

Analisis Perbandingan Metode Pemilihan Rute pada Studi Kelayakan Jalan Tol (Studi Kasus: Jalan Tol Malang – Kapanjen)

Aditya Wicaksono Dovyanto dan Hera Widyastuti

Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS)

e-mail: hera.widyastuti@yahoo.co.uk

Abstrak—Kapanjen merupakan pusat pemerintahan dari Kabupaten Malang. Lokasi ini juga merupakan titik lewat kendaraan dari Kota Malang yang akan menuju ke daerah Karesidenan Kediri di timur dan Karesidenan Besuki di barat. Seiring dengan hal itu, terdapat rencana pembangunan Jalan Tol Agungblijen (Tulungagung – Blitar – Kapanjen) dan Jalur Lintas Selatan Pulau Jawa (JLS) yang mana keduanya akan melewati Kapanjen. Sehingga dengan keadaan volume kendaraan yang tinggi dan adanya rencana pembangunan tersebut, direncanakanlah pembangunan Jalan Tol Malang – Kapanjen yang akan menghubungkan Kota Malang dengan Kapanjen. Investasi infrastruktur jalan tol perlu diawali dengan adanya studi kelayakan investasi khususnya pada aspek ekonomi dan finansial. Aspek ekonomi merupakan manfaat untuk masyarakat dan finansial merupakan manfaat untuk investor. Nilai manfaat ini diambil dari jumlah pengendara yang berpindah dari jalan eksisting menuju ke jalan tol. Maka dari itu perlu dilakukan analisis pemilihan rute atau *trip assignment* untuk memprediksi besaran volume kendaraan yang akan masuk menuju ke jalan tol jika sudah beroperasi. Analisis pemilihan rute atau *trip assignment* akan menggunakan empat metode analisis dan membandingkan hasil dari keempatnya, yaitu metode Smock, metode JICA 1, metode Davidson, dan metode *Diversion Curve*. Ke-empat metode tersebut memiliki parameter masing-masing dan digunakan metode yang menghasilkan persentase perpindahan merata. Berdasarkan hasil analisis, didapatkan metode Smock tidak ada yang berpindah ke jalan tol, metode JICA 1 hasil perpindahan tidak valid, dan metode Davidson perpindahan tidak merata karena hanya ada 1 seksi yang terjadi perpindahan, sedangkan seksi lainnya tidak ada yang berpindah. Sehingga digunakan hasil analisis metode *Diversion Curve* yang menghasilkan perpindahan merata di seluruh seksi Jalan Tol Malang – Kapanjen. Besar persentase pengguna jalan eksisting yang akan berpindah menuju jalan tol adalah berkisar di angka 49% – 50%. Maka dari itu disimpulkan bahwa metode *Diversion Curve* adalah metode yang dapat digunakan untuk analisis pemilihan rute pada studi kelayakan Jalan Tol Malang – Kapanjen.

Kata Kunci—Kelayakan, Ekonomi, Finansial, Pemilihan Rute, dan Tol Malang – Kapanjen.

I. PENDAHULUAN

MALANG Raya memiliki 3 area pembagian wilayah administratif, yaitu Kota Malang, Kabupaten Malang, dan Kota Batu. Kapanjen merupakan pusat pemerintahan dari Kabupaten Malang. Lokasi ini juga merupakan titik lewat kendaraan dari Kota Malang yang akan menuju ke daerah Karesidenan Kediri di timur dan Karesidenan Besuki di barat melalui jalur lintas selatan Pulau Jawa, sehingga mobilisasi penduduk dari Malang menuju Kapanjen cukup tinggi. Saat ini, ruas jalan utama mobilisasi dari Kota Malang menuju Kapanjen adalah Jalan Nasional dan Jalan Provinsi Malang – Kapanjen. Kondisi lalu lintas di ruas jalan ini cukup sering

terjadi kemacetan dikarenakan kapasitas jalan yang sudah tidak sanggup menanggung volume kendaraan yang lewat di saat jam-jam padat. Maka dari itu sebagai solusi, direncanakan pembangunan Jalan Tol Malang – Kapanjen yang juga merupakan lanjutan dari Jalan Tol Malang – Pandaan yang sudah beroperasi penuh sejak tahun 2020 [1].

Proyek Jalan Tol Malang – Kapanjen merupakan proyek yang diprakarsai atau digagas oleh Badan Usaha, sehingga masuk ke dalam skema Kerjasama antara Pemerintah dan Badan Usaha (KPBU). Sehingga studi kelayakan investasi merupakan hal yang perlu dilakukan untuk mengetahui berapa besar proyek investasi infrastruktur jalan tol ini dapat memberikan manfaat secara ekonomi dan finansial [2]. Manfaat aspek ekonomi adalah manfaat yang didapatkan oleh masyarakat sebagai pengguna jalan tol berupa penghematan biaya operasi kendaraan (BOK) dan nilai waktu [3], sedangkan finansial adalah manfaat yang didapatkan oleh investor selaku pemrakarsa dan pengelola jalan tol berupa pemasukan tarif pembayaran tol [4]. Dalam analisis studi kelayakan jalan tol, manfaat yang diperhitungkan berasal dari kendaraan yang memilih untuk menggunakan jalan tol daripada jalan eksisting yang sudah ada di ruas tersebut. Sehingga perlu adanya analisis pemilihan rute atau *trip assignment* untuk mengetahui persentase kendaraan yang akan tetap di jalan eksisting dan yang berpindah ke Jalan Tol Malang – Kapanjen.

Analisis pemilihan rute atau *trip assignment* adalah metode untuk memodelkan perilaku pelaku pergerakan dalam memilih rute yang menurut mereka merupakan rute terbaiknya. Dalam analisis studi ini pemilihan rute akan menggunakan 4 metode analisis, yaitu metode Smock, metode JICA 1, metode Davidson, dan metode *Diversion Curve*. Dari ke-4 metode tersebut akan dianalisis satu-persatu sehingga dapat diketahui langkah perhitungan masing-masing metode serta diketahui metode mana yang akan menghasilkan persentase perpindahan valid yang dapat digunakan untuk studi kelayakan investasi Pembangunan Jalan Tol Malang – Kapanjen.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Arus dan Komposisi Lalu Lintas

Berdasarkan rujukan Direktorat Jendral Bina Marga (1997), arus lalu-lintas (Q) mencerminkan komposisi lalu-lintas, dengan menyatakan arus dalam satuan mobil penumpang (smp) [5]. Semua nilai arus lalu-lintas (per arah dan total) diubah menjadi satuan mobil penumpang (smp) dengan menggunakan ekuivalensi mobil penumpang (emp). Berikut adalah pembagian jenis kendaraan,

1. Kendaraan ringan (KR), meliputi mobil penumpang, minibus, truk *pick-up*, dan *jeep*.
2. Kendaraan berat menengah (KBM), meliputi truk dua gandar dan bus kecil.
3. Bus besar (BB).
4. Truk besar (TB), meliputi truk tiga gandar dan truk kombinasi.
5. Sepeda motor (SM).

