruang. Integrasi tidak hanya berarti menempatkan pembangunan dekat koridor. Integrasi memerlukan kesesuaian antara kapasitas jaringan, intensitas kegiatan, jaringan pejalan kaki dan pesepeda, fungsi simpul, layanan pengumpan, parkir, pengelolaan permintaan, serta tahapan pembangunan. Duman *et al*. (2022) menunjukkan bahwa integrasi sering terhambat oleh evolusi kelembagaan dan pemisahan formal antara bidang tata guna lahan dan transportasi (Duman *et al.*, 2022). Karena itu, integrasi harus diterjemahkan menjadi mekanisme koordinasi, data bersama, indikator bersama, dan keputusan lintas sektor. Dalam konteks metropolitan Jakarta, pembangunan infrastruktur dan perubahan lahan di pinggiran membentuk pola perjalanan regional yang semakin kompleks (Susantono, 1998). Pelajaran konseptualnya berlaku luas di Indonesia: proyek tidak dapat dinilai hanya dari tapak dan koridornya. Daerah pengaruh, perubahan akses, respons pengembang, perpindahan aktivitas, dan dampak pada jaringan lokal harus dimasukkan ke dalam analisis.

1.4.1 Aksesibilitas sebagai penghubung transportasi dan ruang

Aksesibilitas menyediakan bahasa bersama antara perencana transportasi dan perencana tata ruang. Sistem transportasi menentukan waktu, biaya, kenyamanan, dan reliabilitas untuk mencapai suatu lokasi; tata guna lahan menentukan jumlah serta jenis kesempatan yang tersedia di lokasi tersebut. Hasil penelitian Hansen (1959) menunjukkan sejak awal bahwa aksesibilitas berkaitan dengan perkembangan guna lahan (Hansen, 1959). Kerangka modern kemudian memperluas konsep ini dengan memasukkan batasan waktu dan karakteristik individu (Geurs and van Wee, 2004). Dua kawasan dapat memiliki kecepatan jaringan serupa tetapi tingkat akses berbeda karena distribusi pekerjaan, sekolah, pasar, dan layanan kesehatan tidak sama. Sebaliknya, kawasan padat dengan kecepatan lalu lintas lebih rendah dapat menyediakan akses tinggi apabila banyak kesempatan berada pada jarak dekat dan tersedia beberapa pilihan moda. Perbedaan ini menjelaskan mengapa indikator berbasis kecepatan perlu dilengkapi indikator berbasis kesempatan. Aksesibilitas dapat ditingkatkan dari sisi transportasi maupun sisi tata guna lahan. Dari sisi transportasi, tindakan dapat memperpendek waktu, menurunkan biaya, meningkatkan reliabilitas, atau memperbaiki akses universal. Dari sisi tata guna lahan, tindakan dapat menempatkan layanan lebih dekat, mencampurkan fungsi yang kompatibel, mengarahkan pertumbuhan ke koridor berkapasitas, atau mencegah lokasi kegiatan yang menghasilkan konflik. Kerangka sustainable accessibility mempertemukan kedua sisi dalam satu proses penilaian (Bertolini, le Clercq and Kapoen, 2005).

1.4.2 Bentuk kawasan dan perilaku perjalanan

Kepadatan, keragaman fungsi, dan desain jaringan sering digunakan untuk menjelaskan hubungan lingkungan terbangun dengan perjalanan (Cervero and Kockelman, 1997). Cervero dan Kockelman (1997) menunjukkan bahwa ketiga dimensi tersebut berkaitan dengan pilihan perjalanan, sedangkan meta-analisis Ewing dan Cervero (2010) menegaskan bahwa akses tujuan dan kedekatan terhadap angkutan umum juga mempunyai peran. Hubungan ini bersifat kontekstual dan tidak boleh ditafsirkan sebagai sebab tunggal karena harga, pendapatan, preferensi, dan kualitas layanan turut menentukan (Ewing and Cervero, 2010). Kepadatan dapat mendukung angkutan umum dan perjalanan aktif karena lebih banyak kegiatan berada dalam jangkauan yang relatif dekat. Namun, kepadatan tanpa ruang pejalan kaki yang aman, layanan memadai, dan pengelolaan parkir dapat menghasilkan tekanan lalu lintas. Keragaman fungsi dapat mengurangi jarak beberapa perjalanan, tetapi dapat pula menciptakan konflik apabila akses barang, hunian, sekolah, dan kegiatan komersial tidak dikelola. Desain jaringan yang terhubung memperluas pilihan rute, tetapi harus diseimbangkan dengan keselamatan serta hierarki fungsi jalan. Implikasi bagi pengembangan infrastruktur adalah perlunya menilai konsistensi antara kapasitas, fungsi koridor, dan pola pembangunan. Infrastruktur berkapasitas tinggi yang dikelilingi penggunaan lahan rendah dapat kurang produktif. Sebaliknya, intensifikasi kegiatan tanpa dukungan jaringan, layanan, dan ruang publik dapat menurunkan kualitas akses. Sinkronisasi waktu pembangunan sama pentingnya dengan sinkronisasi lokasi: layanan pengumpan,

jalur pejalan kaki, dan pengaturan akses perlu tersedia ketika kegiatan mulai beroperasi.

1.4.3 Efek jangka panjang, ketergantungan lintasan, dan lock-in

Infrastruktur transportasi mempunyai umur panjang dan biaya tertanam besar. Setelah jaringan, pola akses, dan investasi lahan terbentuk, perubahan arah menjadi mahal. Keputusan hari ini dapat mengunci pola perjalanan, teknologi, kebutuhan energi, dan struktur biaya pada masa depan. Oleh sebab itu, evaluasi harus mempertimbangkan bukan hanya manfaat pembukaan, tetapi juga fleksibilitas aset ketika permintaan, kebijakan iklim, atau teknologi berubah. Efek penguncian terlihat pada hubungan kapasitas jalan dan pertumbuhan perjalanan. Noland (2001) menemukan hubungan antara peningkatan kapasitas dan perjalanan kendaraan, sementara Duranton dan Turner (2011) menunjukkan bahwa kilometer perjalanan kendaraan dapat meningkat seiring penambahan kilometer lajur (Duranton and Turner, 2011). Temuan tersebut tidak berarti pembangunan jalan selalu keliru; maknanya ialah penambahan kapasitas tidak boleh dijanjikan sebagai penyelesaian kemacetan permanen tanpa pengelolaan permintaan, tata guna lahan, dan evaluasi dampak jaringan. Perencana perlu membedakan kapasitas yang diperlukan untuk akses dasar, keselamatan, konektivitas baru, dan ketahanan dari kapasitas yang terutama mengejar kelancaran jangka pendek. Pembedaan ini membantu menentukan apakah intervensi harus berupa aset baru, peningkatan aset, perubahan operasi, atau kombinasi kebijakan. Pertanyaan kuncinya bukan sekadar “apakah volume tinggi”, melainkan

“fungsi publik apa yang gagal dan instrumen apa yang paling proporsional untuk memperbaikinya”.

1.5 Tujuan dan Prinsip Perencanaan Transportasi

Tujuan perencanaan harus dirumuskan sebelum alternatif dipilih. Jika tujuan tidak jelas, metode analisis mudah berubah menjadi tujuan terselubung; misalnya, karena data volume kendaraan tersedia, keberhasilan kemudian dinilai hanya dari kelancaran kendaraan. Tujuan yang baik menyatakan kondisi yang hendak dicapai, kelompok yang dilayani, wilayah, horizon waktu, dan indikator yang dapat diuji. Tujuan tersebut perlu diterjemahkan menjadi indikator yang dapat diukur dan dipahami oleh pengambil keputusan. Indikator harus menunjukkan kondisi awal, arah perubahan yang diinginkan, serta kelompok yang menerima manfaat atau menanggung beban. Penetapan target membantu membedakan aspirasi umum dari hasil yang benar-benar ingin dicapai. Tujuan juga perlu diuji konsistensinya agar perbaikan pada satu dimensi tidak menimbulkan kemunduran yang tidak dapat diterima pada dimensi lain. Keseimbangan antartujuan tersebut digambarkan pada Gambar 1.3.

Tabel 1. 2 Dimensi tujuan perencanaan transportasi dan contoh indikator.

Dimensi tujuan	Makna dalam perencanaan	Contoh indikator
Aksesibilitas dan konektivitas	Memperluas kemampuan mencapai pekerjaan, layanan, pasar, dan simpul logistik.	Peluang dalam ambang waktu; keterhubungan antarmoda; waktu ke layanan dasar.
Efisiensi	Menggunakan kapasitas, ruang, energi, dana, dan waktu secara produktif.	Biaya perjalanan; keandalan; biaya siklus hidup; tingkat pemanfaatan.
Keselamatan	Mengurangi risiko kematian, cedera, dan kerusakan.	Fatalitas/100.000 penduduk; konflik; tingkat kecelakaan; persepsi aman.
Keberlanjutan lingkungan	Mengurangi emisi, polusi, konsumsi energi/lahan, kebisingan, dan fragmentasi habitat.	Emisi GRK; kualitas udara; energi per penumpang-km; luas lahan terdampak.

Dimensi tujuan	Makna dalam perencanaan	Contoh indikator
Keadilan dan inklusi	Mendistribusikan manfaat, biaya, dan akses secara adil, terutama bagi kelompok rentan.	Kesenjangan akses; keterjangkauan; akses bagi lansia/disabilitas; beban penggusuran.
Ketahanan	Menjaga fungsi penting ketika terjadi gangguan dan memulihkan layanan secara cepat.	Redundansi; waktu pemulihan; populasi yang tetap terlayani; kerentanan aset.
Kelayakan implementasi	Memastikan rencana dapat didanai, dioperasikan, diterima, dan dikelola.	Kebutuhan fiskal; kesiapan lahan; kapasitas lembaga; penerimaan pemangku kepentingan.

Sumber: Diolah penulis berdasarkan Banister (2008), Jones dan Lucas (2012), serta Pereira et al. (2017).



Gambar 1. 3 Keseimbangan tujuan dalam perencanaan transportasi.

Sumber: Ilustrasi orisinal penulis dengan bantuan AI generatif (2026).

1.5.1 Efektivitas, efisiensi, dan kelayakan

Efektivitas menilai sejauh mana tindakan mencapai tujuan, sedangkan efisiensi membandingkan manfaat atau keluaran dengan sumber daya yang digunakan. Alternatif yang efektif belum tentu efisien, dan alternatif yang efisien secara teknis belum tentu layak secara kelembagaan atau sosial. Penilaian perlu mencakup biaya modal, operasi, pemeliharaan, pembaruan aset, kebutuhan sumber daya manusia, risiko pembebasan lahan, serta kemampuan pendanaan jangka panjang. Alternatif yang efektif belum tentu efisien apabila manfaat yang sama dapat dicapai dengan sumber daya lebih kecil. Sebaliknya, pilihan berbiaya rendah tidak dapat disebut efisien apabila gagal memenuhi tujuan utama. Perbandingan alternatif harus menggunakan kondisi

dasar, periode analisis, dan satuan keluaran yang sama. Risiko keterlambatan, ketidakpastian pendanaan, dan kemampuan pengadaan dapat mengubah kelayakan meskipun rancangan teknis telah memenuhi standar. Kelayakan sosial dinilai dari penerimaan, distribusi dampak, dan kemampuan kelompok terdampak menyesuaikan diri.

1.5.2 Keselamatan dan kesehatan

Keselamatan harus ditempatkan sebagai batas dasar, bukan tambahan setelah rancangan selesai. Penilaian mencakup pengguna kendaraan, penumpang, pejalan kaki, pesepeda, pekerja operasi, dan masyarakat sekitar. Kesehatan juga berhubungan dengan paparan polusi, kebisingan, aktivitas fisik, stres perjalanan, dan akses menuju layanan. Infrastruktur yang cepat tetapi menciptakan hambatan menyeberang atau paparan tinggi tidak dapat disebut optimal hanya berdasarkan waktu tempuh. Pendekatan sistem keselamatan mengakui bahwa manusia dapat melakukan kesalahan sehingga jaringan harus dirancang untuk mencegah kesalahan tersebut berakibat fatal. Kecepatan, konflik pergerakan, jarak pandang, penerangan, dan kualitas penyeberangan perlu diperiksa sejak tahap perencanaan. Aspek kesehatan mencakup pula paparan polusi dan kebisingan serta kesempatan untuk berjalan kaki dan bersepeda secara aman. Indikator keselamatan karena itu perlu memadukan data kecelakaan, konflik, paparan risiko, dan persepsi aman dari kelompok pengguna berbeda.

1.5.3 Keberlanjutan

Keberlanjutan mengharuskan perencanaan menyeimbangkan tujuan ekonomi, sosial, dan lingkungan dalam jangka panjang. Paradigma mobilitas berkelanjutan menekankan pengurangan kebutuhan perjalanan bermotor, pergeseran ke moda yang lebih berkelanjutan, pengurangan jarak melalui kebijakan ruang, dan peningkatan efisiensi teknologi, dengan dukungan masyarakat sebagai syarat implementasi (Banister, 2008). Pendekatan *avoid–shift–improve* membantu mengurutkan tindakan: menghindari perjalanan bermotor yang tidak perlu, mengalihkan perjalanan ke moda yang lebih efisien, dan meningkatkan teknologi serta operasi. Penilaian keberlanjutan perlu mencakup emisi selama operasi, kebutuhan energi, penggunaan lahan, material, dan dampak pembangunan infrastruktur. Strategi pengurangan emisi tidak cukup hanya mengganti teknologi kendaraan apabila jarak perjalanan dan ketergantungan pada kendaraan pribadi terus meningkat. Kombinasi tata guna lahan yang lebih dekat, perjalanan aktif, angkutan umum, dan kendaraan yang lebih bersih dapat memberikan hasil yang lebih menyeluruh. Kebijakan juga harus mempertimbangkan keterjangkauan agar transisi menuju sistem rendah emisi tidak membebani kelompok berpendapatan rendah. Dengan cara ini, keberlanjutan diperlakukan sebagai arah sistem jangka panjang, bukan sekadar atribut satu proyek.

1.5.4 Keadilan dan inklusi

Dampak transportasi tidak tersebar merata. Kelompok berpendapatan rendah, perempuan, anak, lansia, penyandang disabilitas, pekerja dengan jam tidak tetap, dan warga di lokasi perifer dapat mengalami hambatan berbeda. Keadilan horizontal berhubungan dengan perlakuan setara untuk kondisi setara, sedangkan keadilan vertikal memberi perhatian lebih kepada kelompok dengan kebutuhan atau keterbatasan lebih besar. Jones dan Lucas (2012) menegaskan bahwa keputusan transportasi dapat menghasilkan konsekuensi sosial melalui perubahan akses, keterjangkauan, keselamatan, dan paparan dampak. Analisis keadilan tidak cukup melaporkan rata-rata wilayah (Jones and Lucas, 2012). Perencana perlu memisahkan hasil menurut lokasi, kelompok, moda, waktu, dan kemampuan. Hrelja *et al*. (2024) menemukan bahwa banyak penelitian masih menilai dampak sosial setelah sistem beroperasi, sementara penilaian ex ante dan cara menyeimbangkan tujuan sosial dengan efisiensi serta lingkungan masih terbatas. Implikasinya, distribusi manfaat dan beban harus diuji sejak perumusan alternatif (Hrelja, Levin and Camporeale, 2024).

1.5.5 Ketahanan dan ketidakpastian

Banjir, cuaca ekstrem, kecelakaan besar, gangguan energi, perubahan teknologi, pandemi, dan perubahan ekonomi dapat mengganggu jaringan atau mengubah permintaan. Perencanaan yang tangguh mengidentifikasi fungsi kritis, titik rentan, pilihan rute atau moda alternatif, serta kapasitas pemulihan. Ketidakpastian juga berarti ramalan tunggal tidak boleh diperlakukan sebagai kepastian.

Skenario digunakan untuk menguji apakah kebijakan tetap bekerja di bawah beberapa masa depan yang masuk akal; pengalaman praktisi menunjukkan bahwa pendekatan ini membantu mengakomodasi ketidakpastian dalam kebijakan transportasi (Lyons *et al.*, 2021). Ketahanan memerlukan identifikasi fungsi jaringan yang harus tetap tersedia ketika gangguan terjadi. Prioritas tidak selalu diberikan kepada aset terbesar, melainkan kepada aset yang kegagalannya menimbulkan dampak berantai paling luas. Redundansi rute, prosedur darurat, ketersediaan informasi, serta kemampuan pemulihan operasi menjadi bagian dari strategi. Pengujian beberapa skenario membantu memastikan bahwa rencana tidak hanya bekerja pada satu perkiraan masa depan.

1.5.6 Pertukaran tujuan dan penetapan prioritas

Tujuan transportasi dapat saling memperkuat, tetapi juga dapat berkonflik. Pengurangan kecepatan di kawasan sekolah dapat menambah waktu kendaraan tetapi meningkatkan keselamatan dan kualitas ruang. Rute angkutan yang berkelok dapat memperluas cakupan tetapi menurunkan kecepatan serta daya tarik bagi perjalanan utama. Tarif rendah meningkatkan keterjangkauan tetapi memerlukan sumber pendanaan operasi. Pengakuan terhadap konflik tersebut membuat evaluasi lebih jujur dan mencegah satu indikator menjadi ukuran keberhasilan yang tidak disengaja. Prioritas sebaiknya ditetapkan melalui hierarki tujuan. Beberapa tujuan dapat diperlakukan sebagai batas minimum, misalnya keselamatan, akses universal, kepatuhan lingkungan, dan kemampuan fiskal. Tujuan lain dapat dioptimalkan setelah batas minimum terpenuhi. Cara ini berbeda dari menjumlahkan semua indikator tanpa

memperhatikan apakah alternatif melanggar kondisi dasar. Rencana dengan manfaat ekonomi tinggi tidak dapat dibenarkan apabila mengandalkan tingkat risiko keselamatan yang tidak dapat diterima. Pemilihan indikator mengikuti tujuan, bukan sebaliknya. Indikator harus mempunyai definisi yang jelas, sumber data yang tersedia, arah perubahan yang dapat ditafsirkan, serta kemampuan membedakan alternatif.

Kombinasi indikator keluaran dan hasil diperlukan. Kilometer jalan atau jumlah armada adalah keluaran; akses yang bertambah, kecelakaan yang berkurang, atau perjalanan yang lebih andal merupakan hasil. Penggunaan indikator hasil menjaga perhatian pada manfaat publik, bukan hanya penyerapan anggaran. Target juga perlu realistis dan terikat waktu. Target absolut berguna untuk standar minimum, sedangkan target relatif membantu membandingkan kemajuan. Distribusi harus dilaporkan bersama rata-rata agar perbaikan agregat tidak menyembunyikan ketimpangan. Dalam kerangka keadilan, perhatian khusus diberikan pada kelompok yang berada di bawah tingkat akses minimum dan pada kemungkinan proyek memperbesar kesenjangan (Martens, 2012; Pereira, Schwanen and Banister, 2017). Pada akhirnya, prioritas adalah keputusan publik yang perlu didukung bukti. Analisis teknis memperjelas konsekuensi, tetapi tidak menghapus pilihan nilai. Tugas perencana adalah menyajikan alternatif secara sebanding, menyatakan ketidakpastian, menunjukkan kelompok yang terdampak, dan menjelaskan alasan rekomendasi. Dokumentasi tersebut penting untuk akuntabilitas serta memudahkan evaluasi ketika kondisi dan kebijakan berubah.

1.6 Ruang Lingkup Perencanaan Transportasi

Ruang lingkup dapat dibedakan berdasarkan wilayah, horizon waktu, moda, objek, tingkat keputusan, dan tahapan siklus rencana. Pembagian ini membantu menentukan jenis data, ketelitian model, pemangku kepentingan, dan keluaran yang diperlukan. Batas analisis harus mengikuti daerah pengaruh masalah, bukan semata-mata batas administrasi atau batas tapak proyek. Pembatasan ruang lingkup diperlukan agar analisis tetap terarah tanpa mengabaikan dampak yang penting. Batas kajian harus mengikuti tujuan, mekanisme masalah, wilayah pengaruh, kelompok pengguna, dan periode dampak. Ruang lingkup yang terlalu sempit dapat memindahkan masalah ke lokasi atau kelompok lain. Sebaliknya, ruang lingkup yang terlalu luas dapat menghasilkan kebutuhan data dan koordinasi yang tidak sebanding dengan keputusan yang akan dibuat. Perencana karena itu perlu menyatakan secara terbuka apa yang termasuk, apa yang tidak termasuk, dan alasan pembatasannya.

1.6.1 Skala Spasial

Tabel 1. 3 Skala spasial dan keluaran perencanaan

Skala	Fokus umum	Contoh keluaran
Nasional/antarwilayah	Konektivitas pusat kegiatan, koridor strategis, pelabuhan, bandara, logistik, pemerataan.	Rencana jaringan nasional, prioritas koridor, standar dan kebijakan pendanaan.
Regional/metropolitan	Perjalanan lintas batas, integrasi tata ruang, jaringan utama, angkutan massal.	Rencana induk, jaringan multimoda, kebijakan TOD dan parkir regional.
Kota/kabupaten	Akses layanan, jaringan jalan dan angkutan umum, keselamatan, manajemen permintaan.	Rencana mobilitas, rencana jaringan, program keselamatan dan NMT.

Skala	Fokus umum	Contoh keluaran
Koridor/kawasan	Kinerja koridor, akses kawasan, integrasi simpul, dampak pembangunan.	Rencana koridor, akses kawasan industri, desain transit dan manajemen lalu lintas.
Tapak/fasilitas	Sirkulasi internal, akses keluar-masuk, parkir, bongkar-muat, keselamatan.	Analisis dampak lalu lintas, rencana akses, tata letak fasilitas transportasi.

Sumber: Diolah penulis (2026).

Perencanaan pada satu skala harus konsisten dengan skala lain. Sebuah kawasan industri memerlukan analisis akses tapak, tetapi juga dapat menimbulkan perjalanan barang pada jaringan kota, pelabuhan, dan jalan nasional. Sebaliknya, keputusan koridor nasional dapat mengubah akses dan penggunaan lahan lokal. Koordinasi vertikal dan horizontal diperlukan agar biaya dan manfaat tidak dipindahkan tanpa pengelolaan. Perbedaan skala menentukan ketelitian data dan jenis keputusan yang layak dibuat. Data agregat nasional tidak cukup untuk merancang akses keluar-masuk tapak, sedangkan survei tapak tidak

dapat menjelaskan aliran regional. Indikator perlu konsisten agar dampak lokal dapat ditelusuri pada sasaran wilayah yang lebih luas. Koordinasi antarskala mencegah manfaat pada satu wilayah dibayar dengan beban yang tidak dikelola di wilayah lain.

1.6.2 Horizon waktu

Perencanaan jangka pendek berfokus pada perbaikan operasi, keselamatan, pengaturan lalu lintas, informasi, tarif, atau jadwal. Jangka menengah mencakup pengembangan layanan, rehabilitasi, jaringan pengumpan, peningkatan simpul, dan program investasi. Jangka panjang mencakup struktur jaringan, angkutan massal, koridor logistik, tata ruang, teknologi, dan kebutuhan kapasitas kelembagaan. Horizon yang lebih panjang meningkatkan ketidakpastian sehingga skenario, tahapan, dan titik keputusan adaptif menjadi lebih penting. Horizon waktu harus sesuai dengan umur keputusan dan kecepatan perubahan yang ingin dikelola. Tindakan operasional dapat dievaluasi dalam hitungan bulan, sedangkan perubahan jaringan dan tata guna lahan memerlukan pengamatan bertahun-tahun. Rencana jangka panjang sebaiknya disertai tahapan pelaksanaan agar dapat menyesuaikan diri terhadap perubahan permintaan, teknologi, dan kemampuan pendanaan. Hubungan antarahorizon mencegah tindakan jangka pendek mengunci pilihan yang bertentangan dengan tujuan jangka panjang.

1.6.3 Moda dan integrasi multimoda

Ruang lingkup moda meliputi jalan kaki, sepeda, kendaraan pribadi, angkutan jalan, kereta api, transportasi laut dan sungai, udara, serta sistem barang dan logistik.

Integrasi multimoda tidak hanya menyatukan prasarana. Integrasi mencakup jaringan, jadwal, tarif, informasi, tiket, desain perpindahan, akses first–last mile, standar pelayanan, data, dan kelembagaan. Perjalanan pengguna harus dibaca sebagai rangkaian dari pintu ke pintu, bukan sebagai segmen yang terpisah menurut kewenangan operator. Kinerja perpindahan dapat dievaluasi melalui waktu berjalan, waktu tunggu, kepastian koneksi, kemudahan orientasi, dan kebutuhan pembayaran ulang. Satu sambungan yang buruk dapat menghilangkan keuntungan waktu pada seluruh perjalanan. Pembagian ruang jalan perlu mengikuti fungsi serta jumlah orang atau barang yang dilayani, bukan hanya jumlah kendaraan. Perencanaan multimoda menempatkan setiap moda pada peran yang sesuai dengan jarak, kapasitas, biaya, dan karakter wilayah.

1.6.4 Penumpang dan barang

Perencanaan penumpang berorientasi pada akses individu dan kelompok terhadap aktivitas, kenyamanan, keselamatan, keterjangkauan, serta kualitas layanan. Perencanaan barang berorientasi pada aliran komoditas, lokasi produksi dan konsumsi, terminal, pergudangan, pelabuhan, reliabilitas waktu, biaya logistik, pembatasan kendaraan, serta konflik dengan fungsi perkotaan. Keduanya menggunakan jaringan yang sama pada banyak lokasi sehingga kebijakan ruang, waktu operasi, dan fasilitas khusus perlu dikoordinasikan. Kedua jenis pergerakan sering menggunakan koridor, simpul, dan ruang tepi jalan yang sama. Konflik dapat muncul pada jam sibuk, gerbang kawasan, terminal, pelabuhan, serta lokasi bongkar muat. Pemisahan waktu, pengaturan ruang, konsolidasi, dan informasi operasi

dapat mengurangi konflik tanpa selalu menambah kapasitas fisik. Karakter permintaan barang juga perlu dibedakan menurut ukuran kiriman, kebutuhan waktu, jenis komoditas, dan persyaratan penanganan. Integrasi perencanaan penumpang dan barang membantu menjaga akses masyarakat sekaligus keandalan rantai pasok.

1.6.5 Tingkat strategis, taktis, dan operasional

Tingkat strategis menentukan tujuan, struktur jaringan, prioritas moda, arah investasi, dan kebijakan ruang. Tingkat taktis menerjemahkannya menjadi desain layanan, paket program, tahapan, tarif, pengadaan, dan manajemen koridor. Tingkat operasional mengatur jadwal, pengendalian, pemeliharaan, informasi, penanganan insiden, dan pelayanan harian. Ketiganya harus saling konsisten; visi yang baik tidak akan tercapai bila kontrak operasi dan alokasi anggaran mendorong perilaku yang berlawanan. Hubungan ketiganya dapat ditelusuri melalui penurunan tujuan strategis menjadi standar layanan, program, kontrak, dan prosedur operasi. Keputusan operasional yang berulang dapat memperkuat atau justru menghambat tujuan strategis meskipun nilainya tampak kecil secara individual. Pemantauan harian perlu menghasilkan umpan balik bagi penyesuaian taktis, sedangkan evaluasi periodik digunakan untuk meninjau kembali strategi. Konsistensi tersebut memastikan visi jangka panjang tetap mempertimbangkan kenyataan pelaksanaan.

1.6.6 Objek keputusan dan instrumen kebijakan

Objek perencanaan tidak terbatas pada proyek konstruksi. Perencana dapat mengubah aturan penggunaan ruang jalan, tingkat dan struktur tarif, pengelolaan parkir,

standar akses bangunan, jadwal operasi, prioritas simpang, informasi perjalanan, pengadaan armada, integrasi tiket, dan tata kelola data. Setiap instrumen mempunyai jangka waktu, biaya, pihak pelaksana, dan risiko yang berbeda. Pemetaan instrumen memperluas ruang solusi sebelum kebutuhan aset baru disimpulkan. Instrumen regulasi menetapkan hak, kewajiban, standar, serta pembatasan; instrumen ekonomi mengubah biaya atau insentif; instrumen pelayanan menyediakan pilihan perjalanan; instrumen informasi memengaruhi pengetahuan dan koordinasi; sedangkan instrumen fisik mengubah kapasitas atau kualitas ruang. Paket yang seimbang dapat menggabungkan kelimanya. Peningkatan layanan tanpa pengendalian parkir, misalnya, mungkin tidak cukup mengubah pilihan, sedangkan pembatasan tanpa alternatif yang layak dapat menimbulkan beban tidak adil. Pemeliharaan merupakan bagian ruang lingkup perencanaan karena kondisi aset menentukan kapasitas, keselamatan, dan biaya siklus hidup. Tekanan untuk membangun aset baru sering lebih terlihat daripada kebutuhan merawat aset yang ada. Rencana investasi seharusnya membandingkan rehabilitasi, optimalisasi, dan pembangunan baru dengan dasar kinerja yang sama. Aset yang tidak dapat dipelihara secara berkelanjutan akan menurunkan kualitas pelayanan sekalipun manfaat awalnya besar.

1.6.7 Ruang lingkup kelembagaan dan pembiayaan

Sistem transportasi biasanya melibatkan pemerintah pusat dan daerah, badan pengelola kawasan, operator, pemilik infrastruktur, kepolisian, pengembang, penyedia teknologi, komunitas, dan pengguna. Pembagian kewenangan

dapat mengikuti moda, kelas jalan, wilayah, atau fungsi. Masalah muncul ketika perjalanan pengguna melintasi batas tersebut, sementara data, anggaran, dan standar pelayanan dikelola terpisah. Perencanaan perlu memetakan kewenangan, kepentingan, sumber daya, serta hubungan keputusan. Pembiayaan tidak berhenti pada biaya konstruksi. Belanja operasi, pemeliharaan, pembaruan sistem, subsidi pelayanan, pengawasan, dan mitigasi sosial perlu dihitung sejak awal. Sumber pendapatan juga memengaruhi perilaku: tarif, biaya parkir, pajak, kontribusi pengembang, dan pembayaran berbasis kinerja menciptakan insentif berbeda. Rencana yang secara fisik layak tetapi tidak mempunyai model pendanaan operasi akan menghasilkan penurunan layanan setelah proyek selesai. Koordinasi kelembagaan perlu diterjemahkan menjadi prosedur, bukan hanya komitmen. Data bersama, forum keputusan, pembagian biaya, indikator lintas sektor, mekanisme penyelesaian konflik, dan evaluasi berkala merupakan contoh perangkat koordinasi. Pengalaman integrasi tata guna lahan dan transportasi memperlihatkan bahwa struktur formal serta kebiasaan organisasi dapat menentukan seberapa jauh tujuan integrasi benar-benar memengaruhi Keputusan (Duman *et al.*, 2022). Ruang lingkup kelembagaan juga mencakup kapasitas manusia. Model yang sangat rinci tidak bermanfaat apabila lembaga tidak memiliki data, waktu, kompetensi, atau mandat untuk memakainya. Papa *et al*. (2016) menunjukkan pentingnya kegunaan praktis instrumen aksesibilitas. Prinsip yang sama berlaku umum: metode harus cukup kuat untuk pertanyaan keputusan, tetapi tetap dapat dipahami, dipelihara, dan diperbarui oleh organisasi yang bertanggung jawab (Papa *et al.*, 2016).

1.7 Pergeseran Paradigma Perencanaan

1.7.1 Dari "ramal dan sediakan" menuju pengelolaan permintaan

Pendekatan konvensional sering digambarkan sebagai predict and provide: meramalkan lalu lintas lalu menyediakan kapasitas untuk menampungnya. Pendekatan ini berguna ketika kapasitas dasar memang tidak memadai, tetapi menjadi problematis bila permintaan dianggap tetap, dampak tata guna lahan diabaikan, dan keberhasilan hanya diukur dari kecepatan kendaraan. Bukti permintaan terinduksi menunjukkan bahwa peningkatan kapasitas dapat mengubah perilaku dan meningkatkan perjalanan (Noland, 2001). Pendekatan modern tetap menggunakan peramalan, tetapi memperlakukannya sebagai alat untuk menguji kebijakan, bukan sebagai masa depan yang harus diwujudkan. Alternatif mencakup pengelolaan parkir, harga, teleaktivitas, konsolidasi barang, peningkatan angkutan umum, berjalan kaki dan bersepeda, pengaturan tata guna lahan, serta pengembangan jaringan. Paket kebijakan biasanya lebih efektif daripada proyek tunggal karena penyebab masalah berada pada beberapa bagian sistem. Instrumen dipilih menurut penyebab masalah, kelompok pengguna, dan konteks jaringan, bukan karena lebih mudah dibangun. Keberhasilannya dinilai dari kemampuan mencapai tujuan akses dan kinerja sistem, bukan dari besarnya kapasitas fisik yang ditambahkan.

1.7.2 Dari mobilitas menuju aksesibilitas

Orientasi mobilitas mengejar perpindahan yang cepat dan banyak; orientasi aksesibilitas mengejar kemampuan mencapai kesempatan. Geurs dan van Wee (2004) memperlihatkan bahwa pengukuran aksesibilitas memerlukan perhatian pada tata guna lahan, komponen transportasi, waktu, dan individu. Perubahan orientasi ini membuka pilihan solusi yang lebih luas: kesempatan dapat dibuat lebih mudah dicapai dengan memperbaiki jaringan, meningkatkan layanan, mengubah lokasi kegiatan, mengurangi hambatan biaya, atau memperbaiki kemampuan pengguna (Geurs and van Wee, 2004). Pergeseran ini mengubah cara masalah dirumuskan dan cara keberhasilan diukur. Waktu tempuh tetap penting, tetapi dibaca bersama lokasi kegiatan, biaya, keandalan, dan kemampuan pengguna. Kebijakan dapat meningkatkan akses dengan memperbaiki transportasi atau dengan mendekatkan kegiatan yang dibutuhkan. Pendekatan tersebut juga memberi ruang bagi perjalanan yang lebih pendek dan penggunaan moda aktif. Hasil akhirnya adalah sistem yang memudahkan partisipasi sosial dan ekonomi tanpa harus terus meningkatkan jarak serta kecepatan perjalanan.

1.7.3 Dari proyek tunggal menuju paket kebijakan dan siklus adaptif

Proyek fisik adalah satu instrumen di antara banyak instrumen. Pengembangan koridor angkutan umum, misalnya, memerlukan kebijakan guna lahan, akses pejalan kaki, jaringan pengumpan, manajemen parkir, integrasi tarif, informasi, pendanaan operasi, dan perlindungan

keterjangkauan kawasan. Tanpa paket tersebut, kapasitas yang dibangun dapat kurang dimanfaatkan atau manfaatnya tidak terbagi secara adil. Perencanaan adaptif menetapkan tujuan dan arah yang stabil, tetapi membolehkan instrumen, urutan, atau skala tindakan disesuaikan berdasarkan pemantauan. Skenario membantu menguji strategi di bawah ketidakpastian, sedangkan indikator dan ambang pemicu membantu menentukan kapan perubahan diperlukan (Lyons *et al.*, 2021). Paket kebijakan memungkinkan kelemahan satu instrumen ditutup oleh instrumen lain. Urutan pelaksanaan perlu dirancang agar tindakan awal menyiapkan kondisi bagi investasi berikutnya. Pemantauan kemudian digunakan untuk menentukan apakah paket diteruskan, disesuaikan, diperluas, atau dihentikan.

1.7.4 Dari rasional-teknis menuju proses kolaboratif

Analisis teknis diperlukan untuk membandingkan kinerja, biaya, dan risiko, tetapi keputusan transportasi juga memuat nilai: kelompok mana yang diprioritaskan, dampak apa yang dapat diterima, dan siapa yang menanggung biaya. Partisipasi tidak menggantikan analisis; partisipasi membantu menemukan masalah yang tidak tampak dalam data agregat, menguji asumsi, memahami pengalaman pengguna, dan membangun legitimasi keputusan. Proses yang baik menjelaskan ruang keputusan, bukti, keterbatasan, konflik tujuan, dan alasan pemilihan alternatif. Kolaborasi memperluas sumber pengetahuan yang digunakan tanpa mengurangi tuntutan terhadap analisis yang ketat. Operator dan pelaksana membantu menilai kebutuhan sumber daya, urutan kerja, serta risiko implementasi. Masyarakat terdampak perlu terlibat ketika alternatif memengaruhi

akses, ruang hidup, atau distribusi beban. Perbedaan pandangan harus didokumentasikan agar konflik nilai tidak disamarkan sebagai persoalan teknis. Keterbukaan tersebut memperkuat akuntabilitas ketika alternatif dipilih dan dilaksanakan.

1.8 Data, Model, dan Penilaian Alternatif

Data perencanaan dapat berasal dari survei perjalanan, pencacahan lalu lintas, data angkutan umum, GPS, tiket elektronik, telepon seluler, citra, sensus, data tata guna lahan, data kecelakaan, emisi, biaya, wawancara, dan partisipasi masyarakat. Banyaknya data tidak menghilangkan kebutuhan akan kerangka pertanyaan. Data harus dinilai menurut representativitas, resolusi ruang dan waktu, konsistensi, privasi, bias kelompok, serta kesesuaian dengan tujuan. Model adalah penyederhanaan sistem untuk menjelaskan hubungan, memperkirakan dampak, atau membandingkan skenario. Model empat tahap bangkitan perjalanan, sebaran perjalanan, pemilihan moda, dan pembebanan jaringan masih menjadi kerangka penting untuk permintaan agregat. Namun, model bukan cermin sempurna dari kenyataan. Asumsi mengenai pertumbuhan, biaya, kapasitas, nilai waktu, dan perilaku perlu dinyatakan; kalibrasi dan validasi perlu dipisahkan; serta hasil sebaiknya disajikan bersama rentang, sensitivitas, dan keterbatasan. Penilaian alternatif dapat menggunakan analisis biaya–manfaat, efektivitas biaya, analisis multikriteria, analisis dampak lingkungan dan sosial, audit keselamatan, analisis aksesibilitas, serta uji ketahanan. Tidak ada metode tunggal yang menjawab semua tujuan. Metode dipilih berdasarkan pertanyaan keputusan, skala, data, dan

nilai yang perlu dibuat eksplisit. Untuk angkutan umum, tujuan jaringan harus dinyatakan jelas karena pilihan desain selalu melibatkan pertukaran manfaat (Walker, 2008).

1.8.1 Kualitas, representasi, dan etika data

Kualitas data mencakup ketepatan, kelengkapan, konsistensi, kemutakhiran, dan keterwakilan. Data besar tidak otomatis representatif. Data aplikasi dapat mengabaikan warga tanpa telepon pintar; transaksi elektronik hanya menggambarkan pengguna layanan; pencacahan kendaraan tidak menjelaskan tujuan perjalanan; dan survei rumah tangga dapat melewatkan perjalanan informal atau kelompok yang sulit ditemui. Setiap sumber perlu dilengkapi metadata tentang waktu, cakupan, unit, metode, serta kemungkinan bias. Penggabungan data memerlukan kesesuaian definisi. Istilah perjalanan, penumpang, kendaraan, kejadian kecelakaan, atau keterlambatan dapat dihitung berbeda oleh lembaga. Ketidaksamaan zona dan periode waktu dapat menghasilkan kesimpulan keliru. Sebelum analisis, perencana perlu menyusun kamus data, menyelaraskan unit, memeriksa nilai hilang dan pencilan, serta mencatat transformasi. Keterlacakan ini memungkinkan hasil diaudit dan diperbarui. Privasi dan keamanan harus dipertimbangkan ketika data mempunyai jejak lokasi atau identitas. Agregasi, anonimisasi, pembatasan akses, periode retensi, dan tujuan penggunaan perlu ditetapkan. Perlindungan privasi bukan penghalang analisis, melainkan syarat kepercayaan. Perencana juga perlu menghindari peta yang menstigma wilayah atau kelompok. Cara klasifikasi, warna, skala, dan narasi dapat memengaruhi persepsi meskipun angkanya benar.

1.8.2 Model sebagai alat pembelajaran

Model menyederhanakan kenyataan agar hubungan tertentu dapat ditelaah. Penyederhanaan diperlukan karena sistem nyata terlalu kompleks untuk direplikasi seluruhnya. Model yang baik bukan model yang paling rumit, melainkan model yang sesuai tujuan, mempunyai asumsi yang dapat dijelaskan, memberikan hasil yang dapat diuji, dan membantu membedakan alternatif. Tingkat detail harus sebanding dengan ketelitian keputusan dan kualitas data. Kalibrasi menyesuaikan parameter agar model mereproduksi pola yang diamati, sedangkan validasi menguji kinerja pada data yang tidak digunakan dalam kalibrasi atau pada dimensi lain. Kesesuaian agregat belum menjamin model mewakili kelompok, wilayah, atau waktu tertentu. Karena itu, evaluasi perlu memeriksa kesalahan secara terpisah dan menilai apakah bias sistematis dapat memengaruhi rekomendasi. Dokumentasi versi model dan data membantu mencegah hasil yang tidak dapat direproduksi. Hasil model sebaiknya disajikan sebagai kondisi bersyarat: jika asumsi dan kebijakan tertentu berlaku, maka konsekuensi diperkirakan berada pada rentang tertentu. Bahasa probabilistik dan sensitivitas lebih jujur daripada angka tunggal dengan presisi semu. Skenario dapat menguji pertumbuhan, harga energi, teknologi, pola kerja, risiko iklim, dan kebijakan ruang. Lyons *et al*. (2021) menunjukkan bahwa skenario membantu praktisi memasukkan ketidakpastian ke dalam proses kebijakan (Lyons *et al.*, 2021).

1.8.3 Membandingkan alternatif secara konsisten

Alternatif harus dibandingkan terhadap kondisi dasar yang jelas dan periode analisis sama. Kondisi dasar bukan keadaan tanpa perubahan; kondisi dasar memasukkan pertumbuhan, proyek yang telah berkomitmen, penurunan aset, serta kebijakan yang akan berjalan. Kondisi dasar yang terlalu buruk dapat melebihkan manfaat, sedangkan kondisi dasar yang memasukkan tindakan yang sebenarnya belum pasti dapat mengecilkan kebutuhan. Asumsi tersebut perlu disepakati sebelum hasil alternatif dibaca. Penilaian harus mencakup dampak langsung, tidak langsung, dan distribusional sejauh relevan. Dampak langsung meliputi waktu, biaya, keselamatan, dan operasi. Dampak tidak langsung dapat berupa perubahan akses, lokasi kegiatan, atau perilaku. Dampak distribusional menunjukkan variasi menurut pendapatan, gender, usia, kemampuan, lokasi, dan moda. Kerangka ini mencegah total manfaat menjadi satu-satunya dasar ketika sebagian kelompok menerima beban besar.

