

PENINGKATAN KINERJA SIMPANG BERSINYAL ARHANUD DI KOTA BATU

IMPROVING THE PERFORMANCE OF THE ARHANUD SIGNALIZED INTERSECTION IN BATU CITY

Suci Faizurizqi¹, Ricko Yudhanta², dan Juliaman Pangaribuan³

Politeknik Transportasi Darat Indonesia – STTD

Jl. Raya Setu No. 89, Cibuntu, Bekasi, Jawa Barat 17520

sucirizqi19@gmail.com

Abstract

A road intersection is a meeting or intersection between two or more roads that have the same or different characteristics, each intersection has different traffic movements depending on the characteristics of the roads that meet. Intersections can cause traffic problems such as long queues of vehicles and long vehicle delays at each intersection due to receiving a red signal which results in a long travel time. The intersection studied in this research is the Arhanud intersection. To create optimal intersections and the smooth running of vehicles when crossing intersections with the hope of reducing conflicts and congestion caused by the large volume of passing vehicles. This study aims to create optimal intersection performance and the smoothness of vehicles when crossing intersections in the hope of reducing conflicts and congestion caused by the large volume of passing vehicles. The method used in this research is a quantitative descriptive method. The results of this study are an analysis of existing performance, Simpang Empat Arhanud Kota Batu has the highest level of service (Degree of Saturation) of 0.88 in the western approach, the longest queue is 62.86 meters, and the average intersection delay is 43.30 sec/pcu. Based on the proposed performance analysis, the degree of saturation is 0.59 for the west approach, the queue length is 28.57 meters and the average intersection delay is 13.94 sec/pcu. Based on the results of the proposed conditions for the Arhanud Empat Intersection in Batu City, it is necessary to increase the optimal intersection performance with phase changes and time cycle adjustments.

Keywords : *Intersection, Degree of Saturation, Delay, Queue Length*

Abstrak

Persimpangan jalan merupakan pertemuan atau perpotongan antara dua atau lebih ruas jalan yang memiliki karakteristik yang sama maupun berbeda, setiap persimpangan memiliki pergerakan lalu lintas yang berbeda tergantung karakteristik jalan yang dipertemukan. Persimpangan dapat menimbulkan permasalahan lalu lintas seperti panjangnya antrian kendaraan dan lamanya tundaan kendaraan di masing-masing simpang akibat mendapat sinyal merah yang mengakibatkan waktu perjalanan menjadi lama. Simpang yang dikaji dalam penelitian ini yaitu simpang Arhanud. Untuk menciptakan kinerja persimpangan yang optimal dan kelancaran kendaraan saat melintasi persimpangan dengan harapan dapat mengurangi konflik maupun kemacetan yang diakibatkan oleh besarnya volume kendaraan yang melintas. Penelitian ini bertujuan untuk menciptakan kinerja persimpangan yang optimal dan kelancaran kendaraan saat melintasi persimpangan dengan harapan dapat mengurangi konflik maupun kemacetan yang diakibatkan oleh besarnya volume kendaraan yang melintas. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif kuantitatif. Hasil penelitian ini merupakan analisis kinerja *eksisting*, Simpang Empat Arhanud Kota Batu memiliki tingkat pelayanan berdasarkan (Derajat Kejenuhan) tertinggi sebesar 0,88 pada pendekatan barat, antrian terpanjang yaitu 62,86 meter, dan tundaan simpang rata-rata sebesar 43,30 det/smp. Berdasarkan analisis kinerja usulan nilai derajat kejenuhan yaitu 0,59 pada kaki pendekatan barat, panjang antrian sepanjang 28,57 meter dan tundaan simpang rata-rata sebesar 13,94 det/smp. Berdasarkan hasil kondisi usulan Simpang Empat Arhanud di Kota Batu diperlukan peningkatan kinerja simpang yang optimal dengan merubah fase dan menyesuaikan waktu siklus.

