

# ANALISIS KINERJA BUNDRAN WARU KABUPATEN SIDOARJO MENGGUNAKAN PKJI 2023

Riski Hidayana<sup>1)</sup>, Rudy Santosa<sup>2)</sup>, M. Lawdy Dhiyaa Vansya<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Dr. Soetomo,  
Surabaya, Indonesia

Email: [riskihidayana14@gmail.com](mailto:riskihidayana14@gmail.com)

<sup>2)</sup> Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Dr. Soetomo  
Surabaya, Indonesia

Email: [rudy.santosa@unitomo.ac.id](mailto:rudy.santosa@unitomo.ac.id)

<sup>3)</sup> Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Dr. Soetomo  
Surabaya, Indonesia

Email: [lawdy@unitomo.ac.id](mailto:lawdy@unitomo.ac.id)

## Abstract

Bundaran Waru is a signal-free roundabout located at the boundary between the city of Surabaya and Sidoarjo regency. It is a strategic location, but traffic conditions here are often crowded, especially during peak hours. The purpose of this research is to analyze the level of congestion at Bundaran Waru by calculating several key factors including capacity, basic capacity, degree of congestion, delay, queue probability, and also analyzing the weaving traffic characteristics by calculating traffic flow, weaving ratio, average speed, travel time, and level of service for each segment within the roundabout. This study follows the guidelines provided in the Indonesian Road Capacity Manual (PKJI) 2023. Primary data was collected through direct observations at the study site, while secondary data was obtained from relevant government websites. The research findings show that the highest traffic volume occurs between 5:00 PM and 6:00 PM, with a traffic flow of 18,945.1 vehicles per hour. This is broken down into segment 1 with 6,834.9 vehicles per hour, segment 2 with 6,371.7 vehicles per hour, and segment 3 with 5,738.5 vehicles per hour. The degree of congestion for segment 1 falls into category D with a value of 0.89, segment 2 is also in category D with 0.88, and segment 3 is in category E with 0.94. The average delay experienced by vehicles entering the roundabout is 15.39 seconds per hour, while the average speed is 23.37 km/h and the average travel time is 24.67 seconds. Overall, the level of service for the roundabout is categorized as D, indicating that traffic can still flow, but it is congested with limited speed and frequent slowdowns, short to moderate queues, and delays in vehicle maneuvers around the roundabout. Efforts to improve the performance of the roundabout include creating a marking extending the left lane directly, widening the weaving area and widening the approach road section, and in the long term, building an underpass.

**Keywords:** Roundabout; Weaving Section; Capacity; Degree of Saturation; Level of Service.

## Abstrak

Bundaran Waru merupakan salah satu persimpangan tak bersinyal dengan bundaran (Roundabout), yang memiliki letak strategis yaitu perbatasan antara Kota Surabaya dan Kabupaten Sidoarjo. Kondisi lalu lintas di Bundaran ini cukup padat, sehingga sering terjadinya kemacetan terutama pada jam-jam sibuk, tujuan penelitian ini untuk menganalisa tingkat kemacetan pada Bundaran Waru dengan menghitung Kapasitas, Derajat Kejenuhan, Tundaan, Peluang Antrian, dan menganalisa karakteristik jalinan lalu lintas (weaving section) dengan menghitung arus jalinan, Rasio Arus Jalinan, Kecepatan Tempuh, Waktu Tempuh, dan Tingkat Pelayanan (Level of Service) setiap segmen yang ada di Bundaran Waru. Penelitian ini menggunakan rumusan dan ketentuan yang terdapat pada Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023. Jenis data primernya didapatkan dari hasil pengamatan langsung dilokasi penelitian sedangkan untuk data sekundernya didapatkan dari website instansi terkait. Adapun hasil penelitian ini adalah volume lalu lintas tertinggi terjadi pada jam 17.00-18.00 wib dengan nilai arus lalu lintas sebesar 18.945,1 smp/jam dengan rincian untuk segmen 1 (dari arah Jl. Ahmad Yani ke Jl. Raya Waru dan Jl. Raya Geluran) sebesar 6.834,9 smp/jam, segmen 2 (dari Jl. Raya Waru ke Jl. A. Yani dan Jl. Raya Geluran) 6.371,7 smp/jam, segmen 3 (dari Jl. Raya geluran ke Jl. A. Yani dan Jl. Raya Waru) 5.738,5 smp/jam. Dengan derajat kejenuhan untuk segmen 1 masuk kedalam kategori D dengan nilai 0,89, segmen 2 masuk ke dalam kategori D dengan nilai 0,88, dan untuk segmen 3 masuk kedalam kategori E dengan nilai 0,94. Sedangkan tundaan rata-rata kendaraan yang masuk pada bundaran waru ini sebesar 15,39 det/jam, dan untuk kecepatan tempuh rata-rata bernilai 23,37 km/jam, serta untuk waktu tempuh rata-rata bernilai 24,67 detik. Sehingga tingkat pelayanan bundaran ini masuk kedalam kategori D, hal ini menandakan bahwa arus lalu lintas masih dapat mengalir namun jenuh, dengan kecepatan terbatas serta sering terjadi perlambatan, antrian pendek hingga sedang, dan keterlambatan manuver kendaraan di sekitar bundaran. Upaya untuk meningkatkan kinerja bundaran adalah membuat marka memanjang lajur kiri langsung, pelebaran area jalinan dan pelebaran ruas jalan pendekat, serta untuk jangka panjangnya pembangunan underpass.

**Kata Kunci:** Bundaran; Bagian Jalinan; Kapasitas; Derajat Kejenuhan; Tingkat pelayanan

## PENDAHULUAN

Jalan raya adalah prasarana transportasi yang sangatlah penting, dipergunakannya untuk melayani pergerakan dari satu tempat ke tempat lainnya, dengan ini jalan raya harus menjamin kenyamanan bagi para penggunanya, dengan bertambahnya jumlah penduduk jumlah kendaraan bermotor juga semakin meningkat, hal tersebut membuat pertumbuhan arus lalu lintas semakin meningkat namun kapasitas jalan yang terbatas, tetapi dapat dikatakan menjadi kemacetan apabila kondisi arus lalu lintas yang mempergunakan ruas jalan lebih dari kapasitas ruas jalan itu sendiri, sehingga membuat kecepatan berkendara

dalam suatu ruas jalan hampir atau sampai 0 km/jam, bahkan menyebabkan terjadinya penumpukan kendaraan.

Masalah kemacetan seringkali terjadi di perkotaan besar Indonesia, termasuk di kota Surabaya dan Kabupaten Sidoarjo terutama pada titik-titik strategis seperti simpang bersinyal, bundaran, dan akses menuju jalan tol. Salah satu titik kemacetan yang signifikan terjadi di Bundaran Waru, Kabupaten Sidoarjo. Bundaran ini memiliki peran strategis sebagai simpul transportasi guna menghubungkan kota Surabaya dan Kabupaten Sidoarjo, Tol Waru, serta akses untuk ke Bandara Internasional Juanda, arus lalu lintas yang mempergunakan area ini lumayan tinggi saat jam sibuk

seperti pagi serta sore, sering menyebabkan perlambatan lalu lintas dan tundaan yang signifikan. Bundaran Waru ini memiliki karakteristik sebagai simpang tak bersinyal dengan pola pergerakan yang kompleks dan melayani berbagai macam jenis kendaraan.

