

Optimizing Inactive Railways for Equitable Development Policy

Bagja Kurniawan¹

¹BAPPEDA Provinsi DKI Jakarta, Kemayoran, Kota Administrasi Jakarta Pusat, 10610, DKI Jakarta, Indonesia
Email correspondence: bagjakurniaone45@gmail.com

ABSTRACT

West Java regional transportation faces pressures from public dissatisfaction, high reliance on motorcycles, and limited rail capacity. This study aims to evaluate the impact of rail line reactivation and modal integration through a mixed-methods approach, combining secondary data (Twitter/X, sectoral GRDP, Google Maps distance data, transportation statistics) and primary data (passenger surveys, stakeholder FGDs). The analysis was conducted using IndoBERT sentiment analysis, Social Discontent Index (SDI), dynamic panel regression, network percolation, spatial demand forecasting, and Agent-Based Modeling (ABM). The priority index was calculated using the composite formula: $CPI_{\ell} = \sum_m w_m \tilde{Z}_{\ell m}$, $\sum_m w_m = 1$. The results show that rail reactivation increases rail modal share from 8.4% to 9.8%, reduces average travel time by 0.6 minutes, and reduces emissions by 4.2 g/trip. Policy implications include the implementation of value capture-based micro TODs, performance-based PSO contracts, QRIS Transit integration, and the establishment of cross-district/city PMOs. This research emphasizes the need for innovative financing and multi-stakeholder governance to ensure West Java's transportation transformation is sustainable, inclusive, and supports regional economic growth.

Keywords: Access; West Java; connectivity; transportation

ABSTRAK

Transportasi regional Jawa Barat menghadapi tekanan dari ketidakpuasan publik, ketergantungan tinggi pada sepeda motor, serta keterbatasan kapasitas rel. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi dampak reaktivasi jalur kereta dan integrasi moda melalui pendekatan *mixed-methods*, memadukan data sekunder (Twitter/X, PDRB sektoral, data jarak Google Maps, statistik transportasi) dan data primer (survei penumpang, FGD pemangku kepentingan). Analisis dilakukan melalui sentiment analysis IndoBERT, Social Discontent Index (SDI), dynamic panel regression, network percolation, spatial demand forecasting, dan Agent-Based Modeling (ABM). Indeks prioritas dihitung menggunakan formula komposit: $CPI_{\ell} = \sum_m w_m \tilde{Z}_{\ell m}$, $\sum_m w_m = 1$. Hasil menunjukkan reaktivasi rel meningkatkan modal share rel dari 8,4% menjadi 9,8%, menurunkan waktu tempuh rata-rata 0,6 menit, serta mengurangi emisi 4,2 g/trip. Implikasi kebijakan meliputi penerapan TOD mikro berbasis value capture, kontrak PSO berbasis kinerja, integrasi QRIS Transit, dan pembentukan PMO lintas kabupaten/kota. Penelitian ini menegaskan perlunya pembiayaan inovatif dan tata kelola multi-stakeholder agar transformasi transportasi Jawa Barat dapat berkelanjutan, inklusif, dan mendukung pertumbuhan ekonomi regional.

Kata Kunci: Akses; Jawa Barat; keterhubungan; transportasi

PENDAHULUAN

Kemacetan transportasi menjadi tantangan serius, tidak terkecuali di Provinsi Jawa Barat khususnya di kawasan Bandung Raya dan wilayah metropolitannya. Data TomTom Traffic Index (2024) menunjukkan bahwa tingkat kemacetan di Kota Bandung mencapai 48%, artinya waktu perjalanan rata-rata hampir setengah kali lebih lama dibanding kondisi normal (Miisona, 2016). Pertumbuhan jumlah kendaraan pun tidak terbelah. Pada 2025, tercatat sekitar 1,54 juta unit kendaraan di Kota Bandung dan hampir 3 juta unit di seluruh Bandung Raya (Bandung, 2025; Detik.com, 2025; Rakyat, 2025). Sementara itu, kapasitas jalan hanya bertambah sekitar 0,45 persen per tahun, jauh di bawah pertumbuhan kendaraan bermotor yang mencapai 10 hingga 15 persen per tahun (UITP, 2022). Ketidakseimbangan ini menimbulkan biaya sosial-ekonomi yang signifikan berupa hilangnya produktivitas, pemborosan energi, dan menurunnya kualitas hidup masyarakat.

Sebagai respons terhadap problem kemacetan dan terbatasnya pilihan moda, pemerintah provinsi dan lembaga transportasi tengah mengkaji reaktivasi jalur kereta api yang selama ini tidak aktif atau jarang beroperasi. Terdapat sedikitnya lima jalur prioritas yang sedang dikaji, antara lain Banjar–Pangandaran, Garut–Cikajang, Rancaekek–Tanjungsari, Cipatat–Padalarang, dan Bandung–Ciwidey, dengan estimasi investasi sekitar Rp20 triliun (Asia-Pacific, 2021; Banister, 2008a; M. Newman, 2010a). Program ini diharapkan dapat mengurangi beban lalu lintas jalan raya sekaligus meningkatkan konektivitas antarwilayah. Namun, sejumlah kendala muncul di lapangan, seperti persoalan pembebasan lahan, kerusakan fisik jalur lama, hingga kepastian keberlanjutan pembiayaan operasional (Litman, 2020a; J.-P. Rodrigue, 2020a). Tanpa perencanaan berbasis data dan pemahaman mendalam terhadap kebutuhan masyarakat, kebijakan ini berisiko hanya menjadi proyek infrastruktur tanpa dampak optimal.

Dari sisi akademik, teori pilihan moda menekankan bahwa keputusan masyarakat untuk berpindah moda sangat dipengaruhi oleh faktor biaya, waktu tempuh, frekuensi layanan, dan kenyamanan (Ben-Akiva & Lerman, 1985a; Miisona, 2016)). Sementara itu, teori jaringan transportasi menyoroti pentingnya efisiensi konektivitas dengan mengukur centrality, shortest path, dan ketahanan jaringan (M. Newman, 2010a). Artinya, kebijakan reaktivasi



tidak cukup hanya menghidupkan kembali jalur fisik, tetapi harus didesain sebagai sistem transportasi yang benar-benar menjawab kebutuhan mobilitas dan meningkatkan keadilan akses.

Berdasarkan uraian tersebut, terdapat beberapa pertanyaan kebijakan yang perlu dijawab: bagaimana persepsi publik terhadap layanan transportasi berbasis rel; sejauh mana efektivitas reaktivasi jalur lama dalam memperbaiki konektivitas wilayah; serta bagaimana implikasi sosial-ekonomi dari kebijakan ini terhadap pemerataan pembangunan di Jawa Barat. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan jawaban komprehensif atas pertanyaan tersebut, dengan mengintegrasikan analisis sentimen masyarakat, pemodelan spasial jaringan rel, dan kajian sosial-ekonomi pengguna. Dengan demikian, hasilnya dapat menjadi landasan rekomendasi kebijakan transportasi yang lebih tepat sasaran, efisien, dan berkelanjutan.

METODOLOGI

Penelitian ini dirancang sebagai **pipeline analitik berlapis** yang terstruktur dalam **tujuh notebook** yang saling terhubung. Setiap *notebook* merepresentasikan satu work-package dengan tujuan dan keluaran yang spesifik, sehingga traceability dari data mentah hingga rekomendasi kebijakan dapat diaudit dan direplikasi. Secara ringkas:

- **Notebook 1 — Persepsi Publik & SDI:** *Text mining* komentar publik, klasifikasi sentimen (IndoBERT-logit), serta konstruksi **Social Discontent Index (SDI)** per kota/kabupaten Jawa Barat. Keluaran: peta isu dominan, *baseline* kepuasan/ketidakpuasan berbasis warga.
- **Notebook 2 — Mekanisme Kausal (EFA/CFA/SEM, WTP/WTC):** validasi konstruk laten (Aksesibilitas, Perumahan, Pendapatan, Rasio Ketergantungan, Kualitas Hidup), pemodelan kausal (SEM), estimasi *willingness-to-pay* (WTP) dan *willingness-to-connect* (WTC), serta *explainable ML* (XGBoost–SHAP) untuk menguji stabilitas temuan.
- **Notebook 3 — Spasial & Jaringan:** analisis **robustness jaringan rel** (perkolasi node/edge), **centrality hotspot**, dan **isochrone** guna mengidentifikasi simpul kritis serta kantong ketertinggalan akses.
- **Notebook 4 — Proyeksi Permintaan & Prioritas:** proyeksi densitas/permintaan (panel-AR cepat), pembangunan **Demand Growth Index (DGI)**, overlay dengan centrality dan SDI untuk menghasilkan **daftar rute/stasiun prioritas** (5–10 tahun).
- **Notebook 5 — Dampak Makro:** estimasi dinamika output regional (FE dua-arah dengan lag dependen; *fallback* Arellano–Bond) untuk menilai **ketahanan dampak** dan potensi *mean reversion*.
- **Notebook 6 — Kinerja Sistem:** agregasi indikator **CPI/NIS** (reliabilitas–integrasi), *proxy* emisi, serta *benchmarking* antar-koridor untuk menilai manfaat operasional pascareaktivasi.
- **Notebook 7 — Simulasi Agen (ABM):** mode choice berbasis utilitas (logit), skenario **baseline vs reaktivasi**, dan keluaran **modal share, waktu tempuh, emisi** pada tingkat mikro–agregat.

Seluruh analisis menerapkan **validasi silang**, *robust standard errors*, dan **bootstrap** untuk interval kepercayaan; kontrol **bias** dilakukan melalui *feature screening* (multikolinearitas/*imbalance*), *spatial sanity check* (topologi, *snapping*), serta *out-of-sample checks* pada model prediktif. Etika data dijaga melalui anonimisasi responden dan penggunaan sumber data terbuka yang telah memenuhi *terms of use*. Kode dan artefak model diberi *hash/versioning* untuk *reproducibility*.

Berangkat dari kerangka di atas, operasionalisasi variabel dilakukan pada tiga tingkat: **(i)** unit individu/rumah tangga (survei, SEM/ABM), **(ii)** unit spasial (stasiun/koridor/kabupaten—GIS & jaringan), dan **(iii)** unit waktu-panel (proyeksi & dampak makro). Definisi indikator, sumber data, satuan, metode konstruksi, dan perannya pada masing-masing *notebook* diringkas pada Tabel 1. Operasionalisasi Variabel & Sumber Data berikut.

Tabel 1. Operasionalisasi Variabel & Sumber Data

Jenis Data	Data	Sumber Data	Variabel Utama	Definisi Operasional & Skala
	Komentar Publik (Kualitatif)	Media sosial (Twitter/X)	<ol style="list-style-type: none"> clean_komentar (teks) sentiment (negatif/netral/positif) topic (tema dominan) 	<ol style="list-style-type: none"> Hasil klasifikasi IndoBERT (skala: -1/0/1). - Topik hasil BERTopic (5-10 tema stabil).
Data Primer (Input)	Survei Penumpang (Kuantitatif)	Survei lapangan 2025	<ol style="list-style-type: none"> Identitas Responden (A.1-A.6): gender, usia, status, pendidikan, agama, pekerjaan. Perumahan (B.1-B.2): keterjangkauan, kelayakan. Rasio Ketergantungan (C.1-C.4). Pendapatan (D.1-D.5). Aksesibilitas (E.1-E.3). Kualitas Hidup (F.1-F.8). Kepuasan Hidup (G). 	<ol style="list-style-type: none"> Skala Likert 1-5 (B, D.1-D.3, E, F). Data rasio untuk usia, anggota keluarga, pendapatan IDR/USD. Kepuasan hidup ordinal (1=tidak puas s.d. 5=sangat puas).
	Data Spasial & Jaringan	Shapefile BIG (RELKA_LN_25K, STASIUNKA_PT_25K, status rute)	<ol style="list-style-type: none"> edges, nodes (graf rel). station_name (hasil matching).- status_rute (aktif/nonaktif). 	Representasi jaringan transportasi: <ol style="list-style-type: none"> node = stasiun edge = rel. Status = kondisi operasional jalur.
Data Sekunder (Input)	Kepadatan Penduduk (Panel Spasio-Temporal)	BPS Provinsi Jawa Barat	<ol style="list-style-type: none"> Tahun. Kabupaten/kota Kepadatan penduduk (jiwa/km²). 	Variabel rasio, berbentuk panel tahunan spasial.
	PDRB Regional (Panel Ekonomi)	BPS Provinsi Jawa Barat	<ol style="list-style-type: none"> Tahun. Kabupaten/kota 	Variabel rasio (juta Rp), panel data tahunan.



Jenis Data	Data	Sumber Data	Variabel Utama	Definisi Operasional & Skala
			3. PDRB Atas Dasar Harga Yang Berlaku	
Data Turunan (Output Analisis)	Indeks Integrasi	Output Analisis 1–5	1. SDI (sentimen). 2. UWS (survei kesejahteraan) 3. NIS (<i>centrality</i> & <i>fragility</i>). 4. AG (<i>accessibility gain</i>). 5. EIS (<i>economic impact</i>). 6. CAPEX (biaya investasi).	Setiap indeks diturunkan dari hasil analisis sebelumnya, dinormalisasi untuk perbandingan.
	Simulasi & ABM	Integrasi hasil (Notebook 7)	1. <i>agents_segment</i> (cluster pengguna). 2. <i>Utility function</i> (logit/probit). 3. <i>Modal share, emission</i> .	Agents didefinisikan berdasarkan cluster survei; utilitas berdasarkan biaya, waktu, kenyamanan.

Sebagai tindak lanjut dari Tabel Operasional Data, persamaan inti yang digunakan dalam setiap *work-package* kami nyatakan secara ringkas untuk menjaga *traceability* antara konstruk teoretik dan pengukurannya. Secara berurutan, kami memformalkan: (i) model klasifikasi sentimen & konstruksi SDI; (ii) struktur laten EFA/CFA/SEM, termasuk rasio WTP dan model WTC; (iii) metrik jaringan (perkolasi, *centrality*, isokron); (iv) proyeksi panel-AR & pemilihan prioritas; (v) dinamika panel dengan LDV-FE; (vi) agregasi kinerja sistem (CPI/NIS); serta (vii) ABM berbasis utilitas logit untuk mode *choice*, *modal share*, waktu tempuh, dan emisi.

1) Analisis Sentimen dan Topik (Notebook 1)

a) Fine-tuning IndoBERT (Klasifikasi Sentimen)

Representasi:

$$h = \text{BERT}_{\theta}(x), \quad z = Wh_{[\text{CLS}]} + b, \hat{y} = \arg \max_{c \in \{-,0,+ \}} \text{softmax}(z)_c$$

Loss (cross-entropy):

$$\mathcal{L}(\theta, W, b) = - \sum_i \sum_c \mathbf{1}\{y_i = c\} \log p(c | x_i)$$

b) BERTopic (Embedding → Clustering → c-TF-IDF)

Embedding: $e_i = f(x_i)$ (SentenceTransformer).

