

SIMULASI DAN ANALISIS LALU LINTAS PENGARUH FLYOVER EXIT TOL PADALARANG – KOTA BARU PARAHYANGAN TERHADAP EFEKTIVITAS SIMPANG PADALARANG MENGGUNAKAN BIM AUTODESK INFRAWORKS

Yusuf Afandi¹

¹Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Langlangbuana

Email: afandi.yusuf456@gmail.com

Abstrak: Padalarang merupakan pusat pemerintahan di wilayah Kabupaten Bandung Barat yang termasuk kawasan Metropolitan Bandung. Pembangunan *flyover* Exit Tol Padalarang – Kota Baru Parahyangan sebagai solusi permasalahan lalu lintas di area Simpang Padalarang menimbulkan keraguan bagi masyarakat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *flyover* Exit Tol Padalarang – Kota Baru Parahyangan terhadap efektivitas Simpang Padalarang dan Simpang Panaris dalam mengatasi kemacetan. Metode penelitian yang digunakan adalah menggunakan metode MKJI 1997, teori antrian dan BIM Autodesk InfraWorks. Hasil analisis diketahui bahwa *flyover* Exit Tol Padalarang – Kota Baru Parahyangan mampu meningkatkan efektivitas Simpang Padalarang dari nilai tingkat pelayanan D pada kondisi eksisting menjadi A, sedangkan pengaruh infrastruktur tersebut terhadap Simpang Panaris tidak mengalami peningkatan efektivitas karena tetap terjadi kepadatan dengan nilai tingkat pelayanan D.

Kata Kunci: Flyover, Simpang Padalarang, Simpang Panaris, InfraWorks.

Abstract: Padalarang is the center of government in the West Bandung Regency area which is included in the Bandung Metropolitan area. The construction of the Padalarang - Kota Baru Parahyangan Toll Exit flyover as a solution to traffic problems in the Padalarang Simpang area raises doubts for the public. This study aims to determine the effect of the Padalarang - Kota Baru Parahyangan Toll Exit flyover on the effectiveness of the Padalarang and Panaris intersections in overcoming congestion. The research method used is the 1997 MKJI method, queuing theory and Autodesk InfraWorks BIM. The results of the analysis show that the Padalarang - Kota Baru Parahyangan Toll Exit flyover is able to increase the effectiveness of the Padalarang Interchange from level of service value D in the existing condition to A, while the influence of the infrastructure on the Panaris Intersection does not increase in effectiveness because it continues to occur with level of service D.

Keyword: Flyover, Padalarang Intersection, Panaris Intersection, InfraWorks.

PENDAHULUAN

Padalarang merupakan pusat pemerintahan di wilayah Kabupaten Bandung Barat yang terus berkembang sejak pemekaran wilayah dari Kabupaten Bandung pada 19 Juni 2007. Selain sebagai pusat pemerintahan dan pelayanan bagi wilayah sekitar, terdapat kawasan industri seperti Kawasan Industri Cimareme dan Kawasan Industri

Batujujar serta kawasan Kota Baru Parahyangan yang menjadi pusat pendidikan, perdagangan, jasa dan hunian mewah. Padalarang termasuk bagian dari Wilayah Metropolitan Bandung dimana mobilitas penduduk sangat tinggi sehingga menuntut kelancaran konektivitas antar wilayah yang saling terhubung.

Saat ini dengan semakin meningkatnya pertumbuhan penduduk serta laju pertumbuhan kendaraan setiap tahunnya berimbas pada berkurangnya kapasitas jalan, bertambahnya panjang antrian kendaraan serta waktu tundaan dan permasalahan lalu lintas lain yang tidak dapat dihindari, terutama ketika jam sibuk pada hari kerja saat pagi dan sore hari. Salah satunya terjadi pada Simpang Padalarang yang merupakan simpang bersinyal dengan 4 lengan untuk dua arah asal/tujuan yaitu Exit Tol Padalarang – Kota Baru Parahyangan (arah Timur – Barat) dan dari Bandung – Cianjur / Purwakarta (arah Utara – Selatan).

Untuk mengatasi masalah tersebut pemerintah Kabupaten Bandung Barat membangun infrastruktur *flyover* mulai dari Pintu Tol Padalarang hingga akses menuju Kota Baru Parahyangan dengan panjang 350 meter.

Flyover dianggap berhasil mengurai kemacetan karena mampu mengurangi tingkat kepadatan arus lalu lintas baik kendaraan ringan (LV), kendaraan besar (HV) dan kendaraan sepeda motor (MC), selain itu waktu tundaan juga berkurang (Kumalasari & Tisnawati, 2018). Dampak adanya *flyover* juga memberikan kinerja lalu lintas yang lebih baik serta mengurai kemacetan dibandingkan sebelum adanya *flyover* yaitu mengurangi rasio derajat kejenuhan dan meningkatkan laju kecepatan kendaraan (Febriana et al., 2019).

Namun pembangunan *flyover* Exit Tol Padalarang – Kota Baru Parahyangan sendiri menimbulkan pertanyaan serta keraguan di masyarakat sekitar dan pengguna jalan, karena berdasarkan pengamatan yang terjadi di lapangan, permasalahan lalu lintas di Simpang Padalarang adalah akibat dari kepadatan lalu lintas yang terjadi di Simpang Cimareme dan Simpang Pasar Tagog Padalarang.

Selain itu lokasi Simpang Padalarang sangat dekat dengan Simpang Panaris yaitu jenis simpang tak bersinyal yang menjadi penyebab antrian kendaraan akibat gerak kendaraan *crossing* antara arus kendaraan yang hendak lurus dari Jl. Panaris ke Jl. Nasional III dengan arus kendaraan yang hendak berbelok kiri dari Jl. Raya Padalarang menuju Gerbang Tol Padalarang.

Sehingga keberadaan *flyover* tersebut dianggap hanya sekedar memudahkan akses keluar masuk Exit Tol Padalarang – Kota Baru Parahyangan. Dari permasalahan diatas maka penelitian ini sangat perlu dilakukan untuk menjawab keraguan

masyarakat akan pembangunan infrastruktur *flyover* tersebut sebagai solusi untuk mengatasi kemacetan yang terjadi di Simpang Padalarang.

METODE PENELITIAN

Menganalisis lalu lintas merupakan bagian penting dari desain, perencanaan, pengendalian, pengelolaan, dan pencegahan kecelakaan. Analisis lalu lintas merupakan salah satu tahapan yang dikerjakan, pada tahap desain dari sebagian besar persimpangan, dicirikan oleh banyak variabel, beberapa di antaranya dengan tingkat kerumitan yang tinggi (Castañeda et al., 2021).

Dalam proses penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan menggunakan metode survey. Menurut (Kerlinger & Lee, 2000) dalam jurnal *Quantitative Research: A Successful Investigation in Natural and Social Sciences*, metode survey adalah penelitian terhadap populasi besar dan kecil dengan memilih sampel dari populasi yang diinginkan dan bertujuan untuk menemukan insiden relatif, distribusi dan hubungan timbal balik (Mohajan, 2020).

Penelitian berada di Area Simpang Padalarang yang beralamat di Jl. Nasional III Desa Kertajaya, Kecamatan Padalarang, Kabupaten Bandung Barat, Provinsi Jawa Barat. Untuk lebih jelasnya lokasi penelitian terlihat pada gambar berikut:



Gambar 1. Lokasi Penelitian
Sumber: Citra Google Earth

Pengambilan data dilakukan selama 7 hari dengan metode observasi pada jam puncak terjadinya kepadatan dengan interval waktu 3 jam pada pagi hari dan 3 jam pada sore hari. Adapun waktu pengamatan pagi hari jam 06.30 – 09.30 dan sore hari jam 16.30 – 19.30, sehingga diperoleh total waktu pengamatan 42 jam.