Fenomena *weaving* atau pergerakan kendaraan yang saling menyilang merupakan salah satu faktor utama penyebab kemacetan di Bundaran Waru. Selain itu, kapasitas jalan yang terbatas, berlebihnya volume arus lalu lintas yang mempergunakannya tidak sebanding dengan kapasitas bundaran turut memperburuk kondisi kemacetan. Dengan demikian, diperlukan analisis untuk memahami karakteristik lalu lintas serta mengidentifikasi alternatif yang tepat guna meningkatkan kelancaran arus lalu lintas di Bundaran Waru ini.

Untuk mengukur tingkat kemacetan dan kinerja lalu lintas di Bundaran Waru, penelitian ini akan mempergunakan pendekatan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023. Dilakukannya kajian ini diharapkan guna memperoleh gambaran yang akurat mengenai kondisi lalu lintas serta rekomendasi yang dapat diterapkan untuk mengurangi kemacetan yang terjadi dan meningkatkan efisiensi transportasi di wilayah tersebut.

## TINJAUAN PUSTAKA

Bundaran (*Roundabout*) adalah persimpangan dengan jalur melingkar yang memungkinkan kendaraan berputar di sekitar pulau pusat dengan aturan prioritas kendaraan yang di rancang untuk mengatur lalu lintas agar lebih efisien dan aman. Dengan mempergunakan prinsip *yield at entry*, yaitu kendaraan yang memasuki bundaran wajib memberikan prioritas terhadap kendaraan yang terlebih dahulu memasuki bundaran.

### 1.) Analisa Kinerja Ruas Jalan Pendekat

Analisa ini dilakukan untuk mengetahui seberapa baik masing-masing ruas jalan dalam melayani arus kendaraan, terutama pada jam-jam puncak. Selain itu analisis ini dilakukan untuk menilai seberapa besar pengaruhnya terhadap kemacetan didalam bundaran. Analisis kinerja ruas jalan dilakukan berdasarkan parameter utama menurut PKJI 2023.

#### A. Kapasitas

Kapasitas merupakan jumlah maksimal kendaraan dimana bisa melewati bundaran dalam waktu dan kondisi lalu lintas yang sudah ditentukan, kapasitas ruas jalan pendekat bisa diperhitungkan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$C = C_0 \times FUK \times FRSU$$

Keterangan :

- CO = Kapasitas dasar ruas jalan.
- FUK = Faktor koreksi ukuran kota
- FRSU = faktor koreksi tipe lingkungan jalan.

#### B. Kapasitas Dasar

Kapasitas dasar merupakan kondisi ideal dari suatu ruas jalan bisa melayani arus lalu lintas, yang bisa dihitung menggunakan ketentuan dari Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023 sebagai berikut :

Tabel 1. Kapasitas Dasar Ruas Jalan

| Tipe Jalan                               | Co (smp/jam) | Ketentuan             |
|--|--------------|-----------------------|
| 4/2-T, 6/2-T, 8/2-T atau Jalan satu arah | 1700         | Per lajur (satu arah) |
| 2/2-TT                                   | 2800         | Per dua arah          |

Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, 2023

### C. Derajat Kejenuhan

DJ menjadi parameter penting yang dipergunakan dalam mengetahui seberapa baik sebuah ruas jalan beroperasi, menghitung DJ dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$DJ = Q/C$$

Keterangan :

C = Kapasitas rus jalan.

Q = Volume Lalu Lintas.

### 2.) Analisa Kinerja Bundaran

Kinerja bundaran menunjukkan kemampuan bundaran dalam menangani arus lalu lintas dengan lancar dan aman, tanpa terjadinya kemacetan atau tundaan yang berlebihan, Kinerja bundaran dinilai dari beberapa indikator seperti kapasitas, derajat kejenuhan, tundaan, peluang antrian, serta tingkat pelayanan (*Level of Service/LOS*),

#### A. Kapasitas (C)

Kapasitas merupakan jumlah maksimal kendaraan dimana bisa melewati bundaran dalam waktu dan kondisi lalu lintas yang sudah ditentukan, terdapat segmen jalinan yang mana bisa dihitung berdasarkan total arus yang masuk ke segmen jalinan serta diuraikan sebagai hasil perkalian dari kapasitas dasar dengan faktor koreksi dimana mempertimbangkan kondisi lingkungan disekitarnya berbeda-beda, kapasitas segmen jalinan masing-masing diperhitungkan dengan mempergunakan persamaan berikut:

$$C = C_0 \times FUK \times FRSU$$

Keterangan :

- CO = Kapasitas dasar ruas jalan.
- FUK = Faktor koreksi ukuran kota
- FRSU = faktor koreksi tipe lingkungan jalan.

#### B. Kapasitas Dasar (Co)

Kapasitas dasar merupakan kondisi ideal dari suatu segmen bundaran bisa melayani arus lalu lintas, dan bisa dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$C_0 = 135 \times W_w^{1.3} \times (1 + W_e/W_w)^{1.5} \times (1 - P_w/3)^{0.5} \times (1 + W_w/L_w)^{-1.8}$$

Keterangan :

- W<sub>E</sub> = lebar masuk rata-rata, dalam meter.
- W<sub>W</sub> = lebar jalinan, dalam meter.
- L<sub>W</sub> = panjang jalinan
- W<sub>W</sub>/L<sub>W</sub> = rasio lebar jalinan terhadap panjang jalinan
- P<sub>W</sub> = rasio jalinan.

### C. Derajat Kejenuhan (DJ)

Derajat kejenuhan adalah salah satu parameter guna mendapatkan hasil sejauh segemen bagian jalinan bundaran dalam melayani arus lalu lintas yang sedang digunakan. menurut pedoman kapasitas jalan indonesia (PKJI, 2023), dalam menghitung derajat kejenuhan digunakan persamaan sebagai berikut :

$$DJ = Q/C$$

Keterangan :

DJ = Derajat kejenuhan

C = Kapasitas bagian jalinan.

Q = Total arus lalu lintas.

#### D. Tundaan

Tundaan Lalu lintas Bagian Jalinan Bundaran (TR) yaitu rata-rata tundaan kendaraan yang mempergunakan, Nilai ini dihitung berdasarkan rumus empiris, dapat dilihat dari rumus dibawah :

- Apabila  $DJ \leq 0,60$  :

$$TR = 2 + 2,68982 \times DJ - (1 - DJ) \times 2$$

- Apabila  $DJ \geq 0,60$

$$TR = 1 / (0,59186 - 0,52525 \times DJ) - (1 - DJ) \times 2$$

Keterangan :

TR = Tundaan lalu lintas jalinan

DJ = Derajat kejenuhan

Tundaan Lalu Lintas Bundaran (TLL) yaitu rata-rata tundaan perkendaraan yang mempergunakan bundaran, nilai ini dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$T_{LL} = \sum_{i=1} q_i \times T_{ri} / q \text{ masuk}$$

Keterangan :

$q_i$  = arus total, dalam SMP/jam.

