



TUGAS AKHIR (RC18-4803)

PERENCANAAN GERBANG TOL SEMARANG-DEMAK

FARIDA APRILLIA AKBAR S

NRP. 03111640000131

Dosen Pembimbing I:

Ir. Wahyu Herijanto M.T

Dosen Pembimbing II:

Anak Agung Gde K., ST. MSc

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2020



TUGAS AKHIR (RC18-4704)

**PERENCANAAN GERBANG TOL SEMARANG –
DEMAK**

FARIDA APRILLIA AKBAR S

NRP. 03111640000131

Dosen Pembimbing I:
Ir. Wahyu Herijanto M.T

Dosen Pembimbing II:
Anak Agung Gde K., ST. MSc

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL PROJECT (RC18-4704)

PLANNING OF SEMARANG-DEMAK TOLL GATE

FARIDA APRILLIA AKBAR S

NRP. 03111640000131

Academic Supervisor I:

Ir. Wahyu Herijanto M.T

Academic Supervisor II:

Anak Agung Gde K., ST. MSc

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT

Faculty of Civil Planning and Geo

Engineering

Sepuluh Nopember Institute of Technology

2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PERENCANAAN GERBANG TOL SEMARANG – DEMAK

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S1 Reguler Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

FARIDA APRILLIA AKBAR S
NRP. 03111640000131

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Ir. Wahyu Herijanto, MT. ()

2. Anak Agung Gde K. ST., MSc. ()



PERENCANAAN GERBANG TOL SEMARANG – DEMAK

Nama Mahasiswa : Farida Aprillia Akbar S
NRP : 03111640000131
Departemen : Teknik Sipil FTSPK-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Wahyu Herijanto M.T
Anak Agung Gde K., ST., MSc

ABSTRAK

Jalan tol merupakan jalan umum yang dilalui untuk kendaraan roda 4 atau lebih yang berfungsi sebagai jalan alternatif, pemakainya akan dikenakan kewajiban untuk membayar sesuai tarif yang telah ditetapkan oleh pengelola jalan tol tersebut. Jalan tol dibuat bertujuan untuk mempersingkat waktu tempuh perjalanan dari suatu tempat ke tempat lain. Oleh karena itu, jalan tol harus menyediakan arus yang bebas hambatan agar tujuan dari dibuatnya jalan tol dapat tercapai sebagaimana mestinya. Di dalam pelaksanaannya jalan tol seharusnya bebas hambatan, tetapi sering kali terjadi kemacetan. Salah satu faktor dari kemacetan adalah jumlah antrian di gerbang tol dan kurang seimbangannya gerbang tol yang dioperasikan dengan jumlah kendaraan yang masuk. Sehingga dibutuhkan jumlah gerbang tol yang dapat memaksimalkan fungsinya yang optimum. Perencanaan gerbang tol Semarang - Demak ini merencanakan jumlah gerbang tol beserta Lay - out gerbang tol pada tahun 2020 dan 2025.

Metode yang digunakan dalam perencanaan gerbang tol Semarang – Demak adalah First In First Out untuk disiplin antrian dan Single Channel – Single Phase sebagai struktur dasar dalam proses antrian dengan menggunakan 2 sistem gerbang tol Gardu Tol Otomatis (GTO) dan On Board Unit (OBU). Metode survei yang digunakan adalah menghitung durasi waktu pelayanan menggunakan alat pengukur waktu stopwatch.

Hasil dari perencanaan gerbang tol Semarang – Demak 2020 untuk arah masuk dan keluar gerbang Tol Semarang terdapat 3 Gardu Tol Khusus, 3 Gardu Tol Otomatis dan 1 On Board Unit.

Gerbang Tol Sayung terdapat 1 Gardu Tol Khusus, 3 Gardu Tol Otomatis dan 1 On Board Unit. Gerbang Tol Demak terdapat 4 Gardu Tol Khusus, 4 Gardu Tol Otomatis dan 1 On Board Unit. Pada Tahun 2025 untuk arah masuk dan keluar gerbang Semarang terdapat 3 Gardu Tol Khusus, 4 Gardu Tol Otomatis dan 1 On Board Unit. Gerbang Sayung terdapat 4 Gardu Tol Khusus, 4 Gardu Tol Otomatis dan 1 On Board Unit. Gerbang Demak terdapat 2 Gardu Tol Khusus, 3 Gardu Tol Otomatis dan 1 On Board Unit.

Kata Kunci: Perencanaan Gerbang Tol, Gerbang Tol Semarang - Demak, Gerbang Tol yang Optimum, Gardu Tol Otomatis (GTO) dan On Board Unit (OBU).

PLANNING OF SEMARANG – DEMAK TOLL GATE

Name : Farida Aprillia Akbar S
NRP : 03111640000131
Departement : Teknik Sipil FTSPK-ITS
Supervisor : Ir. Wahyu Herijanto M.T
Anak Agung Gde K., ST., MSc

ABSTRACT

Highway is a road that is used by vehicles with 2 axles or more as an alternative, driver will be given responsibilities to pay the fee that has been set by the toll gates owner. Highway is made to shorten travel time from place to place. Therefore, highway is supposed to provide obstacles free flow to reach the toll gates purpose. Highway is supposed to be freeway but traffic jam still happen frequently. One of the traffic jam factor is the unbalance of toll gates queue between the number of toll gates operating and the vehicles enter. Therefore, the optimum number of toll gates is needed to maximize highway function as a freeway. Planning of Semarang – Demak toll gate as the final project is planning the number of toll gates and the lay out in 2020 and 2025.

