Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sipil: Vol 04 Number: 1, July 2025, pp 10-18.
Department of Civil Engineering, University of Riau.,
ISSN: 2963-6841 (Online), Indonesia

e-journal OJS of UNRI

Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sipil

Journal homepage: https://jtrs.ejournal.unri.ac.id/index.php/jtrs

MODEL NUMERIS ANALISIS KINERJA SIMPANG BERSINYAL BERDASARKAN MKJI 1997

Muhammad Shiddiq Firman Abdullah[1], *Edi Yusuf Adiman[2], Mudjiatko[3], Muhammad Rilly Aka Yogi[4]

[1,2,3,4]Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Indonesia
*Corresponding Author (edi.yusuf@eng.unri.ac.id)

Abstract

A numerical model of signalized intersection performance analysis based on the Highway Capacity Manual of Indonesian 1997 (MKJI 1997) is required to calculate the performance of signalized intersections in the effective and efficient manner. The modeling is formed by algorithmising the process of calculating the performance of signalized intersections based on MKJI 1997. The issue that affects the making of this model is the difference in the results of calculating the performance of the intersection using the KAJI application with manual calculations. This is caused by differences in each parameter which results in significant differences in results. Methods used to create a signalized intersection performance analysis program are validating three cases in MKJI 1997 and simulating two cases of previous research. The results of the validation of the numerical model that has been made against the three cases of MKJI 1997 obtained a delay value with an average percentage error of 1.26%. While the simulation results of two previous research cases obtained a delay value with an average percentage error of 2.74%. These results show that the average percentage error obtained is <10%, so the results of calculations using the program are categorized as very good.

***Article history**:*
Received:
5 March 2025
Accepted:
14 June 2025
Available online:
31 July 2025

Keywords:
Numerical Model, Signalized Intersection Performance Analysis, MKJI 1997, programming, algorithm

1. PENDAHULUAN

Persimpangan merupakan bagian terpenting bagi jalan perkotaan, sebab sebagian besar dari efisiensi, keamanan, kecepatan dan tingkat pelayanan jalan tergantung dari perencanaan persimpangan. Setiap persimpangan mencakup pergerakan lalu lintas menerus dan lalu lintas yang saling berpotongan dari ruas persimpangan. Hal tersebut merupakan alasan utama terjadinya konflik dan membutuhkan pengendalian pergerakan lalu lintas pada simpang. Pengendalian pergerakan lalu lintas pada simpang bertujuan untuk mengurangi titik konflik di persimpangan jalan, mengurangi kecelakaan lalu lintas, mengurangi waktu tundaan, derajat kejenuhan, peluang antrian dan mengoptimalkan arus lalu lintas (Waris, 2018).

Perhitungan kinerja simpang dapat dilakukan menggunakan beberapa metode, salah satunya metode Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) tahun 1997. Dalam MKJI 1997 terdapat sebuah produk software bernama KAJI. KAJI merupakan program yang dibuat untuk menghitung kinerja simpang berdasarkan MKJI 1997, namun pada pengoperasiannya masih terdapat beberapa kendala. Hasil perhitungan kinerja simpang antara software KAJI dan aplikasi spreadsheet masih terdapat perbedaan. Perbedaan dipengaruhi oleh bedanya asumsi faktor penyesuaian parkir (Fp). Secara keseluruhan proses perhitungan menggunakan software KAJI lebih lama dan sulit dibandingkan dengan penggunaan spreadsheet. Penggunaan spreadsheet dapat mempermudah dan mempercepat perhitungan kinerja simpang, selain itu aplikasi ini dapat dikembangkan lebih lanjut sesuai kebutuhan dan keinginan (Abdurrahim & Sukarno, 2018) .

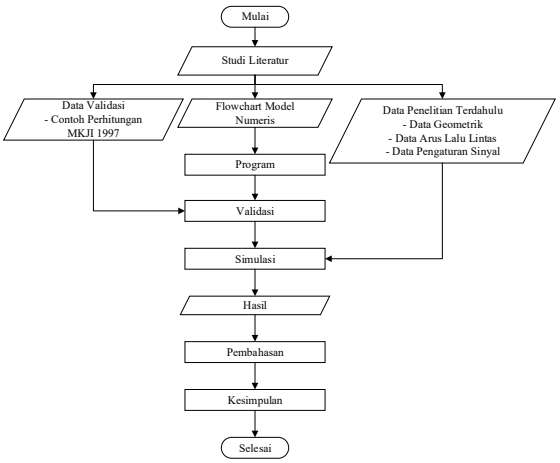
Analisis kinerja simpang bersinyal dapat dikembangkan menjadi model numeris. Model numeris merupakan proses penyelesaian permasalahan yang diformulasikan secara matematis menggunakan operasi hitungan. Model numeris digunakan karena banyak permasalahan matematis yang tidak dapat diselesaikan menggunakan metode analitis, apabila ada diperlukan proses penyelesaian yang rumit dan membutuhkan waktu yang banyak untuk menyelesaikannya. Pembuatan model numeris dapat dilakukan menggunakan bantuan komputer, perhitungan yang dikerjakan dapat dilakukan dengan cepat dan hasil yang diperoleh mendekati nilai yang sesungguhnya (Rosidi, 2019).