Menurut (Setyawan, 2013) untuk metode pengambilan data dengan cara observasi terdapat 4

(empat) jenis instrumen yaitu lembar pengamatan, panduan pengamatan, panduan observasi dan data cocok (*checklist*). Maka dalam penelitian ini menggunakan instrumen lembar pengamatan yaitu formulir survey lalu lintas kendaraan. Selain itu dilakukan juga pengambilan data geometrik simpang dan kecepatan kendaraan.

Analisis data yang digunakan adalah dengan metode MKJI 1997 untuk analisis simpang bersinyal pada kondisi eksisting Simpang Padalarang dan analisis simpang tak bersinyal pada Simpang Panaris, kemudian menggunakan teori antrian untuk analisis kinerja putaran balik (*u-turn flyover*) dan metode BIM (*Building Information Modeling*) dengan *software* Autodesk InfraWorks menggunakan fungsi *Traffic /Mobility Simulation* untuk simulasi dan analisis pada kondisi sebelum dan setelah adanya *flyover*.

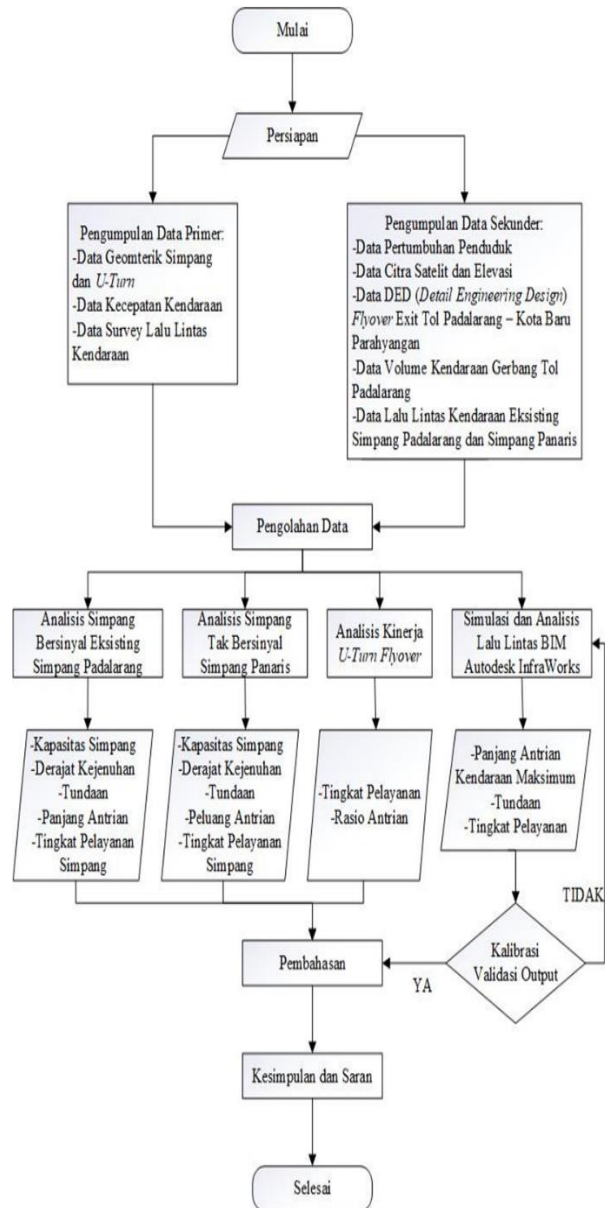
BIM adalah proses perencanaan, desain, konstruksi, operasi, dan pemeliharaan yang ditingkatkan menggunakan model informasi yang dapat dibaca oleh perangkat standar untuk setiap bangunan, baik bangunan lama atau baru, meliputi semua informasi sesuai dengan bangunan yang telah dibuat atau dikumpulkan tentang bangunan tersebut dalam format yang dapat digunakan oleh semua perangkat sepanjang siklus hidupnya (NIBS Building Smart Alliance, 2007).

Salah satu *software* BIM adalah InfraWorks yang dikembangkan oleh perusahaan Amerika bernama Autodesk, Inc. Merupakan sebuah model yang dibuat dalam *software* yang terdiri dari beberapa sumber data dan format file seperti raster dan vektor data (Avramovic & Johnsson, 2017). Fitur simulasi lalu lintas baru - baru ini ditambahkan ke dalam InfraWorks. Setelah model jaringan jalan dibuat, fitur simulasi lalu lintas beserta panel analisis yaitu *Traffic Analysis Panel (TAP)* dapat digunakan untuk menganalisis arus lalu lintas dan menghasilkan simulasi berupa animasi. Fitur ini memungkinkan pengguna mengatur beberapa parameter untuk mengkalibrasi model. Sehingga dapat mensimulasikan pejalan kaki, pengendara sepeda dan jenis kendaraan lainnya di InfraWorks (Avramovic & Johnsson, 2017).

Fitur tersebut kemudian dikenal dengan istilah *Autodesk InfraWorks Traffic /Mobility Simulation* yang menawarkan fungsi analisis untuk mengukur manfaat dari suatu desain jaringan jalan atau transportasi, dengan memodelkan orang - orang yang bepergian dalam suatu jaringan tersebut (Herrera, 2020). Tidak seperti *software* simulator lainnya, InfraWorks berfokus pada pergerakan

orang dan kendaraan, yang menjadikannya *software* yang sempurna untuk desain perkotaan. Ini sangat cocok untuk menguji desain dimana: orang berpindah antar moda transportasi, seperti desain untuk *Transit Oriented Development (TOD)* (Herrera, 2020).

Berikut adalah tahapan proses penelitian yang disajikan sesuai gambar 2.



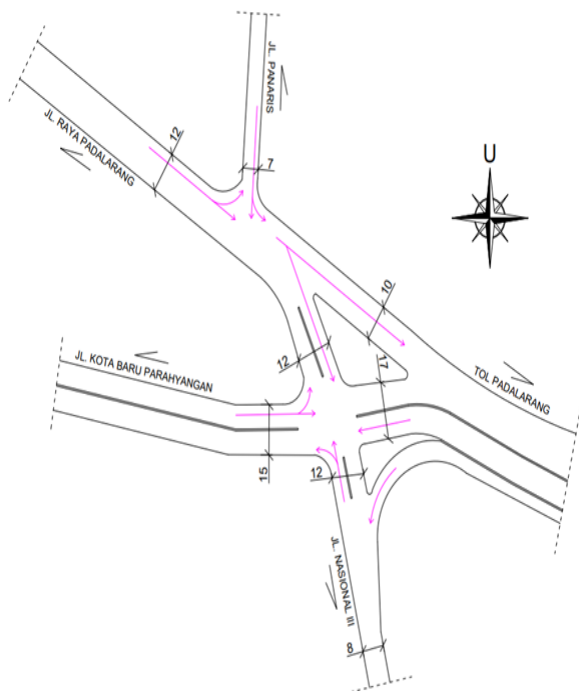
Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

