



Andreas Welem Koreh<sup>1</sup>  
 Anita Kurniati  
 Alachmad Lamdu<sup>2</sup>

## ANALISIS KINERJA SIMPANG TAK BERSINYAL PADA JALAN WJ LALAMENTIK DAN JALAN PERINTIS KEMERDEKAAN I KOTA KUPANG

### Abstrak

Persimpangan merupakan bagian jalan yang menjadi pusat pertemuan dari berbagai pergerakan arus lalu lintas. Hal tersebut menyebabkan sering terjadinya konflik antara arus dari jurusan yang berlawanan dan saling memotong. Simpang w. j. lalamentik dan jalan perintis kemerdekaan I merupakan salah satu dari simpang tiga tak bersinyal yang ada di Kota Kupang, simpang ini terletak pada tata guna lahan campuran yang menyebabkan banyaknya volume lalu lintas yang melintasi simpang ini, selain itu pengoperasian simpang ini tidak didukung dengan pengaturan simpang yang baik yang mengakibatkan sering terjadi konflik kendaraan, kemacetan, tundaan dan antrian kendaraan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana kinerja simpang sehingga diharapkan dapat memberikan solusi alternatif dari permasalahan yang terjadi. Metode pengolahan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode analisis kuantitatif dengan menggunakan metode perhitungan simpang tak bersinyal dengan MKJI 1997. Hasil analisis menunjukkan bahwa kapasitas simpang tiga tak bersinyal di Simpang w. j. lalamentik dan jalan perintis kemerdekaan adalah 2758.2427 smp/jam, nilai derajat kejenuhan (DS) adalah  $0.88 > 0,75$  nilai yang ditetapkan oleh MKJI, tundaan simpang sebesar 15.14 det/smp dan peluang antrian (QP) 31,40%- 61,98% hasil perhitungan tersebut menunjukkan bahwa arus lalu lintas pada simpang ini menimbulkan kepadatan dan kerapatan kendaraan yang mengganggu kenyamanan berlalulintas maka dari itu perlu dilakukan perhitungan ulang dengan berbagai alternatif agar nilai DS memenuhi persyaratan Manual Kapasitas Jalan Indonesia yaitu  $< 0,75$ .

**Kata Kunci:** Simpang, Kinerja, MKJI 1997

### Abstract

An intersection is a section of road that is the meeting center of various traffic flow movements. This causes frequent conflicts between flows from opposite directions and intersecting each other. The intersection of W. J. Lalamentik and Jalan Perintis Independence I is one of the three unsignalized intersections in Kupang City, this intersection is located in a mixed land use which causes a large volume of traffic to cross this intersection, besides that the operation of this intersection is not supported by a good intersection arrangement which results in frequent vehicle conflicts, congestion, delays and vehicle queues. This research was conducted to find out how the performance of the intersection so that it is expected to provide alternative solutions to the problems that occur. The data processing method used in this research is quantitative analysis method using the calculation method of unsignalized intersection with MKJI 1997. The results of the analysis show that the capacity of the three unsignalized intersection at the W. J. Lalamentik Intersection and Independence Pioneer Road is 2758.2427 smp / hour, the degree of saturation (DS) value is  $0.88 > 0.75$  value set by MKJI, the intersection delay is 15.14 sec/smp and queuing opportunities (QP) 31.40% - 61.98% the results of these calculations show that the traffic flow at this intersection causes density and density of vehicles that interfere with the comfort of traffic, therefore it is necessary to recalculate with various alternatives so that the DS value meets the requirements of the Indonesian Road Capacity Manual, namely  $< 0.75$ .

**Keywords:** Intersection, Performance, MKJI 1997

<sup>1,2)</sup> Universitas Citra Bangsa  
 email: andrekoreh89@gmail.com, nitalamdu@gmail.com

## PENDAHULUAN

Persimpangan merupakan salah satu elemen utama dalam sistem transportasi jalan raya yang menjadi titik pertemuan dari berbagai arus lalu lintas. Di Indonesia, kondisi persimpangan yang tidak dikelola dengan baik sering kali menjadi sumber konflik lalu lintas, kemacetan, tundaan, hingga kecelakaan. Menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) tahun 1997, pengaturan persimpangan yang optimal sangat penting untuk memastikan kelancaran arus lalu lintas serta keselamatan pengguna jalan (MKJI, 1997). Salah satu persimpangan yang menghadapi tantangan tersebut adalah Simpang W. J. Lalamentik dan Jalan Perintis Kemerdekaan I di Kota Kupang. Persimpangan ini, meskipun berada di kawasan tata guna lahan campuran yang strategis, tidak dilengkapi dengan sistem pengaturan sinyal lalu lintas yang memadai.

