

ANALISA KINERJA PADA SIMPANG BERSINYAL MENGUNAKAN METODE MKJI 1997 (STUDI KASUS: SIMPANG EMPAT JATI RAYA, BANYUMANIK, SEMARANG, JAWA TENGAH)

¹Danang Ferdian, ²Fachrul Ramadhan, ³Rachmat Mudiyo, ⁴Kartono Wibowo

^{1,2,3,4} Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung

*Corresponding Author:

¹danangferdian24@gmail.com, ²ferramadhan@gmail.com, ³rachmat@unissula.ac.id,

⁴kartono@unissula.ac.id

Abstrak

Laju pembangunan infrastruktur jalan raya salah satunya sangat dipengaruhi oleh sektor transportasi terutama di negara yang sedang berkembang layaknya Indonesia. Lokasi yang sering timbul kepadatan arus lalu lintas bahkan hingga menimbulkan kemacetan adalah persimpangan. Pada penelitian ini, studi analisa kinerja simpang dilakukan pada simpang empat Jati Raya, Banyumanik, Semarang, Jawa Tengah. Tujuan penelitian ini untuk memperoleh karakteristik lalu lintas dan hasil analisa kinerja persimpangan bersinyal. Data yang diperlukan untuk penelitian ini yaitu data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui survei langsung di lapangan dan observasi kondisi lingkungan di sekitar simpang, sedangkan data sekunder mencakup informasi jumlah penduduk kota tersebut. Analisa data menggunakan metode MKJI 1997. Pengaturan fase sinyal sebagai karakteristik lalu lintas pada persimpangan bersinyal Jati Raya terdiri dari dua fase, yaitu fase 1 untuk arah utara – selatan dan fase 2 untuk arah timur – barat, dengan waktu siklus 68 detik. Hasil analisa kinerja menunjukkan bahwa persimpangan bersinyal tersebut masih layak dalam pengoperasiannya, namun pada hasil analisa perhitungan derajat kejenuhan (DS) dan tundaan simpang rata-rata (D1) diperoleh hasil yang buruk sehingga perlu dilakukan analisa lebih lanjut.

Kata Kunci: bersinyal; jenuh; lalu lintas; MKJI; persimpangan; tundaan.

Abstract

The pace of road infrastructure development is heavily influenced by the transportation sector, especially in developing countries such as Indonesia. Locations where traffic congestion often occurs and even cause congestion are intersections. In this research, an analysis study of intersection performance was carried out at the Jati Raya four intersection, Banyumanik, Semarang, Central Java. The purpose of this research is to obtain traffic characteristics and results of analysis of the performance of signalized intersection. The data needed for this research are primary data and secondary data. Primary data is data that obtained through direct surveys in the field and observation of environmental conditions around the intersection, while secondary data includes information on the population of the city. Data analysis used MKJI 1997 method. Setting of the signal phase as a traffic characteristic at the Jati Raya signalized intersection consists of two phases, namely phase 1 for the north-south direction and phase 2 for the east-west direction, with a cycle time of 68 seconds. The results of the performance analysis show that the signalized intersection is still feasible in operation, but the analysis results for calculating the degree of saturation (DS) and the average intersection delay (D1) show poor results, so further analysis is needed.

Keywords: signalized; saturation; traffic; MKJI; intersection; delay.

1. PENDAHULUAN

Di Indonesia, laju pembangunan infrastruktur jalan raya sangat dipengaruhi oleh sektor transportasi. Transportasi dengan beragam jenis dan jumlahnya mendukung dalam aspek sosial, ekonomi, dan politik (Wicaksono dan Fathurochman, 2014). Menurut data Badan Pusat Statistik (BPS), dalam periode 2018-2020, angka pertumbuhan kepemilikan kendaraan di Indonesia yaitu mencapai 7,61% dari angka 126.508.776 unit menjadi 136.137.451 unit. Sedangkan menurut data Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas), perkembangan jalan yaitu 6,85% per tahunnya. Dari data di atas, dipahami bahwa pertumbuhan kendaraan bermotor lebih pesat dari penambahan kapasitas jalan yang menjadi salah satu faktor terjadinya kepadatan arus lalu lintas.

Lokasi yang sering terjadi kepadatan arus lalu lintas bahkan hingga menimbulkan kemacetan adalah persimpangan. Persimpangan jalan yaitu area pertemuan antara dua atau lebih ruas jalan. Peran utama persimpangan jalan adalah guna menjamin kelancaran arus lalu lintas, namun pada kenyataannya masih banyak terjadi kemacetan di lokasi tertentu karena adanya peningkatan volume kendaraan tanpa diimbangi perkembangan kapasitas jalan (Pratama, 2011).

Di Kota Semarang terdapat banyak simpang dengan kepadatan yang tinggi di jam-jam sibuk, salah satunya simpang empat Jati Raya. Pada simpang Jati Raya, memiliki empat lengan yaitu Jalan Tusam Raya, Jalan Kanfer Raya, Jalan Cemara Raya, dan Jalan Jati Raya. Keempat ruas jalan memiliki tipe jalan 2/1 UD.

Permasalahan yang dijumpai di simpang Jati Raya yaitu dipicu oleh banyaknya ragam aktivitas dan tingginya volume kendaraan pada jam-jam sibuk yang menimbulkan antrian panjang kendaraan. Sinyal lalu lintas yang beroperasi di simpang Jati Raya masih belum bisa mengurai kemacetan pada jam-jam sibuk, seperti pada 07.00 – 08.00 WIB yang mana pada jam tersebut masyarakat mulai melangsungkan kegiatan dan 15.00 – 17.00 WIB yang merupakan jam pulang kerja. Kondisi kemacetan pada simpang Jati Raya juga ditambah dengan kondisi ruas jalan pada simpang Jati Raya yang cenderung kurang lebar. Selain itu, di dekat simpang Jati Raya, terdapat sekolah SMA Negeri 9 Semarang dan tempat ibadah Masjid Raya Al-Muhajirin sehingga menambah kemacetan karena masyarakat cenderung menurunkan laju kecepatan kendaraannya. Pengaturan fase pada sinyal lalu lintas yang hanya terdiri dari dua fase juga menimbulkan terjadinya arus *crossing*, yang mana ini menjadikan arus lalu lintas terlihat tidak beraturan.

Peneliti memilih judul ini untuk mendalami lebih lanjut perihal analisa persimpangan bersinyal, khususnya di Simpang Empat Jati Raya dalam suatu karya ilmiah yang tertuang dalam penelitian yang berjudul “Analisa Kinerja Pada Simpang Bersinyal Menggunakan Metode MKJI 1997 (Studi Kasus: Simpang Empat Jati Raya, Banyumanik, Semarang, Jawa Tengah)” untuk mengetahui nilai arus lalu lintas, kapasitas jalan, derajat kejenuhan, dan panjang antrian yang terjadi di lokasi tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh karakteristik-karakteristik lalu lintas di persimpangan bersinyal Jati Raya, meliputi kondisi geometrik dan arus lalu lintas. Selain itu juga untuk memperoleh hasil analisa kinerja persimpangan bersinyal Jati Raya mengacu pada karakteristik lalu lintas yang didapat, meliputi fase sinyal, arus jenuh, kapasitas, derajat kejenuhan, panjang antrian, dan tundaan.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997 dalam melakukan analisa kinerja pada simpang Jati Raya. Metode pengumpulan atau pengambilan data yang digunakan dibagi dua, yaitu berupa data primer dan data sekunder.

1. Data Primer

Data primer adalah data yang diperoleh secara langsung di lapangan, yang berisi data geometrik dan inventaris jalan. Data tersebut didapat dengan melakukan pengamatan untuk mengetahui kelengkapan jalan seperti median, garis henti, dan lain-lain.

2. Data Sekunder

Data sekunder yang dicantumkan dalam penelitian ini adalah data penduduk Kota Semarang yang mengacu pada data dari Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2022.

Diaplikasikan metode analisa Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997 dan pada langkah-langkah analisa data yang dilakukan yaitu sebagai berikut:

Langkah I: Data masukan.

- a) Geometrik, pengaturan lalu lintas, dan kondisi lingkungan.
- b) Data hasil survei jumlah kendaraan lalu lintas.

Langkah II: Analisa arus lalu lintas.

- a) Analisa arus lalu lintas (jumlah kendaraan per satuan waktu).

