

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Pendahuluan

Bab ini memuat kajian pustaka yang disusun secara sistematis guna menghimpun dan mengelaborasi pengetahuan yang relevan dengan ruang lingkup penelitian. Kajian ini diarahkan pada dua tujuan utama. Pertama, untuk menghadirkan landasan konseptual yang mampu memperkuat penjelasan pada bagian pendahuluan. Kedua, untuk menyajikan hasil penelusuran literatur yang mencakup konstruk teoritis dan kerangka konseptual yang mendasari penelitian ini, meliputi karakteristik pola perjalanan penumpang dan tipologi kawasan simpul transit dengan pendekatan konsep TOD.

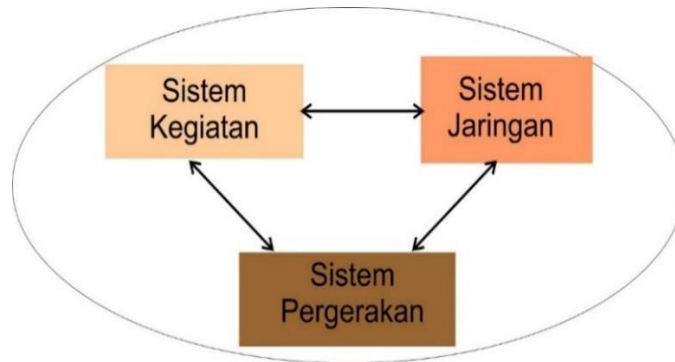
2.2 Sistem Angkutan Umum Dalam Sistem Transportasi Perkotaan

Sistem angkutan umum merupakan elemen fundamental dalam struktur transportasi perkotaan yang berkontribusi terhadap efisiensi mobilitas, optimalisasi pemanfaatan ruang, dan pengendalian dampak lingkungan. Peran ini menjadi semakin penting pada wilayah dengan laju urbanisasi tinggi, keterbatasan kapasitas jaringan jalan, dan dominasi kendaraan pribadi. Efektivitas sistem ini tercermin dalam pengurangan intensitas lalu lintas, penurunan emisi pencemar udara, dan peningkatan efisiensi spasial kota (Loo et al., 2015). Integrasi angkutan umum dengan perencanaan tata guna lahan menghasilkan struktur kota yang terkonsolidasi, konsumsi energi yang lebih rendah, serta arah pembangunan yang sejalan dengan prinsip keberlanjutan (Gakenheimer, 1999).

Peningkatan aksesibilitas melalui pengembangan jaringan angkutan umum berdampak langsung terhadap pola distribusi spasial penduduk dan aktivitas ekonomi. Pusat pertumbuhan baru cenderung terbentuk di sekitar simpul-simpul transit dengan kepadatan tinggi dan fungsi campuran (Pan et al., 2017; Wang et al., 2022). Studi di Roma menunjukkan pergeseran fungsi ruang yang lebih efisien akibat peningkatan kapasitas layanan transportasi publik (Calabrò et al., 2023). Integrasi sistem transportasi dengan kebijakan penggunaan lahan memperkuat konektivitas spasial, mendukung efisiensi ekonomi, dan membentuk kota kompak yang mampu menekan kebutuhan perjalanan jarak jauh (Su et al., 2021).

Struktur sistem transportasi perkotaan terdiri atas tiga subsistem utama: kegiatan, jaringan, dan pergerakan (Tamin, 2008). Gambar 2.1 menunjukkan keterkaitan

fungsional antar subsistem yang saling memengaruhi secara timbal balik dalam mendukung sistem transportasi makro. Perubahan pada sistem kegiatan, seperti peningkatan intensitas permukiman atau pusat ekonomi, memengaruhi kapasitas jaringan dan pola pergerakan masyarakat (Nasri and Zhang, 2014; Woo, 2021).



Gambar 2.1 Sistem Transportasi

Sumber: Tamin, 2008

Sistem pergerakan memiliki fungsi penghubung antara sistem kegiatan dan sistem jaringan, sekaligus menjadi komponen pengatur dinamika spasial kota. Perubahan intensitas pergerakan mendorong penyesuaian struktur jaringan dan memengaruhi konfigurasi ruang kota melalui perubahan aksesibilitas. Interaksi antara ketiga subsistem tersebut merepresentasikan prinsip dasar dalam perencanaan transportasi perkotaan yang menekankan keterpaduan spasial dan fungsional dalam mendukung sistem transportasi yang efisien dan adaptif. Dalam kerangka konseptual ini, berbagai pendekatan telah dikembangkan untuk menjawab kompleksitas hubungan antar subsistem. Pendekatan *Transit Adjacent Development* (Shastry, 2010), *Traffic Demand Management* (Broaddus, 2010), *Transit Oriented Development* (Calthorpe, 1993; Bertolini, 1999) dirumuskan sebagai respons terhadap tantangan integrasi sistem kegiatan, jaringan, dan pergerakan. Ketiganya menekankan pentingnya pengelolaan hubungan spasial antar komponen transportasi mikro dalam membentuk kota yang lebih efisien, terstruktur, dan berkelanjutan.

2.3 Kawasan Simpul Transit Angkutan Umum Berbasis Rel

Konsep simpul transit di sekitar stasiun kereta merujuk pada integrasi antara infrastruktur transportasi dan tata guna lahan yang bertujuan mendukung efisiensi jaringan mobilitas dan pengembangan wilayah perkotaan. Simpul transit di sekitar stasiun kereta merupakan elemen kunci dalam integrasi sistem transportasi dan tata guna lahan yang membentuk

efisiensi spasial, aksesibilitas, serta keterhubungan antarkawasan dalam jaringan perkotaan. Peran simpul ini tidak hanya mendukung fungsi pergerakan dan pertukaran moda, tetapi juga memengaruhi intensitas penggunaan lahan, nilai ruang, dan pola pertumbuhan kota. Simpul transit berfungsi sebagai pemberhentian utama dengan skala pelayanan yang besar. Frekuensi pelayanan titik transit memiliki ketentuan harus mampu melayani seluruh kegiatan transit serta memilih kualitas tinggi dan dilengkapi dengan fasilitas penunjang lainnya sehingga masyarakat memiliki kemauan untuk menggunakan fasilitas transit tersebut (Lyu et al., 2016; Cao et al., 2020). Peran strategis simpul transit inilah yang menjadi fondasi utama bagi penerapan konsep *Transit Oriented Development* (TOD) dalam pengembangan kota berkelanjutan.

2.3.1 Konsep *Transit Oriented Development* (TOD)

Transit Oriented Development (TOD) diperkenalkan oleh Peter Calthorpe pada 1993 melalui karya *The Next American Metropolis* sebagai respons terhadap gejala perluasan kota yang tidak terkendali (*urban sprawl*). Sejak saat itu, TOD berkembang menjadi pendekatan perencanaan kota yang menekankan integrasi tata guna lahan campuran, konektivitas simpul transit, dan penguatan mobilitas pejalan kaki (Singh et al., 2017; Ibraeva et al., 2021). Fokus utamanya mencakup optimalisasi penggunaan transportasi publik, efisiensi pemanfaatan ruang, serta pengurangan ketergantungan terhadap kendaraan bermotor pribadi. TOD merepresentasikan model pembangunan kompak yang menghubungkan permukiman, aktivitas ekonomi, dan layanan publik melalui sistem transportasi massal, dengan struktur ruang yang dirancang berdasarkan prinsip keterjangkauan spasial dalam radius jalan kaki yang aman dan terintegrasi. Orientasi pada mobilitas aktif menjadikan TOD tidak sekadar bentuk tata ruang, tetapi juga strategi mobilitas berkelanjutan (Wijaya, 2009)

Beragam definisi yang tercantum dalam Tabel 2.1 menunjukkan bahwa TOD tidak memiliki batasan konseptual yang tunggal. Variasi pengertian tersebut mencerminkan perbedaan orientasi tujuan, aktor pelaksana, dan skala penerapan. Su et al. (2021) menyatakan bahwa definisi TOD dapat berubah sesuai dengan tujuan pembangunan yang ingin dicapai oleh para pemangku kepentingan. Dittmar dan Poticha (2004) menegaskan bahwa TOD bukan sekadar struktur fisik, melainkan pendekatan dalam merancang ruang hidup yang mendukung efisiensi, keberlanjutan, dan keterhubungan sistem transit. Dengan demikian, TOD dapat dipahami sebagai strategi perencanaan yang

mengintegrasikan sistem transportasi publik dan struktur kota dalam satu kerangka spasial yang bertujuan mewujudkan mobilitas berkelanjutan, efisiensi pemanfaatan lahan, serta peningkatan kualitas lingkungan perkotaan.

Tabel 2.1 Definisi TOD Dari Berbagai Ahli

Penulis	Definisi
Salvesen, (1996)	Pembangunan dalam wilayah geografis tertentu di sekitar stasiun transit dengan berbagai penggunaan lahan dan keragaman pemilik tanah
Cervero and Kockelman, (1997)	Lahan campuran dan <i>compact</i> , berpusat di sekitar stasiun transit yang secara desain mengundang penduduk, pekerja, dan pembeli untuk mengurangi penggunaan mobil mereka dan lebih sering menggunakan transportasi massal
Bae, (2002)	Sebuah cara untuk mengurangi ketergantungan mobil, mempromosikan pembangunan perumahan yang lebih <i>compact</i> dan mendorong penggunaan lahan campuran.
Still, (2002)	Sebuah lahan campuran yang mendorong orang untuk tinggal di dekat layanan transit dan untuk mengurangi ketergantungan mereka pada mengemudi
Cervero, (2003)	Sebuah alat untuk mempromosikan pertumbuhan yang cerdas, memanfaatkan pembangunan ekonomi, dan melayani permintaan pasar perumahan yang berubah dan preferensi gaya hidup.
Lund et al., (2004)	Desain dan lahan campuran pada kawasan TOD dapat mengurangi perjalanan mobil untuk tujuan kerja ataupun di luar kantor
Danburry (2010)	Pengembangan berorientasi transit atau TOD, adalah jenis komunitas pengembangan yang mencakup campuran perumahan, kantor, ritel dan/atau pengembangan komersial dan fasilitas lainnya yang terintegrasi ke lingkungan yang dapat dilalui dengan berjalan kaki dan terletak dalam jarak setengah mil dari angkutan umum yang berkualitas
Perda No. 1 Tahun 2012 tentang RTRW 2030 (Provinsi DKI Jakarta, 2012)	TOD merupakan kawasan campuran permukiman dan komersial dengan aksesibilitas tinggi terhadap angkutan umum massal, dengan stasiun angkutan umum massal dan terminal angkutan umum massal sebagai pusat kawasan dengan bangunan dengan kepadatan tinggi
Permen ATR No 16 (Kementrian Agraria dan Petanahan, 2017)	TOD adalah konsep pengembangan kawasan di dalam dan di sekitar simpul transit agar bernilai tambah yang menitikberatkan pada integrasi antar jaringan angkutan umum massal, dan antara jaringan angkutan umum massal dengan jaringan moda transportasi tidak bermotor, pengurangan penggunaan kendaraan bermotor yang disertai pengembangan kawasan campuran, padat, mempunyai intensitas pemanfaatan ruang sedang hingga tinggi.

