

Analisis Kinerja dan Koordinasi Waktu Sinyal Dua Simpang Berdekatan di Kota Cimahi

Ferry Rusgiarto^{1,2}, Jimmy Chandra¹, Adien Sekar Apriliani², dan Nadila Silviani²

¹Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Biosains Teknologi dan Inovasi,
Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jakarta, Indonesia

²Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi, Indonesia
ferry.rusgiarto@lecture.unjani.ac.id, jimmy.chandra@atmajaya.ac.id,
adiensekara45@gmail.com, nadilsv@gmail.com

Abstrak

Kemacetan lalu lintas di kawasan perkotaan menjadi permasalahan krusial, khususnya pada simpang-simpang strategis yang tidak memiliki sistem pengaturan sinyal lalu lintas. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja eksisting simpang Citeureup dan simpang Cidahu di Kota Cimahi serta mengkaji kinerja penerapan sistem koordinasi sinyal antar simpang. Metode yang digunakan meliputi survei lapangan untuk memperoleh data primer berupa volume lalu lintas, kecepatan kendaraan, dan panjang antrian, serta data sekunder dari instansi terkait. Analisis dilakukan berdasarkan pendekatan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997 dan simulasi mikroskopik menggunakan perangkat lunak *Planung Transport Verkehr – Verkehr in Städten SIMulationsmodell (PTV VISSIM)*. Hasil penelitian menunjukkan kondisi eksisting kedua simpang mengalami hambatan dengan panjang antrian (261.88 - 40.751 meter) dan tundaan (89.35 - 28.651 detik). Setelah penerapan koordinasi sinyal, terjadi peningkatan volume lalu lintas yang bisa dilewati hingga 24–29% serta pengurangan tundaan rata-rata sebesar 22–32%. Penggunaan simulasi mikroskopik terbukti dapat digunakan sebagai metode dalam perencanaan dan evaluasi lalu lintas elemen jalan perkotaan. Untuk pengembangan jangka panjang, integrasi sistem sinyal dengan pusat kendali lalu lintas berbasis teknologi adaptif dapat diterapkan guna meningkatkan respons terhadap dinamika lalu lintas yang terus berubah.

Kata kunci: Simpang, Berdekatan, Kinerja, Koordinasi Sinyal, *PTV VISSIM*

Abstract

Traffic congestion in urban areas has become a crucial issue, particularly at strategic intersections without a traffic signal management system. This study aims to evaluate the existing performance of the Citeureup and Cidahu intersections in Kota Cimahi and assess the performance of implementing coordinated signal systems between intersections. Methods used include field surveys to obtain primary data such as traffic volume, vehicle speed, and queue length, along with secondary data from relevant agencies. Analysis was conducted using the 1997 Indonesian Highway Capacity Manual (MKJI 1997) approach and microscopic simulation with PTV VISSIM software. The results indicate that the existing conditions at both intersections experience high saturation degrees with queue lengths (261.88 - 40.751 metres) and delays (89.35 - 28.651 seconds). After implementing signal coordination, the saturation degree decreased to 24–29%, and the average delay was reduced by 22–32%. The use of microscopic simulation has proven to be an effective method for planning and evaluating traffic elements in urban roads. For long-term development, the integration of signal systems with adaptive technology-based traffic control centers can be implemented to enhance responsiveness to constantly changing traffic dynamics.

Keywords: Intesection, Adjacent, Performance, Signal Coordination, *PTV VISSIM*

1. Pendahuluan

Dalam sistem transportasi perkotaan, keberadaan jalan dan persimpangan memainkan peran penting dalam mendukung kelancaran mobilitas barang dan jasa di wilayah perkotaan dan emerataan ekonomi kawasan. Namun, seiring dengan meningkatnya aktivitas dan kepadatan lalu lintas di daerah perkotaan seperti Kota Cimahi, muncul tantangan berupa kemacetan dan peningkatan risiko kecelakaan, terutama di persimpangan tanpa pengaturan sinyal lalu lintas. Salah satu kawasan yang mengalami permasalahan tersebut adalah simpang Citeureup (Jl. Sangkuriang – Kolonel Masturi – Jl. Encep Kartawiria) dan simpang Cidahu (Jl. Cipageran – Kolonel Masturi), yang belum dioperasikan Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL) sebagai pengatur simpang. Kondisi ketiadaan lampu lalu lintas menyebabkan antrean panjang, waktu tundaan tinggi, dan potensi konflik antar kendaraan. Penelitian ini mencoba

Info Makalah:

Dikirim : 06-10-25;

Revisi 1 : 07-30-25;

Revisi 2 : 08-04-25;

Diterima : 08-13-25.

menganalisis kinerja simpang tanpa dan dengan penerapan koordinasi APILL menggunakan Manual Kapasitas Jalan Indonesia – 1997 (MKJI-1997) berdasarkan hasil simulasi lalu lintas.

Menurut Taylor (1996), koordinasi sinyal antar simpang merupakan pendekatan yang efektif dalam mengurangi tundaan dan panjang antrian, serta meningkatkan efisiensi pergerakan kendaraan. Dengan menerapkan sistem koordinasi sinyal, lalu lintas dapat diarahkan secara

Penulis Korespondensi:

Telp : +62-877-2282-1220

e-mail : ferry.rusgiarto@lecture.unjani.ac.id

sinkron sehingga kendaraan dapat melintasi beberapa simpang tanpa berhenti. Oleh karena itu, diperlukan analisis kinerja kedua simpang tersebut sebelum dan sesudah penerapan koordinasi sinyal, untuk mengetahui efektivitas intervensi terhadap peningkatan kelancaran dan keselamatan lalu lintas.