Analisis sensitivitas menguji parameter yang paling memengaruhi hasil, seperti permintaan, biaya konstruksi, tarif, nilai waktu, atau kecepatan implementasi. Uji ambang dapat menunjukkan nilai minimum yang diperlukan agar alternatif tetap layak. Informasi tersebut sering lebih berguna daripada peringkat tunggal karena pengambil keputusan dapat melihat risiko dan kondisi kegagalan. Alternatif yang sedikit kurang optimal pada ramalan utama tetapi stabil pada banyak skenario dapat lebih kuat untuk dipilih. Komunikasi hasil perlu membedakan fakta, hasil model, penilaian, dan rekomendasi. Tabel perbandingan harus menggunakan

definisi dan satuan yang konsisten; peta perlu menunjukkan batas dan tahun; serta ketidakpastian tidak boleh disembunyikan. Rekomendasi kemudian menjelaskan bagaimana bukti, tujuan, pertukaran manfaat, dan kelayakan implementasi dipertimbangkan. Pemisahan ini meningkatkan akuntabilitas dan membantu pembaca menilai apakah mereka setuju dengan logika keputusan.

1.9 Aktor, Partisipasi, dan Tata Kelola

Keputusan transportasi melibatkan aktor dengan mandat, sumber daya, pengetahuan, dan kepentingan berbeda. Pemerintah menetapkan kebijakan dan menyediakan barang publik; operator mengelola layanan; pengembang menentukan sebagian pola lokasi; pelaku usaha mengandalkan reliabilitas; masyarakat mengalami manfaat dan dampak; sedangkan akademisi serta konsultan menyediakan analisis. Pemetaan aktor membantu mengenali siapa yang memutuskan, siapa yang melaksanakan, siapa yang mempunyai data, siapa yang membiayai, dan siapa yang paling terdampak. Pengguna bukan kelompok homogen. Orang yang menggunakan moda sama dapat mempunyai kebutuhan berbeda karena tujuan, waktu perjalanan, tanggung jawab pengasuhan, pendapatan, usia, dan kemampuan fisik. Pelibatan perlu menjangkau pengguna aktual, calon pengguna, kelompok yang tidak dapat bepergian, serta warga yang terdampak tetapi tidak menggunakan fasilitas. Jika partisipasi hanya melibatkan pihak yang mudah hadir, kebutuhan kelompok yang paling terbatas justru dapat tidak terlihat. Partisipasi mempunyai beberapa fungsi: menemukan masalah, memperbaiki data, menguji alternatif,

mengidentifikasi dampak lokal, membangun pilihan bersama, dan memantau implementasi. Bentuknya dapat berupa wawancara, diskusi kelompok, survei, pemetaan partisipatif, lokakarya skenario, konsultasi desain, atau forum formal. Metode dipilih sesuai tahap dan kelompok.

Publikasi dokumen pada akhir proses tidak setara dengan partisipasi jika ruang perubahan sudah tertutup. Informasi yang diberikan kepada peserta harus seimbang dan dapat dipahami. Alternatif, manfaat, biaya, ketidakpastian, serta batas keputusan perlu dijelaskan tanpa mengarahkan secara manipulatif. Masukan juga harus mempunyai jejak tindak lanjut: diterima, dimodifikasi, atau ditolak dengan alasan. Mekanisme ini membedakan partisipasi substantif dari kegiatan seremonial dan meningkatkan kepercayaan terhadap proses. Konflik tidak selalu menunjukkan kegagalan. Konflik dapat mengungkap perbedaan tujuan yang sebelumnya tersembunyi, seperti akses regional berhadapan dengan kualitas lingkungan lokal. Tugas proses kolaboratif bukan memaksakan kesepakatan, tetapi memastikan informasi dapat diuji, hak pihak terdampak dihormati, dan pertukaran tujuan dibahas secara terbuka. Keputusan akhir mungkin tetap memerlukan otoritas formal, tetapi dasar pertimbangannya menjadi lebih jelas.

1.9.1 Koordinasi lintas sektor dan lintas wilayah

Transportasi beririsan dengan tata ruang, perumahan, ekonomi, lingkungan, kesehatan, pendidikan, pariwisata, dan penanggulangan bencana. Setiap sektor dapat menghasilkan atau mengurangi kebutuhan perjalanan. Rumah sakit yang ditempatkan jauh dari angkutan umum menciptakan hambatan akses yang tidak dapat diselesaikan hanya dengan

rekayasa lalu lintas. Sebaliknya, kebijakan lokasi dan jam pelayanan dapat menjadi instrumen transportasi meskipun berada di luar dinas transportasi. Koordinasi lintas wilayah diperlukan ketika asal, tujuan, dan dampak berada pada yurisdiksi berbeda. Masalah pembiayaan muncul karena wilayah yang menanggung biaya belum tentu menerima manfaat terbesar. Mekanisme berbagi data, biaya, pendapatan, dan tanggung jawab dibutuhkan agar keputusan tidak terhenti pada batas administratif. Rencana regional perlu diterjemahkan menjadi program dan anggaran lembaga pelaksana, bukan berhenti sebagai dokumen visi. Integrasi kelembagaan tidak harus berarti membentuk organisasi baru. Perubahan dapat dilakukan melalui mandat bersama, kelompok kerja tetap, indikator kinerja lintas lembaga, perjanjian layanan, atau pusat data. Pilihan struktur bergantung pada kewenangan dan masalah. Yang terpenting ialah adanya titik keputusan yang jelas, penanggung jawab, jadwal, serta mekanisme evaluasi. Duman *et al*. (2022) menunjukkan bahwa integrasi tata guna lahan dan transportasi sangat dipengaruhi perkembangan institusi formal dan informal (Duman *et al.*, 2022).

1.9.2 Akuntabilitas dan pembelajaran

Rencana yang dapat dipertanggungjawabkan menyatakan tujuan, indikator, baseline, target, sumber data, penanggung jawab, dan jadwal pelaporan. Pemantauan bukan hanya mengukur pembangunan fisik, tetapi menilai hasil yang dialami pengguna. Apabila jumlah armada bertambah tetapi waktu tunggu tidak membaik, perencana perlu menelusuri operasi, distribusi layanan, dan kondisi jaringan. Perbedaan antara output dan outcome harus dijaga sepanjang siklus

program. Evaluasi perlu dirancang sebelum implementasi agar data awal dan kelompok pembanding tersedia bila diperlukan. Evaluasi proses memeriksa apakah tindakan dilaksanakan sesuai rencana; evaluasi hasil memeriksa perubahan kinerja; dan evaluasi dampak menilai seberapa jauh perubahan disebabkan intervensi. Temuan digunakan untuk menyesuaikan desain, pembiayaan, atau operasi. Budaya pembelajaran mengakui bahwa penyimpangan adalah informasi, bukan alasan untuk menutupi hasil. Akuntabilitas juga memerlukan dokumentasi keputusan. Versi data, asumsi model, perubahan alternatif, catatan konsultasi, dan alasan prioritas perlu disimpan. Dokumentasi mengurangi ketergantungan pada individu, membantu serah terima organisasi, dan memungkinkan kajian ulang ketika kondisi berubah. Dalam proyek berumur panjang, kemampuan menelusuri keputusan awal sangat penting untuk membedakan masalah desain, perubahan konteks, dan kekurangan implementasi.

1.10 Kerangka Berpikir Perencanaan Transportasi

Meskipun Bab 2 membahas proses dan tahapan secara lebih rinci, kerangka dasar berikut membantu menempatkan konsep dalam Bab 1. Tahapan tidak selalu linear; hasil analisis dapat mengubah definisi masalah atau tujuan. Kerangka ini bukan prosedur kaku, melainkan susunan pertanyaan yang menjaga hubungan antara masalah, tujuan, bukti, dan keputusan. Perencanaan dimulai dari diagnosis kondisi dan kebutuhan, bukan dari proyek yang telah ditentukan sebelumnya. Setiap tahap menghasilkan informasi yang dapat mengubah pemahaman pada tahap sebelumnya. Pada

praktiknya, beberapa kegiatan dapat berlangsung bersamaan ketika data, partisipasi, dan rancangan alternatif saling memperbarui. Arus umpan balik membuat perencanaan tetap relevan setelah kebijakan atau proyek mulai dilaksanakan. Secara operasional, kerangka ini diringkas ke dalam tujuh tahap berikut, sedangkan hubungan berulang antartahap divisualisasikan pada Gambar 1.4.

1. Menetapkan konteks dan batas sistem: wilayah pengaruh, kelompok pengguna, moda, kegiatan, institusi, dan horizon waktu.
2. Mendiagnosis kondisi dan akar masalah: membedakan gejala, penyebab, serta dampak distribusional.
3. Merumuskan tujuan dan indikator: menyatakan hasil yang diinginkan tanpa mengunci solusi terlalu awal.
4. Menyusun skenario dasar dan alternatif: menggabungkan kebijakan, layanan, operasi, teknologi, tata guna lahan, dan infrastruktur.
5. Menilai dampak dan pertukaran tujuan: menguji efektivitas, biaya, keselamatan, lingkungan, keadilan, ketahanan, dan kelayakan.
6. Memilih, memprogram, dan membiayai: menetapkan prioritas, tahapan, penanggung jawab, sumber dana, dan risiko.
7. Melaksanakan, memantau, dan menyesuaikan: menggunakan indikator dan umpan balik untuk koreksi adaptif.



Gambar 1. 4 Siklus perencanaan transportasi yang berulang dan adaptif.

Sumber: Ilustrasi orisinal penulis dengan bantuan AI generatif (2026).

Kerangka ini mencegah solusi mendahului masalah. Pernyataan "kawasan memerlukan jalan baru", misalnya, sudah mengunci instrumen. Pernyataan masalah yang lebih terbuka adalah "akses barang dan pekerja tidak andal pada jam tertentu, menimbulkan biaya dan risiko keselamatan". Rumusan kedua memungkinkan perbandingan perubahan operasi, jadwal, akses pelabuhan, manajemen simpang, angkutan pekerja, konsolidasi logistik, maupun penambahan kapasitas. Kerangka tersebut juga membantu tim membedakan keluaran analisis dari keputusan yang memerlukan pertimbangan nilai. Setiap perubahan alternatif perlu dicatat agar alasan keputusan dapat ditelusuri. Indikator pemantauan harus ditetapkan sejak awal supaya

kondisi sebelum dan sesudah intervensi dapat dibandingkan. Dengan demikian, pembelajaran menjadi bagian dari perencanaan dan bukan kegiatan tambahan setelah proyek selesai.

1.11 Isu Kontemporer dalam Perencanaan Transportasi

Perubahan teknologi, iklim, demografi, ekonomi digital, dan pola kerja memperluas ketidakpastian. Teknologi dapat meningkatkan efisiensi dan akses, tetapi manfaatnya tidak muncul otomatis. Kendaraan listrik mengurangi emisi pada titik penggunaan namun tidak menghapus kebutuhan ruang, kemacetan, kecelakaan, atau dampak produksi energi. Layanan berbasis aplikasi dapat memperluas pilihan sebagian pengguna tetapi juga menimbulkan kesenjangan digital, perubahan kondisi kerja, dan kebutuhan tata kelola data. Digitalisasi memungkinkan informasi waktu nyata, pembayaran terintegrasi, pengelolaan armada, serta analisis permintaan yang lebih rinci. Namun, ketergantungan pada platform menimbulkan pertanyaan mengenai interoperabilitas, kepemilikan data, keamanan, keberlanjutan kontrak, dan akses pengguna tanpa perangkat. Perencanaan harus mendefinisikan masalah serta standar layanan terlebih dahulu agar teknologi berfungsi sebagai instrumen, bukan tujuan yang berdiri sendiri. Perubahan iklim memengaruhi transportasi melalui kebutuhan mitigasi dan adaptasi. Mitigasi berkaitan dengan pengurangan perjalanan bermotor yang tidak perlu, pergeseran moda, efisiensi operasi, dan teknologi rendah emisi. Adaptasi berkaitan dengan

kerentanan aset terhadap banjir, panas, kenaikan muka air, longsor, atau cuaca ekstrem.

Infrastruktur kritis perlu dinilai berdasarkan fungsi jaringan, populasi yang bergantung, kemungkinan kegagalan berantai, dan waktu pemulihan. Perubahan demografi menuntut desain yang dapat digunakan sepanjang siklus hidup. Populasi menua, kebutuhan penyandang disabilitas, keselamatan anak, dan beban pengasuhan memengaruhi waktu, kecepatan berjalan, kebutuhan duduk, informasi, dan kemudahan berpindah. Hrelja *et al*. (2024) menunjukkan bahwa perencanaan angkutan umum masih perlu lebih baik dalam menimbang kebutuhan kelompok berbeda dengan tujuan efisiensi dan lingkungan (Hrelja, Levin and Camporeale, 2024). Prinsip desain universal mengurangi kebutuhan adaptasi terpisah pada masa depan. Pertumbuhan perdagangan elektronik mengubah pola barang dari pengiriman besar ke pengiriman kecil dan lebih sering. Dampaknya terlihat pada kebutuhan ruang bongkar muat, pergerakan kendaraan di lingkungan, gudang mikro, dan perjalanan balik. Walaupun pembahasan teknis transportasi barang ditempatkan pada bab tersendiri, pada tingkat konsep perencana perlu mengakui bahwa mobilitas penumpang dan logistik bersaing menggunakan ruang yang sama dan memerlukan koordinasi waktu serta lokasi. Pola kerja hibrida dan layanan daring dapat mengubah waktu serta tujuan perjalanan, tetapi tidak selalu mengurangi total mobilitas. Perjalanan kerja dapat berkurang sementara perjalanan lain, jarak tempat tinggal, atau pengiriman meningkat.

Ketidakpastian ini memperkuat kebutuhan skenario dan strategi adaptif. Lyons *et al*. (2021) menempatkan scenario planning sebagai cara untuk mendukung praktisi

ketika satu ramalan utama tidak cukup mewakili masa depan. Kota kepulauan menghadapi persoalan tambahan berupa ketergantungan pada pelabuhan dan bandara, keterbatasan jalur alternatif, serta kebutuhan menghubungkan moda darat dan laut. Ketahanan simpul menjadi sama pentingnya dengan kapasitas koridor. Rencana perlu membedakan akses harian, logistik strategis, evakuasi, dan konektivitas antarpulau. Pendekatan sistem membantu melihat bahwa gangguan pada satu simpul dapat memengaruhi pasokan, pekerjaan, dan layanan dasar secara luas. Isu kontemporer tidak menghapus prinsip dasar perencanaan. Sebaliknya, perubahan tersebut menguatkan pentingnya tujuan yang jelas, batas sistem yang tepat, aksesibilitas, keadilan, integrasi tata guna lahan, transparansi model, dan kemampuan belajar. Teknologi serta metode baru perlu dinilai berdasarkan kontribusinya terhadap tujuan tersebut, bukan berdasarkan kebaruan atau jumlah data yang dihasilkan.

1.12 Batasan dan Kesalahan Umum

Setiap rencana memerlukan batas analisis agar data, wilayah, waktu, dan kelompok pengguna dapat ditetapkan secara proporsional. Namun, pembatasan yang terlalu sempit dapat menghilangkan hubungan penting antara transportasi, tata guna lahan, perilaku perjalanan, pembiayaan, dan dampak sosial. Kesalahan juga muncul ketika indikator yang mudah dihitung diperlakukan sebagai tujuan utama sistem. Bagian ini merangkum kekeliruan konseptual dan prosedural yang sering mengarahkan perencanaan pada solusi yang tidak tepat. Daftar berikut bukan tahapan atau prinsip yang dianjurkan, melainkan praktik yang harus dihindari. Setiap

butir perlu dibaca sebagai peringatan ketika perencana menetapkan batas sistem, memilih data, menyusun model, membandingkan alternatif, dan melibatkan pemangku kepentingan. Dampak kesalahan tersebut tidak selalu terlihat pada tahap awal karena sebuah proyek dapat tampak berhasil berdasarkan satu indikator. Oleh karena itu, penilaian perlu memeriksa apakah manfaat dan beban hanya berpindah ke lokasi, kelompok, moda, atau periode waktu lain.

- Menyamakan kelancaran kendaraan dengan keberhasilan sistem transportasi.
- Menganggap permintaan masa depan tetap dan tidak dipengaruhi kebijakan atau infrastruktur.
- Menggunakan batas administrasi atau batas tapak yang lebih sempit daripada daerah pengaruh.
- Menilai rata-rata tanpa memeriksa perbedaan kelompok, lokasi, moda, dan waktu.
- Memisahkan proyek transportasi dari perubahan tata guna lahan dan respons pasar.
- Mengandalkan satu ramalan tanpa skenario, sensitivitas, atau penjelasan ketidakpastian.
- Memilih indikator karena datanya tersedia, bukan karena sesuai dengan tujuan.
- Mengabaikan biaya operasi, pemeliharaan, pembaruan aset, dan kapasitas kelembagaan.
- Melibatkan masyarakat setelah alternatif utama diputuskan, sehingga partisipasi hanya bersifat formal.
- Menganggap model sebagai keputusan, padahal model adalah alat bantu yang bergantung pada asumsi.

1.13 Ilustrasi Penerapan Konsep

Bayangkan sebuah kota industri kepulauan mengalami kemacetan pada koridor menuju pelabuhan. Diagnosis yang hanya menggunakan volume kendaraan dapat mengarah langsung pada pelebaran jalan. Diagnosis sistem akan memeriksa komposisi kendaraan barang dan pekerja, jadwal kapal dan pergantian shift, antrean gerbang, lokasi gudang, konflik penyeberangan, layanan angkutan pekerja, rute alternatif, serta perkembangan lahan di sepanjang koridor. Tujuan kemudian tidak hanya "menaikkan kapasitas", melainkan meningkatkan keandalan logistik, menjaga akses pekerja, mengurangi kecelakaan, mengendalikan emisi dan dampak lingkungan, serta mempertahankan fungsi koridor ketika terjadi gangguan. Alternatif dapat berupa penjadwalan truk, sistem reservasi terminal, perbaikan gerbang, manajemen simpang, angkutan pekerja, koridor pejalan kaki yang aman, konsolidasi gudang, perlindungan ruang untuk peningkatan masa depan, dan bila tetap diperlukan penambahan kapasitas selektif. Setiap paket dinilai terhadap indikator tujuan dan beberapa skenario pertumbuhan. Contoh ini menunjukkan bahwa inti perencanaan bukan memilih antara "membangun" atau "tidak membangun". Intinya adalah memastikan bahwa infrastruktur, layanan, operasi, dan tata guna lahan bekerja sebagai satu sistem untuk menghasilkan akses yang aman, andal, berkelanjutan, dan adil. Paket penanganan pada koridor industri kepulauan tersebut divisualisasikan pada Gambar 1.5.



Gambar 1. 5 Paket penanganan koridor transportasi pada kota industri kepulauan.

Sumber: Ilustrasi orisinal penulis dengan bantuan AI generatif (2026).

DAFTAR PUSTAKA

Banister, D. (2008) "The sustainable mobility paradigm," *Transport Policy*, 15(2), pp. 73–80. Available at: https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2007.10.005.

Bertolini, L., le Clercq, F. and Kapoen, L. (2005) "Sustainable accessibility: A conceptual framework to integrate transport and land use plan-making. Two test-applications in the Netherlands and a reflection on the way forward," *Transport Policy*, 12(3), pp. 207–220. Available at: https://doi.org/10.1016/j.tranpol. 2005.01.006.

Cervero, R. and Kockelman, K. (1997) "Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design," *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2(3), pp. 199–219. Available at: https://doi.org/10.1016/S1361-9209(97)00009-6.

Duman, O. *et al.* (2022) "Challenges in land use and transport planning integration in Helsinki metropolitan region—A historical-institutional perspective," *Sustainability*, 14(1), p. 146. Available at: https://doi.org/ 10.3390/su14010146.

Duranton, G. and Turner, M.A. (2011) "The fundamental law of road congestion: Evidence from US cities," *American Economic Review*, 101(6), pp. 2616–2652. Available at: https://doi.org/10.1257/aer.101.6.2616.

Ewing, R. and Cervero, R. (2010) "Travel and the built environment: A meta-analysis," *Journal of the American Planning Association*, 76(3), pp. 265–294. Available at: https://doi.org/10.1080/01944361003766766.

Geurs, K.T. and van Wee, B. (2004) "Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: Review and research directions," *Journal of Transport Geography*, 12(2), pp. 127–140. Available at: https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2003.10.005.

Hansen, W.G. (1959) "How accessibility shapes land use," *Journal of the American Institute of Planners*, 25(2), pp. 73–76. Available at: https://doi.org/10.1080/01944365908978307.

Hrelja, R., Levin, L. and Camporeale, R. (2024) "Handling social considerations and the needs of different groups in public transport planning: A review of definitions, methods, and knowledge gaps," *European Transport Research Review*, 16, p. 42. Available at: https://doi.org/10.1186/s12544-024-00664-y.

Jones, P. and Lucas, K. (2012) "The social consequences of transport decision-making: Clarifying concepts, synthesising knowledge and assessing implications," *Journal of Transport Geography*, 21, pp. 4–16. Available at: https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.01.012.

Lyons, G. *et al.* (2021) "Scenario planning for transport practitioners," *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 11, p. 100438. Available at: https://doi.org/10.1016/j.trip.2021.100438.

Martens, K. (2012) "Justice in transport as justice in accessibility: Applying Walzer's 'Spheres of Justice' to the transport sector," *Transportation*, 39(6), pp. 1035–1053. Available at: https://doi.org/10.1007/s11116-012-9388-7.

McLeod, S., Scheurer, J. and Curtis, C. (2017) "Urban public transport: Planning principles and emerging practice," *Journal of Planning Literature*, 32(3), pp. 223–239. Available at: https://doi.org/10.1177/0885412217693570.

Noland, R.B. (2001) "Relationships between highway capacity and induced vehicle travel," *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 35(1), pp. 47–72. Available at: https://doi.org/10.1016/S0965-8564(99)00047-6.

Papa, E. *et al.* (2016) "Accessibility instruments for planning practice: A review of European experiences," *Journal of Transport and Land Use*, 9(3), pp. 57–75. Available at: https://doi.org/10.5198/jtlu.2015.585.

Pereira, R.H.M., Schwanen, T. and Banister, D. (2017) "Distributive justice and equity in transportation," *Transport Reviews*, 37(2), pp. 170–191. Available at: https://doi.org/10.1080/01441647.2016.1257660.

Susantono, B. (1998) "Transportation and land use dynamics in metropolitan Jakarta," *Berkeley Planning Journal*, 12(1), pp. 126–144. Available at: https://doi.org/10.5070/BP312113046.

Walker, J. (2008) "Purpose-driven public transport: Creating a clear conversation about public transport goals," *Journal of Transport Geography*, 16(6), pp. 436–442. Available at: https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2008.06.005.

BAB 2
PROSES DAN TAHAPAN PERENCANAAN SISTEM TRANSPORTASI

Oleh Akhmad Andi Saputra

2.1. Urgensi Perencanaan Transportasi

Pengangkutan orang dan barang dari satu tempat ke tempat lain dilakukan dengan menggunakan sarana transportasi seperti kapal, kereta api, mobil, atau sepeda. Hal ini menimbulkan pergerakan kapal, lalu lintas kereta api, lalu lintas mobil, dan lalu lintas sepeda. Sarana transportasi, layanan transportasi, dan fasilitas infrastruktur untuk kendaraan yang sedang bergerak maupun yang diparkir, seperti rel kereta api, stasiun, jalan raya, tempat parkir, jalur sepeda, dan tempat parkir sepeda, dikombinasikan dengan perangkat organisasi (jadwal) dan perangkat pengatur (lampu lalu lintas), bersama-sama membentuk sistem transportasi (Bovy *et al*., 2006).

Pentingnya sarana transportasi dalam perkembangan dunia bersifat multidimensi. Sebagai contoh, salah satu fungsi dasar transportasi adalah menghubungkan tempat kediaman dengan tempat bekerja atau para pembuat barang dengan para pelanngannya. Dari sudut pandang yang lebih luas,

fasilitas transportasi memberikan pilihan untuk menuju ke tempat kerja, pasar dan sarana rekreasi, serta menyediakan akses ke sarana – sarana kesehatan, pendidikan dan sarana lainnya. (Khisty & Lall, 2005).

Sistem transportasi merupakan urat nadi kehidupan sosial, ekonomi, politik, dan perkembangan wilayah dalam konteks makro maupun mikro. Pertumbuhan penduduk yang masif di kawasan perkotaan, yang dibarengi dengan peningkatan daya beli masyarakat, memicu tingginya mobilitas manusia dan barang secara eksponensial. Jika pergerakan yang sangat dinamis ini tidak dikelola melalui mekanisme perencanaan yang berbasis saintifik dan terukur, maka sistem perkotaan akan mengalami degradasi fungsional berupa eksternalitas negatif yang masif. Eksternalitas ini mewujud dalam bentuk kemacetan kronis, polusi udara yang mengancam kesehatan publik, tingginya angka kecelakaan lalu lintas, serta pemborosan energi fosil yang berdampak langsung pada ketahanan energi nasional.

Perencanaan transportasi telah mengalami pergeseran paradigma yang sangat radikal dalam dua dekade terakhir. Perencanaan transportasi bukan lagi sekadar sebuah upaya linier untuk menyediakan infrastruktur fisik baru, seperti pelebaran jalan atau pembangunan jembatan demi memenuhi tuntutan pertumbuhan arus kendaraan semata (yang dikenal sebagai pendekatan berbasis penawaran). Pendekatan konvensional ini terbukti gagal mengatasi kemacetan jangka panjang akibat fenomena induced demand, di mana penyediaan ruang jalan baru justru memicu bangkitan volume kendaraan pribadi yang lebih besar di masa depan. Perencanaan transportasi modern harus diperlakukan sebagai sebuah proses multidisiplin yang integratif dan

holistik dengan fokus utama pada pengelolaan permintaan mobilitas secara berkelanjutan (*demand side management*). Pendekatan kontemporer ini menuntut sinergi mutlak antara rekayasa sistem transportasi, sosiologi perkotaan, ekonomi pembangunan, hukum lingkungan, dan kebijakan publik. Melalui integrasi multidisiplin ini, perencanaan ditujukan untuk menyelaraskan secara spasial antara tata guna lahan (*land use system*) dengan sistem jaringan prasarana (*network system*). Penyelarasan ini krusial demi menciptakan efisiensi pergerakan yang tinggi, meminimalkan hambatan spasial, serta memastikan bahwa seluruh investasi infrastruktur mampu memberikan multiplier effect yang optimal bagi kesejahteraan sosial ekonomi masyarakat luas (Black, 2018).

2.2 Definisi dan Filosofi Perencanaan Sistem Transportasi

Secara filosofis dan epistemologis, perencanaan sistem transportasi didefinisikan sebagai sebuah proses yang terstruktur, rasional, dan berkelanjutan untuk mengantisipasi serta memproyeksikan kebutuhan perjalanan (*travel demand*) di masa depan, sekaligus merumuskan serta menyediakan fasilitas fisik, sistem tata kelola, dan instrumen kebijakan yang paling tepat untuk memenuhi kebutuhan tersebut tanpa mengorbankan kapasitas generasi mendatang.

Sistem transportasi dapat didefinisikan sebagai jaringan infrastruktur, moda transportasi, dan layanan yang memfasilitasi pergerakan entitas dari satu tempat ke tempat lain. Tujuan utama dari sistem transportasi adalah menyediakan konektivitas, aksesibilitas, dan mobilitas bagi individu dan barang, yang pada akhirnya mendukung

aktivitas ekonomi, interaksi sosial, dan perkembangan keseluruhan. Sistem transportasi dapat diartikan sebagai suatu kesatuan yang utuh, terdiri atas komponen-komponen yang saling menunjang dan bekerja sama dalam aglomerasi lalu lintas. Sistem transportasi secara keseluruhan (makro) dapat dibagi menjadi beberapa sistem yang lebih kecil (mikro) yang saling berhubungan dan saling mempengaruhi. (Agustin *et al*., 2023).

Pendekatan sistem (*system approach*) merupakan suatu cara yang sistemik dan menyeluruh untuk memecahkan masalah yang melibatkan suatu sistem. Ini adalah satu filosofi pemecahan masalah yang digunakan untuk memecahkan permasalahan yang kompleks. Sistem adalah suatu perangkat yang terdiri dari bagian–bagian yang saling berhubungan disebut komponen, yang menjalankan sejumlah fungsi dalam rangka mencapai suatu tujuan. Analisis sistem adalah penerapan metoda ilmiah guna memecahkan maslah-masalah yang rumit. Tujuan (*goal)* adalah hasil akhir yang dikehendaki. Pernyataan-pernyataan operasional dari tujuan disebut objektif (terukur dan dapat diraih). Setiap objektif umumnya memiliki ukuran-ukuran efektivitasnya (*measure of effectiveness/MOE)* sendiri-sendiri. Suatu MOE merupakan (Khisty & Lall, 2005).

Perencanaan transportasi memiliki sifat yang sangat dinamis, stokastik (*probabilistik*), dan secara inheren melibatkan tingkat ketidakpastian (*uncertainty*) yang sangat tinggi. Ketidakpastian ini berakar dari kenyataan bahwa objek utama pemodelan dan perencanaan adalah perilaku manusia (*travel behavior*). Perilaku perjalanan individu senantiasa bermutasi secara acak dan kompleks, dipengaruhi oleh fluktuasi kondisi sosial ekonomi, perubahan preferensi

psikologis, variasi spasial tempat tinggal, serta intervensi disrupsi teknologi digital (seperti layanan ride-hailing dan autonomous driving). Oleh karena itu, draf perencanaan tidak boleh kaku, melainkan harus fleksibel dan adaptif melalui mekanisme peninjauan dan kalibrasi berkala (Ortúzar & Willumsen, 2024).

Para ahli transportasi global sepakat bahwa seluruh arsitektur perencanaan transportasi modern wajib bertumpu secara kokoh pada tiga pilar utama yang saling mengunci:

1. **Efisiensi Ekonomi (*Economic Efficiency*):** Menuntut minimisasi biaya transportasi total (total travel cost) dalam suatu sistem regional. Biaya total ini tidak hanya mencakup komponen finansial langsung seperti Biaya Operasional Kendaraan (BOK) dan tarif angkutan, melainkan juga komponen non-fisik yang bernilai ekonomi tinggi, yaitu nilai waktu perjalanan (travel time value). Efisiensi dicapai ketika utilitas sistem berada pada titik tertinggi dengan pengeluaran sumber daya yang paling minimum.
2. **Keadilan Sosial (*Social Equity*):** Menjamin bahwa penyediaan prasarana dan sarana transportasi bersifat inklusif, nondiskriminatif, dan merata. Kegagalan transportasi dalam menyediakan aksesibilitas yang adil dapat memicu eksklusi sosial (social exclusion), di mana masyarakat berpendapatan rendah, kelompok lansia, anak-anak, dan penyandang disabilitas terisolasi dari akses lapangan kerja, pendidikan berkualitas, dan fasilitas kesehatan. Perencanaan harus mengintegrasikan keadilan distributif dalam alokasi subsidi dan rute angkutan umum (Lucas *et al*., 2019).

3. **Keberlanjutan Lingkungan (*Environmental Sustainability*):** Fokus pada reduksi emisi gas rumah kaca, polusi udara lokal (seperti PM2.5, NOx, SOx), dan polusi suara demi menjaga daya dukung ekosistem bumi. Hal tersebut dapat dicapai secara sistematis melalui penerapan kerangka kerja *Avoid Shift Improve'*(ASI). Pertama, Avoid: menghindari atau mengurangi perjalanan yang tidak perlu melalui perencanaan tata guna lahan yang kompak. Kedua, Shift: mengalihkan moda perjalanan dari kendaraan pribadi berbahan bakar fosil ke moda angkutan umum massal dan moda non-motor (berjalan kaki dan bersepeda). Ketiga, Improve: meningkatkan efisiensi energi kendaraan dan mengadopsi teknologi ramah lingkungan seperti elektrifikasi armada (Banister, 2019).

2.3 Siklus dan Tahapan Makro Perencanaan Transportasi

Proses perencanaan transportasi berskala makro tidak beroperasi dalam sebuah garis lurus yang statis, melainkan bergerak dalam sebuah siklus kontinu yang sistematis, berulang, dan saling memberikan umpan balik (*feedback loop*). Pendekatan kesisteman (Meyer, 2016) membagi siklus makro ini ke dalam enam tahapan utama yang rigid namun adaptif, seperti yang diilustrasikan secara konseptual pada gambar 2.1.

2.3.1 Identifikasi Masalah dan Isu Strategis

Langkah fundamental ini mensyaratkan kejelian perencana untuk menangkap gejala kegagalan pasar atau kegagalan sistem transportasi yang sedang terjadi (eksisting). Gejala tersebut dikuantifikasi secara empiris, seperti mengukur penurunan tingkat pelayanan jalan (*Level of Service* / LOS) hingga mencapai tingkat 'F' (kemacetan total), rendahnya faktor muatan (*load factor*) angkutan umum koridor tertentu, tingginya angka fatalitas kecelakaan pada titik rawan (*black spot*), atau tidak terkoneksinya pusat pertumbuhan ekonomi baru dengan jaringan jalan arteri.



Gambar 2. 1 Siklus Makro Perencanaan Transportasi
(Meyer, 2016)

2.3.2 Penetapan Visi, Misi, dan Sasaran (Objectives)

Visi dan misi bertindak sebagai kompas ideologis, sementara sasaran (*objectives*) diturunkan menjadi parameter kuantitatif yang wajib memenuhi kaidah SMART (*Specific, Measurable, Achievable, Relevant, Time bound*).

Perencana tidak boleh menetapkan sasaran normatif yang kabur seperti 'meningkatkan kualitas angkutan umum'. Sasaran harus didefinisikan secara presisi, misalnya: 'Meningkatkan proporsi penggunaan angkutan umum (*public transport mode share*) di wilayah metropolitan dari 15% menjadi 45% dalam rentang waktu 7 tahun semenjak masterplan disahkan.

2.3.3 Pengumpulan Data dan Inventarisasi Sistem Eksisting

Tahap ini merupakan fase yang paling menguras sumber daya finansial, waktu, dan tenaga. Data yang dikumpulkan dibagi menjadi tiga klaster besar: (1) Karakteristik Sosio-Ekonomi, mencakup data demografi, struktur pendapatan rumah tangga, tingkat kepemilikan kendaraan pribadi per kapita, dan sebaran spasial tenaga kerja; (2) Karakteristik Tata Guna Lahan, mencakup peta zonasi koefisien lantai bangunan (KLB), densitas hunian, dan pusat kegiatan bisnis (CBD); (3) Karakteristik Kinerja Lalu Lintas, mencakup volume lalu lintas (*traffic counting*), survei kecepatan arus bebas, survei hambatan samping, dan survei asal-tujuan (*Origin Destination Survey*) melalui metode wawancara tepi jalan (*roadside interview*) maupun teknologi digital.

2.3.4 Analisis dan Pemodelan Transportasi Masa Depan

Data mentah hasil inventarisasi diolah menggunakan perangkat lunak simulasi transportasi berbasis komputer untuk merekonstruksi kondisi basis (*base year*). Setelah model divalidasi dan dikalibrasi hingga memiliki tingkat error minimum (misal menggunakan uji statistik R square atau *Root*

*Mean Square Error/*RMSE), model tersebut diekstrapolasikan ke tahun rencana (target, misalnya 20 atau 30 tahun ke depan) dengan memasukkan variabel pertumbuhan ekonomi dan proyeksi kependudukan.

2.3.5 Formulasi dan Evaluasi Alternatif Skenario

Perencana menyusun beberapa portofolio solusi yang kontras. Skenario pertama umumnya adalah *Do Nothing* (tidak melakukan intervensi fisik apa pun selain pemeliharaan rutin). Skenario kedua berupa optimasi manajemen lalu lintas *low cost* (misalnya manajemen simpang, satu arah, kanalisasi). Skenario ketiga melibatkan investasi modal besar seperti pembangunan jaringan *Mass Rapid Transit* (MRT) atau *Light Rail Transit* (LRT) yang terintegrasi. Alternatif-alternatif ini kemudian diuji silang menggunakan analisis kelayakan finansial dan ekonomi makro melalui indikator *Benefit Cost Ratio* (BCR), *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), serta dikombinasikan dengan dokumen Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL) dan Kajian Lingkungan Hidup Strategis (KLHS).

2.3.6 Implementasi, Pemantauan, dan Evaluasi Pascakonstruksi

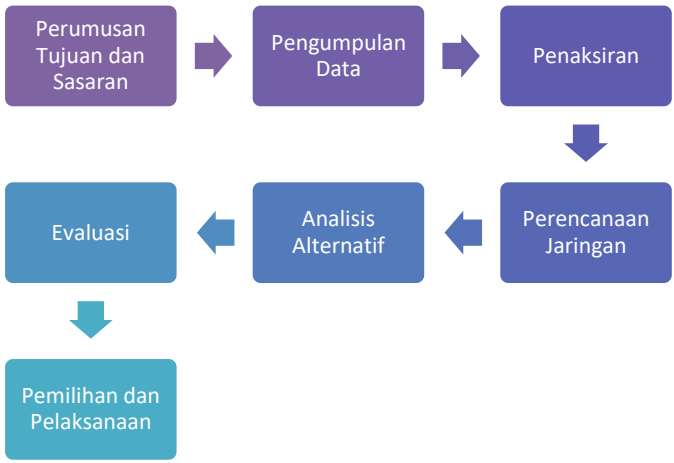
Alternatif terbaik yang terpilih secara politik dan teknis dituangkan ke dalam cetak biru regulasi dan rencana anggaran multi-tahunan. Setelah proyek selesai dikonstruksi dan dioperasikan, dilakukan fase evaluasi pascakonstruksi (*post occupancy evaluation*) atau audit transportasi. Langkah ini bertujuan membandingkan apakah volume lalu lintas dan manfaat ekonomi riil di lapangan sesuai dengan hasil prediksi model. Hasil audit ini menjadi database input yang sangat

berharga untuk merevisi parameter model pada siklus perencanaan periode berikutnya.

2.4 Proses Perencanaan Transportasi

Tujuan perencanaan transportasi yaitu untuk menetapkan arahan bagi penyediaan layanan transportasi disesuaikan dengan kebutuhannya dengan cara paling tepat dan menggunakan sumber daya yang ada. Pada dasarnya perencanaan transportasi yaitu memperkirakan kebutuhan transportasi di masa datang yang harus dikaitkan dengan masalah ekonomi, sosial dan lingkungan. Transportasi harus memberikan keuntungan maksimum kepada masyarakat dengan meminimumkan penggunaan waktu dan biaya. Saat yang sama perlu diperhitungkan peningkatan tuntutan akan perkembangan tata guna lahan serta perluasan wilayah perkotaan. Secara umum proses perencanaan transportasi digambarkan sebagai berikut (Hadihardaja & Kamarwan, 1996).

a) Tujuan dan sasaran perencanaan transportasi
   Mengoptimalkan prasarana transportasi agar sistem transportasi dapat efisien baik dalam ekonomi, lingkungan dan lain sebagainya. Tujuan tersebut harus sesuai dengan tujuan pengembangan wilyah atau kota itu sendiri.



Gambar 2. 2 Proses Perencanaan Transportasi Sederhana

(Bruton, 1985)

b) Pengumpulan Data
Pengumpulan data dalam perencanaan transportasi meliputi data organisasi, pelaksanaan survei dan analisis kondisi eksisting, kalibrasi model tata guna lahan dan model pergerakan.

c) Penaksiran
Perencanaan transportasi memerlukan penaksiran yaitu terkait estimasi pola perjalanan pada masa mendatang sesuai dengan rencana tata guna lahan. Data yang di taksir (estimasi) meliputi tata guna lahan, populasi, tenaga kerja, rencana tata guna lahan dan pergerakan.

d) Perencanaan Jaringan
Alternatif jaringan jalan dan angkutan umum yang sesuai dengan rencana tata guna lahan dan estimasi pergerakan di masa mendatang.

e) Analisis Alternatif
   Alokasi estimasi pergerakan ke dalam alternatif jaringan, melalui moda dan rute tertentu
f) Evaluasi
   Evaluasi alternatif jaringan untuk biaya, keuntungan, dampak dan pelaksanaan.
g) Pemilihan dan Pelaksanaan
   Memilih dan melaksanakan strategi pengembangan jaringan transportasi yang sesuai untuk kondisi yang ada.

Praktik yang baik dalam perencanaan transportasi adalah membuat model dan menganalisis sejumlah scenario. Selain perencanaan yang tepat, skenario ini juga mencakup skenario tanpa tindakan (basis nol) dan situasi saat ini (Bovy *et al*., 2006):

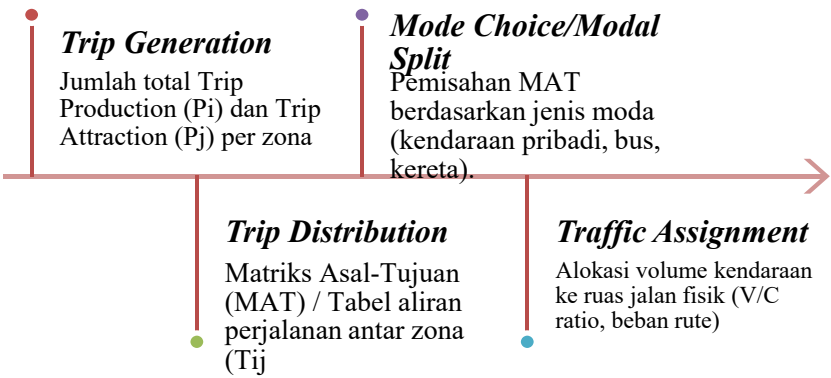
1. Lingkungan yaitu rencana menyelesaikan masalah dengan dampak lingkungan paling kecil,
2. Angkutan umum yaitu memecahkan masalah dengan meningkatkan pasokan dan layanan angkutan umum semaksimal mungkin, dan
3. Pembangunan yaitu jika pembangunan jalan baru dipilih sebagai pendekatan solusi.

2.5 Model Perencanaan Transportasi Empat Tahap (*Four-Step Travel Demand Model*)

Model Perencanaan Transportasi Empat Tahap (*Four-Step Model*) merupakan kerangka kerja matematis paling mapan dan menjadi standardisasi internasional dalam memproyeksikan permintaan perjalanan agregat. Berakar

dari studi transportasi urban di Amerika Serikat pada dekade 1950-an (khususnya Chicago Area Transportation Study), model ini terus berevolusi dan tetap diandalkan hingga era kontemporer karena ketangguhannya dalam mengolah data spasial makro (Ortúzar & Willumsen, 2024).