Langkah III: Penggunaan sinyal.

- a) Fase sinyal.
- b) Waktu merah semua, waktu kuning, dan waktu antar hijau.
- c) Waktu hilang.

Langkah IV: Penentuan waktu sinyal, kapasitas, dan derajat kejenuhan.

- a) Arus jenuh dasar.
- b) Faktor-faktor kesesuaian.
- c) Nilai arus jenuh yang disesuaikan.
- d) Rasio arus/arus jenuh.
- e) Rasio arus persimpangan.
- f) Rasio fase.
- g) Waktu siklus dan waktu hijau.
- h) Kapasitas dan derajat kejenuhan.

Langkah V: Tingkat kinerja.

- a) Panjang antrian.
- b) Kendaraan terhenti.
- c) Tundaan.

Lembar formulir yang digunakan dalam analisa perhitungan kinerja persimpangan bersinyal Jati Raya berpedoman pada Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997, adalah sebagai berikut:

- SIG-I: Geometrik, pengaturan lalu lintas, dan kondisi lingkungan.
- SIG-II: Arus lalu lintas.
- SIG-III: Waktu antar hijau dan waktu hilang.
- SIG-IV: Kapasitas dan derajat kejenuhan.
- SIG-V: Panjang antrian, jumlah kendaraan terhenti, dan tundaan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Data Masukan

a. Data Geometrik

Data geometrik berasal dari data primer berupa pengukuran secara langsung di lapangan, meliputi lebar pendekat (W_a), lebar masuk (W_{masuk}), W_{LTOR} , lebar keluar (W_{keluar}), dan kondisi lingkungan. Data geometrik ditunjukkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Data Geometrik (SIG-I)

Kode Pendekat	Tipe Lingkungan Jalan	Hambatan Samping Tinggi/Rendah	Median Ya/Tidak	Belok Kiri Langsung Ya/Tidak	Jarak ke Kendaraan Parkir	Lebar Pendekat			
						W_a	W_{masuk}	W_{LTOR}	W_{keluar}
Utara	Com	R	T	T	-	7,0	3,5	-	3,5
Selatan	Com	R	T	T	-	7,0	3,5	-	3,5
Timur	Com	R	T	T	-	7,0	3,5	-	3,5
Barat	Com	R	T	T	-	7,0	3,5	-	3,5

b. Data Hasil Survei Lalu Lintas

Data hasil survei lalu lintas diambil dari berapa banyak macam kendaraan yang melintas di setiap pendekat persimpangan. Penelitian ini menampung data arus lalu lintas yang jenisnya kendaraan ringan (LV, *Light Vehicle*), kendaraan berat (HV, *Heavy Vehicle*), sepeda motor (MC, *Motor Cycle*), dan kendaraan tidak bermotor (UM, *Un Motorized*). Masing-masing kendaraan tersebut yang melintas dibagi menjadi tiga arah, yaitu belok kiri (LT), lurus (ST), dan belok kanan (RT).

2. Analisa Arus Lalu Lintas

Analisa data yang tercantum pada penelitian ini menggunakan sampel data lalu lintas terpadat, dimana diperoleh jam puncak yaitu pada hari Senin, 10 Juli 2023 (hari kerja) pukul 16.30 – 17.30 di sore hari. Rincian data hasil survei lalu lintas dengan satuan kend/jam di jam puncak tersebut ditunjukkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Data Volume Kendaraan

Hari, Tanggal		: Senin, 10 Juli 2023										
Pukul		: 16.30 - 17.30 (Sore)										
Tipe Kendaraan	Pendekat Utara			Pendekat Timur			Pendekat Selatan			Pendekat Barat		
	LT	ST	RT	LT	ST	RT	LT	ST	RT	LT	ST	RT
Sepeda Motor	83	738	404	184	650	144	271	458	89	409	639	193
Kendaraan Ringan (LV)	33	181	64	41	131	31	34	83	30	81	94	80
Kendaraan Berat (HV)	1	7	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0
Kendaraan Tak Bermotor (UM)	0	0	1	1	2	1	3	3	0	0	1	0

Nilai arus lalu lintas dibedakan dengan emp yang ada di lapangan, yaitu terlindung dan terlawan dalam satuan smp/jam. Pada persimpangan bersinyal Jati Raya, digunakan emp terlawan karena timbul konflik antara unsur lalu lintas yang belok kanan dengan yang melaju lurus maupun belok kiri dari pendekat yang berlainan ketika lampu hijau di fase serupa. Nilai emp terlawan yaitu sebagai berikut:

- emp terlawan dari kendaraan ringan (LV) = 1,0.
- emp terlawan dari kendaraan berat (HV) = 1,3.
- emp terlawan dari sepeda motor (MC) = 0,4.

Analisa arus lalu lintas pada persimpangan bersinyal Jati Raya ditunjukkan pada perhitungan di bawah ini.

- Arus lalu lintas pendekat utara pada Senin sore (16.30 – 17.30),
 Kendaraan ringan (LV) dengan nilai emp terlawan sebesar 1,0:
 LT : 33 (kend/jam) . 1,0 = 33 smp/jam;
 ST : 181 (kend/jam) . 1,0 = 181 smp/jam;
 RT : 64 (kend/jam) . 1,0 = 64 smp/jam;
 Total = 278 smp/jam.
 Kendaraan berat (LV) dengan nilai emp terlawan sebesar 1,3:
 LT : 1 (kend/jam) . 1,3 = 1,3 smp/jam;
 ST : 7 (kend/jam) . 1,3 = 9,1 smp/jam;
 RT : 0 (kend/jam) . 1,3 = 0 smp/jam;
 Total = 10,4 smp/jam.
 Sepeda motor (MC) dengan nilai emp terlawan sebesar 0,4:
 LT : 83 (kend/jam) . 0,4 = 33,2 smp/jam;
 ST : 738 (kend/jam) . 0,4 = 295,2 smp/jam;
 RT : 404 (kend/jam) . 0,4 = 161,6 smp/jam;
 Total = 490 smp/jam.
- Arus lalu lintas pendekat selatan pada Senin sore (16.30 – 17.30),
 Kendaraan ringan (LV) dengan nilai emp terlawan sebesar 1,0:
 LT : 41 (kend/jam) . 1,0 = 41 smp/jam;
 ST : 131 (kend/jam) . 1,0 = 131 smp/jam;
 RT : 31 (kend/jam) . 1,0 = 31 smp/jam;
 Total = 203 smp/jam.
 Kendaraan berat (LV) dengan nilai emp terlawan sebesar 1,3:
 LT : 1 (kend/jam) . 1,3 = 1,3 smp/jam;
 ST : 0 (kend/jam) . 1,3 = 0 smp/jam;
 RT : 1 (kend/jam) . 1,3 = 1,3 smp/jam;
 Total = 2,6 smp/jam.
 Sepeda motor (MC) dengan nilai emp terlawan sebesar 0,4:
 LT : 184 (kend/jam) . 0,4 = 73,6 smp/jam;
 ST : 650 (kend/jam) . 0,4 = 260 smp/jam;
 RT : 144 (kend/jam) . 0,4 = 57,6 smp/jam;
 Total = 381,2 smp/jam.
- Arus lalu lintas pendekat timur pada Senin sore (16.30 – 17.30),
 Kendaraan ringan (LV) dengan nilai emp terlawan sebesar 1,0:
 LT : 34 (kend/jam) . 1,0 = 34 smp/jam;
 ST : 83 (kend/jam) . 1,0 = 83 smp/jam;
 RT : 30 (kend/jam) . 1,0 = 30 smp/jam;
 Total = 147 smp/jam.
 Kendaraan berat (LV) dengan nilai emp terlawan sebesar 1,3:
 LT : 1 (kend/jam) . 1,3 = 1,3 smp/jam;
 ST : 0 (kend/jam) . 1,3 = 0 smp/jam;
 RT : 1 (kend/jam) . 1,3 = 1,3 smp/jam;
 Total = 2,6 smp/jam.