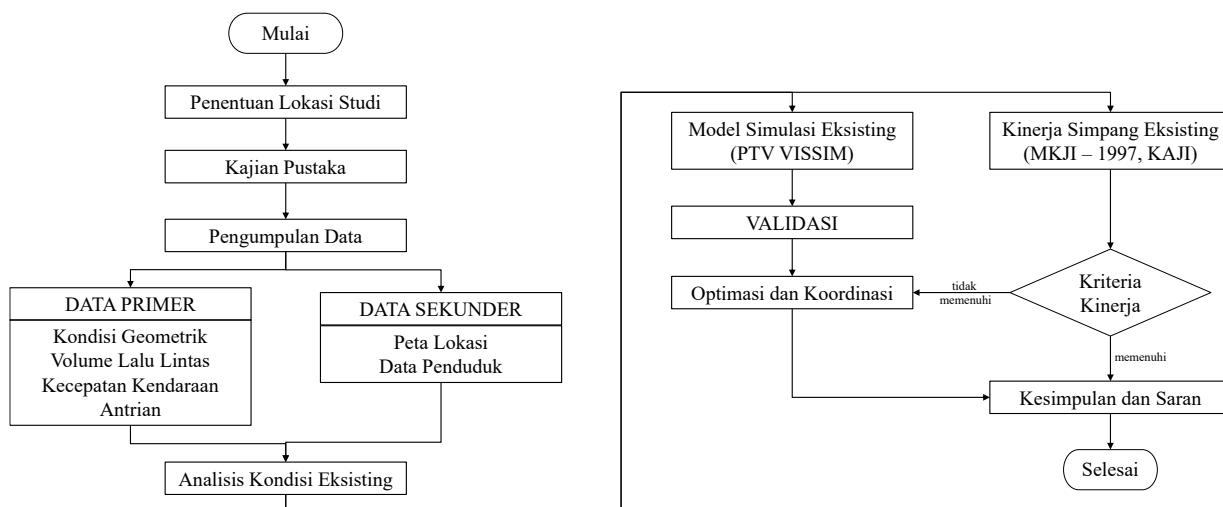
Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja lalu lintas eksisting pada simpang Citeureup dan simpang Cidahu di Kota Cimahi, serta mengevaluasi dampak penerapan sistem koordinasi sinyal terhadap kinerja kedua simpang.

Menurut Rusgiyarto dkk. (2018), evaluasi kinerja simpang menggunakan simulasi mikroskopik dapat memberikan gambaran jelas mengenai kondisi lalu lintas. Taylor (1996) menjelaskan bahwa koordinasi sinyal lalu lintas membantu dalam mengelola volume lalu lintas tinggi dengan mengurangi konflik dan meningkatkan kelancaran arus kendaraan. BM (1997) menegaskan pentingnya perencanaan fase sinyal dan siklus sinyal untuk mengoptimalkan kapasitas simpang. Penelitian sebelumnya seperti Fitzpatrick dkk. (2000) dan Widodo (2018) juga menegaskan pentingnya penerapan koordinasi sinyal dalam mengatasi kemacetan lalu lintas. Penelitian terbaru juga menunjukkan bahwa koordinasi sinyal dapat meningkatkan efisiensi bahan bakar kendaraan serta mengurangi emisi gas buang, berkontribusi pada kelestarian lingkungan perkotaan.

Koordinasi sinyal lalu lintas merupakan strategi penting untuk meningkatkan efisiensi pergerakan kendaraan di jaringan jalan perkotaan. Menurut FHWA (2021), koordinasi sinyal dapat mengurangi waktu perjalanan, jumlah tundaan, dan konsumsi bahan bakar, serta meningkatkan kualitas udara. NACTO (2023) juga menekankan bahwa koordinasi sinyal yang efektif dapat mengelola kecepatan progresi lalu lintas dan mengurangi konflik antar kendaraan. PTV VISSIM adalah perangkat lunak simulasi mikroskopik yang banyak digunakan untuk menganalisis dan mengoptimalkan koordinasi sinyal lalu lintas. Studi oleh Gunarathne dkk. (2023) menunjukkan bahwa penggunaan VISSIM dalam optimasi pengendali sinyal lalu lintas dapat mengurangi kemacetan, emisi CO dan NOx, serta konsumsi bahan bakar secara signifikan. Selain itu, penelitian di Denpasar oleh Sari dkk. (2023) menggunakan VISSIM untuk menyimulasikan koordinasi sinyal pada dua simpang berdekatan, yang menghasilkan penurunan panjang antrian dan waktu tundaan. Pendekatan adaptif dalam koordinasi sinyal, seperti yang dikembangkan oleh Li dkk. (2023), memanfaatkan data kendaraan terhubung untuk menyesuaikan waktu sinyal secara real-time, meningkatkan efisiensi lalu lintas di lingkungan perkotaan. Selain itu, penggunaan teknologi komunikasi cahaya tampak (VLC) dalam sistem kontrol lalu lintas multi-simpang telah diperkenalkan oleh Zhang dkk. (2023) untuk meningkatkan efisiensi dan keselamatan di persimpangan perkotaan. Berbagai studi kasus telah menunjukkan keberhasilan implementasi koordinasi sinyal dalam mengurangi kemacetan dan meningkatkan efisiensi lalu lintas. Misalnya, penelitian oleh Al-Nakhala dkk. (2023) di koridor arteri Palestina menunjukkan bahwa penerapan sistem sinyal terkoordinasi dapat mengurangi waktu perjalanan pengguna secara signifikan. Di sisi lain, proyek *Green Light* oleh Google menggunakan *Artificial Intelligence* (AI) untuk mengoptimalkan sinyal lalu lintas di berbagai kota, termasuk Jakarta, yang menghasilkan penurunan tundaan hingga 30% dan emisi sebesar 10%.