Model ini membagi seluruh wilayah studi ke dalam entitas geografis kecil yang disebut Zona Analisis Lalu Lintas (ZALL) atau *Traffic Analysis Zones* (TAZ). Alur logis dari interaksi keputusan pelaku perjalanan dimodelkan secara sekuensial melalui empat tahapan terpisah namun berantai:



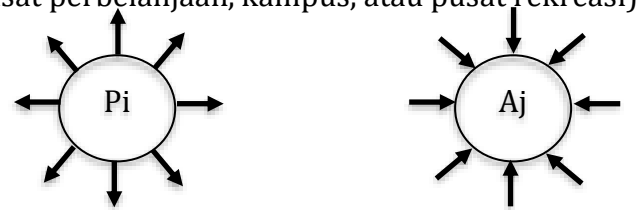
Gambar 2. 3 Alur Proses *Four Step Travel Demand Model*

2.5.1 Bangkitan Pergerakan (Trip Generation)

Perjalanan yang dibangkitkan adalah jumlah perjalanan yang dibangkitkan oleh suatu zona atau pusat kegiatan. Bangkitan perjalanan diekspresikan dalam dua parameter utama:

a) Trip Production (Pi), yaitu jumlah pergerakan yang bersumber/berasal dari zona i (biasanya zona perumahan); dan

b) Trip Attraction (Aj), yaitu jumlah pergerakan yang ditarik menuju zona j karena adanya magnet aktivitas di zona tujuan tersebut (seperti kawasan perkantoran, pusat perbelanjaan, kampus, atau pusat rekreasi).



Gambar 2. 4 Perjalanan meninggalkan (Pi) dan menuju zona (Aj)

Faktor penentu utama dalam Trip Generation meliputi karakteristik demografi dan intensitas tata guna lahan. Variabel penjelas yang sering digunakan antara lain jumlah anggota keluarga dalam satu rumah tangga, tingkat pendapatan bulanan, angka kepemilikan kendaraan (car ownership), luas lantai bangunan komersial, serta jenis klasifikasi industri.

Secara teoretis dan metodologis, terdapat dua pendekatan analitis utama yang digunakan untuk memodelkan bangkitan pergerakan:

- **Analisis Regresi Linier Berganda (*Multiple Linear Regression Analysis*):** Mengasumsikan hubungan sebab-akibat linier antara variabel sosio-ekonomi sebagai variabel independen (X) dengan jumlah perjalanan sebagai variabel dependen (Y).
- **Analisis Klasifikasi Silang (Category Analysis / *Cross-Classification*):** Mengelompokkan rumah tangga ke dalam sel-sel matriks homogen berdasarkan kategori tertentu (misalnya kombinasi ukuran keluarga dan

kepemilikan kendaraan) untuk menghitung laju perjalanan rata-rata per sel.

Formulasi matematis umum untuk analisis regresi bangkitan pada suatu zona i dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Y = a + b1X1 + b2X2 + \cdots + bmXm$$

Dimana:

Y : adalah variabel tidak bebas
X1, X2, Xm : variabel bebas
b1, b2, bm : koefisien regresi
a : konstantas

2.5.2 Distribusi Pergerakan (Trip Distribution)

Setelah total perjalanan yang keluar (Pi) dan masuk (Aj) pada setiap zona diketahui dari tahap pertama, langkah selanjutnya adalah mendistribusikan perjalanan tersebut secara spasial antar zona. Hasil akhir dari tahap ini adalah Matriks Asal-Tujuan (MAT) atau Origin-Destination Matrix, sebuah tabel dua dimensi yang menggambarkan volume aliran perjalanan dari setiap zona asal i menuju setiap zona tujuan j (Tij).

Pendekatan teoretis yang mendominasi sains transportasi pada tahap ini adalah Model Gravitasi (*Gravity Model*). Model ini mengadopsi analogi Hukum Gravitasi Newton dalam fisika mekanika klasik. Asumsi dasarnya adalah daya tarik perjalanan antara dua zona (i dan j) berbanding lurus dengan besarnya aktivitas atau daya tarik yang ada pada kedua zona tersebut, dan berbanding terbalik dengan fungsi hambatan perjalanan (*travel deterrence function*) yang memisahkan mereka. Hambatan perjalanan dapat berupa jarak fisik (kilometer), waktu tempuh (menit),

biaya finansial (rupiah), atau kombinasi linier ketiganya yang diistilahkan sebagai *Generalized Cost* (Biaya Umum Perjalanan).

Formulasi matematis matematis standar dari Model Gravitasi dengan batasan ganda (*Doubly Constrained Gravity Model*) dinyatakan sebagai:

$$T_{ij} = A_i * O_i * B_j * D_j * f_{ij}$$

Dimana:

T_{ij} = Jumlah aliran perjalanan dari zona *i* menuju zona *j*
A_i = Faktor penyeimbang sisi asal
Oi = Total bangkitan perjalanan dari zona asal i
Bj = Faktor penyeimbang sisi tujuan
Dj = Total tarikan perjalanan pada zona tujuan j
Fij = Fungsi hambatan terhadap jarak dij

2.5.3 Pemilihan Moda (Moda Split / Mode Choice)

Tahap ketiga mendiversifikasikan total perjalanan antar zona (Tij) ke dalam pilihan-pilihan moda transportasi konkret yang tersedia di dalam sistem. Keputusan pemilihan moda merupakan salah satu aspek paling krusial dalam perencanaan karena sangat menentukan keberhasilan kebijakan intermodalitas dan efisiensi ruang kota (apakah perjalanan didominasi kendaraan pribadi yang boros ruang atau angkutan massal yang efisien).

Pendekatan teoretis kontemporer yang paling valid didasarkan pada Teori Utilitas Acak (*random utility theory*). Teori ini berasumsi bahwa individu adalah makhluk rasional murni yang akan selalu memilih moda transportasi yang memberikan utilitas (kepuasan atau keuntungan) tertinggi bagi dirinya, atau dengan kata lain, meminimalkan disutilitas (kerugian/biaya). Utilitas total dari suatu moda dibagi

menjadi komponen deterministik (V) yang dapat diukur secara eksplisit oleh perencana, dan komponen acak/error (ε) yang menangkap preferensi subjektif yang tidak terobservasi (Ben Akiva & Lerman, S. R., 2018).

Karakteristik utama yang membentuk komponen utilitas deterministik suatu moda mencakup karakteristik perjalanan (waktu tempuh di dalam kendaraan/*invehicle travel time*, waktu tunggu, waktu jalan kaki menuju halte, biaya tarif tiket, biaya bahan bakar, biaya tol), karakteristik pelaku perjalanan (pendapatan, status kepemilikan mobil, gender), serta karakteristik moda itu sendiri (kenyamanan, reliabilitas ketepatan waktu, keamanan, gengsi sosial).

Model matematis yang paling universal diaplikasikan adalah Model Logit Multinomial (*Multinomial Logit Model / MNL*). Probabilitas (Pm) seorang individu memilih moda m dari sekumpulan pilihan moda alternatif yang ada di dalam gugus M dapat dihitung dengan formulasi anggun berikut:

$$P\,(Y = 1 \mid X) = \frac{1}{1 + \sum_{k=2}^{J} \exp(\beta_k . X)}$$

Dimana:

$P(Y = 1 \mid X)$ = Peluang atau probabilitas kejadian kategori terjadi berdasarkan variabel X,

1 = Mewakili kategori acuan di mana koefisien (β1) ditetapkan sebesar nol (exp (0) = 1),

$\sum_{k=2}^{J} \exp(\beta_k . X)$ = Jumlah prediktor linier yang dipangkatkan untuk semua kategori lain yang mungkin (2 hingga J),

βk = Vektor koefisien (bobot) untuk kategori (k)

X = Variabel bebas

Dalam pemodelan model split perlu diperhatikan adanya biaya actual dan biaya yang dipersepsi pemakai jalan dalam mengambil keputusan, serta adanya pemakai angkutan umum yang tidak memiliki kebebasan untuk memilih moda. Dan jika terdapat 2 moda pilihan sehingga moda pemilahan yang dibuat menjadi lebih rumit.

2.5.4 Pemilihan Rute (*Traffic Assignment*)

Tahap pamungkas dari Model Empat Tahap adalah mengalokasikan volume perjalanan yang telah tersegregasi berdasarkan moda tertentu ke dalam jaringan infrastruktur fisik riil. Untuk rute kendaraan pribadi, proses assignment ini mendistribusikan matriks perjalanan kendaraan ke ruas-ruas jalan (links) dan persimpangan (nodes) yang ada di dalam model jaringan.

Prinsip dasar yang mengendalikan proses pembebanan lalu lintas ini didasarkan pada Teori Keseimbangan Wardrop (*Wardrop's User Equilibrium Principle*). Prinsip pertama Wardrop menyatakan bahwa dalam kondisi keseimbangan pengguna (*User Equilibrium*/UE), waktu perjalanan pada seluruh rute yang aktif digunakan antar dua zona adalah sama besar, dan nilainya lebih kecil atau sama dengan waktu perjalanan yang akan ditempuh oleh satu kendaraan jika memilih rute alternatif yang tidak digunakan. Dengan kata lain, tidak ada satu pun pengguna jalan yang dapat mempercepat waktu perjalanannya sendiri secara egois dengan cara mengubah rute perjalanannya secara sepihak tanpa adanya kerja sama kelompok.

Dalam realitas empiris, semakin banyak kendaraan yang memilih suatu ruas jalan, maka kecepatan arus akan menurun dan waktu tempuh akan meningkat akibat fenomena kemacetan (*congestion effect*).

Untuk memodelkan efek hambatan kapasitas ini, para perencana menggunakan fungsi penundaan waktu ruas yang dikembangkan oleh *Bureau of Public Roads* (BPR Function) Amerika Serikat, dengan formula sebagai berikut:

2.6 Perencanaan Transportasi Berkelanjutan dan Integrasi Tata Guna Lahan

Transportasi mempunyai peran strategis karena memiliki peran kendali terhadap perkembangan investasi yang memberikan kontribusi pada pertumbuhan ekonomi dan kualitas hidup. Belanja sektor transportasi mencapai 15% portofolio bank, 60% diantaranya digunkan untuk sektor jalan teruta untuk rehabilitasi. Peluang utama yang dihadapi transportasi yang berkelanjutan dikarenakan: krisis pemeliharaan asset yang tidak memadai, keinginan untuk meningkatkan efisiensi pengadaan pelayanan, peningkatan akses terutama pada daerah rural, adaptasi terhadap globalisasi perdagangan dan produksi serta respon terhadap perkembangan aspirasi kualitas transportasi sesuai dengan kenaikan pendapatan, selain itu perlu adanya toleransi keselarasan peningkatan kendaraan pribadi dan pergerakan barang dengan pemeliharaan lingkungan.

Memasuki dekade terakhir 2016–2026, dunia perencanaan transportasi global mengalami pergeseran paradigma yang sangat fundamental akibat desakan krisis iklim global dan kegagalan kota-kota besar di dunia dalam

mengatasi ketergantungan pada kendaraan pribadi (automobile dependency). Paradigma lama yang mengusung semboyan 'Predict and Provide' (memprediksi pertumbuhan lalu lintas lalu menyediakan jalan baru) telah resmi ditinggalkan dan digantikan oleh paradigma progresif: *'Predict and Manage'* (memprediksi kebutuhan mobilitas lalu mengelola perilakunya agar tetap berada dalam koridor daya dukung lingkungan) (Banister, 2019).

Sistem transportasi berkelanjutan sangat penting untuk kesejahteraan masyarakat, terutama di daerah perkotaan. Sistem-sistem ini dicirikan oleh kemampuannya untuk menawarkan solusi transportasi yang aman, bersih, setara, dan ramah lingkungan (Agustin *et al*., 2023).

2.6.1 Transit Oriented Development (TOD)

Transit Oriented Development (TOD) merupakan strategi perencanaan spasial makro yang secara sengaja memadukan perencanaan tata guna lahan dengan simpul transportasi massal berkapasitas tinggi. TOD didefinisikan sebagai kawasan pembangunan campuran (*mixed use*) berdensitas tinggi yang dirancang secara kompak dalam radius berjalan kaki yang nyaman (*walking distance*, sekitar 400 hingga 800 meter) dari titik transit utama seperti stasiun MRT, LRT, Commuter Line, atau halte BRT (Cervero Guerra, E., & Al, 2017).

Keberhasilan implementasi kawasan TOD diukur melalui pemenuhan Prinsip 5D yang dikembangkan secara akademis oleh para perencana urban global:

- ***Density* (Kepadatan):** Meningkatkan koefisien lantai bangunan (KLB) di sekitar stasiun transit untuk

menampung populasi hunian dan pekerja yang tinggi, sehingga memaksimalkan basis pengguna transportasi massal.

- ***Diversity* (Keragaman):** Mencampurkan fungsi tata guna lahan secara vertikal maupun horizontal (hunian, perkantoran, ritel komersial, ruang publik) dalam satu kawasan tunggal guna mereduksi kebutuhan perjalanan jarak jauh.
- ***Design* (Desain):** Membentuk lanskap lingkungan binaan yang ramah pejalan kaki, menyediakan trotoar lebar dengan peneduh alami, fasilitas penyeberangan yang aman, dan arsitektur yang berorientasi ke jalan bukan ke tempat parkir mobil.
- ***Destination Accessibility* (Aksesibilitas Tujuan):** Kemudahan akses menuju pusat-pusat kegiatan regional yang dihubungkan langsung oleh sistem transportasi massal tanpa hambatan transfer yang rumit.
- ***Distance to Transit* (Jarak ke Titik Transit):** Meminimalkan jarak berjalan kaki fisik dari pintu keluar bangunan utama menuju gerbang tiket moda transit, idealnya di bawah 5-10 menit berjalan kaki.

2.6.2 Transport Demand Management (TDM)

Jika TOD beroperasi pada level penataan ruang jangka panjang, maka *Transport Demand Management* (TDM) atau Manajemen Permintaan Transportasi beroperasi sebagai instrumen intervensi kebijakan jangka pendek dan menengah. TDM adalah aplikasi taktis dari berbagai strategi dan kebijakan yang bertujuan mengubah perilaku perjalanan masyarakat agar beralih dari penggunaan kendaraan pribadi

tunggal menuju penggunaan moda transportasi yang lebih efisien secara ruang dan energi. Instrumen kebijakan TDM dibagi menjadi dua kutub intervensi yang saling melengkapi (Litmen, 2023):

- **Kebijakan Disinsentif (*Push Strategies*):** Langkah-langkah yang sengaja didesain untuk membuat penggunaan kendaraan pribadi menjadi lebih mahal, lambat, atau tidak nyaman di area tertentu. Contoh mutakhir meliputi penerapan *Electronic Road Pricing* (ERP) atau jalan berbayar elektronik di pusat kota, pengenaan tarif parkir progresif yang tinggi, pembatasan ruang sirkulasi kendaraan (seperti kebijakan ganjil-genap atau *Low Emission Zones*/LEZ), serta konversi lajur kendaraan pribadi menjadi lajur khusus bus (*bus lane*).
- **Kebijakan Insentif (*Pull Strategies*):** Langkah-langkah untuk meningkatkan daya tarik moda transportasi alternatif ramah lingkungan. Contohnya adalah penyediaan subsidi tarif angkutan massal, pembangunan jaringan jalur sepeda yang terproteksi secara fisik, penyediaan fasilitas Park and Ride yang murah di pinggiran kota, serta penyediaan jalur pejalan kaki yang inklusif.

2.6.3 Digitalisasi dan Decarbonization dalam Perencanaan Transportasi

Memasuki paruh kedua dekade ini, para perencana sistem transportasi dihadapkan pada lansekap tantangan baru yang sangat kompleks, yang dipicu oleh konvergensi antara revolusi teknologi informasi (digitalisasi) dengan

komitmen global untuk mencapai target Emisi Nol Bersih (*Net Zero Emission*) demi memitigasi bencana pemanasan global (Schiller *et al*., 2020).

Tiga pilar utama disrupsi masa depan yang wajib diintegrasikan ke dalam proses perencanaan transportasi kontemporer adalah:

- ***Mobility as a Service*** **(MaaS):** Sebuah konsep yang mengintegrasikan berbagai moda transportasi publik, layanan ride-hailing (ojek dan taksi online), sistem bike-sharing, hingga micro-mobility ke dalam satu platform digital terpadu berbasis aplikasi seluler (Hensher *et al*., 2021). Melalui MaaS, pengguna tidak lagi perlu memiliki kendaraan fisik; mereka dapat merencanakan rute multimodal, memesan armada, dan membayar seluruh perjalanan dengan satu kali transaksi digital. Bagi perencana, MaaS menyediakan big data real-time yang sangat berharga untuk memantau dinamika pergerakan kota secara mikro.
- ***Autonomous and Connected Vehicles*** **(AV/CV):** Kehadiran kendaraan otonom tanpa pengemudi yang saling terkoneksi diproyeksikan akan mendisrupsi seluruh asumsi kapasitas jalan tradisional. AV/CV memiliki presisi berkendara yang tinggi sehingga mampu mereduksi jarak aman antar kendaraan (*headway*) secara drastis pada ruas jalan tol (*platooning*). Hal ini berpotensi meningkatkan kapasitas teoritis jalan tanpa perlu melakukan pelebaran fisik jalan. Namun, perencana juga harus mengantisipasi risiko peningkatan total VMT (*Vehicle Miles Traveled*) akibat kendaraan otonom yang

berputar-putar tanpa penumpang untuk menghindari tarif parkir.

- **Elektrifikasi Massal dan Dekarbonisasi:** Sektor transportasi darat merupakan salah satu kontributor emisi karbon terbesar di dunia. Perencanaan sistem transportasi di era modern tidak dapat lagi dipisahkan dari perencanaan jaringan energi nasional (grid listrik). Perencana kini memegang tanggung jawab baru untuk merancang lokasi spasial yang optimal bagi Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU), menghitung beban daya puncak pada terminal bus listrik massal, serta memastikan bahwa sumber energi listrik yang digunakan berasal dari energi terbarukan (EBT) agar dekarbonisasi bersifat hulu-ke-hilir (Sperling, 2018)

DAFTAR PUSTAKA

Agustin, T., Yunus, A. I., Oktaria, D. S., Nadi, M. A. B., Arsyad, L. O. M. N., Said, L. B., Soeparyanto, T. S., Puspitasari, M. D., Mardikawati, B., & Luciany, Y. P. (2023). *Sistem Transportasi* (J. Mardianto (ed.); Cetakan Pe). Hei Publishing.

Banister, D. (2019). *Unsustainable Transport: City in the New Century*. Routledge.

Ben Akiva & Lerman, S. R., M. (2018). *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand.* MIT Press.

Black, W. R. (2018). *Transportation: A Geographical Analysis*. Guilford Press.

Bovy, P. H. ., Bliemer, M. C. ., & Nes, R. van. (2006). *Transportation Modeling* (Issue August). Delft University of Technology.

Cervero Guerra, E., R., & Al, S. (2017). *Beyond Mobility: Planning Cities for People and Places*. Island Press.

Hadihardaja, J., & Kamarwan, S. S. (1996). *Sistem Transportasi*. 114.

Khisty, C. J., & Lall, B. K. (2005). *Dasar-dasar Rekayasa Transportasi*. Airlangga.

Litmen, T. (2023). *Transportation Demand Management: Success Stories and Best Practices*. Victoria Transport Policy Institute.

Lucas, K., Martens, K., Di Ciommo, F., & Dupont Kieffer, A. (2019). *Measuring Transport Equity: Key Concepts, Methodologies and International Case Studies*. Elsevier.

Meyer, M. D. (2016). *Transportation Planning Handbook*. John Wiley & Sons.

Ortúzar, J. de D., & Willumsen, L. G. (2024). *Modelling Transport (5th ed.)*. John Wiley & Sons.

Schiller, P. L., Bruun, E. C., & Kenworthy, J. R. (2020). *An Introduction to Sustainable Transportation: Policy, Planning and Implementation (2nd ed.)*. Routledge.

Sperling, D. (2018). *Three Revolutions: Steering Automated, Shared, and Electric Vehicles to a Better Future*. Island Press.

BAB 3
MODEL TRANSPORTASI DAN PERENCANAAN JARINGAN

Oleh Ita Suhermin Ingsih

3.1 Pengantar Perencanaan Transportasi

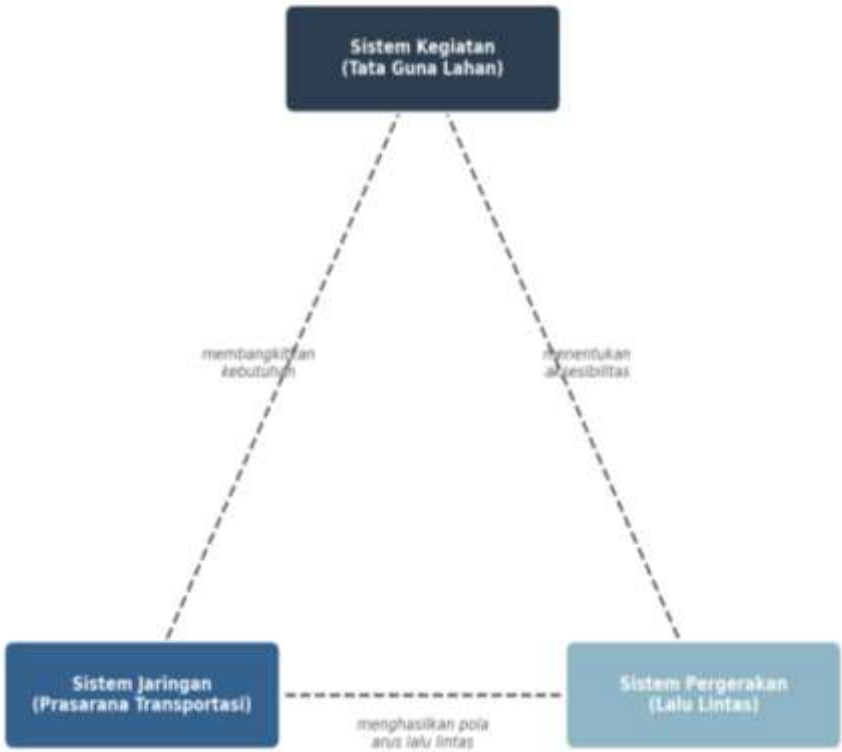
Perencanaan transportasi yang baik memerlukan alat bantu untuk memahami dan memprediksi pola pergerakan orang dan barang, baik pada kondisi eksisting maupun pada kondisi rencana. Alat bantu tersebut dikenal sebagai model transportasi, yaitu representasi sederhana dari sistem transportasi nyata yang memungkinkan perencana menganalisis hubungan sebab-akibat antara tata guna lahan, kebutuhan pergerakan, dan kinerja jaringan, tanpa harus melakukan uji coba langsung di lapangan (Ortúzar & Willumsen, 2011).

Bab ini membahas dua hal yang saling berkaitan erat, yaitu pemodelan transportasi sebagai kerangka analitis untuk memprediksi kebutuhan pergerakan, dan perencanaan jaringan transportasi sebagai proses penentuan konfigurasi prasarana yang akan menampung pergerakan tersebut. Pembahasan dimulai dari kerangka konseptual sistem transportasi, dilanjutkan dengan penjelasan rinci setiap tahap dalam model perencanaan transportasi empat tahap (bangkitan-tarikan, distribusi, pemilihan moda, dan

pembebanan jaringan), sebelum akhirnya membahas prinsip dan pendekatan perencanaan jaringan transportasi secara lebih mendalam.

3.2 Kerangka Konseptual Sistem Transportasi

Sistem transportasi secara konseptual dapat dipandang sebagai interaksi tiga subsistem, yaitu sistem kegiatan (tata guna lahan yang membangkitkan kebutuhan pergerakan), sistem jaringan (prasarana yang menampung pergerakan), dan sistem pergerakan (pola arus lalu lintas yang terjadi sebagai hasil interaksi kedua subsistem sebelumnya) (Ing *et al*., 2020). Ketiga subsistem ini saling memengaruhi secara siklis: perubahan tata guna lahan mengubah pola bangkitan perjalanan, perubahan jaringan mengubah aksesibilitas antarzona, dan perubahan pola pergerakan pada akhirnya dapat mendorong perubahan tata guna lahan baru dimasa mendatang.



Gambar 3. 1 Kerangka konseptual sistem transportasi

(Sumber: Tamin, 2000 dalam Ing et al (2020))

Kerangka inilah yang mendasari mengapa pemodelan transportasi tidak dapat dilakukan secara terpisah dari perencanaan jaringan. Model permintaan perjalanan membutuhkan data karakteristik jaringan (jarak, waktu tempuh, biaya) sebagai variabel masukan, sedangkan hasil pembebanan pada jaringan menjadi dasar evaluasi apakah suatu rencana jaringan mampu mengakomodasi kebutuhan pergerakan yang diproyeksikan.

3.3 Model Perencanaan Transportasi Empat Tahap

Pendekatan yang paling luas digunakan dalam pemodelan permintaan perjalanan adalah model perencanaan transportasi empat tahap (*four-step travel demand model*), yang pertama kali dirumuskan secara sistematis pada studi transportasi metropolitan di Amerika Serikat pada dekade 1950–1960-an dan hingga kini masih menjadi kerangka baku dalam praktik maupun akademik (Manjarekar, Adnya; Shivapur, Anand; Karjinni, 2025). Keempat tahap tersebut dilakukan secara berurutan, dengan keluaran setiap tahap menjadi masukan bagi tahap berikutnya.



Gambar 3. 2 Model perencanaan transportasi empat tahap

(Sumber: Ortúzar and Willumsen (2011))

Tabel 3. 1 Tahapan perencanaan transportasi empat tahap

Tahap	Pertanyaan yang Dijawab	Keluaran Utama
1. Bangkitan & Tarikan	Berapa banyak perjalanan yang dihasilkan/tertarik oleh setiap zona?	Jumlah perjalanan per zona (produksi & atraksi)
2. Distribusi	Ke mana perjalanan dari suatu zona akan didistribusikan?	Matriks asal-tujuan (MAT/OD Matrix)
3. Pemilihan Moda	Moda apa yang dipilih untuk setiap pasangan asal-tujuan?	Proporsi pengguna tiap moda
4. Pembebanan Jaringan	Rute mana yang dipilih dan bagaimana beban terdistribusi pada ruas?	Volume dan kinerja tiap ruas jaringan

3.3.1 Bangkitan dan Tarikan Perjalanan (*Trip Generation*)

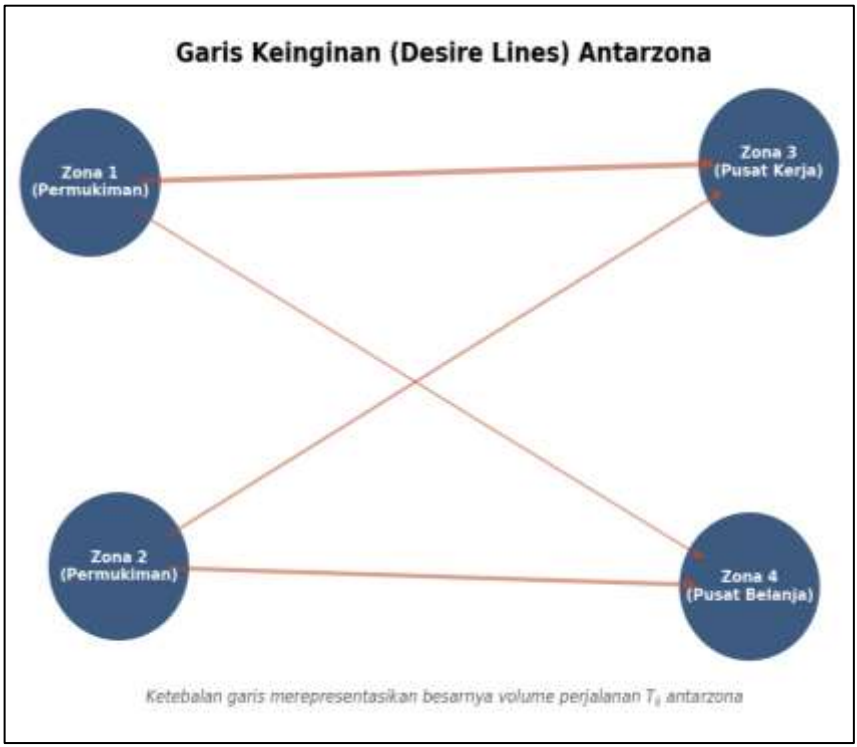
Tahap bangkitan dan tarikan perjalanan bertujuan memperkirakan jumlah pergerakan yang dihasilkan (produksi) oleh suatu zona serta jumlah pergerakan yang tertarik (atraksi) menuju zona tersebut, umumnya per satuan waktu (harian atau jam puncak) (Gündoğar & Tezcan, 2025). Besaran bangkitan perjalanan dipengaruhi oleh karakteristik sosial-ekonomi zona, seperti jumlah dan struktur rumah

tangga, kepemilikan kendaraan, serta jenis dan intensitas tata guna lahan (Aderibigbe & Gumbo, 2022). Metode yang umum digunakan mencakup analisis regresi berganda dan analisis kategori (*cross-classification*), dengan variabel bebas seperti jumlah penduduk, jumlah kendaraan, dan luas lantai kegiatan komersial (Anand *et al*., 2026).

Akurasi tahap ini sangat menentukan keandalan tahap-tahap berikutnya, karena kesalahan estimasi bangkitan perjalanan akan terbawa secara kumulatif hingga tahap pembebanan jaringan.

3.3.2 Distribusi Perjalanan (*Trip Distribution*)

Tahap distribusi perjalanan menentukan bagaimana perjalanan yang dibangkitkan oleh suatu zona asal didistribusikan ke berbagai zona tujuan, menghasilkan matriks asal-tujuan (MAT) (Behara *et al*., 2020). Pendekatan yang paling banyak digunakan adalah model gravitasi (*gravity model*), yang mengasumsikan volume perjalanan antara dua zona berbanding lurus dengan besaran bangkitan/tarikan kedua zona tersebut dan berbanding terbalik dengan suatu fungsi hambatan (jarak, waktu, atau biaya perjalanan) (González-Calderón & Ordosgoitia, 2012). Wang *et al* (2006) memberikan landasan teoretis model gravitasi melalui pendekatan maksimasi entropi, yang menunjukkan bahwa bentuk gravitasi klasik merupakan solusi optimal dari persoalan distribusi peluang perjalanan dengan kendala total bangkitan dan tarikan zona.

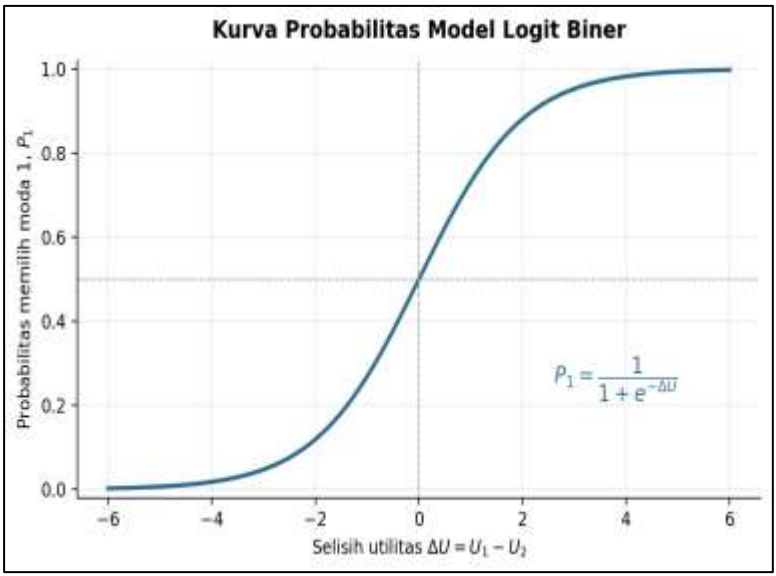


Gambar 3. 3 Ilustrasi garis keinginan (*desire lines*) hasil tahap distribusi perjalanan antarzona

Selain model gravitasi, dikenal pula metode Furness (iterasi proporsional biproporsional) untuk mengkalibrasi matriks berdasarkan data survei asal-tujuan terbatas, serta model peluang antara (*intervening opportunities*) sebagai alternatif konseptual dari pendekatan gravitasi (Nazem *et al*., 2013).

3.3.3 Pemilihan Moda (*Mode Choice*)

Tahap pemilihan moda memperkirakan proporsi perjalanan antarzona yang akan menggunakan setiap moda transportasi yang tersedia (misalnya kendaraan pribadi, angkutan umum, atau berjalan kaki) (Le Boennec *et al*., 2026). Pendekatan yang dominan digunakan adalah model pilihan diskret (*discrete choice model*) berbasis teori utilitas acak, dengan bentuk model logit sebagai yang paling banyak diterapkan karena kesederhanaan struktur matematisnya (Nova *et al*., 2025). Pada model logit biner, probabilitas seorang pelaku perjalanan memilih moda tertentu merupakan fungsi dari selisih utilitas antarmoda (Deng *et al*., 2009), sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 3.4.



Gambar 3. 4 Kurva probabilitas model logit biner terhadap selisih utilitas antarmoda

(Sumber: Deng et al. (2009)

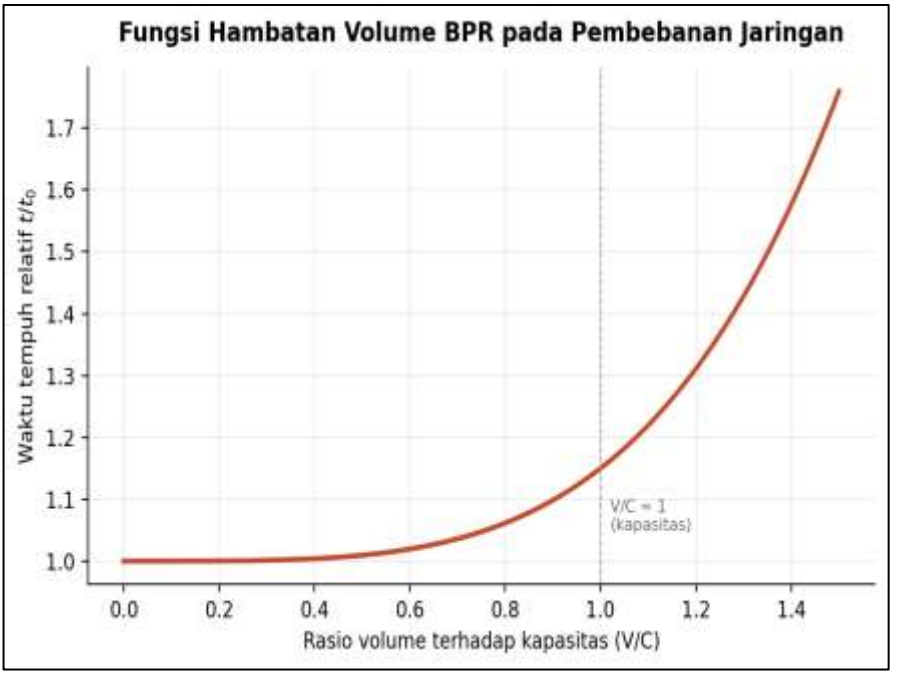
Variabel utilitas yang umum digunakan meliputi waktu tempuh, waktu tunggu, dan biaya perjalanan. Penerapan model ini banyak dijumpai pada studi kasus di Indonesia, misalnya penelitian pemilihan moda antara layanan Mikrotrans Jak Lingko dan ojek daring pada koridor Tanah Abang–Kebayoran Lama menggunakan model logit biner selisih, yang menemukan bahwa waktu tempuh dan waktu tunggu berpengaruh signifikan terhadap pilihan moda, sedangkan biaya tidak signifikan pada kasus tersebut (Indriany *et al*., 2022). Studi sejenis juga banyak dilakukan untuk perjalanan komuter antarkota, seperti pada rute Tangerang Selatan–DKI Jakarta menggunakan model multinomial logit (Indriany *et al*., 2019).

3.3.4 Pembebanan Jaringan (*Traffic Assignment*)

Tahap terakhir, pembebanan jaringan, menentukan rute yang ditempuh oleh setiap pergerakan pada matriks asal-tujuan hasil tahap sebelumnya, sekaligus menghitung volume dan kinerja pada setiap ruas jaringan (Mahmudah *et al*., 2024). Kaidah dasar pembebanan jaringan konvensional mengacu pada dua prinsip Wardrop (1952): prinsip pertama (*user equilibrium*), yang menyatakan bahwa setiap pengguna memilih rute untuk meminimalkan biaya perjalanannya sendiri sehingga pada kondisi keseimbangan seluruh rute yang digunakan antara satu pasangan asal-tujuan memiliki biaya yang sama; dan prinsip kedua (*system optimum*), yang menyatakan kondisi ideal ketika total biaya perjalanan pada seluruh sistem diminimalkan (Bagdasaryan *et al*., 2025).

Waktu tempuh pada suatu ruas jalan umumnya dimodelkan sebagai fungsi meningkat terhadap rasio volume terhadap kapasitas (V/C), dengan bentuk yang paling banyak

digunakan adalah fungsi *Bureau of Public Roads* (BPR) (Gore *et al*., 2023), sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.5.



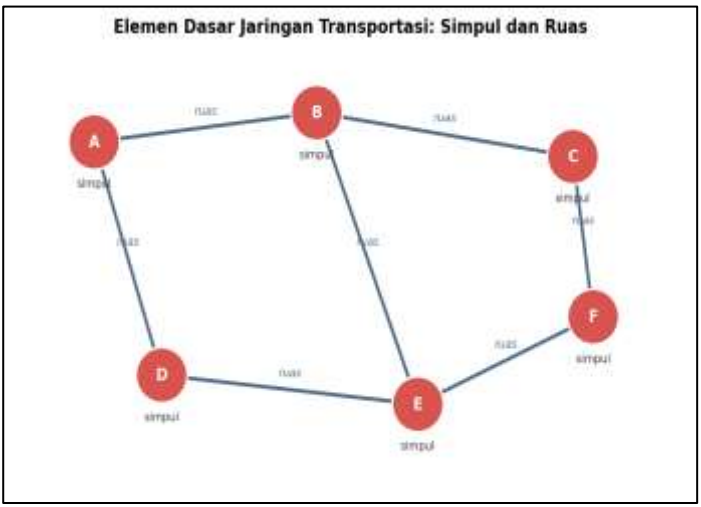
Gambar 3. 5 Fungsi hambatan volume (BPR function) yang digunakan pada tahap pembebanan jaringan

Pada rasio V/C mendekati atau melebihi 1 (kapasitas ruas), kenaikan waktu tempuh terjadi secara tidak proporsional (*nonlinier*), yang menjelaskan mengapa kemacetan pada ruas yang mendekati kapasitasnya dapat meningkat secara drastis akibat penambahan volume yang relatif kecil. Fungsi ini menjadi dasar berbagai algoritma pembebanan, mulai dari all-or-nothing assignment, incremental assignment, hingga algoritma keseimbangan seperti Frank-Wolfe untuk mencari solusi user equilibrium (Li & Wang, 2005).

3.4 Perencanaan Jaringan Transportasi

3.4.1 Konsep dan Elemen Jaringan Transportasi

Jaringan transportasi merupakan salah satu dari tiga subsistem utama dalam sistem transportasi sebagaimana dijelaskan pada bagian 3.2. Secara struktural, jaringan transportasi didefinisikan sebagai kumpulan simpul (*nodes*) yang dihubungkan oleh ruas (*links*), yang secara bersama-sama membentuk satu kesatuan sistem yang melayani pergerakan orang, barang, dan informasi dari satu lokasi ke lokasi lain (Michael, 2025). Simpul dapat berupa persimpangan, terminal, stasiun, atau pusat kegiatan, sedangkan ruas merepresentasikan prasarana penghubung seperti ruas jalan, jalur rel, atau koridor angkutan umum.



Gambar 3. 6 Elemen dasar jaringan transportasi: simpul dan ruas

(Sumber: Michael (2025))

Perencanaan jaringan transportasi (*transportation network planning*) adalah proses sistematis untuk menentukan konfigurasi, kapasitas, dan hierarki elemen-elemen jaringan agar mampu mengakomodasi kebutuhan pergerakan saat ini maupun proyeksi kebutuhan di masa mendatang, dengan mempertimbangkan efisiensi, aksesibilitas, keselamatan, dan keberlanjutan. Perencanaan ini bukan sekadar penentuan lokasi fisik prasarana, melainkan proses optimasi yang mengaitkan pola tata guna lahan, karakteristik permintaan perjalanan (hasil model empat tahap pada bagian 3.3), serta keterbatasan sumber daya pembangunan (Wadhwa, 2004).

3.4.2 Hierarki dan Klasifikasi Jaringan Jalan

Di Indonesia, klasifikasi jaringan jalan berdasarkan peran dan fungsinya diatur dalam Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan beserta peraturan turunannya, yang membagi jaringan jalan menjadi sistem primer dan sistem sekunder dengan empat kelas fungsi: arteri, kolektor, lokal, dan lingkungan. Setiap kelas fungsi merepresentasikan titik keseimbangan yang berbeda antara fungsi menerus (mobilitas jarak jauh, kecepatan tinggi) dan fungsi akses (pelayanan langsung ke persil), sebagaimana dirumuskan dalam konsep klasifikasi fungsional klasik oleh Miro (1997) dalam (D. Wang *et al*., 2018).

Tabel 3. 2. Karakteristik teknik jalan

Kelas Fungsi	Peran Utama	Karakteristik Teknis
Arteri	Melayani angkutan utama jarak jauh, kecepatan rata-rata tinggi	Jumlah jalan masuk (akses) dibatasi secara efisien
Kolektor	Mengumpulkan/membagikan pergerakan dari arteri ke lokal	Kecepatan rata-rata sedang, akses dibatasi
Lokal	Melayani angkutan setempat jarak dekat	Kecepatan rendah, akses tidak dibatasi
Lingkungan	Melayani angkutan lingkungan/permukiman	Kecepatan sangat rendah, didominasi kendaraan tidak bermotor



Gambar 3. 7 Hierarki fungsi jaringan jalan

(Sumber: PP No. 34/2006 tentang Jalan (2006))

Hierarki ini penting dalam perencanaan jaringan karena menentukan standar geometrik, kapasitas rencana, serta prioritas penanganan pada setiap ruas. Jaringan jalan yang tidak mengikuti hierarki fungsional secara konsisten cenderung menimbulkan konflik pergerakan, misalnya aktivitas akses lokal yang terjadi pada ruas arteri, yang pada akhirnya menurunkan kinerja jaringan secara keseluruhan sebagaimana diukur melalui fungsi hambatan volume pada Gambar 3.5.

3.4.3 Model dan Pendekatan Perencanaan Jaringan

Selain pendekatan empat tahap yang bersifat prediktif, literatur internasional mengembangkan kerangka *Transportation Network Design Problem* (TNDP) sebagai

formulasi optimasi matematis yang bersifat preskriptif, yaitu untuk menentukan penambahan, penghapusan, atau peningkatan kapasitas ruas jaringan. Farahani *et al*. (2013) mengklasifikasikan permasalahan ini ke dalam *Road Network Design Problem* (RNDP) dan *Public Transit Network Design Problem* (PTNDP), yang masing-masing dibedakan berdasarkan jenis keputusan (diskrit, kontinu, atau campuran), fungsi tujuan (minimasi biaya perjalanan sistem, maksimasi aksesibilitas, atau minimasi biaya pembangunan), serta metode penyelesaian yang digunakan, mulai dari pemrograman bilevel klasik hingga metaheuristik seperti algoritma genetika. Tinjauan lanjutan oleh Jia (2019) dalam (Cao *et al*., 2022) menunjukkan bahwa jaringan transportasi perkotaan secara konseptual tersusun atas empat lapisan yang saling terkait: jaringan fasilitas, jaringan rute, jaringan organisasi, dan jaringan permintaan.