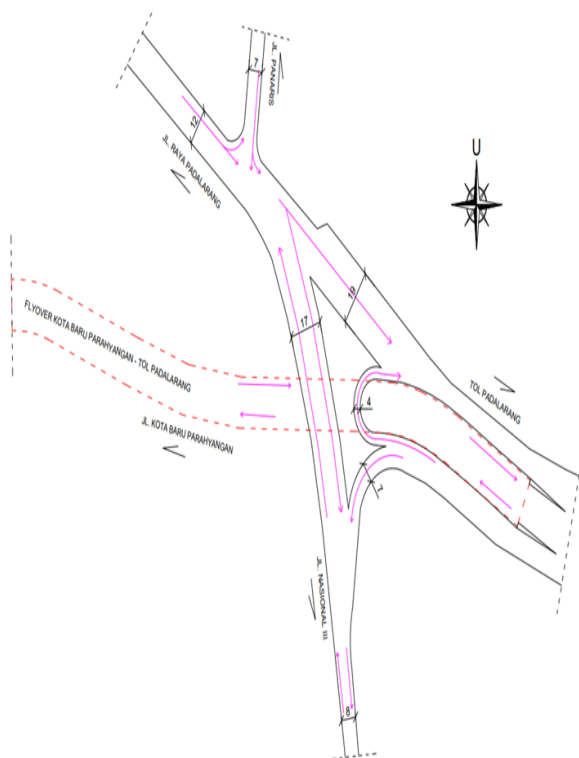
Berdasarkan hasil observasi di lapangan diketahui bahwa kondisi geometrik simpang di area Simpang Padalarang telah mengalami perubahan akibat adanya *flyover* sehingga terdapat dua gambar geometrik simpang yaitu kondisi eksisting dan kondisi setelah adanya *flyover*. Selain beberapa perubahan dari simpang bersinyal menjadi simpang tak

sebidang, pada Simpang Padalarang saat ini terdapat fasilitas bukaan median berupa putaran balik (*u-turn*). Sedangkan kondisi pada Simpang Panaris tidak mengalami perubahan geometrik simpang.

Geometrik Simpang



Gambar 3. Kondisi Eksisting Geometrik Simpang
Sumber: Hasil Pengolahan (2022)



Gambar 4. Kondisi Terbaru Geometrik Simpang

Sumber: Hasil Pengolahan (2022)

Kecepatan Kendaraan

Data kecepatan kendaraan diperoleh dengan melakukan pengukuran kecepatan menggunakan metode *spot speed*, dengan panjang area *spot speed* 50 meter. Untuk sampel digunakan masing – masing berjumlah 20 kendaraan pada tiga jenis kendaraan yaitu sepeda motor (MC), kendaraan ringan (LV) dan kendaraan berat (HV). Berikut merupakan rekapitulasi kecepatan kendaraan di area Simpang Padalarang.

Tabel 1. Data Kecepatan Kendaraan

No	Kecepatan Kendaraan (Km/Jam)		
	Sepeda Motor (MC)	Kendaraan Ringan (LV)	Kendaraan Berat (HV)
1	41.57	23.68	16.19
2	43.51	19.27	14.28
3	39.83	18.85	19.35
4	44.15	20.38	18.64
5	47.25	21.47	15.83
6	40.08	19.58	12.94
7	42.37	24.32	17.29
8	46.15	25.12	20.15
9	48.61	17.88	19.71
10	38.77	19.56	15.91
11	50.41	22.54	17.58
12	47.28	23.71	21.11
13	48.95	26.15	18.36
14	53.22	20.94	22.09
15	55.68	18.61	19.48
16	49.16	21.73	16.57
17	52.33	23.44	20.31
18	48.11	22.09	19.16
19	47.59	24.82	18.82
20	51.45	20.36	20.67
Rata - Rata	46.82	21.73	18.22

Sumber: Hasil Analisis dan Survey Lapangan (2022)

Analisis Simpang Bersinyal Eksisting Simpang Padalarang

Arus lalu lintas pada kondisi eksisting berdasarkan data lalu lintas yang diperoleh dari Dinas Perhubungan Kaputaen Bandung Barat diketahui terjadi pada jam puncak pagi hari pukul 06.00 – 07.00 WIB dengan total kendaraan yang melewati simpang sebesar 6.904 kend/jam dimana volume

kendaraan tertinggi berasal dari pendekat arah selatan (Jl. Nasional III) menuju Padalarang sebanyak 2.507 kend/jam sesuai dengan data pada tabel 2 berikut.

Tabel 2. Volume Kendaraan Jam Puncak Eksisting Simpang Padalarang

Pendekat	Arah	Kend/Jam		
		LV	HV	MC
Utara (Jl.Raya Padalarang)	LT/LTOR	528	267	0
	ST	436	33	801
	RT	0	0	0
	Total	964	300	801
Selatan (Jl.Nasional III)	LT/LTOR	574	77	598
	ST	677	39	542
	RT	0	0	0
	Total	1,251	116	1,140
Timur (Gerbang Tol Padalarang)	LT/LTOR	316	16	0
	ST	1,124	126	0
	RT	0	0	0
	Total	1,440	142	0
Barat (Jl. Kota Baru Parahyangan)	LT/LTOR	0	0	0
	ST	624	126	0
	RT	0	0	0
	Total	624	126	0
TOTAL		4,279	684	1,941

Sumber: Hasil Analisis (2022)

Nilai arus jenuh dasar pada simpang bersinyal diperoleh dengan rumus MKJI 1997:
 $S_o = 600 \times W_E$ (Lebar Efektif)

Tabel 3. Lebar Efektif dan Arus Jenuh Dasar Eksisting Simpang Padalarang

Pendekat	Lebar Efektif (m)	Arus Jenuh Dasar (smp/jam)
Utara (Jl.Raya Padalarang)	12,72	7632
Selatan (Jl.Nasional III)	13,2	7920
Barat (Jl. Kota Baru Parahyangan)	14,8	8880
Timur (Gerbang Tol Padalarang)	17,16	10.296

Sumber: Hasil Analisis (2022)

Sedangkan nilai arus jenuh diperoleh dari faktor – faktor koreksi dikali nilai arus jenuh dasar.

Tabel 4. Arus Jenuh Eksisting Simpang Padalarang

Pendekat	Faktor-faktor koreksi						Arus Jenuh (smp/jam)
	Fcs	Fsf	Fg	Fp	FRT	FLT	S
U	0.83	0.93	1.00	1.00	1.00	0.908	5,891
S	0.83	0.93	1.00	1.00	1.00	0.922	6,113
T	0.83	0.93	1.00	1.00	1.00	0.967	7,947
B	0.83	0.93	1.00	1.00	1.00	1.000	6,854

Sumber: Hasil Analisis (2022)

Kapasitas simpang bersinyal eksisting Simpang Padalarang diperoleh menggunakan rumus MKJI 1997.

Tabel 5. Kapasitas Eksisting Simpang Padalarang

Pendekat	Arus Jenuh (smp/jam)	Waktu Hijau (detik)	Waktu Siklus (detik)	Kapasitas (smp/jam)
	S	g	c	$C = S \times g/c$
U	5,891	50	89	3,310
S	6,113	50	89	3,435
T	7,947	30	89	2,679
B	6,854	30	89	2,310

Sumber: Hasil Analisis (2022)

Tabel 6. Derajat Kejenuhan Eksisting Simpang Padalarang

Pendekat	Arus Lalu Lintas (smp/jam)	Kapasitas (smp/jam)	Derajat Kejenuhan
	Q	C	Q/C
U	1,514	3,310	0.46
S	1,630	3,435	0.47
T	1,625	2,679	0.61
B	788	2,310	0.34

Sumber: Hasil Analisis (2022)

Selanjutnya adalah menghitung panjang antrian kendaraan pada simpang.