Kondisi lalu-lintas dapat ditentukan menurut Lalu-lintas Harian Rata-rata Tahunan (LHRT) dengan faktor- k yang sesuai untuk konversi dari LHRT menjadi arus per jam (umum untuk perancangan), atau menurut Arus Lalu-lintas Jam Puncak (Q_{JP}). Persamaan untuk menghitung arus lalu lintas puncak dapat dilihat pada persamaan (1) berikut,

$$Q_{JP} = LHRT \times k \quad (1)$$

Dimana Q_{JP} adalah arus jam rencana / puncak (kend/jam), LHRT adalah arus (atau Volume) lalu lintas harian rata-rata tahunan (kend/hari), dihitung dari jumlah arus lalu lintas dalam setahun dibagi jumlah hari dalam tahun tersebut, k adalah faktor pengubah LHRT menjadi arus lalu lintas jam puncak sesuai jenis jalan. Faktor k diambil dari rujukan MKJI 1997 [4].

B. Ekuivalensi Mobil Penumpang atau Kendaraan Ringan

Rujukan Direktorat Jendral Bina Marga (1997), menjelaskan bahwa emp untuk masing-masing tipe kendaraan tergantung pada tipe jalan, tipe alinemen dan arus lalu lintas total yang dinyatakan dalam kendaraan/jam [5]. Untuk jalan 2/2 TT, emp sepeda motor tergantung juga kepada lebar jalur lalu-lintas. Untuk Kendaraan Ringan (LV) nilai emp selalu 1. Tabel nilai emp masing-masing tipe kendaran dapat dilihat pada MKJI 1997 [6].

C. Peramalan atau Forecasting Arus Lalu Lintas

Berikut adalah persamaan (2) yang digunakan untuk menghitung meramalkan pertumbuhan arus lalu lintas.

$$P_n = P_o * (1 + r)^n \quad (2)$$

Dimana P_o adalah data arus lalu lintas yang diketahui, P_n adalah data tahun ke- n yang dicari, n adalah (tahun ke- n) – (tahun survey), r adalah faktor laju pertumbuhan.

D. Kapasitas Jalan

Kapasitas didefinisikan sebagai arus maksimum melalui suatu titik di jalan yang dapat dipertahankan per satuan jam pada kondisi tertentu. Untuk jalan dua-lajur dua-arah, kapasitas ditentukan untuk arus dua arah (kombinasi dua arah), tetapi untuk jalan dengan banyak lajur, arus dipisahkan per arah dan kapasitas ditentukan per lajur [5].

Berikut adalah persamaan (3) yang digunakan untuk menghitung kapasitas jalan luar kota.

$$C = C_o * FC_w * FC_{sp} * FC_{sf} \quad (3)$$

Dimana C adalah kapasitas, C_o adalah kapasitas dasar (smp/jam), FC_w adalah faktor penyesuaian akibat lebar jalur lalu-lintas, FC_{sp} adalah faktor penyesuaian akibat pemisah arah, FC_{sf} adalah faktor penyesuaian akibat hambatan samping.

Kapasitas jalan bebas hambatan atau jalan tol dihitung menggunakan persamaan (4) berikut,

$$C = C_o * FC_w * FC_{sp} \quad (4)$$

Dimana C adalah kapasitas, C_o adalah kapasitas dasar (smp/jam), FC_w adalah faktor penyesuaian akibat lebar jalur lalu-lintas, FC_{sp} adalah faktor penyesuaian akibat pemisah arah.

E. Derajat Kejenuhan (D_j)

Menurut rujukan Direktorat Jendral Bina Marga (1997), derajat kejenuhan (D_j) adalah rasio arus terhadap kapasitas, yang digunakan sebagai faktor kunci dalam penentuan kinerja lalu lintas pada suatu simpang dan juga segmen jalan [5]. Nilai D_j menunjukkan apakah jalan akan mempunyai masalah kapasitas atau tidak. Berikut adalah persamaan (5) yang untuk menghitung derajat kejenuhan,

$$D_j = Q/C \quad (5)$$

Dimana D_j adalah derajat kejenuhan jalan, Q adalah arus lalu lintas (skr/jam), C adalah kapasitas jalan (skr/jam).

Derajat kejenuhan akan memberikan informasi mengenai *level of service* jalan dan memiliki nilai maksimal 1 karena arus lalu lintas tidak mungkin melebihi kapasitas dari jalan.

F. Kecepatan Arus Bebas

Berdasarkan rujukan Direktorat Jendral Bina Marga (1997), kecepatan arus bebas adalah kecepatan pada tingkat arus nol, yaitu kecepatan yang akan dipilih pengemudi jika mengendarai kendaraan bermotor tanpa dipengaruhi oleh kendaraan bermotor lain di jalan [5]. Kecepatan arus bebas dibagi menjadi 3 tipe, yaitu perkotaan, luar kota, dan jalan tol.

1. Kecepatan Arus Bebas Jalan Luar Kota

Kecepatan arus bebas kendaraan ringan di jalan luar kota menggunakan persamaan (6) berikut,

$$FV = (FV_o + FV_w) * FFV_{sf} * FFV_{rc} \quad (6)$$

Dimana FV adalah kecepatan arus bebas KR kondisi lapangan (km/jam), FV_o adalah kecepatan arus bebas dasar KR (km/jam), FV_w adalah penyesuaian lebar jalur lalu-lintas efektif (km/jam), FFV_{sf} adalah faktor penyesuaian kondisi hambatan samping, FFV_{rc} adalah faktor penyesuaian untuk kelas fungsi jalan

Kecepatan arus bebas tipe kendaraan lainnya di jalan luar kota menggunakan persamaan (7) berikut,

$$FV_{MHV} = (FV_{MHV,o} - FFV) * FFV_{MHV,o}/FV_o \quad (7)$$

Dimana $FV_{MHV,o}$ adalah kecepatan arus bebas dasar MHV (km/jam), FV_o adalah kecepatan arus bebas dasar KR (km/jam), FFV adalah penyesuaian kecepatan arus bebas kendaraan ringan ($FV_o - FV$), FV adalah kecepatan arus bebas kendaraan ringan (km/jam).