- Pendekatan analitis berbasis teori graf, misalnya algoritma Dijkstra untuk penentuan rute terpendek, algoritma Kruskal/Prim untuk pohon merentang minimum dalam perancangan konektivitas jaringan baru, serta algoritma Ford–Fulkerson untuk analisis kapasitas aliran maksimum pada ruas jalan (Grujic & Grujic, 2025).
- Pendekatan berbasis aksesibilitas, yang menilai jaringan tidak hanya dari sisi kinerja lalu lintas tetapi juga kemudahan pencapaian pusat-pusat kegiatan oleh berbagai kelompok pengguna (Chen *et al*., 2007).
- Pendekatan berbasis ketahanan (*resilience*), yang mengevaluasi kemampuan jaringan mempertahankan

fungsinya ketika terjadi gangguan pada satu atau beberapa ruas/simpul (D. Wang *et al*., 2018).

3.4.4 Prinsip dan Kriteria Perencanaan Jaringan

Penyusunan jaringan transportasi yang mantap perlu memperhatikan beberapa aspek utama, sebagaimana ditekankan dalam literatur perencanaan jaringan di Indonesia (Inayah Putri *et al*., 2024), yaitu:

1. Sebaran penduduk dan kegiatan pembangunan sektoral pada wilayah perencanaan;
2. Rencana tata ruang wilayah yang telah ditetapkan sebagai acuan pengembangan jangka panjang;
3. Kebutuhan jasa transportasi antarwilayah dan antarpusat kegiatan (kota);
4. Ketersediaan dan kapasitas sarana serta prasarana transportasi eksisting; dan
5. Konektivitas antarmoda untuk mendukung pergerakan yang efisien dari asal hingga tujuan akhir.

Kelima aspek tersebut saling berkaitan dan menuntut proses perencanaan yang bersifat iteratif antara analisis kebutuhan pergerakan (model empat tahap) dan evaluasi kapasitas jaringan (perencanaan jaringan), sehingga kedua pembahasan dalam bab ini pada praktiknya tidak dapat dipisahkan satu sama lain.

3.5 Aplikasi dan Tren Terkini

Studi terapan pada skala jaringan (*network level*) semakin banyak dikembangkan di Indonesia, misalnya dalam pemrograman preservasi jalan dengan strategi penanganan

sementara pada skala jaringan menggunakan metode *Indonesian Road Management System* (IRMS) versi 3 dan *Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide* (MEPDG) 2015 (Yuliani *et al*., 2025). Studi semacam ini menunjukkan pergeseran fokus perencanaan jaringan dari sekadar perencanaan ruas individual menuju optimasi penanganan pada tingkat jaringan secara menyeluruh, dengan mempertimbangkan keterbatasan anggaran pemeliharaan.

Pada tataran global, yaitu seperti digital twin dan analisis big data sebagai sistem pendukung keputusan dalam perencanaan dan manajemen jaringan transportasi cerdas (*smart transportation planning*) (Llagostera-Brugarola *et al*., 2025). Tren ini melengkapi pendekatan model empat tahap konvensional dengan kemampuan pemantauan kondisi jaringan secara *real-time* dan simulasi skenario kebijakan sebelum diterapkan secara fisik.

DAFTAR PUSTAKA

Aderibigbe, O.-O., & Gumbo, T. (2022). Influence of Socio-economic Attributes on Travel Behaviour in the Rural Areas of Nigeria: Towards a Sustainable Rural Planning and Development. *Urban, Planning and Transport Research*, *10*(1), 181–199. https://doi.org/10.1080/21650020.2022.2072946

Anand, S., Das, P., & Bivina, G. R. (2026). Machine Learning in Household Trip Generation Modelling: A Comprehensive Review. *Archives of Computational Methods in Engineering*. https://doi.org/10.1007/s11831-026-10599-3

Bagdasaryan, A., Kalampakas, A., & Saburov, M. (2025). *Optimal Transport Flow Distribution and Construction of Wardrop Optimal Networks* (pp. 175–183). https://doi.org/10.1007/978-3-031-81244-6_13

Behara, K. N. S., Bhaskar, A., & Chung, E. (2020). A novel approach for the structural comparison of origin-destination matrices: Levenshtein distance. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, *111*, 513–530. https://doi.org/10.1016/ j.trc.2020.01.005

Cao, J., Li, J., & Hou, L. (2022). Attack research of multilayer network vulnerability in the urban transport system. In M. Xiao & L. Yu (Eds.), *International Conference on Signal Processing and Communication Security (ICSPCS 2022)* (p. 5). SPIE. https://doi.org/10.1117/12.2655174

Chen, A., Yang, C., Kongsomsaksakul, S., & Lee, M. (2007). Network-based Accessibility Measures for Vulnerability Analysis of Degradable Transportation Networks. *Networks and Spatial Economics*, *7*(3), 241–256. https://doi.org/10.1007/s11067-006-9012-5

Deng, W., Pan, Y.-R., & Guo, T.-Y. (2009). Sensitivity analysis method for increasing the passenger demands of parking and riding. *Journal of Harbin Institute of Technology (New Series)*, *16*(6), 859–862. https://www.scopus.com/pages/publications/77649199413?origin=resultslist

Farahani, R. Z., Miandoabchi, E., Szeto, W. Y., & Rashidi, H. (2013). A review of urban transportation network design problems. *European Journal of Operational Research*, *229*(2), 281–302. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.01.001

González-Calderón, C. A., & Ordosgoitia, I. S. (2012). Analysis of trip distribution modeling for different socio-economic categories at the Valle de Aburrá; [Análisis de la modelación de la distribución de viajes para diferentes categoorías socioeconómicas en el Valle de Aburrá]. *Revista Facultad de Ingenieria*, (64), 115–125. https://www.scopus.com/pages/publications/84870357776?origin=resultslist

Gore, N., Arkatkar, S., Joshi, G., & Antoniou, C. (2023). Modified Bureau of Public Roads Link Function. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, *2677*(5), 966–990. https://doi.org/10.1177/03611981221138511

Grujic, Z., & Grujic, B. (2025). Optimal Routing in Urban Road Networks: A Graph-Based Approach Using Dijkstra's Algorithm. *Applied Sciences*, *15*(8), 4162. https://doi.org/10.3390/app15084162

Gündoğar, S. Ş. K., & Tezcan, H. O. (2025). A Game Theory Approach to Trip Distribution Model: Game Distribution Model. *The Open Transportation Journal*, *19*(1). https://doi.org/10.2174/0126671212368245250102101549

Inayah Putri, D. Y., Hakim, M. S., Sugihartanto, M. F., Ardiantono, D. S., & Isnaini, F. (2024). Analysis of the Operational Potential of Multi-Modal Transportation Through Freight Rail Terminals. *2024 IEEE Technology & Engineering Management Conference - Asia Pacific (TEMSCON-ASPAC)*, 1–8. https://doi.org/10.1109/TEMSCON-ASPAC62480.2024.11024926

Indriany, S., Nabila, N., Meutia, W., & Abimanyu, M. A. (2022). ANALISIS PEMILIHAN MODA TRANSPORTASI OJEK ONLINE TERHADAP ANGKUTAN KOTA MIKROTRANS JAK LINGKO DENGAN MODEL BINOMIAL LOGIT SELISIH (STUDI KASUS PADA RUTE TANAH ABANG - KEBAYORAN LAMA). *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil Dan Perencanaan*, *5*(4), 346–356. https://doi.org/10.24815/jarsp.v5i4.28490

Indriany, S., Widyantoro, A., & W, I. W. (2019). ANALISIS PEMILIHAN MODA DENGAN MODEL MULTINOMIAL LOGIT UNTUK PERJALANAN KERJA DARI KOTA TANGERANG SELATAN-DKI JAKARTA. *Portal: Jurnal Teknik Sipil*, *10*(1). https://doi.org/10.30811/portal.v10i1.972

Ing, T. L., Doktor, M. P., Tarumanagara, U., Barat, J., Tamin, O. Z., Besar, G., Sipil, T., Huwi, W., Selatan, K. L., Sipil, D. T., Tarumanagara, U., & Barat, J. (2020). *PEMILIHAN MODA TRANSPORTASI*. 23–24.

Le Boennec, R., Selem, F. H., Khodabandelou, G., & Berrada, J. (2026). How to identify factors influencing mode choice behaviors within a heterogeneous metropolitan area? A novel approach midway between data science and econometrics. *Regional Science Policy & Practice*, *18*(4), 100291. https://doi.org/10.1016/j.rspp.2026.100291

Li, F., & Wang, S.-N. (2005). Solution for route traffic flows based on frank-wolfe algorithm. *Jilin Daxue Xuebao (Gongxueban)/Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition)*, *35*(6), 632–636. https://www.scopus.com/pages/publications/30044440411?origin=resultslist

Llagostera-Brugarola, E., Corpas-Marco, E., Victorio-Vergel, C., Lopez-Aguilera, E., Vázquez-Gallego, F., & Alonso-Zarate, J. (2025). A Digital Twin for Intelligent Transportation Systems in Interurban Scenarios. *Applied Sciences*, *15*(13), 7454. https://doi.org/10.3390/app15137454

Mahmudah, A. M. H., Hartono, W., Lestari, R., Rachmawati, S., & Septiasworo, D. V. (2024). The model validation for trip assignment using all or nothing and user's equilibrium method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1294*(1), 012007. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1294/1/012007

Manjarekar, Adnya; Shivapur, Anand; Karjinni, V. (2025). Systematic Literature Review on the Four Step Travel Demand Model (FSM) and its Feasibility for Bi nuclei Cities Context. *International Journal of Civil Engineering*, *12*(7). https://doi.org/10.14445/23488352/IJCE-V12I7P103

Michael, K. (2025). Transit Types and Practices. In *The Routledge Handbook of Urban Design Practice* (pp. 315–326). Routledge. https://doi.org/10.4324/9781003013655-39

Nazem, M., Trépanier, M., & Morency, C. (2013). Integrated Intervening Opportunities Model for Public Transit Trip Generation–Distribution. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, *2350*(1), 47–57. https://doi.org/10.3141/2350-06

Nova, G., Guevara, C. A., Hess, S., & Hancock, T. O. (2025). A random utility maximisation model considering the information search process. *Transportation Research Part B: Methodological*, *199*, 103264. https://doi.org/10.1016/j.trb.2025.103264

Ortúzar, J. de D., & Willumsen, L. G. (2011). *Modelling Transport*. Wiley. https://doi.org/10.1002/9781119993308

Permen PUPR. (2006). *UU No. 382004 dan PP No. 34 Tahun 2006 tentang Jalan*.

Wadhwa, L. C. (2004). Public transport developments in integrated transport and land use planning in the three largest Australian cities. *WIT Transactions on the Built Environment*, *75*, 63–72. https://www.scopus.com/pages/publications/84903487083?origin=resultslist

Wang, D.-H., Yao, R.-H., & Jing, C. (2006). Entropy models of trip distribution. *Journal of Urban Planning and Development*, *132*(1), 29–35. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9488(2006)132:1(29)

Wang, D., Li, H., Zhang, K., & Yan, Y. (2018). A Review of Road Functional Classification Problems. *CICTP 2018*, 2468–2476. https://doi.org/10.1061/9780784481523.244

Yuliani, G., Hariyadi, E. S., & Sjafruddin, A. (2025). Analisis Pemrograman Preservasi Jalan dengan Strategi Penanganan Sementara (Back-fall Strategy) Skala Jaringan menggunakan Metode IRMS V.3 dan MEPDG 2015. *Jurnal Teknik Sipil*, *32*(2), 233–244. https://doi.org/10.5614/jts.2025.32.2.11

BAB 4
PERENCANAAN TRANSPORTASI PUBLIK DAN INTEGRASI MODA

Oleh Anton Kaharu

4.1 Evolusi Sistem Transportasi Perkotaan

Dinamika urbanisasi global pada abad ke-21 telah menempatkan sektor transportasi pada posisi sentral dalam pembangunan berkelanjutan. Pertumbuhan populasi perkotaan yang pesat, jika tidak diimbangi dengan penyediaan infrastruktur transportasi massal yang andal, secara konsisten memicu eskalasi kemacetan, polusi udara, pemborosan energi, dan penurunan kualitas hidup masyarakat urban (Vuchic, 2007; Litman, 2020). Paradigma pembangunan transportasi konvensional yang berfokus pada penyediaan ruang bagi kendaraan pribadi (*car-centric planning*) terbukti memicu lingkaran setan (*vicious cycle*) berupa ketertinggalan kapasitas jalan terhadap pertumbuhan kendaraan (Cervero, 1998).

Sebagai respons terhadap krisis aksesibilitas dan keberlanjutan perkotaan, perencanaan transportasi publik modern bergeser menuju pendekatan yang berpusat pada manusia (*human-centric mobility*). Konsep integrasi moda, keberlanjutan transit massal, dan keterpaduan tata guna lahan menjadi pilar utama dalam merancang sistem

transportasi publik masa depan. Bab ini menyajikan kajian komprehensif mengenai prinsip dasar perencanaan transportasi publik, karakteristik teknis dan operasional sistem transit massal (BRT, LRT, MRT), analisis aksesibilitas dan konektivitas antarmoda, serta implementasi konsep Transit-Oriented Development (TOD) dalam konteks transformasi perkotaan.



Gambar 4. 1 Evolusi Sistem Transportasi Perkotaan

4.2 Sistem Transit Massal: BRT, LRT, dan MRT

Sistem transit massal merupakan tulang punggung (backbone) dari jaringan transportasi publik perkotaan berkapasitas tinggi. Berdasarkan karakteristik teknis, infrastruktur, kapasitas, dan biaya investasinya, moda transit massal secara umum dikategorikan menjadi tiga bentuk utama: Bus Rapid Transit (BRT), Light Rail Transit (LRT), dan Mass Rapid Transit (MRT) atau Heavy Rail Transit (HRT) (Vuchic, 2007; Wright & Hook, 2007).

4.2.1 Bus Rapid Transit (BRT)

BRT adalah sistem transit berbasis bus berkinerja tinggi yang dirancang untuk menyamai kapasitas dan kualitas layanan sistem kereta api dengan biaya investasi yang jauh lebih efisien (Wright & Hook, 2007). Unsur-unsur kunci yang membedakan BRT dari sistem bus konvensional meliputi:

- Jalur Khusus Steril (*Dedicated Right-of-Way*): Penggunaan jalur terpisah yang diproteksi secara fisik dari lalu lintas umum untuk menjamin kecepatan operasional dan ketepatan waktu.
- Pembayaran Off-Board: Proses pemungutan tarif dilakukan di stasiun/halte sebelum penumpang naik ke bus untuk mempercepat waktu berhenti (*dwell time*).
- Lantai Halte dan Bus Sejajar (*Level Boarding*): Ketinggian peron halte yang disesuaikan dengan lantai bus untuk memudahkan aksesibilitas seluruh penumpang, termasuk penyandang disabilitas.
- Prioritas Sinyal Lalu Lintas (*Transit Signal Priority*): Pengaturan sinyal lalu lintas yang memberikan prioritas hijau bagi armada BRT di persimpangan.

4.2.2 Light Rail Transit (LRT)

LRT merupakan sistem transit berbasis rel ringan berkapasitas sedang (*medium capacity*) yang menggunakan kereta bertenaga listrik. LRT memiliki fleksibilitas operasional yang tinggi karena dapat dioperasikan pada jalur terpisah (*grade-separated*) maupun pada jalur perlintasan sebidang (*at-grade*) bersama lalu lintas jalan raya (Vuchic, 2007). Keunggulan utama LRT terletak pada kenyamanan berkendara, tingkat emisi nol di lokasi operasional, dan daya tarik visual yang mampu mendorong revitalisasi kawasan perkotaan

4.2.3 Mass Rapid Transit (MRT) / Heavy Rail

MRT atau Metro Systems adalah moda transit berkapasitas sangat tinggi (*high capacity*) yang beroperasi penuh pada jalur steril tanpa perlintasan sebidang (*fully grade-separated*), baik dalam bentuk terowongan bawah tanah (*underground*) maupun jalur layang (*elevated*) (Vuchic, 2007). MRT dirancang untuk melayani koridor-koridor utama perkotaan dengan kepadatan penumpang yang sangat tinggi, menawarkan kecepatan tinggi, frekuensi padat, dan tingkat keandalan operasional maksimum.

Tabel 4. 1 Komparasi Matriks Teknis dan Operasional BRT, LRT, dan MRT

Kriteria Analisis	Bus Rapid Transit (BRT)	Light Rail Transit (LRT)	Mass Rapid Transit (MRT)
Kapasitas (PPHPD)*	10.000 – 45.000	12.000 – 30.000	30.000 – 80.000+
Kecepatan Komersial	18 – 30 km/jam	25 – 45 km/jam	35 – 60 km/jam

Kriteria Analisis	Bus Rapid Transit (BRT)	Light Rail Transit (LRT)	Mass Rapid Transit (MRT)
Hak Jalan (Right-of-Way)	Kategori B (Jalur Khusus/Terpisah)	Kategori B / A (Terpisah / Layang)	Kategori A (Steril Total Bawah Tanah/Layang)
Biaya Investasi (per km)	US$ 2 - 15 Juta	US$ 25 - 60 Juta	US$ 80 - 250+ Juta
Biaya Operasional	Sedang	Sedang - Rendah (per pax)	Sangat Rendah (skala ekonomi tinggi)
Fleksibilitas Rute	Sangat Tinggi	Rendah	Sangat Rendah (Infrastruktur Permanen)

**PPHPD: Passengers Per Hour Per Direction (Penumpang per Jam per Arah).*



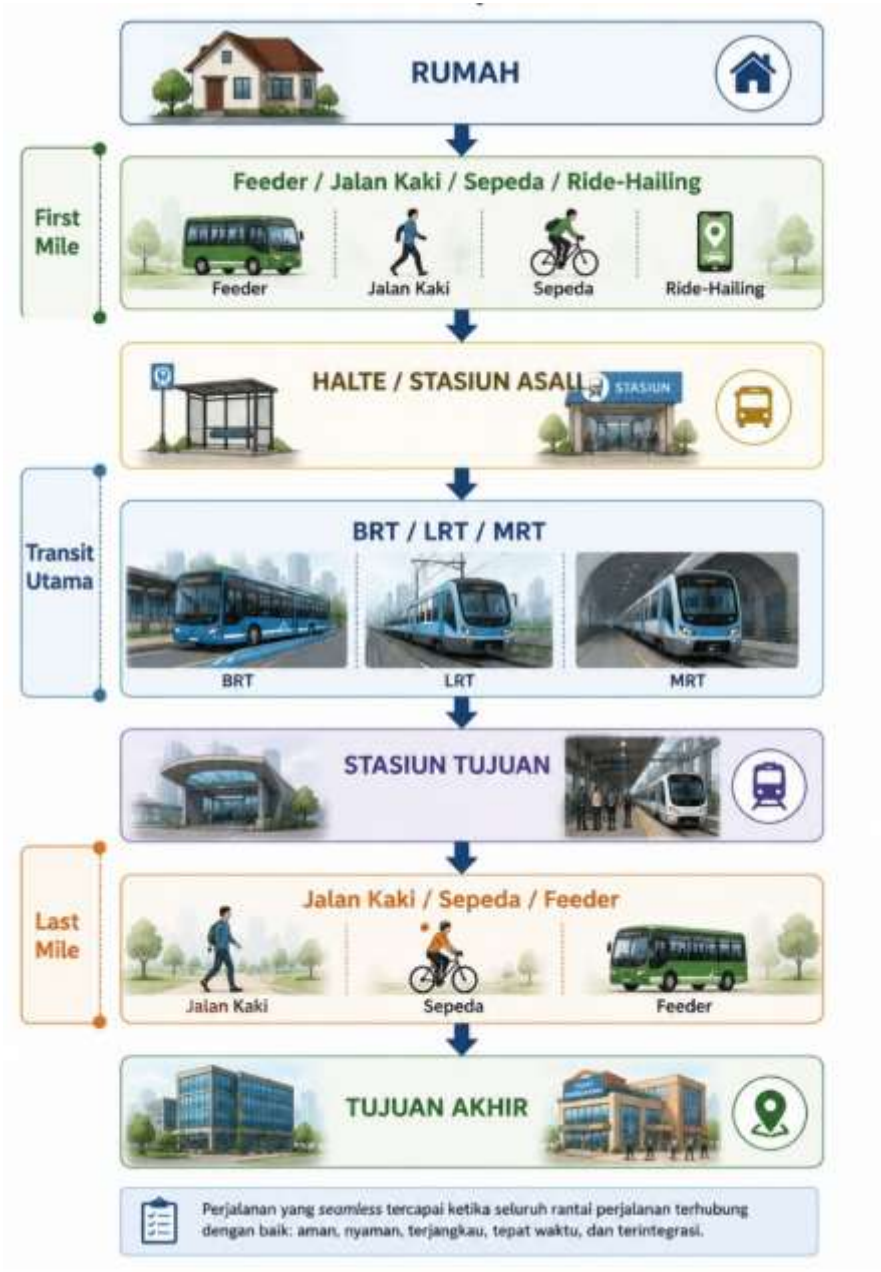
Gambar 4. 2 Perbandingan Tipologi Transit Massal

4.3 Aksesibilitas dan Konektivitas Antarmoda

Aksesibilitas dalam sistem transportasi mendefinisikan kemudahan individu untuk mencapai lokasi tujuan atau fasilitas pelayanan sosial-ekonomi menggunakan moda transportasi tertentu (Geurs & van Wee, 2004). Dalam perencanaan transportasi publik, peningkatan aksesibilitas ditentukan oleh efisiensi rantai perjalanan end-to-end, yang sangat bergantung pada konektivitas antarmoda.

4.3.1 Isu Perjalanan Awal dan Akhir (*First-Mile/Last-Mile Connection*)

Salah satu hambatan utama yang mengurangi efektivitas sistem transit massal adalah kendala sambungan *first-mile* (jarak dari titik asal menuju stasiun/halte) dan *last-mile* (jarak dari stasiun/halte menuju titik tujuan akhir). Perjalanan *first-mile/last-mile* umumnya dilakukan dengan berjalan kaki, bersepeda, menggunakan moda feeder (umpan), atau moda transportasi berbasis aplikasi (*ride-hailing*). Jika kualitas fasilitas pejalan kaki (*pedestrianways*) buruk atau moda umpan tidak tersedia secara andal, maka minat masyarakat untuk menggunakan transit massal akan turun secara signifikan (Cervero, 2001; Litman, 2020).



Gambar 4. 3 Rantai Perjalanan End-to-End

4.3.2 Dimensi Integrasi Transportasi Publik

Untuk mewujudkan konektivitas antarmoda yang mulus (*seamless connectivity*), perencanaan transportasi publik wajib mengintegrasikan empat dimensi utama (Luk & Olszewski, 2003):

1. Integrasi Fisik: Penyediaan fasilitas interchange atau stasiun terpadu yang meminimalkan jarak pindah moda (*walking transfer distance*), dilengkapi fasilitas penyeberangan yang aman, eskalator, elevator, serta petunjuk arah (*wayfinding*) yang jelas.
2. Integrasi Jadwal dan Operasional: Synchronisasi jadwal keberangkatan dan kedatangan antar moda utama dan moda feeder untuk meminimalkan waktu tunggu (*transfer waiting time*).
3. Integrasi Tarif dan Pembayaran: Penerapan sistem tiket elektronik terpadu (*smart card*/*contactless payment*) dengan struktur tarif terintegrasi (misalnya tarif zonal atau tarif berbasis jarak tanpa penalti biaya masuk ulang) yang memungkinkan penumpang menggunakan satu tiket untuk seluruh moda.
4. Integrasi Informasi: Penyediaan sistem informasi penumpang real-time (*Real-Time Passenger Information Systems* - RTPIS) melalui aplikasi digital terpadu yang memuat rute, estimasi waktu kedatangan (ETA), dan kondisi operasional seluruh moda.



Gambar 4. 4 Model Integrasi Transportasi Publik

4.4 Pengembangan Kawasan Berbasis Transit (*Transit-Oriented Development* - TOD)

Transit-Oriented Development (TOD) adalah paradigma perencanaan tata guna lahan dan transportasi yang mendorong terciptanya kawasan hunian dan komersial berkepadatan tinggi, berintegrasi secara fungsional dengan stasiun transit utama, serta didesain untuk ramah bagi pejalan kaki dan pesepeda (Cervero *et al*., 2004; Calthorpe, 1993).

4.4.1 Prinsip Dasar TOD (Kerangka 3D / 8D)

Secara klasik, kualitas ruang TOD diukur berdasarkan prinsip *3D* yang dikembangkan oleh Cervero dan Kockelman (1997), yang kemudian diperluas menjadi prinsip *8D* oleh *Institute for Transportation and Development Policy* (ITDP, 2017):

- Density (Kepadatan): Mengoptimalkan Koefisien Lantai Bangunan (KLB) dan Kepadatan Penduduk di sekitar stasiun (radius 400 - 800 meter).
- Diversity (Guna Lahan Campuran / Mixed-Use): Menggabungkan fungsi hunian, perkantoran, area komersial, publik, dan rekreasi dalam satu kawasan untuk meminimalkan kebutuhan perjalanan jarak jauh.
- Design (Desain Perkotaan): Menciptakan lingkungan pedestrian yang aman, nyaman, dan menarik melalui penyediaan trotoar lebar, peneduh, serta fasad bangunan yang aktif (*active frontage*).
- Destination Accessibility (Aksesibilitas Tujuan): Kemudahan akses jaringan menuju pusat-pusat kegiatan regional.
- Distance to Transit (Jarak ke Stasiun): Penataan ruang yang memastikan mayoritas titik kegiatan berada dalam jarak tempuh berjalan kaki singkat (< 10 menit) dari stasiun.
- Demographics (Demografi): Penyediaan hunian yang terjangkau (*inclusive housing*) bagi berbagai tingkat pendapatan di kawasan transit.
- Demand Management (Manajemen Permintaan): Pembatasan penyediaan ruang parkir mobil (*parking maximums*) untuk mendorong peralihan menuju moda transit.
- Diversity of Transit (Ragam Transit): Ketersediaan berbagai pilihan moda pengumpan dan moda mikro di sekitar stasiun.



Gambar 4. 5 Model Konseptual TOD

4.4.2 Manfaat Strategis Implementasi TOD

Implementasi TOD memberikan dampak transformatif multidimensional:

- Manfaat Lingkungan: Penurunan signifikan konsumsi bahan bakar fosil, reduksi emisi gas rumah kaca (GRK), dan pengurangan jejak karbon perkotaan.
- Manfaat Ekonomi: Peningkatan nilai lahan (*land value capture*), penghematan biaya transportasi rumah tangga, dan peningkatan efisiensi logistik kota.
- Manfaat Sosial: Mendorong inklusivitas mobilitas bagi kelompok masyarakat berpendapatan rendah, lansia, dan penyandang disabilitas yang tidak memiliki akses terhadap kendaraan pribadi.

4.5 Studi Kasus dan Pembelajaran Praktis

4.5.1 Bogota, Kolombia (TransMilenio)

Sistem BRT TransMilenio di Bogota yang diluncurkan pada tahun 2000 menjadi tolok ukur global perencanaan sistem BRT skala besar. Dengan mengimplementasikan stasiun berkapasitas tinggi, jalur ganda khusus bus, dan integrasi feeder yang efisien, TransMilenio mampu mengangkut lebih dari 2,2 juta penumpang per hari dengan biaya investasi hanya sepertiga dari sistem LRT (Wright & Hook, 2007). Keberhasilan Bogota membuktikan bahwa inovasi sistemik pada moda bus dapat memberikan kinerja setara sistem berbasis rel.

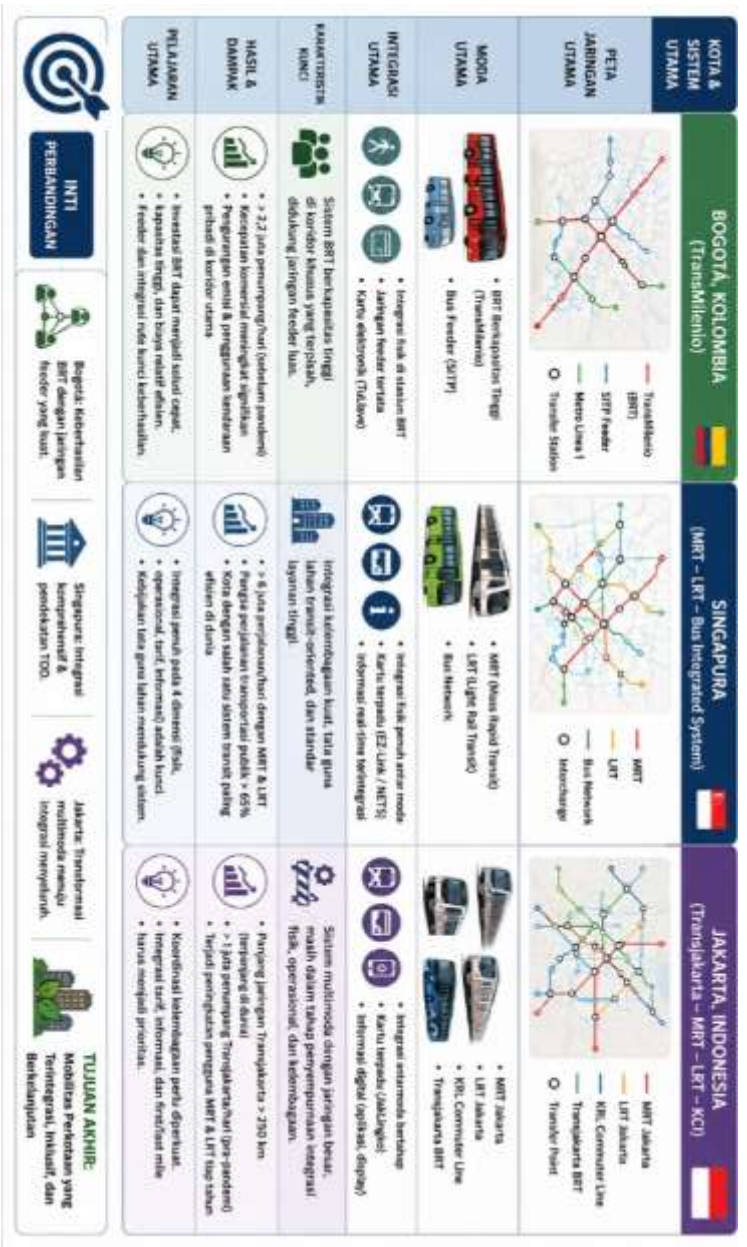
4.5.2 Singapura (LTA Master Plan & TOD Model)

Singapura merepresentasikan keberhasilan integrasi moda dan TOD tingkat tinggi di Asia. *Land Transport Authority* (LTA) mengintegrasikan jaringan MRT, LRT, dan Bus melalui *Integrated Transport Hubs* (ITH) yang menyatu langsung

dengan pusat perbelanjaan dan hunian publik (*HDB flats*). Penerapan pembayaran terpadu (EZ-Link) dan kebijakan pengendalian kendaraan pribadi melalui *Electronic Road Pricing* (ERP) memperkuat keberhasilan integrasi transportasi publik di Singapura (Cervero *et al*., 2004).

4.5.3 Jakarta, Indonesia (Transjakarta, MRT, LRT, dan JakLingko)

Dalam konteks megapolitan berkembang, Jakarta menunjukkan transformasi signifikan. Transjakarta merupakan sistem BRT terpanjang di dunia (lebih dari 250 km koridor). Pengoperasian MRT Jakarta Koridor Utara-Selatan (2019) dan LRT Jabodebek (2023) yang dipadukan dengan program integrasi tarif dan pengumpan (*JakLingko*) telah merevolusi lanskap mobilitas Jakarta. Tantangan utama yang masih dihadapi adalah penataan kawasan TOD di sekitar stasiun yang memerlukan fleksibilitas regulasi tata ruang dan peningkatan aksesibilitas pejalan kaki di wilayah pendukung (*hinterland*).



Gambar 4. 6 Perbandingan Studi Kasus Integrasi Transportasi Publik

4.5.4 Matriks Sintesis Integrasi Sistem Perencanaan Transportasi

Tabel 4. 2 Matriks Integrasi Sistem Perencanaan Transportasi Publik dan TOD.

Komponen Integrasi	Indikator Kinerja Utama (KPI)	Tantangan Implementasi	Solusi Perencanaan / Kebijakan
Fisik & Spatial	Jarak alih moda < 100 m; Ketersediaan trotoar standar ramah disabilitas.	Keterbatasan lahan di sekitar kawasan stasiun lama/padat.	Penerapan konsolidasi lahan, hak guna bangunan vertikal, dan koneksi (*skywalk/under ground*).
Operasional & Jadwal	Waktu tunggu alih moda (*headway*) < 5 menit pada jam puncak.	Keterlambatan armada bus akibat interaksi lalu lintas sebidang.	Sterilisasi penuh jalur BRT dan penerapan *Transit Signal Priority* (TSP).
Tarif & Tiket	Penerapan 1 kartu/aplikasi untuk seluruh moda (*Integrated Fares*).	Ego sektoral antar-operator transportasi publik (BUMN, BUMD, Swasta).	Pembentukan lembaga otoritas pengelola transportasi terpadu (*Transport Authority*).
Tata Guna Lahan (TOD)	Persentase kawasan guna lahan campuran dalam radius 500m dari stasiun > 60%.	Regulasi Koefisien Lantai Bangunan (KLB) yang kaku dan Spekulasi harga tanah.	Inisiatif zonasi khusus TOD (*Incentive Zoning*) dan mekanisme *Land Value Capture* (LVC).

4.6 Kebijakan Strategis dan Arah Masa Depan

Menghadapi era disrupsi teknologi dan perubahan iklim, perencanaan transportasi publik dan integrasi moda perlu diarahkan pada strategi-strategi kunci berikut:

1. Pembentukan Otoritas Transportasi Perkotaan Tunggal (Single Urban Transport Authority): Pengelolaan transportasi lintas batas administratif membutuhkan institusi yang memiliki kewenangan penuh dalam merencanakan, mengatur, dan mengintegrasikan rute, tarif, serta investasi infrastruktur.
2. Penerapan Mobility as a Service (MaaS): Pengintegrasian berbagai layanan transportasi publik dan swasta ke dalam satu platform digital tunggal yang memungkinkan pengguna merencanakan, memesan, dan membayar seluruh perjalanan dalam satu transaksi.
3. Penerapan Mekanisme Land Value Capture (LVC): Menggunakan peningkatan nilai tanah yang dihasilkan dari pembangunan infrastruktur transit massal untuk mendanai kembali operasional dan pemeliharaan jaringan transportasi publik.
4. Elektrifikasi Armada dan Transisi Energi Hijau: Mempercepat konversi bus dan kereta ke energi listrik untuk mendukung pencapaian target (*Net Zero Emission*) di sektor transportasi perkotaan.



Gambar 4. 7 Arsitektur Masa Depan Transportasi Publik

DAFTAR PUSTAKA

Calthorpe, P. (1993). The Next American Metropolis: Ecology, Community, and the American Dream. New York: Princeton Architectural Press.

Cervero, R. (1998). The Transit Metropolis: A Global Inquiry. Washington, D.C.: Island Press.

Cervero, R. (2001). Integration of transport and land-use planning: Experiences of progressive cities. Environment and Urbanization Asia, 2(1), 1–16.

Cervero, R., & Kockelman, K. (1997). Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2(3), 199–219.

Cervero, R., Murphy, S., Ferrell, C., & Goguts, N. (2004). Transit-Oriented Development in the United States: Experiences, Challenges, and Prospects (TCRP Report 102). Washington, D.C.: Transportation Research Board.

Geurs, K. T., & van Wee, B. (2004). Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: Review and research directions. Journal of Transport Geography, 12(2), 127–140.

ITDP. (2017). TOD Standard (3rd ed.). New York: Institute for Transportation and Development Policy.

Litman, T. (2020). Evaluating Public Transit Benefits and Costs. Victoria: Victoria Transport Policy Institute.

Luk, J., & Olszewski, P. (2003). Integrated public transport systems: Elements and infrastructure. Road & Transport Research, 12(3), 41–54.

Vuchic, V. R. (2007). Urban Transit Systems and Technology. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.

Wright, L., & Hook, W. (Eds.). (2007). Bus Rapid Transit Planning Guide (3rd ed.). New York: Institute for Transportation and Development

BAB 5
PERENCANAAN TRANSPORTASI BARANG DAN SISTEM JARINGAN JALAN

Oleh Muhammad Djaya Bakri

5.1 Transportasi Barang

5.1.1 Peran Transportasi Barang Dalam Pengembangan Infrastruktur

Transportasi barang merupakan bagian penting dari sistem transportasi karena arus komoditas terjadi akibat dari kebutuhan produksi, perdagangan, konsumsi, dan distribusi wilayah. Barang berpindah karena terdapat perbedaan lokasi antara bahan baku, pusat pengolahan, gudang, pasar, pelabuhan, terminal, dan konsumen akhir. Pergerakan tersebut tidak terjadi sebagai tujuan tunggal, melainkan sebagai akibat dari kegiatan ekonomi yang tersebar dalam ruang. Transportasi berfungsi mengurangi hambatan jarak melalui penyediaan sarana, prasarana, jaringan, dan pelayanan yang menghubungkan asal dan tujuan barang secara terukur (Tamin, 2008; Rodrigue dan Ducruet, 2024).

Dalam pengembangan infrastruktur, transportasi barang berperan sebagai penghubung antara pusat produksi dan pusat konsumsi. Jalan yang memadai mempersingkat

waktu tempuh, menekan biaya distribusi, menjaga kualitas komoditas, serta memperluas akses pasar bagi wilayah produksi. Pada wilayah pertanian, perkebunan, pertambangan, dan industri, kondisi jaringan jalan menentukan kelancaran arus input dan output. Jalan produksi yang rusak, akses kawasan yang sempit, atau hubungan antarkoridor yang terputus dapat menaikkan biaya logistik dan menurunkan daya saing wilayah. Keadaan tersebut terlihat pada banyak wilayah yang memiliki potensi sumber daya, tetapi belum didukung prasarana distribusi yang memadai (Bakri *et al.*, 2026).

Transportasi barang juga berhubungan erat dengan rantai pasok. Kelancaran arus bahan baku, barang setengah jadi, dan produk akhir memerlukan jaringan yang dapat menghubungkan simpul produksi, simpul konsolidasi, serta simpul pemasaran. Ketika jaringan jalan tidak mampu melayani volume kendaraan barang, dampaknya tidak berhenti pada kemacetan. Harga komoditas dapat naik karena biaya operasi kendaraan, waktu tunggu, konsumsi bahan bakar, serta ketidakpastian waktu kirim ikut meningkat. Dalam konteks logistik modern, kualitas sistem transportasi tidak hanya dinilai dari ketersediaan jalan, tetapi juga dari kemampuan jaringan menjamin reliabilitas, konektivitas, keselamatan, dan efisiensi biaya (Beresford *et al.*, 2021; Holguin-Veras *et al.*, 2021).

Perbedaan antara pergerakan orang dan barang perlu dikenali sejak awal. Pergerakan orang lazim dipengaruhi oleh aktivitas harian seperti bekerja, sekolah, belanja, rekreasi, dan layanan publik. Arus barang dipengaruhi oleh jenis komoditas, lokasi produksi, ukuran muatan, frekuensi pengiriman, rantai distribusi, waktu operasi, serta karakter

kendaraan. Komoditas mudah rusak memerlukan waktu tempuh yang pasti, komoditas berat memerlukan jalan dengan daya dukung memadai, dan barang khusus memerlukan aturan keselamatan tertentu. Perencanaan jaringan jalan untuk angkutan barang harus membaca unsur teknis dan ekonomi tersebut secara bersama (Holguin-Veras *et al.*, 2021).

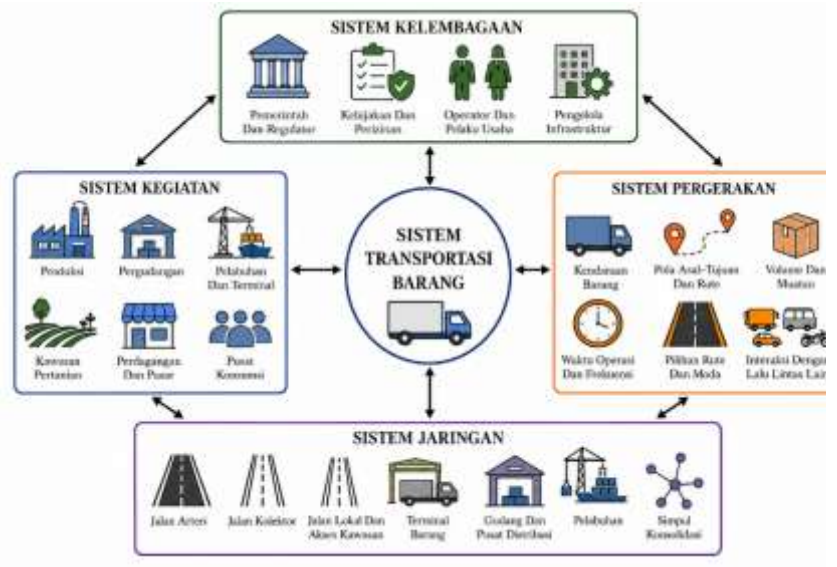
5.1.2 Transportasi Barang dalam Sistem Transportasi Makro

Transportasi barang dapat dianalisis melalui empat unsur utama, yaitu sistem kegiatan, sistem jaringan, sistem pergerakan, dan sistem kelembagaan. Sistem kegiatan memuat lokasi produksi, perdagangan, pergudangan, kawasan industri, kawasan pertanian, pelabuhan, terminal, serta pusat konsumsi. Sistem jaringan mencakup jalan arteri, kolektor, lokal, akses kawasan, terminal barang, gudang, pelabuhan, dan simpul konsolidasi. Sistem pergerakan mencakup arus kendaraan barang, volume muatan, pola asal–tujuan, pilihan rute, dan interaksi dengan lalu lintas lain. Sistem kelembagaan mengatur kebijakan, perizinan, pengawasan, standar teknis, dan koordinasi antarpemangku kepentingan(Tamin, 2008; Bakri, 2016).

Keempat unsur tersebut saling memengaruhi. Pertumbuhan kawasan industri menaikkan volume kendaraan barang pada ruas tertentu. Pembukaan sentra produksi baru memerlukan akses ke koridor utama. Perubahan kelas jalan atau pembatasan kendaraan berat dapat mengubah rute distribusi. Kebijakan tata ruang yang tidak selaras dengan jaringan transportasi dapat menimbulkan titik konflik antara kendaraan barang dan

aktivitas perkotaan. Sistem transportasi barang yang baik memerlukan keterhubungan logis antara lokasi kegiatan, kapasitas jaringan, pola arus, serta perangkat pengaturan (Roman, 2022).

Hubungan antarkomponen dalam sistem transportasi barang dapat seperti dilustrasikan pada Gambar 5.1.