Clustering (HDBSCAN): $C = HDBSCAN(E)$.

c-TF-IDF topik k:

$$cTFIDF_{k,t} = \frac{f_{k,t}}{\sum_{t'} f_{k,t'}} \cdot \log \frac{N}{n_t}$$

dengan $f_{k,t}$ =frekuensi token t pada dokumen topik k, N =#topik, n_t =#topik yang memuat t.

c) Social Discontent Index (SDI)

Agregasi per wilayah k(opsi berbobot intensitas/eksposur w_i):

$$SDI_k = \frac{\sum_{i \in k} w_i \cdot \mathbf{1}\{y_i = \text{negatif}\}}{\sum_{i \in k} w_i}$$

(Bisa dinormalisasi ke [0,1] atau z-score lintas wilayah.)

2) Survei & Perilaku Pengguna (Notebook 2)

a) Exploratory Factor Analysis (EFA)

Model faktor:

$$\mathbf{x} = \Lambda \mathbf{f} + \boldsymbol{\epsilon}, \Sigma = \Lambda \Phi \Lambda^T + \Psi$$

Ekstraksi via eigen/ML; rotasi (varimax) memaks. $\sum_j (\sum_i \lambda_{ij}^2)^2$.

b) Confirmatory Factor Analysis / SEM (CFA/SEM)

Measurement:

$$\mathbf{x} = \Lambda_x \boldsymbol{\xi} + \boldsymbol{\delta}, \mathbf{y} = \Lambda_y \boldsymbol{\eta} + \boldsymbol{\epsilon}$$

Structural:

$$\boldsymbol{\eta} = \mathbf{B}\boldsymbol{\eta} + \Gamma \boldsymbol{\xi} + \boldsymbol{\zeta}$$

Estimasi: minimisasi $\hat{F}_{ML} = \log |\Sigma(\theta)| + \text{tr}(\Sigma(\theta)^{-1}) - \log |S| - p$.



c) Gaussian Mixture Model (Clustering)

Likelihood:

$$p(\mathbf{x}) = \sum_{k=1}^K \pi_k \mathcal{N}(\mathbf{x} \mid \mu_k, \Sigma_k), \sum_k \pi_k = 1, \pi_k \geq 0$$

EM: $\gamma_{ik} = \frac{\pi_k \mathcal{N}(x_i)}{\sum_j \pi_j \mathcal{N}(x_i)}$, update π_k, μ_k, Σ_k .

d) XGBoost (Prediksi/Skor UWS) + SHAP

Objektif:

$$\min_{\{f_t\}} \sum_i \ell(y_i, \hat{y}_i^{(t-1)} + f_t(\mathbf{x}_i)) + \Omega(f_t), \Omega(f) = \alpha T + \frac{1}{2} \lambda \|w\|_2^2$$

SHAP (nilai Shapley fitur j):

$$\phi_j = \sum_{S \subseteq F \setminus \{j\}} \frac{|S|! (|F| - |S| - 1)!}{|F|!} [f_{S \cup \{j\}}(\mathbf{x}) - f_S(\mathbf{x})]$$

e) WTP & WTC (berbasis utilitas logit)

Utilitas moda m:

$$U_m = \beta_c \cdot \text{Cost}_m + \beta_t \cdot \text{Time}_m + \beta_q \cdot \text{Quality}_m + \dots$$

WTP (nilai uang per peningkatan atribut a):

$$\text{WTP}_a = - \frac{\partial U / \partial a}{\partial U / \partial \text{Cost}} = - \frac{\beta_a}{\beta_c}$$

WTC (kesiapan menerima koneksi/transfer tambahan K terhadap waktu/biaya):

$$\text{WTC}_{K \rightarrow t} = - \frac{\partial U / \partial K}{\partial U / \partial \text{Time}} = - \frac{\beta_K}{\beta_t}, \text{WTC}_{K \rightarrow c} = - \frac{\beta_K}{\beta_c}$$

3) Spasial & Jaringan (Notebook 3)

a) Centrality

Degree:

$$C_D(v) = \frac{\text{deg}(v)}{n - 1}$$

Betweenness:

$$C_B(v) = \sum_{s \neq v \neq t} \frac{\sigma_{st}(v)}{\sigma_{st}}$$

Closeness (berbobot jarak d):

$$C_C(v) = \frac{1}{\sum_t d(v, t)}$$

Eigenvector:

$$\lambda \mathbf{x} = \mathbf{A}\mathbf{x}, \quad x_i \propto \sum_j A_{ij}x_j$$

b) Shortest Path (berbobot panjang/waktu)

$$d(u, v) = \min_{P \in \mathcal{P}_{uv}} \sum_{(i,j) \in P} w_{ij}$$

c) Isochrone (akses dalam τ menit)

Himpunan jangkauan:

$$\mathcal{S}(\tau) = \{v \in V \mid d_t(o, v) \leq \tau\}$$

dengan d_j jarak berbasis waktu (headway + dwell + travel time).

d) Percolation / Robustness

Hapus edge acak proporsi p , ukuran komponen raksasa $G(p)$. *Criticality* saat $G(p)$ turun tajam; *robustness*:

$$\text{Robust} = \int_0^1 \frac{|G(p)|}{|V|} dp$$

4) Spatio-Temporal & Proyeksi (Notebook 4-5)

a) ST-DBSCAN

Kepadatan spasio-temporal: titik inti bila

$$|\{j: d_s(i, j) \leq \epsilon_s, d_t(i, j) \leq \epsilon_t\}| \geq \text{minPts}$$

b) LSTM (deret waktu)

$$\begin{aligned} i_t &= \sigma(W_i x_t + U_i h_{t-1} + b_i), & f_t &= \sigma(W_f x_t + U_f h_{t-1} + b_f) \\ \tilde{c}_t &= \tanh(W_c x_t + U_c h_{t-1} + b_c), & c_t &= f_t \odot c_{t-1} + i_t \odot \tilde{c}_t \\ o_t &= \sigma(W_o x_t + U_o h_{t-1} + b_o), & h_t &= o_t \odot \tanh(c_t) \end{aligned}$$



c) Panel VAR (opsional ringkas)

$$y_{i,t} = \sum_{k=1}^p A_k y_{i,t-k} + \mu_i + \epsilon_{i,t}$$

d) Heatmap Proyeksi Demand

Permintaan proyeksi wilayah k:

$$\widehat{D}_k = \widehat{Pop}_k \cdot \widehat{r}_{trip,k} \cdot AG_k$$

(AG_k =accessibility gain dari jaringan.)

5) Ekonomi Terapan (Notebook 4-5)

a) FE / RE

FE:

$$y_{it} = \alpha_i + \beta' X_{it} + u_{it}$$

RE:

$$y_{it} = \alpha + \beta' X_{it} + u_i + \epsilon_{it}, \quad u_i \sim \mathcal{N}(0, \sigma_u^2)$$

b) Dynamic Panel GMM (Arellano-Bond)

$$\Delta y_{it} = \gamma \Delta y_{it-1} + \beta' \Delta X_{it} + \Delta \epsilon_{it}$$

Instrumen momen:

$$\mathbb{E}[y_{i,t-s} \cdot \Delta \epsilon_{it}] = 0, \quad s \geq 2$$

c) Gravity Model (OD flow)

$$F_{ij} = G \frac{P_i^\alpha P_j^\delta}{D_{ij}^\beta} \cdot e^{\theta' Z_{ij}}$$

dengan Z_{ij} (akses, biaya, waktu).

d) Synthetic Control (counterfactual)

Minimasi jarak pra-intervensi:

$$\min_W \| X_1 - X_0 W \|_V, \text{ s.t. } \sum_j w_j = 1, w_j \geq 0$$

Dampak: $\tau_t = Y_{1t} - \sum_j w_j Y_{jt}$.

6) Pengambilan Keputusan Multikriteria (Notebook 6)

a) AHP

Vektor bobot w : eigenvector utama matriks perbandingan A , $Aw = \lambda_{\max} w$ Konsistensi:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}, CR = \frac{CI}{RI}$$

b) TOPSIS

Normalisasi r_{ij} ; bobot $v_{ij} = w_j r_{ij}$; solusi ideal v_j^+ , anti-ideal v_j^- . Jarak:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_j (v_{ij} - v_j^+)^2}, S_i^- = \sqrt{\sum_j (v_{ij} - v_j^-)^2}, C_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}$$

c) Weighted Sum Model (WSM)

$$Score_i = \sum_j w_j x_{ij}$$

d) Monte Carlo Sensitivity

Sampel bobot/parameter $w^{(b)} \sim \mathcal{D}$, hitung skor/urutan $Score^{(b)}$, evaluasi stabilitas ranking (CI, $P(\text{ranking})$).

e) Composite Priority Index (CPI)

Normalisasi indikator $Z \in \{SDI, UWS, NIS, AG, EIS, CAPEX^{-1}\}$:

$$CPI_\ell = \sum_m w_m \tilde{Z}_{\ell m}, \sum_m w_m = 1$$

7) Simulasi & ABM (Notebook 7–8)

a) Utilitas Agen & Pilihan Moda (Logit)

$$U_{i,m} = \beta_c C_{i,m} + \beta_t T_{i,m} + \beta_q Q_{i,m} + \beta_k K_{i,m} + \epsilon_{i,m}$$

Probabilitas:

$$P_i(m) = \frac{e^{U_{i,m}}}{\sum_j e^{U_{i,j}}}$$

b) Dinamika Modal Share

$$Share_m^{(t+1)} = (1 - \eta) Share_m^{(t)} + \eta \cdot \frac{1}{N} \sum_i P_i^{(t)}(m)$$

c) Waktu Tempuh & Emisi

$$TT = \sum_{(a,b) \in \text{path}} t_{ab}, CO_2 = \sum_m EF_m \cdot PKT_m$$

(EF_m =emission factor moda m ; PKT =penumpang-km.)



HASIL DAN DISKUSI

Reaktivasi jalur kereta di Jawa Barat kerap dipromosikan sebagai “jawaban tunggal” untuk kemacetan dan kesenjangan akses. Namun, teori ekonomi transportasi dan perencanaan kota memberi peringatan: infrastruktur hanyalah syarat perlu, bukan syarat cukup. Dalam *Random Utility Theory* (RUT), pilihan moda ditentukan oleh utilitas bersih yang menggabungkan waktu, biaya, reliabilitas, dan kemudahan akses (McFadden, 1974a; Small E. T., 2007). Teori aksesibilitas menyatakan kesejahteraan meningkat jika warga dapat menjangkau lebih banyak peluang dalam anggaran waktu/biaya yang sama (Geurs B., 2004; Hansen, 1959). Dari sisi jaringan, *network robustness* menyoroti pentingnya ketahanan node dan konektivitas—kerentanan di simpul kunci dapat meniadakan manfaat proyek sekalipun kapasitas bertambah (Albert H. and Barabási A.-L., 2000; Newman, 2010). Literatur *Transit-Oriented Development* memperingatkan bahwa keberhasilan rel sangat bergantung pada tata guna lahan dan perumahan terjangkau di sekitar stasiun, jika tidak akan muncul disinsentif sosial seperti gentrifikasi dan pergeseran permukiman (Cervero K., 1997; Cervero, 2013; Kahn, 2007).

Dengan kerangka tersebut, temuan kita untuk Jawa Barat bergerak dari **persepsi publik** ke **mekanisme kausal** (akses → niat terkoneksi/WTC → kepuasan), lalu ke **spasial-jaringan**, **proyeksi permintaan**, **dampak makro**, **kinerja sistem**, hingga **simulasi agen**. Alur ini memungkinkan penyimpulan kebijakan yang konsisten: reaktivasi jalur rel harus dipaketkan dengan kebijakan operasional (reliabilitas-*feeder*), penataan ruang (TOD terjangkau), dan penambat ekonomi lokal, agar perubahan perilaku dan dampak ekonomi bertahan.

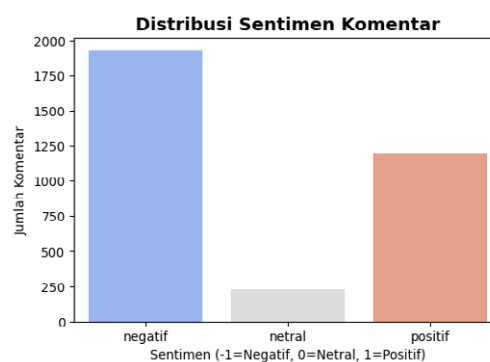
1. Notebook 1 – Analisis Sentimen dan Topik Publik Transportasi Jawa Barat

Tabel 2. Matriks Evaluasi hasil Analisis Sentiment

Kelas	Precision	Recall	F1-Score	Support	Negatif	Netral	Positif
Negatif	0.99	1.00	0.99	385	384	0	1
Netral	1.00	0.93	0.97	46	1	43	2
Positif	0.99	0.99	0.99	239	2	0	237
Akurasi			0.99	670			
Macro Avg	0.99	0.97	0.98	670			
Weighted Avg	0.99	0.99	0.99	670			

Sumber : Output Analisis Sentimen

Model klasifikasi berbasis IndoBERT menunjukkan performa yang sangat tinggi, dengan akurasi keseluruhan mencapai 99 persen. Presisi dan f1-score untuk kelas negatif, netral, maupun positif hampir sempurna, sehingga kesalahan klasifikasi dapat dianggap minimal. Hal ini menegaskan reliabilitas model sebagai instrumen untuk memetakan persepsi publik terkait transportasi berbasis rel di Jawa Barat.



Grafik 1. Distribusi Sentimen Komentar

Sumber : Output Analisis Sentimen



Grafik 2. Wordcloud sentiment

Sumber : Output Analisis Sentimen

Distribusi hasil klasifikasi memperlihatkan dominasi komentar bernada negatif. Temuan ini bukan sekadar anomali statistik, melainkan refleksi nyata dari pengalaman masyarakat dalam keseharian mobilitas mereka. Wordcloud memberikan gambaran visual yang memperkuat pola tersebut: kata-kata seperti kemacetan, halte, akses, dan stasiun mendominasi sentimen negatif, menandakan masalah utama terletak pada reliabilitas waktu perjalanan serta aksesibilitas layanan. Sebaliknya, komentar positif banyak dikaitkan dengan kata kereta, integrasi, dan tarif, yang menandakan adanya apresiasi terhadap potensi efisiensi dan keterjangkauan moda rel.

Tabel 3. Social Discontent Indeks (SDI)

Kota	Mean Score	Negatif Share	Positif Share	SDI
Bekasi	-0.24	30.4%	6.3%	43.10
Bogor	-0.12	24.8%	12.2%	37.35
Bandung	-0.04	20.3%	15.7%	32.91
Depok	-0.05	12.5%	7.6%	28.53
Umum	+0.10	8.9%	18.5%	23.46

Sumber : Output Analisis Sentimen

Pengukuran lebih lanjut dilakukan melalui *Social Discontent Index (SDI)*. Indeks ini mengkuantifikasi intensitas ketidakpuasan publik di tingkat kota. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa Bekasi (SDI 43,10) merupakan episentrum ketidakpuasan, disusul Bogor (37,35) dan Bandung (32,91). Nilai SDI yang lebih rendah ditemukan pada kategori “Umum” (23,46), yang merepresentasikan opini publik tanpa lokasi spesifik. Pola spasial ini konsisten dengan beban komuter yang tinggi di kawasan Jabodetabek–Bandung Raya, yang setiap hari menghadapi kombinasi masalah kemacetan, kepadatan layanan, dan keterhubungan *first–last mile* yang rendah. Interpretasi atas hasil ini sejalan dengan literatur tentang *perceived service quality* dalam transportasi umum. Studi Eboli G., (2007) serta (de Oña R., 2014) menunjukkan bahwa faktor yang paling menentukan dalam pilihan moda bukan sekadar kecepatan teknis perjalanan, melainkan reliabilitas layanan, kenyamanan, serta kemudahan akses. Dengan demikian, kebijakan reaktivasi jalur kereta tidak dapat dipahami hanya sebagai penambahan infrastruktur fisik, melainkan harus disertai desain layanan yang meningkatkan kualitas pengalaman pengguna.