$T_{ri}$  = rata-rata tundaan, dalam detik/SMP.

q masuk = total arus lalu lintas, dalam SMP/jam.

i = bagian jalinan.

Tundaan Bundaran (T) adalah rata-rata tundaan lalu lintas yang mempergunakan bundaran. perhitungannya bisa dengan rumus berikut :

$$T = T_{LL} + T_G$$

Keterangan :

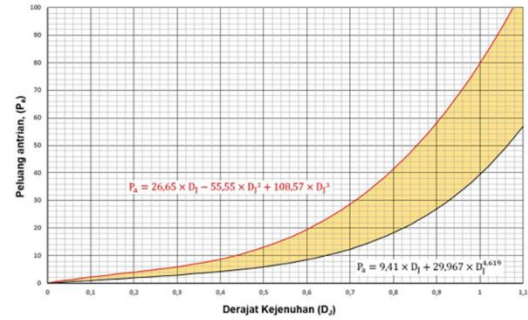
T = tundaan bundaran

$T_{LL}$  = tundaan rata-rata lalin, dalam det/smp

$T_G$  = tundaan geometrik, dalam detik/SMP; gunakan tundaan geometrik rata-rata 4.

#### E. Peluang Antrian Pada Bundaran

Nilai Pa ini ditunjukkan dengan rentang% serta kurva empiris digunakan untuk ketentuannya dengan variabel masukan dari nilai DJ. Dan nilai Pa tertinggillah yang dipergunakannya.



Gambar 1. Grafik peluang antrian

Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, 2023  
Nilai Pa dihitung berdasarkan dengan persamaan berikut :

$$\text{Batas atas} = QP\% = 26,65 \times DJ - 55,55 \times DJ^2 + 108,7 \times DJ^3$$

$$\text{Batas bawah} = QP\% = 9,41 \times DJ + 29,967 \times DJ^{4,619}$$

Keterangan :

QP% = Peluang antrian jalinan

DJ = Derajat kejenuhan

#### 3.) Analisis Kinerja Bagian Jalinan (*Weaving Section*)

Bagian jalinan (*weaving section*) merupakan segmen dalam bundaran yang berada antara lengan masuk dan lengan keluar, tempat kendaraan melakukan manuver silang seperti bergabung (*merge*), berpindah jalur (*weaving*), atau keluar jalur (*diverge*). Kinerja bagian ini sangat penting karena menjadi lokasi utama konflik lalu lintas di dalam bundaran.

##### A. Arus Jalinan ( $q_w$ )

Arus jalinan dihitung berdasarkan jumlah kendaraan yang berpindah jalur dari lengan masuk menuju lengan keluar yang bersilangan arah. Arus ini dihitung dalam satuan kendaraan ringan setara (smp/jam). Arus jalinan diperoleh dari data survei lalu lintas yang telah dikonversi ke dalam satuan smp.

##### B. Rasio Arus Jalinan ( $P_w$ )

Rasio arus jalinan menunjukkan perbandingan antara arus jalinan terhadap arus total kendaraan di bagian jalinan. Nilai ini penting untuk menilai seberapa besar pengaruh manuver silang dalam total beban lalu lintas, bisa diperhitungkan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$P_w = Q_w / Q_{\text{Total}}$$

Keterangan :

$Q_w$  = Arus menjalin (smp/jam)

$Q_{\text{total}}$  = Arus total(smp/jam)

$P_w$  = Rasio jalinan

##### C. Kecepatan Tempuh Pada Bagian Jalinan

Kecepatan tempuh  $V_T$  (km/jam), dihitung sepanjang bagian jalinan menggunakan persamaan dibawah :

$$V_T = V_O \times 0,5 \times (1 + (1 - DJ)^{0,5})$$

Keterangan :

DJ = derajat kejenuhan.

$V_O$  = kecepatan arus bebas awal (km/jam), diperhitungkan menggunakan persamaan :

$$V_O = 43 \times (1 - P_w / 3)$$

Dengan catatan  $P_w$  adalah rasio arus jalinan dibagi dengan arus total.

##### D. Waktu Tempuh Pada Bagian Jalinan

Waktu tempuh,  $W_T$  (detik), dihitung di sepanjang bagian jalinan dengan Persamaan dibawah :

$$W_T = LW \times 3,6/V_T$$

Keterangan:

LW = adalah panjang bagian jalinan, dalam meter.

VT = adalah kecepatan tempuh, dalam km/jam.

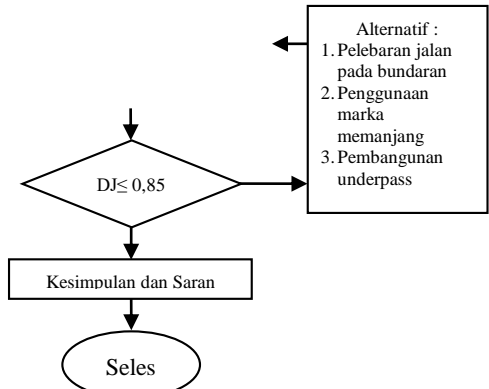
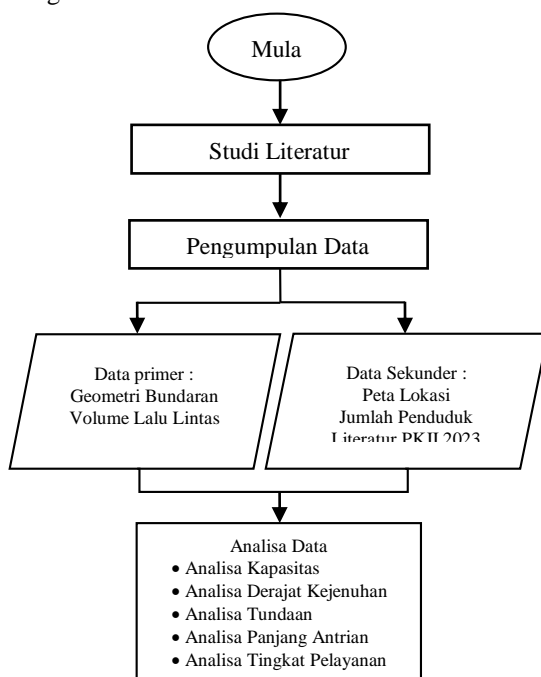
#### 4.) Tingkat Pelayanan Jalinan Bundaran

Tingkat pelayanan menurut (PP RI Nomor 32, tahun 2011) menunjukkan kondisi semua jalinan bundaran, ditentukan berdasarkan derajat kejenuhan lalu lintas. Tingkat pelayanan jalinan bundaran dibagi menjadi beberapa kategori sebagai berikut:

- Tingkat Pelayanan A ( $DJ \leq 0,60$ )  
Arus lalu lintas dalam kondisi bebas, untuk kecepatan sepenuhnya tergantung pada pengemudi dan sesuai keinginannya, tetapi ditetapkan batas kecepatannya .
- Tingkat Pelayanan B ( $DJ 0,61 - 0,70$ )  
Arus lalu lintas masil lancar, tetapi mulai terbatas kecepatannya serta hambatan mulai dirasakan oleh pengendara.
- Tingkat Pelayanan C ( $DJ 0,71 - 0,80$ )  
Arus lalu lintas mulai tak lancar, namun terbatas kecepatannya serta intensitas kendaraan lainnya bertambah
- Tingkat Pelayanan D ( $DJ 0,80 - 0,90$ )  
Arus lalu lintas kurang lancar, relatif turun kecepatannya sebab adanya hambatan, dan ruang gerak terasa semakin kecil.
- Tingkat Pelayanan E ( $DJ 0,91 - 1,00$ )  
Arus lalu lintas hampir mencapai batas kapasitas ruas jalan, sebab itu kecepatan kendaraan tak kurang dari 40 km/jam, gerakan lalu lintas terkadang mengalami terhambat.
- Tingkat Pelayanan F ( $DJ > 1,00$ )  
Dipaksakannya arus lalu lintas kendaraan serta melambat kecepatannya, sering kali arus lalu lintasnya terhenti dengan demikian terjadinya antrian atau kemacetan kendaraan.

### METODELOGI PENELITIAN

Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

#### Metode Pengumpulan Data

Survei sekunder dan survei primernya merupakan metode yang digunakan untuk memperoleh data dalam penelitian ini sebagai berikut :

#### Data Primer

Data primer merupakan data yang didapat dari pengamatan langsung dilokasi, di penelitian ini survei primer dilakukan di bundaran waru adapun data yang akan diambil meliputi:

1. Survei Geometrik Bundaran adapun data yang akan diambil adalah :
  - Diameter Bundaran
  - Jumlah dan lebar lajur
  - Lebar pendekat
  - Lebar jalinan
  - Panjang jalinan
2. Survei Volume Lalu Lintas adapun data yang akan diambil adalah :
  - Jumlah kendaraan yang mempergunakan bundaran.

Tabel 2. Waktu penelitian

| HARI   | WAKTU             |                   |
|--------|-------------------|-------------------|
|        | PAGI              | SORE              |
| Jumat  | 06.00 – 08.00 WIB | 16.00 – 18.00 WIB |
| Minggu | 06.00 – 08.00 WIB | 16.00 – 18.00 WIB |
| Senin  | 06.00 – 08.00 WIB | 16.00 – 18.00 WIB |

Sumber : Hasil Analisa, 2023

Dalam pengambilan data dibutuhkan 3 orang surveyor pada setiap titik persimpangan yang terdapat 3 titik persimpangan yang akan diteliti dan 1 orang tambahan lagi untuk bagian dokumentasi, sehingga dibutuhkan kurang lebih 10 orang. Untuk pengumpulan data geometrik bundaran, prosesnya dilakukan secara manual pada saat dini hari guna tak mengganggu aktivitas arus lalu lintas.

#### Data Sekunder

Survei sekunder merupakan cara pengambilan data dari memperelajari literatur atau bahan referensi yang terkait bisa didapat dari nuku,jurnal, skripsi, serta lembaga terkait. Berikut data yang dibutuhkan pada penelitian ini yaitu :

- Peta Lokasi.
- Jumlah Penduduk.
- Literatur PKJI 2023.

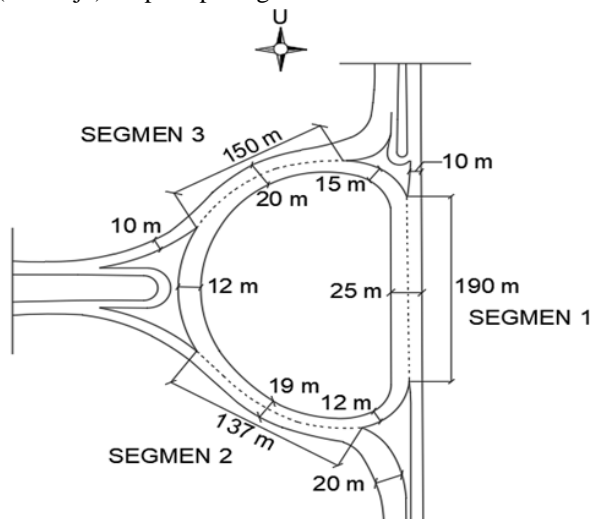
**Teknik Analisis Data**

Analisis data di penelitian ini bertujuan guna mencari tahu seberapa baiknya pelayanan bundaran waru dalam melayani arus lalu lintas, dengan pendekatan kuantitatif, mengikuti Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023, teknik analisisnya mencakup perhitungan :

- Analisis Volume Lalu lintas.
- Analisis Kinerja Ruas Jalan Pendekat.
- Analisis Kapasitas.
- Analisis Derajat Kejenuhan.
- Analisis Tundan.
- Analisis Panjang Antrian.
- Analisis Kinerja Bagian Jalinan.
- Analisis Tingkat Pelayanan.

**ANALISA DAN PEMBAHASAN**

Dari pengamatan di lapangan bundaran ini memiliki tiga segmen yaitu segmen 1 Jl. Ahmad Yani (Surabaya) menuju Jl. Raya Waru (Sidoarjo), segmen 2 Jl. Raya Waru (Sidoarjo) menuju Jl. Geluran (Sidoarjo) dan Jl. Ahmad Yani (Surabaya), dan segmen 3 dari Jl. Geluran (Sidoarjo) menuju Jl. Ahmad Yani (Surabaya) dan Jl. Raya Waru (Sidoarjo). Seperti pada gambar dibawah ini :



Gambar 3 : Denah Geometri Bundaran Waru  
Sumber :Hasil Analisa, 2025

1. Segmen 1 dari Jl. Ahmad Yani (Surabaya) menuju Jl. Raya Waru (Sidoarjo) & Jl. Geluran (Sidoarjo) memiliki :
  - Lebar pendekat 1 = 10 m
  - Lebar Pendekat 2 = 15 m
  - Lebar Jalinan = 25 m
  - Panjang Jalinan = 190 m
2. Segmen 2 dari Jl. Raya Waru (Sidoarjo) menuju Jl. Geluran (Sidoarjo) dan Jl. Ahmad Yani (Surabaya) memiliki :
  - Lebar pendekat 1 = 20 m
  - Lebar Pendekat 2 = 12 m
  - Lebar Jalinan = 29 m
  - Panjang Jalinan = 137 m

3. Segmen 3 dari Jl. Geluran (Sidoarjo) menuju Jl. Ahmad Yani (Surabaya) dan Jl. Raya Waru (Sidoarjo) memiliki :

- Lebar pendekat 1 = 15 m
- Lebar Pendekat 2 = 10 m
- Lebar Jalinan = 20 m
- Panjang Jalinan = 150 m