Pemodelan numeris dapat dilakukan menggunakan bantuan komputer serta dikombinasikan menjadi sebuah program. Salah satu referensi yang dapat digunakan untuk membuat program yaitu macro excel. Menurut Kamadi & Devi macro excel adalah fasilitas bawaan Microsoft Excel yang digunakan untuk membuat perintah atau merekam perintah berupa kode menggunakan bahasa VBA (Visual Basic for Application). Macro excel menggunakan bahasa VBA, sehingga lingkup kerjanya sama dengan visual basic (Aldy & Waluyo, 2016).

2. METODE

2.1 Prosedur Penelitian

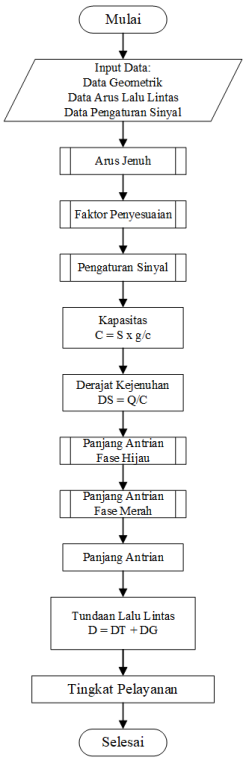
Prosedur penelitian merupakan langkah-langkah yang dilakukan sebelum melakukan penelitian. Prosedur pada penelitian ini dibagi menjadi 2 bagian, yaitu bagan alir penelitian dan bagan alir model numeris. Bagan alir penelitian merupakan metode yang digunakan untuk melakukan penelitian dari awal hingga akhir. Adapun bagan alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian diawali dengan studi literatur dan diakhiri dengan kesimpulan. Adapun penjelasan dari setiap langkah-langkah penelitian yang ada pada bagan alir seperti berikut:

1. Studi Literatur. Tahap ini bertujuan untuk menguraikan penjelasan mengenai landasan teori yang mendasari penelitian berdasarkan sumber-sumber terkait. Sehingga, dapat mempermudah proses penelitian ini.
2. Data Validasi. Data Validasi berupa contoh kasus perhitungan MKJI 1997. Data tersebut merupakan tiga contoh kasus. Data yang digunakan berupa data geometrik, data arus lalu lintas dan data pengaturan sinyal.
3. Data Penelitian Terdahulu. Data Penelitian Terdahulu berupa data sekunder yang didapat dari peneliti-peneliti terdahulu. Data yang digunakan berupa data geometrik, data arus lalu lintas dan data pengaturan sinyal.
4. Flowchart Model Numeris. Tahap ini menjelaskan bagan alir program yang akan dibuat dan sub-sub program perhitungan, seperti perhitungan kapasitas, perhitungan derajat kejenuhan, perhitungan panjang antrian, perhitungan tundaan dan perhitungan tingkat pelayanan. Adapun Flowchart Model Numeris dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Flowchart Model Numeris

5. Program. Setelah flowchart selesai, maka pembuatan program dapat dikerjakan berdasarkan flowchart yang telah dibuat. Adapun program yang digunakan yaitu Visual Basic for Application (VBA).
6. Validasi Program. Tahap ini merupakan tahap untuk membandingkan hasil perhitungan program dengan data validasi. Data validasi yang digunakan merupakan contoh kasus perhitungan simpang bersinyal menurut MKJI 1997.
7. Simulasi. Setelah program selesai divalidasi, maka program tersebut disimulasikan menggunakan data penelitian terdahulu untuk menganalisis kinerja simpang. Setelah itu, dilakukan analisis terhadap hasil perhitungan program dengan hasil perhitungan peneliti terdahulu.
8. Hasil. Dari tahap validasi dan simulasi diperoleh nilai kinerja simpang yaitu kapasitas, derajat kejenuhan, panjang antrian, tundaan dan tingkat pelayanan.