The method of planning Semarang-Demak toll gates is using First In-First Out (FIFO) method to discipline the queue and Single Chanel – Single Phase as the basic structures in queue process that use 2 toll gates system, automatic toll booth (GTO) system and On Board Unit (OBU) system. The survey method counts the service time duration by using stopwatch.

The results of Semarang-Demak toll gate planning in 2020 are 3 class I-type GTO, 3 GTO and 1 On Board Unit for entering and exiting from Semarang. 4 class I-type GTO, 4 GTO and 1 On Board Unit for entering and exiting from Sayung. 1 class I-type GTO, 3 GTO and 1 On Board Unit for entering and exiting from Demak. The results of Semarang-Demak toll gate planning in 2025 are 3 class I-type GTO, 4 GTO and 1 On Board Unit for entering and exiting from Semarang. 4 class I-type GTO, 4 GTO and 1 On Board

Unit for entering and exiting from Sayung. 2 class I-type GTO, 3 GTO and 1 On Board Unit for entering and exiting from Demak.

Key Word: Toll gate planning, Semarang – Demak Toll Gate, optimum number of toll gates and automatic toll both and on board unit.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan berkah-Nya. Penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Perencanaan Gerbang Tol Semarang - Demak” dengan baik

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa berkat rahmat dan karunianya dalam menyertai proses pengerjaan tugas akhir.
2. Orang tua dan keluarga yang selalu mendukung dan mendoakan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. Bapak Ir. Wahyu Herijanto, MT. dan Bapak Anak Agung Gde K., ST., MSc selaku Dosen pembimbing dan yang telah membagikan ilmunya kepada saya
4. Teman-teman Departemen Teknik Sipil yang memberikan motivasi dan bantuan selama proses penyusunan tugas akhir ini.

Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis menyadari bahwa tugas akhir yang dibuat masih sangat jauh dari kesempurnaan. Dengan rasa hormat penulis memohon kritik dan terhadap tugas akhir ini. Sehingga kedepannya, penulis lebih baik lagi dalam penyusunan.

Surabaya, 10 Agustus 2020

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	vii
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Permasalahan	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Permasalahan.....	2
1.5 Manfaat	3
1.6 Denah Lokasi.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Umum	5
2.2 Pengertian, Tujuan dan Manfaat Jalan Tol	5
2.2.1 Persyaratan Jalan Tol	6
2.3 Jenis Kendaraan pada Jalan Tol.....	7
(Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum).....	7
2.4 Perencanaan Gerbang Tol.....	8
2.3.1 Kriteria Umum	8
2.3.2 Jumlah Kebutuhan Gardu Tol.....	8

2.4 Perencanaan Pelataran Tol Menurut Standar Konstruksi dan Bangunan No. 007/BM/2009 Geometri Jalan Bebas Hambatan Untuk Jalan Tol	10
2.5 Teori Antrian.....	12
2.5.1 Sistem Antrian.....	12
2.5.1.1 Populasi dan Cara Kedatangan Pelanggan	12
2.5.1.2 Sistem Pelayanan Antrian	15
2.6 Sistem Antrian Gerbang Tol	18
2.7 Model Sebaran Pergerakan	20
2.8 Sistem Pembayaran Pada Gerbang Tol.....	21
2.8.1 Sistem Pembayaran Gardu Tol Otomatis (GTO).....	21
2.8.2 Sistem Pembayaran <i>On Board</i> (OBU)	22
2.9 Studi Terdahulu.....	23
A. Tugas Akhir “Perencanaan Gerbang Tol Batang – Semarang” Oleh Andri Danu Saputra.....	23
B. “Evaluasi Kapasitas dan Waktu Pelayanan pada Gerbang Tol Nusa Dua, Badung – Bali” Oleh Kadek Adi Suryawan, I M Suardana Kader, I N Sedana Triadi dan I W Sudiasa.	24
BAB III METODOLOGI.....	25
3.1 Umum.....	25
3.2 Langkah Penulisan	25
3.2.1 Identifikasi Masalah.....	25

3.2.2 Studi Literatur	25
3.2.3 Survei dan Pengumpulan Data.....	26
3.2.4 Rekapitulasi dan Analisis Data	26
3.2.5 Pembahasan	27
3.2.6 Kesimpulan dan Saran	31
3.3 Lokasi Survei	31
3.4 Alat yang digunakan untuk Pengambilan Data.....	32
3.5 Bagan Aliran (<i>Flow Chart</i>).....	34
BAB IV DATA PERENCANAAN	37
4.1 Umum	37
4.2 Data Sekunder.....	37
4.3 Data Primer.....	38
4.3.1 Waktu Pelayanan	38
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN	55
5.1 Analisis Data Lalu Lintas	55
5.1.1 Analisis Volume Kendaraan	55
5.1.2 Matriks Asal Tujuan.....	56
5.2 Analisis Tingkat Kedatangan (λ)	63
5.3 Analisis Waktu Pelayanan	69
5.4 Analisis Tingkat Pelayanan (μ)	80
5.5 Analisis Intensitas Lalu Lintas Tahun 2020	82
5.6 Analisis Intensitas Gerbang Tol.....	83
5.7 Analisis Antrian pada Gerbang Tol Tahun 2020 ...	89