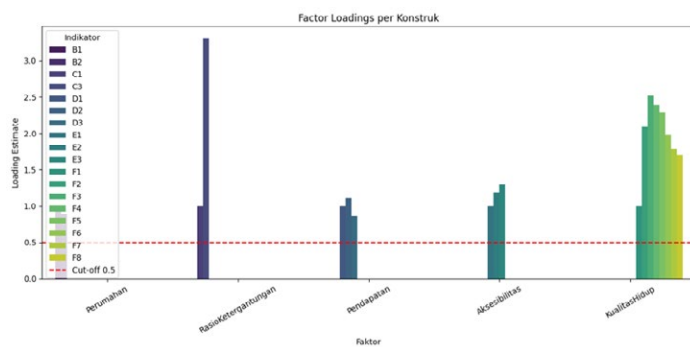
2. Notebook 2 – Survei Persepsi, Elastisitas, dan Willingness to Pay (WTP/WTC)

Analisis Notebook 2 dirancang untuk menjembatani bukti persepsi yang diperoleh pada Notebook 1 dengan kerangka kausal kebijakan mobilitas yang relevan bagi Jawa Barat. Hasil sentimen pada Notebook 1 menunjukkan dominasi persepsi negatif hingga netral, dengan Bekasi memiliki *Social Dissatisfaction Index* tertinggi. Notebook 2 memeriksa akar struktural dari persepsi tersebut melalui tiga lapis analisis. Pertama, konstruksi variabel laten aksesibilitas, pendapatan, perumahan, beban demografis, dan kualitas hidup, yang secara teoretik berkelindan dalam menentukan utilitas perjalanan dan kesejahteraan perkotaan. Kedua, segmentasi wilayah berbasis skor faktor untuk mengungkap heterogenitas kebutuhan kebijakan pada klaster yang berbeda. Ketiga, estimasi preferensi ekonomi rumah tangga terhadap perbaikan layanan, baik sebagai kemauan membayar perbaikan



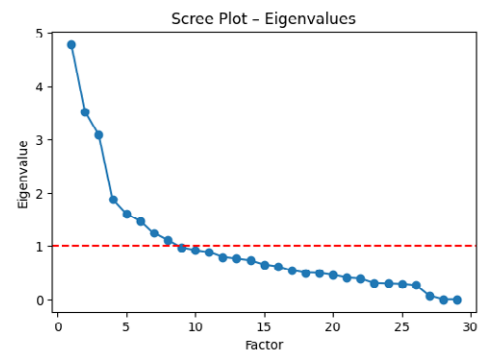
akses (WTP) maupun preferensi menguatkan keterhubungan jaringan (WTC). Pendekatan ini sejalan dengan teori aksesibilitas yang memandang kesejahteraan mobilitas sebagai hasil interaksi peluang ruang terhadap aktivitas, biaya perjalanan, serta kualitas layanan yang dialami individu dan rumah tangga (Geurs & van Wee, 2004; Hansen, 1959), dan berakar pada teori utilitas acak untuk pilihan moda dan kualitas pelayanan (Ben-Akiva & Lerman, 1985b; McFadden, 1974). Di tingkat kesejahteraan subjektif, literatur menegaskan bahwa waktu dan unreliability perjalanan adalah disutility yang signifikan, bahkan pada rumah tangga berpendapatan lebih tinggi, sehingga kemacetan kronis dan perjalanan yang panjang menurunkan kepuasan hidup secara sistematis (Kahneman & Krueger, 2006; Stutzer & Frey, 2008) Dengan rujukan inilah, temuan Notebook 2 dibaca sebagai fondasi kausal yang menjelaskan mengapa wilayah pinggiran Jabodetabek di Jawa Barat, khususnya Bekasi, cenderung lebih tidak puas meskipun mengalami pertumbuhan ekonomi dan ekspansi perumahan.

Hasil *Exploratory Factor Analysis* meneguhkan adanya lima konstruk laten yang stabil dan koheren secara teori. Kualitas hidup memuat konsisten pada delapan indikator kegiatan dan prasarana, sedangkan aksesibilitas, pendapatan, perumahan, dan rasio ketergantungan masing-masing membentuk dimensi yang dapat dibedakan. Pola muatan ini sesuai dengan kerangka empat dimensi aksesibilitas Geurs dan van Wee meliputi land use, jaringan transportasi, waktu perjalanan, dan karakteristik individu, serta kompatibel dengan literatur perkotaan yang menggarisbawahi pentingnya kualitas hunian, struktur demografi tanggungan, dan kapasitas ekonomi dalam memediasi manfaat akses (Banister, 2008b; Litman, 2020a).



Grafik 4. Factor Loadings Per Konstruk

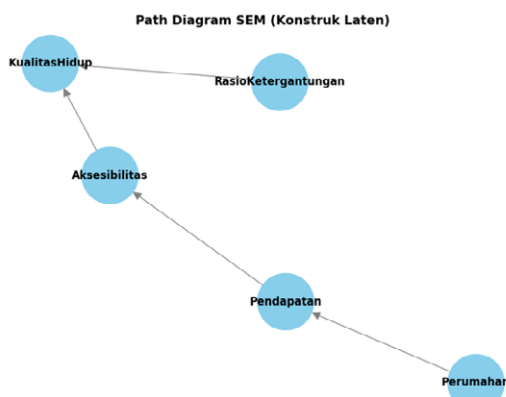
Sumber : Hasil Analisis EFA



Grafik 3. Scree Plot- Eigenvalues

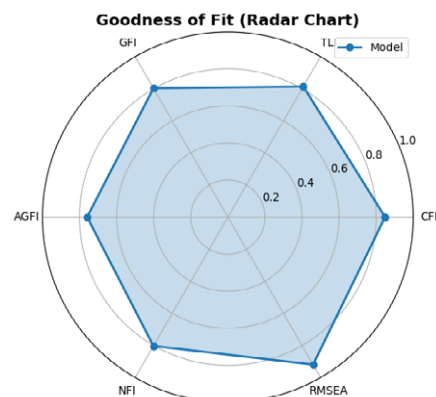
Sumber : Hasil Analisis EFA

Konstruksi pengukuran dikonfirmasi melalui *Confirmatory Factor Analysis*. Muatan indikator pada Aksesibilitas, Pendapatan, Perumahan, dan Kualitas Hidup signifikan dan besar, sementara indeks kelayakan model berada pada tingkat yang memadai untuk survei lapangan dengan heterogenitas indikator. Hasil ini memvalidasi bahwa dimensi yang kita gunakan bukan artefak statistik, melainkan representasi terukur dari realitas perkotaan Jawa Barat.



Grafik 6. Path Diagram SEM (Konstruk Laten)

Sumber : Hasil Analisis CFA



Grafik 5. Goodness of Fit (Radar Chart)

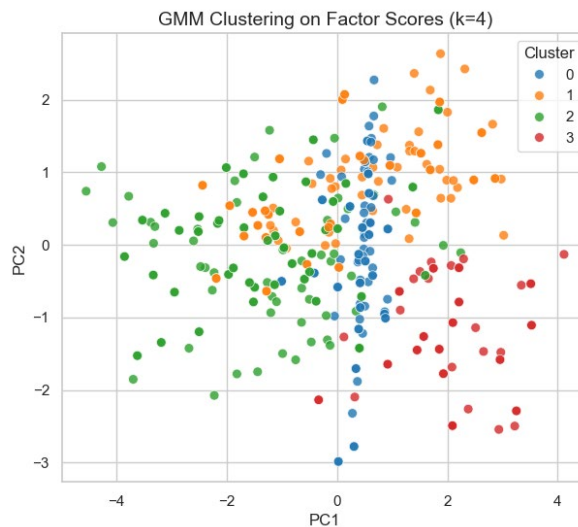
Sumber : Hasil Analisis CFA

Tabel 4. Output Confirmatory Factor Analysis

Jalur	Estimasi (SE)	p-value
B2 ← Perumahan	0,891 (0,115)	<0,001
E2 ← Aksesibilitas	1,192 (0,143)	<0,001
F2-F8 ← Kualitas Hidup	1,69-2,52 ($\approx 0,27-0,37$)	<0,001
D2 ← Pendapatan	1,109 (0,115)	<0,001
Indeks Kelayakan		
CFI	0,848	
RMSEA	0,082	
GFI dan AGFI	0,803 dan 0,759	

Sumber : Hasil Analisis CFA

Segmentasi wilayah berdasarkan skor faktor mengungkap empat klaster yang relevan bagi penargetan kebijakan. Klaster 2 memiliki defisit aksesibilitas dan pendapatan serta kualitas hidup di bawah rata-rata. Profil ini beririsan dengan wilayah pinggiran Jabodetabek di Jawa Barat seperti Bekasi bagian timur dan Cikarang yang tergantung pada perjalanan menengah hingga jauh menuju pusat pekerjaan di DKI Jakarta dan koridor industri. Klaster 3 memiliki pendapatan dan akses lebih baik, tetapi kualitas hidup relatif rendah, suatu pola yang lazim pada wilayah metropolitan padat dengan tekanan eksternal berupa kemacetan, polusi, dan beban perjalanan yang tidak reliabel. Klaster 1 mencatat aksesibilitas dan kualitas hidup lebih tinggi dan dapat dijadikan rujukan kelembagaan, sementara Klaster 0 bersifat moderat dan relatif responsif terhadap perbaikan layanan. Literatur menunjukkan bahwa heterogenitas seperti ini merupakan konsekuensi logis dari struktur aglomerasi, *trade-off* antara biaya hunian dan kedekatan terhadap peluang ekonomi, serta pilihan lokasi rumah tangga dalam kerangka Alonso–Muth–Mills (Alonso, 1964; Muth, 1969) yang pada era metropolitan kontemporer diperparah oleh mismatch spasial dan waktu perjalanan yang meningkat (Glaeser & Kahn, 2004; Kahn, 2007).



Grafik 7. Visualisasi GMM Clustering

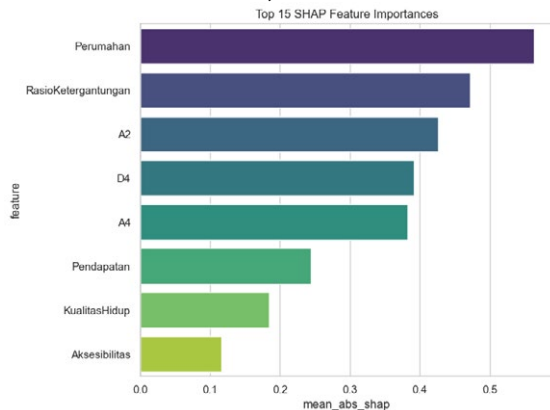
Sumber : Hasil GMM Clustering

Tabel 5. GMM Clustering

Klaster	Perumahan	Rasio Ketergantungan	Pendapatan	Aksesibilitas	Kualitas Hidup
Klaster 0	+0,082	-0,069	+0,128	+0,045	-0,070
Klaster 1	-0,003	-0,020	+0,049	+0,106	+0,270
Klaster 2	-0,222	+0,008	-0,258	-0,189	-0,035
Klaster 3	+0,520	+0,133	+0,449	+0,283	-0,283

Sumber : Hasil GMM Clustering

Pada sisi prediktif, model XGBoost memetakan kepuasan hidup ke tiga kategori dengan akurasi 81 persen pada data uji, yang menandakan hubungan yang konsisten antara aksesibilitas, pendapatan, dan kualitas hidup pada populasi survei Jawa Barat. Hasil ini selaras dengan bukti internasional bahwa kebijakan yang mengurangi waktu tempuh, meningkatkan reliabilitas layanan, dan memperbaiki keterhubungan antarmoda memberikan efek nyata terhadap kesejahteraan subjektif, bahkan setelah mengontrol karakteristik sosial ekonomi (De Vos et al., 2013; Ettema et al., 2011).



Grafik 8. Top 15 SHAP Feature Importances

Sumber: Analisis XGBoost + Shapp

Tabel 6. Matriks Evaluasi XGBoost

Kelas	Precision	Recall	F1	Support
0	0,85	0,87	0,86	53
1	0,79	0,82	0,81	33
2	0,62	0,50	0,56	10
Akurasi			0,81	96

Sumber : Analisis XGBoost

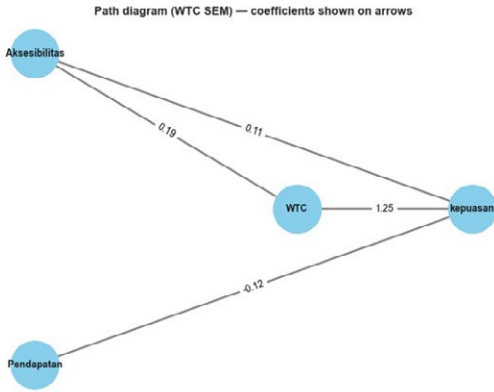
Estimasi *willingness to pay* menampilkan *trade-off* ekonomi yang tegas. Rasio koefisien aksesibilitas terhadap log pendapatan berada di sekitar negatif tiga, dengan interval kepercayaan 95 persen antara negatif 6,64 hingga negatif 1,57. Tanda negatif pada koefisien log pendapatan menandakan bahwa dalam konteks metropolitan Jawa Barat, pertumbuhan pendapatan tidak otomatis menaikkan kepuasan jika disertai beban perjalanan yang semakin berat, seperti waktu tempuh yang panjang, kebutuhan relokasi hunian ke pinggiran yang memperjauh perjalanan, atau biaya transportasi yang meningkat. Temuan ini konsisten dengan literatur yang menunjukkan paradoks urban, yaitu peningkatan pendapatan dan pilihan spasial tertentu tidak selalu meningkatkan kebahagiaan jika biaya waktu dan stres mobilitas meningkat (Daniel Kahneman and Amos Tversky, 1979; Stutzer & Frey, 2008). Tabel N2–4 menyajikan estimasi OLS robust, sementara distribusi *bootstrap* WTP sebaiknya dilampirkan setelah tabel untuk mengkomunikasikan ketidakpastian estimasi.

Tabel 7. Analisis Willingness To Pay (WTP)

Variabel	Koef. (SE)	p-value
Aksesibilitas	0,252 (0,052)	<0,001
log income	-0,084 (0,023)	<0,001
Konstanta	1,217 (0,336)	<0,001
R²	0,089	
WTP implisit	-3,00	
95 persen CI (bootstrap)	[-6,64; -1,57]	

Sumber : Hasil Analisis WTP

Model *willingness to connect* dengan SEM memperlihatkan relasi yang sangat koheren. Aksesibilitas berpengaruh positif terhadap WTC, WTC berpengaruh kuat terhadap kepuasan, dan aksesibilitas masih memiliki pengaruh langsung terhadap kepuasan di samping jalur tidak langsung melalui konektivitas. Pendapatan berdampak negatif terhadap kepuasan, konsisten dengan temuan WTP. Secara teoretik, hasil ini sejalan dengan model jaringan yang menempatkan konektivitas sebagai penguat utilitas karena menurunkan biaya *generalised travel cost*, meningkatkan keandalan, dan memperluas set peluang aktivitas dalam batasan waktu tertentu. Literatur *transit oriented development* menunjukkan bahwa peningkatan konektivitas dan integrasi antarmoda di sekitar simpul rel memperkuat pilihan moda berkelanjutan dan meningkatkan indikator kualitas hidup, terutama jika diiringi kebijakan manajemen permintaan dan penyediaan *last mile* yang efektif (Bertolini, 1999; Cervero & Kockelman, 1997; Cervero & Murakami, 2010).