2. Kecepatan Arus Bebas Jalan Bebas Hambatan

Kecepatan arus bebas kendaraan ringan di jalan bebas hambatan atau jalan tol menggunakan persamaan (8) berikut,

$$FV = FV_o + FV_w \quad (8)$$

Dimana FV adalah kecepatan arus bebas pada kondisi lapangan (km/jam), FV_o adalah kecepatan arus bebas dasar KR (km/jam), FV_w adalah penyesuaian lebar efektif jalur lalu lintas (km/jam).

Kecepatan arus bebas tipe kendaraan lainnya di jalan tol menggunakan persamaan (9) berikut,

$$FV_{MHV} = (FV_{MHV,0} + FV_w) * FV_{MHV,0}/FV_0 \quad (9)$$

Dimana $FV_{MHV,0}$ adalah kecepatan arus bebas dasar MHV (km/jam), FV_0 adalah kecepatan arus bebas dasar KR (km/jam), FV_w adalah penyesuaian kecepatan akibat lebar jalur.

G. Kecepatan Tempuh dan Waktu Tempuh

Kecepatan tempuh (V_T) didefinisikan dalam MKJI sebagai kecepatan rata-rata ruang sepanjang segmen jalan. Kecepatan tempuh merupakan fungsi dari parameter kinerja jalan, yaitu menggunakan grafik hubungan antara kecepatan (V_T) dengan arus kerapatan (D_j) [5].

Sedangkan waktu tempuh (T_T) adalah waktu total yang diperlukan oleh suatu kendaraan untuk melalui suatu panjang jalan tertentu, termasuk seluruh waktu tundaan dan waktu berhenti [5]. Berikut adalah persamaan (10) untuk menghitung waktu tempuh kendaraan di ruas jalan.

$$TT = L/V_T \quad (10)$$

Dimana TT adalah waktu tempuh rata-rata kendaraan ringan (jam), L adalah panjang segmen (km), V adalah kecepatan ruang rata-rata kendaraan ringan (km/jam).

H. Metode Pemilihan Rute atau Trip Assignment

Berdasarkan rujukan O. Z. Tamin (200), tujuan dari pemilihan rute adalah untuk memodelkan perilaku pelaku pergerakan dalam memilih rute yang menurut mereka merupakan rute terbaiknya [6]. Ada 4 metode *trip assignment* yang digunakan dalam perhitungan dalam studi kasus ini, yaitu metode Smock, metode JICA 1, metode Davidson, dan metode *Diversion Curve*.

1. Metode Smock

Menurut rujukan O. Z. Tamin (2000), metode ini membandingkan penghematan waktu dengan jarak yang dapat dihemat jika melewati salah satu dari dua rute alternatif [6].

$$t = t_0 \times \text{Exp} \left(\frac{v}{Q_s} \right) \quad (11)$$

Dimana t_0 adalah travel time per satuan jarak saat free flow, Q_s adalah kapasitas di kondisi jenuh, V adalah volume kendaraan.

2. Metode JICA 1

Menurut rujukan O. Z. Tamin (2000), model ini dikalibrasi dengan menggunakan perubah tidak bebas berupa selisih waktu tempuh jika menggunakan jalan tol dan jalan alternatif [6]. Perubah lainnya yang juga dianalisis adalah tarif tol dan nilai waktu tempuh.

$$P = a \cdot \Delta T b \quad (12)$$

$$\Delta T = A - \left(T + \frac{TR}{TV} \right) \quad (13)$$

Dimana P adalah tingkat diversi jalan tol, A adalah waktu tempuh jalan eksisting (menit), T adalah waktu tempuh jalan tol (menit), TR adalah tarif tol (Rupiah/kendaraan), TV adalah nilai waktu tempuh (Rupiah/menit), a , b adalah Paramter yang harus ditaksir.

3. Metode Davidson



Gambar 1. Diagram alir metode penelitian.

Menurut rujukan O. Z. Tamin (2000), besarnya waktu tempuh pada suatu ruas jalan sangat bergantung dari besarnya arus serta kapasitas ruas jalan tersebut, serta hubungan antara arus dengan waktu tempuh bisa dinyatakan sebagai suatu fungsi dimana jika arus meningkat maka waktu tempuh juga akan meningkat [6].

$$T_Q = T_0 \times \left[\frac{1 - (1-a)\frac{Q}{C}}{1 - \frac{Q}{C}} \right] \quad (14)$$

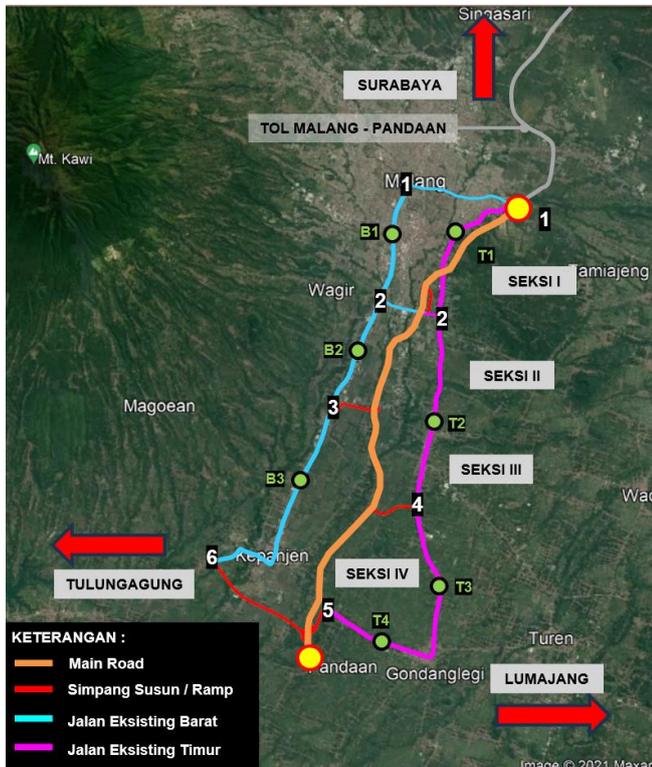
Dimana T_Q adalah waktu tempuh pada saat arus = Q , T_0 adalah waktu tempuh pada arus = 0, Q adalah arus lalu lintas, C adalah kapasitas jalan, a adalah Indeks tingkat pelayanan.