Sepeda motor (MC) dengan nilai emp terlawan sebesar 0,4:

$$LT : 271 \text{ (kend/jam)} \cdot 0,4 = 108,4 \text{ smp/jam};$$

$$ST : 458 \text{ (kend/jam)} \cdot 0,4 = 183,2 \text{ smp/jam};$$

$$RT : 89 \text{ (kend/jam)} \cdot 0,4 = 35,6 \text{ smp/jam};$$

$$\text{Total} = 327,2 \text{ smp/jam.}$$

- Arus lalu lintas pendekat barat pada Senin sore (16.30 – 17.30),
Kendaraan ringan (LV) dengan nilai emp terlawan sebesar 1,0:

$$LT : 81 \text{ (kend/jam)} \cdot 1,0 = 81 \text{ smp/jam};$$

$$ST : 94 \text{ (kend/jam)} \cdot 1,0 = 94 \text{ smp/jam};$$

$$RT : 80 \text{ (kend/jam)} \cdot 1,0 = 80 \text{ smp/jam};$$

$$\text{Total} = 255 \text{ smp/jam.}$$

Kendaraan berat (LV) dengan nilai emp terlawan sebesar 1,3:

$$LT : 1 \text{ (kend/jam)} \cdot 1,3 = 1,3 \text{ smp/jam};$$

$$ST : 0 \text{ (kend/jam)} \cdot 1,3 = 0 \text{ smp/jam};$$

$$RT : 0 \text{ (kend/jam)} \cdot 1,3 = 0 \text{ smp/jam};$$

$$\text{Total} = 1,3 \text{ smp/jam.}$$

Sepeda motor (MC) dengan nilai emp terlawan sebesar 0,4:

$$LT : 409 \text{ (kend/jam)} \cdot 0,4 = 163,6 \text{ smp/jam};$$

$$ST : 639 \text{ (kend/jam)} \cdot 0,4 = 255,6 \text{ smp/jam};$$

$$RT : 193 \text{ (kend/jam)} \cdot 0,4 = 77,2 \text{ smp/jam};$$

$$\text{Total} = 496,4 \text{ smp/jam.}$$

a. Total Kendaraan Bermotor (MV)

Total kendaraan bermotor didapat dari setiap hasil volume kendaraan, lalu ditotal setiap arus kendaraan (smp/jam) masing-masing pendekat, untuk selanjutnya dijumlahkan sesuai jenis kendaraan. Pada penelitian ini didapat dengan emp terlawan, maka pada perhitungan total kendaraan bermotor menggunakan hasil dari arus kendaraan terlawan masing-masing jenis kendaraan pada setiap pendekat.

- Total kendaraan bermotor pendekat utara pada Senin sore (16.30 – 17.30),

$$\begin{aligned} \text{MV LT terlawan} &= \text{Volume LV} + \text{Volume HV} + \text{Volume MC} \\ &= 33 + 1,3 + 33,2 = 67,5 \text{ smp/jam}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MV ST terlawan} &= \text{Volume LV} + \text{Volume HV} + \text{Volume MC} \\ &= 181 + 9,1 + 295,2 = 485,3 \text{ smp/jam}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MV RT terlawan} &= \text{Volume LV} + \text{Volume HV} + \text{Volume MC} \\ &= 64 + 0 + 161,6 = 225,6 \text{ smp/jam}; \end{aligned}$$

Jadi, total kendaraan bermotor (MV) terlawan pada pendekat utara, yaitu:

$$\begin{aligned} \text{MV total terlawan utara} &= \text{MV LT} + \text{MV ST} + \text{MV RT} \\ &= 67,5 + 485,3 + 225,6 = 778,4 \text{ smp/jam.} \end{aligned}$$

- Total kendaraan bermotor pendekat selatan pada Senin sore (16.30 – 17.30),

$$\begin{aligned} \text{MV LT terlawan} &= \text{Volume LV} + \text{Volume HV} + \text{Volume MC} \\ &= 41 + 1,3 + 73,6 = 115,9 \text{ smp/jam}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MV ST terlawan} &= \text{Volume LV} + \text{Volume HV} + \text{Volume MC} \\ &= 131 + 0 + 260 = 391 \text{ smp/jam}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MV RT terlawan} &= \text{Volume LV} + \text{Volume HV} + \text{Volume MC} \\ &= 31 + 1,3 + 57,6 = 89,9 \text{ smp/jam}; \end{aligned}$$

Jadi, total kendaraan bermotor (MV) terlawan pada pendekatan selatan, yaitu:

$$\begin{aligned} \text{MV total terlawan selatan} &= \text{MV LT} + \text{MV ST} + \text{MV RT} \\ &= 115,9 + 391 + 89,9 = 596,8 \text{ smp/jam.} \end{aligned}$$

- Total kendaraan bermotor pendekatan timur pada Senin sore (16.30 – 17.30),

$$\begin{aligned} \text{MV LT terlawan} &= \text{Volume LV} + \text{Volume HV} + \text{Volume MC} \\ &= 34 + 1,3 + 108,4 = 143,7 \text{ smp/jam;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MV ST terlawan} &= \text{Volume LV} + \text{Volume HV} + \text{Volume MC} \\ &= 83 + 0 + 183,2 = 266,2 \text{ smp/jam;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MV RT terlawan} &= \text{Volume LV} + \text{Volume HV} + \text{Volume MC} \\ &= 30 + 1,3 + 35,6 = 66,9 \text{ smp/jam;} \end{aligned}$$

Jadi, total kendaraan bermotor (MV) terlawan pada pendekatan timur, yaitu:

$$\begin{aligned} \text{MV total terlawan timur} &= \text{MV LT} + \text{MV ST} + \text{MV RT} \\ &= 143,7 + 266,2 + 66,9 = 476,8 \text{ smp/jam.} \end{aligned}$$

- Total kendaraan bermotor pendekatan barat pada Senin sore (16.30 – 17.30),

$$\begin{aligned} \text{MV LT terlawan} &= \text{Volume LV} + \text{Volume HV} + \text{Volume MC} \\ &= 81 + 1,3 + 163,6 = 245,9 \text{ smp/jam;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MV ST terlawan} &= \text{Volume LV} + \text{Volume HV} + \text{Volume MC} \\ &= 94 + 0 + 255,6 = 349,6 \text{ smp/jam;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MV RT terlawan} &= \text{Volume LV} + \text{Volume HV} + \text{Volume MC} \\ &= 80 + 0 + 77,2 = 157,2 \text{ smp/jam;} \end{aligned}$$

Jadi, total kendaraan bermotor (MV) terlawan pada pendekatan barat, yaitu:

$$\begin{aligned} \text{MV total terlawan barat} &= \text{MV LT} + \text{MV ST} + \text{MV RT} \\ &= 245,9 + 349,6 + 157,2 = 752,7 \text{ smp/jam.} \end{aligned}$$

b. Rasio Berbelok

Rasio berbelok didapat dari jumlah MV setiap arah dibagi dengan MV total. Untuk rasio berbelok akan terdapat dua hasil, yaitu rasio belok arak kiri (P_{LT}) dan rasio belok arah kanan (P_{RT}).

- Rasio berbelok pendekatan utara pada Senin sore (16.30 – 17.30),

$$P_{LT} = \frac{\text{MV LT terlawan}}{\text{MV total terlawan}} = \frac{117}{1511} = 0,077$$

$$P_{RT} = \frac{\text{MV RT terlawan}}{\text{MV total terlawan}} = \frac{468}{1511} = 0,310$$

- Rasio berbelok pendekatan selatan pada Senin sore (16.30 – 17.30),

$$P_{LT} = \frac{\text{MV LT terlawan}}{\text{MV total terlawan}} = \frac{226}{1183} = 0,191$$

$$P_{RT} = \frac{\text{MV RT terlawan}}{\text{MV total terlawan}} = \frac{176}{1183} = 0,149$$

- Rasio berbelok pendekatan timur pada Senin sore (16.30 – 17.30),

$$P_{LT} = \frac{\text{MV LT terlawan}}{\text{MV total terlawan}} = \frac{306}{967} = 0,316$$

$$P_{RT} = \frac{\text{MV RT terlawan}}{\text{MV total terlawan}} = \frac{120}{967} = 0,124$$

- Rasio berbelok pendekatan barat pada Senin sore (16.30 – 17.30),

$$P_{LT} = \frac{\text{MV LT terlawan}}{\text{MV total terlawan}} = \frac{491}{1497} = 0,328$$

$$P_{RT} = \frac{\text{MV RT terlawan}}{\text{MV total terlawan}} = \frac{273}{1497} = 0,182$$

c. Rasio Kendaraan Tak Bermotor

Analisa rasio kendaraan tak bermotor didapat dari banyaknya volume kendaraan tak bermotor setiap pendekat (kend/jam) dibagi dengan MV total (kend/jam).