Kondisi lalu lintas di persimpangan ini menunjukkan volume kendaraan yang tinggi akibat mobilitas di kawasan tersebut. Akibatnya, sering terjadi konflik antar kendaraan, kemacetan, dan tundaan yang berdampak pada kenyamanan dan keamanan pengguna jalan. Studi oleh Setiadji et al. (2020) menunjukkan bahwa konflik kendaraan di persimpangan tanpa sinyal dapat meningkatkan peluang kecelakaan hingga 30%, terutama pada jam puncak lalu lintas. Dengan menggunakan metode kuantitatif berbasis MKJI 1997, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja simpang serta memberikan alternatif solusi yang dapat mengatasi permasalahan ini.

Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi data primer dan sekunder. Data primer mencakup survei volume lalu lintas, pengukuran geometrik simpang, serta observasi kondisi lingkungan. Sementara itu, data sekunder diperoleh dari Biro Pusat Statistik (BPS) Kota Kupang terkait jumlah penduduk serta tingkat pertumbuhan kota. Dengan mengintegrasikan data-data tersebut, penelitian ini berupaya mengidentifikasi faktor penyebab permasalahan lalu lintas di simpang W. J. Lalamentik dan Jalan Perintis Kemerdekaan I, serta memberikan rekomendasi berbasis kebijakan teknis dan tata kelola transportasi.

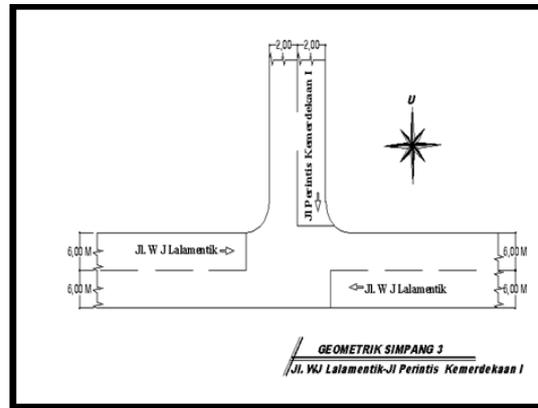
Hasil analisis menunjukkan bahwa kapasitas persimpangan mencapai 2758,24 smp/jam, dengan derajat kejenuhan (DS) sebesar 0,88 yang melebihi ambang batas 0,75 menurut MKJI 1997. Selain itu, tundaan rata-rata mencapai 15,14 detik/smp, sedangkan peluang antrian (QP) berada pada kisaran 31,40% hingga 61,98%. Angka-angka ini menunjukkan bahwa arus lalu lintas di persimpangan tersebut sudah berada di luar kapasitas optimal, sehingga diperlukan upaya rekayasa lalu lintas yang komprehensif. Studi sebelumnya oleh Santoso dan Harahap (2019) mengungkapkan bahwa pengaturan sinyal lalu lintas serta pelebaran pendekat dapat menurunkan derajat kejenuhan hingga 20% pada persimpangan serupa.

Berdasarkan hasil tersebut, penelitian ini merekomendasikan sejumlah alternatif solusi, antara lain penerapan sistem sinyal lalu lintas adaptif, pelebaran jalan pada pendekat mayor, serta pengaturan ulang tata guna lahan di sekitar persimpangan. Implementasi solusi ini diharapkan tidak hanya dapat menurunkan derajat kejenuhan, tetapi juga meningkatkan kenyamanan dan keselamatan pengguna jalan di Kota Kupang. Penelitian ini memberikan kontribusi penting terhadap pengembangan sistem transportasi di Indonesia, khususnya dalam menghadapi tantangan urbanisasi yang semakin kompleks.