2.2 Model Numeris

Model numeris merupakan sebuah program perhitungan untuk menyederhanakan proses perhitungan yang rumit atau berulang demi

mendapatkan hasil yang mendekati nilai sesungguhnya. Pada penelitian ini, model numeris yang dibuat yaitu program analisis kinerja simpang bersinyal yang mengacu pada MKJI 1997. Terdapat beberapa proses perhitungan yang dilakukan pada model numeris ini antara lain:

1. Perhitungan Kapasitas

Kapasitas didapat dari hasil perkalian arus jenuh dengan rasio hijau. Maka untuk mendapatkan nilai kapasitas lengan diperlukan nilai arus jenuh dan rasio hijau sesuai dengan persamaan berikut.

$$C = S \times \frac{g}{c} \quad (1)$$

dengan C = Kapasitas, S = Arus jenuh, G = Waktu hijau, C = Waktu siklus

2. Perhitungan Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan dapat diperoleh dari hasil pembagian arus lalu lintas total dengan kapasitas atau dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$DS = \frac{Q}{C} \quad (2)$$

dengan DS = Derajat kejenuhan, Q = Arus kendaraan Total, C = Kapasitas

3. Perhitungan Panjang Antrian

Panjang antrian merupakan hasil penjumlahan dari jumlah kendaraan selama fase hijau dengan jumlah kendaraan pada fase merah. Untuk menghitung jumlah kendaraan selama fase hijau dan jumlah kendaraan selama fase merah dapat menggunakan persamaan berikut.

$$NQ = NQ_1 + NQ_2 \quad (3)$$

Untuk DS > 0,5:

$$NQ_1 = 0{,}25 \times C \times \left[(DS - 1) + \sqrt{(DS - 1)^2 + \frac{8 \times (DS - 0{,}5)}{C}}\right] \quad (4)$$

Untuk DS < 0,5

$$NQ_1 = 0 \quad (5)$$

$$NQ_2 = c \times \frac{1 - GR}{1 - GR \times DS} \times \frac{Q}{3600} \quad (6)$$

dengan NQ = Panjang antrian, NQ1 = Jumlah smp selama fase hijau, NQ2 = Jumlah smp selama fase merah, DS = Derajat kejenuhan, GR = Rasio hijau, Qmasuk = Arus lalu lintas masuk, C = Kapasitas

4. Perhitungan Tundaan

Tundaan merupakan hasil penjumlahan tundaan lalu lintas rata-rata dengan tundaan geometrik rata-rata. Untuk mendapatkan nilai tundaan lalu lintas rata-rata dan nilai tundaan geometrik rata-rata dapat menggunakan persamaan berikut.

$$D = DT + DG \quad (7)$$

$$DT = c \times \frac{0{,}5 \times (1 - GR)^2}{(1 - GR \times DS)} \times \frac{NQ_1 \times 3600}{C} \quad (8)$$

$$DG = (1 - NS) \times PT \times 6 + (NS \times 4) \quad (9)$$

$$NS = 0{,}9 \times \frac{NQ}{Q \times C} \times 3600 \quad (10)$$

dengan DT = Tundaan lalu lintas rata-rata, DG = Tundaan geometri rata-rata, D = Tundaan total, g = Waktu hijau, c = Waktu siklus yang disesuaikan, GR = Rasio hijau, DS = Derajat kejenuhan, NQ1 = Jumlah smp selama fase hijau, C = Kapasitas, NS = Rasio kendaraan terhenti, PT = Rasio kendaraan berbelok

5. Perhitungan Tingkat Pelayanan

Tingkat pelayanan diperoleh dari hasil nilai tundaan yang disesuaikan dengan Permenhub No 96 Tahun 2015 atau dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Nilai Tingkat Pelayanan

Tingkat Pelayanan	Tundaan (detik/kendaraan)
A	< 5
B	5 - 15
C	15 - 25
D	25 - 40
E	40 - 60
F	> 60

Sumber: Kementerian Perhubungan, 2015

2.3 Validasi Program

Validasi ini bertujuan untuk melihat seberapa akurat hasil perhitungan. Validasi yang dilakukan pada tahap ini yaitu analisis galat, dengan membandingkan hasil perhitungan menggunakan program terhadap MKJI 1997. Data yang akan digunakan yaitu 3 kasus simpang bersinyal pada MKJI 1997.

2.4 Simulasi Program

Simulasi program ini bertujuan untuk menjalankan program yang telah dibuat dengan memasukkan data yang sudah disediakan, yaitu data penelitian terdahulu setelah itu dilakukan analisis galat. Data yang digunakan adalah data simpang tiga bersinyal dan data simpang empat bersinyal.

Setelah Validasi dan Simulasi Program dilakukan selanjutnya melakukan analisis galat. Analisis galat merupakan ukuran ketetapan yang digunakan untuk mengetahui persentase penyimpangan hasil perhitungan serta berguna untuk mengindikasikan seberapa besar kesalahan dalam hasil dugaan dengan nilai nyata (Andhae, 2019). Semakin kecil nilai galat akan semakin teliti data hasil perhitungan (Hidayati dkk, 2022). Galat dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$|\varepsilon| = |a - a'| \quad (11)$$

$$\varepsilon R = \frac{\varepsilon}{a} 100\% \quad (12)$$

dengan a = Nilai hampiran, a' = Nilai sejati, ε = Nilai galat, εR = Nilai galat relatif

Adapun nilai galat relatif rata-rata dapat dikategorikan sebagai berikut.