- Banyaknya kendaraan tak bermotor pendekat utara

LT = 0 (kend/jam);

ST = 0 (kend/jam);

RT = 1 (kend/jam).

Jumlah total kendaraan tak bermotor:

Arus UM = LT + ST + RT = 0 + 0 + 1 = 1 (kend/jam).

Nilai MV total (kend/jam) pada pendekat utara adalah 1511 kend/jam, yang diperoleh dari hasil jumlah volume kendaraan bermotor. Untuk selanjutnya, di bawah ini merupakan analisa perhitungan rasio kendaraan tak bermotor.

$$\text{Rasio kendaraan tak bermotor} = \frac{\text{Arus UM}}{\text{MV total}} = \frac{1}{1511} = 0,001$$

- Banyaknya kendaraan tak bermotor pendekat selatan

LT = 1 (kend/jam);

ST = 2 (kend/jam);

RT = 1 (kend/jam).

Jumlah total kendaraan tak bermotor:

Arus UM = LT + ST + RT = 1 + 2 + 1 = 4 (kend/jam).

Nilai MV total (kend/jam) pada pendekat selatan adalah 1183 kend/jam, yang diperoleh dari hasil jumlah volume kendaraan bermotor. Untuk selanjutnya, di bawah ini merupakan analisa perhitungan rasio kendaraan tak bermotor.

$$\text{Rasio kendaraan tak bermotor} = \frac{\text{Arus UM}}{\text{MV total}} = \frac{4}{1183} = 0,003$$

- Banyaknya kendaraan tak bermotor pendekat timur

LT = 3 (kend/jam);

ST = 3 (kend/jam);

RT = 0 (kend/jam).

Jumlah total kendaraan tak bermotor:

Arus UM = LT + ST + RT = 3 + 3 + 0 = 6 (kend/jam).

Nilai MV total (kend/jam) pada pendekat timur adalah 967 kend/jam, yang diperoleh dari hasil jumlah volume kendaraan bermotor. Untuk selanjutnya, di bawah ini merupakan analisa perhitungan rasio kendaraan tak bermotor.

$$\text{Rasio kendaraan tak bermotor} = \frac{\text{Arus UM}}{\text{MV total}} = \frac{6}{967} = 0,006$$

- Banyaknya kendaraan tak bermotor pendekat barat

LT = 0 (kend/jam);

ST = 1 (kend/jam);

RT = 0 (kend/jam).

Jumlah total kendaraan tak bermotor:

Arus UM = LT + ST + RT = 0 + 1 + 0 = 1 (kend/jam).

Nilai MV total (kend/jam) pada pendekat barat adalah 1497 kend/jam, yang diperoleh dari hasil jumlah volume kendaraan bermotor. Untuk selanjutnya, di bawah ini merupakan analisa perhitungan rasio kendaraan tak bermotor.

$$\text{Rasio kendaraan tak bermotor} = \frac{\text{Arus UM}}{\text{MV total}} = \frac{1}{1497} = 0,001$$

Setelah perhitungan arus lalu lintas ketika jam puncak pada hari Senin, 10 Juli 2023 pukul 16.30 – 17.30 (hari kerja di sore hari) telah dianalisa secara keseluruhan, selanjutnya direkapitulasi dalam Tabel 3 berikut.

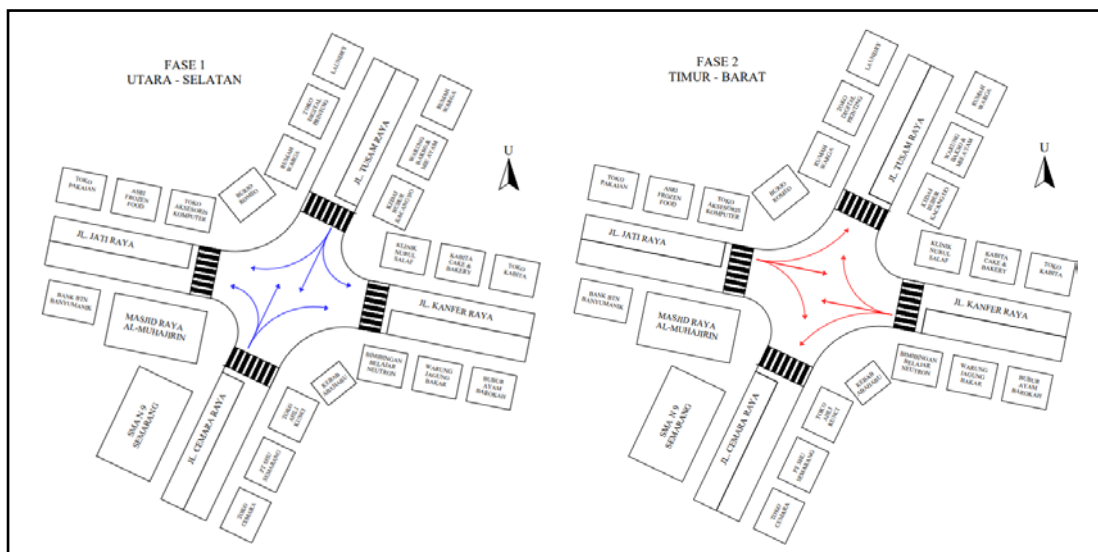
Tabel 3. Analisa Arus Lalu Lintas (SIG-II)

Kode Pendekat	Arah	Arus Lalu Lintas Kendaraan Bermotor (MV)										Tak Bermotor	
		Kend. Ringan (LV)		Kend. Berat (HV)		Spd. Motor (MC)		Kendaraan Bermotor Total (MV)		Rasio Berbelok		Arus UM	Rasio UM/MV
		emp terlindung = 1,0 emp terlawan = 1,0		emp terlindung = 1,3 emp terlawan = 1,3		emp terlindung = 0,2 emp terlawan = 0,4		kend/jam	smp/jam	PLT	PRT		
		kend/jam	smp/jam Terlawan	kend/jam	smp/jam Terlawan	kend/jam	smp/jam Terlawan						
U	LT	33	33	1	1,3	83	33,2	117	67,5	0,077		0	
	ST	181	181	7	9,1	738	295,2	926	485,3			0	
	RT	64	64	0	0	404	161,6	468	225,6		0,310	1	
	Total	278	278	8	10,4	1225	490	1511	778,4			1	0,001
S	LT	41	41	1	1,3	184	73,6	226	115,9	0,191		1	
	ST	131	131	0	0	650	260	781	391			2	
	RT	31	31	1	1,3	144	57,6	176	89,9		0,149	1	
	Total	203	203	2	2,6	978	391,2	1183	596,8			4	0,003
T	LT	34	34	1	1,3	271	108,4	306	143,7	0,316		3	
	ST	83	83	0	0	458	183,2	541	266,2			3	
	RT	30	30	1	1,3	89	35,6	120	66,9		0,124	0	
	Total	147	147	2	2,6	818	327,2	967	476,8			6	0,006
B	LT	81	81	1	1,3	409	163,6	491	245,9	0,328		0	
	ST	94	94	0	0	639	255,6	733	349,6			1	
	RT	80	80	0	0	193	77,2	273	157,2		0,182	0	
	Total	255	255	1	1,3	1241	496,4	1497	752,7			1	0,001

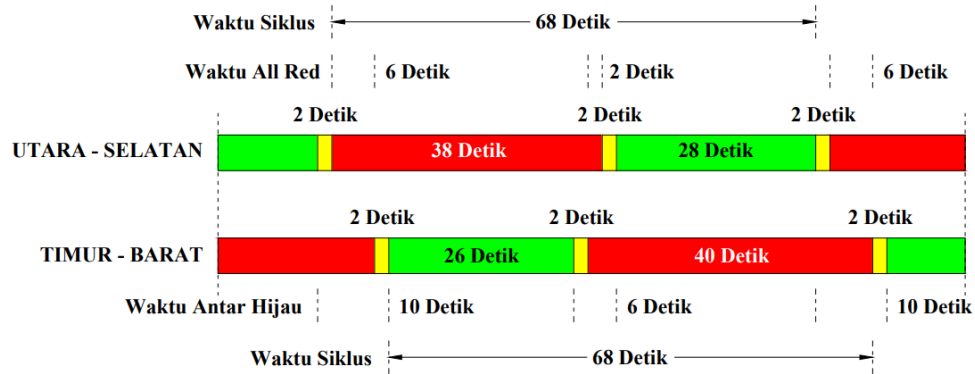
3. Penggunaan Sinyal

Data penggunaan sinyal lalu lintas diamati oleh peneliti secara langsung di lapangan dibantu oleh *stopwatch*, dengan menghitung durasi berapa lama sinyal lalu lintas pada setiap pendekat dalam satuan detik.