Konsep *Transit Oriented Development* (TOD) keragaman definisi yang mencerminkan perbedaan konteks dan orientasi perencanaan. Calthorpe (1993)

mendefinisikan TOD sebagai komunitas dengan penggunaan lahan campuran yang terletak dalam radius sekitar 2.000 kaki dari simpul transit dan pusat komersial. Penggabungan fungsi hunian, perdagangan, perkantoran, ruang terbuka, dan fasilitas umum dalam satu kawasan yang ramah pejalan kaki dimaksudkan untuk mendukung mobilitas nonmotorisasi dan penggunaan angkutan umum. Pendekatan ini bertujuan menekan dominasi kendaraan pribadi dan mengendalikan urban sprawl melalui penguatan konektivitas spasial. Schlossberg dan Brown (2004), memperluas konsep ini sebagai strategi integratif antara sistem transportasi dan tata guna lahan yang menghasilkan manfaat sosial, ekonomi, dan lingkungan. TOD diposisikan tidak hanya sebagai entitas fisik, tetapi juga sebagai pendekatan yang mendukung efisiensi dan keberlanjutan sistem transportasi publik. Boarnet dan Crane (1997) menekankan TOD sebagai bentuk intensifikasi pemanfaatan lahan permukiman di sekitar simpul transit untuk mengoptimalkan investasi publik, memperluas aksesibilitas, dan memperkuat integrasi antara permukiman dan jaringan rel perkotaan.

2.3.2 Built Environment sebagai Kriteria Kawasan TOD

Lingkungan binaan merupakan komponen penting dalam pengembangan kawasan berorientasi transit (*Transit Oriented Development*) yang bertujuan mengintegrasikan sistem transportasi umum dengan struktur penggunaan lahan. Integrasi ini ditujukan untuk mengurangi ketergantungan terhadap kendaraan bermotor pribadi melalui penyediaan aksesibilitas terhadap jaringan transportasi publik yang terhubung dengan permukiman, aktivitas ekonomi, dan fasilitas umum (Carlton, 2009). Cervero dan Kockelman (1997b) merumuskan tiga indikator utama lingkungan binaan yang mendukung TOD, yaitu *density* (kepadatan), *diversity* (keragaman), dan *design* (desain), yang dikenal sebagai prinsip 3D. Ketiga indikator tersebut digunakan dalam berbagai studi sebagai kerangka evaluasi untuk mengukur kesesuaian kawasan terhadap karakteristik TOD. Prinsip 3-D tersebut menjadikan kawasan TOD dapat berjalan secara seimbang, sehingga dapat memberikan manfaat menyeluruh pada kawasan transit. Prinsip 3-D tersebut kemudian dikembangkan menjadi 5-D oleh Cervero dengan penambahan variabel *Destination to Accessibility* merupakan aksesibilitas yang tinggi pada area stasiun dan *Distance to Transit* merupakan jarak kedekatan area transit dengan pusat kegiatan. Seiring perkembangan kebutuhan transportasi, terjadi pengembangan prinsip tersebut menjadi 6-D, dengan variabel baru yang ditambahkan oleh Cervero adalah

Demand Management yaitu pengaturan pergerakan pada area transit (Ewing and Cervero, 2010).

Kepadatan merupakan elemen yang memengaruhi efisiensi sistem angkutan umum melalui konsentrasi aktivitas dan jumlah penduduk dalam radius layanan stasiun. Kota-kota di negara berkembang umumnya memiliki tingkat kepadatan yang tinggi, namun belum sepenuhnya diarahkan untuk mendukung integrasi dengan jaringan transit (Cervero, 2013; Suzuki et al., 2013) fenomena tersebut yang mengakibatkan kota yang sangat bergantung pada mobil dan penggunaan kendaraan pribadi yang berlebihan, di tempat-tempat seperti Kuala Lumpur, Malaysia (Kiggundu, 2009). Diversitas fungsi lahan, khususnya kombinasi antara hunian, komersial, dan fasilitas umum, merupakan indikator penting dalam mendukung aktivitas sehari-hari tanpa perjalanan jarak jauh. Namun, pengembangan kawasan yang berfokus pada fungsi tunggal, terutama hunian, masih umum dijumpai dan tidak mendukung efisiensi jaringan multimoda (Cervero dan Dai, 2014; Salzberg et al., 2012; Xia et al., 2017; Wang et al., 2022). Keragaman menjadi penentu keberhasilan TOD dengan mengukur nilai *entropy* (Singh, 2015). Beberapa kota di China, merujuk pada kurangnya budaya lintas fungsi bangunan dalam perkotaan, sehingga desain untuk area perkotaan baru mengalami kesulitan untuk mencakup berbagai jenis penggunaan lahan pada fungsi lahan yang telah terbentuk dan terbangun (Ma et al., 2018). Pembangunan fungsi komersial yang berlebihan menghambat kemajuan konstruksi fungsi hunian, seperti di pusat Niterói, Rio de Janeiro (Barandier, 2017).

Karakter fisik lingkungan binaan dalam TOD mencakup akses langsung bangunan ke ruang jalan, orientasi bangunan yang menghadap jalur pejalan kaki, integrasi fungsi ruang secara vertikal dan horizontal, serta proporsi ruang publik yang memadai. Area komersial dirancang agar tetap aktif sepanjang hari melalui penggabungan fungsi retail dan perkantoran, sementara area hunian direncanakan dalam jarak terjangkau dari simpul transit dengan intensitas yang mendukung jumlah pengguna angkutan umum (Calthorpe, 1993; Cervero et al., 2009). Jalan dan ruang publik diposisikan sebagai elemen struktural yang mengakomodasi pergerakan pejalan kaki, jalur sepeda, kendaraan, serta fungsi parkir dengan proporsi yang seimbang dan terstruktur. Kriteria-kriteria tersebut menunjukkan bahwa pencapaian kawasan TOD memerlukan perencanaan spasial yang mempertimbangkan hubungan antar fungsi dan moda secara menyeluruh dalam satu sistem perkotaan yang terintegrasi.

Tabel 2.2 Indikator dan Variabel TOD Berdasarkan Ahli

Sumber	Indikator	Variabel
Cervero, (2003)	Kepadatan (<i>Density</i>)	a. KDB b. KLB c. Kepadatan kependudukan
	Penggunaan lahan bercampur (<i>Diversity</i>)	a. Proporsi penggunaan lahan perumahan b. Proporsi penggunaan lahan perkantoran c. Proporsi penggunaan lahan komersial d. Proporsi penggunaan lahan fasilitas umum
	Desain (<i>Design</i>)	a. Ketersediaan jalur pejalan kaki b. Ketersediaan fasilitas parkir sepeda
Watson, (2003)	Kepadatan (<i>Density</i>)	Kepadatan bangunan perumahan yang tinggi
	Penggunaan lahan bercampur (<i>Diversity</i>)	a. Terdapat penggunaan lahan perumahan b. Terdapat penggunaan lahan perkantoran c. Terdapat penggunaan lahan komersial d. Terdapat penggunaan lahan fasilitas umum e. Terdapat penggunaan lahan ruang terbuka
	Desain (<i>Design</i>)	a. Ketersediaan jalur pejalan kaki yang terintegrasi dengan tujuan lokal b. Lebar jalur pedestrian yang memadai c. <i>Sidewalk</i> yang aman d. Kenyamanan berjalan jauh
Dittmar and Ohland, (2004)	Kepadatan (<i>Density</i>)	a. Kepadatan penduduk b. Kepadatan bangunan
	Penggunaan lahan bercampur (<i>Diversity</i>)	a. Terdapat penggunaan lahan perumahan b. Terdapat penggunaan lahan perkantoran c. Terdapat penggunaan lahan komersial d. Terdapat penggunaan lahan fasilitas umum
	Desain (<i>Design</i>)	a. Desain jalur pedestrian ramah pejalan kaki b. Jalur pedestrian yang aman c. Jalur pedestrian ter koneksi dengan jalan dan pusat kegiatan lokal
(Handayani, 2014)	Kepadatan (<i>Density</i>)	KDB, KLB
	Penggunaan lahan bercampur (<i>Diversity</i>)	a. Sebaran pusat-pusat kegiatan b. Sebaran titik-titik transit c. Karakter penggunaan lahan
	Desain (<i>Design</i>)	a. Ketersediaan fasilitas pejalan kaki b. Tingkat kemudahan, keamanan, kenyamanan berjalan kaki
Florida TOD Desain Guidebook (FDOT, 2012)	Kepadatan (<i>Density</i>)	a. Minimum kepadatan residential b. Kepadatan pekerjaan c. Total pekerja di sekitar stasiun d. KLB e. KDB
	Penggunaan lahan bercampur (<i>Diversity</i>)	<i>Mix Use</i> 35% perumahan dan 65% non perumahan
	Desain (<i>Design</i>)	a. Aksesibilitas dari jalur pedestrian di kawasan maksimal 10 menit berjalan kaki dari titik transit b. Batas kecepatan kendaraan yang masuk dalam kawasan maksimal 20 mph

Pembentukan karakteristik lingkungan binaan dalam kawasan TOD, sebagaimana telah diuraikan sebelumnya, menjadi dasar penting dalam menelaah tipologi kawasan yang dapat memengaruhi perilaku mobilitas penduduk. Oleh karena itu, langkah selanjutnya

membahas secara khusus dinamika pola perjalanan pada kawasan simpul transit sebagai bentuk keterkaitan interaksi antara struktur spasial dan keputusan individu dalam melakukan perjalanan.