## METODE

Penelitian ini dilakukan pada Simpang w. j. lalamentik dan jalan perintis kemerdekaan I, yang pengoperasiannya tidak diatur oleh lampu lalu lintas, pemilihan simpang ini karena pada simpang tersebut sering terjadi permasalahan yang salah satunya konflik kendaraan yang menyebabkan permasalahan lalu lintas Data dalam penelitian ini meliputi data primer dan data sekunder. Data primer dalam penelitian ini meliputi: Pengamatan pengukuran geometrik simpang, Pengamatan kondisi lingkungan, Survei volume lalulintas. Data sekunder diperoleh dengan menginventarisasi data yang merujuk pada data dari instansi terkait meliputi data pertumbuhan jumlah penduduk di kota Kupang yang di dapat dari website dari Biro Pusat Statistik (BPS). Metode pengolahan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode analisis kuantitatif, dengan menggunakan metode perhitungan simpang tak bersinyal dengan MKJI 1997.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**  
**Kondisi Eksisting**



Gambar 1 Geometri Simpang jalan w. j. lalamentik dan jalan perintis kemerdekaan I

**Kondisi arus Lalu Lintas**

Berdasarkan data pergerakan arus lalu lintas pada gambar diatas, maka arus pada gambar tersebut merupakan arus jam puncak siang yang akan dilakukan konversi ke satuan mobil penumpang, dengan mengalikan arus lalu lintas kendaraan/jam degan mengalikan ekuivalensi mobil penumpang. Dari hasil analisis pergerakan arus lalu lintas, diperoleh arus lalu lintas jam puncak Simpang 3 Jalan w. j. lalamentik dan jalan perintis kemerdekaan I dapat dilihat pada tabel 1

Tabel 1. Ringkasan jam puncak Simpang 3 Jalan w. j. lalamentik dan jalan perintis kemerdekaan I

No	Pendekat	Arah	Kend. Ringan LV	Kend. Berat HV	Sepeda Motor MC	Kend. bermotor total MV		Kend. Tak Bermot or UM Kend/jam
			Smp/jam	Smp/jam	Smp/jam	Smp/jam	Rasio Belok	
			(4)	(6)	(8)	(10)	(11)	
6	Utara (jalan perintis kemerdekaan I)	LT	111	13	450	574	0.591	0
8		RT	95	39	263.5	397.5	0.409	0
9		Total	206	52	713.5	971.5		0
10	<b>Jl. Minor Total A</b>		<b>206</b>	<b>52</b>	<b>713.5</b>	<b>971.5</b>		<b>0</b>
11	Timur (w. j. lalamentik)	LT	115	39	350	504	0.754	0
12		ST	35	19.5	110	164.5		2
14		Total	150	58.5	460	668.5		2
16	Barat (w. j. lalamentik)	ST	100	19.5	340	459.5		0
17		RT	54	0	286.5	340.5	0.426	0
18		Total	154	19.5	626.5	800		0
19	<b>Jl. Utama Total B-D</b>		<b>304</b>	<b>78</b>	<b>1086.5</b>	<b>1468.5</b>		<b>2</b>
20	Utama+Minor	LT	226	52	800	1078	0.442	0
21		St	135	39	450	624		2
22		RT	149	39	550	738	0.302	0
23	Utama+Minor Total		510	130	1800	2440	0.744	2
Rasio Jl.Minor / (Jl.Utama+Jl.Minor)Total						0.398	UM/MV	0.000

Sumber: Hasil Analisis,2022

**Analisa Simpang**

Analisis kinerja simpang tak bersinyal Simpang 3 Jalan w. j. lalamentik dan jalan perintis kemerdekaan I dihitung dengan metode analisis Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI).

- a. Dari Hasil Pengukuran Geomerik simpang maka lebar pendekat rata-rata  $W_{AC}, W_{BD}$  dan lebar pendekat simpang rata-rata  $W_1$  untuk simpang 3 tak bersinyal Jalan w. j. lalamentik dan jalan perintis kemerdekaan I
  - Jalan Minor C  
 $W_{AC} = 4 (< 5,5) = 2$  Lajur
  - Jalan Mayor BD

$$W_{BD} = \frac{(W_B + W_D)}{2}$$

$$= \frac{(6+6)}{2}$$

$$= 6 \text{ m } \sim (< 5,5) = 2 \text{ Lajur}$$

$$W_1 = \frac{(W_a + W_c + W_D)}{\text{jumlah lengan simpang}}$$

$$= \frac{(4 + 6 + 6)}{3}$$

$$= 4,6 \text{ m}$$

Tipe simpang persimpangan simpang 3 tak bersinyal Simpang 3 jalan w. j. lalamentik dan jalan perintis kemerdekaan I tersebut adalah simpang 322M (simpang dengan 3 pendekat, 2 lajur jalan minor dan 2 lajur jalan mayor).