Kata Kunci : Simpang, Derajat Kejenuhan, Tundaan, Panjang Antrian

PENDAHULUAN

Persimpangan jalan merupakan pertemuan atau perpotongan antara dua atau lebih ruas jalan yang memiliki karakteristik yang sama maupun berbeda, setiap persimpangan memiliki pergerakan lalu lintas yang berbeda tergantung karakteristik jalan yang dipertemukan. Persimpangan dapat menimbulkan permasalahan lalu lintas seperti panjangnya antrian kendaraan dan lamanya tundaan kendaraan di masing-masing simpang akibat mendapat sinyal merah yang mengakibatkan waktu perjalanan menjadi lama.

Simpang Arhanud merupakan simpang 4 empat dengan pengendalian APILL dengan 3 fase total waktu siklus 69 detik. Simpang Arhanud mempunyai empat kaki simpang yang memiliki tata guna lahan yaitu pertokoan dan permukiman. Tata guna lahan disimpang mengakibatkan tarikan orang untuk menuju lokasi tersebut ataupun untuk sekedar melaluinya sebagai akses.

Simpang Arhanud dinilai belum optimal berdasarkan tundaan simpang rata-rata sebesar 43,30 det/smp yang memiliki tingkat pelayanan E atau kurang apabila ditinjau dari Peraturan Menteri Nomor 96 Tahun 2015.

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif kuantitatif. Pengumpulan data dengan mengumpulkan dan melengkapi target data yang diperlukan dalam penelitian yang meliputi data primer dan sekunder.

Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Analisis Kinerja Simpang Kondisi Eksisting
Analisis kinerja persimpangan bersinyal ini dilakukan untuk mengetahui kinerja dari persimpangan tersebut yang analisis perhitungannya menggunakan pendekatan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997.
2. Analisis Kinerja Simpang Kondisi Usulan
Analisis kondisi usulan ini dilakukan dengan melakukan upaya optimalisasi yaitu meningkatkan kinerja dari kinerja persimpangan eksisting yang kurang optimal untuk lebih di tingkatkan dengan cara memberikan usulan–usulan yang tepat, efisien, dan efektif. Usulan– usulan yang diberikan antara lain :
 - a. Menyesuaikan waktu siklus selaras dengan volume lalu lintas.
 - b. Melakukan perubahan fase pada kondisi simpang yang telah ada.
 - c. Melakukan pelebaran pendekat, namun pelebaran pendekat ini hanya dilakukan terhadap kaki simpang yang memiliki lahan yang memungkinkan untuk dilakukan pelebaran pendekat, yaitu kaki simpang timur.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Eksisting

Kapasitas

Simpang Arhanud merupakan simpang dengan pengendalian APILL dengan 4 kaki simpang. Dihitung kapasitas pada simpang Arhanud dengan rumus :

$$C = S \times (g/c)$$

Tabel 1. Kapasitas Simpang Empat Arhanud pada Kondisi Eksisting

Kode Simpang	S (smp/jam)	Hijau (g) (detik)	Waktu Siklus (c) (detik)	Kapasitas (C) (smp/jam)
Utara	1.375	15	69	299

Selatan	1.322	15	69	287
Timur	1.653	18	69	431
Barat	2.020	18	69	527

Sumber : Hasil Analisis, 2023

Derajat Kejenuhan

Berikut merupakan rumus untuk menghitung derajat kejenuhan :

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

Tabel 2. Derajat Kejenuhan Simpang Empat Arhanud pada Kondisi Eksisting

Kaki Simpang	Nama Jalan	Q (smp/jam)	Kapasitas (C) (smp/jam)	Derajat Kejenuhan (DS)
Utara	Jl. Terusan Wijaya Kusuma	172	299	0,57
Selatan	Jl. Tegalgondo	162	287	0,56
Timur	Jl. Moh. Hatta Segmen 2	373	431	0,86
Barat	Jl. Moh. Hatta Segmen 1	466	527	0,88