Gambar 5. 1 Keterkaitan Komponen dalam Sistem Transportasi Barang
(Sumber: Data Primer, 2026)

Gambar 5.1 memperlihatkan bahwa sistem transportasi barang merupakan suatu kesatuan yang dibangun oleh empat komponen utama yang saling memengaruhi. Sistem kegiatan menghasilkan kebutuhan distribusi barang dari berbagai pusat produksi, kawasan industri, gudang, dan pasar. Kebutuhan tersebut digambarkan menjadi arus distribusi melalui sistem pergerakan yang berlangsung pada sistem

jaringan berupa jalan, terminal barang, dan simpul logistik. Seluruh proses tersebut berada dalam kerangka sistem kelembagaan yang mengatur kebijakan, standar pelayanan, pengelolaan infrastruktur, serta koordinasi antarpemangku kepentingan. Keterkaitan tersebut menunjukkan bahwa perubahan pada satu komponen akan memengaruhi kinerja keseluruhan sistem transportasi barang sehingga seluruh elemen perlu direncanakan secara terpadu agar pola distribusi dan jaringan jalan membentuk sinergitas yang andal dalam mendukung arus dan distribusi logistik.

Dalam wilayah perkotaan, sistem transportasi barang sering berhadapan dengan kepadatan aktivitas ruang. Jalan yang sama digunakan oleh kendaraan pribadi, angkutan umum, sepeda motor, pejalan kaki, kendaraan logistik, dan kendaraan berat. Aktivitas pasar, parkir tepi jalan, bongkar muat, persimpangan padat, serta hambatan samping dapat menurunkan kapasitas efektif ruas. Pada wilayah antarkota atau kabupaten, persoalan yang sering muncul berupa ketidaksesuaian kelas jalan, kondisi perkerasan yang lemah, lebar jalan terbatas, dan belum tersedianya jalur penghubung ke sentra produksi. Karakter persoalan berbeda, tetapi kebutuhan analisis tetap sama: mengenali hubungan antara kegiatan ekonomi dan kemampuan jaringan (Bakri *et al.*, 2026).

5.1.3 Permasalahan Umum Transportasi Barang Pada Jaringan Jalan

Persoalan utama transportasi barang pada jaringan jalan muncul ketika volume, dimensi, dan karakter operasi kendaraan tidak sepadan dengan fungsi ruas. Kendaraan berat yang melintasi jalan lokal dapat mempercepat

kerusakan perkerasan dan mengganggu aktivitas permukiman. Kendaraan barang yang berhenti di badan jalan untuk bongkar muat dapat menurunkan kapasitas. Campuran lalu lintas antara kendaraan berat, kendaraan ringan, sepeda motor, dan angkutan umum dapat menurunkan kecepatan operasi serta meningkatkan risiko kecelakaan. Kondisi tersebut makin rumit ketika belum ada rute angkutan barang yang diatur secara jelas.

Permasalahan lain berkaitan dengan pertumbuhan kendaraan yang lebih cepat daripada peningkatan kapasitas jaringan. Banyak kota menghadapi kemacetan karena pertambahan kendaraan tidak diimbangi pelebaran, peningkatan geometrik, pengendalian parkir, dan pengaturan simpang. Pada konteks barang, persoalan tersebut berdampak langsung pada biaya logistik. Waktu tempuh yang tidak pasti menurunkan produktivitas armada, memperpanjang jadwal kirim, dan dapat mengganggu rantai pasok. Sistem distribusi barang yang tidak teratur juga meningkatkan emisi dan kebisingan karena kendaraan lebih lama berada di jaringan (Borca *et al*., 2021).

5.2 Karakteristik Transportasi Barang dan Kebutuhan Jaringan Jalan

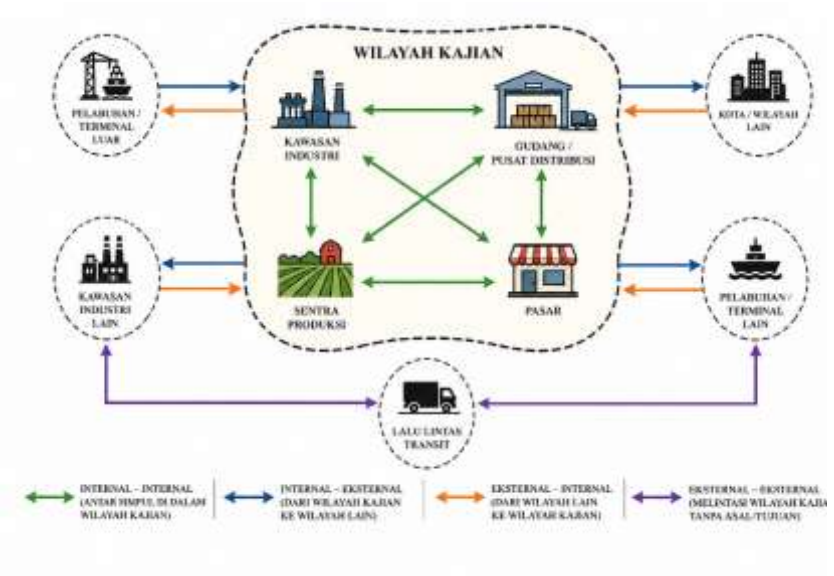
5.2.1 Permintaan Transportasi Barang dan Pola Asal–Tujuan

Permintaan transportasi barang perlu dilihat melalui lokasi asal, lokasi tujuan, volume, komoditas, jenis kendaraan, dan waktu operasi. Lokasi asal dapat berupa kawasan pertanian, perkebunan, pertambangan, industri, pelabuhan,

gudang, atau pasar besar. Lokasi tujuan dapat berupa pusat konsumsi, kawasan pengolahan, simpul antarmoda, terminal, dan pusat distribusi. Hubungan antarlokasi membentuk pola asal–tujuan yang kemudian menjadi dasar penentuan koridor utama. Tanpa data asal–tujuan, penanganan jaringan berisiko hanya memindahkan masalah dari satu ruas ke ruas lain (Tamin, 2008).

Pola arus barang umumnya dapat dikelompokkan menjadi internal–internal, internal–eksternal, eksternal–internal, dan eksternal–eksternal. Pola internal–internal terjadi ketika barang bergerak di dalam wilayah kajian, misalnya dari gudang kota ke pasar lokal. Pola internal–eksternal terjadi ketika wilayah menghasilkan barang untuk dikirim keluar. Pola eksternal–internal terjadi ketika wilayah menjadi penerima komoditas. Pola eksternal–eksternal muncul ketika kendaraan barang hanya melintas sebagai arus transit. Klasifikasi ini membantu perencana membedakan ruas yang melayani kebutuhan lokal, distribusi regional, dan lintas antardaerah.

Empat pola asal–tujuan merupakan dasar dalam analisis transportasi barang karena menunjukkan hubungan spasial antara lokasi pembangkitan, lokasi tarikan, dan arus distribusi yang melintasi suatu wilayah. Visualisasi yang ditampilkan pada Gambar 5.2 memberikan gambaran sederhana mengenai berbagai kemungkinan pola pergerakan barang yang dapat menjadi dasar dalam penyusunan jaringan distribusi dan analisis kebutuhan infrastruktur jalan.



Gambar 5. 2 Pola Asal–Tujuan Pergerakan Barang Pada Suatu Wilayah
(Sumber: Data Primer, 2026)

Pergerakan barang dalam suatu wilayah dapat dibedakan menjadi empat pola utama, yaitu internal–internal, internal–eksternal, eksternal–internal, dan eksternal–eksternal. Masing-masing pola menunjukkan karakter distribusi yang berbeda sesuai dengan lokasi asal dan tujuan barang. Perbedaan tersebut menghasilkan kebutuhan jaringan jalan, kapasitas pelayanan, dan koridor distribusi yang juga berbeda. Arus yang berasal dari kawasan produksi menuju pusat distribusi memerlukan karakter pelayanan yang tidak sama dengan arus barang yang hanya melintasi wilayah sebagai lalu lintas transit. Identifikasi pola asal–tujuan tersebut sangat penting sebagai dasar dalam penyusunan matriks asal–tujuan, penentuan koridor

prioritas, serta evaluasi kebutuhan peningkatan kapasitas jaringan jalan.

Data asal–tujuan juga membantu perencana menentukan ruas prioritas. Bila arus terbesar berasal dari kawasan industri menuju jalan nasional, prioritas dapat diarahkan pada akses industri, simpang keluar kawasan, dan hubungan ke koridor utama. Bila arus terbesar berasal dari kawasan pertanian menuju pasar, akses jalan produksi dan kolektor perlu mendapat perhatian. Bila wilayah berfungsi sebagai lintasan transit, pengaturan kendaraan berat dapat diarahkan ke rute luar kota atau koridor yang sesuai kelas jalan. Pembacaan semacam ini menjadikan rencana jaringan lebih rasional karena berbasis pola arus nyata, bukan hanya persepsi kemacetan pada titik tertentu (Holguin-Veras *et al.*, 2021).

5.2.2 Jenis Kendaraan, Jenis Barang, dan Implikasinya Terhadap Jaringan Jalan

Jenis kendaraan menentukan kebutuhan ruang dan kapasitas jalan. Mobil barang ringan dapat bergerak pada jaringan perkotaan dengan hambatan relatif kecil. Truk dua sumbu, truk tiga sumbu, truk gandeng, dan kendaraan berat memerlukan lebar lajur, radius belok, kekuatan perkerasan, dan ruang manuver yang lebih besar. Kendaraan dengan dimensi besar juga memerlukan pengaturan pada simpang, tanjakan, turunan, dan kawasan padat. Ketidaksesuaian antara kendaraan dan fungsi ruas dapat menurunkan keselamatan serta memperbesar biaya pemeliharaan jalan (Bakri *et al.*, 2026).

Jenis barang juga menentukan kebutuhan pelayanan. Barang konsumsi memerlukan keteraturan distribusi dan

akses dekat ke pusat pasar. Hasil pertanian serta komoditas mudah rusak memerlukan waktu tempuh yang dapat diperkirakan. Produk industri sering memerlukan kendaraan dengan kapasitas lebih besar dan akses langsung ke koridor arteri atau pelabuhan. Bahan bangunan serta hasil tambang memberi beban besar pada perkerasan. Barang berbahaya memerlukan pengaturan rute, jarak aman, dan penanganan khusus. Perencanaan jaringan jalan perlu mencatat karakter ini agar rute yang dipilih tidak hanya cepat, tetapi juga aman dan sesuai standar operasi (Shojaei *et al.*, 2022).

Implikasi teknis dari karakter kendaraan dan barang tampak pada kelas jalan, lebar lajur, kapasitas simpang, lokasi bongkar muat, serta waktu operasi. Jalan yang dirancang untuk lalu lintas lokal tidak selalu sesuai bagi kendaraan berat. Ruas yang melewati sekolah, pasar, rumah sakit, atau permukiman padat perlu dikaji lebih hati-hati sebelum digunakan sebagai rute angkutan barang. Pengaturan jam operasi dapat mengurangi konflik dengan jam puncak lalu lintas penumpang, sedangkan penyediaan lokasi bongkar muat dapat mencegah kendaraan berhenti di badan jalan. Kombinasi pengaturan fisik dan manajemen operasi memberi hasil lebih baik dibanding tindakan tunggal.

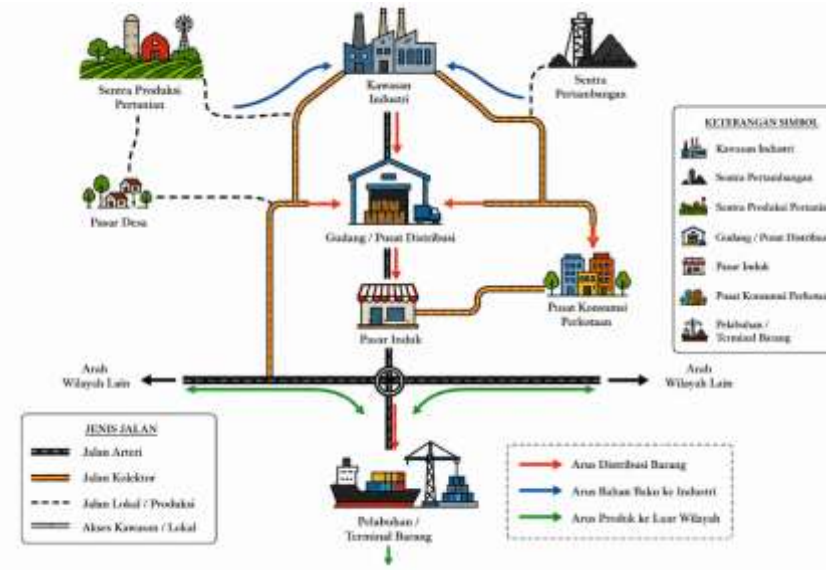
5.3.3 Keterkaitan Tata Guna Lahan, Pusat Kegiatan, dan Jaringan Jalan

Transportasi barang tidak dapat dilepaskan dari tata guna lahan. Kawasan produksi membangkitkan arus keluar, kawasan perdagangan menarik arus masuk, kawasan pergudangan berfungsi sebagai simpul konsolidasi, dan pelabuhan menjadi pintu hubungan antarmoda. Perubahan fungsi lahan dari pertanian menjadi industri akan mengubah

jenis kendaraan, volume muatan, dan rute distribusi. Pertumbuhan pasar besar pada ruas perkotaan dapat menambah aktivitas bongkar muat dan hambatan samping. Perencanaan transportasi barang perlu terhubung dengan rencana tata ruang agar lokasi kegiatan dan kapasitas jaringan tidak bergerak terpisah (Tamin, 2008).

Konsep simpul dan ruas membantu penyederhanaan sistem yang kompleks. Simpul mewakili lokasi asal, tujuan, persinggahan, atau titik konsolidasi. Ruas mewakili hubungan antarsimpul. Koridor terbentuk ketika beberapa ruas melayani arus utama. Pada perencanaan jaringan barang, simpul dapat berupa kawasan industri, gudang, pasar induk, pelabuhan, terminal barang, dan sentra produksi. Ruas perlu dianalisis berdasarkan panjang, kapasitas, kondisi, hambatan samping, kelas jalan, serta kecepatan operasi. Dengan cara ini, perencana dapat mengenali koridor yang paling mendesak untuk diperbaiki atau diatur (Alessandretti *et al.*, 2023).

Hubungan antara tata guna lahan dan sistem jaringan jalan seperti diilustrasikan pada Gambar 7.3. Pola distribusi barang terbentuk melalui hubungan antara tata guna lahan, pusat kegiatan, dan struktur jaringan jalan. Sentra produksi, kawasan industri, gudang, pasar, serta pelabuhan berfungsi sebagai simpul yang saling dihubungkan oleh jalan lokal, jalan kolektor, dan jalan arteri sesuai dengan hierarki pelayanan masing-masing. Hubungan tersebut menggambarkan bahwa perubahan lokasi kegiatan ekonomi akan memengaruhi arah pergerakan barang, besarnya arus distribusi, serta tingkat pemanfaatan setiap koridor jalan.



Gambar 5. 3 Hubungan Tata Guna Lahan, Simpul Kegiatan, dan Jaringan Distribusi Barang
(Sumber: Data Primer, 2026)

Keterkaitan tata guna lahan dan jaringan juga berhubungan dengan aksesibilitas. Wilayah yang memiliki komoditas unggulan tidak selalu berkembang jika akses ke pasar buruk. Sentra agropolitan, kawasan perkebunan, dan wilayah produksi pedalaman memerlukan jalan penghubung menuju koridor utama atau simpul logistik. Tanpa akses tersebut, potensi produksi tidak sepenuhnya menjadi nilai ekonomi. Kajian kawasan agropolitan menunjukkan bahwa jaringan jalan produksi, jalan poros desa, jalan lokal, dan jalan kolektor berperan dalam menghubungkan pusat produksi dengan outlet pemasaran (Bakri, 2016).

5.4 Perencanaan Jaringan Lintas Angkutan Barang dan Strategi Pengembangan Jalan

5.4.1 Prinsip Penetapan Jaringan Lintas Angkutan Barang

Jaringan lintas angkutan barang merupakan perangkat pengaturan rute agar kendaraan barang menggunakan koridor yang sesuai dengan fungsi jalan, kapasitas, keselamatan, dan tata guna lahan. Tujuannya mencakup pengurangan konflik lalu lintas, perlindungan ruas sensitif, peningkatan kecepatan operasi, pengendalian kerusakan jalan, dan kepastian rute distribusi. Penetapan jaringan lintas tidak berarti semua kendaraan barang harus dijauhkan dari kota. Pengaturan diarahkan agar kendaraan berat menggunakan koridor yang sesuai, sedangkan distribusi lokal tetap memperoleh akses melalui rute dan waktu operasi yang terkendali.

Kriteria penetapan rute perlu mencakup kinerja jaringan, jenis kendaraan, kelas jalan, lebar lajur, kedekatan dengan kawasan industri, kedekatan dengan pasar, keselamatan, dampak lingkungan, dan kemudahan pengawasan. Rute yang lebih pendek belum tentu lebih layak jika melewati kawasan padat penduduk atau jalan dengan kelas rendah. Rute yang sedikit lebih panjang dapat lebih baik bila kapasitasnya memadai dan konflik lebih kecil. Kriteria ekonomi, teknis, sosial, dan lingkungan perlu dibaca secara bersamaan agar pilihan rute tidak hanya mengejar jarak minimum (Noussan *et al*., 2022).

Penetapan jaringan lintas juga memerlukan pembagian fungsi. Rute primer melayani distribusi antardaerah dan kendaraan berat. Rute sekunder menghubungkan koridor utama dengan pusat distribusi. Rute lokal melayani

pengiriman akhir ke pasar, toko, atau konsumen. Pembagian ini memudahkan pengaturan kendaraan berdasarkan ukuran, waktu operasi, dan tujuan. Pada kota yang memiliki pelabuhan atau terminal barang, rute perlu menghubungkan simpul tersebut dengan koridor arteri. Pada kabupaten dengan sentra produksi, akses feeder perlu menghubungkan desa produksi dengan jalan kolektor atau arteri (Bakri, 2016).

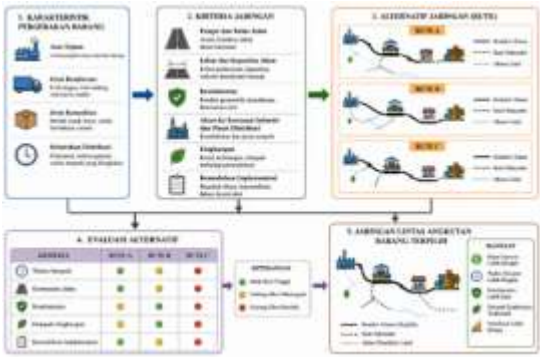
5.4.2 Pemilihan Alternatif Rute Dan Evaluasi Skenario

Pemilihan alternatif rute dapat dilakukan melalui perbandingan skenario. Skenario pertama menggambarkan kondisi eksisting. Skenario kedua menggambarkan kondisi tahun rencana tanpa penanganan. Skenario ketiga memasukkan jaringan lintas barang. Skenario lain dapat mencakup peningkatan kapasitas ruas, perbaikan simpang, pembatasan kendaraan berat, pengaturan jam operasi, atau pembangunan penghubung baru. Perbandingan skenario memberi gambaran dampak setiap pilihan terhadap waktu tempuh, kecepatan, volume ruas, dan tingkat pelayanan.

Metode *Analytical Hierarchy Process* dapat digunakan ketika pemilihan rute melibatkan banyak kriteria. Tujuan utama ditempatkan pada tingkat atas, kriteria dan subkriteria ditempatkan pada tingkat berikutnya, lalu alternatif rute berada pada tingkat akhir. Perbandingan berpasangan membantu pemberian bobot pada kriteria. Dalam konteks angkutan barang, kriteria dapat mencakup waktu tempuh, kecepatan, panjang lintasan, kelas jalan, lebar jalan, keselamatan, kedekatan dengan kawasan industri, dampak terhadap permukiman, dan kemudahan pengawasan. Hasil pembobotan perlu diuji dengan pemodelan jaringan agar

pilihan rute tidak hanya kuat secara preferensi, tetapi juga baik secara kinerja (Shojaei *et al.*, 2022).

Proses penetapan jaringan lintas angkutan barang tidak hanya mempertimbangkan jarak terpendek, tetapi juga melibatkan berbagai aspek teknis, operasional, keselamatan, lingkungan, dan kemudahan implementasi. Tahapan tersebut diilustrasikan seperti disajikan pada Gambar 7.4., memperlihatkan alur penyusunan, evaluasi, hingga penetapan koridor angkutan barang yang paling sesuai dengan karakteristik wilayah.



Gambar 5. 4 Kerangka Pemilihan Jaringan Lintas Angkutan Barang
(Sumber: Data Primer, 2026)

Analisis sebelum–sesudah membantu melihat apakah penetapan rute benar-benar memperbaiki keadaan. Bila kecepatan meningkat, waktu tempuh turun, dan beban ruas sensitif berkurang, skenario dapat dianggap memberi manfaat operasional. Bila rute baru justru menambah jarak terlalu besar, memindahkan kemacetan ke simpang lain, atau menambah dampak pada permukiman, skenario perlu diperbaiki. Evaluasi juga harus memperhitungkan kemampuan implementasi, rambu, pengawasan, biaya fisik,

penerimaan pelaku usaha, dan kesiapan kelembagaan. Rute terbaik secara model tidak selalu berhasil bila dukungan lapangan lemah (Borca *et al*., 2021).

5.4.3 Strategi Pengembangan Sistem Jaringan Jalan untuk Distribusi Barang

Strategi pengembangan jaringan jalan dapat dibagi menjadi peningkatan prasarana, manajemen lalu lintas, penataan logistik wilayah, penguatan kelembagaan, dan pengendalian dampak lingkungan. Peningkatan prasarana mencakup pelebaran jalan, perbaikan perkerasan, peningkatan kelas jalan, perbaikan geometrik simpang, pembangunan penghubung yang hilang, dan akses ke sentra produksi. Pilihan kegiatan fisik perlu berbasis prioritas karena anggaran terbatas. Ruas dengan peran distribusi tinggi, kondisi buruk, dan dampak ekonomi besar dapat ditempatkan sebagai prioritas awal.

Manajemen lalu lintas mencakup pengaturan jam operasi kendaraan barang, penetapan rute kendaraan berat, larangan parkir pada koridor utama, penataan bongkar muat, pengaturan simpang, dan pengendalian hambatan samping. Tindakan ini sering lebih cepat dilaksanakan daripada pembangunan fisik besar. Pada kawasan pasar, misalnya, penyediaan kantong bongkar muat dan pengaturan jam distribusi dapat mengurangi gangguan pada jam puncak. Pada ruas arteri, larangan parkir dan pengawasan kendaraan berat dapat menjaga kapasitas efektif. Manajemen yang baik memerlukan rambu jelas, sosialisasi, pengawasan konsisten, dan penyesuaian dengan kebutuhan pelaku usaha (Shojaei *et al.*, 2022).

Penataan logistik wilayah berhubungan dengan simpul. Terminal barang, pusat konsolidasi, kawasan pergudangan, rest area logistik, dan akses pelabuhan membantu mengurangi kendaraan besar masuk terlalu jauh ke area padat. Barang dapat dikonsolidasikan pada simpul tertentu, lalu didistribusikan menggunakan kendaraan yang lebih sesuai untuk lingkungan perkotaan. Untuk wilayah produksi, penguatan jaringan feeder dari desa, kebun, atau kawasan industri menuju koridor utama dapat menurunkan biaya angkut. Untuk wilayah kepulauan atau sungai, integrasi jalan dengan pelabuhan, penyeberangan, atau transportasi sungai dapat memperluas pilihan distribusi (Bakri, 2016).

Kelembagaan menentukan keberhasilan strategi. Perencanaan jaringan barang melibatkan Dinas Perhubungan, Dinas Pekerjaan Umum, Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (BAPPEDA), pengelola kawasan industri, operator logistik, pelaku usaha, kepolisian, pemerintah desa atau kelurahan, dan masyarakat. Koordinasi diperlukan agar rencana tata ruang, rencana jaringan jalan, aturan lalu lintas, dan kebijakan logistik saling mendukung. Pengawasan muatan berlebih, pengendalian parkir, penegakan rute, dan perawatan jalan tidak dapat dikerjakan oleh satu lembaga saja. Kelembagaan yang jelas juga membantu pembagian biaya dan tanggung jawab pemeliharaan (Tamin, 2008).

Dimensi lingkungan perlu masuk dalam strategi. Kendaraan barang yang terjebak kemacetan menghasilkan emisi lebih tinggi, konsumsi energi lebih besar, dan kebisingan lebih lama. Pemilihan rute yang efisien, pengurangan waktu tunggu, peralihan sebagian arus ke moda yang lebih hemat energi, penggunaan kendaraan rendah emisi, dan penataan pengiriman perkotaan dapat menekan dampak tersebut.

Pilihan moda hijau seperti kendaraan listrik, sepeda kargo untuk distribusi jarak dekat, atau kombinasi rail-road dapat dipertimbangkan sesuai jarak, kapasitas, dan biaya. Evaluasi keberlanjutan perlu memperhitungkan emisi, energi, keselamatan, dan kualitas hidup masyarakat (Noussan *et al*., 2022).

DAFTAR PUSTAKA

Alessandretti, L. *et al.* (2023) 'Multimodal urban mobility and multilayer transport networks', *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 50(8), pp. 2038–2070. doi: https://doi.org/10.1177/2399 8083221108190.

Bakri, M. D. (2016) *Transportasi Multimoda (Sebuah Pemodelan Kebutuhan Transportasi Multimoda)*. First Edit. Malang: Intimedia.

Bakri, M. D. *et al.* (2026) *Transportasi Multimoda (Angkutan Barang)*. Pertama. Edited by A. Abbas, A. A. Iskandar, and A. Safar. Makassar: Arsy Media.

Beresford, A., Phanomyong, R. and Pettit, S. (2021) 'A critical review of a holistic model used for assessing multimodal transport systems', *Logistics*, 5(1), p. 11. doi: 10.3390/logistics5010011.

Borca, B., Putz, L.-M. and Hofbauer, F. (2021) 'Crises and their effects on freight transport modes: A literature review and research framework', *Sustainability*, 13(10), p. 5740. doi: https://doi.org/10.3390/su13105740.

Holguin-Veras, J. *et al.* (2021) 'Freight mode choice: Results from a nationwide qualitative and quantitative research effort', *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 143, pp. 78–120. doi: https://doi.org/10.1016/j.tra.2020.11.016.

Noussan, M., Campisi, E. and Jarre, M. (2022) 'Carbon intensity of passenger transport modes: A review of emission factors, their variability and the main drivers', *Sustainability*, 14(17), p. 10652. doi: https://doi.org/10.3390/su141710652.

Rodrigue, J.-P. and Ducruet, C. (2024) *The Geography of Transport Systems*. Sixth. New York: Routledge. doi: 10.4324/9781003343196.

Roman, M. (2022) 'Sustainable transport: A state-of-the-art literature review', *Energies*, 15(23), p. 8997. doi: https://doi.org/10.3390/en15238997.

Shojaei, M. H. "Sam" *et al.* (2022) 'Sustainable transportation networks incorporating green modes for urban freight delivery', *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, 148(6), p. 4022028. doi: https://doi.org/10.1061/JTEPBS.0000669.

Tamin, O. Z. (2008) *Perencanaan, Pemodelan, & Rekayasa Transportasi: Teori, Contoh Soal, dan Aplikasi*. Bandung: Penerbit ITB.

BAB 6
ANALISIS SEBARAN PERJALANAN DAN TATA GUNA LAHAN

Oleh Vita Fajriani Ridwan

6.1 Hubungan Antara Tata Guna Lahan dan Sistem Transportasi

Hubungan antara tata guna lahan dan sistem transportasi merupakan salah satu fondasi utama dalam ilmu perencanaan wilayah dan kota. Setiap bidang lahan yang dimanfaatkan untuk suatu aktivitas (permukiman, pendidikan, perdagangan, maupun industri) pada dasarnya membangkitkan kebutuhan untuk bergerak (*trip generation*) sekaligus menjadi tujuan pergerakan bagi aktivitas lain (*trip attraction*). Pergerakan yang timbul dari interaksi ini kemudian menyebar ke berbagai zona lain dalam suatu wilayah, membentuk pola yang dikenal dalam kajian transportasi sebagai sebaran perjalanan (*trip distribution*). Sebaliknya, sistem transportasi yang terbentuk dari pola sebaran tersebut turut memengaruhi aksesibilitas suatu kawasan, yang pada gilirannya mendorong perubahan nilai lahan dan intensitas pemanfaatan ruang di masa mendatang. Interaksi dua arah inilah yang lazim disebut sebagai siklus umpan balik tata guna lahan-transportasi (*land use-transport feedback cycle*).

Memahami sebaran perjalanan tidak dapat dilepaskan dari pemahaman terhadap tata guna lahan yang menjadi pembangkitnya. Sebuah kawasan pendidikan tinggi, misalnya, berperan sebagai generator perjalanan berskala meso yang menghimpun ribuan pergerakan harian dari berbagai penjuru kota menuju satu titik tujuan yang relatif tetap. Pola pergerakan yang terbentuk di sekitar simpul semacam ini (baik dalam bentuk kepadatan rute, pemilihan moda, maupun preferensi jalur), mencerminkan bagaimana karakteristik tata guna lahan berinteraksi dengan struktur jaringan jalan, jarak tempuh, dan persepsi penggunanya.

Bab ini membahas analisis sebaran perjalanan dan tata guna lahan dengan memadukan kerangka teoretis konvensional dalam perencanaan transportasi dengan pendekatan kontemporer berbasis Sistem Informasi Geografis (GIS) dan data persepsi spasial. Sebagai ilustrasi empiris, bab ini mengangkat studi kasus pola pergerakan mahasiswa di lingkungan kampus Politeknik Negeri Ujung Pandang (PNUP), yang berasal dari satu penelitian berbasis kuesioner, peta mental, dan wawancara, kemudian dikembangkan menjadi dua publikasi dengan fokus analisis yang berbeda. Kedua publikasi tersebut secara konsisten menempatkan kampus sebagai titik generator-atraktor tata guna lahan dan menganalisis bagaimana perjalanan mahasiswa menyebar ke dan dari titik tersebut melalui kombinasi analisis buffer, kepadatan kernel, serta analisis statistik. (Ridwan *et al.*, 2025, 2026)

Isu ini menjadi semakin relevan mengingat sebagian besar kota di kawasan Global South, termasuk kota-kota menengah di Indonesia, mengalami urbanisasi yang cepat namun tidak selalu diimbangi oleh perencanaan tata guna

lahan dan transportasi yang terintegrasi. Kesenjangan ini kerap termanifestasi dalam bentuk infrastruktur pejalan kaki yang tidak terhubung, cakupan angkutan umum yang timpang, serta minimnya data mobilitas yang berbasis konteks lokal. Analisis sebaran perjalanan yang mempertimbangkan karakteristik tata guna lahan secara spesifik, alih-alih mengandalkan asumsi generik dari model yang dikembangkan di kota-kota beriklim sedang, menjadi krusial untuk menghasilkan kebijakan yang benar-benar responsif terhadap kondisi lapangan, termasuk faktor iklim tropis, kesetaraan gender, dan keterbatasan infrastruktur informal.

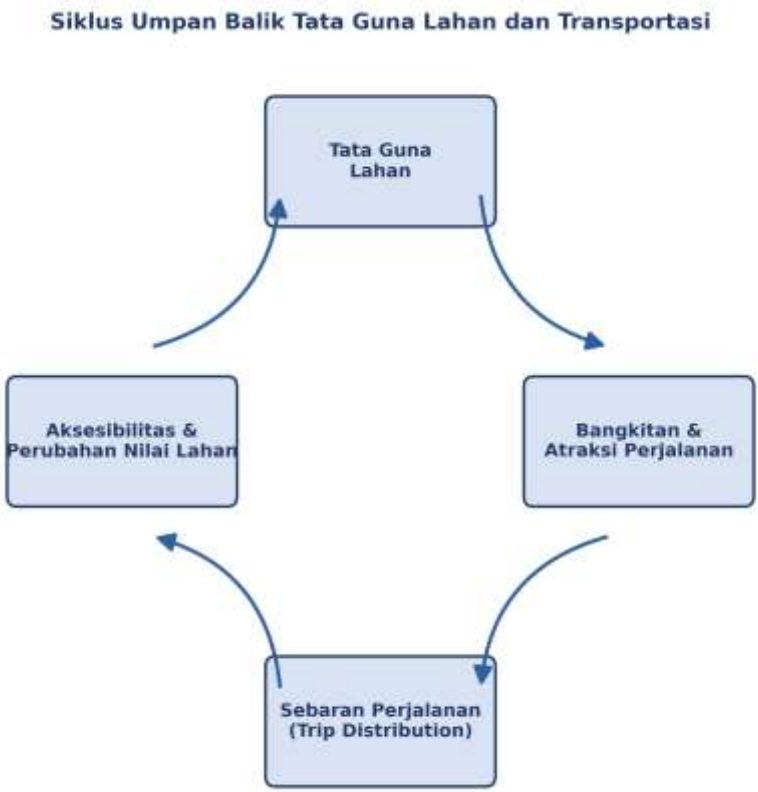
Secara sistematis, bab ini disusun menjadi enam bagian utama. Bagian kedua membahas landasan teori mengenai interaksi tata guna lahan dan transportasi, termasuk posisi sebaran perjalanan dalam model perencanaan transportasi empat tahap, tipologi tata guna lahan dan bangkitan perjalanan, serta kerangka aksesibilitas dan geografi waktu (*time-geography*). Bagian ketiga menguraikan pendekatan metodologis yang mengintegrasikan GIS, peta mental, dan analisis statistik spasial, termasuk isu triangulasi data. Bagian keempat menyajikan studi kasus sebaran perjalanan mahasiswa PNUP secara rinci, dilengkapi dengan kotak diskusi yang mengilustrasikan penerapan model gravitasi secara konseptual pada data buffer. Bagian kelima merumuskan implikasi temuan bagi perencanaan tata guna lahan dan transportasi kampus, sedangkan bagian keenam menutup bab ini dengan kesimpulan.

6.2 Interaksi Tata Guna Lahan dan Transportasi

6.2.1 Konsep Dasar Interaksi Tata Guna Lahan-Transportasi

Interaksi antara tata guna lahan dan transportasi lazimnya digambarkan sebagai siklus yang berkesinambungan. Pemanfaatan lahan untuk suatu aktivitas menghasilkan kebutuhan pergerakan, kebutuhan pergerakan tersebut membentuk pola permintaan pada jaringan transportasi, dan tingkat pelayanan jaringan transportasi yang terbentuk kemudian memengaruhi tingkat aksesibilitas suatu lokasi (Hansen, 1959). Aksesibilitas yang tinggi cenderung meningkatkan daya tarik suatu lahan untuk dikembangkan lebih lanjut, sehingga memicu perubahan intensitas dan jenis pemanfaatan lahan, yang pada gilirannya kembali memicu pergerakan baru. Hubungan antara aksesibilitas dan pemanfaatan lahan ini sejalan dengan teori lokasi yang dikemukakan oleh Alonso (2013), yang menjelaskan bahwa keputusan lokasi berbagai aktivitas sangat dipengaruhi oleh kemudahan akses serta biaya perjalanan yang harus ditanggung untuk mencapai pusat-pusat aktivitas. Perubahan tata guna lahan yang terjadi kemudian kembali menghasilkan kebutuhan pergerakan baru. Hubungan timbal balik antara sistem transportasi, aksesibilitas, dan perkembangan tata guna lahan tersebut merupakan salah satu konsep fundamental dalam geografi transportasi modern (Rodrigue, 2024). Kerangka siklis ini menjadi dasar bagi banyak model transportasi terintegrasi lahan (*land use-transport interaction models*) yang berkembang sejak pertengahan abad ke-20, dan dirangkum secara komprehensif oleh Wegener dan Fürst (2004) sebagai

siklus umpan balik tata guna lahan-transportasi (*land use-transport feedback cycle*) yang menjadi rujukan utama Gambar 1 pada bagian ini. Keterkaitan mendasar antara pola lalu lintas dan fungsi tata guna lahan ini pertama kali didokumentasikan secara sistematis oleh Mitchell dan Rapkin (1954) dalam kajian klasik mereka yang menegaskan bahwa lalu lintas kota pada dasarnya merupakan fungsi dari tata guna lahan (*urban traffic as a function of land use*).



Gambar 6. 1 Siklus umpan balik tata guna lahan dan transportasi**.**

Perlu ditekankan bahwa siklus ini tidak selalu berjalan secara seimbang. Pada banyak kasus di kota berkembang, perubahan tata guna lahan terjadi jauh lebih cepat dibandingkan dengan penyesuaian infrastruktur transportasi, sehingga menimbulkan kesenjangan antara kebutuhan pergerakan aktual dengan kapasitas jaringan yang tersedia. Sebaliknya, pada kasus lain, investasi infrastruktur transportasi dilakukan tanpa memperhitungkan potensi perubahan tata guna lahan yang akan ditimbulkannya, sehingga infrastruktur yang dibangun menjadi kurang termanfaatkan atau justru memicu pertumbuhan tata guna lahan yang tidak terkendali di sepanjang koridornya. Kedua situasi ini menegaskan pentingnya analisis sebaran perjalanan yang tidak berdiri sendiri, melainkan senantiasa dikaitkan dengan dinamika tata guna lahan di sekitarnya, baik yang sudah ada maupun yang berpotensi berubah.

Dalam konteks kawasan pendidikan tinggi, siklus ini tampak lebih sederhana namun tetap relevan: kampus sebagai satu titik tata guna lahan yang relatif tetap menghasilkan pola pergerakan harian yang sangat terstruktur, terutama karena jadwal aktivitas akademik yang seragam. Karakteristik ini menjadikan kawasan kampus sebagai unit analisis yang ideal untuk mengamati bagaimana sebuah simpul tata guna lahan tunggal membentuk pola sebaran perjalanan pada skala lokal hingga regional.

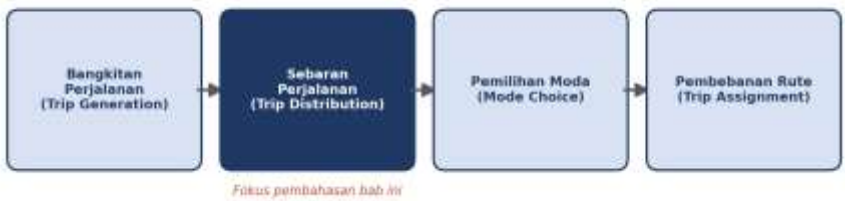
6.2.2 Sebaran Perjalanan dalam Model Perencanaan Transportasi Empat Tahap

Dalam kerangka perencanaan transportasi konvensional, sebaran perjalanan merupakan salah satu dari empat tahap utama dalam model perencanaan transportasi

empat tahap (*four-step travel demand model*), yang terdiri atas bangkitan perjalanan (*trip generation*), sebaran perjalanan (*trip distribution*), pemilihan moda (*mode choice*), dan pembebanan rute (trip assignment) (McNally, 2007; de Dios Ortúzar and Willumsen, 2024) . Pada tahap bangkitan perjalanan, setiap zona tata guna lahan diestimasi menghasilkan sejumlah perjalanan berdasarkan karakteristik sosioekonomi dan intensitas aktivitasnya, sebagaimana dirumuskan secara empiris dalam manual bangkitan perjalanan yang banyak digunakan di berbagai negara, seperti Trip Generation Manual terbitan Institute of Transportation Engineers (2021) yang menyusun tingkat bangkitan dan tarikan perjalanan berdasarkan ratusan kategori tata guna lahan. Tahap sebaran perjalanan kemudian mendistribusikan total perjalanan yang dibangkitkan tersebut ke berbagai zona tujuan, biasanya menggunakan pendekatan model gravitasi (*gravity model*) yang menganalogikan interaksi antarzona dengan hukum gravitasi Newton: intensitas interaksi antara dua zona berbanding lurus dengan besaran aktivitas di kedua zona dan berbanding terbalik dengan suatu fungsi hambatan jarak atau waktu tempuh di antara keduanya. Pendekatan analogi gravitasi untuk menjelaskan pola asal-tujuan (*origin-destination)* perjalanan perkotaan ini pertama kali dirumuskan secara sistematis oleh Voorhees (1955), yang menjadi cikal bakal bagi seluruh keluarga model gravitasi dalam sebaran perjalanan hingga saat ini.

Pendekatan gravitasi ini kemudian dikembangkan lebih lanjut melalui formulasi statistik berbasis maksimisasi entropi (Wilson, 1967), yang memungkinkan model sebaran perjalanan diselaraskan dengan data pergerakan aktual secara lebih presisi. Terlepas dari variasi teknis dalam

formulasinya, prinsip dasar yang konsisten dipertahankan adalah bahwa sebaran perjalanan sangat dipengaruhi oleh dua faktor utama: besaran tata guna lahan di zona asal dan tujuan, serta fungsi hambatan jarak atau waktu tempuh di antara keduanya. Prinsip inilah yang secara empiris tampak berulang dalam berbagai studi mobilitas kampus, termasuk studi kasus yang dibahas pada bagian keempat bab ini, di mana jarak dan waktu tempuh secara konsisten muncul sebagai determinan utama dalam pola pergerakan.



Gambar 6. 2 Posisi sebaran perjalanan dalam model perencanaan transportasi empat tahap**.**

Selain pendekatan gravitasi, sebaran perjalanan juga dapat didekati melalui metode faktor pertumbuhan *(growth factor methods)*, yang mendistribusikan proyeksi perjalanan masa depan berdasarkan pola sebaran perjalanan pada tahun dasar yang diskalakan dengan faktor pertumbuhan pada masing-masing zona. Metode ini relatif sederhana dan banyak digunakan pada tahap awal perencanaan ketika data kalibrasi model gravitasi belum tersedia secara memadai, namun memiliki kelemahan karena mengasumsikan pola sebaran perjalanan pada masa depan tidak berubah secara struktural, hanya berubah secara proporsional. Dalam praktiknya, kombinasi antara model gravitasi dan metode faktor

pertumbuhan sering digunakan secara saling melengkapi, tergantung pada ketersediaan data dan tingkat kompleksitas kawasan yang dikaji.