Tabel 2 Nilai Hasil Persentase Galat Rata-rata

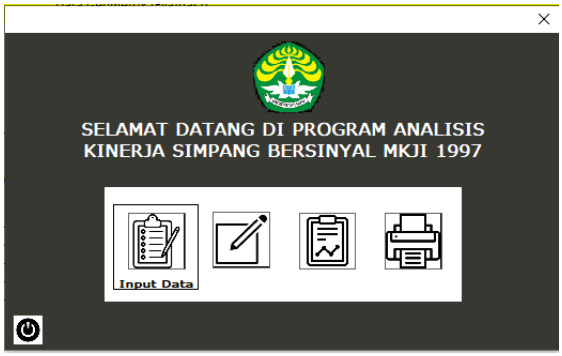
Nilai Galat (%)	Hasil Data
< 10	Sangat Baik
10 – 20	Baik
20 - 50	Wajar
> 50	Tidak Akurat

Sumber: Khalimi, 2021

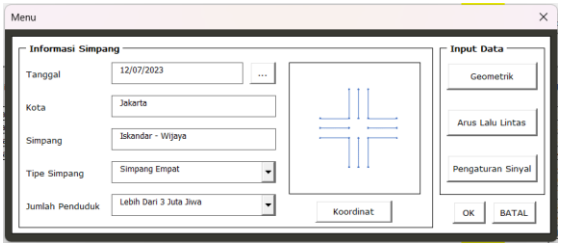
3. HASIL DAN DISKUSI

3. 1 Hasil Pemodelan Program

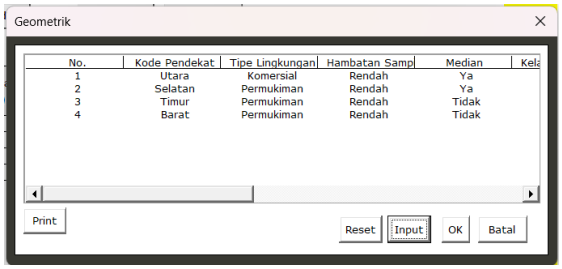
Tahap pemodelan program dilakukan sesuai dengan flowchart model numeris pada Gambar 2. Tampilan program dibagi menjadi beberapa bagian, seperti tampilan halaman awal, tampilan halaman utama, tampilan menu input data, tampilan menu edit data, tampilan menu hasil data dan tampilan menu cetak data. Program pada penelitian ini dibuat oleh Abdullah (2023), sedangkan contoh tampilan program dapat dilihat pada gambar berikut.



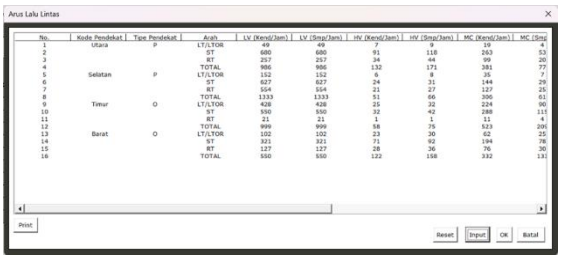
Gambar 3. Halaman Menu Utama



Gambar 4. Halaman Menu Input Data

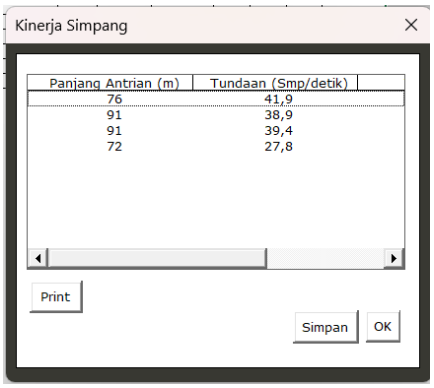


Gambar 5. Halaman Hasil Input Data Geometrik



Gambar 6. Halaman Hasil Input Data Arus Lalu Lintas

Gambar 7. Halaman Input Pengaturan Sinyal

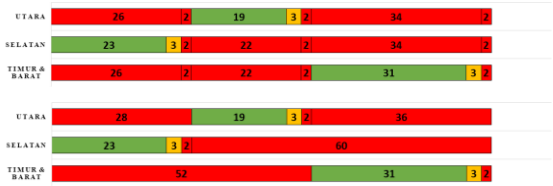


Gambar 8. Halaman Hasil Kinerja Simpang

3. 2 Hasil Validasi Program

1. Hasil Perhitungan Kasus 1

Kasus 1 merupakan kasus yang berlokasi pada simpang Iskandarsyah – Wijaya, Jakarta dengan populasi sebesar 8,3 juta jiwa pada tahun 1996. Hasil perhitungan menggunakan program diperoleh nilai kinerja simpang. Adapun hasil perhitungan pada Kasus 1 dengan pengaturan sinyal dan hasil kinerja simpang adalah sebagai berikut.