4. Metode Diversion Curve

Meurut rujukan O. Z. Tamin (2000), model ini adalah kurva yang digunakan untuk memperkirakan arus lalu-lintas yang tertarik ke jalan baru atau jalan dengan fasilitas baru [6]. Berikut adalah persamaan (15) metode Diversion Curve – California [7],

$$P = 50 + \frac{50(d+0,5t)}{\sqrt{(d-50t)^2+4,5}} \quad (15)$$

Dimana P adalah persentase kendaraan yang berpindah (%), d adalah jarak yang dihemat jika melewati alternatif baru (mil), t adalah waktu yang dihemat jika melewati alternatif baru (menit).



Gambar 2. Peta trase jalan eksisting dan jalan tol lokasi studi.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Alur analisis pemilihan rute pada penelitian ini dimulai dengan identifikasi masalah, studi literatur, pengumpulan data sekunder, analisis arus lalu lintas, forecasting atau peramalan arus lalu lintas, analisis kinerja jalan, dan diakhiri dengan analisis pemilihan rute atau trip assignment. Diagram alir metode penelitian diberikan pada Gambar 1.

A. Pengumpulan Data

Pengumpulan data perlu dilakukan untuk menunjang proses analisis ini. Data yang digunakan sebagai penunjang adalah data sekunder yang diperoleh dari instansi terkait, yaitu data pertumbuhan penduduk dan PDRB, data lalu lintas harian rata-rata, serta data geometrik jalan lokasi studi.

B. Analisis Arus Lalu Lintas

Mengonversi data sekunder Lalu Lintas Harian Rata-Rata menjadi volume jam puncak (Qjp), lalu dikonversi menjadi satuan kendaraan ringan (Qskr) dengan menggunakan ekivalensi kendaraan ringan (ekr).

C. Peramalan atau Forecasting.

Peramalan pertumbuhan lalu lintas (skr/jam) dari tahun 2020 sampai 2026 akan menggunakan persentase pertumbuhan jumlah penduduk, PDRB per Kapita, dan PDRB Lapangan Usaha dari BPS Kota dan Kabupaten Malang [8].

D. Analisis Kinerja Jalan

Menganalisis kinerja jalan untuk mengetahui Derajat Kejenuhan (Dj), Level of Service (LOS), Kecepatan Tempuh, dan Waktu Tempuh rusa jalan lokasi studi.

E. Analisis Pemilihan Rute

Menganalisis pemilihan rute dengan 4 metode, yaitu metode Smock, metode JICA 1, metode Davidson, dan

Tabel 1.
Kapasitas jalan eksisting dan jalan tol Malang – Kapanjen

Jalan	C0 (skr/jam/lajur)	FCw	FCsp	FCsf	C (skr/jam) kedua arah
Segmen B1	3100	1,08	1	0,87	2912
Segmen B2	3100	0,95	1	0,98	2901
Segmen B3	3100	0,95	1	0,98	2901
Segmen T1	3100	1,08	1	0,84	2812
Segmen T2	3100	1	1	0,88	2728
Segmen T3	3100	0,955	1	0,93	2753
Segmen T4	3100	1	1	0,91	2821
Jalan Tol	2300	1,012	-	-	9310

metode Diversion Curve. Dari ke-empat metode tersebut digunakan metode yang menghasilkan persentase perpindahan valid untuk digunakan sebagai prediksi penggunaan jalan tol.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Data Geometrik Jalan

Digunakan data geometrik jalan nasional dan jalan provinsi antara Malang – Kapanjen untuk jalan eksisting dan Jalan Tol Malang – Kapanjen untuk jalan tol rencana. Data geometrik jalan eksisting diperoleh dengan bantuan alat google earth, dan untuk data geometrik jalan tol diperoleh dari PT. Pembangunan Perumahan (Persero) Tbk. dan PT. Maratama Cipta Mandiri. Berikut adalah data geometrik Jalan Tol Malang – Kapanjen dan Gambar 2 peta trase jalan eksisting dan jalan tol dari lokasi studi.

1. Panjang Jalan = 24,9 km
2. V rencana = 80 km/jam
3. Jumlah Lajur = 2 x 2
4. Lebar Lajur = 3,60 m
5. Lebar Bahu Dalam = 1,5 m
6. Lebar Bahu Luar = 3 m
7. Lebar Median = 2,5 m
8. Rencana Operasi = 2026

Berikut adalah contoh perhitungan kapasitas Jalan Tol Malang – Kapanjen dengan persamaan (3).

$$C_0 = 2300 \text{ skr/jam/lajur}$$

$$FC_w = 1,012$$

$$FC_{sp} = 1$$

$$C = C_0 * FC_w * FC_{sp}$$

$$C = 2300 \times 1,012 \times 1 = 2328 \frac{\text{skr}}{\text{jam}} / \text{lajur}$$

$$C = 2328 \times 4 \text{ lajur} = 9310 \text{ skr/jam}$$

Tabel 1 merupakan hasil perhitungan kapasitas jalan eksisting dan jalan tol dari lokasi studi.

Dengan keterangan, Segmen B1 adalah Jalan Nasional Malang – Kedungkandang. Segmen B2 adalah Jalan Nasional Kedungkandang – Pakisaji. Segmen B3 adalah Jalan Nasional Pakisaji – Kapanjen. Segmen T1 adalah Jalan Provinsi Malang – Kedungkandang. Segmen T2 adalah Jalan Provinsi Kedungkandang – Bululawang. Segmen T3 adalah Jalan Provinsi Bululawang – Gondanglegi. Segmen T4 adalah Jalan Nasional Gondanglegi – Kapanjen. Jalan Tol adalah Jalan Tol Malang – Kapanjen.