2.4 Pola Perjalanan Kawasan Simpul Transit

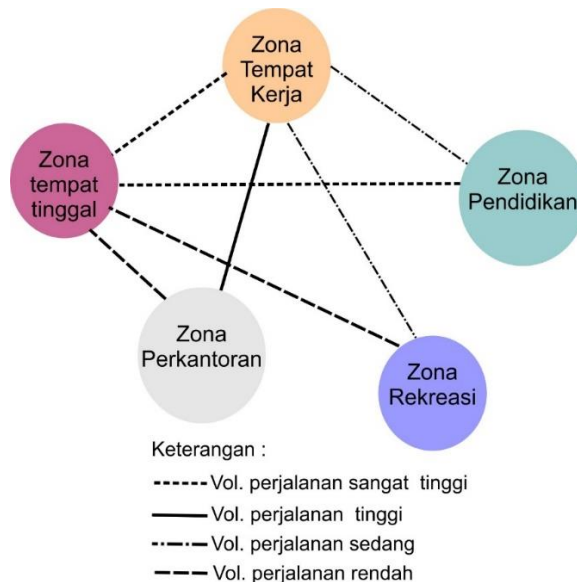
Permintaan perjalanan pada simpul transit kereta api merujuk pada proses kuantifikasi dan analisis jumlah penumpang yang menggunakan stasiun kereta, yang menjadi komponen penting dalam perencanaan dan pengelolaan transportasi perkotaan. Permintaan ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain karakteristik sosial demografi, kondisi lingkungan binaan, serta kejadian eksternal, dan digunakan sebagai dasar untuk optimalisasi operasional angkutan dan pengembangan infrastruktur. Konsep permintaan perjalanan mencakup baik estimasi jumlah penumpang di masa mendatang maupun pemahaman pola penggunaan aktual pada simpul transit (Sakr et al., 2023). Faktor-faktor sosial ekonomi dan lingkungan binaan seperti jumlah rumah tangga dan lapangan kerja di sekitar stasiun memiliki pengaruh signifikan terhadap volume permintaan, dengan variasi berdasarkan waktu dalam sehari, tarif transportasi, waktu tempuh, dan ketersediaan layanan angkutan pengumpan (Iseki et al., 2018). Perbedaan karakteristik kelompok penumpang seperti wisatawan dan komuter harian menghasilkan sensitivitas yang beragam terhadap aksesibilitas dan kepadatan penduduk, sehingga diperlukan pemahaman mendalam untuk penyesuaian layanan transit sesuai kebutuhan (Qian et al., 2024).

2.4.1 Pola Perjalanan Penumpang Kawasan Transit

Pola perjalanan pada simpul transit sistem kereta mengacu pada kecenderungan pergerakan penumpang yang berlangsung secara berulang dalam jaringan angkutan rel perkotaan (Momeni dan Antipova, 2022). Pola perjalanan penumpang penting sebagai alat untuk melihat arus penumpang, meningkatkan efisiensi operasional angkutan, serta merancang pengembangan infrastruktur transportasi kawasan. Dalam melihat pola perjalanan penumpang dilakukan dengan memanfaatkan data spasial-temporal, yang memungkinkan identifikasi keteraturan dan variasi mobilitas penumpang dalam jaringan (Zhou et al., 2017). Salah satu jenis pola yang relevan namun sering terabaikan adalah perjalanan non-pulang-pergi, yang menyumbang bagian signifikan dari volume penumpang di kawasan metropolitan. Pola ini menunjukkan bahwa sejumlah perjalanan

digunakan sebagai akses ke transportasi antarkota, sementara lainnya merepresentasikan pergerakan komuter harian (Wang et al., 2020). Informasi tersebut menjadi dasar dalam perumusan strategi operasional lintas moda, khususnya untuk sistem kereta dan bus. Selain mendukung optimalisasi operasional dan infrastruktur, analisis pola perjalanan juga memberikan kontribusi terhadap pengendalian kemacetan dan perencanaan lingkungan melalui penguatan preferensi terhadap angkutan umum (Loo et al., 2015; Lei et al., 2020).

Faktor-faktor yang memengaruhi pola perjalanan penumpang dalam sistem angkutan umum mencakup aspek temporal, spasial, dan karakteristik individu, yang relevan dalam optimalisasi layanan dan perencanaan jaringan. Pola kegiatan kegiatan dinyatakan dengan garis keinginan dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Pola Pergerakan Penumpang

Sumber: Tamin, 2008

Variasi waktu perjalanan tercermin dari perbedaan pola antara hari kerja dan akhir pekan; penumpang komuter memiliki jadwal perjalanan yang lebih tetap dengan jarak tempuh lebih panjang, sedangkan penumpang non-komuter menunjukkan pola yang lebih bervariasi (Zhao et al., 2022). Volume penumpang angkutan umum meningkat pada jam sibuk hari kerja, dibandingkan akhir pekan (Lei et al., 2020). Secara spasial, distribusi arus masuk dan keluar penumpang antarstasiun bersifat tidak merata (Liu et al., 2020). Karakteristik demografi seperti usia, insentif tarif, serta preferensi terhadap kenyamanan, keamanan, dan frekuensi layanan turut memengaruhi intensitas perjalanan dan pilihan moda transportasi (Benita, 2023). Arus pergerakan penumpang mempunyai arah dan

jumlah yang menggambarkan besarnya pergerakan penumpang. Arus ini bergerak dari zona asal ke zona tujuan di dalam suatu daerah tertentu dan selama periode waktu tertentu (Tamin, 2008). Dari pola perjalanan tersebut dapat ditentukan zona-zona yang mengalami pergerakan tinggi, sedang, rendah. Pola sebaran pergerakan dapat digambarkan dengan garis keinginan (*Desire Line*). Garis Keinginan adalah garis lurus yang menghubungkan asal dan tujuan sebuah pergerakan.

2.4.2 *First-mile* dan *Last-mile* Publik Transportasi

First-mile dan *last-mile* dalam sistem transportasi publik merujuk pada bagian awal dan akhir dari perjalanan seorang penumpang, yang menghubungkan titik asal dan tujuan dengan jaringan angkutan utama (Chiu, 2022). Kedua segmen ini merupakan poin yang penting dalam menentukan aksesibilitas terhadap layanan dasar serta memengaruhi keputusan individu untuk menggunakan transportasi umum. Efisiensi dan kenyamanan dalam menjangkau dan meninggalkan simpul transit secara langsung berkaitan dengan daya tarik sistem angkutan publik secara keseluruhan (Alfaris et al., 2024). Pada konteks kota berkelanjutan penanganan masalah *first-mile* dan *last-mile* menjadi hal mendasar dalam memperkuat aksesibilitas spasial dan membentuk jaringan mobilitas yang inklusif (Kåresdotter et al., 2022).

Metode yang digunakan untuk menganalisis karakteristik *first-mile* dan *last-mile* pada penelitian ini mencakup pengumpulan data primer melalui survei perjalanan individu, yang diolah untuk mengidentifikasi moda akses dan egress, jarak tempuh, waktu tempuh, serta hambatan mobilitas yang dihadapi penumpang. Analisis deskriptif dilakukan untuk memetakan distribusi moda dan jarak pada segmen tersebut, yang selanjutnya dikaji berdasarkan kategori tipologi kawasan simpul transit. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa jarak dan moda pada *first-mile* dan *last-mile* berbeda signifikan antara kawasan TOD pusat kota dan kawasan pinggiran, yang mengimplikasikan kebutuhan strategi konektivitas yang berbeda antar tipologi

Tantangan utama pada *first-mile* dan *last-mile* di kota-kota metropolitan yaitu keterbatasan pilihan moda transportasi yang efisien, perencanaan wilayah yang belum mengantisipasi pertumbuhan penduduk, serta rendahnya dukungan infrastruktur bagi kelompok rentan seperti lansia (Kåresdotter et al., 2022; Rossetti et al., 2023). Layanan yang kurang efisien dan biaya tinggi pada angkutan penghubung, seperti angkutan dengan rute tetap, juga menjadi faktor penghambat dalam mendorong peralihan ke moda

transportasi umum (Irawan et al., 2021). Salah satu solusi integrasi layanan *first-mile* dan *last-mile* ke dalam sistem tarif yang sudah ada diduga dapat meningkatkan keadilan layanan dan mendorong penggunaan angkutan publik secara lebih luas (Reck dan Axhausen, 2020). Pengguna transportasi umum lebih memprioritaskan penghematan waktu pada tahap *last-mile* dibandingkan *first-mile*, menandakan adanya perbedaan preferensi antara akses menuju simpul dan keluar dari simpul transportasi (Rahman et al., 2022). Persepsi terhadap aksesibilitas angkutan umum juga dipengaruhi oleh kondisi individu dan lokasi geografis, yang menunjukkan pentingnya perencanaan yang inklusif (Kåresdotter et al., 2022). Selain aspek spasial dan moda perjalanan, preferensi dan perilaku penumpang juga dipengaruhi oleh karakteristik sosial demografis individu. Pemahaman terhadap profil pengguna angkutan umum menjadi krusial dalam merancang kebijakan yang adaptif dan responsif terhadap kebutuhan pengguna dari berbagai latar belakang. Oleh karena itu, subbagian berikut mengulas dimensi sosiodemografi sebagai variabel yang berperan dalam membentuk pola perjalanan kawasan transit.

2.4.3 Sosio Demografi Penumpang Kawasan Transit

Dimensi sosial dalam *Transit Oriented Development* (TOD) mencakup kebutuhan untuk merancang sistem transportasi dan komunitas yang inklusif bagi seluruh kelompok penduduk tanpa memandang usia, kemampuan, latar belakang sosial, dan gaya hidup (Lierop et al., 2016). Topik tersebut menjadi dianggap sebagai tantangan belakangan ini, karena studi-studi sebelumnya tentang integrasi penggunaan lahan transit di negara-negara berkembang tidak memberikan perhatian khusus pada faktor tersebut (Cervero, 2013; Cervero dan Dai, 2014; Suzuki et al., 2013).

Penelitian preferensi dan kebutuhan mobilitas masyarakat masih terbatas, khususnya dalam konteks negara berkembang yang memperlihatkan kecenderungan tinggi terhadap penggunaan angkutan informal seperti minibus-taksi, dan peralihan ke kendaraan pribadi seiring peningkatan pendapatan serta kepemilikan sepeda motor (Bae dan Suthiranart, 2003; Wilkinson, 2006). Faktor spasial juga berkontribusi, terutama ketidaksesuaian antara lokasi hunian dan tempat bekerja (Song et al., 2021; Xia et al., 2017). Di beberapa negara seperti Tiongkok dan Iran, kepemilikan mobil tidak hanya dipengaruhi oleh aspek ekonomi, tetapi juga mencerminkan nilai sosial dan simbol status, yang diidentikkan dengan kenyamanan, privasi, kebebasan, dan identitas kelas menengah (Cervero, 2013; Soltani dan Allan, 2006). Dalam kondisi tersebut, transportasi umum

dinilai kurang menarik bagi kelompok berpenghasilan menengah dan tinggi karena dianggap padat dan kurang aman (Gilat dan Sussman, 2003; Matsuyuki et al., 2020). Akumulasi dari faktor-faktor tersebut menghasilkan pengabaian terhadap kelompok berpendapatan rendah, ditandai oleh minimnya pemahaman terhadap kebutuhan mereka, keterlibatan yang rendah dalam proses perencanaan, dan terbatasnya investasi yang ditujukan bagi kelompok ini. Perbedaan gender dalam pola perjalanan juga merupakan isu penting, terutama di negara-negara dengan struktur sosial patriarkal seperti Brasil, Indonesia, India, Iran, dan Meksiko, yang menghambat pencapaian tujuan TOD (Poiani dan Stead, 2017; Thomas et al., 2018). Oleh karena itu, karakteristik sosiodemografis perlu dimasukkan dalam analisis perjalanan penumpang untuk memberikan pemahaman yang lebih komprehensif terhadap keberfungsian kawasan TOD.