Gambar 9. Pengaturan Sinyal Kasus 1

Tabel 3 Hasil Perhitungan Kinerja Simpang Bersinyal Kasus 1

Kode Simpang	Derajat Kejenuhan		Panjang Antrian				Tundaan	
	Program	MKJI	Program (Smp)	MKJI (Smp)	Program (m)	MKJI (m)	Program (Smp/detik)	MKJI (Smp/detik)
Utara	0,84	0,84	44	44	75,72	77,00	41,88	42,00
Selatan	0,84	0,84	50	51	91,09	93,00	38,94	39,00
Timur	0,85	0,84	27	27	90,96	90,00	39,39	38,30
Barat	0,63	0,63	25	26	72,33	74,00	27,78	27,80

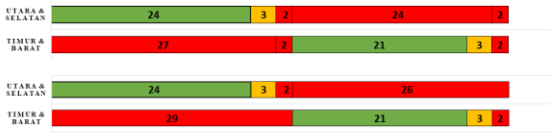
Tabel 4 Selisih Perhitungan Kinerja Simpang Bersinyal Kasus 1

Kode Simpang	Selisih			
	Derajat Kejenuhan	Panjang Antrian (Smp)	Panjang Antrian (m)	Tundaan (Smp/ dtk)
Utara	0,00	0,00	1,28	0,12
Selatan	0,00	0,90	1,91	0,06
Timur	0,01	0,00	0,96	1,09
Barat	0,00	0,68	1,67	0,02

Hasil perhitungan menggunakan program pada Kasus 1 terdapat selisih terhadap hasil dari MKJI 1997. Selisih nilai tundaan berkisar antara 0,02 – 1,09 smp/detik. Selisih diakibatkan oleh penentuan nilai berdasarkan grafik dan tabel yang digunakan sebagai referensi untuk memperoleh nilai seperti arus jenuh dasar kondisi pendekat terlawan, nilai faktor penyesuaian kelandaian dan nilai panjang antrian yang sudah dibentuk menjadi persamaan - numeris. Sedangkan pada MKJI 1997 penentuan nilai-nilai tersebut masih dilakukan menggunakan cara manual.

2. Hasil Perhitungan Kasus 2

Kasus 2 merupakan kasus yang berlokasi pada simpang Martadinata – A.Yani, Bandung dengan populasi sebesar 2,1 juta jiwa pada tahun 1996. Hasil perhitungan menggunakan program diperoleh nilai kinerja simpang. Adapun hasil perhitungan pada Kasus 2 dengan pengaturan sinyal dan hasil kinerja simpang adalah sebagai berikut.



Gambar 10. Pengaturan Sinyal Kasus 2

Tabel 5 Hasil Perhitungan Kinerja Simpang Bersinyal Kasus 2

Kode Simpang	Derajat Kejenuhan		Panjang Antrian				Tundaan	
	Program	MKJI	Program (Smp)	MKJI (Smp)	Program (m)	MKJI (m)	Program (Smp/detik)	MKJI (Smp/detik)
Utara	0,84	0,84	44	44	75,72	77,00	41,88	42,00
Selatan	0,84	0,84	50	51	91,09	93,00	38,94	39,00
Timur	0,85	0,84	27	27	90,96	90,00	39,39	38,30
Barat	0,63	0,63	25	26	72,33	74,00	27,78	27,80

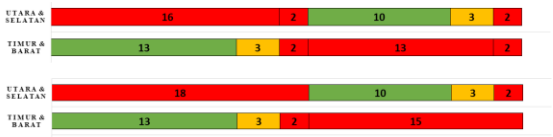
Tabel 6 Selisih Perhitungan Kinerja Simpang Bersinyal Kasus 2

Kode Simpang	Selisih			
	Derajat Kejenuhan	Panjang Antrian (Smp)	Panjang Antrian (m)	Tundaan (Smp/ dtk)
Utara	0,00	0,00	1,28	0,12
Selatan	0,00	0,90	1,91	0,06
Timur	0,01	0,00	0,96	1,09
Barat	0,00	0,68	1,67	0,02

Hasil perhitungan menggunakan program pada Kasus 2 terdapat selisih terhadap hasil dari MKJI 1997. Selisih nilai tundaan berkisar antara 0,12 – 1,55 smp/detik. Selisih diakibatkan oleh penentuan nilai berdasarkan grafik dan tabel yang digunakan - sebagai referensi untuk memperoleh nilai seperti arus jenuh dasar kondisi pendekat terlawan, nilai faktor penyesuaian kelandaian dan nilai panjang antrian yang sudah dibentuk menjadi persamaan numeris. Sedangkan pada kasus ini penentuan nilai-nilai tersebut masih dilakukan menggunakan cara manual.

3. Hasil Perhitungan Kasus 3

Kasus 3 merupakan kasus yang berlokasi pada simpang Sudirman – Baru, Medan dengan populasi sebesar sebesar 1,9 juta jiwa pada tahun 1996. Hasil perhitungan menggunakan program diperoleh nilai kinerja simpang. Adapun hasil perhitungan pada Kasus 3 dengan pengaturan sinyal dan hasil kinerja simpang adalah sebagai berikut.