Tabel 7. Panjang Antrian dan Angka Henti Eksisting Simpang Padalarang

Pendekat	Jumlah kendaraan antri (smp)			Panjang Antrian (QL) (m)	Angka Henti (NS) stop/smp
	NQ1	NQ2	Total NQ = NQ1 + NQ2		
U	0.00	14.59	14.59	22.94	0.35
S	0.00	15.71	15.71	23.80	0.35
T	0.27	15.71	15.98	18.63	0.36
B	0.00	7.59	7.59	10.25	0.35

Sumber: Hasil Analisis (2022)

Tabel 8. Tundaan Eksisting Simpang Padalarang

Pendekat	Tundaan			
	Tundaan lalu lintas rata-rata DT det/smp	Tundaan geometrik rata-rata DG det/smp	Tundaan rata-rata D = DT + DG det/smp	Tundaan Total D x Q smp.det
U	43.47	1.19	44.65	67,613
S	43.51	1.38	44.89	73,166
T	44.17	1.99	46.16	74,986
B	43.54	2.40	45.95	36,197

Sumber: Hasil Analisis (2022)

Setelah mengetahui nilai tundaan pada masing – masing pendekat Simpang Padalarang, maka dapat diketahui tingkat pelayanan simpang berdasarkan standar *HighCapacity Manual* (HCM) 2000 sebagai berikut.

Tabel 9. Tingkat Pelayanan Simpang Bersinyal Eksisting Simpang Padalarang

Pendekat	Tundaan (D) det/smp	Tingkat Pelayanan Simpang
U	44.65	D
S	44.89	D
T	46.16	D
B	45.95	D

Sumber: Hasil Analisis (2022)

Analisis Simpang Tak Bersinyal Eksisting Simpang Panaris

Berdasarkan hasil analisis data volume lalu lintas pada kondisi eksisting, diketahui jam puncak eksisting Simpang Panaris terjadi pada pagi hari pukul 06.00 - 07.00 WIB dengan volume terbesar berasal dari pendekat Jl. Raya Padalarang (arus mayor) sebanyak 1578 kend/jam.

Tabel 10. Volume Kendaraan Jam Puncak Eksisting Simpang Panaris

Pendekat	Arah	Kend/Jam			Total
		LV	HV	MC	
Jl.Raya Padalarang (Arus Mayor)	LT	498	16	269	783
	ST	528	267	0	795
	RT	0	0	0	0
	Total	1,026	283	269	1578
Jl.Panaris (Arus Minor)	LT	115	17	0	132
	ST	104	7	668	779
	RT	0	0	0	0
	Total	219	24	668	911

Sumber: Hasil Analisis (2022)

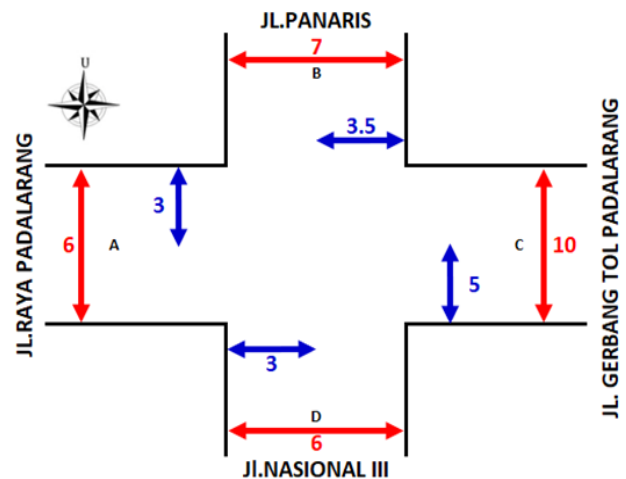
Simpang Panaris merupakan simpang tak bersinyal tipe 422 dengan kapasitas dasar 2900 smp/jam. Maka kapasitas eksisting Simpang Panaris dihitung sebagai berikut sesuai dengan rumus MKJI 1997, dimana nilai kapasitas dasar simpang dikali dengan faktor – faktor koreksi.

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

$$C = 2900 \times 0.88 \times 1.05 \times 0.88 \times 0.93 \times 1.44 \times 1.0 \times 0.91$$

$$C = 2873 \text{ smp/jam}$$

Lebar pendekat pada Simpang Panaris disajikan melalui sketsa sebagai berikut.



Gambar 5. Sketsa Lebar Pendekat Simpang Panaris Tipe 422

Sumber: Hasil Pengolahan (2022)

Terdapat empat pendekat dan dua lajur pada Simpang Panaris yaitu:

1. Jalan Raya Padalarang (W_A) = 3 m
2. Jalan Gerbang Tol Padalarang (W_C) = 5 m
3. Jalan Panaris (W_B) = 3,5 m
4. Jalan Nasional III (W_D) = 3 m

Setelah mengetahui nilai kapasitas simpang, maka dapat diperoleh nilai derajat kejenuhan sebagai berikut.

Tabel 11. Derajat Kejenuhan Eksisting Simpang Panaris

Pendekat	Arus Lalu Lintas	Kapasitas (smp/jam)	Derajat Kejenuhan
	Q	C	Q/C
Jl.Raya Padalarang (Arus Mayor)	1461	2873	0.51
Jl.Panaris (Arus Minor)	417	2934	0.15

Sumber: Hasil Analisis (2022)

Tabel 12. Tundaan Total Eksisting Simpang Panaris

Pendekat	Total Tundaan DT (det/smp)	Jl. Mayor DT _{MA} (det/smp)	Jl. Minor DT _{MI} (det/smp)
Jl.Raya Padalarang (Arus Mayor)	5.19	3.88	8.62
Jl.Panaris (Arus Minor)	1.48	1.11	2.46

Sumber: Hasil Analisis (2022)

Tabel 13. Tundaan Geometrik dan Tundaan Simpang Eksisting Simpang Panaris

Pendekat	Tundaan Geometrik (DG)	Tundaan Simpang (D) (det/smp)
Jl.Raya Padalarang (Arus Mayor)	4.06	9.25
Jl.Panaris (Arus Minor)	4.10	5.59

Sumber: Hasil Analisis (2022)

Berdasarkan nilai tundaan simpang di atas maka dapat diketahui tingkat pelayanan simpang tak bersinyal Simpang Panaris pada kondisi eksisting berdasarkan standar *HighCapacity Manual* (HCM) 2000 sebagai berikut.

Tabel 14. Tingkat Pelayanan Simpang Tak Bersinyal Eksisting Simpang Panaris

Pendekat	Tundaan Simpang (D) (det/smp)	Tingkat Pelayanan Simpang
Jl.Raya Padalarang (Arus Mayor)	9.25	A
Jl.Panaris (Arus Minor)	5.59	A

Sumber: Hasil Analisis (2022)

Analisis Simpang Tak Bersinyal Simpang Panaris Setelah Adanya Flyover

Berdasarkan hasil analisis data volume lalu lintas pada kondisi setelah adanya *flyover*, diketahui jam puncak Simpang Panaris terjadi pada pagi hari pukul 07.30 - 08.30 WIB sebagai berikut.