5.8 Perencanaan Gerbang Tol Semarang Demak Tahun 2025.....	94
5.8.1 Analisis Tingkat Kedatangan (λ).....	101
5.8.2 Analisis Waktu Pelayanan.....	107
5.8.3 Analisis Tingkat Pelayanan (μ).....	118
5.8.4 Analisis Intensitas Lalu Lintas Tahun 2020..	120
5.8.5 Analisis Intensitas Gerbang Tol	121
5.8.6 Analisis Antrian pada Gerbang Tol Tahun 2025.....	127
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	135
6.1 Kesimpulan	135
6.2 Saran.....	137
DAFTAR PUSTAKA	139
LAMPIRAN 1: MATRIKS ASAL TUJUAN.....	140
LAMPIRAN 2: ARUS JAM PUNCAK KENDARAAN	177
LAMPIRAN 3: DISTRIBUSI KENDARAAN KE GERBANG TOL.....	181
BIODATA PENULIS	231

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Trase Jalan Tol Semarang - Demak.....	4
Gambar 2.1 Pelataran Gerbang Tol Barrier.....	11
Gambar 2.2 Pelataran Gerbang Tol Ramp	11
Gambar 2.3 Ruang Bebas pada Gerbang Tol.....	11
Gambar 2.4 Struktur Antrian Single Channel – Single Phase.....	17
Gambar 2.5 Struktur Antrian Single Channel – Multi Phase	17
Gambar 2.6 Struktur Antrian Multi Channel – Single Phase	18
Gambar 2.7 Sistem Pembayaran Gardu Tol Otomatis (GTO).....	22
Gambar 2.8 Sistem Pembayaran Gardu Tol On Board Unit (OBU)	23
Gambar 3. 1 Bagan Diagram Alir (Flow Chart).....	34
Gambar 5.1 Grafik Frekuensi dan Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis golongan I.....	70
Gambar 5.2 Grafik Frekuensi dan Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis golongan II	72
Gambar 5.3 Grafik Frekuensi dan Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis golongan III.....	74
Gambar 5.4 Grafik Frekuensi dan Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis golongan IV	76
Gambar 5.5 Grafik Frekuensi dan Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis golongan V	78
Gambar 5.6 Grafik Frekuensi dan Waktu Pelayanan On Board Unit	79
Gambar 5.7 Grafik Frekuensi dan Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis golongan I.....	108
Gambar 5.8 Grafik Frekuensi dan Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis golongan II	110
Gambar 5.9 Grafik Frekuensi dan Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis golongan III.....	112
Gambar 5.10 Grafik Frekuensi dan Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis golongan IV.....	114
Gambar 5.11 Grafik Frekuensi dan Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis golongan V	116

Gambar 5.12 Grafik Frekuensi dan Waktu Pelayanan On Board
Unit 117

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Golongan Jenis Kendaraan Bermotor pada Jalan Tol yang Sudah Beroperasi	7
Tabel 4. 1 Volume Lalu Lintas Jalan Tol Rencana 2020	37
Tabel 4. 2 Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis Gol 1	39
Tabel 4. 3 Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis Gol 1 (lanjutan)	40
Tabel 4. 4 Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis Gol 1 (lanjutan)	41
Tabel 4. 5 Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis Gol 2	42
Tabel 4. 6 Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis Gol 2 (lanjutan)	43
Tabel 4. 7 Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis Gol 2 (lanjutan)	44
Tabel 4. 8 Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis Gol 3	45
Tabel 4. 9 Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis Gol 3 (lanjutan)	46
Tabel 4. 10 Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis Gol 4	47
Tabel 4. 11 Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis Gol 4 (lanjutan)	48
Tabel 4. 12 Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis Gol 4 (lanjutan)	49
Tabel 4. 13 Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis Gol 5	49
Tabel 4. 14 Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis Gol 5 (lanjutan)	50
Tabel 4. 15 Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis Gol 5 (lanjutan)	51
Tabel 4.16 Waktu Pelayanan Gerbang Tol On Board Unit (OBU)	52
Tabel 4.17 Waktu Pelayanan Gerbang Tol On Board Unit (OBU) (lanjutan)	53