Gambar 11. Pengaturan Sinyal Kasus 3

Tabel 7 Selisih Perhitungan Kinerja Simpang Bersinyal Kasus 3

Kode Simpang	Selisih			
	Derajat Kejenuhan	Panjang Antrian (Smp)	Panjang Antrian (m)	Tundaan (Smp/dtk)
Utara	0,00	0,00	1,28	0,12
Selatan	0,00	0,90	1,91	0,06
Timur	0,01	0,00	0,96	1,09
Barat	0,00	0,68	1,67	0,02

Tabel 8 Hasil Perhitungan Kinerja Simpang Bersinyal Kasus 3

Kode Simpang	Derajat Kejenuhan		Panjang Antrian				Tundaan	
	Program	MKJI	Program (Smp)	MKJI (Smp)	Program (m)	MKJI (m)	Program (Smp/detik)	MKJI (Smp/detik)
Utara	0,84	0,84	44	44	75,72	77,00	41,88	42,00
Selatan	0,84	0,84	50	51	91,09	93,00	38,94	39,00
Timur	0,85	0,84	27	27	90,96	90,00	39,39	38,30
Barat	0,63	0,63	25	26	72,33	74,00	27,78	27,80

Hasil perhitungan menggunakan program pada Kasus 3 terdapat selisih terhadap hasil dari MKJI 1997. Selisih nilai tundaan berkisar antara 0,01 – 0,05 smp/detik. Selisih diakibatkan oleh penentuan nilai berdasarkan grafik dan tabel yang digunakan sebagai referensi untuk memperoleh nilai seperti arus jenuh dasar kondisi pendekat terlawan, nilai faktor penyesuaian kelandaian dan nilai panjang - antrian yang sudah dibentuk menjadi persamaan numeris. Sedangkan pada kasus ini penentuan nilai-nilai tersebut masih dilakukan menggunakan cara manual.

4. Hasil Analisis Galat

Hasil analisis galat diperolah dari hasil nilai tundaan Kasus 1, Kasus 2 dan Kasus 3. Adapun nilai persentase galat adalah sebagai berikut.

Tabel 9 Hasil Analisis Galat Validasi Program

Kode Simpang		Derajat Kejenuhan	Galat (%)	Panjang Antrian (Smp)	Galat (%)	Panjang Antrian (m)	Galat (%)	Tundaan (Smp/detik)	Galat (%)
Kasus 1	Utara	0,00	0,10	0,00	0,00	1,28	1,66	0,12	0,27
	Selatan	0,00	0,04	0,90	1,77	1,91	2,06	0,06	0,15
	Timur	0,01	1,11	0,00	0,00	0,96	1,07	1,09	2,85
	Barat	0,00	0,39	0,68	2,63	1,67	2,25	0,02	0,07
Kasus 2	Utara	0,03	3,32	0,22	1,00	0,38	0,77	1,55	7,65
	Selatan	0,00	0,06	0,35	1,58	0,88	1,80	0,32	1,80
	Timur	0,00	0,48	0,74	3,62	2,09	4,55	0,18	0,84
	Barat	0,01	1,07	0,92	4,46	2,48	5,39	0,12	0,54
Kasus 3	Utara	0,01	2,76	0,43	6,68	1,48	6,83	0,05	0,40
	Selatan	0,00	0,08	0,55	9,12	1,82	9,12	0,01	0,06
	Timur	0,00	0,13	0,74	8,19	2,46	8,19	0,04	0,34
	Barat	0,00	0,94	0,74	9,82	2,45	9,82	0,01	0,14
Rata-rata		0,01	0,88	0,52	4,07	1,66	4,46	0,30	1,26

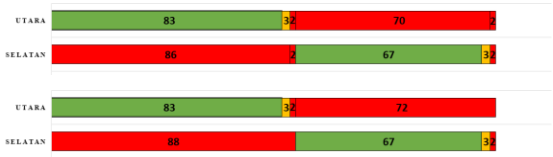
Dari perbandingan kinerja simpang hasil validasi diperoleh nilai tundaan dengan selisih terbesar yaitu 1,55 smp/detik dengan persentase galat rata-rata sebesar 7,65%. Sedangkan nilai persentase galat rata-rata diperoleh sebesar 1,26% (<10%), artinya hasil perhitungan program akurat (sangat baik) terhadap kasus dalam MKJI 1997.

3. 3 Hasil Simulasi Program

1. Hasil Simulasi 1

Simulasi 1 merupakan simpang tiga bersinyal yang berlokasi pada simpang tiga Jalan Sudirman – Jalan Tuanku Tambusai, Pekanbaru. Survei dilakukan pada tahun 2011 dengan populasi kota pekanbaru sebesar 0,803 juta jiwa (Afkiki, 2018). Hasil

perhitungan menggunakan program diperoleh nilai kinerja simpang. Adapun hasil perhitungan pada Simulasi 1 dengan pengaturan sinyal dan hasil kinerja simpang adalah sebagai berikut.