Tabel 2.
Kecepatan arus bebas jalan eksisting dan jalan tol

Jalan	SM	KR	KBM	BB	TB	Rerata
Segmen B1	47,10	58,23	51,38	62,51	49,67	53,78
Segmen B2	50,61	62,57	55,21	67,17	53,37	57,79
Segmen B3	50,61	62,57	55,21	67,17	53,37	57,79
Segmen T1	46,01	56,89	61,07	50,20	48,52	52,54
Segmen T2	49,08	60,68	53,54	65,15	51,76	56,04
Segmen T3	50,60	62,56	55,20	67,16	53,36	57,78
Segmen T4	49,62	61,34	54,13	65,85	52,32	56,65
Jalan Tol	-	88,80	70,64	90,82	65,59	78,96

Tabel 3.
Lalu lintas harian rata-rata tahun 2020 (kend/hari)

Jalan	Gol. VI	Gol. I	Gol. II	Gol. III	Gol. IV	Gol. V
Segmen B1	3891	3181	1101	169	25	23
Segmen B2	9462	3985	1032	106	3	30
Segmen B3	9029	4164	223	21	5	14
Segmen T1	3886	4189	575	26	18	12
Segmen T2	3886	4189	575	26	18	12
Segmen T3	3886	4189	575	26	18	12
Segmen T4	23393	7494	1851	158	81	54
Jalan Tol	-	-	-	-	-	-

Berdasarkan data geometrik jalan tersebut, juga dapat dianalisis kecepatan arus bebas jalan. Kecepatan arus bebas atau *free flow* adalah kecepatan kondisi dimana hambatan akibat kendaraan lain tidak ada atau nilai $D_j = 0$. Kecepatan arus bebas dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu lebar jalur efektif, kondisi hambatan samping, dan kelas fungsi jalan dari lokasi studi.

Berikut adalah contoh perhitungan kecepatan arus bebas Jalan Tol Malang – Kapanjen dengan persamaan (7) dan (8).

1. Kendaraan Ringan (KR)

$$FV_o = 88 \text{ km/jam}$$

$$FV_w = 0,80$$

$$FV = FV_o + FV_w = 88 + 0,80 = 88,80 \text{ km/jam}$$

2. Kendaraan Berat Menengah (KBM)

$$FV_o = 88 \text{ km/jam}$$

$$FV_w = 0,80$$

$$FV_{KBM,O} = 70 \text{ km/jam}$$

$$FV_{KBM} = (FV_{KBM,O} + FV_w) * \frac{FV_{KBM,O}}{FV_o} = (70 + 0,80) * \frac{70}{88}$$

$$FV_{KBM} = 70,64 \text{ km/jam}$$

3. Bus Besar (BB)

$$FV_o = 88 \text{ km/jam}$$

$$FV_w = 0,80$$

$$FV_{KBM,O} = 90 \text{ km/jam}$$

$$FV_{KBM} = (FV_{BB,O} + FV_w) * \frac{FV_{BB,O}}{FV_o} = (90 + 0,80) * \frac{90}{88}$$

Tabel 4.
Arus lalu lintas tahun 2020 (skr/jam)

Jalan	Gol. VI	Gol. I	Gol. II	Gol. III	Gol. IV	Gol. V
Segmen B1	351	325	200	46	9	9
Segmen B2	663	403	156	28	3	8
Segmen B3	633	425	35	8	3	5
Segmen T1	351	433	105	9	6	6
Segmen T2	351	433	105	9	6	6
Segmen T3	351	433	105	9	6	6
Segmen T4	1170	757	279	40	23	15
Jalan Tol	-	-	-	-	-	-

Tabel 5.
Arus lalu lintas tahun 2026 (skr/jam)

Jalan	Gol. VI	Gol. I	Gol. II	Gol. III	Gol. IV	Gol. V
Segmen B1	475	421	283	67	15	15
Segmen B2	897	550	222	42	9	14
Segmen B3	857	578	53	14	9	11
Segmen T1	475	517	151	15	12	12
Segmen T2	475	517	151	15	12	12
Segmen T3	475	517	151	15	12	12
Segmen T4	1431	939	353	52	31	20

$$FV_{KBM} = 90,82 \text{ km/jam}$$

4. Truk Besar (TB)

$$FV_o = 65 \text{ km/jam}$$

$$FV_w = 0,80$$

$$FV_{KBM,O} = 70 \text{ km/jam}$$

$$FV_{KBM} = (FV_{TB,O} + FV_w) * \frac{FV_{TB,O}}{FV_o} = (65 + 0,80) * \frac{65}{88}$$

$$FV_{KBM} = 65,59 \text{ km/jam}$$

Tabel 2 adalah hasil perhitungan kecepatan arus bebas (*free flow*) setiap golongan kendaraan di jalan eksisting dan jalan tol sesuai dengan kondisi geometrik jalan lokasi studi.

B. Analisis Arus Lalu Lintas

Data lalu lintas menggunakan data Lalu Lintas Harian Rata-Rata (LHR) Tahun 2020 jalan nasional dan provinsi antara Malang – Kapanjen yang diperoleh dari Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, diberikan pada Tabel 3.

Dari data tersebut dicari arus lalu lintas jam puncaknya dengan mengkalikan LHR dengan factor-k, lalu mengkalikannya dengan ekuivalensi satuan kendaraan ringan (ekr) untuk setiap golongan menjadi satuan kendaraan ringan (skr). Tabel 4 adalah arus lalu lintas tahun 2020.

C. Analisis Peramalan atau Forecasting Lalu Lintas

Peramalan pertumbuhan lalu lintas atau *forecasting* pada dari tahun 2020 sampai 2026 akan dengan menggunakan persamaan (2). Untuk faktor laju pertumbuhan diambil dari persentase pertumbuhan jumlah penduduk, PDRB per Kapita, dan PDRB Lapangan Usaha dari BPS Kota dan Kab. Malang.

Pertumbuhan jumlah penduduk untuk pertumbuhan kendaraan angkutan umum dan bus, PDRB per Kapita untuk kendaraan mobil pribadi dan sepeda motor, serta PDRB Lapangan Usaha untuk kendaraan angkutan barang dan truk. Tabel 5 adalah arus lalu lintas (skr/jam) tahun 2026.

Tabel 6.

Derajat kejenuhan jalan eksisting *without project* tahun 2026

Jalan	Q (skr/jam)	C (skr/jam)	Dj	LOS
Segmen B1	1276	2912	0,44	A
Segmen B2	1734	2901	0,60	A
Segmen B3	1522	2901	0,52	A
Segmen T1	1182	2812	0,42	A
Segmen T2	1182	2728	0,43	A
Segmen T3	1182	2753	0,43	A
Segmen T4	2826	2821	1,00	F

Tabel 7.