Tabel 4. 18 Waktu Pelayanan Gerbang Tol On Board Unit (OBU) (lanjutan).....	54
Tabel 5.1 Volume Lalu Lintas Jalan Tol Semarang-Demak dua arah.....	56
Tabel 5.2 Perhitungan Matriks Asal Tujuan kendaraan pada golongan 1.....	57
Tabel 5.3 Perhitungan Matriks Asal Tujuan kendaraan pada golongan 1.....	58
Tabel 5.4 Perhitungan Matriks Asal Tujuan kendaraan pada golongan 1.....	58
Tabel 5.5 Perhitungan Matriks Asal Tujuan kendaraan pada golongan 1.....	58
Tabel 5.6 Perhitungan Matriks Asal Tujuan kendaraan pada golongan 1.....	59
Tabel 5.7 Perhitungan Matriks Asal Tujuan kendaraan pada golongan 1.....	59
Tabel 5.8 Perhitungan Matriks Asal Tujuan kendaraan pada golongan 1.....	59
Tabel 5.9 Perhitungan Matriks Asal Tujuan kendaraan pada golongan 1.....	60
Tabel 5.10 Perhitungan Matriks Asal Tujuan kendaraan pada golongan 1 iterasi ke-74.....	60
Tabel 5.11 Hasil Matriks Asal Tujuan kendaraan pada golongan 1.....	60
Tabel 5.12 Perhitungan Sum of square.....	61
Tabel 5.13 Hasil Matriks asal tujuan kendaraan golongan 2.....	61
Tabel 5.14 Perhitungan sum of error pada golongan 2.....	62
Tabel 5.15 Hasil Matriks asal tujuan kendaraan golongan 3.....	62
Tabel 5.16 Perhitungan sum of error pada golongan 3.....	62
Tabel 5.17 Hasil Matriks asal tujuan kendaraan golongan 4.....	62
Tabel 5.18 Perhitungan sum of error pada golongan 4.....	63
Tabel 5.19 Hasil Matriks asal tujuan kendaraan golongan 5.....	63
Tabel 5.20 Perhitungan sum of error pada golongan 5.....	63

Tabel 5.21 Anggapan umum untuk perancangan tipikal JBH4/2 dan JBH6/2 yang ideal	64
Tabel 5. 22 Matriks Asal Tujuan Arus Jam Puncak Kendaraan Golongan 1	65
Tabel 5.23 Matriks Asal Tujuan Arus Jam Puncak Kendaraan Golongan 2	65
Tabel 5.24 Matriks Asal Tujuan Arus Jam Puncak Kendaraan Golongan 3	66
Tabel 5.25 Matriks Asal Tujuan Arus Jam Puncak Kendaraan Golongan 4	66
Tabel 5.26 Matriks Asal Tujuan Arus Jam Puncak Kendaraan Golongan 5	66
Tabel 5.27 Distribusi kendaraan keluar masuk gerbang tol golongan 1	67
Tabel 5.28 Jumlah Kendaraan Masuk Tiap Gerbang	68
Tabel 5.29 Jumlah Kendaraan Keluar Tiap Gerbang	68
Tabel 5.30 Frekuensi Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis Golongan I.....	69
Tabel 5.31 Frekuensi Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis Golongan 2	71
Tabel 5.32 Frekuensi Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis Golongan 3	73
Tabel 5.33 Frekuensi Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis Golongan 4	75
Tabel 5.34 Frekuensi Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis Golongan 5	77
Tabel 5.35 Frekuensi Waktu Pelayanan On Board Unit (OBU) ...	79
Tabel 5.36 Tingkat Pelayanan Gerbang Tol Semarang – Demak Tahun 2025.....	81
Tabel 5.37 Tingkat Pelayanan Gerbang Tol Semarang – Demak Tahun 2025 (lanjutan)	82
Tabel 5.38 Jumlah Rencana Gardu Tol Tiap Gerbang Tahun 2020.....	82

Tabel 5.39 Jumlah Rencana Gardu Tol Tiap Gerbang Tahun 2020 (Lanjutan)	83
Tabel 5.40 Kendaraan Masuk Gerbang Tol Semarang	84
Tabel 5.41 Waktu Pelayanan Gerbang Tol Semarang	84
Tabel 5.42 Kendaraan Keluar Gerbang Tol Semarang	86
Tabel 5.43 Waktu Pelayanan Gerbang Tol Semarang	86
Tabel 5.44 Intensitas Lalu Lintas Gerbang Tol Semarang – Demak Tahun 2020	88
Tabel 5.45 Hasil analisis antrisin gerbang tol Semarang-Demak tahun 2020	92
Tabel 5.46 Hasil analisis antrian gerbang tol Semarang-Demak tahun 2020 (lanjutan)	93
Tabel 5.47 Volume Lalu Lintas Jalan Tol Semarang-Demak satu arah	95
Tabel 5.48 Volume Lalu Lintas Jalan Tol Semarang-Demak satu arah	95
Tabel 5.49 Perhitungan Matriks Asal Tujuan kendaraan pada golongan 1	95
Tabel 5.50 Perhitungan Matriks Asal Tujuan kendaraan pada golongan 1	96
Tabel 5.51 Perhitungan Matriks Asal Tujuan kendaraan pada golongan 1	96
Tabel 5.52 Perhitungan Matriks Asal Tujuan kendaraan pada golongan 1	96
Tabel 5.53 Perhitungan Matriks Asal Tujuan kendaraan pada golongan 1	97
Tabel 5.54 Perhitungan Matriks Asal Tujuan kendaraan pada golongan 1	97
Tabel 5.55 Perhitungan Matriks Asal Tujuan kendaraan pada golongan 1	97
Tabel 5.56 Perhitungan Matriks Asal Tujuan kendaraan pada golongan 1	98