Penelitian sebelumnya menunjukkan adanya perbedaan pola mobilitas antara masyarakat yang tinggal di sekitar stasiun inti dan kawasan pinggiran akibat dampak urbanisasi dan penyebaran wilayah perkotaan yang tidak terkendali (*urban sprawl*) (Ayambire et al., 2019; Vandewater, 2015). Lokasi studi contohnya seperti di Depok, Kabupaten Bogor, dan Kota Bogor yang berfungsi sebagai kota satelit Jakarta mengalami pertumbuhan proyek perumahan di luar inti kota, yang memengaruhi preferensi, sikap, serta pola mobilitas masyarakat. Kawasan-kawasan tersebut juga mengalami perubahan sosial budaya yang berkontribusi pada pembentukan gaya hidup urban, tercermin dari meningkatnya keterhubungan dengan sistem transportasi perkotaan (Gu dan Smith, 2020; Hudalah et al., 2010; Su et al., 2022). Kajian TOD, perspektif sosial menyoroti pentingnya keadilan spasial dan inklusivitas aksesibilitas transportasi, mengingat perencanaan yang tidak mempertimbangkan kebutuhan kelompok berpenghasilan rendah, lansia, dan perempuan berpotensi menghasilkan bias dalam pengembangan kawasan.

2.5 Tipologi Kawasan Simpul Transit

2.5.1 Tipologi dan Pendekatan

Salah satu pendekatan untuk mendeskripsikan dan memahami karakteristik kawasan sekitar simpul transit atau stasiun adalah melalui pengembangan tipologi kawasan stasiun. Sejumlah peneliti menyatakan bahwa penyusunan tipologi dapat menjadi langkah strategis dalam mendorong dan mengimplementasikan kebijakan yang mendukung pengembangan kawasan berbasis transit (Suzuki et al., 2013). Tipologi bersifat deskriptif,

yang berarti memberikan gambaran kondisi eksisting maupun kondisi yang diharapkan dari suatu kawasan. Meskipun tidak memuat penilaian normatif terhadap kondisi yang dianggap baik atau buruk, tipologi mencerminkan prioritas analitis mengenai aspek yang perlu diukur dan tujuan yang ingin dicapai melalui klasifikasi tersebut (CTOD, 2010). Setiap kategori tipologi memuat kumpulan stasiun dengan karakteristik yang serupa, meskipun tidak ada dua stasiun yang identik secara keseluruhan. Tipologi kawasan stasiun merepresentasikan karakter lingkungan binaan, intensitas pembangunan, dan karakteristik konektivitas multimoda di sekitar simpul transit, sehingga dapat digunakan sebagai dasar perumusan kebijakan atau perubahan perencanaan yang dibutuhkan dalam menanggapi tren dan permasalahan yang teridentifikasi (Rodríguez dan Kang, 2020).

Studi terkini mengembangkan pendekatan tipologi berdasarkan karakteristik struktur kota yang ada (Higgins dan Kanaroglou, 2016). Tipologi TOD merupakan segmentasi kawasan berdasarkan kemiripan struktur perkotaan. Tipologi ini membantu menjawab pertanyaan-pertanyaan strategis pada level kebijakan, seperti jenis sistem transit yang sesuai, tingkat kepadatan yang dibutuhkan, kombinasi penggunaan lahan yang optimal, pola jaringan jalan yang diharapkan, serta karakter lingkungan yang mendukung keberhasilan TOD (Austin et al., 2010). Jawaban terhadap pertanyaan-pertanyaan tersebut sangat penting bagi perencana dan pembuat kebijakan dalam menyusun kebijakan TOD (Kamruzzaman et al., 2015). Tipologi juga menyediakan tolok ukur yang sistematis terhadap elemen struktur kota, yang menjadi panduan dalam pengembangan TOD. Keberadaan klasifikasi ini memungkinkan lembaga pemerintah dan pengembang dalam mengalokasikan sumber daya secara tepat pada berbagai jenis kawasan untuk mencapai manfaat TOD secara komprehensif dalam perencanaan jangka panjang (Rodríguez dan Kang, 2020).

Perkembangan literatur terkait TOD saat ini sebagian besar fokus pada identifikasi dan evaluasi TOD. Namun, semakin diakui perlunya eksplorasi tipologi area stasiun untuk mencapai penilaian TOD yang lebih komprehensif. Pengembangan tipologi TOD yang mencakup fitur-fitur yang diinginkan dapat mendukung perencana dan pembuat kebijakan dalam merumuskan perencanaan dan kebijakan TOD berbasis konteks yang lebih sesuai untuk lokasi tertentu (Belzer dan Autler, 2002). Selain itu, tipologi memungkinkan dapat membuat perbandingan dan penilaian kinerja di antara berbagai jenis stasiun, menawarkan tolok ukur dan menyoroti tindakan yang diperlukan (Zemp et

al., 2011). Sehingga banyak para peneliti telah mengategorikan TOD ke dalam tipologi berdasarkan berbagai karakteristik atau ukuran kinerja area stasiun.

2.5.2 Metode Pendekatan Tipologi Kawasan Transit

Perkembangan literatur terbaru mengemukakan dua pendekatan utama dalam konseptualisasi dan pengembangan tipologi *Transit-Oriented Development* (TOD) yaitu pendekatan kualitatif dan kuantitatif (Higgins dan Kanaroglou, 2016). Pendekatan pertama bersifat kualitatif, tipologi diklasifikasikan berdasarkan karakteristik geografis dan fungsional suatu kawasan (Calthorpe, 1993; Austin et al., 2010; FDOT, 2012). Calthorpe (1993) membagi TOD menjadi dua kategori, yaitu *urban* TOD yang mencakup kawasan berkepadatan tinggi dalam radius setengah mil dari koridor transit utama, serta *neighborhood* TOD untuk kawasan residensial dengan kepadatan menengah hingga rendah dalam radius sepuluh menit perjalanan menuju layanan bus lokal atau pengumpan. Dittmar and Ohland (2004) mengusulkan enam bentuk tipologi, yaitu *suburban center*, *suburban*, *urban downtown*, *urban*, *neighborhood transit zone*, dan *commuter town center*, yang dikembangkan berdasarkan tolok ukur fungsional antara lokasi dan tujuan perjalanan. Departemen Transportasi Florida (FDOT) menyusun tipologi berdasarkan skala regional, komunitas, dan lingkungan, dengan parameter seperti tingkat kepadatan, campuran fungsi lahan, konfigurasi jaringan jalan, dan sistem parkir (FDOT, 2012). Di India, Kementerian Pengembangan Perkotaan (MoUD) menyertakan tipologi dalam dokumen panduan perencanaan TOD untuk kota-kota padat penduduk. Tipologi tersebut dirumuskan berdasarkan karakteristik stasiun, ketersediaan lahan, campuran guna lahan, dan tantangan implementasi TOD (Patnala et al., 2020). Tipologi tersebut disusun secara kualitatif dan belum dikuantifikasi secara struktural untuk kepentingan praktis.

Pendekatan kuantitatif mengklasifikasikan kawasan berdasarkan karakteristik aktual TOD yang terukur (Vale, 2015; Voulgaris et al., 2017). Peneliti sebelumnya menemukan bahwa TOD dapat mengambil bentuk yang beragam, dan setiap lingkungan memiliki struktur urban yang berbeda-beda (Atkinson-Palombo dan Kuby, 2011). Bertolini, (1999) memperkenalkan model *Node Place* sebagai kerangka klasifikasi yang menggabungkan indeks *node* (kapasitas dan konektivitas transportasi) dan indeks *place* (kondisi struktur ruang kota) dalam sistem koordinat dua sumbu. Model ini mengidentifikasi lima kondisi kawasan, yaitu *balanced*, *stress*, *dependency*, *unsustained place*, dan *unsustained node*. Meskipun telah dikembangkan lebih dari dua dekade lalu,

model *Node-Place* tetap menjadi instrumen analitis dasar dalam pengembangan tipologi TOD hingga saat ini.

Sejumlah peneliti telah mengembangkan pendekatan tipologi *Transit Oriented Development* (TOD) berdasarkan tujuan analisis, konteks lokal, dan ketersediaan data yang beragam (Zemp et al., 2011; Vale, 2015; Lyu et al., 2016). Meskipun demikian, model yang ada masih memiliki sejumlah keterbatasan mendasar. Segmentasi kawasan dalam pendekatan klasik dibatasi pada lima klaster, yang memerlukan validasi eksternal agar dapat dijadikan dasar pengambilan keputusan (Vale, 2015). Asumsi keseimbangan aksesibilitas jangka panjang yang dikemukakan oleh Bertolini (1999) dinilai tidak konsisten, karena hanya relevan untuk simpul yang seimbang, sementara kondisi yang tidak seimbang sulit diidentifikasi secara sistematis. Indikator *Node-Place* yang dirumuskan dalam model tersebut juga belum mampu merepresentasikan kompleksitas aktor dalam sistem TOD (Zemp et al., 2011). Selain itu, korelasi antara indikator *node* dan *place* cenderung memusatkan mayoritas kawasan di sekitar garis tengah diagram, padahal kurva cekung dianggap lebih tepat menggambarkan situasi keseimbangan daripada garis lurus (Reusser et al., 2008). Kondisi keseimbangan *node-place* juga belum dapat membedakan apakah suatu wilayah merupakan TOD yang sejati atau hanya *Transit Adjacent Development* (TAD), yang sering dianggap sebagai bentuk penyimpangan dari prinsip TOD (Vale, 2015).

Penelitian lanjutan telah mengembangkan tipologi TOD secara lebih sistematis melalui metode empiris. Beberapa pendekatan yang digunakan meliputi hierarchical klustering (Song dan Knaap, 2007), two-step klustering (Kamruzzaman et al., 2014; Patnala et al., 2018), serta latent class klustering (Huang et al., 2018). Kamruzzaman et al. (2014) menekankan bahwa klasifikasi kawasan sebaiknya disesuaikan dengan struktur urban eksisting. Higgins dan Kanaroglou (2016) mengklasifikasikan 372 kawasan stasiun rapid transit di Toronto ke dalam sepuluh tipologi berdasarkan faktor-faktor seperti kepadatan penduduk, kepadatan pekerjaan, entropi, konektivitas jalan, serta proporsi lahan residensial, komersial, campuran, dan industri. Validasi dilakukan melalui analisis perbedaan statistik atas variabel sosiodemografi dan perilaku perjalanan. Huang et al. (2018) membagi 22 kawasan stasiun di wilayah Arnhem-Nijmegen, Belanda, ke dalam tiga tipologi yaitu urban *mixed core*, urban *residential*, dan suburban *residential*

berdasarkan kepadatan penduduk, pekerjaan, aktivitas bisnis, nilai entropi, derajat campuran, kepadatan simpang, serta jaringan sepeda dan pejalan kaki.