**Data Volume Arus Lalu Lintas Bundaran Waru**

Data lalu lintas didapat dari penglihatan langsung di Bundaran Waru dalam kurun waktu tiga hari yaitu jumat, minggu, dan senin. Pada jam 06.00-08.00 WIB dan 16.00-18.00 WIB dengan tujuan untuk mengetahui seberapa besar volume lalu lintas, pola pergerakan, dan terjadinya jam puncak, berikut merupakan data arus lalu lintas yang didapat dari survei dan telah diolah :

Tabel 3. Data arus lalu lintas pada jam puncak

| Hari   | Jam Puncak  | Segmen  | Segmen  | Segmen  | Total    |
|--------|-------------|---------|---------|---------|----------|
|        |             | 1       | 2       | 3       |          |
|        |             | smp/jam | smp/jam | smp/jam |          |
| Senin  | 07.00-08.00 | 5.464,6 | 7.050,2 | 6.282,7 | 18.797,5 |
|        | 17.00-18.00 | 6.834,9 | 6.371,7 | 5.738,5 | 18.945,1 |
| Jumat  | 07.00-08.00 | 4.898,6 | 6.493,5 | 5.625,5 | 17.017,6 |
|        | 17.00-18.00 | 5.981,0 | 5.456,6 | 4.861,1 | 16.298,7 |
| Minggu | 07.00-08.00 | 3.579,2 | 4.382,6 | 4.109,0 | 12.070,8 |
|        | 17.00-18.00 | 4.044,3 | 4.319,0 | 3.945,4 | 12.308,7 |

Sumber : Hasil Analisa, 2025

**Data Jumlah Penduduk**

Pada penelitian ini data jumlah penduduk diambil rata-rata dari jumlah penduduk Kabupaten Sidoarjo dan Kota Surabaya yang didapat dari Badan Pusat Statistik dengan rincian sebagai berikut :

Tabel 4. Data Jumlah Penduduk

| Kota      | Jumlah Penduduk | Fuk  |
|-----------|-----------------|------|
| Sidoarjo  | 2.027.874       | 1.00 |
| Surabaya  | 3.200.000       | 1.00 |
| Rata-Rata |                 | 1.00 |

Sumber : Badan Pusat Statistik, 2025

**Analisa Kinerja Ruas Jalan Pendekat**

Ruas-ruas jalan yang menjadi pendekat menuju Bundaran Waru merupakan jalan alteri primer yang memiliki peran sangat penting dalam mengalirkan lalu lintas baik ke Surabaya ke Sidoarjo dan sekitarnya, analisis ini dilakukan untuk mengetahui seberapa baik. Analisis kinerja ruas jalan dilakukan berdasarkan parameter utama menurut PKJI 2023, yaitu volume lalu lintas, kapasitas, dan derajat kejenuhan.

**Kapasitas Dasar**

Penentuan kapasitas dasar mengacu dari Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023, dan berdasarkan hasil pengamatan klasifikasi jalan dan pengamatan

geometrik di lapangan, ruas-ruas jalan pendekat Bundaran Waru dikategorikan sebagai berikut:

Tabel 5. Klasifikasi Ruas Jalan Pendekat

| No | Nama Ruas Jalan | Klasifikasi Ruas Jalan | Jumlah Lajur | C0 (smp/Lajur) | C0 (smp/jam) |
|----|-----------------|------------------------|--------------|----------------|--------------|
| 1  | Jl A. Yani      | Alteri Primer          | 3            | 1700           | 5100         |
| 2  | Jl Raya Waru    | Alteri Primer          | 4            | 1700           | 6800         |
| 3  | Jl Raya Geluran | Alteri Primer          | 2            | 1700           | 3400         |

Sumber : Hasil Analisa, 2025

### Kapasitas (C)

Berbeda dengan kapasitas dasar yang bersifat teoritis, kapasitas aktual dihitung berdasarkan perkalian kapasitas dasar dengan faktor-faktor penyesuaian sesuai kondisi jalan dengan penyelesaian sebagai berikut :

#### 1. Kapasitas Jalan Ahmad Yani (Surabaya)

Faktor penyesuaian :

|                                 |         |
|---------------------------------|---------|
| Kapasitas Dasar Co              | = 5.100 |
| Lebar Lajur (3,5 m) (FCLJ)      | = 1,00  |
| Kondisi Hambatan Sampung (FCHS) | = 0,90  |
| Ukuran Kota (FCUK)              | = 1,00  |

$$C = C0 \times FCLJ \times FCHS \times FCUK$$

$$= 5.100 \times 1,00 \times 0,90 \times 1,00$$

$$= 4.590 \text{ smp/jam}$$

#### 2. Kapasitas Jalan Raya Waru (Sidoarjo)

Faktor penyesuaian :

|                                 |         |
|---------------------------------|---------|
| Kapasitas Dasar Co              | = 6.800 |
| Lebar Lajur (3,5 m) (FCLJ)      | = 1,00  |
| Kondisi Hambatan Sampung (FCHS) | = 0,86  |
| Ukuran Kota (FCUK)              | = 1,00  |

$$C = C0 \times FCLJ \times FCHS \times FCUK$$

$$= 6800 \times 1,00 \times 0,86 \times 1,00$$

$$= 5.848 \text{ smp/jam}$$

#### 3. Kapasitas Jalan Raya Geluran (Sidoarjo)

Faktor penyesuaian :

|                                 |         |
|---------------------------------|---------|
| Kapasitas Dasar Co              | = 3.400 |
| Lebar Lajur (5 m) (FCLJ)        | = 1,08  |
| Kondisi Hambatan Sampung (FCHS) | = 0,90  |
| Ukuran Kota (FCUK)              | = 1,00  |

$$C = C0 \times FCLJ \times FCHS \times FCUK$$

$$= 3400 \times 1,08 \times 0,90 \times 1,00$$

$$= 3.304,8 \text{ smp/jam}$$

### Derajat Kejenuhan (DJ)

Berdasarkan data volume lalin jam puncak dan hasil perhitungan kapasitas, diperoleh perhitungan derajat kejenuhan sebagai berikut :

#### - Jalan Ahmad Yani (Surabaya)

$$DJ = Q/C$$

$$= 2.055,1 / 4.590$$

$$= 0,44 \text{ Masuk kedalam kategori A}$$

#### - Jalan Raya Waru (Sidoarjo)

$$DJ = Q/C$$

$$= 3.821,7 / 5.848$$

$$= 0,65 \text{ Masuk kedalam kategori B}$$

#### - Jalan Raya Geluran (Sidoarjo)

$$DJ = Q/C$$

$$= 2.295,5 / 3.304,8$$

$$= 0,69 \text{ Masuk kedalam kategori B}$$

### Analisa Kinerja Bundaran

Dalam analisis terhadap kinerja bundaran waru diperlukannya pedoman teknis yang dapat dijadikan acuan dalam perhitungannya, oleh karena itu pada penelitian ini didasari oleh Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023, yaitu menghitung parameter geometrik bagian jalinan, kapasitas, dan kinerja lalu lintas, berikut adalah perhitungannya :