Gambar 12. Pengaturan Sinyal Simulasi 1

Tabel 10 Selisih Perhitungan Kinerja Simpang Bersinyal Simulasi 1

Kode Simpang	Selisih			
	Derajat Kejenuhan	Panjang Antrian (Smp)	Panjang Antrian (m)	Tundaan (Smp/Detik)
Utara	0,00	0,50	1,47	0,00
Selatan	0,08	2,67	4,48	3,46

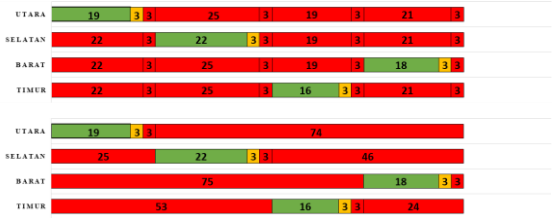
Tabel 11 Hasil Perhitungan Kinerja Simpang Bersinyal Simulasi 1

Kode Simpang	Derajat Kejenuhan		Panjang Antrian				Tundaan	
	Program	Afkiki	Program (Smp)	Afkiki (Smp)	Program (m)	Afkiki (m)	Program (Smp/Detik)	Afkiki (Smp/Detik)
Utara	0,85	0,85	120	119	319,47	318,00	40,90	40,90
Selatan	0,48	0,56	57	60	95,52	100,00	36,54	40,00

Hasil perhitungan menggunakan program pada Simulasi 1 terdapat selisih terhadap hasil dari Penelitian Terdahulu. Selisih nilai tundaan berkisar antara 0,0004 – 3,46 smp/detik. Selisih yang terjadi diakibatkan oleh penentuan nilai berdasarkan grafik dan tabel yang digunakan sebagai referensi untuk memperoleh nilai seperti arus jenuh dasar kondisi pendekat terlawan, nilai faktor penyesuaian kelandaian dan nilai panjang antrian yang sudah dibentuk menjadi persamaan numeris. Sedangkan pada simulasi ini penentuan nilai-nilai tersebut masih dilakukan menggunakan cara manual.

2. Hasil Simulasi 2

Simulasi 2 merupakan simpang empat bersinyal yang berlokasi pada Simpang Empat Jonggrangan, Kabupaten Bantul. Simpang ini termasuk simpang empat dengan 4 fase sinyal. Survei dilakukan pada tahun 2022 dengan populasi Kabupaten Bantul sebesar 0,984 juta jiwa (Aryani, 2022). Hasil perhitungan menggunakan program diperoleh nilai kinerja simpang. Adapun hasil perhitungan pada Simulasi 2 dengan pengaturan sinyal dan hasil kinerja simpang adalah sebagai berikut.



Gambar 13. Pengaturan Sinyal Simulasi 2

Tabel 12 Hasil Perhitungan Kinerja Simpang Bersinyal Simulasi 2

Kode Simpang	Derajat Kejenuhan		Panjang Antrian				Tundaan	
	Program	Aryani	Program (Smp)	Aryani (Smp)	Program (m)	Aryani (m)	Program (Smp/Detik)	Aryani (Smp/Detik)
Utara	0,72	0,71	16	11	62,48	45,16	46,77	45,43
Selatan	0,76	0,76	23	15	76,16	52,00	45,05	45,55
Barat	0,73	0,72	15	11	58,08	42,68	48,69	47,72
Timur	0,71	0,70	15	9	54,70	40,40	48,83	49,67

Tabel 13 Selisih Perhitungan Kinerja Simpang Bersinyal Simulasi 2

Kode Simpang	Selisih			
	Derajat Kejenuhan	Panjang Antrian (Smp)	Panjang Antrian (m)	Tundaan (Smp/Detik)
Utara	0,01	4,33	17,32	1,34
Selatan	0,00	8,25	24,16	0,50
Barat	0,01	3,85	15,40	0,97
Timur	0,01	5,93	14,30	0,84

Hasil perhitungan menggunakan program pada Simulasi 2 terdapat selisih terhadap hasil dari Penelitian Terdahulu. Selisih nilai tundaan berkisar antara 0,0004 – 3,46 smp/detik. Selisih yang terjadi diakibatkan oleh penentuan nilai berdasarkan grafik dan tabel yang digunakan sebagai referensi untuk memperoleh nilai seperti arus jenuh dasar kondisi pendekat terlawan, nilai faktor penyesuaian kelandaian dan nilai panjang antrian yang sudah dibentuk menjadi persamaan numeris. Sedangkan pada simulasi ini penentuan nilai-nilai tersebut masih dilakukan menggunakan cara manual.

3. Hasil Analisis Galat

Hasil analisis galat diperolah dari hasil nilai - tundaan Simulasi 1 dan Simulasi 2. Adapun nilai persentase galat adalah sebagai berikut.