2. Metodologi

Metode penelitian terdiri atas survei lapangan langsung yang mencakup pengumpulan data geometrik simpang, volume kendaraan, kecepatan kendaraan, dan panjang antrian. Data sekunder dikumpulkan instansi terkait meliputi data penduduk kota Cimahi dan peta lokasi penelitian. Analisis dilakukan dengan menggunakan pendekatan MKJI 1997 dengan perangkat lunak Kapasitas dan Analisis Kinerja Jalan Indonesia (KAJI) serta simulasi mikroskopik melalui perangkat lunak PTV VISSIM untuk menguji skenario koordinasi sinyal dibandingkan dengan kondisi eksisting. Diagram alir dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir

2.1. Data Primer

Data primer adalah data yang diperoleh peneliti langsung di lapangan yang meliputi data geometrik simpang, volume lalu lintas, kecepatan kendaraan dan panjang antrian yang disajikan dalam Tabel 1 – Tabel 5. Data tersebut digunakan pada proses kalibrasi dan validasi model simulasi yang kemudian gunakan sebagai masukan analisis kinerja lalu lintas.

2.1.1. Geometrik Simpang

Data geometrik simpang digunakan sebagai masukan pada perhitungan kinerja lalu lintas serta penyusunan model simulasi. Data yang dikumpulkan meliputi tipe pendekat, hambatan samping serta dimensi pendekat simpang. Data ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data geometrik dan kondisi lingkungan simpang citeureup

Pendekat	Simpang Citeureup				Simpang Cidahu		
	Utara	Selatan	Timur	Barat	Utara	Selatan	Barat
Tipe lingkungan jalan	Komersial	Komersial	Komersial	Komersial	Komersial	Komersial	Komersial
Hambatan Samping	Rendah	Rendah	Rendah	Rendah	Rendah	Rendah	Rendah
Median	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada
Lebar Pendekat Masuk	3 m	3 m	4 m	4 m	2.5 m	2.5 m	2.5 m
Lebar Pendekat Keluar	3 m	3 m	4 m	4 m	2.5 m	2.5 m	2.5 m

2.1.2. Volume Lalu Lintas

Data volume lalu lintas didapatkan dari hasil survei langsung di lapangan pada hari Rabu pukul 06.00 – 08.00 WIB dan pukul 17.00 – 19.00 WIB dan hari Minggu pukul 06.00 – 08.00 WIB dan 15.30 – 17.30 WIB pada masing-masing lengan tiap simpang. Berdasarkan hasil survei yang ditabulasi dalam periode 15 menit dilakukan analisis untuk menghitung volume tertinggi dalam kendaraan / jam pada masing-masing periode survei yang hasilnya ditunjukkan pada Tabel 2. Data ini digunakan untuk menetapkan periode waktu yang akan digunakan untuk memvalidasi hasil model simulasi serta analisis kinerja.

Tabel 2 Volume lalu lintas tiap simpang

Lokasi	Hari	Periode Sibuk	Volume (kendaraan/jam)
Simpang Citeureup	Rabu	06.15 – 07.15	7429
	Rabu	17.15 - 18.15	6492
	Minggu	07.00 - 08.00	3413
	Minggu	16.00 - 17.00	5175
Simpang Cidahu	Rabu	06.30 - 07.30	7106
	Rabu	17.15 - 18.15	4823
	Minggu	06.45 – 07.45	2473
	Minggu	15.45 – 16.45	3005

2.1.3. Kecepatan Kendaraan

Data kecepatan kendaraan adalah data kecepatan sesaat yang disurvei pada simpang dengan menggunakan *speed gun* untuk jenis kendaraan yang dianalisis pada model simulasi. Data ini digunakan untuk mengkalibrasi distribusi kecepatan pada model simulasi. Rekapitulasi kecepatan rata-rata dari jenis kendaraan yang dianalisis pada model simulasi ditunjukkan pada Tabel 3 untuk simpang citeureup dan Tabel 4 untuk simpang Cidahu.

Tabel 3 Rekapitulasi kecepatan rata-rata kendaraan simpang Citeureup

Kecepatan (km/jam)	Golongan Kendaraan							
	Sedan	Jeep	Pick Up	Minibus	Angkot	Bus	Truk	Sepeda Motor
Rata-rata	26.644	26.007	25.546	26.384	24.415	27.000	25.730	28.537
Rata-rata					26.283			

Tabel 4 Rekapitulasi kecepatan rata-rata kendaraan simpang Cidahu

Kecepatan (km/jam)	Golongan Kendaraan							
	Sedan	Jeep	Pick Up	Minibus	Angkot	Bus	Truk	Sepeda Motor
Rata-rata	26.144	23.241	26.189	25.078	25.254	24.000	23.254	25.050
Rata-rata					24.776			