### Kapasitas Dasar (Co)

Berikut merupakan perhitungan kapasitas dasar di bundaran waru yang terdapat tiga segmen yang dihitung

#### 1. Menghitung Faktor $W_w = 135 \times W_w^{1.3}$

$$\text{Faktor } W_w \text{ Segmen 1} = 135 \times 25,00^{1.3} = 8.865$$

$$\text{Faktor } W_w \text{ Segmen 2} = 135 \times 19,00^{1.3} = 6.205$$

$$\text{Faktor } W_w \text{ Segmen 3} = 135 \times 20,00^{1.3} = 6.632$$

#### 2. Menghitung Faktor $W_E/W_w = (1 + W_E/W_w)^{1.5}$

$$\text{Faktor } W_E/W_w \text{ Segmen 1} = (1 + 12,50 / 25,00)^{1.5}$$

$$= 1,837$$

$$\text{Faktor } W_E/W_w \text{ Segmen 2} = (1 + 16,00 / 19,00)^{1.5}$$

$$= 2,500$$

$$\text{Faktor } W_E/W_w \text{ Segmen 3} = (1 + 13,50 / 20,00)^{1.5}$$

$$= 1,930$$

#### 3. Menghitung Faktor $P_w = (1 - P_w / 3)^{0.5}$

$$\text{Faktor } P_w \text{ Segmen 1} = (1 - 0,476 / 3)^{0.5}$$

$$= 0,917$$

$$\text{Faktor } P_w \text{ Segmen 2} = (1 - 0,546 / 3)^{0.5}$$

$$= 0,904$$

$$\text{Faktor } P_w \text{ Segmen 3} = (1 - 0,585 / 3)^{0.5}$$

$$= 0,897$$

#### 4. Menghitung Faktor $W_w/L_w = (1 + W_w) / L_w^{-1.8}$

$$\text{Faktor } W_w/L_w \text{ Segmen 1} = (1 + 25,00 / 190,00)^{-1.8}$$

$$= 0,801$$

$$\text{Faktor } W_w/L_w \text{ Segmen 2} = (1 + 19,00 / 137,00)^{-1.8}$$

$$= 0,792$$

$$\text{Faktor } W_w/L_w \text{ Segmen 3} = (1 + 20,00 / 150,00)^{-1.8}$$

$$= 0,798$$

Setelah menghitung data geometrik dan beberapa faktor tersebut, selanjutnya dapat menentukan kapasitas dasar setiap segmen pada bundaran waru sebagai berikut :

#### Segmen 1

$$C0 = 135 \times W_w^{1.3} \times (1 + W_E/W_w)^{1.5} \times (1 - P_w/3)^{0.5} \times (1 + W_w/L_w)^{-1.8}$$

$$= 8.865 \times 1,837 \times 0,917 \times 0,801$$

$$= 11.947,599 \text{ smp/jam}$$

#### Segmen 2

$$C0 = 135 \times W_w^{1.3} \times (1 + W_E/W_w)^{1.5} \times (1 - P_w/3)^{0.5} \times (1 + W_w/L_w)^{-1.8}$$

$$= 6.204 \times 2,500 \times 0,904 \times 0,792$$

$$= 11.105,408 \text{ smp/jam}$$

#### Segmen 3

$$C0 = 135 \times W_w^{1.3} \times (1 + W_E/W_w)^{1.5} \times (1 - P_w/3)^{0.5} \times (1 + W_w/L_w)^{-1.8}$$

$$= 6.632 \times 2,168 \times 0,897 \times 0,798$$

$$= 10.297,911 \text{ smp/jam}$$

### Kapasitas (Co)

Menghitung Kapasitas setiap segmen di bundaran waru sebagai berikut :

**Segmen I**

$$C = C_0 \times F_{UK} \times F_{RSU}$$

$$= 11.957,599 \times 1 \times 0,86$$

$$= 10.283,535 \text{ smp/jam}$$

**Segmen II**

$$C = C_0 \times F_{UK} \times F_{RSU}$$

$$= 11.105,408 \times 1 \times 0,86$$

$$= 9.550,651 \text{ smp/jam}$$

**Segmen III**

$$C = C_0 \times F_{UK} \times F_{RSU}$$

$$= 10.297,911 \times 1 \times 0,86$$

$$= 8.856,203 \text{ smp/jam}$$

**Derajat Kejenuhan (DJ)**

Setelah mendapatkan hasil perhitungan dari volume arus lalu lintas dan kapasitas maka selanjutnya bisa menghitung derajat kejenuhan setiap segmen jalinan bundaran waru dengan sebagai berikut :

**Segmen I**

$$DJ = Q/C$$

$$= 9.130,4 / 10.283,535$$

$$= 0,89$$

**Segmen 2**

$$DJ = Q/C$$

$$= 8.426,8 / 9.550,651$$

$$= 0,88$$

**Segmen 3**

$$DJ = Q/C$$

$$= 8.288,5 / 8.56,203$$

$$= 0,94$$

**Tundaan (DT)**

- Tundaan Lalu Lintas Bagian Jalinan Bundaran

**Segmen I**

$$T_R = 1 / (0,59186 - 0,52525 \times DJ) - (1 - DJ) \times 2$$

$$= 1 / (0,59186 - 0,52525 \times 0,89) - (1 - 0,89) \times 2$$

$$= 7,82 \text{ det/smp}$$

**Segmen II**

$$T_R = 1 / (0,59186 - 0,52525 \times DJ) - (1 - DJ) \times 2$$

$$= 1 / (0,59186 - 0,52525 \times 0,88) - (1 - 0,88) \times 2$$

$$= 7,47 \text{ det/smp}$$

**Segmen III**

$$T_R = 1 / (0,59186 - 0,52525 \times DJ) - (1 - DJ) \times 2$$

$$= 1 / (0,59186 - 0,52525 \times 0,94) - (1 - 0,94) \times 2$$

$$= 10,071 \text{ det/smp}$$

- Tundaan Lalu Lintas Bundaran

$$T_{LL} = \sum_{i=1} q_i \times T_{ri} / q \text{ masuk}$$

$$= 215.928 / 18.945,1$$

$$= 11,39$$

- Tundaan Bundaran

$$T = T_{LL} + T_G$$

$$= 11,39 + 4$$

$$= 15,39 \text{ det/smp}$$

**Peluang Antrian (Pa)**

Perhitungan Pa pada bundaran waru :