Tabel 5.57 Perhitungan Matriks Asal Tujuan kendaraan pada golongan 1 iterasi ke-74	98
Tabel 5.58 Hasil Matriks Asal Tujuan kendaraan pada golongan 1	98
Tabel 5.59 Perhitungan Sum of square	99
Tabel 5.60 Hasil Matriks asal tujuan kendaraan golongan 2.....	99
Tabel 5.61 Perhitungan sum of error pada golongan 2.....	100
Tabel 5.62 Hasil Matriks asal tujuan kendaraan golongan 3.....	100
Tabel 5.63 Perhitungan sum of error pada golongan 3.....	100
Tabel 5.64 Hasil Matriks asal tujuan kendaraan golongan 4.....	100
Tabel 5.65 Perhitungan sum of error pada golongan 4.....	101
Tabel 5.66 Hasil Matriks asal tujuan kendaraan golongan 5.....	101
Tabel 5.67 Perhitungan sum of error pada golongan 5.....	101
Tabel 5.68 Anggapan umum untuk perancangan tipikal JBH4/2 dan JBH6/2.....	102
Tabel 5.69 Matriks Asal Tujuan Arus Jam Puncak Kendaraan Golongan 1	103
Tabel 5.70 Matriks Asal Tujuan Arus Jam Puncak Kendaraan Golongan 2	103
Tabel 5.71 Matriks Asal Tujuan Arus Jam Puncak Kendaraan Golongan 3	104
Tabel 5.72 Matriks Asal Tujuan Arus Jam Puncak Kendaraan Golongan 4	104
Tabel 5.73 Matriks Asal Tujuan Arus Jam Puncak Kendaraan Golongan 5	104
Tabel 5.74 Distribusi kendaraan keluar masuk gerbang tol golongan 1	105
Tabel 5.75 Jumlah Kendaraan Masuk Tiap Gerbang	106
Tabel 5.76 Jumlah Kendaraan Keluar Tiap Gerbang	106
Tabel 5.77 Frekuensi Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis Golongan 1	107
Tabel 5.78 Frekuensi Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis Golongan 2	109

Tabel 5.79 Frekuensi Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis Golongan 3	111
Tabel 5.80 Frekuensi Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis Golongan 4	113
Tabel 5.81 Frekuensi Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis Golongan 5	115
Tabel 5.82 Frekuensi Waktu Pelayanan On Board Unit (OBU) .	117
Tabel 5.83 Tingkat Pelayanan Gerbang Tol Semarang – Demak Tahun 2025	119
Tabel 5.84 Tingkat Pelayanan Gerbang Tol Semarang – Demak Tahun 2025 (lanjutan)	120
Tabel 5.85 Jumlah Rencana Gardu Tol Tiap Gerbang Tahun 2025	120
Tabel 5. 86 Jumlah Rencana Gardu Tol Tiap Gerbang Tahun 2025 (Lanjutan)	121
Tabel 5. 87 Kendaraan Masuk Gerbang Tol Semarang.....	122
Tabel 5. 88 Waktu Pelayanan Gerbang Tol Semarang	122
Tabel 5. 89 Kendaraan Keluar Gerbang Tol Semarang.....	124
Tabel 5. 90 Waktu Pelayanan Gerbang Tol Semarang	124
Tabel 5. 91 Intensitas Lalu Lintas Gerbang Tol Semarang – Demak Tahun 2025	126
Tabel 5. 92 Hasil analisis antrish gerbang tol Semarang-Demak Tahun 2025	130
Tabel 5. 93 Hasil analisis antrish gerbang tol Semarang-Demak Tahun 2025 (lanjutan)	132

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kota Semarang adalah ibukota Provinsi Jawa Tengah, Indonesia sekaligus kota metropolitan terbesar urutan kelima di Indonesia setelah Jakarta, Surabaya, Medan dan Bandung dengan luas wilayah sebesar 373,7 km² (Semarang, 2001). Bahkan Kota Semarang ini menjadi penyangga utama pertumbuhan ekonomi di Jawa Tengah. Masuknya investasi membuat Kota Semarang semakin padat kendaraan yang mengakibatkan kemacetan lalu lintas. Oleh sebab itu, diperlukannya fasilitas transportasi seperti jalan tol yang dapat mencegah terjadinya kemacetan lalu lintas.

Jalan tol merupakan jalan umum yang dilalui untuk kendaraan roda 4 atau lebih yang berfungsi sebagai jalan alternatif pemakainya akan dikenakan kewajiban untuk membayar sesuai tarif yang telah ditetapkan oleh pengelola jalan tol tersebut. Jalan tol dibuat bertujuan untuk mempersingkat waktu tempuh perjalanan dari suatu tempat ke tempat lain. Oleh karena itu, jalan tol harus menyediakan arus yang bebas hambatan agar tujuan dari dibuatnya jalan tol dapat tercapai sebagaimana mestinya.

Jalan bebas hambatan sering kali terjadi kemacetan yang disebabkan oleh panjangnya antrian kendaraan di gerbang tol karena tidak seimbang volume kendaraan yang masuk dan banyaknya gerbang tol yang beroperasi. Melihat fungsi dan tujuan dari jalan tol yang mempersingkat waktu untuk perpindahan barang dan jasa sehingga dapat meningkatkan perekonomian suatu daerah.