Tabel 14 Hasil Analisis Galat Validasi Program

Kode Simpang		Derajat Kejenuhan	Galat (%)	Panjang Antrian (Smp)	Galat (%)	Panjang Antrian (m)	Galat (%)	Tundaan (Smp/detik)	Galat (%)
Simulasi 1	Utara	0,00	0,06	0,50	0,42	1,47	0,46	0,00	0,001
	Selatan	0,08	14,19	2,67	4,48	4,48	4,48	3,46	8,650
Simulasi 2	Utara	0,01	0,97	4,33	38,36	17,32	38,36	1,34	2,955
	Selatan	0,00	0,34	8,25	56,50	24,16	46,47	0,50	1,108
	Barat	0,01	0,91	3,85	36,08	15,40	36,08	0,97	2,033
	Timur	0,01	2,04	5,93	65,12	14,30	35,39	0,84	1,701
Rata-rata		0,02	3,09	4,25	33,49	12,86	26,87	1,19	2,74

Dari perbandingan kinerja simpang hasil validasi diperoleh nilai tundaan dengan selisih terbesar yaitu 3,46 smp/detik dengan persentase galat rata-rata sebesar 8,65%. Sedangkan nilai persentase galat rata-rata diperoleh sebesar 2,741% (<10%), artinya hasil perhitungan program akurat (sangat baik) terhadap perhitungan penelitian terdahulu. Sedangkan untuk nilai persentase galat pada nilai panjang antrian terjadi perbedaan yang besar yaitu 3,85 – 8,25 Smp atau 36,08 – 65,12 m. Hal tersebut diakibatkan oleh penentuan nilai parameter pembebanan sehingga terjadi perbedaan hasil panjang antrian.

4. KESIMPULAN

1. Model numeris yang telah dibuat dan dilakukan validasi terhadap tiga kasus perhitungan MKJI 1997 diperoleh nilai tundaan dengan persentase galat rata-rata diperoleh sebesar 1,26%. Berdasarkan hasil perbandingan tersebut diketahui bahwa persentase galat rata-rata yang didapat <10%, sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil perhitungan program akurat (sangat baik) terhadap MKJI 1997.
2. Dari perbandingan kinerja simpang hasil simulasi terhadap dua studi kasus diperoleh nilai tundaan dengan persentase galat rata-rata sebesar 2,74%. Berdasarkan hasil perbandingan tersebut diketahui bahwa persentase galat rata-rata yang didapat <10%, sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil perhitungan program akurat (sangat baik) terhadap hasil perhitungan penelitian terdahulu.

5. DAFTAR PUSTAKA

Abdullah, M. S. F. (2023). Progam Analisis Kinerja Simpang Bersinyal Berdasarkan MKJI 1997. https://drive.google.com/drive/folders/1guryP1bdBr_tYcwvFlulQ6H6gfxyiPyx?usp=share_link

Abdurrahim, M., & Sukarno. (2018). Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal Gomong Mataram Ber-Dasarkan Pada Mkji Dan Kaji 1997. Jurnal Teknik Sipil, 14(4), 219–225. https://doi.org/10.24002/jts.v14i4.2003

Afkiki, P. (2018). Evaluasi Kinerja Simpang Tiga Bersinyal Jalan Sudirman – Jalan Tuanku Tambusai Pekanbaru.

Aldy, G., Lendra, & Waluyo, R. (2016). Aplikasi Estimasi Biaya Pembangunan Bangunan Gedung Satu Lantai Berbasis Macro Excel. PROTEKSI (Proyeksi Teknik Sipil), 2(2), 144–153.

Andhae. (2019). Cara Menghitung Mean Absolute Percentage Error (Mape) Dengan Excel. https://www.rumusstatistik.com/2021/05/cara-menghitung-mape-mean-absolute.html#menghitung-mape-r

Aryani, R. N. (2022). Optimalisasi Kinerja Simpang Bersinyal (Studi Kasus : Simpang 4 Jonggrangan di Kabupaten Bantul).

Direktorat Jendral Bina Marga. (1997). Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI).

Hidayati, T., Aedi, weni gurita, & Masitoh, lisda fitriana. (2022). Metode Numerik. Unpam Press.

Kementrian Perhubungan. (2015). Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor 96 Tentang Pedoman Pelaksanaan Kegiatan Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas. In Jakarta (pp. 1–45).

Khalimi, A. M. (2021). Cara Hitung RMSE , MSE, MAPE, dan MAE Dengan Excel. https://www.pengalaman-edukasi.com/2021/01/cara-menghitung-rmse-root-mean-square.html

Rosidi, M. (2019). Metode Numerik Menggunakan R Untuk Teknik Lingkungan. https://bookdown.org/moh_rosidi2610/Metode_Numerik/

Waris, M. (2018). Analisis Kinerja Simpang Tak Bersinyal Metode Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2014. J-HEST, 1(1), 46–56.