Pengaturan fase sinyal pada persimpangan bersinyal Jati Raya ini terdiri dari dua fase, yaitu fase 1 (satu) untuk pendekat utara – selatan dan fase 2 (dua) untuk pendekat timur – barat, yang ditampilkan pada Gambar 1 dan Gambar 2 berikut.



Gambar 1. Pengaturan Fase Persimpangan Bersinyal Jati Raya



Gambar 2. Waktu Siklus Tiap Fase

Waktu siklus sinyal yaitu berupa waktu hijau, waktu kuning, waktu merah, serta waktu antar hijau atau waktu hilang dari setiap pendekatan. Durasi waktu siklus telah diperoleh dari data primer melalui survei lapangan yaitu pada Gambar 2, yang mana dapat dimasukkan dalam Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Waktu Siklus Tiap Fase (SIG-III)

Lalu Lintas Berangkat		Lalu Lintas Datang					Waktu Merah Semua (det)
Pendekat	Kecepatan	Pendekat	U	S	T	B	
	VE m/det	Kecepatan VA m/det	10	10	10	10	
		Jarak berangkat-datang (m)					
U	10	Waktu berangkat-datang (det)					
		Jarak berangkat-datang (m)					
S	10	Waktu berangkat-datang (det)					
		Jarak berangkat-datang (m)					
T	10	Waktu berangkat-datang (det)					
		Jarak berangkat-datang (m)					
B	10	Waktu berangkat-datang (det)					
		Penentuan Waktu Merah Semua					
		Fase 1 → Fase 2					2,0
		Fase 2 → Fase 1					6,0
		Waktu Kuning Total (3 det/fase)					6,0
		Waktu Hilang Total (LTI) = Merah Semua Total + Waktu Kuning (det/siklus)					14,0

4. Penentuan Waktu Sinyal, Kapasitas, dan Derajat Kejenuhan

a. Arus Jenuh Dasar (So)

Pada persimpangan bersinyal Jati Raya, keempat lengan persimpangan memiliki lebar efektif jalan (We) yaitu sebesar 3,5 m. Dengan demikian perhitungannya adalah sebagai berikut.

- So utara = 600 . We = 600 . 3,5 = 2100 (smp/jam)
- So selatan = 600 . We = 600 . 3,5 = 2100 (smp/jam)
- So timur = 600 . We = 600 . 3,5 = 2100 (smp/jam)
- So barat = 600 . We = 600 . 3,5 = 2100 (smp/jam)

b. Faktor Kesesuaian

- Faktor Kesesuaian Ukuran Kota (F_{CS})

Nilai faktor kesesuaian ukuran kota (F_{CS}) diambil dari berapa banyaknya penduduk pada suatu kota. Menurut catatan Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2022, Semarang memiliki penduduk mencapai 1,65 juta jiwa. Mengacu pada MKJI 1997, ini berarti Semarang termasuk dalam kategori kota besar, sehingga diperoleh nilai F_{CS} sebesar 1,00.

- Faktor Kesesuaian Hambatan Samping (F_{SF})

Nilai faktor kesesuaian hambatan samping (F_{SF}) difungsinya sebagai indikator dari kondisi lingkungan jalan, adanya hambatan samping, dan rasio kendaraan tak bermotor. Hambatan samping dapat berpengaruh terhadap kinerja lalu lintas dari beragam kegiatan yang ada di sisi samping ruas jalan.

Sesuai yang diamati oleh peneliti, wilayah persimpangan bersinyal Jati Raya termasuk dalam lingkungan jalan komersial (COM), dengan hambatan samping yang rendah, serta tipe fase terlawan. Nilai rasio kendaraan tak bermotor yaitu kisaran 0,001 hingga 0,006. Dengan demikian, mengacu pada MKJI 1997, diperoleh nilai faktor kesesuaian hambatan samping (F_{SF}) yaitu sebesar 0,95.

- Faktor Kesesuaian Kelandaian (F_G)

Nilai faktor kesesuaian kelandaian (F_G) dapat dilihat dari besarnya nilai kemiringan turunan (%) dan tanjakan (%). Pada persimpangan bersinyal Jati Raya diperoleh nilai faktor kelandaian (F_G) sebesar 1,0.

- Faktor Kesesuaian Parkir (F_P)

Nilai faktor kesesuaian parkir (F_P) ditetapkan mulai jarak garis henti kendaraan yang terparkir dengan lebar pendekat. Pada persimpangan bersinyal Jati Raya didapat nilai faktor kesesuaian parkir (F_P) yaitu sebesar 1,0.

- Faktor Kesesuaian Belok Kanan (F_{RT})

Nilai faktor kesesuaian belok kanan (F_{RT}) dikhususkan bagi pendekat tipe P (*protected*) atau terlindung, sehingga nilai F_{RT} untuk persimpangan bersinyal Jati Raya yang bertipe terlawan dianggap sebesar 1,0.

- Faktor Kesesuaian Belok Kiri (F_{LT})

Nilai faktor kesesuaian belok kiri (F_{LT}) dikhususkan bagi pendekat tipe P (*protected*) atau terlindung, sehingga nilai F_{LT} untuk persimpangan bersinyal Jati Raya yang bertipe terlawan adalah sebesar 1,0.

c. Nilai Arus Jenuh yang Disesuaikan (S)

Setelah keseluruhan nilai faktor kesesuaian diperoleh, seluruh nilai dimasukkan pada rumus arus jenuh tiap pendekat sebagai berikut.

- S utara = $S_0 \cdot F_{CS} \cdot F_{SF} \cdot F_G \cdot F_P \cdot F_{RT} \cdot F_{LT}$
= $2100 \cdot 1,0 \cdot 0,95 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1995$ (smp/jam)
- S selatan = $S_0 \cdot F_{CS} \cdot F_{SF} \cdot F_G \cdot F_P \cdot F_{RT} \cdot F_{LT}$
= $2100 \cdot 1,0 \cdot 0,95 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1995$ (smp/jam)
- S barat = $S_0 \cdot F_{CS} \cdot F_{SF} \cdot F_G \cdot F_P \cdot F_{RT} \cdot F_{LT}$
= $2100 \cdot 1,0 \cdot 0,95 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1995$ (smp/jam)
- S timur = $S_0 \cdot F_{CS} \cdot F_{SF} \cdot F_G \cdot F_P \cdot F_{RT} \cdot F_{LT}$
= $2100 \cdot 1,0 \cdot 0,95 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1995$ (smp/jam)

d. Rasio Arus Jenuh (FR)

Rasio arus adalah hasil bagi antara arus lalu lintas (Q) dan nilai arus jenuh yang telah disesuaikan (S) dengan analisa perhitungan tiap pendekatan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{FR utara} &= \frac{Q}{S} = \frac{778,4}{1995} = 0,390 & \text{FR barat} &= \frac{Q}{S} = \frac{476,8}{1995} = 0,239 \\ \text{FR selatan} &= \frac{Q}{S} = \frac{596,8}{1995} = 0,299 & \text{FR timur} &= \frac{Q}{S} = \frac{752,7}{1995} = 0,377 \end{aligned}$$

e. Rasio Arus Persimpangan (IFR)

Nilai rasio arus persimpangan (IFR) didapat dari penjumlahan dua nilai perbandingan arus jenuh yang terbesar dari fase yang sama (FR_{CRLT}).