Langkah pemetaan pembebanan lalu lintas menuju ke jalan tol

Asal	Tujuan
Jalan Nasional B1	Seksi I
Jalan Provinsi T1	Seksi I
Jalan Nasional B2	Seksi II
Jalan Nasional T4 + Jalan Provinsi T3	Seksi IV
Jalan Nasional B3	Seksi III dan IV (menerus)
Jalan Provinsi T2	Seksi II dan Seksi III (menerus)

D. Analisis Kinerja Jalan

Kondisi *without project* adalah kondisi dimana jalan tol belum beroperasi. Parameter yang dianalisis dalam kinerja jalan meliputi derajat kejenuhan (Dj), *level of service*, kecepatan tempuh, dan waktu tempuh dari segmen jalan lokasi studi.

Derajat kejenuhan jalan memberikan informasi mengenai tingkat pelayanan atau *level of service* segmen jalan. Berikut adalah contoh perhitungan Dj tahun 2026 dari Jalan Nasional Malang – Kedungkandang (B1) dengan persamaan (5).

$$Q = 1276 \text{ skr/jam}$$

$$C = 2912 \text{ skr/jam}$$

$$Dj = \frac{Q}{C} = \frac{1276}{2912} = 0,44$$

Tabel 6 adalah hasil perhitungan nilai derajat kejenuhan (Dj) dan *level of service* jalan eksisting lokasi studi.

Dengan menggunakan kecepatan arus bebas pada Tabel 2, dapat dianalisis kecepatan tempuh (V_T) tahun 2026 menggunakan grafik hubungan antara kecepatan arus bebas dengan derajat kejenuhan sesuai pada MKJI 1997 [4]. Selanjutnya dapat dianalisis untuk waktu tempuh (T_T) tahun 2026 untuk setiap golongan kendaraan dengan persamaan (10).

E. Analisis Pemilihan Rute atau Trip Assignment

Trip Assignment adalah metode untuk memprediksi berapa persentase perpindahan kendaran dari jalan eksisting Malang – Kapanjen (jalan nasional dan provinsi) menuju ke Jalan Tol Malang – Kapanjen saat mulai beroperasi di tahun 2026.

Jalan tol akan terbagi menjadi 4 zona pembagian untuk mengetahui persentase perpindahannya. Jalan Tol Malang – Kapanjen terbebani dari 2 sisi, yaitu jalan nasional di sisi barat dan jalan provinsi di sisi timur. Sehingga terdapat pemetaan langkah pembebanan dalam proses analisis *trip assignment* tercantum pada Tabel 7.

Dengan keterangan T4 dan T3 membebani Seksi IV terlebih dahulu karena arus lalu lintas lebih dari B3, lalu B3 membebani Seksi IV dan Seksi III. Selanjutnya T2

Tabel 8.

Iterasi metode smock segmen B1

Incr	Jalan Eksisting				Jalan Tol				Total Vol.	
	V1 incr	V1	V1/Qs1	t1	V2 incr	V2	V2/Qs2	t2		
0	1285,00									
1	475	475,00	475,00	0,16	7,49	0,00	0,00	0,00	17,36	475,00
2	81	81,00	556,00	0,19	7,70	0,00	0,00	0,00	17,36	556,00
3	81	81,00	637,00	0,22	7,91	0,00	0,00	0,00	17,36	637,00
4	81	81,00	718,00	0,25	8,14	0,00	0,00	0,00	17,36	718,00
5	81	81,00	799,00	0,27	8,37	0,00	0,00	0,00	17,36	799,00
6	81	81,00	880,00	0,30	8,60	0,00	0,00	0,00	17,36	880,00
7	81	81,00	961,00	0,33	8,85	0,00	0,00	0,00	17,36	961,00
8	81	81,00	1042,00	0,36	9,10	0,00	0,00	0,00	17,36	1042,00
9	81	81,00	1123,00	0,39	9,35	0,00	0,00	0,00	17,36	1123,00
10	81	81,00	1204,00	0,41	9,62	0,00	0,00	0,00	17,36	1204,00
			1285,00	0,44	9,89	0,00	0,00	0,00	17,36	1285,00
			100%			0,00	0%			9680,00

Tabel 9.

Rekapitulasi perpindahan metode Smock

Asal	Tujuan	Tidak Berpindah	Berpindah
Segmen B1	Seksi I	100 %	0 %
Segmen T1	Seksi I	100 %	0 %
Segmen B2	Seksi II	100 %	0 %
Segmen T2	Seksi II dan III (menerus)	100 %	0 %
Segmen B3	Seksi III dan IV (menerus)	100 %	0 %
Segmen T4 + T3	Seksi IV	100 %	0 %

membebani Seksi III yang telah terbebani oleh B3 dan membebani Seksi II yang telah terbebani oleh B2.

Analisis pemilihan rute ini akan menggunakan 4 metode, yaitu metode Smock, JICA 1, *Diversión Curve*, dan Davidson. Ke-4 metode tersebut dibandingkan dan digunakan metode yang menghasilkan persentase perpindahan valid.

1. Metode Smock

Berikut adalah langkah perhitungan *trip assignment* dengan menggunakan metode Smock,

1. Menentukan arus kendaraan puncak jalan eksisting (Qskr).
2. Menentukan panjang jalan eksisting dan jalan tol (L).
3. Menentukan kecepatan arus bebas jalan eks dan tol (Fv).
4. Menentukan kapasitas jalan eksisting dan jalan tol (C).
5. Menentukan *travel time* jalan eksisting dan di jalan tol (T_T).
6. Menentukan besaran volume increment.
7. Membandingkan *travel time* pada setiap iterasi

$$t = t_0 \times \text{Exp} \left(\frac{v}{Q_s} \right)$$

$$t = 6,36 \text{ menit} \times \text{Exp} \left(\frac{475 \text{ skr/jam}}{2912 \text{ skr/jam}} \right)$$

$$t = 7,49 \text{ menit}$$

Tabel 8 merupakan contoh iterasi dengan metode Smock pada segmen B1 menuju ke Seksi I.

Dengan cara yang sama, dapat dihitung persentase perpindahan untuk segmen jalan lainnya. Tabel 9 adalah rekapitulasi persentase perpindahan dengan metode Smock.