b. Kapasitas Dasar ( $C_0$ )

Dengan tipe simpang 322 M, maka nilai kapasitas dasar persimpangan ini adalah 2700 (smp/jam)

c. Faktor Penyesuaian Lebar Pendekat ( $F_W$ )

Untuk simpang tipe 322, maka faktor penyesuaian lebar pendekat ( $F_W$ ) dihitung sebagai berikut.

$$F_W = 0,73 + 0,76 \cdot W_1$$

$$F_W = 0,73 + 0,76 \cdot 4,6$$

$$F_W = 1,085$$

d. Faktor Penyesuaian Median Jalan Utama ( $F_M$ )

Nilai  $F_M$  adalah 1,00 karena pada Geometri Simpang 3 jalan w. j. lalamentik dan jalan perintis kemerdekaan I, tidak memiliki median jalan

e. Faktor Penyesuaian Ukuran Kota ( $F_{CS}$ )

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik Kota Kupang pada tahun 2018, jumlah penduduk Kota Kupang adalah sebesar 423.800 jiwa, ukuran Kota Kupang termasuk kategori sedang (0,5 – 1,0 juta jiwa). Maka faktor penyesuaian Kota Kupang sebesar 0,88.

f. Faktor Penyesuaian Tipe Lingkungan Jalan, Hambatan Samping dan Kendaraan Tak Bermotor ( $F_{RSU}$ )

g. Tipe lingkungan pada persimpangan ini merupakan areal komersial, dengan kelas hambatan samping sedang dengan rasio kendaraan tak bermotor 0.001. Maka dari itu,  $F_{RSU} = 0,94$ .

h. Faktor Penyesuaian Belok Kiri ( $F_{LT}$ )

Faktor penyesuaian belok kiri pada simpang Kota Kupang dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$F_{LT} = 0,84 + 1,61 \times P_{LT}$$

$$F_{LT} = 0,84 + 1,61 \times 0,442$$

$$F_{LT} = 1,55$$

i. Faktor Penyesuaian Belok Kanan ( $F_{RT}$ )

Faktor penyesuaian belok kiri pada simpang Kota Kupang dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$F_{RT} = 1,09 - 0,922 \times P_{RT}$$

$$F_{RT} = 1,09 - 0,922 \times 0,302$$

$$F_{RT} = 0,811$$

j. Faktor Penyesuaian Rasio Arus Jalan Minor ( $F_{MI}$ )

Faktor penyesuaian rasio arus jalan minor untuk simpang 322, perhitungan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$F_{MI} = 1,19 \times P_{MI}^2 - 1,19 \times P_{MI} + 1,19$$

$$F_{MI} = 1,19 \times 0,398^2 - 1,19 \times 0,398 + 1,19$$

$$F_{MI} = 0,905$$

k. Menghitung Kapasitas Sesungguhnya ( $C$ )

Setelah diketahui data-data yang diperlukan, maka nilai kapasitas sesungguhnya

dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$C = C_{OX} \times F_W \times F_M \times F_{CS} \times F_{RSU} \times F_{LT} \times F_{RT} \times F_{MI}$$

$$= 2700 \times 1,085 \times 1,00 \times 0,88 \times 0,94 \times 1,55 \times 0,811 \times 0,905$$

$$= 2758.2427 \text{ smp/jam}$$

Sehingga didapat kapasitas simpang 3 tak bersinyal Jalan jalan w. j. lalamentik dan jalan perintis kemerdekaan I adalah  $C = 2758.2427$  smp/jam. Tabel hasil perhitungan Kapasitas seperti pada tabel 2 dibawah ini

Tabel 2 hasil Perhitungan Kapasitas

Pilihan	Faktor penyesuaian kapasitas (F)								Kapasitas (C) smp/jam
	Kapasitas Dasar CO smp/jam	Lebar pendekat rata-rata	Median jalan utama	Ukuran kota	Hambatan samping	Belok kiri	Belok kanan	Rasio minor/total	
		$F_W$	$F_M$	$F_{CS}$	$F_{RSU}$	$F_{LT}$	$F_{RT}$	$F_{MI}$	
1	2700	1.085	1.00	0.88	0.94	1.55	0.811	0.905	2758.2427