Meskipun konsep trip distribution dalam model perencanaan transportasi empat tahap secara tradisional berfokus pada distribusi perjalanan antar zona asal dan tujuan, perkembangan Sistem Informasi Geografis (GIS), pendekatan berbasis aktivitas (*activity-based approach*), dan kajian mobilitas individu telah memperluas perhatian peneliti terhadap distribusi spasial aktivitas, rute, dan pola pergerakan aktual dalam ruang. Literatur kontemporer menunjukkan pergeseran dari analisis yang bersifat agregat dan berbasis zona menuju analisis yang lebih terpilah pada tingkat individu melalui konsep activity space, space-time accessibility, dan mobility patterns yang dapat direpresentasikan menggunakan GIS (Kwan, 1998; Miller, 1999; Kamruzzaman *et al.*, 2011). Dalam kerangka tersebut, bab ini membahas sebaran perjalanan tidak hanya sebagai distribusi perjalanan asal–tujuan (OD), tetapi juga sebagai distribusi spasial pola perjalanan yang terbentuk dari interaksi antara tata guna lahan, jaringan transportasi, dan perilaku pengguna, sebagaimana dapat diamati melalui analisis buffer, densitas inti (kernel density), dan peta mental. Dalam praktik perencanaan transportasi, model empat tahap tidak hanya digunakan untuk memprediksi pola perjalanan, tetapi juga sebagai alat bantu pengambilan keputusan dalam penyediaan infrastruktur, pengelolaan permintaan perjalanan, serta integrasi kebijakan tata guna lahan (Meyer and Miller, 2001)

6.2.3 Aksesibilitas, Zona Tangkapan, dan Geografi Waktu sebagai Kerangka Analitik Kontemporer

Selain model gravitasi konvensional, kajian sebaran perjalanan kontemporer semakin banyak memanfaatkan konsep aksesibilitas sebagai ukuran seberapa mudah suatu lokasi tata guna lahan dapat dijangkau dari berbagai titik di sekitarnya. Konsep aksesibilitas ini kemudian diterjemahkan secara operasional ke dalam analisis zona tangkapan (*catchment area*) atau buffer, yaitu wilayah cakupan berjarak tertentu dari suatu titik tata guna lahan yang digunakan untuk mengidentifikasi sejauh mana moda tidak bermotor seperti berjalan kaki dan bersepeda masih dianggap layak. Dalam banyak literatur perencanaan berorientasi transit maupun walkability, ambang jarak berjalan kaki yang umum digunakan berkisar antara 400 hingga 1.000 meter, sebuah rentang yang juga terkonfirmasi secara empiris pada studi kasus kampus PNUP yang dibahas kemudian.

Kerangka analitik lain yang relevan adalah model geografi waktu (*time-geography*) diperkenalkan oleh Hägerstrand (1970), yang menekankan bahwa pergerakan individu dibatasi oleh tiga jenis kendala: kendala kemampuan (*capability constraints*) yang berkaitan dengan keterbatasan fisik dan waktu individu, kendala keterkaitan (*coupling constraints)* yang berkaitan dengan kebutuhan untuk hadir pada waktu dan tempat tertentu bersama individu atau aktivitas lain, serta kendala otoritas (*authority constraints*) yang berkaitan dengan aturan atau norma yang membatasi akses ke ruang tertentu pada waktu tertentu. Kerangka ini sangat relevan untuk menjelaskan pola pergerakan mahasiswa yang cenderung terikat jadwal perkuliahan pada

pagi hari, namun memiliki keleluasaan yang lebih besar pada sore hari.

Sebagai pelengkap data kuantitatif, pendekatan kognitif berupa peta mental (mental map) turut berkembang sebagai instrumen untuk menangkap persepsi spasial individu terhadap lingkungan pergerakannya (Ridwan and Matsumura, 2020). Pendekatan ini berakar pada kerangka pemetaan kognitif yang memandang bahwa individu membentuk citra mental terhadap ruang kota berdasarkan elemen-elemen seperti jalur (*paths*), simpul (*nodes*), dan penanda (*landmarks*) (Lynch, 1960). Integrasi antara data spasial objektif hasil analisis GIS dan data persepsi subjektif hasil pemetaan mental inilah yang menjadi ciri khas pendekatan metodologis yang digunakan dalam studi kasus pada bab ini.

6.2.4 Tipologi Tata Guna Lahan dan Karakteristik Bangkitan Perjalanan

Setiap jenis tata guna lahan memiliki karakteristik bangkitan perjalanan yang berbeda, baik dari sisi volume, waktu puncak, maupun arah dominan pergerakan. Lahan permukiman umumnya membangkitkan perjalanan berbasis rumah (*home-based trips*) yang terkonsentrasi pada jam berangkat kerja atau sekolah di pagi hari dan jam pulang di sore hari, dengan arah pergerakan yang relatif seragam menuju pusat-pusat aktivitas. Lahan komersial cenderung membangkitkan perjalanan non-berbasis rumah (*non-home-based trips*) yang lebih tersebar sepanjang hari, mengikuti jam operasional dan pola kunjungan pelanggan. Lahan pendidikan tinggi, sebagaimana ditunjukkan dalam studi kasus bab ini, memiliki karakteristik campuran: pergerakan menuju

kampus sangat terpusat pada jam awal perkuliahan sehingga menyerupai pola perjalanan berbasis rumah, sementara pergerakan meninggalkan kampus lebih tersebar mengikuti variasi jadwal akademik masing-masing individu.

Karakteristik ini penting untuk dipahami karena memengaruhi cara suatu kawasan tata guna lahan dianalisis dalam tahap bangkitan maupun sebaran perjalanan. Kampus, sebagai satu entitas tata guna lahan, sesungguhnya juga terdiri atas beberapa subzona internal dengan fungsi berbeda (seperti: gedung perkuliahan, laboratorium, kantin, asrama, maupun fasilitas olahraga), yang masing-masing dapat membangkitkan pola pergerakan internal tersendiri. Meskipun studi kasus pada bab ini memperlakukan kampus sebagai satu titik generator tunggal untuk kepentingan analisis buffer dan kepadatan kernel, pemahaman terhadap heterogenitas internal tata guna lahan kampus tetap penting untuk perencanaan pada skala yang lebih mikro, misalnya dalam menentukan lokasi titik naik-turun angkutan umum atau area parkir sepeda di dalam kompleks kampus.

Heterogenitas internal ini juga relevan ketika mempertimbangkan strategi mitigasi kepadatan, misalnya melalui penjadwalan kelas yang lebih tersebar sepanjang hari untuk mengurangi konsentrasi pergerakan pada jam-jam puncak tertentu. Strategi manajemen permintaan perjalanan (*travel demand management*) semacam ini pada dasarnya memanfaatkan pemahaman terhadap tipologi tata guna lahan dan karakteristik bangkitan perjalanannya untuk mengurangi tekanan pada infrastruktur transportasi tanpa harus menambah kapasitas fisik jalan, sebuah pendekatan yang relevan mengingat keterbatasan lahan dan anggaran yang

lazim dihadapi institusi pendidikan di kawasan perkotaan padat.

6.2.5 Bentuk Kota dan Pola Sebaran Perjalanan: Urban Sprawl, Compact City, Mixed-Use, dan TOD

Perubahan tata guna lahan dan perkembangan sistem transportasi telah melahirkan berbagai konsep perencanaan perkotaan yang bertujuan meningkatkan aksesibilitas sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap kendaraan bermotor. Di antara konsep yang paling banyak dibahas dalam literatur adalah *urban sprawl, compact city, mixed-use development*, dan *transit-oriented development* (TOD). Keempat konsep tersebut merepresentasikan pendekatan yang berbeda dalam mengatur hubungan antara lokasi aktivitas, pola perjalanan, dan jaringan transportasi, serta memberikan kerangka untuk memahami bagaimana bentuk fisik kawasan dapat memengaruhi perilaku mobilitas masyarakat.

Tipologi tata guna lahan yang diuraikan pada bagian sebelumnya pada akhirnya membentuk pola yang lebih besar pada skala kota, yang dalam literatur perencanaan kota dikenal sebagai bentuk kota (urban form). Empat konsep bentuk kota yang paling relevan untuk dikaitkan dengan analisis sebaran perjalanan adalah *urban sprawl, compact city, mixed-use development*, dan pengembangan berorientasi transit (*transit-oriented development*/TOD). Keempatnya pada dasarnya merepresentasikan titik-titik berbeda pada spektrum kepadatan dan percampuran fungsi lahan, yang secara langsung memengaruhi panjang, arah, dan moda sebaran perjalanan yang terbentuk.

Urban sprawl merujuk pada pola perkembangan kota yang meluas secara horizontal dengan kepadatan rendah, zonasi fungsi tunggal yang terpisah jauh satu sama lain (permukiman, perdagangan, dan perkantoran berada pada zona yang saling berjauhan), serta ketergantungan tinggi terhadap kendaraan bermotor pribadi (Newman and Kenworthy, 1989; Wunas, 2018). Pada kota yang mengalami sprawl, fungsi hambatan jarak dalam model sebaran perjalanan cenderung landai untuk moda bermotor namun sangat curam untuk moda tidak bermotor, karena jarak antarzona fungsi yang jauh membuat berjalan kaki atau bersepeda menjadi tidak praktis bagi sebagian besar perjalanan. Karakteristik kawasan Mamminasata yang diuraikan pada bagian studi kasus bab ini, yaitu dengan kepadatan lalu lintas tinggi, ketergantungan pada moda informal, dan permukiman yang tersebar hingga di luar wilayah inti metropolitan, menunjukkan sejumlah ciri sprawl pada skala regional, meskipun kawasan inti di sekitar kampus sendiri menunjukkan pola yang berbeda.

Berbagai dampak negatif *urban sprawl* mendorong munculnya pendekatan perencanaan yang lebih menekankan kedekatan spasial antara tempat tinggal, aktivitas sehari-hari, dan sistem transportasi. Salah satu konsep yang berkembang sebagai respons terhadap fenomena tersebut adalah *compact city*.

Compact city merupakan konsep yang berlawanan dengan urban sprawl, menekankan kepadatan pembangunan yang tinggi, batas perkotaan yang jelas, dan jarak tempuh antarfungsi lahan yang pendek. Pada kota kompak, fungsi hambatan jarak untuk moda tidak bermotor menjadi jauh

lebih landai karena sebagian besar tujuan perjalanan berada dalam jangkauan berjalan kaki atau bersepeda.

Menariknya, pola distance decay yang teramati dalam studi kasus PNUP menunjukkan bahwa kesediaan mahasiswa untuk berjalan kaki menurun secara signifikan setelah mencapai jarak tertentu. Temuan ini mengindikasikan adanya hambatan lingkungan bagi perjalanan berjalan kaki yang dapat berkaitan dengan kualitas infrastruktur pejalan kaki, kondisi iklim, kenyamanan lingkungan, maupun karakteristik jaringan jalan di sekitar kampus. Temuan tersebut sejalan dengan Southworth terkait faktor-faktor yang mempengaruhi pilihan seseorang memilih moda berjalan kaki (2005). Namun, temuan itu juga tidak cukup untuk menyimpulkan tingkat kekompakan kawasan secara langsung, tetapi menunjukkan bahwa lingkungan pejalan kaki di sekitar kampus masih dapat ditingkatkan untuk mendukung perjalanan berjalan kaki pada jarak yang lebih jauh.

Selain kepadatan dan kedekatan spasial, efektivitas suatu kawasan dalam mengurangi kebutuhan perjalanan juga dipengaruhi oleh keberagaman fungsi yang tersedia di dalam kawasan tersebut. Oleh karena itu, konsep *compact city* sering dikaitkan dengan pengembangan fungsi campuran atau *mixed-use development.*

Mixed-use development atau pengembangan tata guna lahan campuran menekankan penempatan berbagai fungsi lahan (hunian, komersial, pendidikan, ruang publik), dalam satu kawasan atau bahkan satu bangunan yang sama, sehingga memperpendek jarak tempuh antarfungsi dan meningkatkan proporsi trip yang dapat "ditangkap secara internal" (*internal capture*) tanpa perlu keluar dari kawasan tersebut. Semakin tinggi tingkat percampuran fungsi suatu

kawasan, semakin besar pula proporsi kebutuhan sehari-hari penghuninya yang dapat dipenuhi tanpa melakukan perjalanan jarak jauh, sehingga mengurangi tekanan pada sebaran perjalanan berjarak jauh menuju zona-zona lain di kota (Cervero and Kockelman, 1997). Meta-analisis besar terhadap ratusan studi oleh Ewing dan Cervero (2010) mengonfirmasi bahwa di antara berbagai atribut lingkungan binaan, kepadatan dan keragaman guna lahan (*density dan diversity*) memiliki elastisitas yang paling konsisten dalam menurunkan jarak tempuh kendaraan per kapita, memperkuat argumen bahwa tata guna lahan campuran adalah salah satu pengungkit paling efektif untuk mengubah pola sebaran perjalanan. Konsep inilah yang mendasari rekomendasi zonasi campuran pada bagian implikasi kebijakan di bab ini, yang mengusulkan tumbuhnya fungsi hunian dan komersial skala kecil dalam radius zona tangkapan jalan kaki di sekitar kampus.

Di sekitar kampus terdapat sejumlah fungsi pendukung seperti hunian mahasiswa, perdagangan skala kecil, dan berbagai layanan yang menunjang aktivitas akademik sehari-hari. Keberadaan fungsi-fungsi tersebut menunjukkan adanya elemen fungsi campuran pada kawasan sekitar kampus. Namun demikian, kondisi tersebut belum cukup untuk menyimpulkan bahwa kawasan tersebut telah berkembang sebagai mixed-use development dalam pengertian formal. Temuan studi kasus lebih tepat dipahami sebagai indikasi bahwa pengembangan fungsi campuran di sekitar kampus berpotensi meningkatkan aksesibilitas lokal serta mengurangi kebutuhan perjalanan jarak jauh.

Selain melalui pengembangan fungsi campuran, peningkatan aksesibilitas kawasan juga dapat dilakukan

melalui integrasi yang lebih erat antara tata guna lahan dan sistem transportasi publik. Gagasan inilah yang menjadi dasar konsep transit-oriented development.

Pengembangan berorientasi transit (TOD) memperluas prinsip compact city dan mixed-use dengan secara eksplisit memusatkan intensitas tata guna lahan di sekitar simpul transportasi publik, umumnya dalam radius 400–800 meter dari titik transit sebagai zona inti berjalan kaki (Cervero, 2013). Prinsip TOD pada dasarnya membalikkan logika perencanaan konvensional: alih-alih membangun infrastruktur transportasi mengikuti pertumbuhan tata guna lahan yang tersebar, TOD merencanakan tata guna lahan agar tumbuh mengikuti simpul transportasi yang sudah ada atau akan dibangun. Dalam konteks studi kasus PNUP, kampus dapat dipandang sebagai activity node yang menghasilkan dan menarik perjalanan dalam jumlah besar. Meskipun kawasan ini belum berfungsi sebagai kawasan transit-oriented development (TOD) dalam pengertian formal, prinsip-prinsip TOD seperti peningkatan konektivitas pejalan kaki, pengembangan fungsi campuran, dan integrasi yang lebih baik dengan transportasi publik dapat digunakan sebagai kerangka konseptual untuk merumuskan arah pengembangannya di masa depan. Dengan demikian, kampus tidak diposisikan sebagai kawasan TOD yang sudah terbentuk, melainkan sebagai simpul aktivitas yang berpotensi mengadopsi sebagian prinsip TOD untuk meningkatkan aksesibilitas dan keberlanjutan sistem transportasi.

Tabel 6. 1 Perbandingan bentuk kota berdasarkan karakteristik sebaran perjalanan dan implikasi moda

Bentuk Kota	Kepadatan & Zonasi	Karakteristik Sebaran Perjalanan	Implikasi Moda
Urban Sprawl	Rendah; zonasi fungsi tunggal, tersebar	Jarak tempuh panjang; fungsi hambatan landai untuk moda bermotor	Dominan kendaraan pribadi
Compact City	Tinggi; batas kota jelas	Jarak tempuh pendek; fungsi hambatan landai untuk moda tidak bermotor	Berjalan kaki & bersepeda layak
Mixed-Use Development	Sedang–tinggi; fungsi campuran	Internal capture tinggi; sebaran jarak jauh berkurang	Perjalanan multiguna, jarak pendek
TOD	Tinggi di sekitar simpul transit (400–800 m)	Sebaran perjalanan terpusat pada simpul transit	Angkutan umum + jalan kaki/sepeda

Sumber: Diolah oleh penulis berdasarkan Newman & Kenworthy (1989), Cervero & Kockelman (1997), dan Cervero (2013).

Keempat konsep ini menegaskan bahwa pola sebaran perjalanan yang teramati pada suatu kawasan tata guna lahan bukanlah fenomena yang berdiri sendiri, melainkan cerminan dari pilihan bentuk kota yang mendasarinya, baik yang direncanakan secara sengaja maupun yang terbentuk secara

organik. Tabel 6.1 merangkum karakteristik keempat bentuk kota tersebut beserta implikasinya terhadap pola sebaran perjalanan, sebagai kerangka pembanding untuk menilai posisi kawasan studi kasus pada bab ini.

6.3 Pendekatan Metodologis: Integrasi GIS, Peta Mental, dan Analisis Spasial

6.3.1 Analisis Buffer dan Kepadatan Kernel

Analisis buffer digunakan untuk mendelineasi zona-zona konsentris berjarak tertentu dari suatu titik lokasi (Ridwan *et al.*, 2024), di mana dalam konteks studi kasus pada bab ini, titik tersebut adalah kampus. Zona-zona buffer yang lazim digunakan berkisar dari 400 meter hingga 10.000 meter, sehingga memungkinkan analisis perubahan kepadatan dan pola rute seiring bertambahnya jarak dari titik generator. Analisis ini kemudian dilengkapi dengan estimasi kepadatan kernel (kernel density estimation), suatu teknik GIS yang mengubah data rute berbentuk garis (polyline) menjadi permukaan kontinu yang menggambarkan konsentrasi pergerakan secara spasial. Kombinasi buffer dan kepadatan kernel memungkinkan identifikasi "garis keinginan" (*desire line*) serta titik-titik hotspot pergerakan sebagai dasar rekomendasi intervensi infrastruktur.

6.3.2 Peta Mental sebagai Instrumen Data Persepsi Spasial

Peta mental dikumpulkan melalui teknik sketsa bebas (*free-sketching*) pada kertas kosong, di mana responden diminta menggambarkan rute perjalanan harian mereka

beserta penanda-penanda penting di sepanjang rute tersebut, seperti halte, tempat makan, maupun titik yang dianggap rawan. Sketsa yang bersifat kualitatif ini kemudian didigitasi menggunakan perangkat lunak pemetaan (misalnya Google Earth) untuk menghasilkan berkas spasial terstruktur yang dapat dianalisis lebih lanjut dalam perangkat lunak GIS. Melalui proses digitasi ini, data persepsi yang semula bersifat subjektif dapat disandingkan secara langsung dengan data spasial objektif hasil analisis buffer dan kepadatan kernel, sehingga menghasilkan pemahaman yang lebih holistik terhadap perilaku pergerakan dibandingkan dengan hanya mengandalkan salah satu jenis data.

6.3.3 Statistik Deskriptif dan Korelasi Non-Parametrik

Data kuesioner yang bersifat ordinal, seperti skala Likert untuk mengukur persepsi terhadap faktor jarak, waktu, keamanan, dan kenyamanan, umumnya dianalisis menggunakan statistik deskriptif berupa rerata dan simpangan baku (Meskipun skala Likert secara teoretis bersifat ordinal, penggunaan rerata dan simpangan baku tetap lazim digunakan dalam penelitian transportasi dan ilmu sosial untuk tujuan deskriptif), dilengkapi dengan uji korelasi nonparametrik seperti korelasi Spearman untuk mengidentifikasi kekuatan hubungan antarvariabel tanpa mengasumsikan distribusi normal. Pendekatan ini dinilai lebih sesuai untuk data persepsi berskala ordinal dibandingkan dengan korelasi Pearson yang mensyaratkan data berskala interval dan berdistribusi normal. Hasil korelasi ini kemudian diperkaya dengan data wawancara semi-terstruktur maupun tidak terstruktur untuk memberikan

konteks kualitatif terhadap temuan statistik, sebagaimana ditunjukkan dalam studi kasus berikut.

6.3.4 Perangkat GIS dalam Analisis Sebaran Perjalanan

Dari sisi teknis, analisis buffer dan kepadatan kernel yang dibahas pada bagian sebelumnya umumnya dilakukan menggunakan perangkat lunak GIS desktop seperti ArcGIS Pro, yang menyediakan modul analisis spasial siap pakai untuk kedua jenis analisis tersebut. Untuk keperluan digitasi peta mental, perangkat yang lebih ringan seperti Google Earth kerap digunakan pada tahap awal karena kemudahannya dalam menggambar ulang rute berdasarkan sketsa manual responden, sebelum berkas hasil digitasi diekspor ke dalam format yang kompatibel dengan perangkat lunak GIS untuk analisis lebih lanjut. Pemilihan kombinasi perangkat ini mencerminkan pertimbangan praktis antara kemudahan penggunaan pada tahap pengumpulan data lapangan dan kebutuhan analisis spasial yang lebih kompleks pada tahap pengolahan data.

Terlepas dari perangkat lunak yang digunakan, kualitas hasil analisis sebaran perjalanan berbasis GIS sangat bergantung pada ketelitian proses digitasi dan kelengkapan atribut data yang disertakan pada setiap rute. Kesalahan digitasi, seperti rute yang tidak menempel pada jaringan jalan aktual (*road snapping*) atau atribut arah perjalanan yang tidak konsisten, dapat memengaruhi keakuratan hasil analisis kepadatan kernel maupun perhitungan jarak pada analisis buffer. Oleh karena itu, tahap verifikasi rute bersama responden, sebagaimana dilakukan pada studi kasus di bab ini, menjadi langkah penting untuk menjaga validitas data spasial sebelum masuk ke tahap analisis lanjutan.

6.3.5 Triangulasi Data dan Isu Validitas dalam Analisis Berbasis Persepsi

Salah satu tantangan utama dalam menggabungkan data spasial objektif dengan data persepsi subjektif adalah memastikan bahwa kedua jenis data tersebut benar-benar saling memperkuat, bukan sekadar disandingkan tanpa keterkaitan analitis yang jelas. Untuk itu, pendekatan triangulasi data (yaitu penggunaan lebih dari satu metode atau sumber data untuk mengonfirmasi temuan yang sama) menjadi penting dalam analisis sebaran perjalanan berbasis persepsi. Dalam studi kasus yang dibahas pada bab ini, triangulasi dilakukan melalui tiga instrumen: peta mental yang didigitasi untuk menghasilkan data spasial, kuesioner berskala Likert untuk menghasilkan data kuantitatif, dan wawancara semi-terstruktur maupun tidak terstruktur untuk menghasilkan data kualitatif kontekstual.

Triangulasi semacam ini membantu mengatasi keterbatasan masing-masing metode. Data spasial hasil analisis buffer dan kepadatan kernel bersifat objektif, namun tidak dapat menjelaskan alasan di balik pola yang teramati; data kuesioner dapat mengukur kekuatan hubungan antarvariabel secara statistik, namun rentan terhadap bias jawaban normatif; sementara data wawancara memberikan kedalaman kontekstual, namun terbatas pada jumlah responden yang relatif kecil dan tidak selalu dapat digeneralisasi. Dengan mengombinasikan ketiganya, peneliti dapat memverifikasi silang temuan (misalnya, pola distance decay yang teramati dalam analisis buffer (data spasial) dapat dikonfirmasi melalui rendahnya penilaian mahasiswa non-pejalan kaki terhadap faktor infrastruktur (data kuesioner)), yang kemudian diperkaya dengan penjelasan kontekstual dari

wawancara mengenai kondisi trotoar yang buruk. Pendekatan triangulasi semacam ini menjadi ciri metodologis utama dari kedua kajian yang menjadi dasar studi kasus pada bab ini dan direkomendasikan untuk diadopsi secara lebih luas dalam kajian sebaran perjalanan berbasis tata guna lahan dalam konteks perkotaan yang terus berkembang.

Kerangka konseptual dan metodologis yang telah diuraikan pada bagian sebelumnya menjadi dasar untuk menganalisis hubungan antara tata guna lahan dan pola perjalanan di lingkungan kampus. Bagian berikut menyajikan studi kasus Politeknik Negeri Ujung Pandang (PNUP) sebagai ilustrasi empiris penerapan analisis buffer, kepadatan kernel, peta mental, serta analisis statistik untuk memahami sebaran perjalanan mahasiswa. Studi kasus ini dipilih karena kampus berfungsi sebagai simpul aktivitas pendidikan yang membangkitkan arus mobilitas harian dalam jumlah besar dan memungkinkan pengamatan secara nyata atas keterkaitan antara aksesibilitas, perilaku mobilitas, dan karakteristik tata guna lahan.

6.4 Studi Kasus: Sebaran Perjalanan Mahasiswa dan Tata Guna Lahan Kampus di Politeknik Negeri Ujung Pandang

6.4.1 Gambaran Umum Kasus

Studi kasus yang diangkat pada bagian ini bersumber dari kajian penulis yang dilaksanakan di Kampus 1 Politeknik Negeri Ujung Pandang (PNUP), dan pada bagian ini digunakan untuk mengilustrasikan bagaimana konsep-konsep yang telah dibahas pada landasan teori muncul dalam konteks nyata

kawasan pendidikan tinggi. Secara khusus, analisis akan menunjukkan peran hambatan jarak (*distance decay*), aksesibilitas, geografi waktu, dan kesetaraan aksesibilitas dalam membentuk pola perjalanan mahasiswa menuju dan dari kampus. Dengan menggunakan basis data yang sama namun dianalisis melalui beberapa pendekatan yang berbeda, studi kasus ini memberikan gambaran yang lebih utuh mengenai hubungan antara tata guna lahan kampus dan perilaku mobilitas penggunanya.

Kampus PNUP berada di kawasan Mamminasata, wilayah metropolitan Makassar yang mencakup Kota Makassar, Kabupaten Maros, Kabupaten Gowa (Sungguminasa), dan Kabupaten Takalar, serta bersebelahan langsung dengan Universitas Hasanuddin sehingga berbagi jaringan akses jalan yang sama. Jalan Perintis Kemerdekaan berperan sebagai koridor arteri utama yang melayani akses dari arah barat dan timur laut menuju kampus, didukung oleh dua jalan utama tambahan dan empat jalan alternatif.

Kawasan Mamminasata sendiri merupakan wilayah metropolitan yang mengalami pertumbuhan urban pesat, dengan tingkat kepadatan lalu lintas yang tinggi pada koridor-koridor utama dan ketergantungan yang besar pada moda transportasi pribadi dan informal seperti ojek. Kondisi ini menjadikan kawasan sekitar kampus sebagai representasi khas tantangan mobilitas perkotaan di kota menengah Indonesia, di mana keterbatasan infrastruktur pejalan kaki dan angkutan umum formal berinteraksi dengan iklim tropis yang menghadirkan hambatan tambahan berupa panas ekstrem dan curah hujan musiman yang tinggi.

Tabel 6. 2 Perbandingan fokus analisis dan temuan utama dari dua pendekatan analisis yang diterapkan pada dataset mahasiswa PNUP

Aspek	Kajian 1: Persepsi Transportasi Berkelanjutan	Kajian 2: Pola dan Preferensi Rute
Fokus utama	Perilaku berjalan kaki di iklim tropis	Determinan pemilihan rute & gender
Instrumen	Peta mental, kuesioner, wawancara tidak terstruktur	Peta mental, kuesioner, wawancara semi-terstruktur
Analisis utama	Buffer analysis, statistik deskriptif	Kernel density, korelasi Spearman
Temuan kunci	Ambang jalan kaki ≈ 1.000 m; hambatan infrastruktur & cuaca	Jarak (ρ=0,854) & waktu dominan; asimetri gender & waktu

Sumber: (Ridwan *et al.*, 2025, 2026)

Kedua kajian melibatkan 165 responden mahasiswa yang masing-masing mengisi kuesioner dan menggambar peta mental rute komuter mereka, dengan sebagian responden juga dilibatkan dalam wawancara mendalam maupun semi-terstruktur untuk memperkaya interpretasi data kuantitatif. Kajian pertama berfokus pada persepsi mahasiswa terhadap transportasi berkelanjutan, khususnya perilaku berjalan kaki dalam konteks iklim tropis (Ridwan *et al.*, 2025). Kajian kedua berfokus lebih luas pada pola dan preferensi rute mahasiswa secara umum, dengan penekanan pada peran jarak, waktu, kenyamanan, serta dimensi gender (Ridwan *et al.*, 2026).

Perlu dicatat bahwa kedua kajian yang digunakan dalam bab ini memanfaatkan kelompok responden yang sama, yaitu 165 mahasiswa Politeknik Negeri Ujung Pandang yang berpartisipasi dalam pengisian kuesioner, peta mental perjalanan, serta sebagian wawancara pendukung. Perbedaannya tidak terletak pada sumber data, melainkan pada fokus analisis yang dilakukan. Kajian pertama menitikberatkan pada analisis sebaran spasial perjalanan dan perilaku berjalan kaki melalui pendekatan buffer analysis, sedangkan kajian kedua berfokus pada pola dan preferensi rute menggunakan analisis kepadatan kernel serta korelasi statistik. Dengan demikian, kedua kajian dapat dipandang sebagai dua perspektif analitis yang saling melengkapi untuk memahami hubungan antara tata guna lahan kampus, pola perjalanan, dan perilaku mobilitas mahasiswa secara lebih komprehensif.

6.4.2 Pola Sebaran Perjalanan Berdasarkan Jarak dari Kampus

Analisis buffer terhadap 165 responden menunjukkan pola sebaran perjalanan yang sangat dipengaruhi oleh jarak tempat tinggal dari kampus. Tabel 6.3 menyajikan distribusi proporsi mahasiswa yang berjalan kaki (walkers) dan yang tidak berjalan kaki (non-walkers) berdasarkan empat kelas jarak.

Tabel 6. 3 Distribusi proporsi mahasiswa berjalan kaki dan tidak berjalan kaki berdasarkan jarak dari kampus.

Jarak dari Kampus (meter)	Proporsi Berjalan Kaki (%)	Proporsi Tidak Berjalan Kaki (%)
< 400	9	91
400 – 1.000	16	84
1.000 – 2.000	0	100
> 2.000	0	100

Sumber: Ridwan et al. (2025)



Gambar 6. 3 Kurva peluruhan jarak (distance decay) terhadap perilaku berjalan kaki, diplot dari data Tabel 6.3

Meskipun proporsi pejalan kaki sedikit lebih tinggi pada zona 400–1.000 meter dibandingkan dengan zona <400 meter, tidak ditemukan pejalan kaki pada jarak di atas 1.000 meter. Secara keseluruhan, pola ini tetap menunjukkan efek peluruhan jarak yang kuat: proporsi mahasiswa yang berjalan kaki tertinggi justru berada pada zona 400–1.000 meter

(16%), sementara pada zona di atas 1.000 meter tidak ditemukan satu pun mahasiswa yang berjalan kaki. Temuan ini menetapkan ambang jarak berjalan kaki secara lokal berada di kisaran 1.000 meter, sejalan dengan rentang ambang walkability yang umum digunakan dalam literatur internasional.

Temuan ini juga selaras dengan hasil analisis kepadatan kernel pada kajian kedua, yang menunjukkan bahwa kepadatan rute tertinggi, baik menuju maupun dari kampus, terkonsentrasi pada buffer 0–1.000 meter di sepanjang jalan akses utama, sementara pada zona menengah (500–2.000 meter) kepadatan rute menurun dan menyebar ke berbagai jalan alternatif. Lebih jauh, kajian kedua mengungkap pola temporal yang menarik: perjalanan pagi menuju kampus cenderung terkonsentrasi rapat dalam radius 500 meter di sepanjang koridor arteri utama, sedangkan perjalanan sore dari kampus menunjukkan pola yang lebih menyebar hingga mencapai radius 2 kilometer. Perbedaan pola pagi dan sore ini mengindikasikan bahwa tata guna lahan kampus tidak hanya memengaruhi volume perjalanan, tetapi juga membentuk pola temporal sebaran yang berbeda pada setiap segmen waktu.

Kotak 1. Ilustrasi Konseptual Fungsi Hambatan Jarak dalam Model Gravitasi

Kotak ini tidak dimaksudkan sebagai kalibrasi model gravitasi, melainkan sebagai ilustrasi konseptual mengenai fungsi hambatan jarak. Model gravitasi klasik merumuskan interaksi antara zona asal i dan zona tujuan j sebagai sebanding dengan besaran aktivitas pada kedua zona dan berbanding terbalik dengan suatu fungsi hambatan jarak f(dij), yang umumnya menurun secara eksponensial atau berpangkat seiring bertambahnya jarak.

Data pada Tabel 6.3 tidak digunakan untuk mengkalibrasi model gravitasi, namun dapat dibaca sebagai ilustrasi konseptual mengenai bagaimana hambatan jarak memengaruhi peluang perjalanan berjalan kaki menuju kampus. Meskipun proporsi mahasiswa yang berjalan kaki pada kelas jarak 400–1.000 meter (16%) sedikit lebih tinggi dibandingkan kelas jarak kurang dari 400 meter (9%), tidak ditemukan perjalanan berjalan kaki pada jarak di atas 1.000 meter. Dengan demikian, secara keseluruhan pola tersebut tetap mengindikasikan adanya hambatan jarak yang kuat terhadap perilaku berjalan kaki.

Proporsi mahasiswa yang memilih berjalan kaki turun dari 16% pada zona 400–1.000 meter menjadi 0% pada zona di atas 1.000 meter. Meskipun data ini tidak digunakan untuk mengestimasi parameter fungsi hambatan secara formal, pola tersebut menunjukkan bahwa peluang mahasiswa untuk berjalan kaki menuju kampus cenderung menurun seiring bertambahnya jarak dari tempat tinggal ke kampus.

Pola ini dapat dijadikan latihan sederhana dalam metode transportasi kuantitatif. Jika proporsi pejalan kaki pada tiap kelas jarak diplot terhadap titik tengah kelas jarak,

kurva yang terbentuk akan menunjukkan kecenderungan penurunan yang tajam setelah jarak tertentu, menyerupai fungsi hambatan jarak (distance impedance function) yang umum digunakan dalam model sebaran perjalanan. Meskipun ilustrasi ini tidak dimaksudkan sebagai estimasi model gravitasi secara formal, pola tersebut menunjukkan bahwa peluang seseorang untuk berjalan kaki menuju kampus semakin kecil seiring bertambahnya jarak dari tempat tinggal. Temuan ini juga sejalan dengan hasil analisis pada bagian berikutnya yang menunjukkan bahwa jarak merupakan faktor yang sangat penting dalam membentuk pola perjalanan mahasiswa. Dalam konteks kawasan kampus di lingkungan tropis dengan keterbatasan infrastruktur pejalan kaki, hambatan jarak tampak berperan kuat dalam menentukan pilihan perjalanan menuju kampus.

6.4.3 Determinan Pemilihan Rute: Jarak, Waktu, dan Kenyamanan

Untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang berasosiasi dengan pemilihan rute, kajian kedua menerapkan analisis korelasi Spearman antara konsistensi penggunaan rute (routing) dan tiga variabel utama: jarak, waktu tempuh, dan kenyamanan. Hasil analisis disajikan pada Tabel 6.4.

Tabel 6. 4 Hasil korelasi Spearman antara konsistensi rute dengan jarak, waktu tempuh, dan kenyamanan

Variabel	Koefisien Korelasi Spearman terhadap Konsistensi Rute
Jarak	0,854 ($p < 0,01$)
Waktu Tempuh	0,677 ($p < 0,01$)
Kenyamanan	0,178 ($p < 0,05$)

Sumber: Ridwan et al. (2026).

Tabel 6. 5 Perbandingan rerata penilaian faktor pendorong dan penghambat berjalan kaki antara seluruh responden dan kelompok pejalan kaki.

Faktor	Rerata – Seluruh Responden (skala 1–5)	Rerata – Kelompok Pejalan Kaki Saja
Ketersediaan fasilitas pejalan kaki	1,7	3,86
Keamanan dari tindak kriminal	1,8	3,71
Dukungan kondisi cuaca	1,9	3,57
Penghematan biaya	3,1	4,86

Sumber: Ridwan et al. (2025) .

Hasil pada Tabel 6.4 menunjukkan bahwa jarak memiliki korelasi terkuat terhadap konsistensi pemilihan rute, diikuti oleh waktu tempuh, sementara kenyamanan memiliki pengaruh yang jauh lebih kecil meskipun tetap signifikan secara statistik. Temuan ini konsisten dengan prinsip dasar model gravitasi dalam sebaran perjalanan, di mana fungsi hambatan jarak dan waktu menjadi faktor dominan dibandingkan dengan atribut kualitatif seperti kenyamanan. Menariknya, meskipun rerata jarak tempuh mahasiswa relatif dekat dalam kajian ini (rerata 2,48 km), rerata waktu tempuh yang dilaporkan justru cukup lama, yang mengindikasikan bahwa hambatan nonfisik seperti kemacetan dan ketergantungan pada moda transportasi informal turut memperlambat mobilitas di kawasan tersebut.

Kajian pertama memperkuat gambaran ini dari sisi perilaku berjalan kaki secara spesifik. Tabel 6.5 menyajikan rerata penilaian mahasiswa terhadap sejumlah faktor yang memengaruhi keputusan berjalan kaki, dibandingkan antara seluruh responden dan subkelompok mahasiswa yang memang berjalan kaki.

6.4.4 Dimensi Sosial: Gender, Waktu, dan Perilaku Rute Alternatif

Selain jarak dan waktu, kajian kedua juga mengungkap dimensi sosial dalam pemilihan rute, khususnya terkait perbedaan gender dalam penggunaan rute alternatif (jalan sekunder untuk menghindari kemacetan). Dari total pengguna rute alternatif, 65% di antaranya adalah mahasiswa laki-laki (35 laki-laki berbanding 19 perempuan), yang sebagian besar terjadi pada perjalanan pulang di sore hari. Wawancara mengungkap bahwa mahasiswa laki-laki lebih terdorong untuk menggunakan rute alternatif karena rekomendasi rekan sejawat atau persepsi kecepatan tempuh yang lebih baik, sementara mahasiswa perempuan cenderung bertahan pada rute yang sudah dikenal karena pertimbangan keamanan.

Pola ini selaras dengan kerangka geografi waktu yang telah diuraikan pada bagian landasan teori. Perjalanan pagi menuju kampus mencerminkan kendala keterkaitan (*coupling constraints*) yang kuat, di mana mahasiswa terikat pada jadwal perkuliahan tetap sehingga cenderung memilih rute arteri yang paling efisien dari segi waktu. Perjalanan sore menunjukkan berkurangnya *coupling constraints* setelah aktivitas akademik selesai, sehingga mahasiswa memiliki fleksibilitas yang lebih besar dalam memilih rute.



Gambar 6. 4 Kendala geografi waktu Hägerstrand pada pola pergerakan mahasiswa pada pagi dan sore hari.

Perbedaan gender dalam pemilihan rute juga menyingkap dimensi lain yang jarang terungkap melalui data kuantitatif semata, yakni perbedaan strategi adaptasi terhadap ketidaknyamanan di lingkungan perkotaan. Mahasiswa laki-laki dalam studi kasus ini cenderung memandang rute alternatif sebagai peluang untuk menghemat waktu tempuh, sedangkan mahasiswa perempuan cenderung memandang rute yang sudah dikenal sebagai bentuk mitigasi risiko. Perbedaan cara pandang ini menegaskan bahwa kebijakan transportasi yang netral gender (gender-neutral) berpotensi tidak cukup responsif terhadap kebutuhan riil pengguna, dan bahwa data terpilah berdasarkan gender (sebagaimana ditekankan pada bagian kesetaraan aksesibilitas di landasan teori), perlu menjadi standar dalam kajian sebaran perjalanan pada kawasan tata

guna lahan yang melayani populasi dengan komposisi gender yang relatif seimbang, seperti kampus.

6.4.5 Keterkaitan dengan Sistem Transportasi Publik Regional

Pola sebaran perjalanan mahasiswa yang sangat bergantung pada jarak dan moda transportasi tidak bermotor di zona dekat kampus tidak dapat dilepaskan dari kondisi layanan transportasi publik formal di kawasan Mamminasata secara lebih luas. Kajian lain oleh penulis mengenai cakupan layanan Bus Trans Mamminasata pada koridor 2 dan 3 menggunakan analisis jaringan (*network analysis*) menemukan bahwa cakupan koridor bus tersebut belum sepenuhnya melayani kebutuhan pejalan kaki dan pesepeda secara memadai, dengan area layanan yang belum menjangkau sebagian kebutuhan aksesibilitas kelompok pengguna tidak bermotor (Ridwan, Hasanuddin and Sarif, 2023). Temuan ini memperkuat kesimpulan pada studi kasus kampus PNUP bahwa perbaikan infrastruktur berbasis jarak dekat saja tidak akan cukup tanpa mempertimbangkan keterhubungan dengan jaringan transportasi publik yang lebih luas.

Keterkaitan ini menegaskan bahwa analisis sebaran perjalanan pada skala kampus idealnya tidak berhenti pada batas zona tangkapan jalan kaki semata, melainkan perlu dipandang sebagai bagian dari sistem mobilitas regional yang lebih luas. Mahasiswa yang bertempat tinggal di luar zona tangkapan 1.000 meter (yang berdasarkan data domisili responden, mencakup lebih dari separuh populasi kajian) pada akhirnya bergantung pada moda bermotor pribadi maupun angkutan informal, sebagian karena keterbatasan

cakupan angkutan umum formal di sepanjang rute menuju kampus. Dengan demikian, intervensi pada tingkat tata guna lahan kampus perlu disertai dengan advokasi perluasan cakupan angkutan umum formal pada skala kota, agar pola sebaran perjalanan yang lebih berkelanjutan dapat terbentuk secara menyeluruh, tidak hanya di zona inti di sekitar kampus.

6.4.6 Sintesis: Tata Guna Lahan Kampus sebagai Pembentuk Sebaran Perjalanan

Meskipun pembahasan pada bagian ini disajikan melalui dua fokus analisis yang berbeda, seluruh temuan berasal dari kelompok responden dan sumber data yang sama sehingga memberikan gambaran yang saling melengkapi mengenai hubungan antara tata guna lahan, karakteristik perjalanan, dan perilaku mobilitas mahasiswa. Fokus analisis pertama menyoroti sebaran spasial perjalanan dan perilaku berjalan kaki mahasiswa, sedangkan fokus analisis kedua menelaah pola pemilihan rute, kepadatan pergerakan, serta pengaruh faktor jarak, waktu, kenyamanan, dan gender terhadap perilaku perjalanan.

Berdasarkan sintesis kedua kajian tersebut, dapat disimpulkan bahwa kampus sebagai simpul aktivitas pendidikan membentuk pola sebaran perjalanan yang sangat terstruktur secara spasial maupun temporal. Secara spasial, sebaran perjalanan menunjukkan pola peluruhan jarak yang jelas, dengan ambang jarak layak jalan kaki pada kisaran 1.000 meter dan kepadatan rute tertinggi terkonsentrasi pada koridor arteri utama dalam radius yang sama. Secara temporal, sebaran perjalanan pagi lebih terkonsentrasi dan seragam mengikuti jadwal akademik, sementara sebaran perjalanan sore lebih menyebar dan dipengaruhi oleh

preferensi individual, termasuk pertimbangan gender terkait keamanan. Kedua dimensi ini menunjukkan bahwa tata guna lahan berperan penting dalam membentuk pola distribusi spasial-temporal perjalanan, bersama dengan karakteristik jaringan transportasi, jadwal aktivitas, serta faktor perilaku pengguna. Temuan ini mengindikasikan bahwa pemahaman terhadap pola perjalanan tidak cukup dilakukan hanya melalui pengukuran volume perjalanan, tetapi juga memerlukan integrasi data spasial objektif dan data persepsi subjektif untuk menangkap kompleksitas perilaku mobilitas secara lebih utuh.