Sumber : Hasil Analisis, 2023

Antrian

Berikut merupakan rumus untuk menghitung panjang antrian :

$$QL = \frac{NQMAX \times 20}{W \text{ Masuk}}$$

Tabel 3. Panjang Antrian Kendaraan Simpang Empat Arhanud pada Kondisi Eksisting

Kaki	Nama Jalan	NQ Max (smp)	Lebar Efektif (We) (m)	Panjang Antrian (QL)
Utara	Jl. Terusan Wijaya Kusuma	4,00	2,5	32,00
Selatan	Jl. Tegalgondo	4,00	2,5	32,00
Timur	Jl. Moh. Hatta Segmen 2	11,00	3,5	62,86
Barat	Jl. Moh. Hatta Segmen 1	13,00	4,25	61,18

Sumber : Hasil Analisis, 2023

Tundaan

Berikut merupakan rumus untuk perhitungan tundaan lalu lintas :

$$DT = c \times \frac{0,5 \times (1-GR)^2}{(1-GR \times DS)} + \frac{NQ1 \times 3600}{C}$$

Berikut merupakan rumus untuk perhitungan tundaan geometrik :

$$DG = (1 - Psv) \times Pt \times 6 + (Psv \times 4)$$

Tabel 4. Tundaan Simpang Empat Arhanud pada Kondisi Eksisting

Kaki Simpang	Tundaan (DT) (detik/smp)	Tundaan Geometrik (DG) (detik/smp)
Utara	26,27	2,94
Selatan	25,90	2,34

Timur	45,08	3,88
Barat	45,26	3,94

Sumber : Hasil Analisis, 2023

Kondisi Usulan

Untuk meningkatkan kinerja simpang maka dilakukan beberapa usulan sebagai berikut :

1. Usulan pertama yaitu dilakukan penyesuaian waktu siklus merah dan hijau.
2. Usulan kedua yaitu dilakukan penyesuaian fase APILL dari 3 fase menjadi 2 fase.
3. Usulan ketiga yaitu melakukan pelebaran geometrik jalan.
4. Usulan keempat yaitu dilakukan penyesuaian fase APILL dari 3 fase menjadi 4 fase.

Perhitungan Kondisi Usulan

Waktu Siklus

Berikut merupakan rumus perhitungan waktu hilang total :

$$LTI = \sum (MERAH\ SEMUA + KUNING)$$

Rumus perhitungan waktu siklus sebelum penyesuaian :

$$Co = \frac{(1,5 \times LTI + 5)}{(1 - FR_{crit})}$$

Berikut merupakan perhitungan waktu hijau :

$$g = (Co - LTI) \times PR$$

Tabel 5. Perhitungan Waktu Siklus Kondisi Usulan

Usulan		Utara	Selatan	Timur	Barat
I	Waktu Hijau (g)	12	12	23	23
	Waktu Siklus (c)	76	76	76	76
II	Waktu Hijau (g)	9	9	23	23
	Waktu Siklus (c)	39	39	39	39
III	Waktu Hijau (g)	15	15	18	18
	Waktu Siklus (c)	69	69	69	69
IV	Waktu Hijau (g)	25	25	40	41
	Waktu Siklus (c)	155	155	155	155

Sumber : Hasil Analisis, 2023

Kapasitas

Berikut merupakan rumus untuk perhitungan kapasitas :

$$C = S \times (g/c)$$

Tabel 6. Perhitungan Kapasitas Kondisi Usulan

Usulan		Utara	Selatan	Timur	Barat
I	Arus Jenuh (S)	1.375	1.322	1.653	2.020
	Waktu Hijau (g)	12	12	23	23
	Waktu Siklus (c)	76	76	76	76
	Kapasitas (C)	226	213	491	614
II	Arus Jenuh (S)	1.560	1.600	1.750	2.180
	Waktu Hijau (g)	9	9	23	23
	Waktu Siklus (c)	39	39	39	39