Atkinson-Palombo dan Kuby (2011) mengusulkan lima tipologi TOD untuk 27 stasiun sistem LRT di Phoenix, Amerika Serikat, menggunakan metode *hierarchical* klastering dan memvalidasinya melalui tiga uji ANOVA independen atas rerata nilai properti TOD, zonasi overlay, dan pengaruh kebijakan overlay terhadap TOD lanjutan. Kamruzzaman et al. (2014) juga melakukan segmentasi terhadap 200 distrik sensus di Brisbane menjadi empat tipologi: activity center TODs, potential TODs, residential TODs, dan non-TODs, dengan validasi menggunakan dua model multinomial logit (MNL) berdasarkan data perilaku perjalanan dari lebih dari 10.000 individu.

Beberapa temuan penting muncul dari pendekatan tipologi yang telah ada. Tipologi yang disusun secara subjektif dinilai belum mampu menggambarkan secara tepat struktur kota dan variasi spasial. Pendekatan ini tidak didukung oleh validasi ilmiah yang memadai dan belum berfungsi secara optimal sebagai alat perencanaan TOD (Kamruzzaman et al., 2014; Singh et al., 2017). Tipologi kuantitatif dinilai lebih unggul karena dapat diuji, dibandingkan, serta digunakan secara sistematis dalam mendukung perencanaan berbasis data (Cervero dan Murakami, 2009; Singh et al., 2017). Namun, aspek lain seperti nilai lahan, tata kelola, pembiayaan, serta kebijakan manajemen permintaan masih kurang diperhatikan, meskipun memiliki implikasi jangka panjang terhadap dinamika tipologi (Suzuki et al., 2013). Tipologi TOD tidak bersifat universal, artinya, karena karakteristik kawasan berbeda antar wilayah. Tipologi yang dikembangkan di satu wilayah belum tentu dapat diterapkan di wilayah lain (Kamruzzaman et al., 2014). Meskipun demikian, referensi lintas konteks tetap dapat digunakan sebagai acuan awal. Proses verifikasi dan validasi melalui indikator perilaku perjalanan seperti volume pengguna, biaya dan waktu perjalanan, kepemilikan kendaraan, dan distribusi moda sangat penting untuk menjamin relevansi dan efektivitas tipologi dalam mendukung pembangunan perkotaan yang berkelanjutan (Austin et al., 2010). Setelah membahas pendekatan dalam pengembangan tipologi kawasan simpul transit, penting untuk memahami bagaimana tipologi tersebut berkaitan dengan pola mobilitas masyarakat. Kajian ini tidak hanya mendeskripsikan klasifikasi spasial, namun juga menelaah secara empiris hubungan antara struktur kawasan dan perilaku perjalanan sebagai landasan untuk merumuskan strategi integratif TOD.

2.6 Hubungan Karakteristik Pola Perjalanan dan Tipologi Simpul Transit

Perkembangan penelitian terkait tipologi dan pola perjalanan oleh para peneliti masih terbatas dalam memahami efek kausal dari input TOD terhadap output TOD (pola perjalanan) di dalam tipe lingkungan (Higgins dan Kanaroglou, 2016). Studi tentang hubungan ini penting karena perencanaan TOD di kota mana pun jarang dimulai dari ruang kosong (Thomas dan Bertolini, 2015; Chen et al., 2017). Dalam kenyataannya, fasilitas transit di seluruh kota mengikuti struktur perkotaan di lingkungan di mana ada permintaan perjalanan yang cukup, yang mengarah pada pengembangan di dekat transit *transit-adjacent developments* (TAD). Struktur perkotaan kemudian di orientasikan lebih lanjut menuju fasilitas transit, yang menciptakan TOD. Sebuah (re)orientasi yang tidak berhasil akan membuat lingkungan tetap sebagai TAD (Renne, 2003; Singh et al., 2017). Oleh karena itu, TOD bukan hanya struktur perkotaan yang berdekatan dengan fasilitas transit, tetapi yang penting adalah adanya hubungan antara keduanya (Patnala et al., 2020).

Selama tiga dekade terakhir, studi tentang hubungan antara struktur perkotaan dan perilaku perjalanan telah mendapatkan perhatian signifikan dari banyak peneliti (Ewing and Cervero, 2010; Ogra dan Ndebele, 2013; Ewing et al., 2017). Ewing dan Cervero (2010) melaporkan bahwa faktor TOD yang terdiri dari 5 variabel 'D' dari struktur perkotaan yaitu 'kepadatan, keragaman, desain, jarak, dan aksesibilitas tujuan' memainkan peran utama dalam mencapai permintaan perjalanan yang positif. Namun, studi sebelumnya telah mengidentifikasi dua masalah metodologi utama dalam menyelidiki hubungan struktur kawasan-pola perjalanan di antara lingkungan (Hong et al., 2014). Pertama, kontribusi seleksi diri residential dalam hubungan struktur kawasan-perilaku perjalanan merupakan perhatian utama (Schwanen dan Mokhtarian, 2004; Naess, 2012). Beberapa studi menyebutkan bahwa efek struktur kawasan terhadap perilaku perjalanan tertekan karena masalah pemilihan tempat tinggal (Zhang et al., 2012). Studi terbaru juga menunjukkan bahwa struktur kawasan memiliki efek dominan terhadap perilaku perjalanan dibandingkan dengan seleksi diri residential (Chen et al., 2017) dan mengungkapkan bahwa efek dari struktur kawasan itu penting. Gandhi dan Tiwari (2021) menemukan bahwa penggunaan variabel sosio-demografis dalam analisis itu dapat mengatasi masalah tersebut dalam pemilihan residential.

Kedua, pengukuran variabel struktur perkotaan pada tingkat lingkungan dapat mengarah pada fenomena umum, yang disebut ketergantungan spasial (Hong et al., 2014). Misalnya, Ding dan Cao, (2019) menggunakan data spasial dari lokasi residential dan tempat kerja pada tingkat *traffic analysis zone* untuk memeriksa efeknya terhadap kepemilikan mobil. Individu di tipe lingkungan yang sama kemungkinan akan memiliki kesamaan dalam hal karakteristik sosio demografis mereka. Mereka juga dapat menunjukkan karakteristik yang mirip antara lingkungan di dalam tipe lingkungan. Pengamatan semacam itu yang dianalisis dalam model regresi linier biasa (OLR) akan menghasilkan kesalahan standar dari masing-masing koefisien (Kim dan Wang, 2015). Studi terbaru telah mengatasi masalah ketergantungan spasial di antara pengamatan melalui penerapan model regresi multilevel saat menyelidiki hubungan struktur perkotaan-perilaku perjalanan (Wu dan Hong, 2017; Ding dan Cao, 2019). Namun, studi terbatas yang menggunakan beragam metode *klustering* dan *eksploratory* data analisis dalam memeriksa efek mendasar dari struktur perkotaan terhadap pola perjalanan individu penumpang yang datang di kawasan simpul transit. Hubungan antara struktur kawasan dan perilaku perjalanan bersifat kompleks dan tidak selalu linier. Pengetahuan yang dikonstruksi dalam kajian ini tidak bersifat deterministik, melainkan dibentuk oleh interaksi variabel spasial, sosial, dan pilihan individu. Oleh karena itu, pendekatan epistemologis yang digunakan menekankan pentingnya triangulasi metode, keterpaduan data kuantitatif dan kualitatif, serta pengakuan terhadap konteks lokal dalam membangun pengetahuan yang valid dan aplikatif.

2.7 Metode Analisis Hubungan Karakteristik Pola Perjalanan dan Tipologi

Analisis hubungan antara karakteristik permintaan perjalanan dan tipologi kawasan simpul transit memerlukan pendekatan metodologis yang komprehensif dan berlapis. Dalam konteks ini, pengukuran karakteristik permintaan perjalanan mencakup identifikasi pola mobilitas penumpang berdasarkan atribut sosio-demografis serta perilaku akses terhadap simpul transit, khususnya dalam konteks perjalanan *first-mile* dan *last-mile*. Aspek ini penting untuk memahami keterjangkauan spasial dan efisiensi jaringan transportasi publik dari perspektif pengguna.

Untuk mengkaji keterkaitan antara struktur lingkungan binaan dan karakteristik perjalanan, digunakan analisis *Principal Component Analysis* (PCA) guna mereduksi dimensi variabel lingkungan dan mengidentifikasi faktor-faktor dominan yang

membentuk konfigurasi kawasan. Selanjutnya, hasil ekstraksi komponen utama dari PCA digunakan sebagai dasar dalam pembentukan tipologi kawasan dengan pendekatan *K-Means* Klastering. Teknik ini bertujuan untuk mengelompokkan kawasan simpul transit ke dalam kelas-kelas tipikal berdasarkan kemiripan karakteristik spasial dan fungsional.

Hubungan antara tipologi kawasan dan karakteristik permintaan perjalanan dianalisis dengan menggunakan teknik korelasi parsial. Pendekatan ini memungkinkan pengujian kekuatan hubungan antar variabel dengan mengontrol pengaruh variabel lain yang bersifat *intervening*, sehingga memberikan pemahaman yang lebih akurat mengenai keterkaitan antara tipologi kawasan dan perilaku perjalanan penumpang. Secara keseluruhan, rangkaian metode ini disusun untuk memastikan validitas analitis dalam menjelaskan interaksi spasial antara sistem transportasi dan dinamika permintaan perjalanan di kawasan simpul transit.

2.7.1 Metode Tabulasi Silang Sebagai Analisis Karakteristik Penumpang

Metode *cross tabulation* atau tabulasi silang merupakan pendekatan statistik deskriptif yang digunakan untuk mengevaluasi hubungan antara dua variabel kategorikal dalam bentuk tabel kontingensi. Dalam studi transportasi perkotaan, khususnya pada kawasan simpul transit berbasis rel, metode ini digunakan untuk menguji keterkaitan antara karakteristik sosio-demografis penumpang meliputi usia, jenis kelamin, tingkat pendidikan, status pekerjaan, dan kepemilikan kendaraan dengan pola perjalanan yang mereka lakukan. Pola tersebut dapat berupa frekuensi penggunaan transit, tujuan perjalanan, waktu tempuh, serta jenis moda yang digunakan pada segmen *first-mile* dan *last-mile*.

Pendekatan ini memberikan kerangka analisis awal terhadap dinamika keterkaitan antar variabel yang tidak hanya bersifat eksploratif, tetapi juga mendukung tahap pra-inferensial dalam pemodelan statistik lanjutan. Dalam konteks kawasan simpul transit, tabulasi silang dapat mengungkapkan variasi perilaku perjalanan berdasarkan tipologi kawasan, seperti stasiun di pusat kota versus pinggiran, atau stasiun dengan karakter *mixed-use* dibandingkan dengan kawasan dominan hunian. Sebagai contoh, penelitian oleh Yatmar et al. (2022) menunjukkan bahwa preferensi perjalanan dan tujuan pengguna transportasi publik bervariasi secara signifikan berdasarkan latar belakang sosio-demografis, yang relevan dalam pengembangan layanan transportasi berbasis kebutuhan lokal masyarakat urban

Dalam penerapannya, hasil tabulasi silang dapat diuji lebih lanjut melalui uji chi-square untuk mengetahui signifikansi statistik dari keterkaitan antar variabel, serta digunakan sebagai dasar untuk mengidentifikasi kluster karakteristik penumpang pada lokasi simpul transit tertentu. Analisis ini menjadi penting dalam kerangka perencanaan transportasi berbasis bukti (*evidence-based planning*), karena mendukung penyusunan strategi peningkatan layanan yang responsif terhadap variasi kebutuhan antar kelompok pengguna. Dengan demikian, metode tabulasi silang tidak hanya berfungsi sebagai alat eksploratif, tetapi juga sebagai fondasi dalam memahami keterkaitan sosial-ruang dalam mobilitas perkotaan di sekitar kawasan simpul transit.