**Segmen 1**

$$Pa \text{ tinggi} = 26,65 \times DJ - 55,55 \times DJ^2 + 108,57 \times DJ^3$$

$$= 26,65 \times 0,89 - 55,55 \times 0,89^2 + 108,57 \times 0,89^3$$

$$= 56,25 \%$$

$$Pa \text{ rendah} = 9,41 \times DJ + 29,967 \times DJ^{4,619}$$

$$= 9,41 \times 0,89 + 29,967 \times 0,89^{4,619}$$

$$= 25,10 \%$$

**Segmen II**

$$Pa \text{ tinggi} = 26,65 \times DJ - 55,55 \times DJ^2 + 108,57 \times DJ^3$$

$$= 26,65 \times 0,88 - 55,55 \times 0,88^2 + 108,57 \times 0,88^3$$

$$= 54,42 \%$$

$$Pa \text{ rendah} = 9,41 \times DJ + 29,967 \times DJ^{4,619}$$

$$= 9,41 \times 0,88 + 29,967 \times 0,88^{4,619}$$

$$= 24,09 \%$$

**Segmen III**

$$Pa \text{ tinggi} = 26,65 \times DJ - 55,55 \times DJ^2 + 108,57 \times DJ^3$$

$$= 26,65 \times 0,94 - 55,55 \times 0,94^2 + 108,57 \times 0,94^3$$

$$= 66,14 \%$$

$$Pa \text{ rendah} = 9,41 \times DJ + 29,967 \times DJ^{4,619}$$

$$= 9,41 \times 0,94 + 29,967 \times 0,94^{4,619}$$

$$= 30,83 \%$$

**Kinerja Bagian Jalinan (Weaving Section)**

Dalam analisis kinerja bagian jalinan (*Weaving Section*) perlu beberapa perhitungan mulai dari Arus Jalinan (qw), Rasio Arus Jalinan (Pw), Kecepatan Tempuh, dan Waktu Tempuh pada bagian jalinan. Oleh karena itu pada perhitungan bagian jalinan ini menggunakan pedoman kapasitas jalan indonesia (PKJI) 2023 sebagai berikut:

**Arus Jalinan (q<sub>w</sub>)**

Arus jalinan di bundaran waru diperoleh dari data survei lalu lintas yang sudah diubah ke dalam satuan smp, datanya dipergunakan pada perhitungan ini yaitu data arus lalin pada jam puncak, yaitu pada hari senin 23 Juni 2025 pukul 17.00-18.00 WIB, dari data arus lalu lintas tersebut mendapatkan arus lalu lintas yang menjalin, data arus lalu lintas total dan data arus lalu lintas menjalin dapat dilihat di tabel dibawah: Data arus lalu lintas menjalin

| Segmen | PERGERAKAN | Bagian Jalinan |            |               |            |               |            |
|--------|------------|----------------|------------|---------------|------------|---------------|------------|
|        |            | Segmen 1       |            | Segmen 2      |            | Segmen 3      |            |
|        |            | Arus Menjalin  | Arus Total | Arus Menjalin | Arus Total | Arus Menjalin | Arus Total |
| 1      | LT         | 0              | 0          | 0             | 0          | 0             | 0          |
|        | ST         | 0              | 0          | 0             | 0          | 0             | 0          |
|        | RT         | 2055.1         | 0          | 2055.1        | 2055.1     | 0             | 0          |
|        | Total      | 0              | 6834.9     | 0             | 0          | 0             | 0          |
| 2      | LT         | 0              | 0          | 0             | 0          | 0             | 0          |
|        | ST         | 0              | 0          | 2550          | 0          | 2550          | 2550       |
|        | RT         | 0              | 0          | 0             | 0          | 0             | 0          |
|        | Total      | 0              | 0          | 0             | 6371.7     | 0             | 0          |
| 3      | LT         | 0              | 0          | 0             | 0          | 0             | 0          |
|        | ST         | 0              | 0          | 0             | 0          | 0             | 0          |
|        | RT         | 2295.5         | 0          | 0             | 0          | 2295.5        | 0          |
|        | Total      | 0              | 2295.5     | 0             | 0          | 0             | 5738.5     |
| TOTAL  |            | 4350.6         | 9130.4     | 4605.1        | 8426.8     | 4845.5        | 8288.5     |

Sumber : Hasil Analisa, 2025

**Rasio Arus Menjalin (Pw)**

Berikut adalah perhitungan rasio arus menjalin untuk setiap segmen di bundaran waru, sebagai berikut :

$$Segmen I = Q_w / Q_{TOTAL}$$

$$= 4.350,6 / 9.130,4$$

$$= 0,476 \text{ smp/jam}$$

$$Segmen II = Q_w / Q_{TOTAL}$$

$$= 4.605,1 / 8.426,8$$

$$= 0,546 \text{ smp/jam}$$

$$\text{Segmen III} = Q_W / Q_{\text{TOTAL}}$$

$$= 4.845,5 / 8.288,5$$

$$= 0,585 \text{ smp/jam}$$

**Kecepatan Tempuh Pada Bagian Jalinan (V<sub>T</sub>)**

Untuk dapat menghitung kecepatan tempuh pada bagian jalinan (V<sub>T</sub>) langkah sebelumnya menghitung kecepatan arus bebas awal (V<sub>O</sub>) sebagai berikut :

$$\text{Segmen 1} = V_O = 43 \times (1 - PW/3)$$

$$= 43 \times (1 - 0,476/3)$$

$$= 36,177 \text{ km/jam}$$

$$\text{Segmen 2} = V_O = 43 \times (1 - PW/3)$$

$$= 43 \times (1 - 0,546/3)$$

$$= 35,174 \text{ km/jam}$$

$$\text{Segmen 3} = V_O = 43 \times (1 - PW/3)$$

$$= 43 \times (1 - 0,585/3)$$

$$= 34,615 \text{ km/jam}$$

Setelah menghitung kecepatan arus bebas awal (V<sub>O</sub>) dapatlah menghitung kecepatan tempuh pada bagian jalinan (V<sub>T</sub>) sebagai berikut :

$$\text{Segmen 1} = V_T = V_O \times 0,5 \times (1 + (1 - D_j)^{0,5})$$

$$= 36,177 \times 0,5 \times (1 + (1 - 0,89)^{0,5})$$

$$= 24,877 \text{ km/jam}$$

$$\text{Segmen 2} = V_T = V_O \times 0,5 \times (1 + (1 - D_j)^{0,5})$$

$$= 35,175 \times 0,5 \times (1 + (1 - 0,88)^{0,5})$$

$$= 23,679 \text{ km/jam}$$

$$\text{Segmen 3} = V_T = V_O \times 0,5 \times (1 + (1 - D_j)^{0,5})$$

$$= 34,615 \times 0,5 \times (1 + (1 - 0,94)^{0,5})$$

$$= 21,546 \text{ km/jam}$$

Dari perhitungan diatas mendapatkan hasil bahwa waktu tempuh pada bagian jalinan di bundaran waru adalah untuk segmen 1 mendapatkan nilai 27,495 detik, dan untuk segmen 2 mendapatkan nilai 20,828 detik, dan sedangkan untuk segmen 3 mendapatkan nilai 25,626 detik, dan untuk rata-rata waktu tempuh pada bagian jalinan di bundaran waru bernilai 24,649 detik.