	Kapasitas (C)	291	274	631	790
III	Arus Jenuh (S)	1.375	1.322	2.125	2.020
	Waktu Hijau (g)	15	15	18	18
	Waktu Siklus (c)	69	69	69	69
	Kapasitas (C)	299	287	554	527
IV	Arus Jenuh (S)	1.500	1.500	2.100	2.550
	Waktu Hijau (g)	25	25	40	41
	Waktu Siklus (c)	155	155	155	155
	Kapasitas (C)	197	186	428	536

Sumber : Hasil Analisis, 2023

Derajat Kejenuhan

Berikut merupakan rumus untuk perhitungan derajat kejenuhan :

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

Tabel 7. Perhitungan Derajat Kejenuhan Kondisi Uusulan

Usulan		Utara	Selatan	Timur	Barat
I	Arus (Q)	172	162	373	466
	Kapasitas (C)	226	213	491	614
	Derajat Kejenuhan (DS)	0,76	0,76	0,76	0,76
II	Arus (Q)	172	162	373	466
	Kapasitas (C)	291	274	631	790
	Derajat Kejenuhan (DS)	0,59	0,59	0,59	0,59
III	Arus (Q)	172	162	373	466
	Kapasitas (C)	299	287	554	527
	Derajat Kejenuhan (DS)	0,57	0,56	0,67	0,88
IV	Arus (Q)	172	162	373	466
	Kapasitas (C)	197	186	428	536
	Derajat Kejenuhan (DS)	0,87	0,87	0,87	0,87

Sumber : Hasil Analisis, 2023

Panjang Antrian

Berikut merupakan rumus untuk perhitungan NQ1 :

$$NQ1 = 0,25 \times C \times [(DS - 1) + \sqrt{(DS - 1)^2 + \frac{8 \times (DS - 0,5)}{C}}]$$

Berikut merupakan rumus untuk perhitungan NQ2 :

$$NQ2 = c \times \frac{(1-GR)}{1-GR \times DS} \times \frac{Q}{3600}$$

Berikut merupakan rumus untuk perhitungan panjang antrian :

$$QL = \frac{NQMAX \times 20}{W \text{ Masuk}}$$

Tabel 8. Perhitungan Panjang Antrian Kondisi Usulan

Usulan		Utara	Selatan	Timur	Barat
I	Arus (Q)	172	162	373	466

	Derajat Kejenuhan (DS)	0,76	0,76	0,76	0,76
	NQ1	1,04	1,04	1,06	1,06
	NQ2	3,45	3,26	7,12	8,88
	Panjang Antrian (QL)	40	40	57,14	56,47
	Arus (Q)	172	162	373	466
II	Derajat Kejenuhan (DS)	0,59	0,59	0,59	0,59
	NQ1	0,22	0,22	0,22	0,22
	NQ2	1,66	1,57	2,98	3,72
	Panjang Antrian (QL)	24	24	28,57	28,24
	Arus (Q)	172	162	373	466
III	Derajat Kejenuhan (DS)	0,57	0,56	0,67	0,88
	NQ1	0,18	0,15	0,52	3,04
	NQ2	2,95	2,77	6,41	8,59
	Panjang Antrian (QL)	32	32	35,56	61,18
	Arus (Q)	172	162	373	466
IV	Derajat Kejenuhan (DS)	0,87	0,87	0,87	0,87
	NQ1	2,4	2,38	2,61	2,65
	NQ2	7,22	6,81	15,35	19,17
	Panjang Antrian (QL)	88	88	108,57	108,24

Sumber : Hasil Analisis, 2023

Tundaan

Berikut merupakan perhitungan tundaan lalu lintas pada kaki simpang timur :

$$DT = c \times \frac{0,5 \times (1-GR)^2}{(1-GR \times DS)} + \frac{NQ1 \times 3600}{c}$$