Tabel 15. Volume Kendaraan Jam Puncak Simpang Panaris Setelah Adanya Flyover

Pendekat	Arah	Kend/Jam			Total
		LV	HV	MC	
Jl.Raya Padalarang (Arus Mayor)	LT	329	8	1,779	2116
	ST	1,438	129	0	1567
	RT	0	0	0	0
	Total	1,767	137	1,779	3683
Jl.Panaris (Arus Minor)	LT	279	42	0	321
	ST	177	30	2,218	2425
	RT	0	0	0	0
	Total	456	72	2,218	2746

Sumber: Hasil Analisis (2022)

Kapasitas simpang pada kondisi setelah adanya *flyover* mengalami perubahan pada nilai faktor koreksi belok kiri (F_{LT}) dan arus minor (F_{MI}) sebagai berikut.

$$C = CO \times F_w \times F_M \times F_{CS} \times F_{RSU} \times F_{LT} \times F_{RT} \times F_{MI}$$

$$C = 2900 \times 0,88 \times 1,05 \times 0,88 \times 0,93 \times 1,40 \times 1,0 \times 0,90$$

$$C = 2763 \text{ smp/jam}$$

Tabel 16. Derajat Kejenuhan Simpang Panaris Setelah Adanya Flyover

Pendekat	Arus Lalu Lintas (smp/jam)	Kapasitas (smp/jam)	Derajat Kejenuhan
	Q	C	Q/C
Jl.Raya Padalarang (Arus Mayor)	2835	2763	1.03
Jl.Panaris (Arus Minor)	1660	2763	0.60

Sumber: Hasil Analisis (2022)

Tabel 17. Tundaan Total Simpang Panaris Setelah Adanya Flyover

Pendekat	Total Tundaan DT (det/smp)	Jl. Mayor DT _{MA} (det/smp)	Jl. Minor DT _{MI} (det/smp)
Jl.Raya Padalarang (Arus Mayor)	16.29	11.27	24.87
Jl.Panaris (Arus Minor)	6.13	4.58	8.79

Sumber: Hasil Analisis (2022)

Tabel 18. Tundaan Geometrik dan Tundaan Simpang Simpang Panaris Setelah Adanya Flyover

Pendekat	Tundaan Geometrik (DG) (det/smp)	Tundaan Simpang (D) (det/smp)
Jl.Raya Padalarang (Arus Mayor)	4.00	20.29
Jl.Panaris (Arus Minor)	4.02	10.15

Sumber: Hasil Analisis (2022)

Nilai tundaan di Simpang Panaris mengalami peningkatan dibandingkan kondisi sebelum adanya *flyover* yang berimbas pada menurunnya nilai tingkat pelayanan simpang berdasarkan standar *HighCapacity Manual* (HCM) 2000.

Tabel 14. Tingkat Pelayanan Simpang Tak Bersinyal Simpang Panaris Setelah Adanya Flyover

Pendekat	Tundaan Simpang (D) (det/smp)	Tingkat Pelayanan Simpang
Jl.Raya Padalarang (Arus Mayor)	20.29	C
Jl.Panaris (Arus Minor)	10.15	B

Sumber: Hasil Analisis (2022)

Analisis Kinerja Putaran Balik (U-Turn) Flyover

Setelah adanya *flyover* terjadi perubahan geometrik simpang pada Simpang Padalarang, salah satunya adalah terdapat fasilitas bukaan median yaitu putaran balik. Putaran balik *flyover* merupakan fasilitas bukaan median bagi kendaraan yang keluar dari arah Gerbang Tol Padalarang dan akan Kembali masuk Gerbang Tol Padalarang. Maka dalam penelitian ini perlu diketahui kinerja putaran balik *flyover* tersebut pengaruhnya pada kondisi setelah adanya *flyover*.

Berdasarkan hasil analisis volume kendaraan, jam puncak terjadi pada hari Senin pukul 07.30 – 08.30 seperti pada tabel berikut:

Tabel 15. Volume Kendaraan Jam Puncak Putaran Balik (U-Turn) Flyover

Hari	Jam Sibuk	Jenis Kendaraan		Total
		LV	HV	
Senin	07.30 - 08.30	13	1	14
	16.30 - 17.30	5	1	6
Selasa	07.30 - 08.30	10	1	11
	17.30 - 18.30	4	2	6
Rabu	07.30 - 08.30	9	1	10
	17.30 - 18.30	5	2	7
Kamis	07.30 - 08.30	6	2	8
	17.30 - 18.30	3	2	5
Jumat	07.30 - 08.30	8	1	9
	17.30 - 18.30	4	1	5
Sabtu	08.30 - 09.30	5	2	7
	17.30 - 18.30	7	1	8
Minggu	07.30 - 08.30	8	2	10
	17.30 - 18.30	5	1	6

Sumber: Hasil Analisis (2022)

Tingkat pelayanan putaran balik menurut teori antrian berdasarkan pada waktu manuver kendaraan saat melakukan gerak putar balik dalam satuan detik/kend.

Tabel 16. Nilai Tingkat Pelayanan Putaran Balik (U-Turn) Flyover

Arah	Jam	Total (kend/jam)	Rata - Rata Waktu Manuver (kend/detik)	Tingkat Pelayanan
		λ	μ	μ
T - T	06.30 - 07.30	7	16.62	216.61
	07.30 - 08.30	14	16.60	216.93
	08.30 - 09.30	9	16.29	220.99
	16.30 - 17.30	6	15.76	228.50
	17.30 - 18.30	3	16.13	223.26
	18.30 - 19.30	4	16.94	212.58

Sumber: Hasil Analisis (2022)

Dimana nilai tingkat pelayanan pada tabel 16 diperoleh dari persamaan berikut:

$$\mu = \frac{3600}{\text{Lama waktu manuver kendaraan U - Turn}}$$

Nilai tingkat pelayanan pada tabel 16 menunjukkan bahwa volume kendaraan yang melewati putaran balik (*u-turn*) dalam kategori rendah, sehingga waktu kedatangan antar kendaraan cukup lama dan tidak terjadi kepadatan.

Untuk mengetahui ada tidaknya kemungkinan terjadi antrian kendaraan pada putaran balik maka perlu dihitung intensitas rasio kendaraan

Tabel 17. Intensitas Rasio Antrian Putaran Balik (U-Turn) Flyover

Arah	Jam	Total (kend/jam)	Tingkat Pelayanan	Intensitas Rasio Antrian
		λ	μ	$\rho = \lambda/\mu$
T - T	06.30 - 07.30	7	216.61	0.032
	07.30 - 08.30	14	216.93	0.065
	08.30 - 09.30	9	220.99	0.041
	16.30 - 17.30	6	228.50	0.026
	17.30 - 18.30	3	223.26	0.013
	18.30 - 19.30	4	212.58	0.019

Sumber: Hasil Analisis (2022)

Berdasarkan tabel 17 di atas diketahui bahwa nilai intensitas rasio antrian pada putaran balik (*u-turn*) *flyover* mempunyai rasio (ρ) < 1.0. Hal ini berarti tidak terjadi antrian kendaraan pada putaran balik (*u-turn*) *flyover*.

Simulasi dan Analisis Lalu Lintas BIM Autodesk InfraWorks

Salah satu manfaat InfraWorks adalah mampu melakukan simulasi dan analisis lalu lintas secara mesoskopik yaitu menggabungkan sifat mikroskopik dengan makroskopik, karena itu manuver perubahan jalur didasarkan pada kepadatan jalur dan kecepatan diferensial, tanpa mempertimbangkan kendaraan lain secara individual.

Dalam penelitian untuk mengetahui tingkat efektivitas suatu simpang, maka tujuan penggunaan BIM lalu lintas yang digunakan adalah untuk mengintegrasikan informasi lalu lintas dengan informasi lainnya antar disiplin ilmu yang berbeda pada suatu proyek. Proses yang dilakukan antara lain:

1) Pemodelan Kondisi Eksisting

Pembuatan model kondisi eksisting Simpang Padalarang dan Simpang Panaris berdasarkan data lalu lintas yang diperoleh dari Dinas Perhubungan Kabupaten Bandung Barat. Model jaringan jalan dibuat dengan menggunakan *Assembly Road* yang telah disesuaikan untuk masing – masing pendekatan pada Simpang Padalarang dan Simpang Panaris sehingga geometrik jalan yang dibuat sesuai dengan kondisi di lapangan.