FR utara > FR selatan (**0,390** > 0,299)

FR timur < **FR barat** (0,239 < **0,377**), sehingga:

$$\text{IFR} = \Sigma(\text{FR}_{\text{CRLT}}) = \text{FR utara} + \text{FR barat} = 0,390 + 0,377 = 0,767$$

f. Rasio Fase (PR)

Nilai rasio fase (PR) diperoleh dari hasil bagi antara dua nilai rasio arus jenuh yang terbesar dari fase yang sama (FR_{CRLT}) dan nilai rasio arus persimpangan (IFR).

$$\begin{aligned} \text{PR utara} &= \frac{\text{FR}_{\text{CRLT}}}{\text{IFR}} = \frac{0,767}{0,390} = 0,508 \\ \text{PR barat} &= \frac{\text{FR}_{\text{CRLT}}}{\text{IFR}} = \frac{0,767}{0,377} = 0,492 \end{aligned}$$

g. Waktu Siklus (c) dan Waktu Hijau (g)

Durasi waktu siklus dan waktu hijau ditampilkan pada Gambar 2 dan Tabel 4, yang mana tercatat waktu siklus total yaitu 68 detik serta waktu hijau selama 28 detik (pendekat utara – selatan) dan 26 detik (pendekat timur – barat).

h. Kapasitas (C)

Analisa kapasitas pada persimpangan bersinyal Jati Raya dapat dilihat dari perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{C utara} &= S \times \frac{g}{c} = 1995 \times \frac{28}{68} = 821,471 \text{ smp/jam} \\ \text{C selatan} &= S \times \frac{g}{c} = 1995 \times \frac{28}{68} = 821,471 \text{ smp/jam} \\ \text{C timur} &= S \times \frac{g}{c} = 1995 \times \frac{26}{68} = 762,794 \text{ smp/jam} \\ \text{C barat} &= S \times \frac{g}{c} = 1995 \times \frac{26}{68} = 762,794 \text{ smp/jam} \end{aligned}$$

i. Derajat Kejenuhan (DS)

Nilai derajat kejenuhan (DS) diperoleh dari perbandingan antara nilai arus lalu lintas (Q) dan kapasitas (C) tiap pendekatnya. Analisa perhitungan derajat kejenuhan pada persimpangan bersinyal Jati Raya sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{DS utara} &= \frac{Q}{C} = \frac{778,4}{821,471} = 0,948 \\ \text{DS selatan} &= \frac{Q}{C} = \frac{596,8}{821,471} = 0,727 \\ \text{DS timur} &= \frac{Q}{C} = \frac{476,8}{762,794} = 0,625 \\ \text{DS barat} &= \frac{Q}{C} = \frac{752,7}{762,794} = 0,987 \end{aligned}$$

Setelah keseluruhan perhitungan ketika jam puncak pada hari Senin, 10 Juli 2023 pukul 16.30 – 17.30 (hari kerja di sore hari) di atas telah dianalisa, selanjutnya adalah direkapitulasi dalam Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Penentuan Waktu Siklus, Kapasitas, Derajat Kejenuhan (SIG-IV)

Kode Pendekat	Hijau dalam Fase No.	Tipe Pendekat	Rasio Kendaraan Berbelok						Arus RT (smp/jam)		Lebar Efektif (m)	Arus Jenuh smp/jam Hijau										Arus Lalu Lintas (smp/jam)	Rasio Arus FR	Rasio Fase = $\frac{FR_{crit}}{IFR}$	Waktu Hijau (det)	Kapasitas (smp/jam) S x g/c	Derajat Kejenuhan DS		
			Arus Diri	Arah Lawan	Faktor-faktor Penyesuaian					Nilai Dasar smp/jam Hijau		Semua Tipe Pendekat					Hanya Tipe P												
					Uk. Kota	Hamb. Samp	Kelandaian	Parkir	Bekb Kanan			Bekb Kiri	Nilai Disesuaikan smp/jam Hijau	Q	Q/S	PR	g	C	Q/C										
																				PLTOR	PLT							PR	QR
U	1	O	-	0,077	0,310	225,6	89,9	3,5	2100	1,00	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1995	778,4	0,390	0,508	28	821,471	0,948						
S	1	O	-	0,191	0,149	89,9	225,6	3,5	2100	1,00	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1995	596,8	0,299		28	821,471	0,727						
T	2	O	-	0,316	0,124	66,9	157,2	3,5	2100	1,00	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1995	476,8	0,239		26	762,794	0,625						
B	2	O	-	0,328	0,182	157,2	66,9	3,5	2100	1,00	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1995	752,7	0,377	0,492	26	762,794	0,987						
Waktu Hilang Total LTI (det)			14,0	Waktu Siklus Pra-Penyesuaian c_{10} (det)																	IFR =								
				Waktu Siklus Disesuaikan c (det)						68,00											ΣFR_{crit}	0,767							

5. Panjang Antrian

a. Rasio Hijau (GR)

Nilai rasio hijau (GR) dari masing-masing pendekat didapat dari hasil pembagian antara waktu hijau (g) serta waktu siklus (c) pada simpang.

- GR utara = $\frac{g}{c} = \frac{28}{68} = 0,41$
- GR selatan = $\frac{g}{c} = \frac{28}{68} = 0,41$
- GR timur = $\frac{g}{c} = \frac{26}{68} = 0,38$
- GR barat = $\frac{g}{c} = \frac{26}{68} = 0,38$

b. Jumlah Kendaraan Antri (NQ)

Jumlah rerata antrian saat mulainya sinyal hijau (NQ) dihitung sebagai jumlah smp yang tersisa dari fase hijau yang sudah ada sebelumnya (NQ1) dijumlahkan banyaknya smp yang tiba saat fase merah (NQ2). Analisa perhitungan NQ1 dan NQ2, sehingga didapat nilai NQ sebagai berikut.

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

- NQ1 utara = $0,25 \cdot 821,471 \left[(0,948 - 1) + \sqrt{(0,948 - 1)^2 + \frac{8 \cdot (0,948 - 0,5)}{821,471}} \right]$
= 6,5 smp
- NQ1 selatan = $0,25 \cdot 821,471 \left[(0,727 - 1) + \sqrt{(0,727 - 1)^2 + \frac{8 \cdot (0,727 - 0,5)}{821,471}} \right]$
= 0,8 smp
- NQ1 timur = $0,25 \cdot 762,794 \left[(0,625 - 1) + \sqrt{(0,625 - 1)^2 + \frac{8 \cdot (0,625 - 0,5)}{762,794}} \right]$
= 0,3 smp
- NQ1 barat = $0,25 \cdot 762,794 \left[(0,987 - 1) + \sqrt{(0,987 - 1)^2 + \frac{8 \cdot (0,987 - 0,5)}{762,794}} \right]$
= 11,3 smp

$$NQ2 = C \cdot \frac{1 - GR}{1 - GR \cdot DS} \cdot \frac{Q_{masuk}}{3600}$$

- NQ2 utara = $821,471 \cdot \frac{1 - 0,41}{1 - 0,41 \cdot 0,948} \cdot \frac{778,4}{3600} = 14,2 \text{ smp}$
- NQ2 selatan = $821,471 \cdot \frac{1 - 0,41}{1 - 0,41 \cdot 0,727} \cdot \frac{596,8}{3600} = 9,5 \text{ smp}$
- NQ2 timur = $762,794 \cdot \frac{1 - 0,38}{1 - 0,38 \cdot 0,625} \cdot \frac{476,8}{3600} = 7,3 \text{ smp}$
- NQ2 barat = $762,794 \cdot \frac{1 - 0,38}{1 - 0,38 \cdot 0,987} \cdot \frac{752,7}{3600} = 14,1 \text{ smp}$

$$NQ = NQ1 + NQ2$$

- NQ utara = $NQ1 + NQ2 = 6,5 + 14,2 = 20,7 \text{ smp}$
- NQ selatan = $NQ1 + NQ2 = 0,8 + 9,5 = 10,3 \text{ smp}$
- NQ timur = $NQ1 + NQ2 = 0,3 + 7,3 = 7,6 \text{ smp}$
- NQ barat = $NQ1 + NQ2 = 11,3 + 14,1 = 25,4 \text{ smp}$

c. NQmax

NQmax diperoleh dari tabel perhitungan jumlah antrian yang berkorelasi dengan jumlah antrian (NQ) yang berhubungan dengan persentase peluang untuk pembebeban lebih (P_{OL}) dengan mengambil nilai persentase sebesar 5%.

- NQmax utara = 30,0 smp
- NQmax selatan = 16,0 smp
- NQmax timur = 12,5 smp
- NQmax barat = 36,0 smp

d. Panjang Antrian (QL)

Nilai panjang antrian merupakan hasil kali NQmax dengan luasan rerata yang dipakai setiap smp (20 m²) yang dibagi dengan lebar masuk (W_e).