6.4.7 Keterbatasan Temuan dan Isu Generalisasi

Sebelum beranjak ke pembahasan implikasi kebijakan, penting untuk mencermati sejauh mana temuan studi kasus ini dapat digeneralisasi ke konteks kampus atau kawasan tata guna lahan lainnya. Ambang jarak 1.000 meter yang teridentifikasi sebagai batas layak jalan kaki, misalnya, sangat mungkin dipengaruhi oleh kondisi iklim tropis Makassar serta kualitas infrastruktur pejalan kaki yang spesifik pada kawasan tersebut. Di kota dengan iklim yang lebih sejuk atau infrastruktur pejalan kaki yang lebih baik, ambang jarak yang sama dapat menghasilkan proporsi pejalan kaki yang jauh lebih tinggi. Demikian pula, pola gender yang teramati dapat dipengaruhi oleh norma sosial dan persepsi keamanan yang bersifat lokal, sehingga tidak dapat diasumsikan berlaku seragam pada seluruh konteks kampus di Indonesia, apalagi di kawasan Global South secara umum.

Meskipun demikian, pola relasional yang mendasari temuan ini, yakni bahwa jarak dan waktu tempuh mendominasi keputusan pemilihan rute, bahwa kondisi

infrastruktur dan keamanan memoderasi kesediaan menggunakan moda tidak bermotor, dan bahwa pola pergerakan pagi dan sore memiliki karakteristik struktural yang berbeda, memiliki dasar teoretis yang cukup kuat untuk diasumsikan berlaku pada konteks kampus lain dengan karakteristik tata guna lahan yang serupa, yaitu satu titik generator tunggal dengan jadwal aktivitas yang terstruktur. Nilai numerik spesifik dari temuan ini, seperti persentase pejalan kaki pada tiap zona buffer atau besaran koefisien korelasi, sebaiknya diperlakukan sebagai ilustrasi kontekstual dari kasus PNUP, bukan sebagai angka baku yang dapat langsung diterapkan pada kampus lain tanpa verifikasi ulang.

6.5 Implikasi bagi Perencanaan Tata Guna Lahan dan Transportasi Kampus

Beranjak dari sintesis dan catatan keterbatasan pada bagian sebelumnya, temuan studi kasus di atas memberikan sejumlah implikasi praktis bagi perencanaan tata guna lahan dan transportasi di kawasan kampus, khususnya di kota-kota berkembang dengan karakteristik iklim tropis dan infrastruktur yang belum sepenuhnya memadai. Pertama, zona tangkapan kritis sejauh 1.000 meter dari kampus perlu menjadi prioritas utama peningkatan infrastruktur pejalan kaki, mengingat zona inilah yang secara empiris menunjukkan potensi tertinggi untuk peralihan moda ke berjalan kaki apabila hambatan infrastruktur dan lingkungan dapat dikurangi. Intervensi yang relevan meliputi penyediaan jalur pejalan kaki yang teduh dan berkelanjutan, penegakan aturan terhadap penggunaan trotoar untuk fungsi lain, serta peningkatan penerangan jalan untuk mendukung rasa aman.

Kedua, perbedaan pola pergerakan pada pagi dan sore menuntut strategi intervensi yang berbeda. Pada jam sibuk pagi, penguatan kapasitas koridor arteri utama dan optimalisasi sinyal lalu lintas menjadi relevan untuk mendukung mobilitas yang terkonsentrasi dan terikat waktu. Pada sore hari, pendekatan yang lebih adaptif, seperti transportasi responsif terhadap permintaan (demand-responsive transit) atau peningkatan keamanan pada rute-rute alternatif, akan lebih sesuai dengan pola pergerakan yang lebih menyebar dan fleksibel.

Ketiga, dimensi gender perlu menjadi pertimbangan eksplisit dalam perencanaan, mengingat mahasiswa perempuan cenderung membatasi diri pada rute yang sudah dikenal karena pertimbangan keamanan. Strategi responsif gender, seperti penyediaan layanan antar-jemput yang terjaga (*guarded shuttle*) atau peningkatan pengawasan di titik-titik rawan pada rute alternatif, dapat memperluas pilihan rute yang aman bagi seluruh mahasiswa tanpa terkecuali.

Keempat, bagi mahasiswa yang bertempat tinggal di luar zona tangkapan jalan kaki, perluasan layanan transportasi kampus (seperti shuttle bus) untuk jarak menengah hingga jauh (lebih dari 5 kilometer) perlu dipertimbangkan sebagai pelengkap moda tidak bermotor, sekaligus mengurangi ketergantungan pada kendaraan bermotor pribadi.

Kelima, pada tingkat kebijakan tata ruang, pengelola kampus dan pemerintah daerah perlu mempertimbangkan pengaturan zonasi campuran (*mixed-use zoning*) di sekitar kawasan kampus, misalnya dengan mendorong tumbuhnya fungsi hunian, komersial skala kecil, dan ruang publik dalam radius zona tangkapan jalan kaki. Pendekatan ini sejalan

dengan prinsip pengembangan berorientasi transit (*transit-oriented development*) yang mendekatkan tata guna lahan dengan simpul aktivitas utama, sehingga secara struktural mengurangi kebutuhan perjalanan jarak jauh alih-alih hanya mengandalkan perbaikan infrastruktur pergerakan semata. Regulasi tata ruang di sekitar kampus idealnya juga membatasi konversi lahan yang justru menambah jarak tempuh efektif menuju kampus, seperti pembangunan kawasan tertutup (gated) yang memutus konektivitas jalur pejalan kaki.

Keenam, mengingat pola sebaran perjalanan bersifat dinamis dan dapat berubah seiring perkembangan tata guna lahan di sekitar kampus, pengelola kampus maupun otoritas transportasi kota disarankan untuk membangun sistem pemantauan mobilitas berkelanjutan, misalnya melalui survei periodik yang mengombinasikan data GIS, kuesioner, dan pemetaan mental sebagaimana dicontohkan pada studi kasus bab ini. Data semacam ini dapat menjadi basis evaluasi efektivitas intervensi infrastruktur dari waktu ke waktu, sekaligus mendeteksi secara dini apabila terjadi pergeseran pola sebaran perjalanan akibat perubahan tata guna lahan, penambahan jumlah mahasiswa, atau perubahan jaringan jalan di sekitar kampus. Secara keseluruhan, kerangka intervensi yang berjenjang berdasarkan jarak (penguatan koridor inti, peningkatan keamanan rute alternatif, penyediaan layanan responsif untuk jarak jauh, pengaturan zonasi campuran, dan pemantauan mobilitas berkelanjutan), menawarkan pendekatan yang lebih adil dan kontekstual dibandingkan dengan kebijakan seragam yang tidak mempertimbangkan variasi tata guna lahan dan pola sebaran perjalanan di sekitarnya.

Ketujuh, aspek pembiayaan dan prioritisasi anggaran juga perlu mempertimbangkan bukti empiris dari analisis sebaran perjalanan seperti ini. Mengingat keterbatasan anggaran yang lazim dihadapi institusi pendidikan maupun pemerintah daerah, data buffer dan kepadatan kernel dapat digunakan untuk memprioritaskan segmen jalan yang memberikan dampak terbesar terhadap peningkatan proporsi pejalan kaki apabila diperbaiki lebih dahulu—dalam kasus ini, segmen di dalam radius 1.000 meter di sepanjang koridor arteri utama. Pendekatan berbasis bukti (evidence-based prioritization) semacam ini memungkinkan alokasi sumber daya yang terbatas memberikan dampak maksimal, dibandingkan dengan pendekatan perbaikan infrastruktur yang tersebar merata tanpa mempertimbangkan pola sebaran perjalanan aktual.

Kedelapan, mengingat sifat kontekstual temuan sebagaimana diuraikan pada bagian keterbatasan, setiap institusi pendidikan yang hendak mengadopsi kerangka analisis serupa disarankan untuk melakukan replikasi kajian dalam konteksnya masing-masing, alih-alih langsung mengadopsi angka ambang batas dari studi kasus PNUP. Replikasi semacam ini relatif dapat dilakukan dengan sumber daya yang terjangkau, mengingat instrumen utama yang digunakan—kuesioner, peta mental, dan wawancara sederhana—tidak memerlukan investasi teknologi yang besar, sementara perangkat lunak GIS untuk analisis buffer dan kepadatan kernel kini semakin banyak tersedia dalam versi yang dapat diakses oleh institusi pendidikan dengan anggaran terbatas.

Tabel 6. 6. Perbandingan bentuk kota berdasarkan karakteristik sebaran perjalanan dan implikasi moda

No.	Zona/Isu	Jenis Intervensi	Pemangku Kepentingan Utama
1	Zona tangkapan 0–1.000 m	Jalur pejalan kaki teduh, trotoar menerus, penerangan	Pengelola kampus, dinas PU
2	Jam sibuk pagi (koridor inti)	Penguatan kapasitas & sinyal lalu lintas	Dinas perhubungan
3	Jam sore (rute menyebar)	Transportasi responsif permintaan	Operator angkutan, kampus
4	Kesetaraan gender	Shuttle terjaga, pengawasan rute alternatif	Pengelola kampus, keamanan kampus
5	Jarak > 5 km	Perluasan shuttle bus kampus	Pengelola kampus
6	Tata ruang sekitar kampus	Zonasi campuran, pembatasan kawasan tertutup	Pemerintah daerah
7	Keberlanjutan data	Survei mobilitas periodik (GIS + peta mental)	Kampus, peneliti
8	Replikasi & anggaran	Prioritisasi berbasis bukti, replikasi kajian	Kampus lain, pembuat kebijakan

Terakhir, perlu ditegaskan bahwa keberhasilan implementasi berbagai rekomendasi di atas sangat bergantung pada koordinasi lintas pemangku kepentingan, mencakup pengelola kampus, dinas perhubungan dan tata

ruang pemerintah daerah, operator angkutan umum, serta perwakilan mahasiswa sebagai pengguna utama. Analisis sebaran perjalanan yang komprehensif sebagaimana diuraikan pada bab ini idealnya menjadi bahan diskusi bersama di antara para pemangku kepentingan tersebut, bukan semata-mata dokumen teknis yang hanya digunakan secara internal oleh satu instansi. Forum koordinasi rutin yang melibatkan data sebaran perjalanan terkini dapat membantu menyelaraskan prioritas pembangunan infrastruktur kampus dengan rencana tata ruang wilayah yang lebih luas, sehingga intervensi yang dilakukan tidak berjalan secara terisolasi dan lebih berpeluang memberikan dampak jangka panjang terhadap pola mobilitas yang lebih berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

Alonso, W. (2013) 'Location and land use: Toward a general theory of land rent', in *Location and land use*. Harvard university press.

Cervero, R. (2013) *The transit metropolis: a global inquiry*. Princeton University Press.

Cervero, R. and Kockelman, K. (1997) 'Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design', *Transportation research part D: Transport and environment*, 2(3), pp. 199–219.

de Dios Ortúzar, J. and Willumsen, L.G. (2024) *Modelling transport*. John wiley & sons.

Ewing, R. and Cervero, R. (2010) 'Travel and the built environment: A meta-analysis', *Journal of the American planning association*, 76(3), pp. 265–294.

Hägerstrand, T. (1970) 'What about people in regional science', *Transport Sociology: Social aspects of transport planning*, pp. 143–158.

Hansen, W.G. (1959) 'How accessibility shapes land use', *Journal of the American Institute of planners*, 25(2), pp. 73–76.

Institute of Transportation (2021) *Trip Generation Manual, 11th Edition*. Washington DC.

Kamruzzaman, M. *et al.* (2011) 'Using GIS to visualise and evaluate student travel behaviour', *Journal of Transport Geography*, 19(1), pp. 13–32.

Kwan, M. (1998) 'Space-time and integral measures of individual accessibility: a comparative analysis using a point-based framework', *Geographical analysis*, 30(3), pp. 191–216.

Lynch, K. (1960) *The Image of the City*. Cambridge, Massachusetts: The M.I.T. Press.

McNally, M.G. (2007) 'The four-step model'.

Meyer, M.D. and Miller, E.J. (2001) *Urban transportation planning: A decision-oriented approach*.

Miller, H.J. (1999) 'Measuring space-time accessibility benefits within transportation networks: Basic theory and computational procedures', *Geographical analysis*, 31(1), pp. 187–212.

Mitchell, R.B. and Rapkin, C. (1954) *Urban traffic: A function of land use*. Columbia University Press.

Newman, P.G. and Kenworthy, J.R. (1989) *Cities and automobile dependence: An international sourcebook*.

Ridwan, V.F. *et al.* (2024) 'Sistem Informasi Geografi untuk Teknik Sipil'. Makassar: Nasmedia.

Ridwan, V.F. *et al.* (2025) 'Exploring Sustainable Transportation Perceptions Among Politeknik Negeri Ujung Pandang Students: A Mixed-Methods Study Using Mental Mapping and Unstructured Interviews', *INTEK: Jurnal Penelitian*, 12(2), pp. 61–67.

Ridwan, V.F. *et al.* (2026) 'Analyzing Student Mobility Patterns and Route Preferences: A GIS-and Mental Map-based Study at Politeknik Negeri Ujung Pandang, Indonesia', *Civil Engineering Dimension*, 28(1), pp. 111–119.

Ridwan, V.F., Hasanuddin, H.A. and Sarif, S. (2023) 'Trans Mamminasata Bus Service Coverage Area in Corridors 2 and 3, Indonesia, using Network Analysis', *Civil Engineering Dimension*, 25(1), pp. 48–52. Available at: https://doi.org/10.9744/ced.25.1.48-52.

Ridwan, V.F. and Matsumura, N. (2020) 'Modeling place attachment of international students A spatial statistic using integrated questionnaire and mental map', *Journal of Human Environmental Studies*, 18(2), pp. 127–136.

Rodrigue, J.-P. (2024) *The geography of transport systems*. Taylor & Francis.

Southworth, M. (2005) 'Designing the walkable city', *Journal of urban planning and development*, 131(4), pp. 246–257.

Voorhees, A.M. (1955) *A general theory of traffic movement*.

Wegener, M. and Fürst, F. (2004) 'Land-use transport interaction: State of the art', *Available at SSRN 1434678* [Preprint].

Wilson, A.G. (1967) 'A statistical theory of spatial distribution models', *Transportation research*, 1(3), pp. 253–269.

Wunas, S. (2018) *Kota humanis: integrasi guna lahan & transportasi di wilayah suburban*. Firstbox Media.

BAB 7
PEMILIHAN MODA TRANSPORTASI DALAM SISTEM PERJALANAN

Oleh Erning Ertami Anton

7.1 Pengantar Sistem Transportasi

Sistem transportasi perkotaan dan antarkota tidak pernah berdiri di atas satu moda tunggal. Setiap hari, jutaan orang memutuskan apakah akan berjalan kaki, mengendarai sepeda motor, menyetir mobil pribadi, menaiki bus, atau menggunakan kereta api untuk mencapai tujuannya. Keputusan-keputusan individual inilah yang, secara agregat, membentuk pola pergerakan pada suatu jaringan transportasi dan menentukan seberapa efisien, adil, dan berkelanjutan sistem tersebut bekerja. Kajian mengenai bagaimana pelaku perjalanan menentukan pilihan di antara alternatif moda yang tersedia dikenal sebagai pemilihan moda (*mode choice*), atau dalam konteks agregat sering disebut pembagian moda (*modal split*).

Pemilihan moda menempati posisi sentral dalam perencanaan transportasi karena keputusan ini berdampak langsung pada tingkat kemacetan, konsumsi energi, emisi gas rumah kaca, keselamatan lalu lintas, dan tingkat aksesibilitas masyarakat terhadap peluang ekonomi dan sosial (Ortúzar

and Willumsen, 2011). Ketika sebagian besar penduduk suatu kota beralih dari angkutan umum ke kendaraan pribadi, konsekuensinya bukan sekadar bertambahnya jumlah kendaraan di jalan, melainkan juga meningkatnya kebutuhan ruang jalan, ruang parkir, biaya perjalanan sosial, dan degradasi lingkungan. Sebaliknya, kebijakan yang berhasil menggeser pilihan masyarakat menuju moda yang lebih efisien-ruang seperti *bus rapid transit* (BRT), kereta perkotaan, atau moda aktif (berjalan kaki dan bersepeda) dapat memberikan manfaat besar bagi keberlanjutan kota.

Di Indonesia, relevansi kajian pemilihan moda semakin nyata seiring dengan pesatnya urbanisasi dan pertumbuhan kepemilikan kendaraan bermotor, khususnya sepeda motor. Dominasi sepeda motor dalam pergerakan sehari-hari, disertai rendahnya pangsa angkutan umum di banyak kota, menempatkan analisis pemilihan moda sebagai instrumen penting untuk merancang intervensi kebijakan. Pengembangan sistem transportasi massal seperti *Mass Rapid Transit* (MRT) dan *Light Rail Transit* (LRT) di sejumlah kota besar, serta reformasi angkutan umum berbasis *buy the service*, pada dasarnya merupakan upaya mengubah struktur preferensi masyarakat terhadap moda. Semua upaya ini menuntut pemahaman yang cermat mengenai faktor-faktor yang mendorong seseorang memilih atau meninggalkan suatu moda.

Bab ini membahas pemilihan moda transportasi secara sistematis, mulai dari kedudukannya dalam kerangka perencanaan transportasi, faktor-faktor yang memengaruhi keputusan pelaku perjalanan, landasan teori perilaku yang mendasari pemodelan, hingga model-model matematis yang lazim digunakan, terutama keluarga model logit beserta

prosedur estimasinya. Bab ini juga menyajikan penerapan pada konteks Indonesia dan menelaah isu-isu kontemporer seperti peran faktor psikologis, layanan mobilitas terpadu (*Mobility as a Service*), serta pendekatan machine learning. Dengan demikian, pembaca diharapkan memperoleh landasan konseptual sekaligus keterampilan praktis untuk memahami dan mengaplikasikan analisis pemilihan moda dalam perencanaan transportasi.

7.2 Konsep Dasar Pemilihan Moda dalam Sistem Perencanaan Transportasi

7.2.1 Kedudukan dalam Model Empat Tahap

Kerangka klasik yang paling banyak digunakan untuk memodelkan permintaan perjalanan adalah Model Perencanaan Transportasi Empat Tahap (*Four-Step Model*). Model ini menguraikan proses terbentuknya pergerakan menjadi empat tahapan yang berurutan namun saling terkait: (1) bangkitan dan tarikan perjalanan (*trip generation*), yang memperkirakan jumlah perjalanan yang dihasilkan dan ditarik oleh setiap zona; (2) sebaran perjalanan (*trip distribution),* yang menentukan pola asal–tujuan antarzona; (3) pemilihan moda (*mode choice*), yang membagi perjalanan antarzona ke dalam berbagai moda yang tersedia; dan (4) pembebanan perjalanan pada jaringan (*trip assignment*), yang mengalokasikan arus ke rute-rute tertentu (Tamin, 2008; Ortúzar and Willumsen, 2011). Gambar 10.1 memperlihatkan kedudukan keempat tahap tersebut.



Gambar 7. 1 Kedudukan pemilihan moda dalam Model Empat Tahap perencanaan transportasi
(Sumber: Diadaptasi dari Ortúzar and Willumsen (2011) serta Tamin (2008))

Pemilihan moda merupakan tahapan ketiga dalam urutan tersebut. Setelah diketahui berapa banyak perjalanan yang terjadi antarpasangan zona, pertanyaan berikutnya adalah moda apa yang digunakan untuk melakukan perjalanan tersebut. Output tahap pemilihan moda—berupa proporsi perjalanan menurut moda—menjadi masukan penting bagi tahap pembebanan, karena setiap moda dibebankan pada jaringan yang berbeda (jaringan jalan untuk kendaraan bermotor pribadi, jaringan trayek untuk angkutan umum, dan seterusnya). Kesalahan dalam memperkirakan pangsa moda akan merambat ke seluruh hasil peramalan

permintaan, sehingga ketelitian pada tahap ini sangat menentukan (Meyer and Miller, 2001).

Meskipun disajikan secara berurutan, kedudukan pemilihan moda tidak selalu kaku pada urutan ketiga. Dalam praktik pemodelan, pemilihan moda dapat ditempatkan sebelum sebaran perjalanan (*trip-end modal split*), sesudahnya (*trip-interchange modal split*), atau bahkan diestimasi secara simultan dengan sebaran dalam satu struktur model gabungan. Penempatan ini bergantung pada asumsi mengenai kapan pelaku perjalanan menetapkan pilihan modanya, apakah sebelum atau sesudah menentukan tujuan (Ortúzar and Willumsen, 2011).

7.2.2 Definisi dan Terminologi

Pemilihan moda dapat didefinisikan sebagai proses pengambilan keputusan oleh pelaku perjalanan untuk menetapkan moda transportasi yang akan digunakan dalam melakukan suatu perjalanan, dengan mempertimbangkan sejumlah pertimbangan biaya, waktu, kenyamanan, dan ketersediaan (Tamin, 2008). Dari sudut pandang analisis, terdapat beberapa istilah yang perlu dibedakan. Pembagian moda (*modal split*) merujuk pada hasil agregat berupa proporsi perjalanan menurut moda pada suatu populasi atau zona. Model pemilihan moda (*mode choice model*) adalah alat matematis untuk memperkirakan probabilitas seorang individu atau proporsi suatu kelompok dalam memilih moda tertentu berdasarkan atribut moda dan karakteristik pelaku perjalanan.

Dalam terminologi teori keputusan, alternatif (*alternative)* adalah setiap moda yang tersedia bagi pelaku perjalanan, sedangkan himpunan pilihan (*choice set*) adalah

kumpulan alternatif yang benar-benar tersedia dan dipertimbangkan oleh individu tersebut. Tidak semua moda yang secara fisik ada berada dalam himpunan pilihan seseorang; seorang yang tidak memiliki SIM dan mobil, misalnya, tidak memasukkan mobil pribadi sebagai alternatif. Atribut (*attribute*) adalah karakteristik terukur dari suatu alternatif, seperti waktu tempuh, biaya, atau waktu tunggu, yang menjadi dasar penilaian pelaku perjalanan (Ben-Akiva and Lerman, 1985).

7.2.3 Klasifikasi Moda Transportasi

Moda transportasi darat yang menjadi objek utama analisis pemilihan moda dapat diklasifikasikan berdasarkan sifat kepemilikan dan pengoperasiannya. Moda pribadi (*private mode*) mencakup mobil pribadi, sepeda motor, dan sepeda, yang dikendalikan penuh oleh penggunanya. Moda umum (*public mode*) mencakup bus kota, BRT, angkutan kota (angkot), kereta api perkotaan, MRT, dan LRT, yang beroperasi menurut jadwal dan trayek tertentu serta digunakan bersama. Di antara keduanya terdapat moda semipublik atau paratransit, seperti ojek, taksi, dan layanan transportasi daring (*ride-hailing*), yang memadukan fleksibilitas moda pribadi dengan sifat berbayar per perjalanan (Miro, 2012). Selain itu, moda aktif (*active mode*), yakni berjalan kaki dan bersepeda, semakin memperoleh perhatian karena kontribusinya terhadap kesehatan dan keberlanjutan.

Klasifikasi ini penting karena setiap kelompok moda memiliki struktur biaya, pola atribut, dan karakteristik pengguna yang berbeda. Tabel 7.1 merangkum ciri-ciri utama

beberapa moda darat yang lazim menjadi alternatif dalam analisis pemilihan moda di Indonesia.

Tabel 7. 1 Karakteristik umum moda transportasi darat sebagai alternatif pemilihan moda

Moda	Sifat	Keunggulan Utama	Keterbatasan Utama
Mobil pribadi	Pribadi	Fleksibel, nyaman, privat	Biaya tinggi, boros ruang, macet
Sepeda motor	Pribadi	Murah, lincah, cepat, door-to-door	Rawan kecelakaan, terpapar cuaca
Bus kota/BRT	Umum	Kapasitas besar, hemat ruang	Bergantung jadwal & trayek
Kereta/MRT/LRT	Umum	Cepat, andal, bebas macet	Investasi besar, jangkauan terbatas
Ojek/taksi daring	Paratransit	Fleksibel, door-to-door	Tarif dinamis, kapasitas kecil
Moda aktif	Non-motor	Sehat, murah, nol emisi	Jarak & cuaca terbatas

Sumber: Diringkas dari Miro (2012) dan Ortúzar and Willumsen (2011)

7.3 Faktor-Faktor yang Memengaruhi Pemilihan Moda

Keputusan memilih moda tidak terjadi dalam ruang hampa. Ia dipengaruhi oleh interaksi kompleks antara karakteristik perjalanan itu sendiri, atribut pelaku perjalanan, kinerja masing-masing moda, dan konteks tata guna lahan tempat perjalanan berlangsung. Tamin (2008) mengelompokkan faktor-faktor tersebut ke dalam empat kategori besar yang akan diuraikan berikut ini.

7.3.1 Karakteristik Perjalanan

Ciri-ciri perjalanan itu sendiri sangat menentukan moda yang rasional untuk digunakan. Maksud perjalanan (*trip purpose*), apakah untuk bekerja, sekolah, berbelanja, atau rekreasi, memengaruhi sensitivitas pelaku terhadap waktu dan biaya. Perjalanan kerja yang rutin dan terikat waktu cenderung lebih mengutamakan keandalan dan kecepatan, sementara perjalanan rekreasi lebih fleksibel. Jarak perjalanan juga krusial: untuk jarak sangat pendek, moda aktif dan sepeda motor mendominasi, sedangkan untuk jarak menengah dan jauh, moda umum bermotor dan kendaraan pribadi menjadi lebih kompetitif. Studi Ton *et al*. (2019) di Belanda menemukan bahwa pemilihan antara berjalan kaki dan bersepeda dipengaruhi oleh beragam kelompok penentu, mulai dari karakteristik individu dan rumah tangga hingga musim dan cuaca, dan paling peka terhadap perubahan ciri perjalanan serta lingkungan terbangun. Selain itu, waktu perjalanan (jam sibuk vs. non-sibuk) turut memengaruhi karena berkaitan dengan tingkat kemacetan dan ketersediaan angkutan umum.

7.3.2 Karakteristik Pelaku Perjalanan

Atribut sosio-ekonomi individu dan rumah tangga membentuk kerangka pilihan yang tersedia sekaligus preferensi di dalamnya. Kepemilikan kendaraan (*car/motorcycle ownership*) adalah faktor paling menentukan: seseorang yang tidak memiliki kendaraan pribadi praktis bergantung pada angkutan umum atau paratransit (*captive rider*), sedangkan pemilik kendaraan memiliki kebebasan memilih (*choice rider*). Tingkat pendapatan berkorelasi dengan kesediaan membayar untuk kenyamanan dan penghematan waktu, sehingga kelompok berpendapatan tinggi cenderung lebih memilih kendaraan pribadi atau moda premium. Faktor lain mencakup usia, jenis kelamin, kepemilikan SIM, status pekerjaan, ukuran rumah tangga, serta struktur aktivitas harian (Ortúzar and Willumsen, 2011). Karakteristik ini menjelaskan mengapa dua individu yang menghadapi pilihan moda dan atribut yang sama dapat mengambil keputusan berbeda.

7.3.3 Karakteristik Sistem dan Kinerja Moda

Kelompok faktor ketiga—dan yang paling dapat dikendalikan oleh perencana—adalah atribut kinerja masing-masing moda. Faktor ini biasanya dibagi menjadi atribut kuantitatif dan kualitatif. Atribut kuantitatif meliputi waktu tempuh di dalam kendaraan (*in-vehicle travel time*), waktu di luar kendaraan (waktu berjalan menuju halte, waktu tunggu, waktu transfer), biaya perjalanan (tarif, bahan bakar, parkir, tol), serta frekuensi dan keandalan layanan. Atribut kualitatif mencakup kenyamanan, keamanan, keselamatan, privasi, dan kemudahan (Koppelman and Bhat, 2006). Karena atribut inilah yang dapat diintervensi melalui kebijakan—misalnya

menurunkan tarif, menambah frekuensi bus, atau menaikkan biaya parkir mobil—maka pemahaman atas sensitivitas pelaku perjalanan terhadap tiap atribut menjadi inti dari analisis pemilihan moda untuk keperluan kebijakan.

7.3.4 Karakteristik Tata Guna Lahan dan Lingkungan Kota

Konteks spasial tempat perjalanan berlangsung juga memengaruhi pilihan moda. Kepadatan penduduk dan pekerjaan, keberagaman guna lahan (*mixed use*), kualitas desain jaringan pejalan kaki, serta jarak menuju titik simpul angkutan umum—yang dalam literatur sering dirangkum sebagai variabel *built environment* atau prinsip 5D (*density, diversity, design, destination accessibility, distance to transit*)—terbukti berpengaruh terhadap kecenderungan menggunakan moda tertentu (Ewing and Cervero, 2010; De Vos *et al.*, 2016). Kawasan padat dengan guna lahan campuran dan aksesibilitas angkutan umum yang baik mendorong penggunaan moda umum dan aktif, sedangkan kawasan pinggiran yang tersebar (urban sprawl) cenderung mendorong ketergantungan pada kendaraan pribadi (Ewing and Cervero, 2010). Interaksi antara transportasi dan tata guna lahan ini bersifat dua arah dan menjadi dasar bagi konsep pembangunan berorientasi transit (*Transit-Oriented Development*). Tabel 7.2 merangkum keempat kelompok faktor tersebut beserta contoh variabelnya.

Tabel 7. 2 Pengelompokan faktor-faktor yang memengaruhi pemilihan modal

Kelompok Faktor	Contoh Variabel	Pengaruh terhadap Pilihan
Karakteristik perjalanan	Maksud, jarak, waktu perjalanan	Menentukan moda yang rasional per konteks
Karakteristik pelaku	Kepemilikan kendaraan, pendapatan, usia	Membentuk himpunan pilihan & preferensi
Kinerja moda	Waktu, biaya, frekuensi, kenyamanan	Sasaran utama intervensi kebijakan
Tata guna lahan	Kepadatan, mixed use, akses transit	Membentuk konteks spasial pilihan

Sumber: Disusun berdasarkan Tamin (2008), Koppelman and Bhat (2006), dan Ewing and Cervero (2010)

7.4 Teori Perilaku dalam Pemilihan Moda

7.4.1 Konsep Utilitas dan Teori Utilitas Acak

Sebagian besar model pemilihan moda modern dibangun di atas teori utilitas acak (*Random Utility Theory/RUT*) yang berakar pada ekonomi mikro perilaku konsumen. Premis dasarnya adalah bahwa setiap pelaku perjalanan yang rasional akan memilih alternatif yang memberikan utilitas (kepuasan atau manfaat bersih) tertinggi baginya (McFadden, 1974; Ben-Akiva and Lerman, 1985). Namun, analis tidak pernah mampu mengamati seluruh faktor yang memengaruhi keputusan individu—ada preferensi,

persepsi, dan pertimbangan yang tidak terukur. Oleh karena itu, utilitas dipandang sebagai besaran acak dari sudut pandang analis, meskipun deterministik bagi individu yang bersangkutan.

Utilitas total suatu alternatif dinyatakan sebagai penjumlahan komponen sistematis (terukur) dan komponen acak (galat), sebagaimana persamaan (10.1).

$$U_{in} = V_{in} + \varepsilon_{in} \quad \textbf{(7.1)}$$

dengan U_{in} adalah utilitas alternatif i bagi individu n, V_{in} adalah komponen sistematis (utilitas terukur) yang merupakan fungsi dari atribut yang teramati, dan ε_{in} adalah komponen acak yang menampung seluruh faktor tak teramati. Individu n akan memilih alternatif i jika dan hanya jika U_{in} lebih besar daripada utilitas seluruh alternatif lain dalam himpunan pilihannya. Karena komponen acak tidak diketahui analis, keputusan hanya dapat dinyatakan secara probabilistik: probabilitas individu memilih alternatif i sama dengan probabilitas U_{in} merupakan yang terbesar (Train, 2009).

7.4.2 Fungsi Utilitas dan Atribut

Komponen sistematis V_{in} umumnya dirumuskan sebagai fungsi linear dari atribut alternatif dan karakteristik pelaku perjalanan, sebagaimana persamaan (10.2).

$$V_{in} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \cdots + \beta_k X_k \quad \textbf{(7.2)}$$

dengan β_0 adalah konstanta spesifik alternatif (alternative specific constant) yang menangkap preferensi rata-rata terhadap suatu moda yang tidak dijelaskan oleh atribut; β_1 hingga β_k adalah koefisien yang mencerminkan bobot atau kepekaan pelaku perjalanan terhadap masing-masing atribut; dan X_1 hingga X_k adalah atribut seperti waktu tempuh, biaya, dan waktu tunggu. Tanda dan besaran koefisien memberikan makna perilaku yang penting: koefisien waktu dan biaya semestinya bernilai negatif, karena bertambahnya waktu atau biaya menurunkan utilitas dan dengan demikian menurunkan probabilitas memilih moda tersebut. Rasio antarkoefisien juga bermakna, misalnya perbandingan koefisien waktu terhadap biaya yang menghasilkan nilai waktu (*value of time*) (Hensher, Rose and Greene, 2015). Konsep ini akan dibahas lebih lanjut pada Subbab 7.7.

7.5 Klasifikasi Model Pemilihan Moda

Model pemilihan moda dapat diklasifikasikan menurut beberapa dimensi. Pemahaman atas klasifikasi ini membantu analis memilih pendekatan yang sesuai dengan ketersediaan data dan tujuan studi.

7.5.1 Model Agregat Vs. Disagregat

Model agregat bekerja pada tingkat kelompok atau zona, memperkirakan proporsi perjalanan menurut moda berdasarkan data yang telah dirata-ratakan. Pendekatan ini historis mendahului model disagregat dan masih digunakan pada perencanaan makro. Kelemahannya, model agregat rentan terhadap bias agregasi dan kurang mampu

menjelaskan perilaku pada tingkat individu. Sebaliknya, model disagregat memodelkan keputusan pada tingkat individu pelaku perjalanan, menggunakan data karakteristik dan pilihan tiap responden. Model disagregat, yang mencakup keluarga model logit, lebih efisien secara statistik, lebih dapat ditransfer antarwilayah, dan lebih mampu menangkap heterogenitas perilaku, sehingga menjadi pendekatan dominan dalam praktik kontemporer (Ben-Akiva and Lerman, 1985; Ortúzar and Willumsen, 2011).

7.5.2 Pendekatan Deterministik dan Probabilistik

Model deterministik mengasumsikan bahwa dengan atribut yang sama, semua individu akan memilih alternatif yang sama secara pasti. Pendekatan ini sederhana namun tidak realistis, karena mengabaikan variasi preferensi dan faktor tak teramati. Model probabilistik, yang dilandasi teori utilitas acak, mengakui adanya ketidakpastian dan menghasilkan probabilitas pemilihan alih-alih keputusan pasti. Karena mampu merepresentasikan keragaman perilaku secara lebih realistis, model probabilistik, khususnya model logit, menjadi standar dalam pemodelan pemilihan moda (McFadden, 1974).

7.5.3 Pendekatan Klasik: Kurva Diversi

Sebelum berkembangnya model utilitas acak, pemilihan moda kerap dianalisis melalui kurva diversi (*diversion curve*), yaitu kurva empiris yang menghubungkan proporsi pemilihan suatu moda dengan rasio atau selisih atribut antarmoda (misalnya rasio waktu atau biaya). Kurva ini disusun dari data pengamatan dan bersifat deskriptif. Meskipun mudah dipahami, pendekatan kurva diversi memiliki keterbatasan

mendasar: ia tidak berbasis teori perilaku, sulit digeneralisasikan ke kondisi di luar rentang data, dan tidak dapat menangani lebih dari dua moda secara memadai (Tamin, 2008). Keterbatasan inilah yang mendorong peralihan menuju model berbasis utilitas.

7.6 Model Logit dan Aplikasinya

Keluarga model logit merupakan bentuk operasional paling luas dari teori utilitas acak. Model logit diperoleh dengan mengasumsikan bahwa komponen acak ε pada persamaan (10.1) terdistribusi secara identik dan independen mengikuti distribusi Gumbel (*extreme value* tipe I). Asumsi ini menghasilkan bentuk fungsi probabilitas tertutup yang elegan dan mudah diestimasi, sehingga model logit menjadi tulang punggung praktik pemodelan pemilihan moda (McFadden, 1974; Train, 2009).

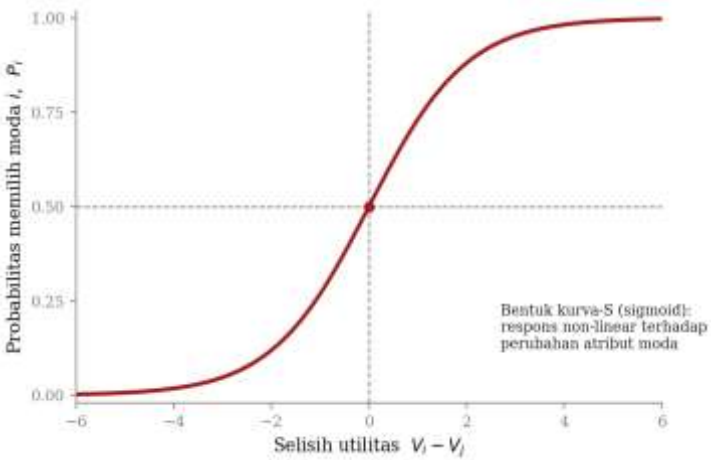
7.6.1 Model Logit Biner

Model logit biner (*binary logit*) digunakan ketika hanya terdapat dua alternatif moda, misalnya 'kendaraan pribadi' versus 'angkutan umum'. Probabilitas individu memilih moda i dinyatakan dalam persamaan (7.3).

$$P_i = \frac{\exp(V_i)}{\exp(V_i)+\exp(V_j)} = \frac{1}{1+\exp\left(-(V_i-V_j)\right)} \qquad \textbf{(7.3)}$$

Persamaan ini menghasilkan kurva berbentuk-S (*sigmoid*) yang menghubungkan selisih utilitas antarmoda dengan probabilitas pemilihan, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 7.2. Ketika kedua moda memberikan utilitas

yang sama ($V_i = V_j$), probabilitas memilih masing-masing moda adalah 0,5. Seiring meningkatnya keunggulan utilitas moda i, probabilitas pemilihannya meningkat secara non-linear menuju satu, dan sebaliknya. Bentuk non-linear ini penting secara kebijakan: pada rentang di sekitar titik keseimbangan, perubahan kecil pada atribut moda (misalnya penurunan tarif atau waktu tempuh) dapat menghasilkan pergeseran pangsa moda yang relatif besar.



Gambar 7. 2 Kurva probabilitas model logit biner terhadap selisih utilitas antarmoda
(Sumber: Diadaptasi dari Ben-Akiva and Lerman (1985) serta Train (2009))

Bentuk transformasi logit juga dapat dinyatakan dalam logaritma rasio peluang (*log-odds*), sebagaimana persamaan (7.4), yang memperlihatkan bahwa logaritma perbandingan probabilitas kedua moda merupakan fungsi linear dari selisih utilitasnya. Bentuk linear inilah yang memudahkan estimasi parameter.

$$\ln\left(\frac{P_i}{P_j}\right) = V_i - V_j \quad \textbf{(7.4)}$$

7.6.2 Model Logit Multinomial

Ketika alternatif moda lebih dari dua, misalnya mobil, sepeda motor, bus, dan kereta, digunakan Model Logit Multinomial (*Multinomial Logit/MNL*). Probabilitas individu n memilih moda i dari himpunan pilihan C_n dirumuskan dalam persamaan (7.5).

$$P_{in} = \frac{\exp(V_{in})}{\sum_{j \in C_n} \exp(V_{jn})} \quad \textbf{(7.5)}$$

MNL adalah model pemilihan moda yang paling banyak digunakan karena kesederhanaan, kemudahan estimasi, dan interpretasi koefisiennya yang jelas. Setiap probabilitas berada di antara nol dan satu, dan jumlah probabilitas seluruh alternatif dalam himpunan pilihan selalu sama dengan satu. Karena bentuknya tertutup, MNL dapat diestimasi secara efisien dengan metode kemungkinan maksimum (*maximum likelihood).* Namun demikian, kesederhanaan MNL disertai satu asumsi pembatas yang penting untuk dipahami, yaitu sifat *Independence of Irrelevant Alternatives*.

7.6.3 Sifat Independence of Irrelevant Alternatives

Sifat *Independence of Irrelevant Alternatives* (IIA) menyatakan bahwa rasio probabilitas antara dua alternatif hanya bergantung pada atribut kedua alternatif tersebut, dan tidak dipengaruhi oleh keberadaan atau atribut alternatif lain. Konsekuensi sifat ini paling jelas terlihat pada ilustrasi klasik 'bus merah–bus biru': jika terdapat dua alternatif, mobil dan bus, dengan probabilitas seimbang, lalu bus dipecah menjadi

dua alternatif identik yang hanya berbeda warna, MNL secara keliru akan tetap membagi probabilitas secara proporsional dan menurunkan pangsa mobil, padahal secara perilaku warna bus tidak relevan. Masalah ini muncul ketika terdapat alternatif yang saling berkorelasi atau memiliki kemiripan (misalnya dua moda angkutan umum yang berdekatan sifatnya). Ketika struktur pilihan mengandung korelasi semacam itu, asumsi IIA dapat menghasilkan prediksi yang bias, sehingga diperlukan model yang lebih fleksibel (Koppelman and Bhat, 2006; Train, 2009).

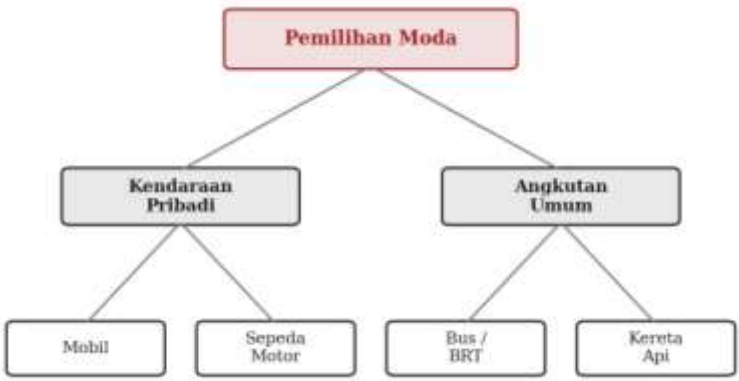
7.6.4 Model Logit Bersarang dan Pengembangan Lanjut

Model Logit Bersarang (*Nested Logit*) dikembangkan untuk mengatasi keterbatasan IIA. Model ini mengelompokkan alternatif-alternatif yang mirip ke dalam 'sarang' (*nest*) sehingga korelasi di antara alternatif dalam satu sarang dapat ditampung. Struktur pilihan disusun secara hierarkis: pelaku perjalanan seolah-olah pertama menentukan kelompok moda (misalnya 'pribadi' atau 'umum'), kemudian memilih moda spesifik di dalam kelompok tersebut. Probabilitas total merupakan perkalian probabilitas memilih sarang dengan probabilitas bersyarat memilih alternatif di dalam sarang, sebagaimana persamaan (7.6).