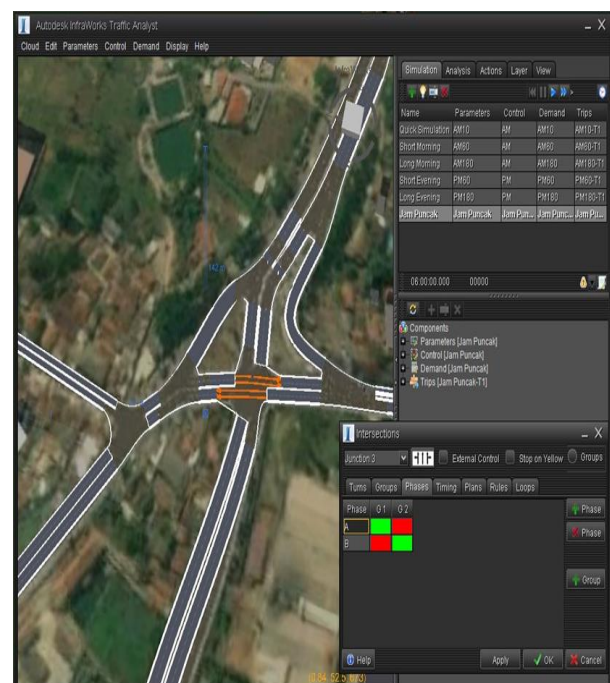
Gambar 6. Pemodelan Kondisi Eksisting Simpang Padalarang dan Simpang Panaris
Sumber: Hasil Pengolahan (2022)

2) Koordinasi Pemodelan 3D

Koordinasi pemodelan 3D dilakukan sebelum tahap perencanaan desain yang akan dibuat pada model kondisi eksisting, dimana pada tahapan ini terjadi proses kolaborasi antar data atau informasi dari berbagai sumber. Pada tahap ini pula dilakukan *review* pengecekan pada model kondisi eksisting untuk memastikan apakah model dapat bekerja dengan baik untuk meminimalisir kesalahan sebelum nantinya dilakukan tahap analisis.

Dalam penelitian ini koordinasi pemodelan 3D dilakukan dengan mengecek masing – masing titik pertemuan jalan baik pada simpang atau pada tikungan dan rute kendaraan yang bisa dijalankan pada saat proses simulasi dan analisis lalu lintas nantinya.

Gambar 7 menunjukkan proses pengecekan simpang bersinyal eksisting Simpang Padalarang dimana terdapat 2 fase dan arah pergerakan arus kendaraan sudah sesuai dengan kondisi di lapangan, sehingga proses simulasi dan analisis kondisi eksisting Simpang Padalarang dapat dilakukan.



Gambar 7. Pengecekan Fase Simpang Bersinyal dan Pegerakan Kendaraan
Sumber: Hasil Pengolahan (2022)

3) Perencanaan Desain

Setelah proses koordinasi pemodelan 3D selesai, maka langkah selanjutnya adalah melakukan perencanaan desain untuk kondisi adanya *flyover* pada Simpang Padalarang. Desain *flyover* yang dibuat mengacu pada data DED (*Detail Engineering Design*) dari Dinas Perhubungan Kabupaten Bandung Barat.

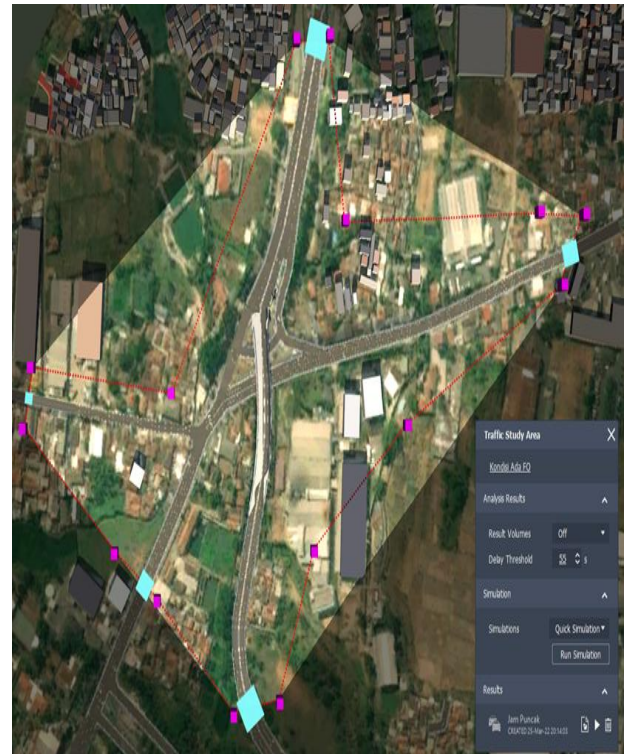


Gambar 8. Tampak Atas Model BIM Flyover
Sumber: Hasil Pengolahan (2022)



Gambar 9. Tampilan Detail Bagian Jalan Flyover
Sumber: Hasil Pengolahan (2022)

4) Analisis Lalu Lintas dan Simulasi
 Untuk melakukan simulasi dan analisis lalu lintas perlu membuat *Traffic Study Area* melalui menu *Analysis* lalu pilih *Traffic Simulation*. *Traffic Study Area* dibuat membentuk *polygon* di sekitar area Simpang Padalarang dan Simpang Panaris pada model yang telah sesuai dengan kebutuhan area zona kedatangan dan keberangkatan kendaraan berdasarkan matriks O-D (*Origin – Destination*).



Gambar 10. Traffic Study Area Penelitian
Sumber: Hasil Pengolahan (2022)

Traffic study area yang telah dibuat perlu diatur untuk parameter – parameter pergerakan kendaraannya. Untuk mengatur parameter – parameter tersebut agar sesuai dengan kondisi di lapangan diatur melalui *Traffic Analysis Panel*, parameter yang paling mempengaruhi adalah perilaku berkendara (*driving behaviours*) yaitu:

1. *Compliance (Speed)*, koefisien pengali batas kecepatan kendaraan saat di jalan. Secara default koefisien bernilai 1.0
2. *Minimum Gap*, digunakan untuk menentukan jarak minimum antara kendaraan yang berhenti dalam keadaan macet dalam satuan meter.
3. *Headway*, jarak antar kendaraan dalam satuan detik.
4. *Reaction Time*, waktu reaksi pengemudi saat berkendara dalam satuan detik.
5. *Safety Margin*, koefisien faktor keamanan untuk menghitung jarak berhenti antar kendaraan.
6. *Lane Gap*, digunakan untuk mengatur perilaku pergerakan perubahan jalur kendaraan dalam satuan detik.
7. *Variability*, merupakan koefisien untuk mengatur keseragaman antar perilaku berkendara dengan nilai 0,0 – 1,0.