- QL utara = $\frac{NQ_{MAX} \cdot 20}{W_{MASUK}} = \frac{30,0 \cdot 20}{3,5} = 171,43 \text{ m}$
- QL selatan = $\frac{NQ_{MAX} \cdot 20}{W_{MASUK}} = \frac{16,0 \cdot 20}{3,5} = 91,43 \text{ m}$
- QL timur = $\frac{NQ_{MAX} \cdot 20}{W_{MASUK}} = \frac{12,5 \cdot 20}{3,5} = 71,43 \text{ m}$
- QL barat = $\frac{NQ_{MAX} \cdot 20}{W_{MASUK}} = \frac{36,0 \cdot 20}{3,5} = 205,71 \text{ m}$

6. Kendaraan Terhenti

a. Angka Henti (NS)

Angka henti atau disebut juga rasio kendaraan (NS) tiap-tiap pendekat yang diartikan sebagai jumlah rerata berhenti setiap smp-nya.

- NS utara = $0,9 \cdot \frac{NQ}{Q \cdot c} \cdot 3600 = 0,9 \cdot \frac{30,0}{778,4 \cdot 68} \cdot 3600 = 1,269 \text{ stop/smp}$
- NS selatan = $0,9 \cdot \frac{NQ}{Q \cdot c} \cdot 3600 = 0,9 \cdot \frac{16,0}{596,8 \cdot 68} \cdot 3600 = 0,821 \text{ stop/smp}$
- NS timur = $0,9 \cdot \frac{NQ}{Q \cdot c} \cdot 3600 = 0,9 \cdot \frac{12,5}{476,8 \cdot 68} \cdot 3600 = 0,764 \text{ stop/smp}$
- NS barat = $0,9 \cdot \frac{NQ}{Q \cdot c} \cdot 3600 = 0,9 \cdot \frac{36,0}{752,7 \cdot 68} \cdot 3600 = 1,610 \text{ stop/smp}$

b. Jumlah Kendaraan Terhenti (N_{SV})

Nilai N_{SV} merupakan perkalian antara angka henti atau rasio kendaraan (NS) dan arus lalu lintas (Q). Analisa perhitungan N_{SV} sebagai berikut.

- NS utara = $Q \cdot NS = 778,4 \cdot 1,269 = 988$ smp/jam
- NS selatan = $Q \cdot NS = 596,8 \cdot 0,821 = 490$ smp/jam
- NS timur = $Q \cdot NS = 476,8 \cdot 0,764 = 364$ smp/jam
- NS barat = $Q \cdot NS = 752,7 \cdot 1,610 = 1212$ smp/jam

$$\begin{aligned} \text{Total nilai } N_{SV} &= N_{SV} \text{ utara} + N_{SV} \text{ selatan} + N_{SV} \text{ timur} + N_{SV} \text{ barat} \\ &= 988 + 490 + 364 + 1212 = 3054 \text{ smp/jam} \end{aligned}$$

c. Kendaraan Terhenti Rata-rata

Nilai kendaraan terhenti rerata keseluruhan simpang didapatkan dari hasil bagi jumlah kendaraan terhenti keseluruhan pendekat (N_{SV} total) terhadap arus lalu lintas total (Q total).

$$NS_{\text{tot}} = \frac{\sum N_{SV}}{Q_{\text{total}}} = \frac{3054}{2604,7} = 1,17 \text{ stop/smp}$$

7. Tundaan

a. Tundaan Lalu Lintas Rata-rata (DT)

Tundaan lalu lintas rerata suatu pendekat (DT) karena efek timbal balik dengan pergerakan yang ada lainnya pada simpang.

$$\begin{aligned} DT &= c \cdot A \cdot \frac{NQ1 \cdot 3600}{C} \\ &= c \cdot \frac{0,5 \cdot (1-GR)^2}{1-GR \cdot DS} \cdot \frac{NQ1 \cdot 3600}{C} \end{aligned}$$

- DT utara = $68,0 \cdot \frac{0,5 \cdot (1-0,41)^2}{1-0,41 \cdot 0,948} \cdot \frac{6,5 \cdot 3600}{821,471} = 47,98$ det/smp
- DT selatan = $68,0 \cdot \frac{0,5 \cdot (1-0,41)^2}{1-0,41 \cdot 0,727} \cdot \frac{0,8 \cdot 3600}{821,471} = 20,39$ det/smp
- DT timur = $68,0 \cdot \frac{0,5 \cdot (1-0,38)^2}{1-0,38 \cdot 0,625} \cdot \frac{0,3 \cdot 3600}{762,794} = 18,61$ det/smp
- DT barat = $68,0 \cdot \frac{0,5 \cdot (1-0,38)^2}{1-0,38 \cdot 0,987} \cdot \frac{11,3 \cdot 3600}{762,794} = 74,32$ det/smp

b. Tundaan Geometrik Rata-rata (DG)

Tundaan geometrik rerata di tiap pendekat (DG) akibat adanya perlambatan dan percepatan ketika menunggu giliran di suatu simpang dan/atau saat diberhentikan sinyal lampu merah.

$$\begin{aligned} DG &= (1 - NS) \cdot (P_{LT} + P_{RT}) \cdot 6 + (NS \cdot 4) \end{aligned}$$

- DG utara = $(1 - 1,269) \cdot (0,077 + 0,310) \cdot 6 + (1,269 \cdot 4) = 4,45$ det/smp
- DG selatan = $(1 - 0,821) \cdot (0,191 + 0,149) \cdot 6 + (0,821 \cdot 4) = 3,65$ det/smp
- DG timur = $(1 - 0,764) \cdot (0,316 + 0,124) \cdot 6 + (0,764 \cdot 4) = 3,68$ det/smp
- DG barat = $(1 - 1,610) \cdot (0,328 + 0,182) \cdot 6 + (1,610 \cdot 4) = 4,57$ det/smp

c. Tundaan Rata-rata (D)

Nilai tundaan rata-rata (D) dari masing-masing pendekat adalah jumlah tundaan lalu lintas rata-rata (DT) serta tundaan geometrik rata-rata (DG).

- D utara = $DT \text{ utara} + DG \text{ utara} = 47,98 + 4,45 = 52,43$ det/smp
- D selatan = $DT \text{ selatan} + DG \text{ selatan} = 20,39 + 3,65 = 24,04$ det/smp

- D timur = DT timur + DG timur = 18,61 + 3,68 = 22,29 det/smp
- D barat = DT barat + DG barat = 74,32 + 4,57 = 78,89 det/smp

d. Tundaan Total (D_{tot})

Nilai tundaan total (D_{tot}) diperoleh dari hasil perkalian antara tundaan rata-rata (D) dan arus lalu lintas (Q).

- D_{tot} utara = D utara x Q utara = 52,43 x 778,4 = 40.812,65 smp.det
- D_{tot} selatan = D selatan x Q selatan = 24,04 x 596,8 = 14.346,04 smp.det
- D_{tot} timur = D timur x Q timur = 22,29 x 476,8 = 10.629,87 smp.det
- D_{tot} barat = D barat x Q barat = 78,89 x 752,7 = 59.380,76 smp.det

$$\begin{aligned} \text{Nilai } D_{\text{tot total}} &= D_{\text{tot utara}} + D_{\text{tot selatan}} + D_{\text{tot timur}} + D_{\text{tot barat}} \\ &= 40.812,65 + 14.346,04 + 10.629,87 + 59.380,76 \\ &= 125.169,32 \text{ smp.det} \end{aligned}$$

e. Tundaan Simpang Rata-rata (D1)

Tundaan rerata seluruh simpang (D1) diperoleh dengan membagi jumlah nilai tundaan (D_{tot}) dengan arus lalu lintas total keempat lengan (Q total) dalam smp/jam.

$$D1 = \frac{D \text{ total}}{Q \text{ total}} = \frac{125.169,32}{2604,7} = 48,06 \text{ det/smp}$$

Setelah keseluruhan perhitungan dengan sampel waktu diambil pada jam puncak hari Senin, 10 Juli 2023 pukul 16.30 – 17.30 (hari kerja di sore hari) di atas telah dianalisa, selanjutnya adalah direkapitulasi dalam Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Panjang Antrian dan Tundaan (SIG-V)