Mengingat akan adanya program pembangunan tol Trans Jawa, salah satu bagian dari program tol Trans Jawa tersebut adalah pembangunan jalan tol Semarang – Demak. Untuk mewujudkan pembangunan tol Trans Jawa, khususnya jalan tol Semarang – Demak, dibutuhkan perencanaan yang matang serta efektif dan efisien seperti perencanaan gerbang tol Semarang – Demak.

Dengan adanya jalan tol Semarang – Demak akan meningkatkan aksesibilitas lalu lintas kawasan Semarang, Demak dan sekitarnya.

1.2 Rumusan Permasalahan

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dipaparkan di atas, permasalahan yang akan dibahas adalah:

1. Berapa jumlah gardu yang dibutuhkan untuk menampung volume kendaraan rencana apabila gerbang tol dengan menggunakan sistem Gardu Tol Otomatis (GTO) dan *On Board Unit* (OBU)?
2. Bagaimana *Lay – out* gerbang tol pada tahun 2020?
3. Berapa jumlah gardu yang dibutuhkan untuk menampung volume kendaraan rencana apabila gerbang tol dengan menggunakan sistem Gardu Tol Otomatis (GTO) dan *On Board Unit* (OBU) untuk 5 tahun kedepan?
4. Bagaimana *Lay – out* gerbang tol pada tahun 2025?

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam penyusunan tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui jumlah gardu yang dibutuhkan untuk menampung volume kendaraan rencana apabila gerbang tol dengan menggunakan sistem Gardu Tol Otomatis (GTO) dan *On Board Unit* (OBU).
2. Mengetahui *Lay – out* gerbang tol pada tahun 2020.
3. Mengetahui jumlah gardu yang dibutuhkan untuk menampung volume kendaraan rencana apabila gerbang tol dengan menggunakan sistem Gardu Tol Otomatis (GTO) dan *On Board Unit* (OBU) 5 tahun kedepan.
4. Mengetahui *Lay – out* gerbang tol pada tahun 2025.

1.4 Batasan Permasalahan

Agar dalam tugas akhir ini dapat terarah dan mempunyai ruang lingkup yang jelas sehingga tidak menimbulkan kesalahpahaman, serta mempermudah dalam memahami masalah yang akan dibahas,

maka perlu adanya suatu batasan masalah. Adapun batasan masalah tersebut adalah:

- a. Kendaraan yang ditinjau hanya kendaraan roda 4 atau lebih.
- b. Tidak memperhitungkan dari segi ekonomi maupun segi finansial.
- c. Tidak memperhitungkan geometri jalan tol.
- d. Tidak memperhitungkan perilaku pengendara.
- e. Tidak memperhatikan kerusakan pintu.
- f. Tidak memperhatikan cuaca.
- g. Tidak memperhitungkan tamu khusus.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari tugas akhir ini adalah:

1. Memberikan gambaran menentukan jumlah gardu yang dibutuhkan untuk menampung volume kendaraan rencana untuk jalan tol.
2. Sebagai referensi untuk mahasiswa, PT. Jasa Marga, Pemerintah dan pihak lain yang berencana melakukan perencanaan gerbang tol di kemudian hari.

1.6 Denah Lokasi

Lokasi yang ditinjau dalam tugas akhir ini terletak di jalan tol Semarang - Demak. Pada trase jalan tol Semarang – Demak yang akan dibangun terdapat 3 (tiga) buah alternatif *interchange* yaitu:

- a. *Interchange* Kali Gawe
- b. *Interchange* Sayung
- c. *Interchange* Demak

Berikut rencana trase jalan tol Semarang – Demak yang dapat dilihat pada Gambar 1.1:



Gambar 1. 1 Trase Jalan Tol Semarang - Demak.

Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat

Keterangan:

- : *Interchange* Kali Gawe (Simpang Susun Kali Gawe)
- : *Interchange* Sayung (Simpang Susun Sayung)
- : *Interchange* Demak (Simpang Susun Demak)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Tinjauan pustaka di dalamnya meliputi uraian sistematis tentang informasi hal-hal penelitian yang pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya yang relevan untuk membantu dalam penulisan tugas akhir ini. Tinjauan pustaka bertujuan untuk merangkum pengetahuan yang berkata dengan penelitian.

2.2 Pengertian, Tujuan dan Manfaat Jalan Tol

Menurut Undang-Undang Republik Indonesia nomor 38 tahun 2004 Pasal 1 ayat 7, pengertian dari jalan tol adalah “jalan umum yang merupakan bagian sistem jaringan jalan dan sebagai jalan nasional yang penggunaannya diwajibkan membayar tol”. Pada Pasal 1 poin 8, Tol adalah sejumlah uang tertentu yang dibayarkan untuk penggunaan jalan tol.

Tujuan jalan tol menurut Badan Pengatur Jalan Tol Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (BPJT) adalah:

1. Memperlancar lalu lintas di daerah yang telah berkembang.
2. Meningkatkan pelayanan distribusi barang dan jasa guna menunjang pertumbuhan ekonomi
3. Meningkatkan pemerataan hasil pembangunan dan keadilan.
4. Meringankan beban dan Pemerintah melalui partisipasi pengguna jalan.