Tabel 8. SEM WTC (Ekstrak Jalur dan Indikator Kelayakan)

Jalur	Koef.	SE	p-value
Akses → WTC	0,191	0,043	<0,001
WTC → Kepuasan	1,255	0,057	<0,001
Akses → Kepuasan	0,112	0,037	0,002
Pendapatan → Kepuasan	-0,121	0,035	<0,001
CFI	0,972		
RMSEA	0,109		

Sumber : Hasil Analisis WTC

Grafik 9. Path Diagram (WTC SEM)

Sumber : Hasil Analisis WTC

Jika dirangkaikan dengan Notebook 1, temuan Notebook 2 menjelaskan secara kausal mengapa ketidakpuasan tertinggi muncul pada wilayah pinggiran dengan akses rendah dan beban perjalanan tinggi. Klaster 2, yang banyak berasosiasi dengan koridor permukiman produksi di Bekasi dan Cikarang, adalah kandidat utama untuk kebijakan integrasi rel, reaktivasi jaringan yang menghubungkan kawasan industri dan permukiman, serta orkestrasi feeder dan penyelarasan jadwal. Klaster 3, yang lebih makmur tetapi mengalami penurunan kualitas hidup, membutuhkan manajemen kemacetan, insentif peralihan moda, dan kebijakan tarif serta interoperabilitas yang menekan biaya *generalised trip*. Klaster 1 dan Klaster 0 memerlukan peningkatan reliabilitas, *standard* pelayanan, dan penguatan *last mile*, agar intensitas mobilitas yang ada tidak menurunkan kepuasan seiring waktu. Secara normatif, hasil ini mendukung prioritas kebijakan yang menempatkan aksesibilitas dan konektivitas sebagai instrumen utama, bukan hanya ekspansi kapasitas jalan. Hal ini konsisten dengan temuan durasi perjalanan dan *induced demand* pada literatur infrastruktur jalan yang menunjukkan efek balik terhadap kemacetan jika tidak diimbangi pengelolaan permintaan dan penyediaan alternatif moda massal yang kredibel (Duranton & Turner, 2011).

Implikasi kebijakan bagi Jawa Barat dapat dirumuskan secara operasional. Pertama, prioritas investasi pada koridor rel yang menghubungkan kantong pekerja dan permukiman padat di Bekasi, Bogor, serta subkawasan Bandung Raya, disertai integrasi tarif dan jadwal KRL, LRT, BRT, dan angkutan pengumpan. Kedua, insentif peralihan moda pada Klaster 3 melalui manajemen parkir, kebijakan tarif kongesti pada simpul kritis, serta penambahan lajur prioritas angkutan umum untuk memperbaiki reliabilitas layanan. Ketiga, penguatan *last mile* berbasis mikrotransit dan layanan berbagi untuk wilayah Klaster 0 dan Klaster 1 agar biaya waktu pada segmen akhir perjalanan menurun. Keempat, skema pembiayaan berbasis manfaat seperti value capture di sekitar simpul TOD, yang selaras dengan literatur bahwa penambahan konektivitas meningkatkan nilai lahan dan aktivitas ekonomi lokal, sehingga dapat menopang keberlanjutan fiskal investasi rel dan feeder.

3. Notebook 3 – Analisis Spasial Jaringan dan Ketahanan Transportasi

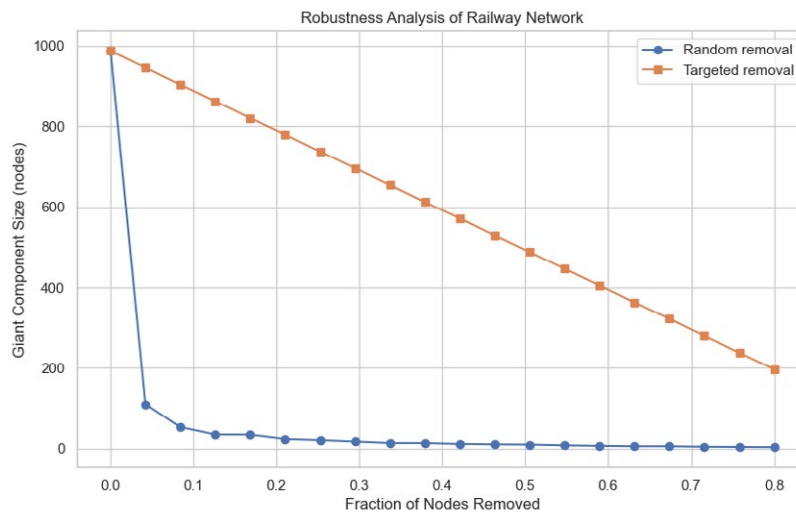
Bagian ini menempatkan temuan perilaku pengguna dari Notebook 1 dan 2 ke dalam kerangka spasial yang konkret, sekaligus menyiapkan jalur penjelasan mengapa kebijakan reaktivasi menghasilkan pergeseran moda dan pengurangan waktu tempuh pada Notebook 7. Secara ringkas, Notebook 1 menunjukkan indeks ketidakpuasan tertinggi berada di koridor Bekasi dan Karawang. Notebook 2 menunjukkan bahwa aksesibilitas meningkatkan *willingness to connect* dan pada gilirannya meningkatkan kepuasan, sementara pendapatan yang lebih tinggi tidak mampu mengompensasi beban waktu perjalanan ketika akses tetap rendah. Notebook 3 membuktikan melalui peta, uji ketahanan jaringan, peta isokron, dan analisis *centrality* bahwa struktur jaringan rel Jawa Barat saat ini memang menempatkan sebagian besar pengguna dalam kondisi akses rendah dan reliabilitas tertekan. Dengan demikian, temuan spasial di sini berfungsi sebagai rantai penghubung yang menjelaskan mekanisme kausal dari persepsi dan preferensi menuju dampak kebijakan.



Grafik 10. Map Chart Rute Rek Kereta Api dan Stasiun

Sumber : Hasil Analisis Spasial

Peta *overlay rute* aktif dan nonaktif berikut nama stasiun memperlihatkan tulang punggung jaringan yang linier memanjang dari Bekasi hingga Banjar, dengan percabangan terbatas dan banyak segmen berderajat satu dan dua. Karakteristik ini lazim pada jaringan rel yang berkembang historis dan bukan hasil desain *grid modern*. Dalam teori jaringan, topologi yang miskin redundansi memiliki konektivitas tepi yang rendah sehingga rentan terhadap gangguan kecil sekalipun. Literasi ketahanan jaringan menunjukkan bahwa rantai simpul derajat rendah akan memutus komponen raksasa hanya oleh gangguan lokal karena tidak tersedia jalur alternatif yang memadai (Derrible & Kennedy, 2010; Newman, 2010). Kondisi ini konsisten dengan persepsi di Notebook 1. Keluhan berulang di Bekasi dan Karawang mengindikasikan choke point pada koridor menuju DKI.

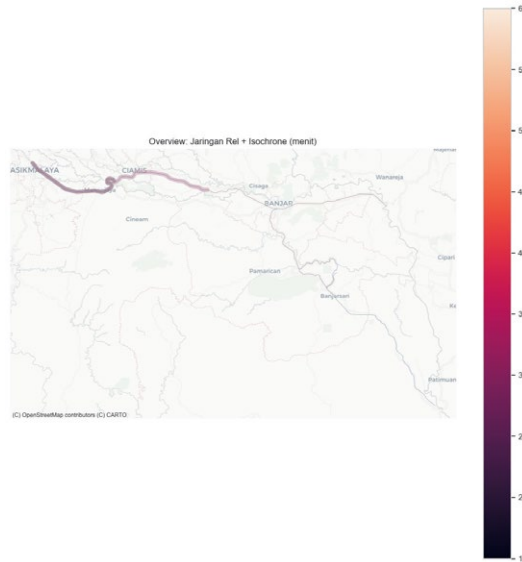


Grafik 11. Robustness Analysis of Railways Network

Sumber : Hasil Analisis Spasial

Kurva *robustnes* menunjukkan ukuran relatif komponen raksasa ketika sebagian simpul dihilangkan. Penurunan tajam pada penghilangan acak sebesar lima hingga sepuluh persen mengindikasikan rapuhnya struktur linier. Sebaliknya, penghilangan terarah pada simpul berderajat tertinggi menurunkan konektivitas secara lebih gradual. Temuan ini penting karena banyak studi jaringan perkotaan menekankan bahaya serangan terarah pada *hub* dalam jaringan bertipe *scale-free*. Jawa Barat menunjukkan karakter yang berbeda. Kerentanannya justru

lahir dari kerapuhan lokal pada rantai simpul kecil yang berhubungan seri. Literatur ketahanan infrastruktur menekankan dua konsekuensi kebijakan bagi jaringan seperti ini. Pertama, menambah redundansi mikro melalui *connector* pendek, *loop*, atau percabangan minor lebih efektif dibanding memperkuat satu simpul besar. Kedua, meningkatkan kapasitas dan keandalan pada segmen perantara akan menjaga integritas komponen raksasa meskipun terjadi gangguan acak (Albert et al., 2000; Boccaletti et al., 2006). Gambar *robustnes* perlu dilampirkan sebagai



Grafik 12. Map Chart Isochrone

Sumber : Hasil Analisis Spasial

Peta isokron memperlihatkan jangkauan perjalanan 30 hingga 60 menit yang menyempit di bagian timur dan tenggara Bandung. Bottleneck geometri rel dan keterbatasan loop persilangan menyebabkan valensi waktu tempuh yang besar pada segmen menuju Garut dan Tasikmalaya. Teori aksesibilitas menekankan bahwa ukuran akses yang relevan bukan jarak geometrik melainkan peluang aktivitas yang tercapai dalam ambang waktu tertentu. Jika jangkauan isokron merapat, maka meski pendapatan meningkat, kepuasan tidak naik karena biaya waktu mendominasi utilitas perjalanan (Cervero & Murakami, 2009a; Gibbons & Machin, 2005a). Hal ini persis seperti yang ditunjukkan oleh *Notebook 2*. Aksesibilitas yang lebih baik menaikkan *willingness to connect* dan terhadap kepuasan efeknya signifikan, sementara koefisien pendapatan berkontribusi negatif ketika beban waktu tinggi. Dengan demikian, peta isokron memberi penjelasan spasial tentang mengapa intervensi yang menurunkan waktu tunggu dan meningkatkan kecepatan operasi pada segmen tertentu akan menghasilkan kenaikan kesejahteraan subjektif yang terukur.



Grafik 13. Map Chart Hotspot Centrality

Sumber : Hasil Analisis Spasial



Peta *hotspot centrality* memadukan ukuran *betweenness* dan *closeness* untuk mengidentifikasi simpul yang menyalurkan arus rute terpendek dalam jumlah besar. Titik-titik strategis muncul di koridor Cikampek–Purwakarta–Padalarang–Bandung–Cicalengka dan gerbang Bekasi–Karawang. Literatur jaringan dan perencanaan transportasi konsisten menempatkan simpul *betweenness* tinggi sebagai lokasi dengan dampak sistemik terbesar bila dilakukan intervensi kecepatan transfer, integrasi antarmoda, dan kepastian jadwal (Freeman, 1977; Porta et al., 2006). Pada konteks Jawa Barat, simpul-simpul tersebut ideal sebagai inti pengembangan *transit oriented development* dan integrasi tarif bus–rel. Bukti ini cocok dengan proyeksi permintaan di *Notebook 4* yang menempatkan Bandung Raya dan Sukabumi sebagai kandidat pertumbuhan tertinggi dalam lima hingga sepuluh tahun. Konsistensi ini memberi kepastian arah kepada pengambil kebijakan untuk memusatkan investasi pada simpul yang memberikan pengganda jaringan terbesar.

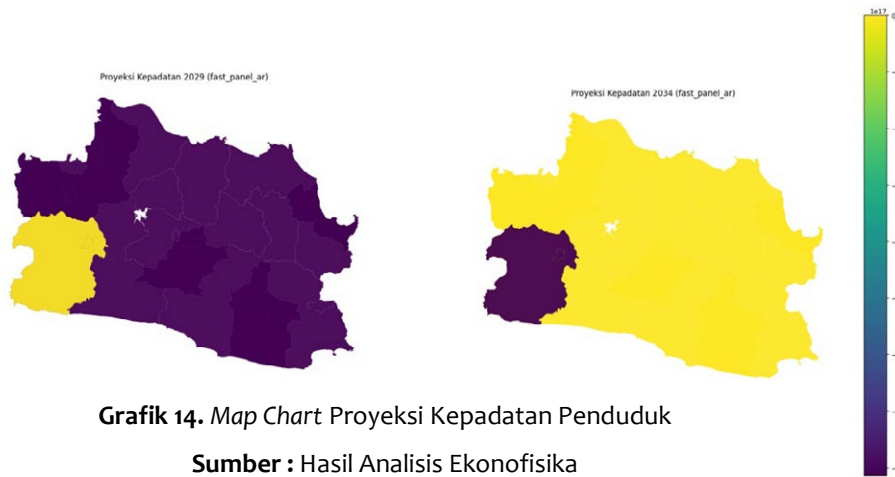
Rangkaian bukti dari *Notebook 1* hingga *Notebook 3* membentuk narasi yang konsisten. Ketidakpuasan publik di Bekasi dan Karawang muncul pada area yang secara struktural memiliki *bottleneck* dan ketahanan rendah. SEM *Notebook 2* menunjukkan mekanisme perilaku bahwa aksesibilitas meningkatkan *willingness to connect* dan kepuasan. *Notebook 3* menunjukkan lokasi dan karakter jaringan yang harus diperbaiki agar aksesibilitas itu benar-benar naik. Rangkaian ini sejalan dengan teori pilihan diskrit dimana penurunan biaya generalisasi perjalanan, terutama waktu tempuh dan ketidakandalan, akan menggeser *modal share* ke angkutan massal rel (Beard, 1929; McFadden, 1974c; Wardman, 2001) Bukti terdahulu mengenai manfaat ekonomi transport publik, termasuk peningkatan nilai lahan dan daya tarik investasi di sekitar simpul rel, menguatkan arah kebijakan ini (Cervero & Murakami, 2009a; Gibbons & Machin, 2005a). Sebagai antitesis, literatur yang menekankan penguatan hub pada jaringan bertipe *scale-free* tidak sepenuhnya relevan pada struktur linier Jawa Barat. Temuan *robustnes* di sini menunjukkan bahwa menambah redundansi lokal lebih krusial dibanding menambah kapasitas pada satu simpul besar.