**Tingkat Pelayanan (Level of Service)**

Setelah melakukan berbagai perhitungan diatas mendapatkan parameter untuk tingkat pelayanan ruas jalan pendekat dan tingkat pelayanan bundaran waru sebagai berikut :

Tingkat Pelayanan Ruas Jalan Pendekat

| No | Ruas Jalan Pendekat        | Derajat Kejenuhan (DJ) | Level of Service (LOS) |
|----|----------------------------|------------------------|------------------------|
| 1  | Jl A.Yani (Surabaya)       | 0,44                   | A                      |
| 2  | Jl.Raya Waru (Sidoarjo)    | 0,66                   | B                      |
| 3  | Jl.Raya Geluran (Sidoarjo) | 0,69                   | B                      |

Sumber : Hasil Analisa, 2025

Berdasarkan tabel diatas mendapatkan hasil bahwa ruas jalan pendekat ke bundaran waru memiliki tingkat pelayanan rata-rata 0,59 yang masuk ke kategori B, yaitu Kondisi arus lalu lintas stabil, kecepatan arus lalu lintas mulai terganggu oleh kendaraan lainnya dan mulai dirasakan hambatan oleh kendaraan disekitarnya.

Tingkat Pelayanan Bundaran Waru

| No           | Bagian Jalinan | Derajat Kejenuhan (DJ) | Level of Service (LOS) |
|--------------|----------------|------------------------|------------------------|
| 1            | Segmen 1       | 0.89                   | D                      |
| 2            | Segmen 2       | 0.88                   | D                      |
| 3            | Segmen 3       | 0,94                   | E                      |
| DS Rata-Rata |                | 0.90                   | D                      |

Sumber : Hasil Analisa, 2025

Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa kinerja bundaran waru memiliki derajat kejenuhan rata-rata sebesar 0,90 yang dimana masuk ke tingkat pelayanan D yaitu, arus lalu lintas mulai jenuh dan memiliki antrean cukup panjang sehingga kecepatan juga semakin rendah.

**KESIMPULAN**

Berdasarkan pembahasan dan hasil dari penelitian ini maka dapat menarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Tingkat kemacetan di Bundaran Waru terjadi jam puncak pada jam 17.00-18.00 wib, dimana memiliki derajat kejenuhan rata-rata sebesar 0,90 yang masuk ke kategori kelas D, sedangkan untuk ruas jalan pendekat ke bundaran waru memiliki tingkat derajat kejenuhan rata-rata sebesar 0,59 yang mana masuk ke kategori kelas B. Hal ini menunjukkan bahwa kemacetan terjadi dibundarn waru dimana arus lalu lintas tergolong padat dan mendekati jenuh namun masih bisa beroperasi dengan kecepatan terbatas dan tundaan yang signifikan.
2. Karakteristik jalinan lalu lintas (weaving section) pada Bundaran Waru ini memiliki nilai tundaan rata-rata mencapai 15,39 det/smp dengan waktu tempuh rata-rata 24,65 detik, sehingga Level of Service (LOS) pada Bundaran Waru ini masuk kedalam kategori D hal ini menandakan bahwa arus lalu lintas masih dapat mengalir, namun sering terjadi perlambatan, antrian pendek hingga sedang, dan keterlambatan dalam manuver kendaraan di sekitar bundaran.
3. Identifikasikan beberapa alternatif yang berpotensi mengurangi kemacetan lalu lintas di Bundaran Waru mulai dari pelebaran lengan pada arus masuk jalinan atau pelebaran lebar jalinan untuk mendapatkan nilai kapasitas yang semakin besar sehingga nilai derajat kejenuhan semakin berkurang, selain itu alternatif yang dapat digunakan dalam mengurangi kemacetan adalah pembuatan marka memanjng yang dimana kendaraan yang belok kiri tidak masuk kedalam area jalinan arus lalu lintas utama sehingga konflik pada bagian jalinan dapat berkurang. Ataupun alternatif jangka panjang

yang dapat digunakan adalah pembangunan Underpass yang dapat memisahkan arus lalu lintas dominan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Negara Republik Indonesia. (2006). *PP RI NOMOR 34 TAHUN 2006*. 13(Ii), 166–173.
- Negara Republik Indonesia. (2009). *UU RI NO. 22 TAHUN 2009*. 19(19), 19.
- Pemerintah. (2011). Peraturan Pemerintah Nomor 38 Tahun 2011. *Jurnal Manusia Dan Lingkungan*, XI(2), 64–72.
- PP Nomor 30 Tahun 2021. (2021). Penyelenggaraan Bidang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan. *Jakarta: Departemen Perhubungan RI.*, 085113, 57.
- Al hafid, I., Gunawan Tarigan, & Hamidun Batubara. (2024). Analisa Kinerja Simpang Bundaran Bersinyal Pada Tugu Timbangan Lubuk Pakam – Deli Serdang. *Jurnal Aspirasi Teknik Sipil*, 2(1), 19–26. <https://doi.org/10.35438/aspal.v2i1.24>
- Direktorat Jenderal Bina Marga, S., Direktur di Direktorat Jenderal Bina Marga, P., Kepala Balai Besar, P., Pelaksanaan Jalan Nasional di Direktorat Jenderal Bina Marga, B., & Kepala Satuan Kerja di Direktorat Jenderal Bina Marga, P. (2023). *Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia*. 021, 7393938.
- Harahap, S., & Arifitriana, W. (2024). Analisa Kinerja Bundaran Menggunakan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (Mkji) (Studi Kasus: Bundaran Tugu Siborang Kota Padangsimpuan) Fitrah Siregar 1\* .. *Universitas Graha Nusantara Padangsimpuan Abstrak:*, 7, 24–37.
- Hermawan, D., Sulistiani, T., & Prayitno, A. (2023). Evaluasi Kinerja Bundaran Taman Dirgantara KabupatenMajalengka. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil STTC*, 01(01), <http://ejournal.sttcirebon.ac.id/Its>
- Raqib, O., Faisal, M. H., & Kamil, F. (2022). Evaluasi Kinerja dan Kelayakan Bundaran Kauman dengan Metode MKJI 1997. *Journal of Research and Inovation in Civil Engineering as Applied Science (RIGID)*, 1(1), 13–17.
- Saputro, Y. A., & Umam, K. (2021). Analisis Kinerja Bundaran Tugu Pancasila Jl. Diponegoro Kabupaten Jepara. *Jurnal Ilmiah Teknosains*, 7(2/Nov), 19–24.
- Setiawan, A. (2022). Proyeksi Kinerja Tundaan Pada Bundaran Monumen Selamat Datang, Jakarta. *Konstruksia*, 13(1), 128. <https://doi.org/10.24853/jk.13.1.128-136>
- Sumarda, Astariani, A. (2020). Analisis Kinerja Lalu Lintas Pada Bundaran Simpang Tol - Bandara Ngurah Rai Tuban, Bali. *Jurnal Teknik Gradiaen*, 9(1), 147–162.
- W.Anthony, J.M Ginting, & P. H. W. (2022). Penilaian Simpang Tak Bersinyal Bundaran Jalan Duyung dan Jalan Raja. *Jurnal Manajemen Teknologi Dan Teknik Sipil*. <https://doi.org/10.26760/rekaracana.v5i2.115.1>.