Berikut merupakan rumus untuk perhitungan tundaan geometrik :

$$DG = (1 - Psv) \times Pt \times 6 + (Psv \times 4)$$

Tabel 9. Perhitungan Tundaan Kondisi Usulan

Usulan		Utara	Selatan	Timur	Barat
I	Tundaan Lalu Lintas (DT)	46,47	47,84	31,93	30,08
	Tundaan Geometrik (DG)	3,27	2,59	3,7	3,68
	D	50	50,43	35,63	33,77
II	Tundaan Lalu Lintas (DT)	16,09	16,5	8,99	8,7
	Tundaan Geometrik (DG)	3,06	2,46	3,06	3,07
	D	19,16	18,96	12,05	11,77
III	Tundaan Lalu Lintas (DT)	26,27	25,9	26,26	45,26
	Tundaan Geometrik (DG)	2,94	2,34	3,51	3,94
	D	29,2	28,24	29,77	49,2
IV	Tundaan Lalu Lintas (DT)	107,16	109,67	76,84	72,21
	Tundaan Geometrik (DG)	3,2	2,59	3,93	3,86
	D	110,36	112,26	80,76	76,06

Sumber : Hasil Analisis, 2023

Perbandingan Kondisi Eksisting dengan Kondisi Usulan

Berdasarkan Derajat Kejenuhan

Tabel 10. Perbandingan Derajat Kejenuhan Kondisi Eksisting dengan Kondisi Usulan

No	Simpang Arhanud	Eksisting	Usulan			
			I	II	III	IV
1	Jalan Terusan Wijaya Kusuma	0,57	0,76	0,59	0,57	0,87
2	Jalan Tegalgondo	0,56	0,76	0,59	0,56	0,87
3	Jalan Moh. Hatta Segmen 1	0,86	0,76	0,59	0,67	0,87
4	Jalan Moh. Hatta Segmen 2	0,88	0,76	0,59	0,88	0,87
Rata-Rata		0,72	0,76	0,59	0,67	0,87

Sumber : Hasil Analisis, 2023

Dapat dilihat dari tabel rekomendasi yang diusulkan di atas untuk peningkatan kinerja Simpang Empat Arhanud yaitu pada penyesuaian fase APILL dari 3 fase menjadi 2 fase dan waktu siklus optimal usulan II mengalami penurunan derajat kejenuhan sebesar 0,13 dari eksisting 0,72 menjadi 0,59.

Berdasarkan Panjang Antrian

Tabel 11. Perbandingan Panjang Antrian Kondisi Eksisting dan Kondisi Usulan

No	Simpang Arhanud	Eksisting (m)	Usulan (m)			
			I	II	III	IV
1	Jalan Terusan Wijaya Kusuma	32	40	24	32	88
2	Jalan Tegalgondo	32	40	24	32	88
3	Jalan Moh. Hatta Segmen 1	62,86	57,14	28,57	35,56	108,57
4	Jalan Moh. Hatta Segmen 2	61,18	56,47	28,24	61,18	108,42
Rata-Rata		47,01	48,40	26,20	40,18	98,20

Sumber : Hasil Analisis, 2023

Dapat dilihat dari tabel rekomendasi yang diusulkan di atas untuk peningkatan kinerja Simpang Empat Arhanud yaitu pada penyesuaian fase APILL dari 3 fase menjadi 2 fase dan waktu siklus optimal usulan II mengalami penurunan panjang antrian sebesar 8 meter dari eksisting 32 meter menjadi 24 meter.

Berdasarkan Tundaan

Tabel 12. Perbandingan Tundaan Kondisi Eksisting dengan Kondisi Usulan

No	Simpang Arhanud	Eksisting (det/smp)	Usulan (det/smp)			
			I	II	III	IV
1	Jalan Terusan Wijaya Kusuma	29,2	50	19,16	29,2	110,36
2	Jalan Tegalgondo	28,24	50,43	18,96	28,24	112,26
3	Jalan Moh. Hatta Segmen 1	48,96	35,63	12,05	29,77	80,76
4	Jalan Moh. Hatta Segmen 2	49,2	33,77	11,77	49,2	76,06
Rata-Rata		38,90	42,45	15,49	34,10	94,86

Sumber : Hasil Analisis, 2023

Dapat dilihat dari tabel rekomendasi yang diusulkan di atas untuk peningkatan kinerja Simpang Empat Arhanud yaitu pada penyesuaian fase APILL dari 3 fase menjadi 2 fase dan waktu siklus optimal usulan II mengalami penurunan panjang antrian 38,90 det/smp menjadi 15,49 det/smp.