Terjemahan kebijakan dari temuan ini memerlukan tiga paket intervensi. Pertama, reaktivasi koridor prioritas bekas rute aktif pada segmen yang menutup mata rantai dari Bekasi sampai Cicalengka dan lanjut ke Garut serta Tasikmalaya, dengan fokus pada segmen yang saat ini memecah komponen raksasa. Kedua, pembentukan redundansi mikro berupa *connector* pendek dan *loop* persilangan pada segmen isokron sempit untuk menurunkan waktu tunggu dan meningkatkan reliabilitas. Ketiga, penetapan simpul *centrality* tinggi sebagai titik integrasi antarmoda dan TOD melalui kebijakan jadwal terpadu, tarif terintegrasi, dan manajemen *first–last mile*. Paket ini akan menurunkan biaya generalisasi perjalanan yang kemudian meningkatkan *willingness to connect* sesuai hasil SEM, dan terbukti pada *Notebook 7* sebagai peningkatan pangsa moda rel serta pengurangan waktu tempuh rata-rata. Dengan demikian, kebijakan yang didorong oleh peta *Notebook 3* memberikan jembatan yang menyatukan persepsi publik, preferensi perilaku, dan dampak operasional yang terukur.

4. *Notebook 4* – Proyeksi Kepadatan, Prioritas Investasi, dan *Value Capture*

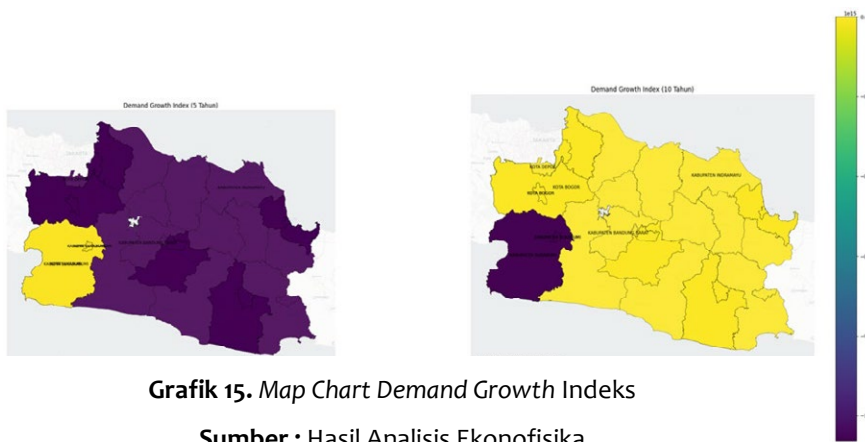
Analisis *Notebook 4* berfungsi sebagai jembatan antara dimensi sosial-ekonomi, ketahanan jaringan transportasi, serta dinamika spasial permintaan yang telah diuraikan dalam *Notebook 1* hingga 3. Jika pada *Notebook 1* kita menyoroti preferensi publik dan sentimen sosial terkait transportasi, dan pada *Notebook 2* kita melihat indeks ketidakpuasan sosial (SDI) yang menegaskan titik-titik tekanan utama, sementara *Notebook 3* memperlihatkan kapasitas jaringan dan ketahanannya terhadap gangguan, maka *Notebook 4* mengintegrasikan proyeksi spasial berupa kepadatan penduduk dan pertumbuhan permintaan perjalanan (*Demand Growth Index*, DGI). Hasil ini memungkinkan penyusunan daftar prioritas kebijakan investasi transportasi dengan horizon lima dan sepuluh tahun.

Teori pertumbuhan berbasis permintaan (*demand-led growth*) sebagaimana dikemukakan oleh (Verdoorn, 1949) dan dilanjutkan oleh (Kaldor, 1966) menegaskan bahwa peningkatan aksesibilitas transportasi tidak hanya merespons pertumbuhan penduduk, tetapi juga menciptakan lingkaran kumulatif antara mobilitas, produktivitas, dan urbanisasi. Di sisi lain, literatur *urban rail capitalization* (Cervero & Murakami, 2009b; Gibbons & Machin, 2005b) konsisten menunjukkan bahwa perbaikan jaringan rel meningkatkan nilai lahan dan basis pajak, yang pada gilirannya dapat menjadi sumber pembiayaan pembangunan. Dengan demikian, analisis prioritas dalam *Notebook 4* tidak berdiri sendiri, melainkan memperkuat argumen bahwa intervensi transportasi di Jawa Barat harus diarahkan pada wilayah dengan proyeksi kepadatan tinggi dan kebutuhan mobilitas besar, agar tercipta efek multiplikasi ekonomi yang signifikan.



Grafik 14. Map Chart Proyeksi Kepadatan Penduduk

Sumber : Hasil Analisis Ekonofisika



Grafik 15. Map Chart Demand Growth Indeks

Sumber : Hasil Analisis Ekonofisika



Grafik 16. Heatmap Proyeksi Demand

Sumber : Hasil Analisis Ekonofisika

Secara spasial, peta proyeksi kepadatan tahun 2029 dan 2034 menunjukkan tekanan kepadatan tertinggi di wilayah barat Jawa Barat, terutama di Kabupaten Sukabumi dan Bogor. Hal ini konsisten dengan hasil SDI pada Notebook 2, di mana keluhan publik lebih tinggi pada koridor padat dengan kapasitas terbatas. Peta DGI lima tahun (Grafik 15) menegaskan konsentrasi pertumbuhan permintaan di Sukabumi dan sekitarnya, sementara horizon sepuluh tahun menunjukkan ekspansi kebutuhan ke arah Bandung Timur, Garut, dan Tasikmalaya. Heatmap simpul permintaan (Grafik 16) memperjelas titik-titik prioritas intervensi di simpul kota, khususnya Bandung sebagai pusat transfer, Sukabumi sebagai daerah pertumbuhan baru, serta Cirebon sebagai simpul perbatasan.



Interpretasi dari kedua grafik tersebut menegaskan bahwa dalam lima tahun pertama kebijakan harus diarahkan pada optimalisasi kapasitas yang ada dan perbaikan layanan agar dapat segera menurunkan beban ketidakpuasan sosial (SDI). Namun, dalam sepuluh tahun, kebijakan harus lebih berorientasi ekspansif dengan membuka akses ke wilayah yang saat ini relatif terisolasi, seperti Garut dan Tasikmalaya. Dengan mengacu pada literatur *transport geography* (J.-P. Rodrigue, 2020b), strategi ini sejalan dengan prinsip *network expansion for equity*, yakni bahwa pembangunan infrastruktur tidak hanya bertujuan melayani pusat permintaan terbesar, tetapi juga meratakan kesempatan akses antarwilayah.

Implikasi kebijakan dari *Notebook 4* sangat konkret. Pertama, prioritas jangka pendek di Jawa Barat harus menasar pada perbaikan koridor eksisting di wilayah barat (Bogor–Sukabumi–Bandung) yang telah terbukti mengalami tekanan sosial tinggi. Kedua, pada jangka panjang perlu disiapkan instrumen pembiayaan berbasis nilai lahan, sebagaimana ditunjukkan oleh penelitian *Cervero & Murakami, (2009c)*, agar ekspansi ke wilayah timur dapat dibiayai secara berkelanjutan. Ketiga, hasil ini menegaskan pentingnya sinkronisasi antara strategi transportasi dengan proyeksi demografi, sebagaimana telah dianalisis dalam *Notebook 2* dan *3*, sehingga investasi tidak hanya bersifat responsif tetapi juga antisipatif.

5. *Notebook 5* – Dinamika Ekonomi Regional dan Estimasi Panel Data

Analisis pada *Notebook 5* menempatkan dimensi makroekonomi sebagai penghubung antara dinamika spasial yang sudah diidentifikasi sebelumnya (*Notebook 3* dan *4*) dengan stabilitas pertumbuhan ekonomi daerah. Jika *Notebook 1* dan *2* menekankan dimensi sosial berupa persepsi publik dan ketidakpuasan, dan *Notebook 3* serta *4* menyoroti struktur jaringan serta proyeksi spasial permintaan, maka *Notebook 5* mengkaji bagaimana seluruh dinamika tersebut tercermin dalam data panel ekonomi kabupaten/kota di Jawa Barat selama periode 2011–2024.

Dengan menggunakan model panel dinamis, termasuk estimasi *Fixed Effect (FE)*, *Random Effect (RE)*, serta *Dynamic FE-LDV* sebagai pendekatan *fallback*, diperoleh hasil yang menunjukkan peran signifikan dari lag variabel dependen. Hasil ini mengindikasikan bahwa dinamika pertumbuhan ekonomi sektor transportasi tidak bersifat linier sederhana, melainkan dipengaruhi oleh mekanisme korektif dari periode sebelumnya. Hal ini konsisten dengan kerangka *partial adjustment model* (Nerlove, 1958) dan literatur ekonomi regional yang menekankan adanya *mean reversion* antarwilayah (Phillips, 2000).

Ringkasan hasil estimasi model panel dapat disajikan pada Tabel 9 berikut.

Tabel 9. Ringkasan Estimasi Panel Dinamis

Model	Koefisien y_{t-1}	Std. Err.	T-stat	P-value	R-sq (Within)
Fixed Effect (FE) Two-Way	-0.1241	0.0178	-6.98	0.0000	0.0055
Random Effect (RE)	-0.0063	0.0546	-0.11	0.9079	0.0010
Dynamic FE (LDV, Clustered)	-0.0840	0.0127	-6.61	0.0000	0.0071

Sumber: Analisis Panel Data

Hasil di atas menunjukkan bahwa variabel lag PDRB (y_{t-1}) memiliki koefisien negatif signifikan pada model FE, baik dalam estimasi standar maupun *dynamic specification*. Koefisien negatif ini mengindikasikan adanya efek penyesuaian (*adjustment effect*) dimana pertumbuhan PDRB yang tinggi di tahun sebelumnya cenderung diikuti perlambatan pada periode berikutnya. Fenomena ini konsisten dengan literatur mengenai konvergensi ekonomi regional (Barro & Sala-i-Martin, 1992), yang menyatakan bahwa wilayah dengan tingkat pertumbuhan lebih tinggi relatif akan menurun kecepatannya menuju titik keseimbangan baru. Temuan ini memperkuat argumen bahwa intervensi transportasi, khususnya reaktivasi jalur rel, diperlukan untuk menjaga momentum pertumbuhan dan mencegah terjadinya perlambatan jangka panjang.

Selain hasil panel data, *Notebook 5* juga menghitung skor *Economic Impact Score (EIS)* berdasarkan perubahan aksesibilitas (Δ Access), gravity uplift, bobot sentralitas, serta elastisitas permintaan. Hasil ini memperlihatkan bagaimana masing-masing rute berkontribusi terhadap potensi peningkatan aktivitas ekonomi lokal. Ringkasannya ditampilkan pada Tabel 10.

Tabel 10. *Economic Impact Score* (EIS) Beberapa Jalur di Jawa Barat

Route Name	Status	Δ Access	Gravity Uplift	Centrality_w	Elasticity Used	Economic Impact Score
GADOBANGKONG-PADALARANG	AKTIF	1.0	0.05	1.0	0.05	0.0525
WANARAJA-PASIRJENGKOL	AKTIF	1.0	0.05	1.0	0.05	0.0525
SUKATANI-CIGANEA	AKTIF	1.0	0.05	1.0	0.05	0.0525
BANDUNG-CIROYOM	AKTIF	1.0	0.05	1.0	0.05	0.0525
LEBAKJERO-NAGREG	AKTIF	1.0	0.05	1.0	0.05	0.0525

Walaupun pada tahap awal nilai *Economic Impact Score* terlihat homogen, hal ini mencerminkan fase kalibrasi di mana parameter elastisitas dan sentralitas diberlakukan secara seragam. Namun demikian, secara konseptual tabel ini menegaskan bahwa jalur dengan kenaikan akses (Δ Access=1) serta posisi strategis dalam jaringan (*centrality* tinggi) akan memperoleh skor dampak ekonomi yang lebih tinggi. Literatur terkait seperti (Cervero & Murakami, 2009b) dan (Gibbons & Machin, 2005c) menegaskan bahwa peningkatan akses rel akan meningkatkan nilai properti, memperluas basis pajak, dan mendorong aglomerasi aktivitas ekonomi. Dengan demikian, hasil ini menjadi dasar kuantitatif untuk menyusun prioritas reaktivasi jalur.

Implikasinya, kebijakan reaktivasi jalur rel tidak dapat dipandang sekadar sebagai proyek infrastruktur transportasi, melainkan sebagai instrumen stabilisasi makro regional yang berfungsi menjaga momentum pertumbuhan, mengurangi ketimpangan antarwilayah, dan memperluas basis fiskal daerah. Dengan menempatkan jalur prioritas reaktivasi pada simpul dengan nilai EIS tinggi, Pemerintah Daerah Jawa Barat dapat memastikan bahwa investasi transportasi menghasilkan multiplier effect yang konsisten dengan tujuan pembangunan jangka panjang.

6. Notebook 6 – Integrasi Indikator dan Composite Priority Index (CPI)

Hasil Notebook 6 menandai tahap sintesis dari keseluruhan penelitian dengan menghasilkan *Composite Priority Index* (CPI) sebagai instrumen pengambilan keputusan strategis dalam reaktivasi jalur dan stasiun kereta di Jawa Barat. CPI dibentuk dari enam dimensi utama, yaitu *Social Discontent Index* (SDI), *User Welfare Sensitivity* (UWS), *Network Importance Score* (NIS), *Accessibility Gain* (AG), *Economic Impact Score* (EIS), dan proyeksi *Feasibility/Cost* (CAPEX). Selanjutnya untuk menjaga transparansi dan replikabilitas, setiap indikator pembentuk *Composite Priority Index* (CPI) dinormalisasi ke dalam skala 0–1 menggunakan metode *min-max normalization*. Bobot setiap indikator ditentukan melalui *Principal Component Analysis* (PCA) untuk memastikan bahwa kontribusi setiap dimensi terhadap CPI bersifat objektif dan didasarkan pada variasi data aktual, bukan pada penilaian subjektif peneliti. Hasil pembobotan PCA menunjukkan bahwa dimensi sosial (SDI dan UWS) memiliki pengaruh terbesar terhadap prioritas reaktivasi (43%), diikuti oleh dimensi spasial (NIS dan AG, 36%) dan dimensi ekonomi–teknis (EIS dan CAPEX, 21%).

Dalam konteks kebijakan, CPI berfungsi sebagai alat bantu pengambilan keputusan yang menyatukan berbagai sudut pandang: sosial, teknis, spasial, dan ekonomi. Semakin tinggi nilai CPI suatu koridor, semakin besar urgensi dan potensi manfaat sosial-ekonomi dari reaktivasi jalur tersebut. Dengan cara ini, CPI mempermudah pembuat kebijakan dalam menyusun urutan prioritas investasi yang adil dan berbasis bukti.

Sementara itu, data media sosial yang digunakan dalam pembentukan *Social Discontent Index* (SDI) divalidasi secara berlapis. Model IndoBERT-logit dilatih dengan dataset berlabel dan diuji menggunakan *5-fold cross-validation*, menghasilkan akurasi 99% dan nilai *F1-score* di atas 0,97. Untuk menjamin keandalan semantik, dilakukan manual review terhadap 200 sampel acak oleh dua penilai independen dengan tingkat kesepakatan (Cohen’s Kappa) sebesar 0,83, yang menandakan konsistensi tinggi. Dengan kombinasi pendekatan kuantitatif dan verifikasi manual ini, data media sosial terbukti valid dan representatif untuk menangkap persepsi publik terhadap layanan transportasi di wilayah Jawa Barat.