Manfaat jalan tol menurut Badan Pengatur Jalan Tol Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (BPJT) adalah:

1. Pembangunan jalan tol akan berpengaruh pada perkembangan wilayah dan peningkatan ekonomi.
2. Meningkatkan mobilitas dan aksesibilitas orang dan barang.
3. Pengguna jalan tol akan mendapatkan keuntungan berupa penghematan biaya operasi kendaraan (BOK) dan waktu dibanding apabila melewati jalan non tol.

4. Badan usaha mendapatkan pengembalian investasi melalui pendapatan tol yang tergantung kepastian tarif tol.

2.2.1 Persyaratan Jalan Tol

Dalam perencanaan sudah semestinya dibutuhkan persyaratan yang dapat mendukung kebermanfaatan dan pelaksanaannya. Menurut Undang-Undang Republik Indonesia nomor 15 tahun 2005 tentang jalan tol pada pasal 6 jalan tol harus mempunyai spesifikasi:

1. Tidak ada persimpangan sebidang dengan ruas jalan lain atau dengan prasarana transportasi lainnya;
2. Jumlah jalan masuk dan jalan keluar ke dan dari jalan tol dibatasi secara efisien dan semua jalan masuk dan jalan keluar harus terkendali secara penuh;
3. Jarak antar-simpang susun, paling rendah 5 (lima) kilometer untuk jalan tol luar perkotaan dan paling rendah 2 (dua) kilometer untuk jalan tol dalam perkotaan;
4. Jumlah lajur sekurag-kurangnya dua lajur perarah;
5. Menggunakan pemisah tengah atau median; dan
6. Lebar bahu sebelah luar harus dapat dipergunakan sebagai jalur lalu-linyas sementara dalam keadaan darurat.

Menurut Undang-Undang Republik Indonesia nomor 15 tahun 2005 tentang jalan tol pasal 5 jalan tol mempunyai syarat teknis seperti berikut:

1. Jalan tol mempunyai tingkat pelayanan keamanan dan kenyamanan yang lebih tinggi dari jalan umum yang ada dan dapat melayani arus lalu lintas jarak jauh dengan mobilitas tinggi.
2. Jalan tol yang digunakan untuk lalu lintas antar kota didesain berdasarkan kecepatan rencana paling rendah 80 (delapan puluh) kilometer per jam, dan untuk jalan tol di wilayah perkotaan didesain dengan kecepatan rencana paling rendah 60 (enam puluh) kilometer per jam.
3. Jalan tol didesain untuk mampu menahan muatan sumbu terberat (MST) paling rendah 8 (delapan) ton.

4. Setiap ruas jalan tol harus dilakukan pemagararan, dan dilengkapi dengan fasilitas penyeberangan jalan dalam bentuk jembatan atau terowongan.
5. Pada tempat-tempat yang dapat membahayakan pengguna jalan tol, harus diberi bangunan pengaman yang mempunyai kekuatan dan struktur yang dapat menyerap energi benturan kendaraan.
6. Setiap jalan tol wajib dilengkapi dengan aturan perintah dan larangan yang dinyatakan dengan rambu lalu lintas, marka jalan, dan/atau alat pemberi isyarat lalu lintas.
7. Ketentuan sebagaimana dimaksud pada ayat (6) dilaksanakan berdasarkan ketentuan peraturan lalu lintas dan angkutan jalan.
8. Ketentuan persyaratan teknik sebagaimana dimaksud pada ayat (1), ayat (2), ayat (3), ayat (4), dan ayat (5) diatur lebih lanjut peraturan Menteri.

2.3 Jenis Kendaraan pada Jalan Tol

Beberapa jenis kendaraan yang diperbolehkan memasuki jalan tol menurut Keputusan Menteri Pekerjaan Umum No 370/KPTS/M/2007 terdapat pada Tabel 2.1:

Tabel 2. 1 Golongan Jenis Kendaraan Bermotor pada Jalan Tol yang Sudah Beroperasi

Golongan	Jenis Kendaraan
Golongan I	Sedan, Pick Up/Truk Kecil dan bus
Golongan II	Truk dengan 2 (dua) gandar
Golongan III	Truk dengan 3 (tiga) gandar
Golongan IV	Truk dengan 4 (empat) gandar
Golongan V	Truk dengan 5 (lima)

(Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum)

2.4 Perencanaan Gerbang Tol

2.3.1 Kriteria Umum

Menurut Standar Konstruksi dan Bangunan Nomor 007/BM/2009 tentang Geometri Jalan Bebas Hambatan Untuk Jalan Tol Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga poin 8.3.1 mengenai kriteria umum gerbang tol yang harus direncanakan sebagai berikut:

1. Bentuk konstruksi atap dan tinggi minimum gerbang tol dibuat sedemikian rupa sehingga mempunyai ruang bebas pada lajur lalu lintas dengan tinggi minimum 5,10 m.
2. Lebar atap gerbang tol minimum 13 m dan bentuk listplanknya dibuat sedemikian sehingga memungkinkan pemasangan lampu lalu lintas ataupun lane indicator. Penempatan kolom gerbang harus sedemikian rupa sehingga tidak mengganggu pandangan bebas pengumpul tol ke arah datangnya kendaraan dan kebutuhan akan ruang gerak memadai bagi karyawan gerbang dalam melaksanakan tugasnya di gerbang tol.
3. Untuk gerbang tol dengan jumlah lajur lebih dari 10 lajur (9 pulau tol) diharuskan dilengkapi dengan terowongan penghubung antar gardu dan ke kantor gerbang untuk keselamatan dan keamanan pengumpul tol yang sekaligus menampung utilitas.
4. Penempatan lampu pada atap gerbang agar dibuat sedemikian hingga tidak menyilaukan pengumpul tol untuk melihat kendaraan yang datang serta tidak mengganggu fungsi lane indicator.