2. Metode JICA 1

Berikut adalah langkah perhitungan *trip assignment*

Tabel 10.

Persentase perpindahan kendaraan dengan metode *Diversion Curve*

Asal	Tujuan	Tidak Berpindah	Berpindah
Segmen B1	Seksi I	50,52%	49,48%
Segmen T1	Seksi I	50,50%	49,50%
Segmen B2	Seksi II	50,55%	49,45%
Segmen T2	Seksi II dan Seksi III (menerus)	50,56%	49,44%
Segmen B3	Seksi III dan Seksi IV (menerus)	50,70%	49,30%
Segmen T4 + T3	Seksi IV	49,73%	50,27%

Tabel 11.

Iterasi metode Smock segmen B1

RUTE 1 (Jalan Eks)					RUTE 2 (Jalan Tol)					Total Vol.	
Vol Incr	Vol Incr	Vol (Q)	Q/C	tq1 (mnt/mil)	T_r (mnt)	Vol Incr	Vol (Q)	Q/C	tq2 (mnt/mil)		T_r (mnt)
1.285											
0	475	475	0,16	2,15	7,62	0	0	0,00	1,23	17,37	475
1	81	81	0,19	2,22	7,88	0,0	0,0	0,00	1,23	17,37	556
2	81	81	0,22	2,30	8,16	0,0	0,0	0,00	1,23	17,37	637
3	81	81	0,25	2,39	8,46	0,0	0,0	0,00	1,23	17,37	718
4	81	81	0,27	2,48	8,78	0,0	0,0	0,00	1,23	17,37	799
5	81	81	0,30	2,58	9,13	0,0	0,0	0,00	1,23	17,37	880
6	81	81	0,33	2,69	9,51	0,0	0,0	0,00	1,23	17,37	961
7	81	81	0,36	2,80	9,93	0,0	0,0	0,00	1,23	17,37	1.042
8	81	81	0,39	2,93	10,37	0,0	0,0	0,00	1,23	17,37	1.123
9	81	81	0,41	3,07	10,87	0,0	0,0	0,00	1,23	17,37	1.204
10	81	81	0,44	3,22	11,41	0,0	0,0	0,00	1,23	17,37	1.285
100%					0%						

dengan menggunakan metode JICA 1,

- Menentukan panjang jalan eksisting dan jalan tol (L).
- Menentukan kecepatan tempuh jalan eksisting dan tol (V_T).
- Menentukan *travel time* setiap jenis kendaraan (A dan T)
- Menentukan tarif tol tahun pertama jalan tol beroperasi.
- Menentukan nilai waktu tahun pertama jalan tol beroperasi.
- Menentukan nilai ΔT atau penghematan waktu
- Menghitung persentase perpindahan (P)

Golongan I (KR)

$$\Delta T = A - \left(T + \frac{TR}{TV} \right)$$

$$\Delta T = 7,51 \text{ mnt} - \left(4,12 \text{ mnt} + \frac{Rp 9.000,00/kend}{Rp 869,44/mnt/kend} \right)$$

$$\Delta T = -8,09 \text{ menit}$$

Untuk metode JICA 1 menghasilkan persentase perpindahan tidak valid karena nilai penghematan waktunya (ΔT) adalah negatif, sehingga P bernilai tak hingga.

3. Metode *Diversion Curve*

Berikut adalah langkah perhitungan *trip assignment* dengan menggunakan metode *Diversion Curve*,

- Menentukan panjang jalan eksisting dan jalan tol (L).
- Menentukan *travel time* di jalan eksisting dan tol (V_T).
- Menentukan selisih jarak dalam satuan mil (d) dan waktu (t) antara jalan eksisting dan jalan tol.
- Menentukan persentase perpindahan (P).

$$P = 50 + \frac{50(d+0,5t)}{\sqrt{(d-50t)^2+4,5}}$$

$$P = 50 + \frac{50(-0,249+0,5(-11,00))}{\sqrt{(-0,249-50(-11,00))^2+4,5}}$$

Tabel 12.

Rekapitulasi perpindahan metode Davidson

Asal	Tujuan	Tidak Berpindah	Berpindah
Segmen B1	Seksi I	100 %	0 %
Segmen T1	Seksi I	100 %	0 %
Segmen B2	Seksi II	100 %	0 %
Segmen T2	Seksi II dan III (menerus)	100 %	0 %
Segmen B3	Seksi III dan IV (menerus)	100 %	0 %
Segmen T4 + T3	Seksi IV	50,55%	49,45%

P = 49,48% (berpindah)

P = 50,52% (tetap)

Dengan cara yang sama, dapat dihitung persentase perpindahan untuk segmen jalan lainnya. Tabel 10 adalah rekap persentase perpindahan metode *Diversion Curve*.

4. Metode Davidson

$$T_Q = T_0 \times \left[\frac{1-(1-a)\frac{Q}{C}}{1-\frac{Q}{C}} \right]$$

Berikut adalah langkah perhitungan *trip assignment* dengan menggunakan metode Davidson,

- Menentukan arus kendaraan puncak jalan eksisting (Q_{skr}).
- Menentukan besaran volume increment.
- Menentukan panjang jalan eksisting dan jalan tol (L).
- Menentukan kecepatan arus bebas jalan eks dan tol (F_v).
- Menentukan kapasitas jalan eksisting dan jalan tol (C).
- Menentukan *travel time* per satuan jarak.

$$t_0 = \frac{1}{\text{kecepatan} \left(\frac{\text{mil}}{\text{menit}} \right)}$$

$$t_0 \text{ Jalan Eksisting B1} = \frac{1}{0,556} = 1,7996 \text{ menit/mil}$$

$$t_0 \text{ Jalan Tol Seksi I} = \frac{1}{0,816} = 1,2256 \text{ menit/mi}$$

- Menentukan besarnya nilai *travel time* per satuan jarak (T_Q)

$$T_Q \text{ Jalan Eksisting B1} = t_0 \times \left(\frac{1-(1-a)x\frac{Q}{C}}{1-\frac{Q}{C}} \right) =$$

$$1,79 \times \left(\frac{1-(1-1)x\frac{475}{2912}}{1-\frac{475}{2912}} \right) = 2,15 \text{ mnt/mil}$$

$$T_Q \text{ Jalan Tol Seksi I} = t_0 \times \left(\frac{1-(1-a)x\frac{Q}{C}}{1-\frac{Q}{C}} \right) =$$

$$1,2 \times \left(\frac{1-(1-0,1)x\frac{0}{9310}}{1-\frac{0}{9310}} \right) = 1,23 \text{ mnt/mil}$$