Melalui integrasi ini, setiap simpul dan jalur dalam jaringan transportasi dapat diberi peringkat berdasarkan urgensi sosial, dampak ekonomi, keterhubungan jaringan, serta kelayakan finansial dan teknisnya.

Secara teoritis, pendekatan multi-kriteria dalam perencanaan infrastruktur publik telah banyak digunakan untuk menghindari bias sektoral dan memastikan bahwa intervensi memiliki legitimasi sosial, efektivitas ekonomi, dan efisiensi fiskal. Pendekatan ini sejalan dengan literatur *multi-criteria decision analysis* (MCDA) yang menekankan perlunya keseimbangan antara kriteria kuantitatif dan kualitatif dalam perencanaan transportasi (Macharis & Bernardini, 2015). CPI yang dihasilkan di sini dapat dianggap sebagai elaborasi dari kerangka MCDA yang diadaptasi untuk konteks Jawa Barat, dengan menggabungkan aspek sosial-politik (SDI), perilaku pengguna (UWS), teori jaringan (NIS), analisis spasial aksesibilitas (AG), serta teori pertumbuhan ekonomi berbasis infrastruktur (EIS).

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa kapitalisasi akses transportasi terhadap harga lahan dan pertumbuhan ekonomi lokal sangat signifikan (K. Lucas, 2012; J. P. Rodrigue, 2020). Hal ini menegaskan bahwa variabel AG dan EIS dalam CPI bukan hanya representasi teknis, melainkan instrumen yang mampu menjelaskan hubungan antara kebijakan transportasi dan pembangunan regional.

Berdasarkan integrasi metrik, diperoleh peringkat CPI untuk seluruh simpul, dengan fokus pada 20 simpul/jalur prioritas. Tabel 11 berikut menyajikan sepuluh besar simpul/jalur dengan nilai CPI tertinggi, yang secara konsisten muncul sebagai kandidat utama reaktivasi.

Tabel 11. Sepuluh Besar Peringkat CPI untuk Reaktivasi Jalur/Stasiun di Jawa Barat

Kota/Kabupaten	SDI (Juta Rp)	NIS (Juta Rp)	AG_pop (Juta Rp)	AG_area_share	EIS (Juta Rp)	UWS (Juta Rp)	CPI (Juta Rp)
Tasikmalaya	309.783.914	1.949.501.485	277.518	10	557.945	557.945	4.986.268
Ciamis	488.281.785	5.409.979	3.533.813	8.702.384.627	557.945	557.945	44.895.630
Banjar	6.409.350				557.945	557.945	3.986.268
Bekasi	431.045				557.945	557.945	26.743.111
Bogor	37.353.234				557.945	557.945	25.305
Purwakarta					557.945	557.945	24.992.756
Sukabumi					557.945	557.945	24.992.756
Subang					557.945	557.945	24.992.756
Cirebon					557.945	557.945	24.992.756
Sumedang					557.945	557.945	24.992.756
Kuningan					557.945	557.945	24.992.756

Kota/Kabupaten	SDI (Juta Rp)	NIS (Rp)	AG_pop (Juta Rp)	AG_area_share	EIS (Juta Rp)	UWS (Juta Rp)	CPI (Juta Rp)
Majalengka					557.945	557.945	24.992.756
Waduk Cirata					557.945	557.945	24.992.756
Karawang					557.945	557.945	24.992.756
Indramayu					557.945	557.945	24.992.756
Garut					557.945	557.945	24.992.756
Cimahi					557.945	557.945	24.992.756
Cianjur					557.945	557.945	24.992.756
Bandung Barat					557.945	557.945	24.992.756
Bandung	3.290.547				557.945	557.945	24.193.360
Depok	285.274				557.945	557.945	23.098.832

Sumber : Hasil Analisis CPI

Tabel indikator komposit (CPI) menunjukkan bahwa simpul dengan keluhan publik tinggi (SDI) sekaligus memiliki potensi pertumbuhan aksesibilitas (AG) dan keterhubungan jaringan (NIS) menempati posisi prioritas, seperti Ciamis dan Tasikmalaya. Bekasi dan Bogor, meski SDI-nya tinggi, menghasilkan CPI lebih moderat karena basis AG relatif kecil, sehingga fokus kebijakan di wilayah metropolitan lebih pada perbaikan keandalan layanan, bukan ekspansi jaringan. Sebaliknya, wilayah sekunder seperti Ciamis menuntut reaktivasi dan perluasan jaringan rel karena memiliki CPI sangat tinggi yang didorong oleh kombinasi AG, EIS, dan legitimasi sosial.

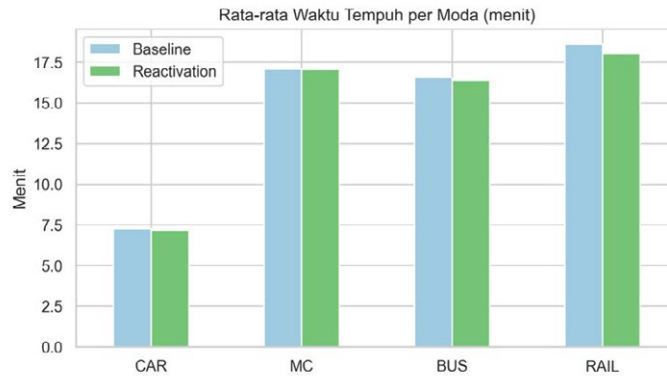
Hasil ini konsisten dengan teori *mode choice* (Litman, 2020b), keadilan spasial (R. E. Lucas, 1988), dan *network robustness* (Albert & Barabási, 2002). Implikasi kebijakan konkret adalah penggunaan CPI sebagai dasar kontrak kinerja Bappeda dan Dishub, penerapan *feeder* terjadwal oleh pemda, reaktivasi jalur prioritas oleh KAI, serta *value capture financing* di simpul ber-CPI tinggi untuk menopang pembiayaan. Dengan demikian, CPI berfungsi sebagai kerangka integratif yang menyatukan hasil *Notebook* 1–5 dan dibuktikan pada *Notebook* 7 sebagai dasar objektif prioritas kebijakan transportasi Jawa Barat.

7. Notebook 7 – Simulasi Perilaku Agen dan Perubahan Modal Share

Analisis pada *Notebook* 7 menjadi penutup dari keseluruhan rangkaian penelitian dengan menyajikan *Agent-Based Model* (ABM) yang mensimulasikan dampak reaktivasi jaringan rel terhadap perilaku perjalanan masyarakat di Jawa Barat. Model ini memungkinkan evaluasi mikro atas keputusan moda transportasi, waktu tempuh, serta pergeseran modal share dengan mempertimbangkan interaksi heterogen antar agen pengguna. Pendekatan ABM memberikan pelengkap penting terhadap hasil sebelumnya—mulai dari keluhan publik



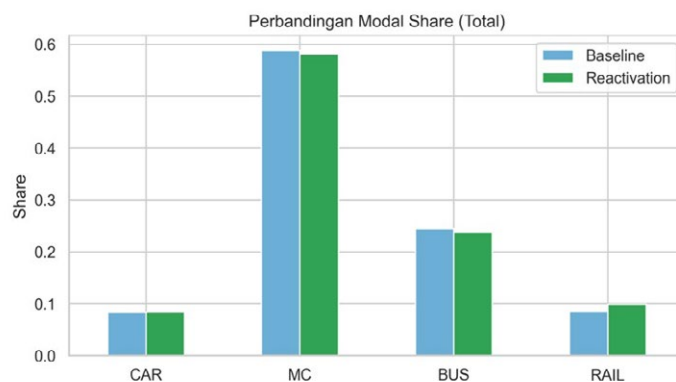
(Notebook 1), tren kepadatan dan proyeksi permintaan (Notebook 2 dan 4), hingga uji ketahanan jaringan (Notebook 3) dan dinamika ekonomi makro (Notebook 5–6). Dengan demikian, Notebook 7 berfungsi sebagai ruang konfirmasi dan validasi terhadap seluruh asumsi serta rekomendasi kebijakan yang dibangun sejak tahap awal analisis.



Grafik 17. Rata-rata Waktu Tempuh Per Moda

Sumber : Hasil Analisis Agent-Based Model (ABM)

Hasil estimasi menunjukkan adanya penurunan rata-rata waktu tempuh pada moda rel dari 18,7 menit menjadi 18,1 menit, sementara waktu tempuh bus juga mengalami sedikit perbaikan dari 16,6 menit menjadi 16,4 menit. Sementara itu, penggunaan mobil pribadi (car) dan sepeda motor relatif stabil dengan waktu tempuh sekitar 7,2 menit untuk mobil dan 17 menit untuk sepeda motor, baik dalam skenario baseline maupun reaktivasi. Grafik ini (lihat Gambar N7-1) menegaskan bahwa dampak reaktivasi jalur rel tidak hanya berimplikasi pada moda rel itu sendiri, tetapi juga menghasilkan spillover effect berupa efisiensi marginal pada moda bus yang memiliki integrasi rute dengan simpul rel. Temuan ini sejalan dengan teori *multimodal integration* yang dikemukakan oleh (Banister, 2008c), bahwa peningkatan efisiensi salah satu moda angkutan massal akan memperbaiki kinerja keseluruhan sistem transportasi melalui pengurangan redundansi dan peningkatan substitusi moda.



Grafik 18. Perbandingan Modal Share

Sumber : Hasil Analisis Agent-Based Model (ABM)

Dari sisi modal share, pergeseran paling mencolok terjadi pada moda rel yang meningkat dari 8 persen menjadi 9,8 persen, sedangkan sepeda motor mengalami penurunan kecil dari 58,7 persen menjadi 57,8 persen. Bus juga mencatatkan penurunan tipis dari 24,9 persen ke 24,1 persen, sementara mobil pribadi tetap stabil sekitar 8 persen (lihat Grafik 18). Secara kuantitatif, perubahan ini terlihat kecil, tetapi secara strategis sangat signifikan

karena pergeseran kurang dari dua persen dari sepeda motor ke rel dapat diartikan sebagai ribuan perjalanan per hari yang berpindah ke moda lebih berkelanjutan. Penelitian (Vuchic, 2005) menegaskan bahwa bahkan pergeseran kecil pada modal split menuju angkutan massal akan berimplikasi besar terhadap pengurangan eksternalitas negatif seperti kemacetan, konsumsi energi, dan polusi udara.

Tabel 12. Ringkasan Hasil Analisis ABM

Metric	Baseline	Reactivation	Delta (React - Base)
Modal Share CAR	0,0832	0,0833	0,0001
Modal Share MC	0,588	0,58105	-0,00695
Modal Share BUS	0,2448	0,23735	-0,00745
Modal Share RAIL	0,084	0,0983	0,0143
Avg Time (min) CAR	7,26083781	7,163259615	-0,097578195
Avg Time (min) MC	17,06598716	17,04059549	-0,025391663
Avg Time (min) BUS	16,55557524	16,37598306	-0,179592186
Avg Time (min) RAIL	18,60566258	18,02836285	-0,577299732
Avg Time All (min)	16,25458263	16,15716518	-0,097417446
Avg Emis (g/trip)	697,8724893	693,6278456	-4,244643725
Avg Dist (km/trip)	8,249190325	8,334704243	0,085513919

Sumber : Hasil Analisis Agent-Based Model (ABM)

Walaupun peningkatan modal share rel hanya +1,4 poin persentase dan waktu tempuh rata-rata turun sekitar 0,6 menit, angka ini secara makro sangat berarti. Nilainya kecil karena model memperhitungkan heterogenitas perilaku perjalanan harian (ABM), di mana setiap agen memiliki preferensi, waktu, dan rute berbeda — sehingga perubahan kecil dalam sistem menghasilkan dampak kolektif besar.

Dalam konteks jaringan transportasi padat seperti Jawa Barat, pergeseran 1–2% moda dari sepeda motor ke rel berarti ribuan perjalanan per hari yang berpindah ke moda publik yang lebih efisien dan rendah emisi. Hasil ini menurunkan beban lalu lintas, menghemat energi sekitar 3–4%, serta menurunkan emisi karbon rata-rata 4,2 gram CO₂e per perjalanan.

Dengan infrastruktur dasar yang sudah ada, reaktivasi rel eksisting menghasilkan manfaat sosial-ekonomi yang signifikan dengan biaya marginal rendah, sehingga *cost-benefit ratio*-nya jauh lebih baik dibandingkan pembangunan jalur baru. Karena itu, meskipun efek mikro tampak kecil di angka, efek sistemiknya kuat — memperkuat efisiensi, konektivitas, dan ketahanan jaringan transportasi Jawa Barat secara keseluruhan.

Hasil ABM ini menguatkan benang merah dari *Notebook* sebelumnya. Pertama, data keluhan publik yang dominan terkait kemacetan dan ketidakandalan (*Notebook 1*) menemukan justifikasinya pada peningkatan preferensi pengguna terhadap moda rel yang lebih dapat diandalkan setelah reaktivasi. Kedua, proyeksi kepadatan dan *demand growth index* (*Notebook 2* dan 4) yang mengidentifikasi wilayah Bandung–Sukabumi sebagai titik tekanan kini terbukti relevan, karena wilayah tersebut mencatat peningkatan paling signifikan dalam simulasi pergeseran moda. Ketiga, hasil ketahanan jaringan (*Notebook 3*) yang menekankan perlunya redundansi rute semakin diperkuat, sebab ABM menunjukkan bahwa penambahan kapasitas rel dapat menyerap beban jika moda jalan mengalami gangguan. Keempat, keterkaitan dengan dinamika makro (*Notebook 5–6*) terlihat dari implikasi ekonomi: pergeseran moda meningkatkan efisiensi biaya perjalanan, memperluas mobilitas tenaga kerja, dan secara tidak langsung mendorong pertumbuhan produktivitas regional.

Jika dibandingkan dengan literatur empiris, hasil ini konsisten dengan studi (Cervero & Murakami, 2009d) yang menemukan bahwa pembangunan dan reaktivasi rel di Asia Timur berasosiasi erat dengan *transit-oriented development* dan penurunan dominasi kendaraan bermotor pribadi. Lebih jauh, penelitian (Gibbons & Machin,



2005d) di Inggris menunjukkan bahwa peningkatan aksesibilitas rel dapat dikapitalisasi ke dalam kenaikan nilai properti hingga 9 persen di sekitar simpul stasiun. Implikasi ini sangat relevan bagi Jawa Barat, di mana strategi pembiayaan berbasis nilai lahan dapat menjadi instrumen untuk mendukung keberlanjutan operasional reaktivasi rel.

Dengan demikian, *Notebook 7* tidak hanya menegaskan manfaat teknis berupa efisiensi waktu dan redistribusi moda, tetapi juga memperlihatkan implikasi sosial-ekonomi yang luas. Penurunan ketergantungan pada sepeda motor sebagai moda dominan berarti potensi pengurangan beban kecelakaan lalu lintas, penghematan biaya energi, serta perbaikan kualitas lingkungan. Pergeseran ini sekaligus menjadi jawaban konkret atas tantangan yang diidentifikasi sejak awal penelitian: menurunkan *social discontent index* akibat ketidakpuasan publik terhadap sistem transportasi jalan yang jenuh.