2.7.2 Metode Analisis Karakteristik *First-mile* dan *Last-mile* Penumpang

Analisis karakteristik *first-mile* dan *last-mile* pada penumpang simpul transit merupakan pendekatan penting dalam mengevaluasi konektivitas perjalanan secara menyeluruh. *First-mile* mengacu pada segmen awal perjalanan dari tempat tinggal ke simpul transit, sedangkan *last-mile* mencakup segmen akhir dari simpul transit menuju tempat tujuan. Kedua segmen ini berperan dalam menentukan kemudahan akses, pemilihan moda transportasi, serta intensi penggunaan angkutan umum. Dalam konteks pengembangan kawasan transit, pemahaman terhadap karakteristik aksesibilitas ini memberikan informasi penting untuk meningkatkan integrasi jaringan multimoda dan mengoptimalkan kebijakan transit berbasis kawasan yang efisien dan inklusif (Alfaris et al., 2024).

Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini melibatkan pengumpulan data primer melalui survei penumpang terhadap moda, jarak tempuh, waktu tempuh, dan hambatan perjalanan pada segmen akses dan egress. Untuk memahami faktor-faktor yang memengaruhi pemilihan moda pada *first-mile* dan *last-mile*, digunakan analisis regresi logistik biner. Model ini memungkinkan pengujian probabilitas penggunaan moda aktif (berjalan kaki dan sepeda) atau moda bermotor (angkutan pengumpan, ojek daring, kendaraan pribadi) berdasarkan variabel independen seperti usia, jenis kelamin, status kepemilikan kendaraan, kepadatan kawasan, dan jarak ke stasiun. Analisis ini dinilai relevan dalam menjelaskan keputusan transportasi berbasis atribut individu dan spasial (Lu et al., 2021; J et al., 2022; Rahman et al., 2022).

Variabel yang diamati juga dikaitkan dengan aspek demografis dan preferensi pengguna, guna melihat apakah faktor-faktor seperti usia, gender, dan kepemilikan

kendaraan memengaruhi pemilihan moda akses. Pendekatan ini mendukung pengembangan kebijakan konektivitas *first-last-mile* yang adaptif terhadap konteks spasial dan sosial kawasan. Dalam praktiknya, hasil analisis ini digunakan sebagai dasar untuk menyusun strategi perencanaan yang mencakup penyediaan fasilitas *park and ride*, integrasi sepeda publik, serta penataan ulang jaringan angkutan pengumpan di sekitar simpul transit. Kajian ini juga sejalan dengan temuan Kåresdotter et al. (2022) yang menekankan pentingnya integrasi spasial dan layanan dalam meningkatkan daya tarik angkutan umum secara menyeluruh. Dengan demikian, metode analisis karakteristik *first-mile* dan *last-mile* tidak hanya menjelaskan preferensi perjalanan mikro individual, tetapi juga memetakan kesenjangan sistemik dalam infrastruktur pendukung aksesibilitas transit, yang menjadi pijakan penting dalam mewujudkan sistem mobilitas perkotaan yang inklusif dan berkelanjutan (Lu et al., 2022; Sunitiyoso et al., 2022; Rossetti et al., 2023).

2.7.3 Metode Faktor Analisis (PCA) dan *Klaster Analysis* (K-Means)

Analisis kluster memudahkan identifikasi segmen alami dari lingkungan yang memiliki profil TOD yang sama (Lyu et al., 2016). Studi ini menggunakan metode *K-means* karena beberapa alasan. Pertama, metode ini biasa digunakan dalam klasterisasi tipologi khususnya untuk TOD; kedua, metode ini lebih efisien untuk menganalisis data dalam jumlah besar seperti data banyak stasiun atau kawasan dengan berbagai variabel seperti kepadatan penduduk, aksesibilitas, dan penggunaan lahan; selain itu, metode ini cocok digunakan untuk data numerik dan kontinu (Kamruzzaman et al., 2014). Dalam konteks klasterisasi tipologi TOD, K-Means lebih unggul karena efisiensinya dalam menangani data spasial dan transportasi, kemampuannya untuk mengelompokkan kawasan dengan cepat dan akurat, serta kemudahan interpretasi hasilnya dalam perencanaan kota dan transportasi (Lee et al., 2022a). Oleh karena itu, studi ini melakukan analisis kluster K-means terhadap lima variabel TOD, yaitu densitas populasi, entropi, densitas bangunan, desain trotoar, jarak menuju pusat kegiatan, dan jarak menuju pusat transit

Metode K-Means mengelompokkan data berdasarkan kesamaan, dengan cara menyesuaikan pusat kluster hingga mencapai keseimbangan. Metode ini memperkirakan jumlah kluster dengan dua cara yaitu metode *Elbow Method* dan *Silhouette Score*. *Elbow Method* dilakukan dengan melihat perubahan dalam *Sum of Squared Errors* (SSE) dan mencari titik optimal sedangkan metode *Silhouette Score* dilakukan dengan mengukur

kualitas klasterisasi berdasarkan perbandingan jarak dalam satu klaster dan jarak ke klaster lain (Khattak dan Qian, 2024). Dalam metode analisis klaster K-Means, semua variabel input (kontinu) diasumsikan normal dan independen. Kualitas klaster dapat dievaluasi menggunakan Koefisien *Silhouette*, yang merupakan ukuran kohesi dan pemisahan klaster. Nilai *Silhouette* berkisar -1 hingga 1, semakin besar nilai *sillhoutte* menunjukkan kualitas model klaster yang lebih baik (Lee et al., 2022b).

2.7.4 Metode Analisis Hubungan Karakteristik Pola Perjalanan dan Tipologi

Analisis bivariat korelasi digunakan dalam penelitian ini untuk mengevaluasi hubungan antara karakteristik permintaan perjalanan penumpang dan tipologi kawasan simpul transit. Analisis ini bertujuan mengidentifikasi sejauh mana hubungan linier terjadi antara dua variabel, baik dalam arah positif maupun negatif, serta mengukur kekuatannya secara statistik. Karakteristik permintaan perjalanan mencakup variabel-variabel seperti frekuensi perjalanan, durasi dan jarak tempuh, moda yang digunakan, serta waktu keberangkatan dan kedatangan. Tipologi kawasan simpul transit diperoleh melalui klasifikasi berbasis indikator lingkungan binaan menggunakan *Principal Component Analysis* (PCA) dan algoritma K-Means *Klastering*, yang menghasilkan kelompok-kelompok kawasan dengan karakteristik morfologi dan fungsi ruang yang berbeda (Niu et al., 2021; Momeni dan Antipova, 2022).

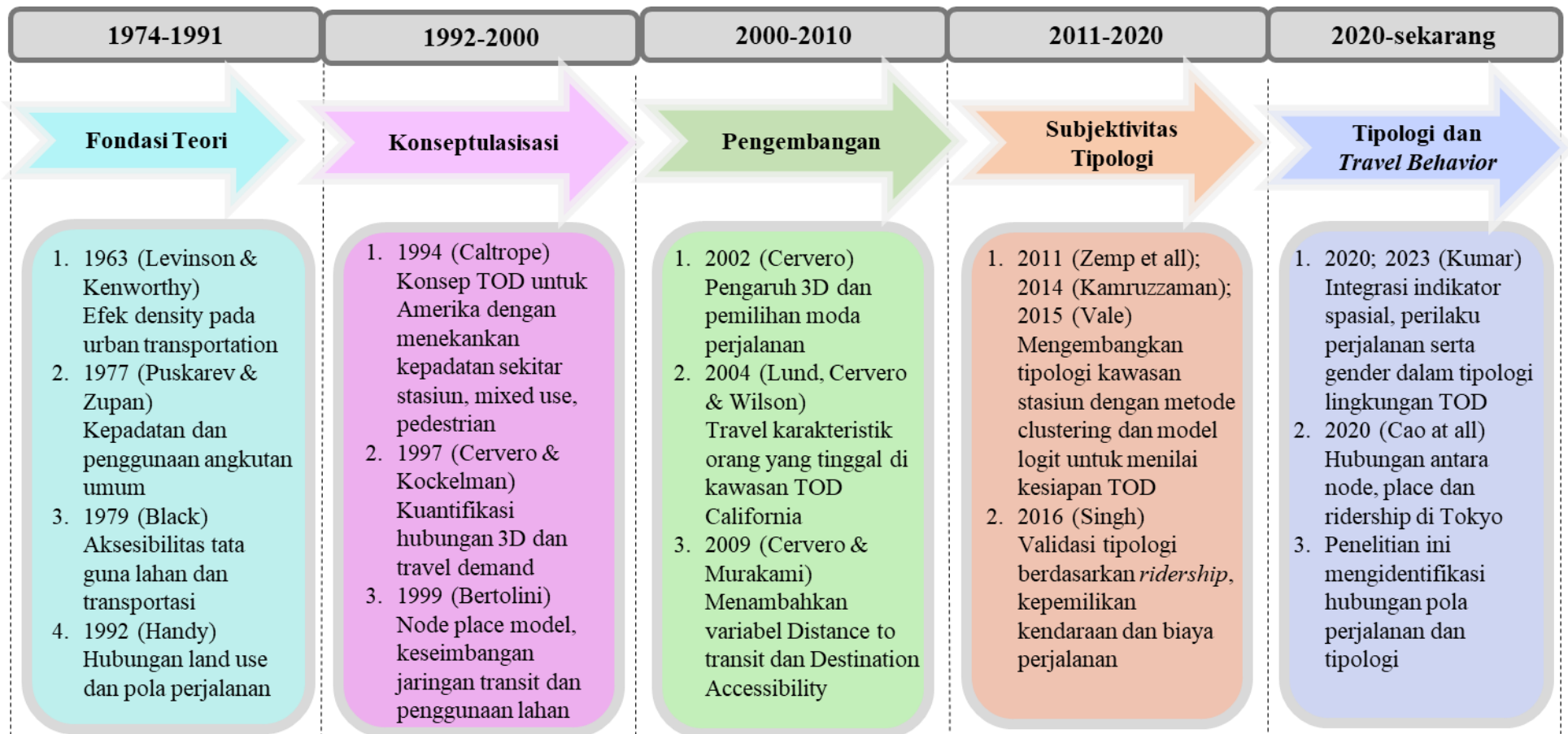
Metode korelasi bivariat yang digunakan dalam penelitian ini disesuaikan dengan skala dan distribusi data. Apabila kedua variabel berskala interval atau rasio dan memenuhi asumsi normalitas, maka digunakan koefisien korelasi Pearson. Sebaliknya, apabila terdapat pelanggaran terhadap asumsi normalitas atau data berskala ordinal, maka digunakan koefisien korelasi Spearman. Koefisien korelasi (r) berkisar antara -1 hingga +1, dengan nilai mendekati +1 menunjukkan hubungan positif kuat, mendekati -1 menunjukkan hubungan negatif kuat, dan mendekati 0 menunjukkan hubungan yang sangat lemah atau tidak ada hubungan linier.