Sumber: Hasil Analisis,2022

Tabel diatas menunjukkan kapasitas simpang 3 tak bersinyal Jalan w. j. lalamentik dan jalan perintis kemerdekaan I untuk jam puncak siang adalah  $C = 2279,1532$  smp/jam. Langkah selanjutnya adalah menganalisis perilaku lalu-lintas. Berikut merupakan Tabel yang menunjukkan kinerja simpang 3 tak bersinyal Jalan w. j. lalamentik dan jalan perintis kemerdekaan I pada jam puncak.

**Perilaku Lalu Lintas**

*Derajat Kejenuhan (DS)*

Derajat kejenuhan (DS) simpang 3 tak bersinyal Jalan w. j. lalamentik dan jalan perintis kemerdekaan I (jam puncak Siang) dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$DS = \frac{Q \text{ total}}{C}$$

$$DS = \frac{2440}{2758.2427}$$

$$DS = 0,885 > 0,75 \text{ (MKJI)}$$

Hal ini,menunjukkan bahwa volume lalu lintas pada persimpangan yang bersangkutan sudah melebihi kapasitas dari persimpangan itu sendiri. Maka dari itu perlu diterapkan suatu alternatif yang dapat menanggulangi masalah ini.

*Tundaan (D)*

Tundaan Rata-Rata Untuk Seluruh Simpang ( $DT_I$ ) Berdasarkan hubungan empiris antara tundaan (D) dan derajat kejenuhan (DS), untuk  $DS > 0,75$  dapat juga diketahui dari rumus.

$$DT_I = \frac{1,0504}{(0,2742 - 0,2042 \times DS)} - (1 - DS) \times 2$$

Maka didapat.  $DT_I = 11,00$  dtk/smp

Tundaan Rata-Rata Untuk Jalan Mayor ( $D_{MA}$ )

Tundaan rata-rata jalan mayor ( $D_{MA}$ ) ditentukan dengan rumus.

$$D_{MA} = \frac{1,05034}{(0,346 - 0,246 \times DS)} - (1 - DS) \times 1,8$$

$$D_{MA} = 7.97 \text{ dtk/smp}$$

Tundaan Rata-Rata Untuk Jalan Minor ( $DT_{MI}$ )

Tundaan rata-rata minor ditentukan berdasarkan tundaan rata-rata seluruh simpang dan tundaan rata-rata jalan mayor.

$$DT_{MI} = \frac{Q_{total} \times D_{TI} - Q_{MA} \times D_{MA}}{Q_{MI}}$$

$DT_{MI} = 15,57 \text{ dtk/smp}$   
 Tundaan Geometri Simpang ( $D_G$ )  
 Untuk  $DS < 1.0$ , (Lihat rumus 2.13)  
 $D_G = (1 - DS) \times (PT \times 6 + (1 - PT) \times 3) + DS \times 4 \text{ (det/smp)}$   
 $= 4,14 \text{ detik/smp}$   
 Tundaan Simpang ( $D$ )  
 $D = D_G + DT_1 \text{ (detik/smp)}$   
 $D = 11 + 4,14$   
 $D = 15,14 \text{ detik/smp}$   
 Tundaan yg terjadi pada simpang 3 tak bersinyal jalan w. j. lalamentik dan jalan perintis kemerdekaan I mendapatkan nilai 15,14 detik/smp.

*Peluang Antrian (QP%)*

Batas nilai peluang antrian (QP%) ditentukan dari hubungan empiris antara peluang antrian (QP%) dan derajat kejenuhan (DS). Variabel masukan adalah derajat kejenuhan (DS) yang kemudian dimasukkan ke dalam rumus bawah ini.