2.1.4. Panjang Antrian

Data panjang antrian pada saat jam puncak didapatkan dari hasil survei langsung di lapangan pada simpang Citeureup di hari Rabu pukul 06.15 – 07.15 dan simpang Cidahu di hari Rabu pukul 06.45 – 07.45 WIB, seperti ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5 Rekapitulasi panjang antrian pada jam puncak

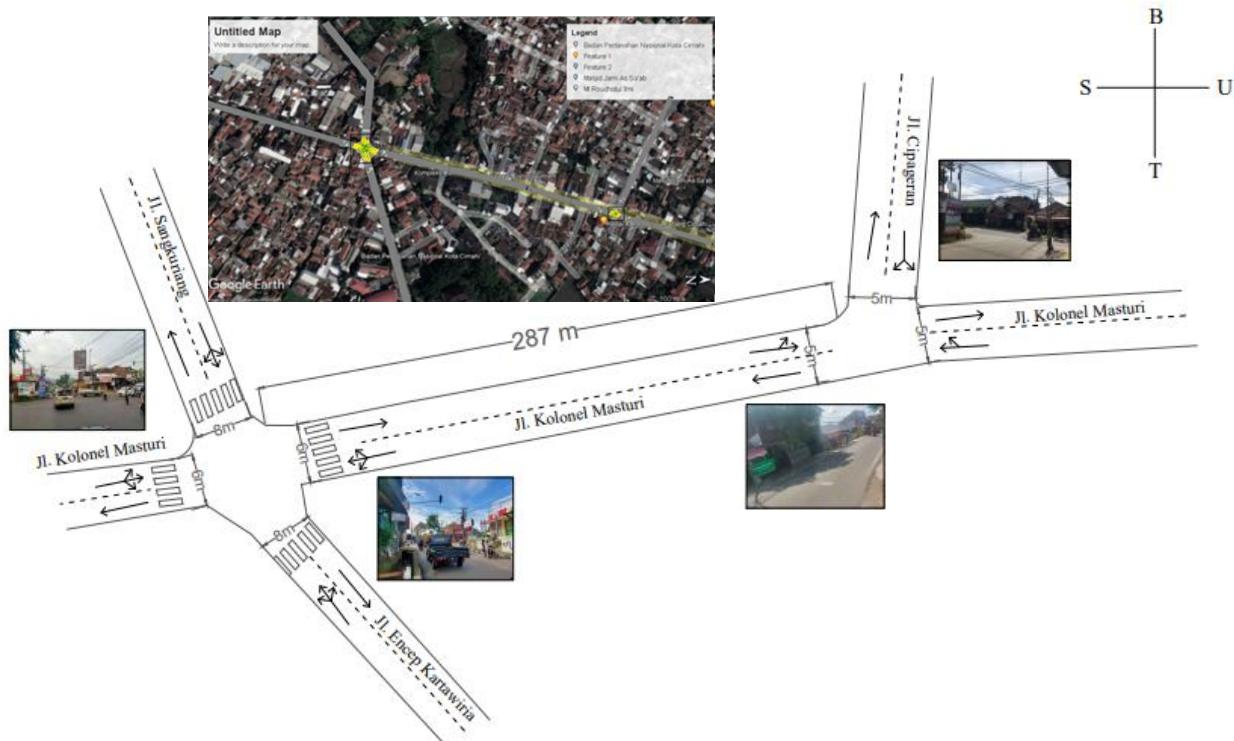
Lokasi	Hari	Periode Sibuk	Panjang Antrian (m)
Simpang Citeureup	Rabu	06.15 - 07.15	U 104
			S 37.175
			T 43.25
			B 142
Simpang Cidahu	Rabu	06.45 - 07.45	U 19.875
			S 28.55
			B 22.15

2.2. Data sekunder

Data sekunder diperoleh dari instansi – instansi terkait yang meliputi data peta lokasi penelitian dan data jumlah penduduk kota Cimahi.

2.2.1. Peta lokasi penelitian

Simpang Citeureup dan Cidahu di kota Cimahi merupakan simpang yang berdekatan dengan jarak sebesar 287 meter dengan tipe lingkungan komersial. Peta lokasi dan kondisi visual simpang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Lokasi penelitian

2.2.2. Data Penduduk

Data jumlah penduduk Kota Cimahi Data jumlah penduduk diperoleh dari Badan Pusat Statistik Kota Cimahi diperlihatkan pada Tabel 6. Data ini digunakan untuk masukan analisis kinerja simpang dengan pendekatan MKJI – 1997.

Tabel 6. Jumlah Penduduk Kota Cimahi

Tahun	Jumlah Penduduk
2019	614.304 jiwa
2020	568.400 jiwa
2021	571.632 jiwa

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisis Data Berdasarkan KAJI

Analisis kondisi eksisting berdasarkan hasil survei lapangan dilakukan untuk mengukur kinerja simpang. Pendekatan MKJI – 1997 dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak KAJI sebagai alat bantu hitung. Hasil analisis berdasarkan KAJI untuk kondisi simpang tak bersinyal ditunjukkan pada Tabel 7, sedangkan kondisi simpang bersinyal ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 7. Kinerja Simpang Tak Bersinyal Berdasarkan KAJI