Analisis korelasi bivariat banyak digunakan dalam kajian transportasi untuk mengevaluasi hubungan antarvariabel spasial dan perilaku. Penelitian oleh Zhou et al. (2017) menunjukkan bahwa variabel lingkungan binaan seperti kepadatan penduduk dan diversitas guna lahan memiliki hubungan signifikan dengan volume perjalanan angkutan umum, terutama pada kawasan dengan dukungan jaringan pejalan kaki yang tinggi. Hasil-hasil seperti ini menjadi relevan dalam perencanaan kawasan transit di negara

berkembang yang mengalami pertumbuhan urban yang cepat dan kompleksitas spasial tinggi. Dalam konteks penelitian ini, analisis korelasi bivariat digunakan sebagai tahap awal untuk menilai keterkaitan antara tipologi kawasan hasil klasifikasi dan indikator perilaku perjalanan yang diperoleh dari data primer. Temuan dari analisis ini akan memberikan dasar yang kuat untuk memahami pola keterhubungan spasial antara karakteristik morfologi kawasan transit dan perilaku perjalanan aktual. Selain itu, hasil korelasi digunakan untuk mengidentifikasi variabel kunci yang memiliki potensi signifikan dalam membentuk strategi pengembangan kawasan simpul transit berbasis kebutuhan mobilitas penumpang. Dengan demikian, korelasi bivariat tidak hanya berfungsi sebagai alat deskriptif statistik, melainkan juga sebagai instrumen analitis dalam perumusan kebijakan berbasis data, terutama dalam upaya mengintegrasikan rencana tata ruang dan sistem transportasi publik secara lebih kontekstual dan responsif terhadap karakter kawasan. Pemanfaatan metode statistik korelasi bivariat dalam konteks ini bukan hanya untuk menguji hubungan numerik, tetapi juga untuk memberikan dasar rasional bagi kebijakan spasial yang berbasis bukti. Pendekatan ini mendukung nilai-nilai akselerasi perbaikan layanan publik berbasis data dan mendukung pengambilan keputusan yang partisipatif dan inklusif di sektor transportasi perkotaan.

2.8 Peta Jalan Penelitian

Peta penelitian pada Gambar 2.4 menggambarkan tahapan penelitian secara sistematis dan kronologis, mulai dari penetapan topik, perumusan metodologi, pengumpulan serta analisis data, hingga penyusunan naskah disertasi dan publikasi artikel ilmiah. Setiap tahap dirancang dengan luaran yang terukur guna memastikan ketercapaian tujuan penelitian secara terstruktur, terarah, dan berkesinambungan



Gambar 2.3 Peta Jalan Penelitian

Gambar 2.4 menggambarkan peta jalan perkembangan penelitian mengenai keterkaitan antara tipologi kawasan Transit-Oriented Development (TOD) dan pola perjalanan penumpang yang disusun secara kronologis sejak tahun 1974 hingga masa kini. Peta jalan ini menunjukkan bagaimana evolusi pemikiran dan metodologi dalam studi TOD berkembang secara bertahap, dimulai dari fase fondasi teori, konseptualisasi, pengembangan, subjektivitas tipologi, hingga fase integrasi antara tipologi dan perilaku perjalanan. Tahapan awal penelitian pada periode 1974 hingga 1991 dapat dikategorikan sebagai fase fondasi teori, yang meletakkan dasar pemikiran mengenai hubungan antara bentuk kota, penggunaan lahan, dan mobilitas masyarakat. Zahavi (1974–1976) menyatakan bahwa struktur bentuk kota sangat memengaruhi pola mobilitas penduduk. Selanjutnya, Puskarév dan Zupan (1977) menekankan pentingnya kepadatan penduduk dalam mendorong penggunaan angkutan umum, sementara Black (1979) menyoroti aksesibilitas tata guna lahan sebagai elemen kunci dalam keterhubungan dengan sistem transportasi. Pemikiran ini diperkuat oleh Newman dan Kenworthy (1991) yang menunjukkan bahwa kepadatan kawasan sangat berpengaruh terhadap tingkat konsumsi energi, sekaligus mengaitkan efisiensi transportasi dengan perencanaan ruang kota yang kompak.

Memasuki periode 1991 hingga 2000, penelitian berkembang ke arah konseptualisasi, terutama dengan munculnya kerangka TOD di Amerika Serikat. Caltrope (1994) memperkenalkan konsep TOD yang menekankan kepadatan sekitar stasiun, penggunaan lahan campuran, dan kenyamanan pejalan kaki sebagai strategi mobilitas berkelanjutan. Konsep ini kemudian dikembangkan lebih lanjut oleh Cervero dan Kockelman (1997) yang mengusulkan pendekatan kuantitatif melalui pengukuran hubungan antara kepadatan (*density*), keberagaman guna lahan (*diversity*), dan desain kawasan (*design*) dengan permintaan perjalanan. Bertolini (1999) melengkapi kerangka ini dengan model Node–Place, yang menjelaskan pentingnya keseimbangan antara peran jaringan transportasi (*node*) dan kualitas lingkungan sekitar stasiun (*place*) dalam menunjang fungsi kawasan.

Pada dekade berikutnya (2000–2010), fokus penelitian bergeser pada pengembangan pendekatan empiris. Cervero (2002) mengkaji dampak nyata dari faktor 3D terhadap pilihan moda transportasi. Penelitian ini dilanjutkan oleh Lund, Cervero, dan Wilson (2004) yang mengevaluasi karakteristik perjalanan masyarakat yang tinggal di

kawasan TOD di California. Pada tahun 2009, Cervero dan Murakami memperluas pendekatan ini dengan menambahkan dua variabel penting, yaitu jarak ke jaringan transportasi publik (*distance to transit*) dan aksesibilitas destinasi (*destination accessibility*), yang memungkinkan analisis yang lebih komprehensif terhadap preferensi dan kebutuhan mobilitas masyarakat urban.

Selanjutnya, pada periode 2011 hingga 2020, muncul pendekatan yang menekankan pada subjektivitas tipologi kawasan. Zemp et al. (2011), Kamruzzaman (2014), dan Vale (2015) mengembangkan klasifikasi kawasan stasiun berbasis metode klastering dan model logit untuk menilai kesiapan kawasan terhadap prinsip TOD. Singh (2016) kemudian memvalidasi hasil klasifikasi tersebut dengan mengaitkannya pada indikator riil seperti jumlah pengguna angkutan umum (*ridership*), tingkat kepemilikan kendaraan pribadi, dan biaya perjalanan, yang memberikan gambaran lebih konkret mengenai efektivitas implementasi TOD dalam konteks lokal.

Terakhir, sejak tahun 2020 hingga saat ini, fokus penelitian bergerak ke arah integrasi tipologi dan perilaku perjalanan. Kumar (2020; 2023) memimpin pengembangan pendekatan baru dengan menggabungkan indikator spasial, karakteristik perilaku perjalanan, serta dimensi sosial seperti gender dalam membentuk tipologi lingkungan TOD. Sementara itu, Cao et al. (2020) mengeksplorasi hubungan antara node, place, dan ridership di Tokyo, yang semakin memperkuat relevansi model integratif dalam konteks kota besar Asia. Penelitian-penelitian terkini juga menunjukkan arah yang lebih kompleks dan kontekstual dalam mengidentifikasi pola perjalanan berdasarkan klasifikasi kawasan stasiun, termasuk dalam konteks Indonesia, yang menghadapi tantangan urbanisasi dan ketimpangan mobilitas.

2.9 Kerangka Pikir Karakteristik Pola Perjalanan Berdasarkan Tipologi

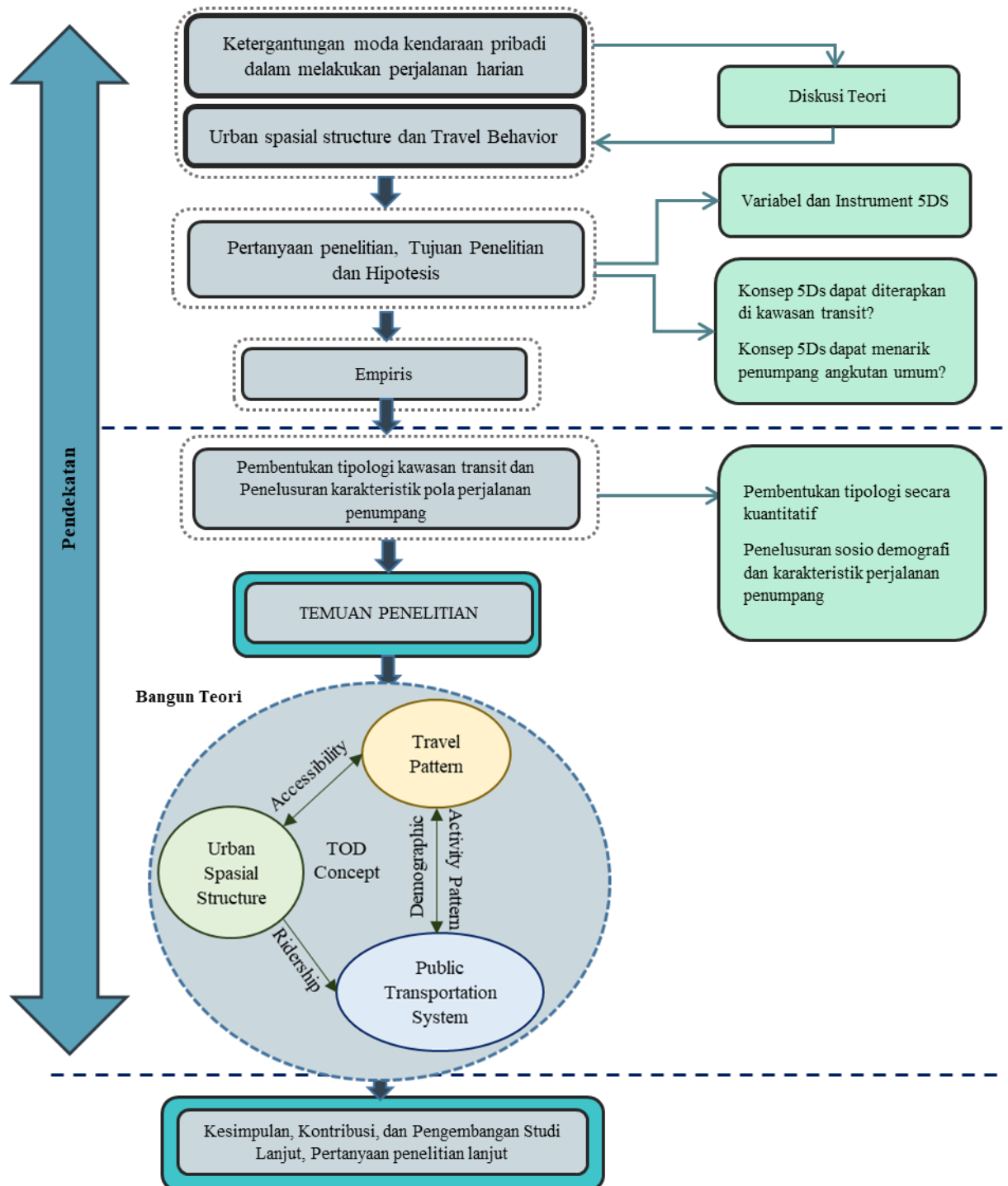
Kerangka pikir dalam penelitian ini disusun untuk menjelaskan alur konseptual dan metodologis yang bertujuan mengkaji keterkaitan antara tipologi kawasan simpul transit dan karakteristik permintaan perjalanan penumpang. Kerangka ini dibangun melalui pendekatan integratif *Urban Spasial Structure, Travel Pattern dan System Public Transit*, yang menekankan pentingnya keseimbangan antara struktur spasial perkotaan, pola perjalanan penumpang dan jumlah penumpang sebagai bagian dari sistem publik transit sebagai prinsip utama dalam perencanaan kawasan berbasis transit. Permasalahan utama yang melatarbelakangi penelitian ini adalah tingginya ketergantungan masyarakat