Kode Pendekat	Arus Lalu Lintas smp/jam Q	Kapasitas smp/jam C	Derajat Kejeihan DS = Q/C	Rasio Hijau GR = g/c	Jumlah Kendaraan Antri (smp)				Panjang Antrian (m) QL	Rasio Kendaraan n stop/smp NS	Jumlah Kendaraan Terhenti smp/jam NSV	Tundaan			
					N1	N2	Total N1 + N2 = NQ	NQmaks				Tundaan Lalu Lintas Rata-rata det/smp DT	Tundaan Geometrik Rata-rata det/smp DG	Tundaan Rata-rata det/smp D = DT + DG	Tundaan Total smp.det D x Q
U	778,4	821,471	0,948	0,41	6,5	14,2	20,7	30,0	171,43	1,269	988	47,98	4,45	52,43	40812,65
S	596,8	821,471	0,727	0,41	0,8	9,5	10,3	16,0	91,43	0,821	490	20,39	3,65	24,04	14346,04
T	476,8	762,794	0,625	0,38	0,3	7,3	7,6	12,5	71,43	0,764	364	18,61	3,68	22,29	10629,87
B	752,7	762,794	0,987	0,38	11,3	14,1	25,4	36,0	205,71	1,610	1212	74,32	4,57	78,89	59380,76
Arus kor.	-										Total : 3054				Total : 125169,32
Qkor.											Kendaraan Terhenti Rata-rata stop/smp 1,17				Tundaan Simpang Rata-rata det/smp 48,06
Arus Total Qtot.	2604,7														

4. KESIMPULAN

Berdasar pada penelitian analisa kinerja simpang menggunakan MKJI 1997 pada persimpangan bersinyal Jati Raya, Banyumanik, Semarang, maka dapat disimpulkan:

1. Dari hasil survei di lapangan didapatkan bahwa kondisi beberapa simpang sudah tidak mampu menahan jumlah arus lalu lintas kendaraan di jam puncak. Berikut data karakteristik-karakteristik lalu lintas yang diperoleh sebagai berikut:
 - a. Data geometrik didapat lebar pendekat (W_a) 7,0 m, lebar masuk (W_{masuk}) dan lebar keluar (W_{keluar}) 3,5 m, serta tak memiliki belok kiri langsung (W_{LTOR}) pada keempat lengan simpang. Selain itu, wilayah simpang tersebut termasuk lingkungan jalan komersial, hambatan samping rendah, dan tanpa median.

-
- b. Nilai arus lalu lintas (Q_{tot}) jam puncak pada hari Senin, 10 Juli 2023 (hari kerja) pukul 16.30 – 17.30 diperoleh sebesar 2604,7 smp/jam, dengan nilai tertinggi terdapat pada arus dari pendekat utara yaitu 778,4 smp/jam.
2. Dari hasil analisa kinerja menunjukkan bahwa persimpangan bersinyal tersebut masih layak dalam pengoperasiannya, namun pada hasil analisa perhitungan derajat kejenuhan (DS) dan tundaan simpang rata-rata (D1) diperoleh hasil yang buruk. Berikut hasil analisa kinerja persimpangan bersinyal yang diperoleh sebagai berikut:
- Pengaturan fase sinyal lalu lintas terdiri dari dua fase, dengan waktu siklus 68 detik yang masih tergolong layak menurut MKJI 1997 (40 – 80 detik).
 - Arus jenuh yang disesuaikan (S) yaitu 1995 smp/jam. Dengan ini, diperoleh nilai rasio arus jenuh (FR) sebesar 0,390 untuk pendekat utara, 0,299 selatan, 0,239 timur, dan 0,377 barat. Menurut MKJI 1997, nilai rasio tersebut masih dalam kategori wajar ($FR < 0,8$).
 - Kapasitas (C) diperoleh untuk pendekat utara dan selatan 821,471 smp/jam dan pendekat timur dan barat adalah 762,794 smp/jam.
 - Derajat kejenuhan (DS) diperoleh pendekat utara sebesar 0,948, selatan 0,727, timur 0,625, dan barat 0,987. Nilai DS pendekat utara dan barat itu telah melampaui batas jenuh yang ditentukan MKJI 1997 ($DS > 0,85$).
 - Nilai panjang antrian (QL) untuk pendekat utara adalah sepanjang 171,43 m, selatan 91,43 m, timur 71,43 m, dan barat 205,71 m.
 - Tundaan simpang rata-rata (D1) diperoleh nilai 48 detik/smp. Menurut Peraturan Kemenhub Nomor 14 Tahun 2006 tentang Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas di Jalan, nilai tersebut termasuk dalam tingkat pelayanan E atau buruk, yaitu masuk batas 40,1 – 60,0 detik/smp.

UCAPAN TERIMAKASIH

Kepada Allah SWT. atas rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penelitian ini dapat terselesaikan.

Kepada Susono dan Jumatia (orang tua dari Danang Ferdian) serta Achmadi dan Sri Wahyuni (orang tua dari Fachrul Ramadhan) atas doa, semangat, dan motivasinya hingga kami berada pada titik kehidupan sekarang ini.

Kepada Ir. H. Rachmat Mudiyo, M.T., Ph.D. dan Dr. Ir. H. Kartono Wibowo, M.M., M.T. sebagai Dosen Pembimbing yang telah memberi waktu dan pengarahan, sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.

Kepada semua pihak yang terlibat yang telah membantu dan memberikan dukungan dan doa.

DAFTAR PUSTAKA

Adri P., R. W., Herlina, N., & Hidayat, A. K. (2019). Analisis Kinerja Simpang Bersinyal (Studi Kasus Simpang Mitra Batik Kota Tasikmalaya). *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Akselerasi*, 1(1).

Alamsyah, A. A. (2005). *Rekayasa Lalu Lintas*. UMM PRESS.

-
- Badan Pusat Statistik Kota Semarang. Jumlah Penduduk Menurut Jenis Kelamin (Jiwa). Akses online April 2023. URL: <https://semarangkota.bps.go.id/indicator/12/78/1/jumlah-penduduk-menurut-jenis-kelamin.html>
- Badan Pusat Statistik Kota Semarang. Luas Wilayah, Jumlah Penduduk, dan Kepadatan Penduduk (Jiwa/km²), 2020-2022. Akses online April 2023. URL: <https://semarangkota.bps.go.id/indicator/12/48/1/kepadatan-penduduk.html>
- Direktorat Jenderal Bina Marga dan Direktorat Bina Jalan Kota. (1997). Manual Kapasitas Jalan Indonesia. PT Bina Karya (Persero).
- Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. (2006). Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas di Jalan. Biro Hukum Kementerian Perhubungan.
- Khisty, C. J., & Lall, B. K. (2005). Dasar-dasar Rekayasa Transportasi Jilid 1. Erlangga. Jakarta.
- Morlok, E. K. (1991). Pengantar Teknik dan Perencanaan Transportasi. Erlangga. Jakarta.
- Putra, I. P. M. A. M., Sriastuti, D. A. N., & Rahadiani, A. A. S. D. (2021). Analisis Simpang Bersinyal Pada Simpang Uluwatu, Badung, Bali. *Jurnal Teknik Gradien*, 13(2).
- Rulianto, E. N., & Saputra, A. A. (2022). Analisa Kinerja Pada Simpang Bersinyal Menggunakan Metode MKJI 1997 (Studi Kasus: Simpang Jolotundo, Kota Semarang, Jawa Tengah). *Tugas Akhir*. Universitas Semarang.
- Saputra, W. R., & Irawan, W. A. (2022). Analisis Kinerja Simpang Empat Bersinyal Segmen Jalan Soekarno Hatta Depan SPBU Pertamina Masjid Agung Semarang. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
- Soedirdjo, T. L. (2002). Catatan Kuliah Rekayasa Lalu Lintas. ITB PRESS.
- Syafutri, Y. (2018). Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal Pada Simpang Jalan Pattimura – Simpang Jalan Sudirman Kota Medan (Studi Kasus). *Tugas Akhir*. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Medan.
- Syaikhu, M., & Widodo, E. (2016). Analisa Kapasitas dan Tingkat Kinerja Simpang Bersinyal (Studi Kasus Simpang Tiga Purwosari Kabupaten Pasuruan). *Jurnal Reka Buana: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 1(1).