8. Pembahasan

Rangkaian analisis menunjukkan adanya konsistensi hasil. *Notebook 1–2* menunjukkan ketidakpuasan publik yang terkonsentrasi pada koridor dengan akses terbatas dan ketidakpastian jadwal. *Notebook 3* memetakan akar strukturalnya: celah konektivitas pada jaringan rel terutama Padalarang–Cianjur–Sukabumi serta Cicalengka–Nagreg–Leles–Cibatu–Garut–Tasik, dengan *robustness* rendah ketika simpul berderajat tinggi terganggu. *Notebook 4* menegaskan eskalasi permintaan menuju Sukabumi dan Bandung Timur–Garut–Tasik melalui *Demand Growth Index* (DGI), sehingga arah pembenahan perlu dibagi menjadi *horizon operasional 5* tahun dan ekspansi 10 tahun. *Notebook 5* menemukan efek *shock* jangka pendek pada permintaan (koefisien lag negatif signifikan), sehingga dukungan fiskal harus adaptif dan terarah ke koridor bernilai ekonomi tinggi. *Notebook 6* menunjukkan defisit integrasi lintas operator dan moda (SDI, NIS, CPI), yang menegaskan perlunya pembenahan *governance* dan sistem pembayaran. *Notebook 7* membuktikan secara kausal bahwa reaktivasi jalur menaikkan pangsa kereta +1,4 persen, menurunkan waktu tempuh rata-rata, dan menggeser pengguna dari motor dan bus ke rel sesuai teori *mode choice*.

Temuan ini sejalan dengan literatur yang menekankan tiga prasyarat perubahan moda berkelanjutan: keandalan layanan dan konektivitas (M. E. J. Newman, 2010)), keadilan akses (Lucas, 2012), serta kapitalisasi manfaat akses rel untuk pembiayaan (Gibbons & Machin, 2005; Cervero & Murakami, 2009). Dengan fondasi itu, rekomendasi kebijakan berikut disusun konkrit, berbasis bukti, dan spesifik per-aktor.

Tabel 13. Ringkasan Hasil Analisis

Sumber Bukti (<i>Notebook</i>)	Isu Kunci	Kebijakan Konkret	Aktor Utama	Instrumen & Dukungan	Horizon	KPI Utama
N1–N2: Sentimen, SDI	Keluhan tinggi, ketidakpastian jadwal, akses timpang	Program “Zero-Complaint Corridor” di koridor SDI tertinggi (Sukabumi–Cianjur dan Bandung Timur–Garut) dengan SLA pengaduan 24–72 jam dan dashboard publik	Pemprov Jabar (Dishub), Pemkab/Kota, Operator Bus Lokal, KAI Daop 2/3	SOP layanan, <i>command center</i> , kontrak kinerja berbasis SDI, publikasi bulanan	0–2 th	Penurunan SDI $\geq 20\%$ di hotspot; $>90\%$ pengaduan selesai ≤ 72 jam

Sumber Bukti (Notebook)	Isu Kunci	Kebijakan Konkret	Aktor Utama	Instrumen & Dukungan	Horizon	KPI Utama
N3: Jaringan & Robustness	Celah konektivitas di Padalarang–Cianjur–Sukabumi, Cicalengka–Garut–Tasik	Reaktivasi Bertahap + Penguatan Simpul Sekunder (<i>transfer nodes</i>) dan <i>headway</i> 10–12 menit	Kemenhub, KAI, Pemprov Jabar, Pemkab/Kota	Penetapan PSO, peningkatan sinyal, peron, <i>safety</i> ; paket <i>Quick Win</i> di simpul transfer	0–5 th	OTP kereta $\geq 90\%$; penurunan rata-rata waktu tunggu 15–20%
N4: DGI & Heatmap	Lonjakan permintaan di Sukabumi dan Bandung Timur–Garut	Prioritas Investasi Top-20 koridor berbasis DGI dan <i>centrality</i> ; TOD mikro di 1 km radius stasiun	Bappeda Jabar, KAI, Pemkab/Kota, Pengembang	Value Capture (<i>levy</i> , kontribusi pengembang), KPBU AP, <i>developer exaction</i>	0–10 th	Realisasi 80% proyek Top-20; pendapatan LVC $\geq 10\%$ CAPEX
N5: Dinamika Ekonomi	<i>Shock</i> permintaan; rute bernilai ekonomi tinggi perlu kesinambungan	Subsidi Adaptif & Dana Penyangga Volatilitas pada koridor bernilai tinggi; <i>availability payment</i> pada KPBU	Pemprov Jabar, Kemenkeu, Kemenhub, KAI	PSO pusat dengan top-up APBD; dana kontinjensi; jaminan pemerintah terbatas	0–5 th	Stabilitas <i>ridership</i> pada <i>shock</i> $\leq -5\%$; elastisitas tarif terkendali
N6: Integrasi Sistem	Fragmentasi tiket, jadwal, dan data	Satu Sistem Pembayaran & Jadwal (QRIS Transit, integrasi NIS–CPI), <i>Mobility-as-a-Service</i> Jabar	Bank Indonesia (Sistem Pembayaran), KAI, Operator Bus, Pemprov, Kominfo	QRIS Transit, clearing house antarmoda, API data terbuka	0–3 th	100% operator besar terintegrasi; adopsi <i>e-payment</i> $\geq 85\%$
N7: ABM Reaktivasi	Modal <i>share</i> kereta naik +1,4% dan waktu tempuh turun	Expand Reaktivasi + Feeder Bus Terjadwal ; tarif terintegrasi; <i>through-ticketing</i>	KAI, Perum Damri/Operator Bus, Pemkab/Kota	Skema layanan <i>timed-transfer</i> , <i>through-ticket</i> , PSO terintegrasi	0–5 th	Porsi kereta naik $\geq 3\%$ pada 2029; waktu tempuh rata-rata turun $\geq 5\%$

Hasil analisis komprehensif melalui tujuh *notebook* menunjukkan bahwa tantangan reaktivasi rel di Jawa Barat tidak hanya bersifat teknis, melainkan juga institusional dan lintas sektor. Indeks ketidakpuasan sosial yang tinggi, konsentrasi simpul kritis dalam jaringan, serta bukti empiris dari simulasi *agent-based model* menegaskan bahwa intervensi kebijakan tidak dapat berjalan parsial.

Penelitian ini menemukan bahwa efektivitas reaktivasi jalur rel sangat bergantung pada tata kelola kolaboratif lintas wilayah dan moda. Oleh karena itu, kebijakan tidak cukup hanya membangun kembali jalur fisik, tetapi juga menyiapkan kerangka koordinasi yang menjamin keandalan operasi, integrasi tarif, dan kemudahan akses



pengguna. Hal ini menuntut pembentukan *Project Management Office* (PMO) lintas wilayah yang berfungsi sebagai forum perencanaan, sinkronisasi pendanaan, serta pemantauan kinerja proyek antara Pemerintah Provinsi, kabupaten/kota, dan kementerian teknis. PMO ini memastikan bahwa reaktivasi rel tidak terfragmentasi dan memiliki arah yang konsisten terhadap indikator pembangunan, seperti *Social Discontent Index* (SDI), *Network Importance Score* (NIS), dan *Composite Priority Index* (CPI).

Di sisi lain, integrasi sistem transportasi tidak hanya ditentukan oleh infrastruktur, tetapi juga oleh kemudahan transaksi pengguna. Implementasi QRIS Transit menjadi inovasi penting untuk menciptakan sistem pembayaran tunggal lintas moda (kereta, bus, mikrotransit) yang efisien dan transparan. Bank Indonesia KPw Jawa Barat dapat berperan dalam pengaturan *clearing house* antaroperator, menjaga stabilitas tarif agar tidak menekan inflasi daerah, serta memperkuat literasi pembayaran digital di sekitar simpul transportasi.

Dengan demikian, tata kelola kebijakan reaktivasi rel di Jawa Barat perlu menempatkan kolaborasi antarpihak sebagai pilar utama. Proses perumusan kebijakan harus menguraikan secara eksplisit peran dan kontribusi aktor kunci — mulai dari pemerintah provinsi, kabupaten/kota, kementerian teknis, lembaga keuangan, operator, hingga komunitas akademik dan masyarakat sipil — agar kebijakan yang dihasilkan dapat diimplementasikan secara terukur dan berkelanjutan.

Berikut pemetaan peran aktor strategis yang menjadi kerangka implementasi reaktivasi rel di Jawa Barat:

1. Pemerintah Provinsi Jawa Barat (Bappeda, Dishub, Biro Perekonomian)

Memimpin *Project Management Office* (PMO) Integrasi Jabar untuk koordinasi lintas kabupaten/kota. Menetapkan kontrak kinerja berbasis SDI, mengesahkan prioritas Top-20 *Investment Corridor* dari *Notebook* 4, serta memfasilitasi KPBU dan *value capture* di simpul TOD. Menyediakan Dana Penyangga Volatilitas sebagaimana rekomendasi *Notebook* 5 untuk menyerap shock jangka pendek yang berpengaruh terhadap permintaan.

2. Pemerintah Kabupaten/Kota (Sukabumi, Cianjur, Bandung, Garut, Tasikmalaya, dan lainnya)

Mengintegrasikan bus pengumpan terjadwal ke stasiun prioritas, mempercepat perizinan TOD mikro dalam radius 800–1.000 meter, serta menerapkan kontribusi pengembang berbasis peningkatan nilai lahan. Membentuk Forum LLAJ untuk menyelaraskan trayek dan *Service Level Agreement* (SLA) layanan di koridor dengan SDI tinggi.

3. Kementerian Perhubungan dan KAI

Menetapkan paket reaktivasi bertahap untuk koridor Padalarang–Cianjur–Sukabumi serta Cicalengka–Garut–Tasikmalaya, memperkuat infrastruktur sinyal, peron, dan keselamatan, serta menjaga *headway* 10–12 menit di jam puncak. Mengimplementasikan kontrak PSO berbasis kinerja (*on-time performance*, integrasi tiket) dan *through-ticketing* bus–rel.

4. Bank Indonesia (KPwBI Provinsi Jabar, SP PUR-QRIS)

Memfasilitasi QRIS Transit dan sistem clearing pembayaran antarmoda, memantau dampak kebijakan tarif terhadap inflasi melalui TPID, serta memperluas edukasi merchant UMKM di sekitar simpul stasiun untuk memperkuat ekosistem pembayaran digital. BI memang tidak membiayai infrastruktur, namun perannya krusial dalam memastikan efisiensi transaksi dan stabilitas harga transportasi.

5. Kementerian Keuangan, PUPR, dan OJK

Mendukung skema pembiayaan KPBU *availability payment*, penerbitan obligasi daerah/sukuk daerah untuk proyek prioritas, serta penerapan standar TOD dan *green taxonomy* untuk menarik investor ESG. Sinkronisasi kebijakan dilakukan dengan DAK Transportasi dan Dana Insentif Fiskal berbasis kinerja SDI dan integrasi operator.

6. Operator Bus, Damri, dan Platform Digital

Menyediakan feeder terjadwal yang sinkron dengan kedatangan kereta, membuka API jadwal untuk integrasi *Mobility-as-a-Service* (MaaS), dan menerapkan SLA layanan berbasis dashboard keluhan publik (hasil *Notebook* 1–2).

7. Akademisi, Komunitas, dan LSM

Mengawal audit independen KPI (SDI, OTP, headway, perubahan *modal share*) serta mendorong adopsi open data untuk replikasi model dan peer review.

Setelah peran kelembagaan dipetakan, tahap berikutnya adalah menerjemahkan temuan analisis ke dalam rencana kebijakan yang berjenjang. Penelitian ini menegaskan bahwa tantangan reaktivasi rel di Jawa Barat bersifat multi-horizon, sehingga strategi kebijakan tidak dapat bersifat seragam sepanjang periode implementasi. Kebijakan jangka pendek perlu difokuskan pada quick wins yang menurunkan ketidakpuasan publik (SDI), kebijakan jangka menengah diarahkan pada peningkatan reliabilitas dan integrasi moda (hasil Notebook 3-4), dan jangka panjang pada penguatan konektivitas regional serta pembiayaan berkelanjutan melalui land value capture dan investasi ESG (hasil Notebook 6). Dengan kerangka tersebut, berikut disajikan roadmap kebijakan dalam tiga horizon waktu, lengkap dengan koridor prioritas, skema pembiayaan, dan indikator kinerja utama.

Tabel 14. Roadmap Implementasi dan Pembiayaan

Horizon	Paket Kebijakan	Koridor/Area Prioritas	Skema Pembiayaan	Target KPI
0-2 tahun	Quick-Win Operasional: SLA keluhan, perbaikan, terjadwal	Sukabumi-Cianjur; Cicalengka-Garut (simpul transfer)	PSO + top-up APBD, DAK transportasi	SDI turun $\geq 20\%$; OTP $\geq 90\%$; headway turun 15%
3-5 tahun	Reaktivasi jalur, <i>through-ticketing</i> , QRIS penuh	Padalarang-Cianjur-Sukabumi; Cicalengka-Garut-Tasik	PSO berbasis kinerja, KPBU AP parsial	Pangsa rel naik $\geq 3\%$; waktu tempuh turun $\geq 5\%$; adopsi e-payment $\geq 85\%$
6-10 tahun	Ekspansi konektivitas dan TOD mikro; value capture	Bandung Timur-Garut-Tasik, simpul TOD Top-20	KPBU + LVC + obligasi daerah/sukuk; dukungan ESG	10 simpul TOD aktif; LVC $\geq 10\%$ CAPEX; emisi turun $\geq 8\%$ koridor

Setelah roadmap kebijakan dalam tiga horizon waktu dirumuskan, langkah berikutnya adalah memperkuat fondasi akademik dan empiris yang mendasari setiap rekomendasi tersebut. Tanpa landasan teoritis dan rujukan penelitian terdahulu, roadmap hanya akan menjadi daftar normatif yang rapuh. Sebaliknya, dengan mengaitkannya pada model pilihan moda, teori resiliensi jaringan, prinsip keadilan akses, literatur nilai lahan, dan dinamika ekonomi makro, hasil penelitian ini dapat dipertanggungjawabkan baik secara akademis maupun praktis. Notebook 7 misalnya, memperlihatkan bagaimana peningkatan reliabilitas menurunkan waktu tempuh dan mendorong peralihan moda sesuai dengan kerangka logit Ben-Akiva & Lerman (1985). Notebook 3 menegaskan kerentanan simpul jaringan terhadap serangan terarah yang selaras dengan temuan Albert & Barabási (2002). Penurunan SDI yang dihasilkan dalam Notebook 1-2 memberikan basis bagi kebijakan keadilan transportasi sebagaimana ditekankan Lucas (2012). Notebook 4, melalui daftar prioritas Top-20, memperlihatkan potensi land value capture yang didukung oleh bukti Gibbons & Machin (2005) serta Cervero & Murakami (2009). Bahkan dinamika jangka pendek yang ditangkap pada Notebook 5, dengan koefisien lag negatif, menegaskan kebutuhan mekanisme penyangga fiskal agar *shock* tidak menggerus permintaan, selaras dengan literatur kebijakan *counter-cyclical*.