KESIMPULAN

Analisis kinerja pada Simpang Arhanud Kota Batu dilanjutkan dengan optimalisasi dengan empat skenario yang dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil analisis kinerja eksisting, Simpang Arhanud Kota Batu memiliki tingkat pelayanan berdasarkan derajat kejenuhan (DS) rata-rata dengan nilai 0,72, antrian rata-rata pada simpang adalah 47,01 meter, serta tundaan simpang rata-rata sebesar 43,20 det/smp.
2. Untuk meningkatkan kinerja persimpangan tersebut maka diusulkan beberapa alternatif terbaik. Terdapat 4 (empat) usulan yaitu usulan 1 menyesuaikan waktu siklus selaras dengan volume lalu lintas , usulan 2 melakukan perubahan fase yang awalnya 3 (tiga) fase menjadi 2 (dua) fase dan penyesuaian waktu siklus, usulan 3 merupakan melakukan pelebaran jalan pada kaki simpang timur yaitu jalan Moh. Hatta Segmen 2, usulan 4 melakukan perubahan fase yang awalnya 3 (tiga) fase menjadi 4 (empat) fase.
3. Untuk usulan terbaik yaitu dengan melakukan perubahan fase dan penyesuaian waktu siklus. Pada simpang Arhanud dilakukan perhitungan ulang waktu siklus sesuai dengan kepadatan lalu-lintas pada kondisi saat ini serta perubahan fase dari tiga fase menjadi dua fase dengan durasi siklus selama 39 detik. Rekomendasi ini dapat dilakukan untuk meningkatkan kinerja Simpang Arhanud, dapat diketahui dari penurunan nilai tundaan rata-rata dari 43,20 det/smp (E) turun menjadi 13,94 det/smp (B). Sedangkan untuk panjang antrian rata-rata dari 47,01 meter turun menjadi 26,20 meter. Untuk derajat kejenuhan dari 0,72 turun menjadi 0,59.

SARAN

Dari hasil analisis kinerja Simpang Arhanud Kota Batu, terdapat beberapa saran guna meningkatkan kinerja simpang yaitu :

1. Direkomendasikan peningkatan kinerja simpang bersinyal dari kinerja simpang yang buruk menjadi kinerja simpang yang optimal dengan merubah fase dan menyesuaikan waktu siklus.

2. Perlu dilakukan kajian lebih lanjut mengenai perubahan geometrik simpang dan pendekatan dari pemerintah daerah untuk melakukan pembebasan lahan di sekitar Simpang Arhanud untuk meningkatkan kinerja Simpang Arhanud.
3. Perlu adanya perbaikan dan pengadaan fasilitas kelengkapan jalan agar pengguna jalan mampu memanfaatkan ruang lalu lintas dan melakukan pergerakan dengan tertib dan aman.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih dengan kerendahan hati untuk berbagai pihak atas terselesaikannya kertas kerja wajib ini. Untuk itu penulis sampaikan terima kasih kepada :