Maka perlu mengacu pada beberapa penelitian terkait simulasi lalu lintas seperti berikut:

Tabel 18. Referensi Parameter Perilaku Berkendara

No	Parameter	Nilai	Referensi
1	Compliance (Speed)	1.0	Autodesk InfraWorks Knowledge
2	Minimum Gap	0.2 m	Jurnal Mikrosimulasi Vissim (Nurjannah Haryanti Putri, 2015)
3	Headway	0.5 - 3.0 detik	Skripsi Analisis Simpang Bersinyal Vissim (Fransisca Aria Nindita, 2020)
4	Reaction Time	0.25 - 2.5 detik	Jurnal Transportasi Faktor Pemicu Persepsi dan Sikap Toleran Pengendara Terhadap Resiko Kecelakaan (Don Gaspar, Siti Malkhamah dan Latif Budi Suparna, 2018)
5	Safety Margin	1.0	Jurnal Mikrosimulasi Vissim (Nurjannah Haryanti Putri, 2015)
6	Lane Gap	1 detik	Autodesk InfraWorks Knowledge
7	Variability	0.10	Autodesk InfraWorks Knowledge

Sumber: Hasil Berbagai Sumber (2022)

Jumlah kendaraan yang disimulasikan sama dengan jumlah kendaraan jam puncak pada analisis metode MKJI untuk eksisting Simpang Padalarang dan eksisting Simpang Panaris yaitu sebanyak 8598 kendaraan.



Gambar 11. Hasil Simulasi dan Analisis Lalu Lintas Kondisi Eksisting

Sumber: Hasil Analisis (2022)

Tabel 19. Hasil Simulasi dan Analisis Kondisi Eksisting Simpang Panaris

Pendekat	Delay	Max Queue	Level Of Service
	det	m	
Jl.Raya Padalarang (Arus Mayor)	43.55	195.29	D
Jl.Panaris (Arus Minor)	54.77	253.15	D

Sumber: Hasil Analisis (2022)

Tabel 20. Hasil Simulasi dan Analisis Kondisi Eksisting Simpang Padalarang

Pendekat	Delay	Max Queue	Level Of Service
	det	m	
Jl. Raya Padalarang (U)	18.02	67.7	B
Jl. Nasional III (S)	16.24	99.69	B
Jl. Gerbang Tol Padalarang (T)	21.6	79.61	B
Jl. Kota Baru Parahyangan (B)	111.34	521.79	F

Sumber: Hasil Analisis (2022)

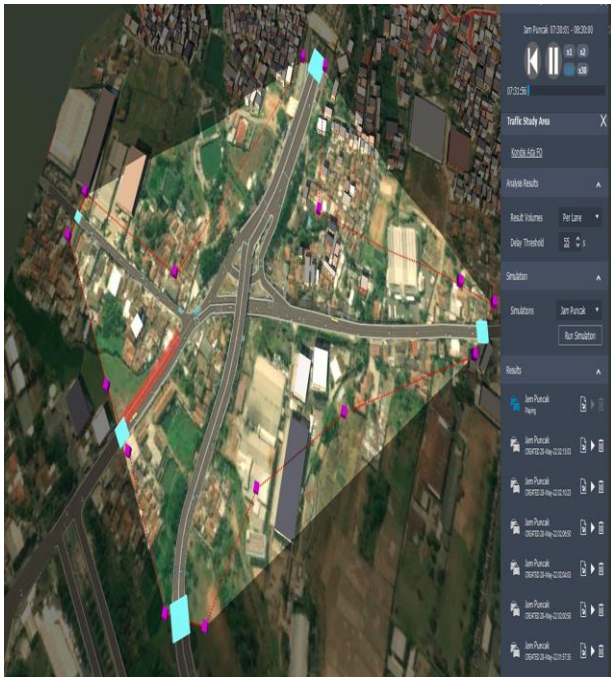
Dapat diketahui bahwa pada kondisi eksisting terjadi kepadatan lalu lintas di Simpang Padalarang yaitu pada pendekat Barat (Jl. Kota Baru Parahyangan) dengan nilai tundaan (*delay*) 111,34 det/kend dan panjang antrian kendaraan maksimum (*maximum queue*) mencapai 521,79 m, sehingga tingkat pelayanan berada pada kondisi F.

Sedangkan untuk kondisi eksisting Simpang Panaris terjadi kepadatan pada pendekat Jl. Raya Padalarang (arus mayor) dengan nilai tundaan 43,55 det/kend dan panjang antrian kendaraan maksimum (*maximum queue*) mencapai 195,29 m, maka tingkat pelayanan berada pada kondisi D.

Untuk kondisi setelah adanya *flyover* jumlah kendaraan yang disimulasikan berdasarkan data hasil survey lalu lintas di lapangan dan analisis jam puncak kendaraan pada pukul 07.30 – 08.30 WIB adalah sebanyak 21.744 kendaraan.

Perilaku berkendara pada kondisi setelah adanya *flyover* mengalami perubahan terutama pada Simpang Padalarang dimana sebelumnya merupakan simpang bersinyal berubah menjadi simpang tak sebidang. Parameter yang paling disesuaikan adalah *Headway*, karena terjadi perubahan nilai *Headway* untuk kondisi eksisting dari rentang 0.70 detik – 0.90 detik, berubah menjadi 0.70 detik – 1.0 detik pada kondisi setelah adanya *flyover*.

Perubahan nilai tersebut tetap mengacu pada rentang nilai masing – masing parameter sesuai dengan tabel 18. di atas, hal ini dilakukan agar pada saat proses kalibrasi dan validasi mendapatkan hasil yang sesuai dengan kondisi di lapangan.



Gambar 12. Hasil Simulasi dan Analisis Lalu Lintas Kondisi Setelah Adanya Flyover
Sumber: Hasil Analisis (2022)

Tabel 21. Hasil Simulasi dan Analisis Kondisi Terbaru Simpang Panaris

Pendekat	Delay	Max Queue	Level Of Service
	det	m	
Jl.Raya Padalarang (Arus Mayor)	52.64	144.12	D
Jl.Panaris (Arus Minor)	20.85	6.4	B

Sumber: Hasil Analisis (2022)

Tabel 22. Hasil Simulasi dan Analisis Kondisi Terbaru Simpang Padalarang

Pendekat	Delay	Max Queue	Level Of Service
	det	m	
Jl. Raya Padalarang (U)	5.07	0	A
Jl. Nasional III (S)	3.74	0	A
Jl. Gerbang Tol Padalarang (T)	9.33	0	A
Jl. Kota Baru Parahyangan (B)	7.57	0	A

Sumber: Hasil Analisis (2022)

Berdasarkan tabel 21 dan tabel 22 diatas dapat diketahui bahwa setelah adanya *flyover* di Simpang Padalarang telah memberikan dampak yang positif yaitu terjadi peningkatan tingkat pelayanan, salah satunya ditunjukkan dengan perubahan di pendekat Barat (Jl. Kota Baru Parahyangan) dengan nilai tundaan (*delay*) 7,57 det/kend dan panjang antrian kendaraan maksimum (*maximum queue*) bernilai 0 m yang berarti tidak adanya antrian kendaraan, sehingga tingkat pelayanan berada pada kondisi A. Nilai tersebut jauh mengalami perubahan dari F menjadi A, sehingga dapat dikatakan bahwa *flyover* Exit Tol Padalarang – Kota Baru Parahyangan mampu meningkatkan efektivitas di Simpang Padalarang.

Sedangkan untuk Simpang Panaris tetap terjadi kepadatan pada pendekat Jl. Raya Padalarang (arus mayor) dengan nilai tundaan 52,64 det/kend dan panjang antrian kendaraan maksimum (*maximum queue*) mencapai 144,12 m, sehingga tingkat pelayanan berada pada kondisi D. Namun terjadi peningkatan tingkat pelayanan pada pendekat Jl. Panaris (arus mayor) dari D menjad B dengan nilai tundaan 20,85 det/kend dan panjang antrian kendaraan maksimum (*maximum queue*) mencapai 6,4 m.

Kalibrasi dan Validasi

Simulasi dan analisis lalu lintas dijalankan secara berulang agar diperoleh hasil yang sesuai dengan kondisi di lapangan, maka perlu dilakukan kalibrasi serta validasi pada setiap percobaan simulasi dan analisis lalu lintas yang dilakukan baik pada model kondisi eksisting maupun kondisi adanya *flyover*.