terhadap kendaraan bermotor pribadi untuk mobilitas harian, yang menjadi tantangan serius dalam mewujudkan sistem transportasi perkotaan yang berkelanjutan.

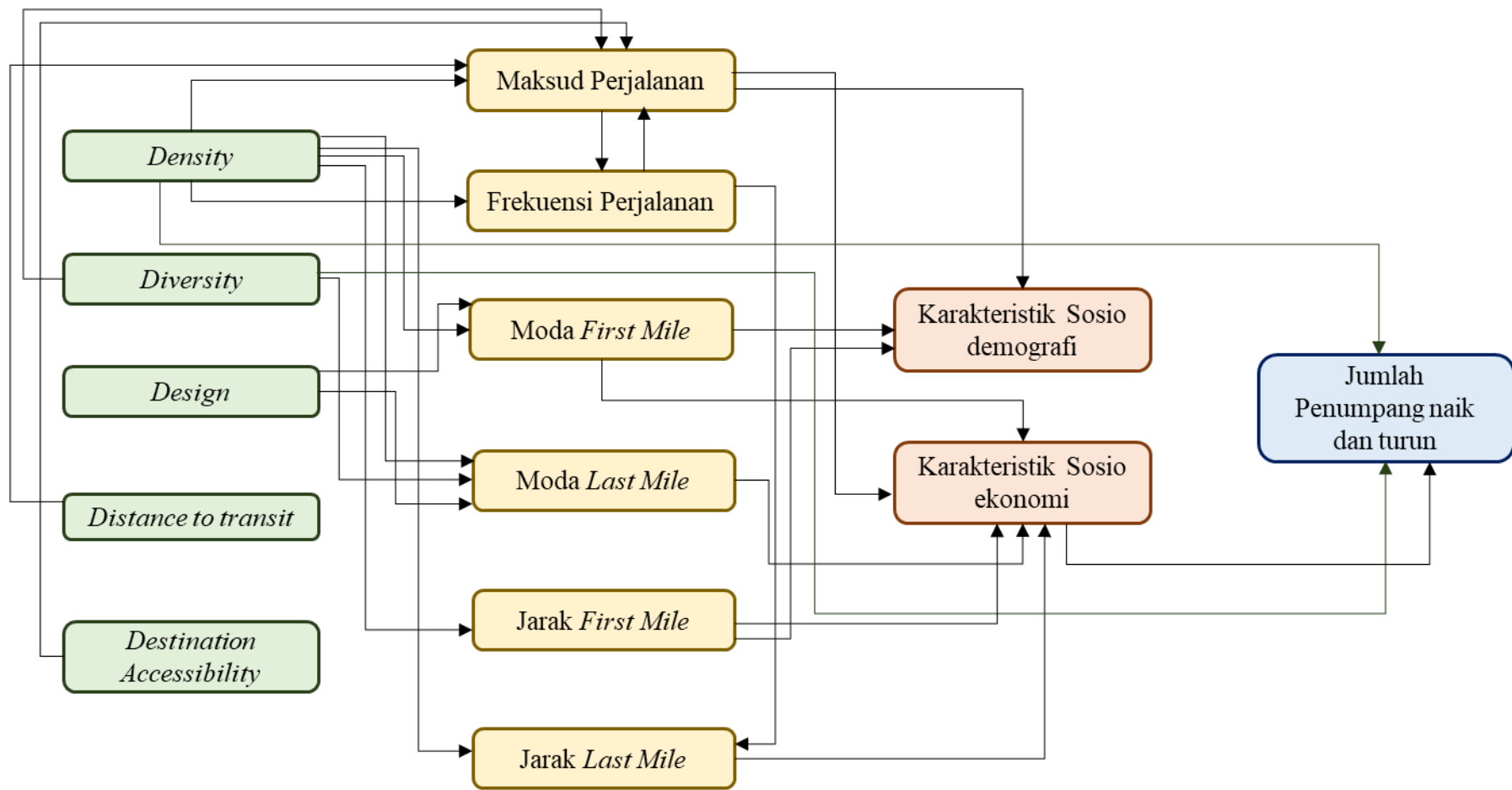
Untuk menjawab permasalahan tersebut, penelitian ini merujuk pada teori *Transit-Oriented Development* (TOD) yang dikemukakan oleh Peter Calthorpe (1993). Teori ini menekankan pentingnya integrasi antara tata guna lahan campuran, konektivitas sistem transportasi umum, serta lingkungan yang mendukung mobilitas non-motor seperti berjalan kaki dan bersepeda. Berdasarkan teori tersebut, penelitian ini merumuskan pertanyaan dan hipotesis penelitian yang berfokus pada keterkaitan penerapan prinsip-prinsip 5Ds (*density, diversity, design, destination accessibility, dan distance to transit*) terhadap pola perjalanan dan preferensi moda masyarakat di kawasan simpul transit. Konsep 5Ds digunakan sebagai kerangka variabel yang merepresentasikan kualitas lingkungan binaan dalam mendukung efisiensi sistem angkutan umum.

Penelitian ini mengajukan dua pertanyaan utama: (1) sejauh mana prinsip 5Ds diterapkan dalam pengembangan kawasan simpul transit, dan (2) apakah penerapan prinsip tersebut berkontribusi dalam menarik minat masyarakat untuk menggunakan transportasi umum. Untuk menjawab pertanyaan tersebut, penelitian ini menggunakan pendekatan empiris yang terdiri atas dua langkah utama. Langkah pertama adalah pembentukan tipologi kawasan simpul transit melalui analisis karakteristik spasial dan morfologis kawasan dalam radius tertentu dari stasiun kereta komuter. Proses ini menggunakan metode statistik eksploratif, seperti *Principal Component Analysis* (PCA) dan *K-Means Clustering*, guna mengidentifikasi klasifikasi kawasan berdasarkan kesamaan atribut lingkungan binaan secara kuantitatif. Hasil tipologi ini menjadi dasar untuk menganalisis hubungan antara bentuk kawasan dan perilaku perjalanan masyarakat dari sisi sosiodemografi. Langkah kedua adalah analisis terhadap karakteristik permintaan perjalanan berdasarkan data survei penumpang. Fokus utama terletak pada keterkaitan antara tipologi kawasan dengan atribut sosiodemografi (jenis kelamin, usia, pendapatan, pekerjaan, dan kepemilikan kendaraan), pola perjalanan harian, serta karakteristik *first-mile* dan *last-mile* (FM/LM). Analisis ini diawali dengan tabulasi silang (crosstab) untuk mengamati keterkaitan awal antarvariabel, kemudian dilanjutkan dengan analisis korelasi parsial guna mengidentifikasi kekuatan hubungan setelah mengendalikan variabel perancu. Hasil akhir dari kerangka pikir ini adalah pemetaan karakteristik kawasan ke

dalam tipologi tertentu dan pengelompokan karakteristik penumpang berdasarkan dimensi sosiodemografi dan pola perjalanan FM/LM.



Gambar 2.4 Pola Pikir Penelitian



Gambar 2.5 Konseptual Framework

Gambar 2.5 merepresentasikan logika konseptual yang menghubungkan faktor-faktor individu dan spasial dalam menjelaskan variasi mobilitas penumpang di kawasan transit. Kerangka ini tidak hanya bersifat deskriptif, tetapi juga analitik karena memungkinkan pengujian hubungan kausal antara variabel-variabel kunci, sehingga relevan sebagai dasar penyusunan hipotesis dan pendekatan analisis dalam penelitian disertasi. Kerangka ini dimulai dari karakteristik sosiodemografi dan sosioekonomi penumpang, yang memengaruhi karakteristik perilaku perjalanan. Dalam hal ini, maksud perjalanan dan frekuensinya menjadi dua indikator utama yang menunjukkan intensitas serta motif mobilitas harian. Karakteristik ini kemudian berkembang lebih lanjut menjadi karakteristik perjalanan *first-mile* dan *last-mile*, yang terdiri atas moda yang digunakan serta jarak tempuh dari dan menuju stasiun. Aspek ini penting karena menentukan sejauh mana kemudahan akses memengaruhi pilihan menggunakan angkutan umum berbasis rel.

Selanjutnya, semua atribut tersebut membentuk pola perjalanan penumpang kawasan transit, yang merupakan hasil interaksi antara faktor individu (internal) dan kondisi kawasan (eksternal). Pada tahap ini, kerangka memasukkan elemen spasial berupa tipologi kawasan transit, yang dikonstruksikan dari indikator-indikator utama dalam pendekatan TOD, yaitu *Distance to Transit*, *Destination Accessibility*, *Density*, *Design*, dan *Diversity*. Kelima indikator ini mencerminkan tingkat keterjangkauan, intensitas aktivitas, serta kemudahan navigasi kawasan yang menjadi penentu utama dalam penciptaan lingkungan yang mendukung penggunaan angkutan umum.

Tipologi kawasan tersebut kemudian turut memengaruhi pola perjalanan, baik secara langsung maupun melalui interaksinya dengan karakteristik perjalanan *first-mile–last-mile*. Pada akhirnya, seluruh rangkaian hubungan ini bermuara pada jumlah penumpang naik dan turun di stasiun, yang menjadi indikator kuantitatif utama untuk mengukur tingkat efektivitas integrasi kawasan dan sistem transportasi publik.