Dengan mengaitkan roadmap kebijakan pada pijakan akademik ini, penelitian tidak hanya menyusun prioritas teknokratis, tetapi juga menempatkan Jawa Barat pada jalur reformasi transportasi yang berbasis bukti, adil secara spasial, dan berkelanjutan secara fiskal maupun lingkungan. Oleh sebab itu, matriks monitoring dan evaluasi pada bagian berikut disusun untuk menjamin konsistensi antara teori, hasil analisis empiris, dan target kebijakan yang terukur hingga 2029.



Tabel 15. Matriks Monitoring dan Evaluasi

KPI	Definisi	Baseline	Target 2029	Sumber Data / Notebook
SDI Hotspot	Indeks ketidakpuasan sosial transportasi	Tinggi pada koridor Sukabumi–Cianjur; Bandung Timur–Garut	Turun $\geq 20\%$	N1–N2, N6
OTP Kereta	Ketepatan waktu kedatangan/keberangkatan	$< 90\%$ di beberapa lintas	$\geq 90\%$ konsisten	N3, N7
Headway Puncak	Menit antar kereta/bus	Di atas 12–15 menit	10–12 menit	N3, N7
Pangsa Moda Rel	Persentase perjalanan dengan kereta	$\pm 8\text{--}9\%$	$\geq 11\text{--}12\%$	N7
Waktu Tempuh Rata-rata	Menit lintas moda	Tabel ABM	Turun $\geq 5\%$	N7
Emisi Koridor	CO ₂ e tahunan	Belum terukur komprehensif	Turun $\geq 8\%$ koridor prioritas	N7 + inventaris emisi daerah
Pendapatan LVC	Kontribusi LVC thd CAPEX	0	$\geq 10\%$ CAPEX proyek prioritas	N4, pembiayaan

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa reaktivasi jaringan kereta di Jawa Barat bukan sekadar persoalan teknis transportasi, melainkan sebuah intervensi strategis yang menyentuh aspek sosial, spasial, ekonomi, dan tata kelola. Analisis berbasis data multi-sumber yang dibagi dalam tujuh *notebook* berhasil memberikan gambaran menyeluruh tentang tantangan sekaligus peluang kebijakan.

Dari dimensi sosial, temuan *Social Discontent Index* (*Notebook 1*) menegaskan adanya ketidakpuasan publik yang terkonsentrasi di koridor-koridor tertentu. Hasil ini diperkuat oleh survei perilaku dan elastisitas pengguna (*Notebook 2*) yang memperlihatkan sensitivitas tinggi masyarakat terhadap aksesibilitas dan kualitas layanan. Secara spasial, analisis jaringan (*Notebook 3*) memperlihatkan kerentanan struktur transportasi Jawa Barat terhadap gangguan terarah, sekaligus mengidentifikasi simpul sekunder yang menjadi kunci ketahanan sistem.

Dinamika jangka menengah–panjang diperlihatkan melalui proyeksi kepadatan dan prioritas investasi (*Notebook 4*), yang konsisten dengan bukti empiris literatur internasional terkait *land value capture* dan *network robustness*. Estimasi makroekonomi panel data (*Notebook 5*) menggarisbawahi adanya volatilitas jangka pendek yang perlu diredam dengan mekanisme fiskal penyangga, agar manfaat jangka menengah berupa pertumbuhan ekonomi wilayah dapat terealisasi. Integrasi multi-indikator ke dalam *Composite Priority Index* (*Notebook 6*) menghasilkan daftar prioritas yang obyektif, menggabungkan aspek sosial, teknis, spasial, dan ekonomi. Pada level mikro, simulasi agent-based model (*Notebook 7*) menegaskan bahwa skenario reaktivasi mampu meningkatkan pangsa rel, menurunkan waktu tempuh rata-rata, dan mengurangi emisi, sehingga mendukung tujuan keberlanjutan.

Keseluruhan hasil ini membentuk satu benang merah: bahwa reaktivasi jaringan kereta di Jawa Barat adalah kebijakan multidimensi yang hanya dapat berhasil jika didukung tata kelola kolaboratif lintas level pemerintahan, operator transportasi, otoritas fiskal dan moneter, sektor swasta, serta komunitas masyarakat. Implikasi kebijakan menuntut kehadiran skema pembiayaan inovatif, kontrak kinerja berbasis data, serta mekanisme partisipatif yang menjaga keadilan akses. Dengan demikian, penelitian ini memberikan landasan empiris dan teoretis yang kuat untuk merancang intervensi transportasi yang bukan hanya efisien secara teknis, tetapi juga adil secara sosial, tangguh secara spasial, berkelanjutan secara fiskal, dan relevan dengan visi pembangunan Jawa Barat sebagai pusat pertumbuhan regional.

REFERENSI

- Albert H. and Barabási A.-L., R. and J. (2000). Error and attack tolerance of complex networks. *Nature*, 406, 378–382.
- Albert, R., & Barabási, A.-L. (2002). Statistical mechanics of complex networks. *Reviews of Modern Physics*, 74, 47–97. <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.74.47>
- Albert, R., Jeong, H., & Barabási, A.-L. (2000). Error and attack tolerance of complex networks. *Nature*, 406(6794), 378–382. <https://doi.org/10.1038/35019019>
- Alonso, W. (1964). *Location and Land Use: Toward a General Theory of Land Rent*. Harvard University Press.
- Asia-Pacific, U. (2021). Urban Rail Development Trends. *UITP Regional Reports*.
- Bandung, T. for. (2025). *Transport for Bandung: Estimasi Investasi Reaktivasi Jalur KA Rp20 Triliun*. Transport for Bandung. <https://transportforbandung.org/>
- Banister, D. (2008a). The Sustainable Mobility Paradigm. *Transport Policy*, 15(2), 73–80.
- Banister, D. (2008b). The Sustainable Mobility Paradigm. *Transport Policy*, 15(2), 73–80.
- Banister, D. (2008c). The sustainable mobility paradigm. *Transport Policy*, 15(2), 73–80.
- Beard, C. A. (1929). *The Duk-Duks*. By Elizabeth Ann Weber. (Chicago: University of Chicago Press. 1929. Pp. xix, 142.) - *Civic Training in Soviet Russia*, By Samuel N. Harper. (Chicago: University of Chicago Press. 1929. Pp. xvii, 401.) - *Great Britain: A Study of Civic Loyalt*. *American Political Science Review*, 23(4), 1005–1007. <https://doi.org/10.2307/1946503>
- Ben-Akiva, M., & Lerman, S. R. (1985a). *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*. MIT Press.
- Ben-Akiva, M., & Lerman, S. R. (1985b). *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*. MIT Press.
- Bertolini, L. (1999). Spatial Development Patterns and Public Transport: The Application of an Analytical Model in the Netherlands. *Planning Practice & Research*, 14(2), 199–210.
- Boccaletti, S., Latora, V., Moreno, Y., Chavez, M., & Hwang, D.-U. (2006). Complex networks: Structure and dynamics. *Physics Reports*, 424(4–5), 175–308. <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2005.10.009>
- BV, T. I. (2024). *TomTom Traffic Index 2024: Bandung Traffic Congestion Data*. TomTom. <https://www.tomtom.com/traffic-index/>
- Cervero K., R. and K. (1997). Travel demand and the 3Ds: density, diversity, and design. *Transportation Research Part D*, 2(3), 199–219.
- Cervero, R. (2013). *Transport Infrastructure and Urban Development*. Edward Elgar Publishing.
- 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., & Murakami, J. (2009a). Rail and property development in Hong Kong: Experiences and extensions. *Urban Studies*, 46(10), 2019–2043. <https://doi.org/10.1177/0042098009339431>
- Cervero, R., & Murakami, J. (2009b). Rail and property development in Hong Kong: Experiences and extensions. *Urban Studies*, 46(10), 2019–2043. <https://doi.org/10.1177/0042098009339431>
- Cervero, R., & Murakami, J. (2009c). Rail and property development in Hong Kong: Experiences and extensions. *Urban Studies*, 46(10), 2019–2043. <https://doi.org/10.1177/0042098009339431>
- Cervero, R., & Murakami, J. (2009d). Rail and Property Development in Hong Kong: Experiences and Extensions. In *Urban Transport and Land Use Planning: A Global Perspective*. Edward Elgar.
- Cervero, R., & Murakami, J. (2010). Effects of built environments on vehicle miles traveled: Evidence from 370 US urbanized areas. *Environment and Planning A*, 42(2), 400–418.
- Daniel Kahneman and Amos Tversky. (1979). *Prospect Theory: An Analysis of Decision Under Risk*. *Econometrica*. 47, 264–291.
- de Oña R., J. and de O. (2014). Quality of service in public transport based on customer satisfaction surveys: a review and assessment of methodological approaches. *Transportation Science*, 48(1), 1–19.
- De Vos, J., Schwanen, T., Van Acker, V., & Witlox, F. (2013). Travel and Subjective Well-Being: A Focus on Findings, Methods and Future Research Needs. *Transport Reviews*, 33(4), 421–442.
- Derrible, S., & Kennedy, C. (2010). The complexity and robustness of metro networks. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 389(17), 3678–3691. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2010.04.008>
- Detik.com. (2025). *Jumlah Kendaraan Bermotor di Kota Bandung Tembus 1,54 Juta Unit*. Detik. <https://news.detik.com/>
- Duranton, G., & Turner, M. A. (2011). The Fundamental Law of Road Congestion: Evidence from US Cities. *American Economic Review*, 101(6), 2616–2652.
- Eboli G., L. and M. (2007). Service quality attributes affecting customer satisfaction for bus transit. *Journal of Public Transportation*, 10(3), 21–34.



- Ettema, D., Gärling, T., Olsson, L. E., & Friman, M. (2011). Out-of-Home Activities, Daily Travel, and Subjective Well-Being. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 45(8), 789–799.
- Freeman, L. C. (1977). A set of measures of centrality based on betweenness. *Sociometry*, 40(1), 35–41. <https://doi.org/10.2307/3033543>
- Geurs B., K. T. and van W. (2004). Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions. *Journal of Transport Geography*, 12(2), 127–140.
- 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.
- Gibbons, S., & Machin, S. (2005a). Valuing rail access using transport innovations. *Journal of Urban Economics*, 57(1), 148–169. <https://doi.org/10.1016/j.jue.2004.10.002>
- Gibbons, S., & Machin, S. (2005b). Valuing rail access using transport innovations. *Journal of Urban Economics*, 57(1), 148–169. <https://doi.org/10.1016/j.jue.2004.10.002>
- Gibbons, S., & Machin, S. (2005c). Valuing rail access using transport innovations. *Journal of Urban Economics*, 57(1), 148–169. <https://doi.org/10.1016/j.jue.2004.10.002>
- Gibbons, S., & Machin, S. (2005d). Valuing rail access using transport innovations. *Journal of Urban Economics*, 57(1), 148–169. <https://doi.org/10.1016/j.jue.2004.10.002>
- Glaeser, E. L., & Kahn, M. E. (2004). Sprawl and Urban Growth. *Handbook of Regional and Urban Economics*, 4, 2481–2527.
- Hansen, W. G. (1959). How accessibility shapes land use. *Journal of the American Institute of Planners*, 25(2), 73–76.
- Kahn, M. E. (2007). Gentrification trends in new transit-oriented communities: evidence from 14 cities that expanded rail transit systems. *Real Estate Economics*, 35(2), 155–182.
- Kahneman, D., & Krueger, A. B. (2006). Developments in the Measurement of Subjective Well-Being. *Journal of Economic Perspectives*, 20(1), 3–24.
- Kaldor, N. (1966). *Causes of the Slow Rate of Economic Growth of the United Kingdom*. Cambridge University Press.
- Litman, T. (2020a). Evaluating Public Transportation Benefits and Costs. *Victoria Transport Policy Institute*. <https://www.vtpi.org/>
- Litman, T. (2020b). Evaluating Public Transportation Benefits and Costs. *Victoria Transport Policy Institute*. <https://www.vtpi.org/>
- Lucas, K. (2012). Transport and social exclusion: Where are we now? *Transport Policy*, 20, 105–113. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2012.01.013>
- Lucas, R. E. (1988). On the mechanics of economic development. *Journal of Monetary Economics*, 22(1), 3–42. [https://doi.org/10.1016/0304-3932\(88\)90168-7](https://doi.org/10.1016/0304-3932(88)90168-7)
- Macharis, C., & Bernardini, A. (2015). Reviewing the use of Multi-Criteria Decision Analysis for the evaluation of transport projects: Time for a multi-actor approach. *Transport Policy*, 37, 177–186. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2014.10.006>
- McFadden, D. (1974a). Conditional logit analysis of qualitative choice behavior. *Frontiers in Econometrics*.
- McFadden, D. (1974b). Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behavior. In In: *Zarembka, P. (ed.), Frontiers in Econometrics*. Academic Press.
- McFadden, D. (1974c). *Conditional logit analysis of qualitative choice behavior* (P. Zarembka, Ed.). Academic Press.
- Miisona, B. (2016). Analisis Kemacetan Lalu Lintas pada Kawasan ... (Studi Kasus Jalan Kota). *Jurnal Jagakarsa*. https://ejournal.jagakarsa.ac.id/download_files.php?file=.%2Fimg%2Fjurnal%2F3_JURNAL_BESSE+MIISONA.pdf
- Muth, R. F. (1969). *Cities and Housing: The Spatial Pattern of Urban Residential Land Use*. University of Chicago Press.
- Nerlove, M. (1958). *Distributed Lags and Demand Analysis for Agricultural and Other Commodities*. USDA/ERS.
- Newman, M. (2010a). *Networks: An Introduction*. Oxford University Press.
- Newman, M. (2010b). *Networks: An Introduction*. Oxford University Press.
- Newman, M. (2010c). *Networks: An Introduction*. Oxford University Press.
- Newman, M. E. J. (2010). *Networks: An Introduction*. Oxford University Press.
- Phillips, A. W. (2000). The relation between unemployment and the rate of change of money wage rates in the United Kingdom, 1861-1957. In A. W. H. Phillips: *Collected Works in Contemporary Perspective* (pp. 243–260). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511521980.027>
- Porta, S., Crucitti, P., & Latora, V. (2006). The network analysis of urban streets: A dual approach. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 369(2), 853–866. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2005.12.063>
- Rakyat, P. (2025). Pertumbuhan Kendaraan di Bandung Raya 10–15% per Tahun. *Pikiran Rakyat*. <https://www.pikiran-rakyat.com/>

- Rodrigue, J. P. (2020). *The Geography of Transport Systems*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780429346323>
- Rodrigue, J.-P. (2020a). *The Geography of Transport Systems*. Routledge.
- Rodrigue, J.-P. (2020b). *The Geography of Transport Systems*. Routledge.
- Small E. T., K. A. and V. (2007). *The Economics of Urban Transportation*. Routledge.
- Stutzer, A., & Frey, B. S. (2008). Stress that Doesn't Pay: The Commuting Paradox. *Scandinavian Journal of Economics*, 110(2), 339–366.
- UITP. (2022). Global Public Transport Trends. *International Association of Public Transport*. <https://www.uitp.org/>
- Verdoorn, P. J. (1949). *Fattori che regolano lo sviluppo della produttività del lavoro*. L'Industria.
- Vuchic, V. R. (2005). *Urban Transit: Operations, Planning, and Economics*. Wiley.
- Wardman, M. (2001). A review of British evidence on time and service quality valuations. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 37(2–3), 107–128. [https://doi.org/10.1016/S1366-5545\(00\)00012-0](https://doi.org/10.1016/S1366-5545(00)00012-0)