1. Orang tua serta keluarga yang selalu memberi dukungan dan mendoakan demi kelancaran studi.
2. Bapak Ahmad Yani, ATD, M.T, selaku Direktur Politeknik Transportasi Darat Indonesia – STTD.
3. Bapak Rachmat Sadili, S.SiT., MT. selaku Kepala Program Studi Diploma III Manajemen Transportasi Jalan.
4. Bapak Ricko Yudhanta, S.T, M. Sc dan Bapak Ir. Juliaman Pangaribuan, MM selaku Dosen Pembimbing yang telah memberi arahan dan bimbingan dalam penulisan Kertas Kerja Wajib.
5. Kepala Dinas Perhubungan Kota Batu beserta staf dan jajarannya yang telah memberikan dukungan selama pengumpulan data.
6. Rekan-rekan Tim Praktek Kerja Lapangan Kota Batu Tahun 2023.
7. Rekan-rekan Taruna/i Politeknik Transportasi Darat Indonesia – STTD Angkatan XLII Korps Armajaya.
8. Seluruh pihak yang terlibat dalam peyusunan Kertas Kerja Wajib ini, baik secara langsung maupun tidak langsung.

REFERENSI

- Direktorat Jenderal Bina Marga. 1997. “Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) Februari 1997.” *Departemen Pekerjaan Umum, “Manual Kapasitas Jalan Indonesia”* 1–573.
- Menteri Perhubungan Republik Indonesia. 2006. *Peraturan Menteri Perhubungan No. KM 14 Tahun 2006 Tentang Manajemen Dan Rekayasa Lalu Lintas Di Jalan.*
- Menteri Perhubungan Republik Indonesia. 2014. “Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia No. PM 13 Tahun 2014 Tentang Rambu Lalu Lintas.”

- Menteri Perhubungan Republik Indonesia. 2014. *Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 34 Tahun 2014 Tentang Marka Jalan*.
- Menteri Perhubungan Republik Indonesia. 2014. “Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 49 Tahun 2014 Tentang Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas.” *Menteri Perhubungan Republik Indonesia* 1–27.
- Menteri Perhubungan Republik Indonesia. 2015. *Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 96 Tahun 2015 Tentang Pedoman Pelaksanaan Kegiatan Manajemen Dan Rekayasa Lalu Lintas*.
- Pemerintah Indonesia. 2009. “UU RI No. 22 Tahun 2009 Tentang Lalu Lintas Dan Angkutan Jalan.” *Undang-Undang RI No.22 Tahun 2009* 2(5):255.
- Shiyam, H. N. (2021). *Peningkatan kinerja simpang barat steger kembar di kabupaten magetan*.
- WAHYUDI, D. W. D. W. I. D. (2022). *Optimaliasi Simpang Empat Bersinyal Pegadaian Di Kabupaten Lamongan*.
- Amal, Andi Syaiful, Chairil Saleh, and Azhar Adi Darmawan. 2022. “Evaluasi Kinerja Simpang Empat Bersinyal Di Kota Malang.” *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi* 22(2):1304.
- Supratman, Reynaldi, Obed O. N. Nenobais, Anastasia H. Muda, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Kupang, Kampus Penfui, Jalan Adi, Sucipto Penfui, and Kota Kupang. 2022. “Pada Simpang Polda Kota Kupang.” *JUTEKS - Jurnal Teknik Sipil* VII(I):43–49.
- Akbar, Muh, Dewi Sriastuti Nababan, and Fredy Sulo Datu. 2022. “Evaluasi Kinerja Simpang Empat Bersinyal Pada Jalan Ahmad Yani “ Re Martadinata.” *Mustek Anim Ha* 11(1):23–31.
- Lubis, Marwan, M. Husni Malik Hasibuan, and Abdul Azis Batubara. 2021. “Analisa Kinerja Simpang Empat Bersinyal Jl. Sm. Raja – Pelangi – Turi, Kec. Medan Kota Medan Sumatera Utara.” *Seminar Nasional Teknik (Semnastek) Uisu* 53–58.
- Pratama, Ardhian Setya, Tonny Hermawanto, and Rahayu Isnin Astuti. 2022. “Evaluasi Kinerja Simpang Empat Bersinyal Pada Persimpangan Jalan Tanjung - Jalan Aryo Blitar - Jalan Bengawan Solo.” *JSNu : Journal of Science Nusantara* 2(4):156–67.
- Morlok, E. K. (1991). *Pengantar Teknik Perencanaan dan Transportasi*. Jakarta: Erlangga.