- $QP\% \text{ (Batas Atas)} = 47,71 \times DS - 24,68 \times (DS)^2 + 56,47 \times (DS)^3$
- $QP\% \text{ (Batas Bawah)} = 9,02 \times DS + 20,66 \times (DS)^2 + 10,49 \times (DS)^3$

Didapat peluang Antrian (QP %) batas atas batas bawah pada simpang simpang 3 tak bersinyal jalan w. j. lalamentik dan jalan perintis kemerdekaan I

Batas Atas = 61.98 %

Batas Bawah = 31.40 %

Tabel 3 Ringkasan kinerja simpang 3 tak bersinyal Jalan w. j. lalamentik dan jalan perintis kemerdekaan I pada jam puncak

	Q total	C		D	QP
Jam Puncak	(smp/jam)	(smp/jam)	DS	dtk/smp	%
	2440	2758.2427	0,885	15,14	61.98 – 31.40
Syarat			<b>DS &lt; 0,75</b>		

Sumber: Hasil Analisis, 2022

Pada analisis kinerja simpang tak bersinyal kondisi Eksisting didapat perilaku lalu lintas nilai DS adalah  $0,885 > 0,75$  nilai yang ditetapkan oleh MKJI, yang menunjukkan bahwa arus lalu lintas pada simpang ini menimbulkan kepadatan dan kerapatan kendaraan, sehingga mengganggu kenyamanan berlalulintas. Pada analisis tundaan simpang (D) pada kondisi awal perilaku lalu lintas simpang *existing*, perilaku lalu lintas mempunyai nilai tundaan sebesar 15.14 det/smp. Pada kondisi ini dapat di kategorikan tidak bermasalah karena tidak melebihi nilai tundaan dari nilai batas MKJI 1997 yaitu diatas 35 detik/smp. Peluang antrean yang terjadi berdasarkan analisis yang menggunakan nilai emp dari MKJI 1997 di simpang 3 tak bersinyal jalan w. j. lalamentik dan jalan perintis kemerdekaan I pada kondisi awal perilaku lalulintas simpang *existing* adalah  $Q_{pa} = a$ ,  $Q_{pb} = 31,40\%$  ,Peluang antrean pada jam puncak simpang Jalan w. j. lalamentik dan jalan perintis kemerdekaan I melampaui 35% (nilai batas yang diberikan MKJI) sehingga diindikasikan terjadinya antrean yang cukup besar.

**SIMPULAN**

Kapasitas simpang tiga tak bersinyal pada persimpangan Jalan W. J. Lalamentik dan Jalan Perintis Kemerdekaan I tercatat sebesar 2758,2427 smp/jam. Berdasarkan hasil analisis kinerja simpang tak bersinyal dalam kondisi eksisting, diperoleh nilai derajat kejenuhan (DS) sebesar 0,88, yang melebihi ambang batas 0,75 sesuai dengan standar MKJI. Hal ini menunjukkan bahwa arus lalu lintas di persimpangan tersebut menimbulkan kepadatan dan kerapatan kendaraan, sehingga mengganggu kenyamanan pengguna jalan. Selain itu, tundaan simpang tercatat sebesar 15,14 detik per smp, dengan peluang antrian (QP) berada pada kisaran 31,40% hingga 61,98%.

**DAFTAR PUSTAKA**

Departemen P,U., 1997. Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI). Departemen Pekerjaan

- Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, Jakarta.  
Departemen Perhubungan. 2006. Manajemen Dan Rekayasa Lalu Lintas di Jalan, Peraturan Menteri Pehubunga. Jakarta.
- Johan, T. (2020). Evaluasi Kinerja Persimpangan Tak Bersinyal Menggunakan MKJI. *Jurnal Teknik Sipil*, 12(1), 45-56.
- Jotin Khisty, C. dan Kent Lall, B. 2005. Dasar-dasar Rekayasa Transportasi Jilid1. Edisi Ke-3 (terjemahan), Erlangga. Jakarta.
- Mahendra, IPG. 2009. Analisis Kinerja Simpang Tak Bersinyal Dan Ruas Jalan di Kota Denpasar (studi kasus: simpang jalan Gatot Subroto – jalan Mulawarman - jalan Mataram dan jalan Ahmad Yani – jalan Mulawarman). Tugas Akhir. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik. Universitas Udayana
- Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI). (1997). Pedoman Analisis Kinerja Jalan dan Persimpangan. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum
- Morlok, E.K., 1991. Pengantar Teknik dan Perencanaan Transportasi. Terjemahan Johan K. Hainim. Penerbit Erlangga, Jakarta
- Rothenberg, M. (2019). Traffic flow and intersection conflicts. *Transportation Journal*, 45(3), 211-223.