Proses kalibrasi dilakukan dengan merubah nilai parameter perilaku berkendara sesuai dengan referensi perilaku berkendara pada tabel 18, sedangkan proses validasi dilakukan menggunakan rumus GEH yang merupakan rumus statistik modifikasi dari Chi -squared dengan menggabungkan perbedaan antara nilai relatif dan mutlak.

$$GEH = \sqrt{\frac{(Q_{simulasi} - Q_{pengamatan})^2}{0,5 \times (Q_{simulasi} + Q_{pengamatan})}}$$

Tabel 23. Validasi Simulasi dan Analisis Lalu Lintas Kondisi Eksisting

Trial	Volume Kendaran (kend/jam)		GEH	Keterangan
	Hasil Simulasi	Observasi		
1	6,894	8,598	19,36	Ditolak
2	3,664	8,598	63,01	Ditolak
3	11,012	8,598	24,38	Ditolak
4	8,127	8,598	5,15	Model Error
5	8,436	8,598	1,75	Diterima

Sumber: Hasil Analisis (2022)

Tabel 24. Validasi Simulasi dan Analisis Lalu Lintas Kondisi Setelah Adanya Flyover

Trial	Volume Kendaran (kend/jam)		GEH	Keterangan
	Hasil Simulasi	Observasi		
1	26,198	21,744	28,77	Ditolak
2	24,505	21,744	18,15	Ditolak
3	24,012	21,744	14,99	Ditolak
4	22,749	21,744	6,73	Model Error
5	22,418	21,744	4,53	Diterima

Sumber: Hasil Analisis (2022)

KESIMPULAN

Pembangunan infrastruktur Flyover Exit Tol Padalarang – Kota Baru Parahyangan memberikan pengaruh yang sangat positif dengan mampu meningkatkan tingkat efektivitas Simpang Padalarang, hal ini ditunjukkan dengan naiknya nilai tingkat pelayanan simpang dari D pada kondisi eksisting menjadi A pada kondisi saat ini. Sehingga mampu menjadi solusi dalam mengatasi permasalahan lalu lintas yang selama ini terjadi pada Simpang Padalarang. Sedangkan tingkat efektivitas Simpang Panaris cenderung tidak mengalami perubahan yang signifikan setelah adanya infrastruktur Flyover Exit Tol Padalarang – Kota Baru Parahyangan karena kepadatan lalu lintas tetap terjadi pada pendekat Jl. Raya Padalarang (arus mayor) dengan nilai tingkat pelayanan D, namun untuk pendekat Jl. Panaris (arus minor) terjadi perubahan nilai tingkat pelayanan dari D menjadi B. Permasalahan waktu tundaan dan panjang antrian kendaraan tetap terjadi di Simpang Panaris akibat gerak kendaraan menyilang (*crossing*) dari arah Jl. Panaris lurus menuju Jl. Nasional III (Cimareme) dengan kendaraan yang hendak mengarah masuk ke Gerbang Tol Padalarang dari arah Padalarang.

DAFTAR PUSTAKA

- Australian Government Productivity Commission. (2013). *On Efficiency and Effectiveness : Some Definitions* (Issue May, pp. 1–14). Staff Research Note.
- Avramovic, S., & Johnsson, E. (2017). *Evaluation of Autodesk InfraWorks 360 and PTV Vissim*. Chalmers University Of Technology.
- Castañeda, K., Sánchez, O., Herrera, R. F., Pellicer, E., & Porras, H. (2021). *BIM-based traffic analysis and simulation at road intersection design*. *Automation in Construction*, 131(October 2020). <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.10391>
- 1
- Pedoman Perencanaan Putaran Balik (U-Turn), 1 (2005).
- Febriana, S., Hidayati, N., Slamet, G., & Setyaningsih, I. (2019). *Dampak Fly Over Manahan Terhadap Arus Lalu Lintas*. *Jurnal Litbang Sukowati : Media Penelitian Dan Pengembangan*, 4(1), 37–45.
- Herrera, E. (2020). *Traffic Engineering : Early Merging Versus Zipper Merging Using Autodesk InfraWorks*. Autodesk, Inc.
- Ishak, B., Kadir, Y., & Patuti, I. M. (2019). *Pengaruh U-Turn Di Ruas Jalan Prof. Dr. Hi. John A. Katili Dan Jalan Nani Wartabone Kota Gorontalo*. Seminar Nasional Teknologi, Sains dan Humaniora 2019 (SemanaTECH 2019), 171–175.
- Jatmiko, E. (2017). *Analisis Kinerja Pergerakan Kendaraan Putaran Balik (U-Turn) Ruas Jalan Pahlawan Di Kota Samarinda*.
- Kumalasari, D., & Tisnawati. (2018). *Analisis Efektivitas Flyover Jatingaleh Berbasis Manajemen Transportasi Sebagai Solusi Kemacetan*. PENA Vol. 32 No. 2 Edisi September 2018, 8.
- Listiyani, R., Linawati, L., & Sasongko, L. R. (2019). *Analisis Proses Produksi Menggunakan Teori Antrian Secara Analitik dan Simulasi*. *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, 8(1), 9–18. <https://doi.org/10.26593/jrsi.v8i1.3154.9-18>
- MKJI. (1997). *Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI)*. Direktorat Jenderal Bina Marga. Departemen Pekerjaan Umum.
- Mohajan, H. K. (2020). *Quantitative Research: A Successful Investigation in Natural and Social Sciences*. *Journal of Economic Development, Environment and People*, 9(4), 1–41.
- NIBS Building Smart Alliance. (2007). *United States National Building Information Modeling Standard*. National BIM Standard. National Institute of Building Sciences.
- Parks, A., Bailey, C., Ferguson, S., Clark, K., Rivera, J., Christy, R., Allison, J., & Fullerton, J. (2018). *Colorado Department of Transportation 2018 Roadway Design Guide*. Colorado Department of Transportation.
- PP No. 34 Tahun 2006 Tentang Jalan, 1 (2006).
- Prakosa, B. P. (2020). *Identifikasi Flyover Manahan Menurut PUPR*. SIAR (Seminar

- Ilmiah Arsitektur), 8686, 582–588.
- Pratama, M. D. M., & Elkhasnet. (2019). *Analisis Kinerja Simpang Tak Bersinyal Jalan A.H. Nasution dan Jalan Cikadut, Kota Bandung*. (Hal. 116-123). RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil, 5(2).
- Risdiyanto. (2014). *Rekayasa & Manajemen Lalu Lintas Teori dan Aplikasi*. LeutikaPrio.
- Salatoom, N., & Taneerananon, P. (2015). *An Evaluation of Flyover-Improved Intersections: A Case Study of Airport Intersection*. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 11(0), 2028–2040.
- Setyawan, D. A. (2013). *Data dan Metode Pengumpulan Data Penelitian*. Metodologi Penelitian. Politeknik Kesehatan Surakarta.
- Suryaningsih, O. F., Hermansyah, H., & Kurniati, E. (2020). *Analisis Kinerja Simpang Bersinyal (Studi Kasus Jalan Hasanuddin-Jalan Kamboja, Sumbawa Besar)*. INERSIA: LNformasi Dan Ekspose Hasil Riset Teknik Sipil Dan Arsitektur, 16(1), 74–84.
- Susilo, B. H. (2019). *Rekayasa Lalu Lintas (III)*. Universitas Trisakti Jakarta.
- Transportation Research Board. (2000). *Highway Capacity Manual*. National Research Council.