Perlu ditegaskan bahwa struktur hierarki tidak dapat ditetapkan semata-mata berdasarkan intuisi mengenai kemiripan moda, melainkan harus diuji secara empiris. Ton *et al*. (2019) memberikan ilustrasi yang baik untuk hal ini. Dalam pemodelan pemilihan moda di Belanda, mereka menguji apakah berjalan kaki dan bersepeda membentuk satu sarang 'moda aktif', dan hasil estimasi menunjukkan bahwa sarang tersebut tidak terbentuk sehingga kedua moda itu perlu

diperlakukan sebagai alternatif yang berbeda. Temuan ini mengingatkan bahwa kemiripan yang tampak jelas secara konseptual belum tentu tercermin dalam struktur korelasi perilaku pemilihnya.

$$P(i) = P(sarang) \times P(i|sarang) \qquad \textbf{(7.6)}$$



Gambar 7. 3 Contoh struktur hierarki (*nesting structure*) model *nested logit* untuk pemilihan moda
(Sumber: Diadaptasi dari Koppelman and Bhat (2006))

Selain *nested logit*, terdapat pengembangan lanjut yang semakin fleksibel. Model Logit Campuran (*Mixed Logit*) membebaskan asumsi IIA sepenuhnya dengan mengizinkan koefisien bervariasi antarindividu menurut suatu distribusi, sehingga mampu menangkap heterogenitas selera (*taste heterogeneity*) dan pola substitusi yang kompleks (Train, 2009). Model Probit menggunakan asumsi distribusi galat normal multivariat yang memungkinkan korelasi bebas antaralternatif, meskipun dengan beban komputasi lebih berat. Dalam perkembangan terkini, model pilihan diskret

diintegrasikan dengan variabel laten sikap dan persepsi melalui kerangka *Integrated Choice and Latent Variable* (ICLV), yang memperkaya penjelasan perilaku dengan memasukkan faktor psikologis yang selama ini tak teramati (Vij and Walker, 2016). Tabel 7.3 merangkum perbandingan keempat model tersebut beserta kemampuannya menangani asumsi IIA.

Tabel 7. 3 Perbandingan ringkas model-model dalam keluarga logit

Model	Menangani IIA?	Kelebihan	Keterbatasan
Binary logit	-	Sederhana, dua alternatif	Hanya untuk dua moda
Multinomial logit	Tidak	Mudah diestimasi	Terikat asumsi IIA
Nested logit	Sebagian	Menampung korelasi antar-sarang	Struktur hierarki harus ditetapkan
Mixed logit	Ya	Fleksibel, heterogenitas selera	Estimasi berbasis simulasi, berat

Sumber: Disusun dari Train (2009), Koppelman and Bhat (2006), dan Hensher *et al*. (2015)

7.7 Data dan Estimasi Model Pemilihan Moda

7.7.1 Data Revealed Preference dan Stated Preference

Estimasi model pemilihan moda memerlukan data pilihan pelaku perjalanan beserta atribut alternatif yang dihadapinya. Terdapat dua jenis sumber data utama. Data *Revealed Preference* (RP) mencatat pilihan aktual yang benar-benar dilakukan pelaku perjalanan di dunia nyata, sehingga mencerminkan perilaku sesungguhnya. Kelemahannya, data RP terbatas pada alternatif dan atribut yang saat ini ada, sehingga sulit digunakan untuk mengevaluasi moda atau tingkat pelayanan yang belum tersedia. Data *Stated Preference* (SP) diperoleh melalui eksperimen pilihan hipotetis, di mana responden diminta menyatakan pilihannya terhadap skenario-skenario yang dirancang analis. Data SP memungkinkan pengujian atribut dan alternatif baru—misalnya rencana kereta cepat atau BRT—namun berisiko mengandung bias hipotetis karena pilihan yang dinyatakan belum tentu sama dengan perilaku nyata (Hensher, Rose and Greene, 2015). Dalam praktik, kedua jenis data sering digabungkan (*data enrichment*) untuk memanfaatkan keunggulan masing-masing.

7.7.2 Estimasi Parameter dan Uji Kesesuaian Model

Parameter model logit (koefisien β) lazim diestimasi dengan metode kemungkinan maksimum (*maximum likelihood estimation*), yaitu mencari nilai koefisien yang memaksimalkan peluang teramati atas seluruh pilihan yang dilakukan responden dalam sampel. Setelah estimasi, kualitas model dinilai melalui beberapa ukuran. Uji signifikansi tiap koefisien dilakukan dengan statistik-t untuk memastikan

pengaruh atribut berbeda nyata dari nol dan bertanda sesuai teori. Kesesuaian model secara keseluruhan dinilai dengan indeks rho-kuadrat (ρ^2) atau rho-kuadrat terkoreksi, sebagaimana persamaan (10.7), yang membandingkan nilai log-likelihood model terestimasi dengan model tanpa informasi.

$$\rho^2 = 1 - \frac{LL(\beta)}{LL(0)} \qquad \textbf{(7.7)}$$

Nilai ρ^2 berkisar antara nol dan satu; nilai yang lebih tinggi menunjukkan kesesuaian yang lebih baik, meskipun rentang nilai ρ^2 yang 'baik' pada model pilihan diskret umumnya lebih rendah daripada koefisien determinasi (R^2) pada regresi linear. Selain ρ^2, analis juga memeriksa persentase pilihan yang diprediksi dengan benar (*hit rate*) dan menguji kewajaran tanda serta besaran koefisien dari sudut pandang perilaku (Ben-Akiva and Lerman, 1985).

7.7.3 Nilai Waktu dan Elastisitas

Salah satu keluaran paling bermanfaat dari model pemilihan moda adalah nilai waktu perjalanan (*Value of Time*/VoT), yaitu jumlah uang yang bersedia dikorbankan pelaku perjalanan untuk menghemat satu satuan waktu. Nilai waktu diperoleh dari rasio koefisien waktu terhadap koefisien biaya, sebagaimana persamaan (10.8).

$$VoT = \frac{\beta_{waktu}}{\beta_{biaya}} \qquad \textbf{(7.8)}$$

Nilai waktu penting untuk analisis kelayakan ekonomi proyek transportasi, karena penghematan waktu perjalanan

merupakan komponen manfaat terbesar dalam banyak studi (Litman, 2023). Selain nilai waktu, model memungkinkan perhitungan elastisitas, yaitu persentase perubahan probabilitas pemilihan moda akibat perubahan satu persen suatu atribut. Elastisitas memberi perencana ukuran kuantitatif mengenai seberapa responsif pengguna terhadap intervensi kebijakan—misalnya seberapa besar penurunan tarif yang diperlukan untuk menaikkan pangsa angkutan umum sebesar target tertentu. Analisis elastisitas dan skenario kebijakan inilah yang menjadikan model pemilihan moda sebagai alat pendukung keputusan yang kuat, bukan sekadar alat peramalan.

7.8 Penerapan pada Konteks Indonesia

Penerapan analisis pemilihan moda di Indonesia berlangsung pada berbagai skala, dari perjalanan komuter perkotaan hingga koridor antarkota. Pada skala perkotaan, pengembangan angkutan massal seperti sistem BRT TransJakarta, MRT dan LRT Jakarta, serta LRT Sumatera Selatan pada dasarnya merupakan upaya menggeser preferensi masyarakat dari kendaraan pribadi menuju angkutan umum berkapasitas tinggi. Keberhasilan pergeseran ini bergantung pada seberapa kompetitif atribut moda umum: waktu tempuh, tarif, keandalan, dan kemudahan akses, dibandingkan sepeda motor dan mobil yang selama ini mendominasi. Analisis pemilihan moda menyediakan kerangka untuk mengukur daya saing tersebut dan memperkirakan dampak kebijakan seperti penataan tarif terintegrasi, penyediaan fasilitas *park and ride*, serta pembatasan lalu lintas.

Pada skala antarkota, pemilihan moda menjadi isu strategis dalam perencanaan koridor. Sebagai ilustrasi, koridor Makassar–Parepare di Sulawesi Selatan, yang menghubungkan dua pusat kegiatan dengan jarak sekitar 150 kilometer, menghadapi persaingan antara mobil pribadi, angkutan travel, dan rencana pemanfaatan jalur kereta api Trans-Sulawesi. Dalam kasus semacam ini, analis dapat menyusun model pemilihan moda dengan atribut utama berupa biaya perjalanan, waktu tempuh total (termasuk waktu akses dan tunggu), serta faktor kenyamanan dan keselamatan. Ketika salah satu moda, misalnya kereta api, masih baru dan pangsanya sangat kecil sehingga menyulitkan estimasi model logit berbasis data pilihan aktual, pendekatan alternatif seperti dekomposisi biaya perjalanan gabungan (*generalized journey cost*) dan analisis skenario kebijakan dapat digunakan untuk memperkirakan potensi perpindahan moda secara lebih robust. Pendekatan ini memadukan atribut waktu, biaya, dan kenyamanan ke dalam satu ukuran biaya perjalanan setara, sehingga daya saing antarmoda dapat dibandingkan meskipun data pilihan aktual terbatas.

Tantangan khas penerapan di Indonesia mencakup keterbatasan ketersediaan data pilihan yang representatif, dominasi sepeda motor yang menciptakan struktur pilihan yang berbeda dari negara maju, serta keberadaan moda paratransit dan transportasi daring yang berkembang pesat dan mengaburkan batas antara moda pribadi dan umum. Faktor-faktor ini menuntut kehati-hatian dalam merancang survei, mendefinisikan himpunan pilihan, dan menafsirkan hasil model agar sesuai dengan konteks lokal.

7.9 Isu Kontemporer dalam Pemilihan Moda

7.9.1 Faktor Psikologis, Sikap, dan Kebiasaan

Model pemilihan moda konvensional menekankan atribut objektif seperti waktu dan biaya. Namun penelitian mutakhir menunjukkan bahwa faktor psikologis: sikap (*attitudes*), persepsi, norma sosial, dan kebiasaan (*habit*), berperan besar dalam menjelaskan pilihan moda, terkadang lebih kuat daripada atribut objektif. De Vos *et al*. (2016) memperlihatkan bahwa pemilihan moda tidak hanya menghasilkan utilitas keputusan (*decision utility*) yang diprediksi model, tetapi juga utilitas pengalaman (*experienced utility*) berupa kepuasan perjalanan yang dirasakan setelahnya, dan keduanya dapat berbeda. Lebih jauh, hubungan antara sikap dan perilaku bersifat dua arah dan dinamis: sikap dapat memengaruhi pilihan moda, tetapi pengalaman menggunakan moda juga membentuk sikap (Kroesen, Handy and Chorus, 2017; De Vos, Singleton and Gärling, 2022). Pemahaman ini mendorong integrasi variabel laten ke dalam model pilihan sebagaimana kerangka ICLV, dan menegaskan bahwa mengubah perilaku moda tidak cukup dengan perbaikan atribut fisik, melainkan juga menuntut perubahan persepsi dan pemutusan kebiasaan lama.

7.9.2 Mobilitas Terpadu, Transportasi Daring, dan Sharing Mobility

Lanskap moda transportasi berubah cepat dengan hadirnya layanan berbasis aplikasi. Transportasi daring (*ride-hailing*), berbagi kendaraan (*car/bike sharing*), serta konsep *Mobility as a Service* (MaaS), yang mengintegrasikan beragam moda ke dalam satu platform pemesanan dan pembayaran

tunggal, mengaburkan batas tradisional antara moda pribadi dan umum. Hensher (2017) berargumen bahwa MaaS berpotensi mengubah kontrak layanan angkutan dan cara masyarakat merangkai perjalanan multimoda, sehingga menantang asumsi himpunan pilihan yang statis dalam model konvensional. Bagi analis pemilihan moda, perkembangan ini menuntut pendefinisian ulang alternatif, misalnya memandang 'perjalanan multimoda terintegrasi' sebagai satu alternatif tersendiri, serta pertimbangan atribut baru seperti keterpaduan digital, tarif dinamis, dan kemudahan berpindah moda.

7.9.3 Pendekatan Pembelajaran Mesin

Selain model logit berbasis teori, pendekatan pembelajaran mesin (*machine learning*) semakin banyak digunakan untuk memodelkan pemilihan moda. Metode seperti *random forest, gradient boosting*, dan jaringan saraf tiruan mampu menangkap hubungan non-linear dan interaksi antaratribut secara otomatis tanpa penetapan bentuk fungsi utilitas di awal. Cheng *et al.* (2019) menunjukkan bahwa pendekatan random forest dapat memodelkan perilaku pemilihan moda dengan akurasi prediksi yang tinggi, sementara Zhao *et al.* (2020) membandingkan model *machine learning* dan logit dan menemukan bahwa metode pembelajaran mesin kerap unggul dalam akurasi prediksi. Kendati demikian, keunggulan prediktif ini disertai keterbatasan: model *machine learning* cenderung berlaku sebagai 'kotak hitam' yang sulit ditafsirkan secara perilaku dan tidak langsung menghasilkan besaran ekonomi seperti nilai waktu atau elastisitas. Karena itu, keduanya sering dipandang saling melengkapi, di mana model logit unggul

dalam interpretasi dan analisis kebijakan, sedangkan *machine learning* unggul dalam akurasi prediksi dan penanganan data berdimensi tinggi.

7.9.4 Keberlanjutan, Ekuitas, dan Implikasi Kebijakan

Pada akhirnya, analisis pemilihan moda bukan tujuan akademis semata, melainkan alat untuk mendukung sistem transportasi yang berkelanjutan dan berkeadilan. Dari sudut keberlanjutan, memahami dan mengarahkan pilihan moda menuju moda hemat energi dan rendah emisi merupakan strategi kunci untuk menekan konsumsi bahan bakar dan emisi karbon sektor transportasi. Dari sudut ekuitas, model pemilihan moda dapat mengungkap bagaimana kelompok tanpa akses kendaraan pribadi (*captive riders*) bergantung pada angkutan umum, sehingga menyoroti pentingnya menjaga keterjangkauan dan jangkauan layanan bagi kelompok rentan. Implikasi kebijakan dari analisis ini bersifat langsung: instrumen seperti perbaikan waktu dan keandalan angkutan umum, integrasi tarif, penataan tarif parkir, serta manajemen permintaan perjalanan dapat dirancang dan dievaluasi dampaknya melalui model, sehingga keputusan kebijakan berpijak pada bukti kuantitatif mengenai respons perilaku masyarakat (Litman, 2023).

DAFTAR PUSTAKA

Ben-Akiva, M. and Lerman, S.R. 1985. *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*. Cambridge: The MIT Press.

Cheng, L. *et al.* 2019. 'Applying a random forest method approach to model travel mode choice behavior', *Travel Behaviour and Society*, 14, pp. 1–10. Available at: https://doi.org/10.1016/j.tbs.2018.09.002.

De Vos, J. *et al.* 2016. 'Travel mode choice and travel satisfaction: bridging the gap between decision utility and experienced utility', *Transportation*, 43(5), pp. 771–796. Available at: https://doi.org/10.1007/s11116-015-9619-9.

De Vos, J., Singleton, P.A. and Gärling, T. 2022. 'From attitude to satisfaction: introducing the travel mode choice cycle', *Transport Reviews*, 42(2), pp. 204–221. Available at: https://doi.org/10.1080/01441647.2021.1958952.

Ewing, R. and Cervero, R. 2010. 'Travel and the Built Environment', *Journal of the American Planning Association*, 76(3), pp. 265–294. Available at: https://doi.org/10.1080/01944361003766766.

Hensher, D.A. 2017. 'Future bus transport contracts under a mobility as a service (MaaS) regime in the digital age: Are they likely to change?', *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 98, pp. 86–96. Available at: https://doi.org/10.1016/j.tra.2017.02.006.

Hensher, D.A., Rose, J.M. and Greene, W.H. 2015. *Applied Choice Analysis*. 2nd edn. Cambridge: Cambridge University Press.

Koppelman, F.S. and Bhat, C. 2006. *A Self Instructing Course in Mode Choice Modeling: Multinomial and Nested Logit Models*. Washington, DC: U.S. Department of Transportation, Federal Transit Administration.

Kroesen, M., Handy, S. and Chorus, C. 2017. 'Do attitudes cause behavior or vice versa? An alternative conceptualization of the attitude-behavior relationship in travel behavior modeling', *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 101, pp. 190–202. Available at: https://doi.org/10.1016/j.tra.2017.05.013.

Litman, T. 2023. 'Travel Time Costs', in *Transportation Cost and Benefit Analysis II*. Victoria: Victoria Transport Policy Institute. Available at: https://www.vtpi.org/tca/tca0502.pdf.

McFadden, D. 1974. 'Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behavior', in P. Zarembka (ed.) *Frontiers in Econometrics*. New York: Academic Press, pp. 105–142.

Meyer, M.D. and Miller, E.J. 2001. *Urban Transportation Planning: A Decision-Oriented Approach*. 2nd edn. New York: McGraw-Hill.

Miro, F. 2012. *Pengantar Sistem Transportasi*. Jakarta: Penerbit Erlangga.

Ortúzar, J. de D. and Willumsen, L.G. 2011. *Modelling Transport*. 4th edn. Chichester: John Wiley & Sons.

Tamin, O.Z. 2008. *Perencanaan, Pemodelan, dan Rekayasa Transportasi: Teori, Contoh Soal, dan Aplikasi.* Bandung: Penerbit ITB.

Ton, D. *et al.* 2019. 'Cycling or walking? Determinants of mode choice in the Netherlands', *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 123, pp. 7–23. Available at: https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.08.023.

Train, K.E. 2009. *Discrete Choice Methods with Simulation*. 2nd edn. Cambridge: Cambridge University Press.

Vij, A. and Walker, J.L. 2016. 'How, when and why integrated choice and latent variable models are latently useful', *Transportation Research Part B: Methodological*, 90, pp. 192–217. Available at: https://doi.org/10.1016/j .trb.2016.04.021.

Zhao, X. *et al.* 2020. 'Prediction and behavioral analysis of travel mode choice: A comparison of machine learning and logit models', *Travel Behaviour and Society*, 20, pp. 22–35. Available at: https://doi.org/10.1016/ j.tbs.2020.02.003.

BAB 8
ASPEK LINGKUNGAN DAN KEBERLANJUTAN DALAM PERENCANAAN TRANSPORTASI

Oleh Arqam Laya

Sektor transportasi merupakan salah satu penyumbang utama emisi gas rumah kaca (GRK) dan polusi udara di tingkat global maupun nasional. Ketergantungan yang tinggi pada bahan bakar fosil memicu pembentukan emisi Karbon Dioksida (CO_2), Metana (CH_4), Nitrogen Oksida (NO_x), serta Particulate Matter ($PM_{2.5}$ dan PM_{10}) yang berdampak langsung pada perubahan iklim global dan penurunan kualitas kesehatan masyarakat perkotaan (IPCC, 2014; Banister, 2008). Tanpa intervensi kebijakan yang terstruktur dan berkelanjutan, peningkatan kepemilikan kendaraan pribadi akan mempercepat degradasi lingkungan secara irreversible.

Dalam merespons tantangan tersebut, perencanaan transportasi modern dituntut untuk mentransformasi pendekatannya dari sekadar efisiensi pergerakan fisik menjadi perencanaan yang berwawasan lingkungan dan berkelanjutan (*Sustainable Transport*). Bab ini menyajikan analisis komprehensif mengenai instrumen Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL), inventarisasi dan pemodelan emisi karbon, kerangka kerja transportasi berkelanjutan

(*Avoid-Shift-Improve*), penerapan energi terbarukan, serta instrumen kebijakan transportasi hijau (*green transportation policy*).

8.1 Analisis Dampak Lingkungan (AMDAL) dan Inventarisasi Emisi Karbon

Pembangunan infrastruktur transportasi berskala besar, seperti jalan tol, rel kereta api, pelabuhan, dan bandara, selalu membawa eksternalitas lingkungan yang signifikan baik pada tahap konstruksi maupun operasional. Oleh karena itu, pengintegrasian instrumen lingkungan hidup ke dalam tahap perencanaan awal menjadi krusial.

8.1.1 Penilaian Dampak Lingkungan (AMDAL & KLHS)

Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL) dan Kajian Lingkungan Hidup Strategis (KLHS) merupakan instrumen wajib dalam mengevaluasi potensi dampak proyek transportasi. Fokus analisis mencakup:

- Dampak Fisik-Kimia: Perubahan kualitas udara ambien, peningkatan kebisingan (*noise pollution*), getaran, serta pencemaran air permukaan akibat *runoff* dari permukaan jalan.
- Dampak Biologi: Fragmentasi habitat alamiah, hilangnya tutupan vegetasi, dan gangguan terhadap koridor migrasi fauna.
- Dampak Sosio-Ekonomi: Pembebasan lahan, perubahan pola pemanfaatan ruang, serta potensi konflik sosial akibat gangguan mobilitas lokal.



Gambar 8. 1 Alur Penilaian Dampak Lingkungan (AMDAL & KLHS) dalam Proyek Infrastruktur Transportasi

8.1.2 Metode Estimasi dan Inventarisasi Emisi Karbon Transportasi

Estimasi emisi gas rumah kaca dari sektor transportasi darat umumnya dihitung menggunakan metode berjenjang (*tiered approach*) yang direkomendasikan oleh *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2006). Persamaan dasar estimasi emisi beban polutan (E) didefinisikan sebagai:

$$E = \sum (Activity\ Data_i \times Emission\ Factor_i)$$

Dimana Activity Data merepresentasikan total jarak tempuh kendaraan (VKT - *Vehicle Kilometers Traveled*) atau total konsumsi bahan bakar dari jenis kendaraan *i*, dan Emission Factor merepresentasikan kuantitas emisi yang dihasilkan per unit aktivitas sesuai teknologi mesin dan jenis bahan bakar.

Tabel 8. 1 Komparasi Intensitas Emisi Karbon berdasarkan Moda Transportasi

Moda Transportasi	Rata-rata Okupansi (Penumpang)	Intensitas Emisi (g CO_2 / Penumpang-km)	Efisiensi Energi Relatif
Mobil Pribadi (Bensin/Diesel)	1,2 – 1,5	150 – 220	Sangat Rendah
Sepeda Motor (Bensin)	1,1 – 1,2	70 – 110	Rendah
Bus Konvensional	30 – 50	40 – 70	Sedang - Tinggi
Bus Rapid Transit (BRT)	60 – 100	25 – 45	Tinggi
Kereta Listrik (LRT / MRT)*	300 – 1.500	10 – 30	Sangat Tinggi

**Intensitas emisi moda berbasis listrik sangat bergantung pada bauran energi (*grid emission factor*) dari pembangkit listrik yang digunakan (Schipper et al., 2007).*



Gambar 8. 2 Perbandingan Intensitas Emisi Karbon (gCO_2/penumpang-km) Berdasarkan Moda Transportasi

8.2 Kerangka Kerja Transportasi Berkelanjutan: Paradigma *Avoid-Shift-Improve* (ASI)

Konsep *Sustainable Transport* bertujuan untuk memenuhi kebutuhan mobilitas masyarakat tanpa mengorbankan daya dukung lingkungan dan kesejahteraan generasi mendatang (Black, 2010). Kerangka kerja strategis yang paling luas diterima secara internasional dalam perencanaan transportasi hijau adalah paradigma *Avoid-Shift-Improve* (ASI) (Dalkmann & Brannigan, 2007).

1. AVOID / REDUCE (Mencegah / Meminimalkan Kebutuhan Perjalanan): Strategi ini berfokus pada efisiensi tata ruang dan tata guna lahan untuk mengurangi frekuensi dan jarak perjalanan motoris. Contoh implementasinya meliputi penerapan pemukiman padat berbasis *Transit-Oriented Development* (TOD), zonasi guna lahan campuran (*mixed-use*), serta pemanfaatan teknologi informasi untuk kerja jarak jauh (*teleworking*).
2. SHIFT / MAINTAIN (Mengalihkan ke Moda Ramah Lingkungan): Strategi ini bertujuan untuk memindahkan pangsa perjalanan (*modal split*) dari penggunaan kendaraan pribadi bermotor menuju moda transportasi umum massal (BRT, LRT, MRT) dan transportasi non-motoris (*Non-Motorized Transport* - NMT) seperti berjalan kaki dan bersepeda (Banister, 2008).
3. IMPROVE (Meningkatkan Efisiensi Teknologi dan Operasional): Strategi ini berfokus pada optimasi teknologi kendaraan dan bahan bakar untuk meminimalkan emisi per unit perjalanan. Langkah ini mencakup adopsi kendaraan listrik (*Electric Vehicles* - EV), penggunaan bahan bakar nabati (*biofuels*), otomatisasi lalu lintas, dan

penerapan sistem manajemen jaringan jalan yang cerdas (*Intelligent Transportation Systems* - ITS).



Gambar 8. 3 Skema Kerangka Kerja Transportasi Berkelanjutan Avoid - Shift - Improve (ASI)

8.3 Energi Terbarukan dan Elektrifikasi Transportasi

Transisi dari ekonomi berbasis bahan bakar fosil menuju energi bersih merupakan pilar utama dalam dekarbonisasi sektor transportasi. Elektrifikasi kendaraan (*Vehicle Electrification*) menawarkan peluang besar untuk memutus hubungan (decoupling) antara pertumbuhan mobilitas dan peningkatan emisi gas rumah kaca (Sperling & Gordon, 2009).

8.3.1 Integrasi Kendaraan Listrik (EV) dan Jaringan Energi Bersih

Adopsi *Battery Electric Vehicles* (BEV) pada armada transportasi publik maupun kendaraan pribadi hanya akan

memberikan dampak lingkungan yang optimal jika pasokan listriknya berasal dari energi terbarukan (seperti surya, hidro, dan angin). Tanpa dekarbonisasi pada sektor pembangkitan listrik (*power grid*), pemindahan dari mesin pembakaran dalam (*Internal Combustion Engine* - ICE) ke kendaraan listrik hanya memindahkan titik emisi dari jalan raya ke stasiun pembangkit listrik (Sperling & Gordon, 2009).



Gambar 8. 4 Ekosistem Elektrifikasi Transportasi dan Integrasi Energi Terbarukan (Grid Decarbonization)

8.3.2 Bahan Bakar Alternatif dan Energi Bersih

Selain elektrifikasi, penggunaan bahan bakar alternatif memainkan peran penting terutama untuk moda transportasi berat (*heavy-duty vehicles*), maritim, dan penerbangan:

5. Biofuel (*Biodiesel & Bioethanol*): Penggunaan B35/B40 pada kendaraan bermotor diesel untuk mengurangi konsumsi solar murni.
6. Hidrogen (*Fuel Cell Electric Vehicles* - FCEV): Teknologi sel bahan bakar hidrogen hijau (*green hydrogen*) sebagai

solusi mobilitas jarak jauh berkapasitas besar dengan emisi buangan berupa uap air

8.4 Kebijakan Transportasi Hijau (Green Transportation Policy)

Implementasi teknologi dan perencanaan fisik wajib didukung oleh instrumen kebijakan dan manajemen permintaan transportasi (*Travel Demand Management* - TDM) yang tegas untuk merubah perilaku mobilitas masyarakat (Litman, 2020).

8.4.1 Instrumen Ekonomi dan Disinsentif Kendaraan Pribadi

- Penerapan Skema Jalan Berbayar Elektronik (*Electronic Road Pricing* - *ERP*): Mengenakan biaya atas penggunaan ruas jalan tertentu pada jam puncak untuk mengurangi kemacetan dan emisi.
- Pajak Karbon dan Pembatasan Parkir: Penerapan batas maksimum ketersediaan parkir (*parking cap*) serta penetapan tarif parkir tinggi di pusat kota untuk mereduksi keinginan menggunakan mobil pribadi.

8.4.2 Insentif dan Fasilitasi Moda Ramah Lingkungan

- Pengembangan Infrastruktur Jalur Sepeda dan Pedestrian: Pembangunan koridor pejalan kaki yang terintegrasi, teduh, dan terlindung untuk mendorong mobilitas aktif (*active mobility*).
- Subsidi Transportasi Publik dan Kendaraan Listrik: Pemberian insentif fiskal untuk pembelian armada bus

listrik publik dan penyesuaian tarif transit agar terjangkau oleh seluruh lapisan masyarakat.

8.5 Matriks Sintesis Aspek Keberlanjutan Transportasi

Tabel 8. 2 Matriks Penerapan Kebijakan Transportasi Berkelanjutan.

Pilar Keberlanjutan	Strategi Utama	Tantangan Utama	Indikator Keberhasilan (KPI)
Lingkungan (Environmental)	Dekarbonisasi armada, elektrifikasi transit publik, perluasan jalur NMT.	Tingginya *grid emission factor* pembangkit listrik fosil.	Penurunan emisi CO_2 eq per kapita dari sektor transportasi (%/tahun).
Ekonomi (Economic)	Internalisasi biaya eksternalitas melalui ERP dan tarif parkir zonal.	Resistensi publik terhadap kebijakan disinsentif kendaraan pribadi.	Peningkatan *modal share* transportasi umum dan penurunan VKT.
Sosial (Social)	Penyediaan sarana mobilitas yang inklusif, terjangkau, dan aman bagi semua.	Ketimpangan akses infrastruktur hijau antara pusat kota dan pinggiran.	Cakupan ketersediaan layanan transit dalam radius 500m dari permukiman.

DAFTAR PUSTAKA

Banister, D. (2008). The sustainable mobility paradigm. Transport Policy, 15(2), 73–80.

Black, W. R. (2010). Sustainable Transportation: Problems and Solutions. New York: Guilford Press.

Dalkmann, H., & Brannigan, C. (2007). Transport and Climate Change: Module 5e - Sustainable Transport: A Sourcebook for Policy-makers in Developing Cities. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ).

IPCC. (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 2 Energy (Chapter 3: Mobile Combustion). Hayama: Institute for Global Environmental Strategies.

IPCC. (2014). Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.

Litman, T. (2020). Evaluating Public Transit Benefits and Costs. Victoria: Victoria Transport Policy Institute.

Schipper, L., Marie-Lilliu, C., & Gorham, R. (2007). Flexibility in Transit: Energy and Greenhouse Gas Emissions Impacts of Transit Options. Washington, D.C.: World Resources Institute.

Sperling, D., & Gordon, D. (2009). Two Billion Cars: Driving Toward Sustainability. Oxford: Oxford University Pres

BIODATA PENULIS



Yosef Adicita, S.Fil., S.PWK., M.Sc.
Dosen Jurusan Teknik Mesin
Program Studi Teknologi Rekayasa Pengelasan dan Fabrikasi
Politeknik Negeri Batam

Penulis adalah dosen di Politeknik Negeri Batam yang memiliki minat keilmuan pada bidang infrastruktur lingkungan, keselamatan dan kesehatan kerja, perencanaan wilayah dan kota, pembangunan berkelanjutan, analisis spasial, GIS, serta penginderaan jauh. Penulis menempuh pendidikan Sarjana Filsafat di Universitas Gadjah Mada pada tahun 2008, kemudian melanjutkan pendidikan pada Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Terbuka, dan menyelesaikan studi dalam waktu 3,5 tahun. Pada tahun 2015, penulis melanjutkan pendidikan magister pada Program Studi Ilmu Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, dan memperoleh gelar M.Sc. (Master of Science).

Saat ini, penulis sedang menempuh pendidikan doktoral di Universiti Teknikal Malaysia Melaka (UTeM) dengan fokus riset pada desain bangunan yang terintegrasi dengan Life Cycle Assessment (LCA), analisis risiko keselamatan kerja, dan keberlanjutan dalam tata lingkungan

perkotaan. Fokus tersebut sejalan dengan perhatian penulis terhadap isu-isu pembangunan berkelanjutan, pengelolaan lingkungan, keselamatan kerja, serta pengambilan keputusan berbasis data dalam penataan kota.

Dalam kegiatan akademik dan profesional, penulis aktif melakukan penelitian dan kajian terapan pada bidang lingkungan, pengelolaan sampah, pencemaran udara, perubahan iklim, kawasan pesisir, perencanaan lingkungan permukiman, serta pemanfaatan data spasial untuk mendukung perencanaan wilayah dan pengelolaan lingkungan. Penulis juga terlibat dalam penyusunan berbagai kajian lingkungan dan perencanaan, termasuk kajian berbasis GIS, analisis kesesuaian ruang, dan kajian keberlanjutan kawasan.

Selain menulis artikel ilmiah dan laporan kajian, penulis juga telah berkontribusi dalam sejumlah buku referensi dan buku akademik, antara lain yang berkaitan dengan pembangunan berkelanjutan, perencanaan lingkungan permukiman, pencemaran udara dan perubahan iklim, adaptasi dan mitigasi perubahan iklim, ekologi manusia, pemahaman masalah dan solusi lingkungan, lokasi dan pola ruang wilayah dan kota, serta panduan penggunaan LMS Moodle untuk dosen. Melalui karya-karya tersebut, penulis berupaya mengintegrasikan perspektif lingkungan, teknologi, perencanaan, dan keselamatan kerja dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan praktik profesional.

BIODATA PENULIS



Akhmad Andi Saputra, ST., MT.
Dosen Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Gresik

Penulis lahir di Gresik, tanggal 04 Februari 1986. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Planologi Institut Teknologi Nasional (ITN) Malang pada Tahun 2009 dan telah menyelesaikan jenjang Magister Teknik (S2) pada Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang pada Tahun 2015.

Penulis sejak Tahun 2017 sampai sekarang menjadi Tenaga Pengajar (Dosen) pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Gresik, Jawa Timur. Selain sebagai dosen, penulis juga bekerja sebagai konsultan tata ruang, serta menjadi asesor kompetensi di wilayah Kabupaten Gresik dan sekitarnya.

Selain melakukan pengajaran, penulis juga aktif melakukan penelitian dan pengabdian masyarakat. Untuk penelitan yang dilakukan di bidang teknik sipil, remote sensing dan spatial planning. Pada tahun 2023 telah menulis

3 (tiga) buku yang terdiri dari 2 (dua) *bookchapter* dan 1 (satu) buku monograf hasil penelitian (tesis).

BIODATA PENULIS



Ita Suhermin Ingsih, S.T., M.T.
Dosen Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Islam Malang

Penulis adalah dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Malang yang menaruh perhatian besar pada bidang transportasi, keselamatan jalan, dan pembangunan infrastruktur yang berkelanjutan. Menyelesaikan pendidikan Sarjana dan Magister Teknik Sipil di Universitas Brawijaya pada tahun 2018, dan saat ini beliau sedang melanjutkan studi doktoral dengan fokus penelitian pada perilaku pengendara dan keselamatan transportasi. Selain aktif mengajar, beliau juga terlibat dalam berbagai penelitian, pengabdian masyarakat, serta penulisan karya ilmiah dan buku ajar di bidang teknik sipil. Ketertarikannya pada pembangunan transportasi yang humanis dan berkelanjutan mendorongnya untuk mengembangkan gagasan tentang infrastruktur yang

tidak hanya berorientasi teknis, tetapi juga berpihak pada keselamatan, lingkungan, dan kemaslahatan masyarakat.

BIODATA PENULIS



ASSOC. PROF. DR. IR (IPM). ANTON KAHARU, A.Ma.T.S, S.T., M.T.
Dosen Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Negeri Gorontalo

Penulis lahir di Gorontalo Tahun 1968. Bidang keahlian yang ditekuni: Rekayasa Transportasi, Geografi Transportasi, Pengindraan Jauh (Remote Sensing), Perencanaan & Pengembangan Wilayah, Filsafat Teknologi dan Moral Hazard. Mengampu mata kuliah: Perancangan Transportasi, Perancangan Geometrik Jalan, Jalan Rel, Teknik Jembatan, Bandar Udara, Pelabuhan, Metode Numerik, Algoritma & Pemrograman serta Kerja Praktek. Capaian Karya Buku yang pernah ditulis hingga saat ini 25 (duapuluh lima) buku referensi dan book chapter. Buku terbaru yang telah ditulis berjudul; Geometrik Jalan (2025); Dasar-Dasar Pengeloaan Hasil Pertanian (2025); Implementasi Sistem Transportasi Cerdas (2025); Eksplorasi Beton dalam Aristektur dan Teknik Sipil (2025); Pencemaran Udara dan Mitigasi Lingkungan (2025); Perencanaan & Pemodelan Transportasi (2025); Transportasi Perkerasan Jalan (2025), dan Arsitektur

Berkelanjutan: Prinsip, Strategi, Dan Implementasi (2025). Selain sebagai akademisi, juga berkecimpung sebagai Konsultan Teknis dalam bidang Rekayasa Transportasi, Perencanaan Wilayah & Kota, Sistem Informasi Geografis dan AMDAL. Proyek-proyek yang pernah ditangani sebagai ketua tim ahli konsultan dalam kurun waktu tahun 2020-2023, antara lain proyek: "Penyusunan Sistem Informasi/Data Base Jalan"; "Penyusunan Dokumen Upaya Penglolaan Lingkungan dan Upaya Pemantawan Lingkungan (UKL & UPL)"; "Penyusunan Detail Engineering Design (DED) Renovasi Lapangan Sepak Bola, Tribun Stadion Merdeka, Pelataran Parkir Stadion Merdeka dan Gedung Olah Raga (GOR) Nani Wartabone"; dan "Penyusunan Studi Jaringan Trayek AKDP" di Provinsi Gorontalo. Di bidang organisasi profesional, selama ini aktif sebagai Pengurus Persatuan Insinyur Indonesia (PII); Ikatan Nasional Tenaga Ahli Konsultan Indonesia (INTAKINDO); Perkumpulan Ahli Pendidikan Teknologi dan Kejuruan Indonesia (PAPTEKINDO); dan Pengurus Wilayah Ikatan Geograf Indonesia (IGI) di Provinsi Gorontalo.

E-mail: anton.kaharu@ung.ac.id ; antonkaharu68@gmail.com

BIODATA PENULIS



Muhammad Djaya Bakri
Dosen Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Borneo Tarakan

Penulis merupakan alumni S1 Teknik Sipil dari Universitas Lambung Mangkurat Banjarmasin tahun 1993. Tahun 2007 lulus Program Magister Teknik Sipil Universitas Brawijaya, dan tahun 2015 menyelesaikan studi S3 di Program Doktor Teknik Sipil Universitas Brawijaya dalam bidang Transportasi. Sejak tahun 2000 bekerja sebagai dosen tetap di Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Borneo Tarakan. Aktifitas diluar tugas tridharma pendidikan tinggi, penulis juga aktif berkarier sebagai konsultan atau tenaga ahli studi transportasi untuk proyek-proyek yang berhubungan dengan perencanaan transportasi di lingkungan Pemerintah Provinsi dan Pemerintah Kabupaten/Kota se Provinsi Kalimantan Utara. Sejak tahun 2017 aktif sebagai anggota dan pengurus organisasi Persatuan Insinyur Indonesia, baik tingkat kota Tarakan, Provinsi Kalimantan Utara, hingga menjadi anggota Komite Keanggotaan,

Sertifikasi, dan Registrasi (KASER) Pengurus Pusat PII 2021-2024.

BIODATA PENULIS



Vita Fajriani Ridwan
Dosen Tetap Di Jurusan Teknik Sipil
Politeknik Negeri Ujung Pandang

Penulis kelahiran Kota Parepare, 23 Maret 1982. Merupakan dosen tetap di Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Ujung Pandang. Selain mengajar, juga aktif di Research Group Transportasi. Fokus riset penulis terkait ”Transportasi, GIS, Pola Pergerakan dan Regional Development”. Penulis menjajaki studi Teknik Arsitektur pada tahun 2000, lalu belajar tentang infrastruktur di Magister Teknik Perencanaan Prasarana, Universitas Hasanuddin tahun 2012. Pada tahun 2021 meraih gelar Doctor of Engineering setelah menyelesaikan studi doktoralnya di Civil and Environmental Engineering, Ehime University, Matsuyama, Jepang dengan fokus pada bidang Regional Development dan Mobility Pattern.

BIODATA PENULIS



Erning Ertami Anton
Dosen Jurusan Teknik Sipil
Politeknik Negeri Ujung Pandang

Penulis lahir di Kota Parepare, 11 September 1989. Menyelesaikan program sarjana di Jurusan Teknik Sipil Universitas Hasanuddin pada tahun 2013 dan melanjutkan program pascasarjana di Institut Teknologi Bandung, konsentrasi Rekayasa Transportasi. Saat ini tercatat sebagai dosen tetap pada Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Ujung Pandang. Selain mengajar, ia juga aktif dalam kegiatan tridharma lainnya di antaranya penelitian dan pengabdian.

BIODATA PENULIS



ASSOC. PROF. DR. IR. H. ARQAM LAYA, M.T.
Dosen Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Negeri Gorontalo

Penulis lahir di Gorontalo Tahun 1964. Alumni: Insinyur Teknik Sipil Bidang Keahlian Rekayasa Struktur UNSRAT Manado (Lulus 1990), Magister Teknik Sipil Bidang Rekayasa Struktur UGM (Lulus 2007), dan Doktor Ilmu Geografi UGM (Lulus 2013) Bidang Keahlian Struktur & Mitigasi Bencana Alam Berbasis Geospasial. Jabatan Strutural Akademik pernah di emban: KAJUR Teknik Arsitektur UNG 2001-2005, Kepala Laboratorium Teknik Sipil UNG 2003-2005 & 2020-2023, KAPRODI Teknik Sipil UNG 2007-2009 & 2017-2023. Salah satu pendiri Sekolah Tinggi Teknik Bina Taruna Gorontalo, Jurusan Sipil Fakultas Teknik UNG dan Jurusan Sipil Universitas Gorontalo. Mengampu mata kuliah: Struktur Beton II, Struktur Baja II, Struktur Kayu dan Bambu, Analisis Struktur Statis Tertentu, Analisis Struktur Statis Tak Tentu, Kalkulus (II-III) dan Fisika untuk Teknik Sipil. Capaian karya tulis artikel dan buku yang telah diterbitkan, berupa artikel jurnal nasional dan international berkaitan tanah, infiltrasi, geomorphologi, kebencanaan. Dalam bentuk buku

berkaitan dengan analisis struktur, teknologi beton, beton bertulang, jembatan BM 100. Selain sebagai akademisi, juga berkecimpung sebagai konsultan dan tenaga ahli di bidang Rekayasa Struktur Konstruksi Bangunan Sipil, Perencanaan Wilayah dan Kota, Mitigasi Bencana Alam, dan Asesor Direktorat Pendidikan Tinggi (Dikti). Di bidang organisasi profesional, saat ini sebagai pengurus dan anggota PII, HATHI, HPJI, Aptekindo dan LPJK Provinsi Gorontalo. Bidang organisasi sosial sebagai pengurus & anggota Duango lo Adati Provinsi Gorontalo. Email: arqamlaya@gmail.com dan arqam@ung.ac.id