SIMPANG TAK BERSINYAL	Volume (kendaraan/jam)	Volume (smp/jam)	Kapasitas smp/jam	Derajat Kejemuhan
Simpang Citeureup				
Pendekat-N2	1929	965	ERR	ERR
Pendekat-S2	1285	683	ERR	ERR
Pendekat-E2	2157	1019	ERR	ERR
Pendekat-W2	1806	873	ERR	ERR
Simpang Cidahu				
Pendekat-N2	2509	1164	ERR	ERR
Pendekat-S2	1655	841	ERR	ERR
Pendekat-W2	2622	949	ERR	ERR

Tabel 8. Kinerja Simpang Bersinyal Berdasarkan KAJI

SIMPANG BERSINYAL	Volume (kendaraan/jam)	Volume (smp/jam)	Waktu Hijau (detik)	Kapasitas smp/jam	Derajat Kejemuhan	Antrian (meter)	Tundaan (detik)
Simpang Citeureup							
Pendekat-N2	1929	965	28	791	1.22	95	43.51
Pendekat-S2	1285	683	28	791	0.86	64	34.81
Pendekat-E2	2157	1019	21	802	1.27	133	53.95
Pendekat-W2	1806	873	21	784	1.11	45	30.74
Simpang Cidahu							
Pendekat-N2	2509	1164	122	599	1.94	143	167.41
Pendekat-S2	1655	841	122	507	1.66	97	118.51
Pendekat-W2	2622	949	171	801	1.18	82	80.39

Hasil analisis pada Tabel 7 memperlihatkan hasil analisis menggunakan modul simpang tak bersinyal terindikasi memberikan hasil kinerja diatas kemampuan hitung KAJI. Hal ini terjadi akibat volume hasil survai di atas volume simpang tak bersinyal normal yang ditemukan pada penyusunan MKJI – 1997. Kondisi tidak normal simpang ini akibat simpang eksisting diatur oleh petugas meskipun tidak dioperasikan APILL, sehingga perlakunya mendekati kondisi simpang terkoordinasi dengan pengaturan sinyal *actuated* (menyesuaikan/responsif dengan volume lalu lintas simpang). Pada kondisi eksisting petugas mengatur operasi simpang dengan memberikan hak jalan mempertimbangkan volume dan antrian masing-masing kaki di dua simpang tersebut. Hasil analisis KAJI menggunakan sinyal sebelum optimasi diperlihatkan pada Tabel 8, dengan total volume kendaraan simpang Citeureup sebanyak 7177 kendaraan/jam dengan total panjang antrian 337 meter dan total lamanya tundaan 163.01 detik dan simpang Cidahu sebanyak 6786 kendaraan/jam dengan total panjang antrian 322 meter dan total lamanya tundaan 336 detik.

3.2. Analisis Data Berdasarkan Simulasi Lalu Lintas

3.2.1. Kalibrasi dan Validasi

Kalibrasi pada Model Simulasi adalah sebuah proses untuk membentuk nilai parameter yang dinilai semimirip mungkin dengan kondisi pengemudi yang ada di Indonesia. Proses kalibrasi ini dilakukan berdasarkan perilaku pengemudi dengan mengubah parameter pada variabel *Car Following Model*, *Lane Change* dan *Lateral Behaviour* yang disesuaikan dengan kondisi lapangan. Kondisi sebaran lalu lintas pada hasil kalibrasi pada simpang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Kondisi Sebaran Lalu Lintas Hasil Kalibrasi

Validasi merupakan sebuah proses pengujian penerimaan hasil model dengan cara membandingkan antara hasil simulasi dengan hasil survei. Dalam melakukan validasi pada penelitian ini perbandingan data volume lalu survei dan volume lalu lintas luaran simulasi menggunakan nilai Geoffrey E. Havers (GEH) dengan persamaan yang ditunjukkan pada Rumus (1), dimana kriteria nilai $GEH \leq 5$ menunjukkan model bisa diterima. Validasi dilakukan pada volume arus lalu lintas simpang hasil survei dan hasil simulasi, dengan hasil validasi ditunjukkan pada Tabel 9.

$$GEH = \sqrt{\frac{(q_{\text{simulated}} - q_{\text{observed}})^2}{0,5 \times (q_{\text{simulated}} - q_{\text{observed}})}} \quad (1)$$

Tabel 9. Volume kendaraan hasil simulasi dan observasi

Nama Jalan	Data Vissim	Data Survei	GEH	Keterangan
SIMPANG CITEUREUP				
Jl. Kolonel Masturi (S) - Jl. Sangkuriang	133	140	0.60	Diterima
Jl. Kolonel Masturi (S) - 5: Jl. Encep Kartawiria	238	264	1.64	Diterima
Jl. Kolonel Masturi (S) - Jl. Kolonel Masturi (U)	882	875	0.24	Diterima
Jl. Sangkuriang- Jl. Kolonel Masturi (S)	121	120	0.09	Diterima
Jl. Sangkuriang - 5: Jl. Encep Kartawiria	1647	1724	1.88	Diterima
Jl. Sangkuriang - Jl. Kolonel Masturi (U)	207	215	0.55	Diterima
Jl. Encep Kartawiria - Jl. Kolonel Masturi (S)	471	455	0.74	Diterima
Jl. Encep Kartawiria - Jl. Sangkuriang	1210	1201	0.26	Diterima
Jl. Encep Kartawiria - Jl. Kolonel Masturi (U)	515	506	0.40	Diterima
Jl. Kolonel Masturi (U) - Jl. Kolonel Masturi (S)	1769	1633	3.30	Diterima
Jl. Kolonel Masturi (U) - Jl. Sangkuriang	179	164	1.15	Diterima
Jl. Kolonel Masturi (U) - 5: Jl. Encep Kartawiria	129	132	0.26	Diterima
SIMPANG CIDAHU				
Jl. Kolonel Masturi (S) - Jl. Cipageran	628	648	0.79	Diterima
Jl. Kolonel Masturi (S) - Jl. Kolonel Masturi (U)	937	953	0.52	Diterima
Jl. Cipageran - Jl. Kolonel Masturi (S)	1105	1200	2.80	Diterima
Jl. Cipageran - Jl. Kolonel Masturi (U)	1323	1399	2.06	Diterima
Jl. Kolonel Masturi (U) - Jl. Kolonel Masturi (S)	1054	1054	0	Diterima
Jl. Kolonel Masturi (U) - Jl. Cipageran	1329	1326	0.08	Diterima