- Menentukan *travel time* jalan eksisting dan jalan tol

$$TT \text{ Jalan Eksisting B1} = T_Q \times L \text{ jalan (mil)} = 2,15 \times 3,54 \text{ mil} = 7,62 \text{ menit}$$

$$TT \text{ Jalan Tol Seksi I} = T_Q \times L \text{ jalan (mil)} + TT \text{ Akibat Tarif Tol} = 1,23 \times 3,79 \text{ mil} + 12,73 \text{ menit} = 17,37 \text{ menit}$$

Tabel 13.
Rekapitulasi hasil perpindahan ke jalan tol Malang – Kepanjen metode *Diversion Curve*

Asal	Tujuan	Tidak Berpindah	Berpindah
Jalan Nasional (B1)	Seksi I	50,52%	49,48%
Jalan Provinsi (T1)	Seksi I	50,50%	49,50%
Jalan Nasional (B2)	Seksi II	50,55%	49,45%
Jalan Provinsi (T2)	Seksi II dan III (menerus)	50,56%	49,44%
Jalan Nasional (B3)	Seksi III dan IV (menerus)	50,70%	49,30%
Jalan Nasional (T4) + Jalan Provinsi (T3)	Seksi IV	49,73%	50,27%

i. Membandingkan travel time setiap iterasi, diberikan pada Tabel 11.

Dengan cara yang sama, dapat dihitung persentase perpindahan untuk segmen jalan lainnya. Tabel 12 adalah rekapitulasi persentase perpindahan metode Davidson.

Berdasarkan analisis pemilihan rute menggunakan keempat metode tersebut, dihasilkan bahwa metode Smock tidak menghasilkan perpindahan menuju ke jalan tol, metode JICA 1 tidak bisa digunakan karena perpindahan tak hingga, dan metode Davidson menghasilkan perpindahan yang tidak merata (hanya terjadi perpindahan di 1 seksi jalan tol). Sehingga metode *Diversion Curve* yang menghasilkan perpindahan merata dapat digunakan untuk analisis pemilihan rute pada studi kelayakan investasi Jalan Tol Malang – Kepanjen.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Pertama, berdasarkan analisis geometrik jalan, diperoleh kapasitas jalan (C) pada Jalan Nasional dan Jalan Provinsi antara Malang – Kepanjen dan Jalan Tol Malang – Kepanjen adalah sebagai berikut, (1) Kapasitas Segmen B1 = 2912 skr/jam. (2) Kapasitas Segmen B2 = 2901 skr/jam. (3) Kapasitas Segmen B3 = 2901 skr/jam. (4) Kapasitas Segmen T1 = 2812 skr/jam. (5) Kapasitas Segmen T2 = 2728 skr/jam. (6) Kapasitas Segmen T3 = 2754 skr/jam. (7) Kapasitas Segmen T4 = 2821 skr/jam. (8) Kapasitas Jalan Tol = 9310 skr/jam.

Kedua, berdasarkan analisis kinerja jalan, diperoleh besar derajat kejenuhan (Dj) pada Jalan Nasional dan Jalan Provinsi antara Malang – Kepanjen di tahun 2026 sebelum Jalan tol Malang – Kepanjen beroperasi adalah sebagai berikut, (1) Dj Segmen B1 = 0,44. (2) Dj Segmen B2 = 0,60. (3) Dj Segmen B3 = 0,52. (4) Dj Segmen T1 = 0,42. (5) Dj Segmen T2 = 0,43. (6) Dj Segmen T3 = 0,43. (7) Dj Segmen T4 = 1,00.

Ketiga, Metode *Diversion Curve* merupakan metode pemilihan rute yang untuk studi kelayakan Jalan Tol Malang

– Kepanjen. Dalam studi kelayakan investasi Jalan Tol Malang – Kepanjen digunakan metode *Diversion Curve* untuk analisis pemilihan rute karena hasil metode Smock tidak terjadi perpindahan, perpindahan metode JICA 1 tidak valid, dan metode Davidson perpindahan kendaraan tidak merata hanya terjadi di 1 seksi jalan tol, sedangkan di seksi lain tidak berpindah, diberikan pada Tabel 13.

B. Saran

Hasil analisis pemilihan rute menunjukkan bawah angka perpindahan dari jalan eksisting menuju ke jalan tol berkisar di angka 49% - 51% yang berarti cukup tinggi. Sehingga memiliki potensi pemasukan tarif tol yang menguntungkan bagi investor. Oleh karena itu Jalan Tol Malang – Kepanjen dapat segera dibangun supaya dapat memberikan manfaat ekonomi kepada Masyarakat dan secara finansial juga menguntungkan bagi investor yang memprakarsai rencana pembangunan Jalan Tol Malang – Kepanjen ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia, PT. Pembangunan Perumahan (Persero) Tbk., dan PT. Maratama Cipta Mandiri yang telah membantu penulis dalam memperoleh data yang dibutuhkan untuk analisis studi ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. F. A. Sari, "Perencanaan Ulang Pembangunan Jalan Tol Pandaan - Malang Ditinjau dari Segi Ekonomi dan Finansial," Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2019.
- [2] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, "Modul 1 Pemahaman Umum Studi Kelayakan Proyek Infrastruktur," Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia. Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi, Bandung, 2017.
- [3] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, "Modul 3 Kelayakan Ekonomi," Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia. Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi, Bandung, 2017.
- [4] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, "Modul 5 Kelayakan Finansial," Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia. Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi, Bandung, 2017.
- [5] Direktorat Jendral Bina Marga, "Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI)," Direktorat Jendral Bina Marga, Jakarta, 1997.
- [6] O. Z. Tamin, *Perencanaan & Pemodelan Transportasi*. Bandung: Penerbit ITB, 2000. ISBN: 979-9299-10-1.
- [7] K. Moskowitz, *California Method of Assigning Diverted Traffic to Proposed Freeways*. California: California Division of Highways, 1956.
- [8] Badan Pusat Statistik Kota Malang dan Kabupaten Malang, "Data Pertumbuhan Penduduk, PDRP per Kapita, dan PDRB Lapangan Usaha," Badan Pusat Statistik Kota Malang dan Kabupaten Malang, Malang, 2020.