3.2.2. Hasil Optimasi dan Koordinasi

Optimasi menghasilkan perubahan durasi sinyal hijau dan sinyal merah pada masing - masing lampu sinyal tiap simpang. Durasi waktu sinyal (waktu *intergreen*, waktu hijau dan waktu merah) sebelum dan sesudah optimasi kedua

simpang dapat dilihat seperti pada Tabel 10 – Tabel 13. Durasi *intergreen* yaitu waktu kuning dan merah semua adalah 4 detik. Waktu siklus pada simpang Citeureup adalah 57 detik dan pada simpang Cidahu adalah 301 detik.

Tabel 10. Sebelum Optimasi pada Simpang Citeureup

Fase 1				Fase 2			
Hijau (det)	Kuning (det)	Merah (det)	Merah Semua (det)	Hijau (det)	Kuning (det)	Merah (det)	Merah Semua (det)
21	3	32	1	28	3	25	1
Waktu Siklus				Waktu Siklus			
57				57			
Fase 1		21	3	1	32		
Fase 2		25	1	28			

Tabel 11. Sebelum Optimasi pada Simpang Cidahu

Fase 1				Fase 2			
Hijau (det)	Kuning (det)	Merah (det)	Merah Semua (det)	Hijau (det)	Kuning (det)	Merah (det)	Merah Semua (det)
122	3	175	1	171	3	126	1
Waktu Siklus				Waktu Siklus			
301				301			
Fase 1		122	3	1	175		
Fase 2		126	1	171	3		

Tabel 12. Setelah Optimasi pada simpang Citeureup

Fase 1				Fase 2			
Hijau (det)	Kuning (det)	Merah (det)	Merah Semua (det)	Hijau (det)	Kuning (det)	Merah (det)	Merah Semua (det)
25	3	28	1	24	3	29	1
Waktu Siklus				Waktu Siklus			
57				57			
Fase 1		25	3	1	28		
Fase 2		29	1	24	3		

Tabel 13. Setelah Optimasi pada Simpang Cidahu

Fase 1				Fase 2			
Hijau (det)	Kuning (det)	Merah (det)	Merah Semua (det)	Hijau (det)	Kuning (det)	Merah (det)	Merah Semua (det)
128	3	1	169	164	3	133	1
Waktu Siklus				Waktu Siklus			
301				301			
Fase 1		128	3	1	169		
Fase 2		133	1	164	3		

3.2.3. Hasil Sebelum dan Sesudah Optimasi Koordinasi Simpang

Rekapitulasi hasil simulasi dari berbagai skenario diberikan pada Tabel 14. Hasil simulasi Kondisi eksisiting simpang Citeureup dengan volume kendaraan pada kondisi eksisting (simpang tak bersinyal) sebesar 7501 kend/ jam dan panjang antrian sepanjang 206,6 meter serta tundaan selama 8,511 detik maupun simpang Cidahu, tidak digunakan sebagai pembanding langsung skenario yang lain, hanya digunakan sebagai kalibrasi dan validasi model Simulasi. Karena kondisi eksisting simpang diatur oleh petugas, sehingga perilakunya mendekati kondisi simpang terkoordinasi dengan pengaturan sinyal *actuated* (menyesuaikan/responsif dengan volume lalu lintas simpang). Pada kondisi eksisting petugas mengatur operasi simpang dengan memberikan hak jalan mempertimbangkan volume dan antrian masing-masing kaki di dua simpang tersebut. Hal ini sejalan dengan hasil analisis kinerja menggunakan KAJI modul

simpang tak bersinyal yang memberikan hasil diatas kemampuan hitung MKJI – 1997 yang ditunjukkan dengan hasil *ERR* pada Tabel 7.

Tabel 14. Volume Kendaraan Simpang Kondisi Eksisting, Sebelum dan Setelah Optimasi Koordinasi

Simpang		Citeureup			
Skenario	1	2	3	4	5
Volume (kendaraan/jam)	7501	4546	5081	5064	5886
Panjang Antrian (meter)	206,6	261,88	273,02	267,22	250,34
Tundaan (detik)	8,511	40,751	37,6	37,62	27,682
Simpang		Cidahu			
Skenario	1	2	3	4	5
Volume (kendaraan/jam)	6376	3674	3609	3777	4569
Panjang Antrian (meter)	139,41	89,35	98,32	97,8	162,9
Tundaan (detik)	9,761	28,651	29,492	28,27	22,126

Keterangan:

- Skenario – 1 : Eksisting
- Skenario – 2 : Sebelum Optimasi
- Skenario – 3 : Setelah Optimasi dan Koordinasi (*intergreen* 4 detik)
- Skenario – 4 : Setelah Optimasi dan Koordinasi (*Offset* 45 detik)
- Skenario – 5 : Setelah Optimasi dan Koordinasi dengan siklus yang sama (*Offset* 45 detik)

Berdasarkan Tabel 14. Kondisi simpang Citeureup dengan simpang bersinyal (sebelum optimasi) volume kendaraannya sebesar 4546 kendaraan/jam dengan panjang antrian 261,88 meter dan lamanya tundaan sebesar 40,75 detik. Kinerja simpang tersebut menjadi lebih baik setelah dilakukan optimasi pada simpang bersinyal dibandingkan dengan sebelum di optimasi. Volume kendaraan pada simpang yang telah dilakukan optimasi sebesar 5081 kendaraan/jam dengan panjang antrian sebesar 273,03 meter dan lamanya tundaan sebesar 37,61. Volume kendaraan pada simpang yang telah di optimasi dan koordinasi dengan menggunakan *offset* 45 detik sebesar 5064 kendaraan/jam dengan panjang antrian sepanjang 267,22 meter dan lamanya tunadaan selama 37,62 detik. Volume kendaraan pada simpang yang telah di optimasi dan koordinasi dengan menggunakan siklus yang sama dan *offset* 45 detik sebesar 5886 kendaraan/jam dengan panjang antrian 250,34 meter dan tundaan selama 27 detik. Sedangkan untuk simpang Cidahu volume kendaraan pada kondisi eksisting (simpang tak bersinyal) sebesar 6376 kend/ jam dengan panjang antrian sepanjang 139,41 meter dan tundaan selama 9,76 detik. Sedangkan kondisi simpang bersinyal (sebelum optimasi) volume kendaraannya sebesar 3674 kendaraan/jam dengan panjang antrian 89,35 meter dan lamanya tundaan sebesar 28,65 detik. Seperti simpang Citeureup, Kinerja simpang Cidahu menjadi lebih baik setelah dilakukan optimasi pada simpang bersinyal dibandingkan sebelum optimasi. Volume kendaraan pada simpang yang telah dilakukan optimasi sebesar 3609 kendaraan/jam dengan panjang antrian sebesar 98,32 kendaraan/jam dan lamanya tundaan sebesar 28,27detik. Volume kendaraan pada simpang yang telah di optimasi dan koordinasi dengan menggunakan *offset* 45 detik sebesar 3777 kendaraan/jam dengan panjang antrian sepanjang 97,8 meter dan lamanya tunadaan selama 28,27 detik. Volume kendaraan pada simpang yang telah di optimasi dan koordinasi dengan menggunakan siklus yang sama dan *offset* 45 detik sebesar 4569 kendaraan/jam dengan panjang antrian 162,9 meter dan tundaan selama 22,13 detik.

Berdasarkan Tabel 14 diatas dapat dilihat perbandingan volume, panjang antrian dan lamanya tundaan dari lima kondisi. Jika dibandingkan antara kondisi eksisting dengan kondisi yang lain, kondisi yang lain tidak lebih baik karena meskipun simpang tidak bersinyal, kondisi eksisting diatur oleh petugas. Perilaku ini mendekati kondisi simpang bersinyal *actuated*. Jika dibandingkan antara sebelum optimasi dan setelah optimasi, setelah optimasi lebih baik dalam hal volume kendaraan, panjang antrian dan tundaan. Analisis menunjukkan kondisi awal kedua simpang mengalami permasalahan yang ditunjukkan dengan antrian dan tundaan. simpang Citeureup memiliki volume lalu lintas lebih tinggi dibanding Simpang Cidahu, meskipun keduanya mengalami masalah antrian dan tundaan. Setelah koordinasi sinyal diterapkan, terjadi peningkatan volume lalu lintas yang bisa dilewatkan simpang hingga 24–29%, dan pengurangan tundaan rata-rata sekitar 22–32%. Simulasi mikroskopik mengkonfirmasi bahwa koordinasi sinyal menciptakan aliran lalu lintas lebih stabil dengan pengaturan waktu hijau antar simpang serta perhatian terhadap *offset*. Penerapan koordinasi sinyal lalu lintas memberikan perbaikan pada kinerja kedua simpang yang ditunjukkan oleh peningkatan volume yang bisa dilewatkan simpang mencerminkan peningkatan efisiensi penggunaan simpang serta distribusi arus lalu lintas yang lebih teratur. Hasil simulasi memperkuat argumentasi bahwa pendekatan berbasis simulasi merupakan metode yang bisa diterapkan untuk mengevaluasi dan mengoptimasi sinyal lalu lintas sebelum implementasi lapangam. Studi serupa yang dilakukan oleh Hanafi dkk. (2019) pada gerbang tol menunjukkan kemampuan simulasi mikroskopik dalam analisis kinerja lalu lintas. Integrasi teknologi adaptif di masa mendatang berpotensi meningkatkan respons terhadap fluktuasi volume lalu lintas.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, koordinasi sinyal lalu lintas terbukti efektif dalam mengurangi derajat kejemuhan, panjang antrian, dan waktu tundaan di simpang Citeureup dan simpang Cidahu. Kesimpulan yang bisa diambil mencakup hal-hal sebagai berikut:

- Simpang Citeureup menunjukkan volume lalu lintas yang lebih tinggi dibanding simpang Cidahu, namun keduanya sama-sama mengalami masalah kinerja lalu lintas akibat ketiadaan sistem sinyal yang memadai. Permasalahan eksisting kedua simpang pada jam puncak pagi dan sore dengan panjang antrian 139.41 – 206.6 m.
- Penerapan koordinasi sinyal lalu lintas terbukti memberikan peningkatan kinerja pada kedua simpang, yang ditunjukkan dengan peningkatan volume yang bisa dilewaskan sebesar 24-29%, dan perbaikan waktu tundaan sebesar 22-32%.
- Penggunaan simulasi mikroskopik dapat digunakan sebagai metode dalam perencanaan dan evaluasi lalu lintas elemen jalan perkotaan. Untuk pengembangan jangka panjang, integrasi sistem sinyal dengan pusat kendali lalu lintas berbasis teknologi adaptif guna meningkatkan respons terhadap dinamika lalu lintas yang terus berubah, memiliki potensi untuk dikembangkan dan diterapkan.

Daftar Pustaka

- Aditya, R., Hanafi., Pamungkas, B.,M.C., Rusgiyarto, F. (2020). Evaluasi Kinerja Simpang Tak Bersinyal Pemkot Cimahi dengan Metode Simulasi. Journal Prosiding Simposium Forum Studi Transportasi antar Perguruan Tinggi ke-23
- Al-Nakhala, M., Al-Sakhra, A., & Beirut, B. (2023). Effect of Signal Coordination on The Traffic Operation of Urban Corridor. Research Gate.
- Badan Pusat Statistik Kota Cimahi (2019-2021): Kota Cimahi dalam Angka 2019-202. <https://cimahikota.bps.go.id/>.
- BM. (1997). Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI), Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Desijayanti, G., Hanafi., Islami, W.S., Rusgiyarto, F. (2019). Evaluasi Kinerja Simpang Armed Kota Cimahi dengan Metode Simulasi. Journal Prosiding Simposium Forum Studi Transportasi antar Perguruan Tinggi ke-22.
- FHWA. (2021). Traffic Signal Timing Manual: Chapter 6 - Federal Highway Administration Operations. <https://ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop08024/chapter6.htm>
- Fitzpatrick, K., Nowlin, L., & Carlson, P. J. (2000). Traffic Signal Coordination: State of the Practice. Texas Transportation Institute.
- Gunarathne, D., Amarasingha, N., & Wickramasinghe, V. (2023). Traffic Signal Controller Optimization Through VISSIM to Minimize Traffic Congestion, CO and NOx Emissions, and Fuel Consumption. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/369988862_Traffic_Signal_Controller_Optimization_Through_VISSIM_to_Minimize_Traffic_Congestion_CO_and_NOx_Emissions_and_Fuel_Consumption
- Hanafi, H., Rusgiyarto, F., & Tita, R. (2019). Analisis Kinerja Gerbang Tol Baros 1 dengan Metode Simulasi Mikroskopik. Seminar Nasional Teknik Sipil UNJANI. https://www.researchgate.net/publication/367525898_Effect_of_Signal_Coordination_on_The_Traffic_Operation_of_Urban_Corridor
- https://www.researchgate.net/publication/375636319_Traffic_Signal_Coordination_Based_on_Vissim_Software_Case_Study_of_Sudirman_Road_in_Denpasar_City_Indonesia
- Li, J., Peng, L., Hou, K., Tian, Y., Ma, Y., Xu, S., & Qiu, T. Z. (2023). Adaptive signal control and coordination for urban traffic control in a connected vehicle environment: A review. Digital Transportation and Safety, 2(2), 89–111. <https://doi.org/10.48130/DTS-2023-0008>
- Munawar, A. (2004). Manajemen Lalu Lintas dan Rekayasa Transportasi. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- NACTO. (2023). Coordinated Signal Timing, National Association of City Transportation Officials. <https://nacto.org/publication/urban-street-design-guide/intersection-design-elements/traffic-signals/coordinated-signal-timing/>
- Oglesby, C. H., & Hicks, R. G. (1982). Highway Engineering. New York: Wiley.
- Papacostas, C. S., & Prevedouros, P. D. (2005). Transportation Engineering and Planning (3rd ed.). New Jersey: Prentice Hall.
- Rusgiyarto, F., Hanafi, H., & Hadinagoro, R. (2018). Analisis Kinerja Rencana Simpang Susun Pasir Koja Ruas Tol Soreang–Pasir Koja. Proceeding FSTPT-22.
- Sari, D. A., & Putra, R. A. (2023). Traffic Signal Coordination Based on Vissim Software (Case Study of Sudirman Road in Denpasar City, Indonesia). Research Gate.
- Taylor, B.W. (1996). Introduction Management Science. Edisi kelima, Prentice Hall.
- Widodo A., Maryunani, W.P., Yuwana, D.S.A., (2018), Evaluasi Dan Pengaturan Simpang Bersinyal Terkoordinasi Dengan Metode Mkji 1997 Dan Transyt 14.1 Di Jalan Brigjen Katamso Kota Parakan, World of Civil and Environmental Engineering v.01, n.1, p.9-14, 2018.

Zhang, Y., Wang, L., & Liu, H. (2023). Enhancing Urban Intersection Efficiency: Utilizing Visible Light Communication in Multi-Intersection Traffic Control Systems. *MDPI Sensors*, 23(2), 31. <https://www.mdpi.com/2624-8921/6/2/31>