2.3.2 Jumlah Kebutuhan Gardu Tol

Dalam menentukan faktor jumlah kebutuhan gardu tol terdapat pada Standar Konstruksi dan Bangunan No 007/BM/2009 tentang Geometri Jalan Bebas Hambatan Untuk Jalan Tol Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga poin 8.3.4 sebagai berikut:

1. Volume lalu lintas
2. Waktu pelayanan di gardu tol

3. Standar pelayanan (jumlah antrian kendaraan yang diperkenankan)

Volume lalu lintas diukur berdasarkan jumlah kendaraan yang melewati titik tertentu selama selang waktu tertentu. Berdasarkan Teknik Jalan Raya Jilid I, Erlangga, Jakarta (1990) dalam (Pamuji & Widyastuti, 2019) dalam beberapa hal, lalu-lintas dinyatakan dengan “Lalu-lintas Harian Rata-rata per Tahun” yang disebut AADT (*average annual daily traffic*) atau Lalu-lintas Harian Rata-rata per Tahun (LHR) bila periode pengamatannya kurang dari satu tahun.

Waktu pelayanan adalah waktu yang diberikan dalam melayani jasa dengan waktu yang cepat dan tepat agar penerima jasa merasa puas. Waktu pelayanan dipengaruhi oleh kemampuan peralatan tol maupun keterampilan dan kesiapan petugas tol dan pemakai jalan. Besarnya waktu pelayanan tersebut sebagai berikut:

- | | |
|--------------------------------|------------------|
| 1. Gerbang tol sistem terbuka: | Maksimal 6 detik |
| setiap kendaraan | |
| 2. Gerbang tol sistem tertutup | |
| a. Gardu masuk: | Maksimal 5 detik |
| setiap kendaraan | |
| b. Gardu keluar: | Maksimal 9 detik |
| setiap kendaraan | |
| 3. Gardu tol otomatis | |
| a. Gardu tol ambil kartu: | Maksimal 4 detik |
| setiap kendaraan | |
| b. Gardu tol transaksi: | Maksimal 5 detik |
| setiap kendaraan | |

(Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 16/PRT/M/2014 tentang Standar Pelayanan Minimal Jalan Tol).

Standar pelayanan minimum (jumlah antrian kendaraan yang diperkenankan) menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 16/PRT/M/2014 tentang Standar Pelayanan Minimal Jalan Tol maksimal 10 kendaraan

per Gardu dalam kondisi normal. Menurut BPJT kapasitas gardu tol < 450 kendaraan per jam per Gardu (bpjt.pu.go.id, 2016). Kapasitas gerbang tol adalah nilai maksimum dari jumlah kendaraan yang memasuki suatu gerbang tol dalam waktu tertentu.

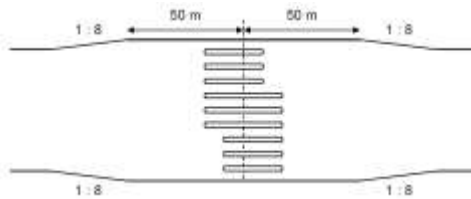
2.4 Perencanaan Pelataran Tol Menurut Standar Konstruksi dan Bangunan No. 007/BM/2009 Geometri Jalan Bebas Hambatan Untuk Jalan Tol

Berdasarkan Standar Konstruksi dan Bangunan No. 007/BM/2009 Geometri Jalan Bebas Hambatan Untuk Jalan Tol dalam merencanakan layout gerbang tol ada beberapa hal yang perlu diperhatikan.

Lebar lajur lalu lintas pada gerbang tol 2,90 m dan lebar pulau tol (toll island) 2,10 m. Untuk dapat melayani sesuatu yang bersifat khusus, seperti misalnya angkutan dengan kendaraan khusus yang ekstra lebar maka pada lajur paling luar (kiri) dibuat dengan minimal lebar 3,50 m, Kemiringan melintang permukaan perkerasan pada pelataran tol minimum 1,0% dan maksimum 2,0% sedangkan untuk permukaan perkerasan pelataran tol pada barrier, kemiringan melintang permukaan perkerasannya dibuat minimum sebesar 0,5%, dengan ketentuan sumbu gerbang tol berada pada puncak lengkung vertikal dengan landau memanjang jalan +2% dan -2%.

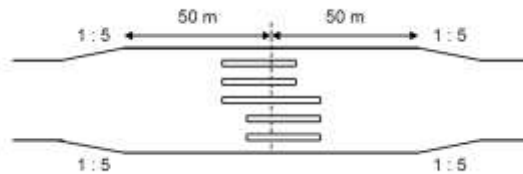
Untuk pelebaran jalur pada pelataran tol harus dibuat dengan panjang transisi yang cukup, sehingga memungkinkan manuver atau weaving lalu lintas dari jalur normal ke arah lajur tol/gardu yang akan dituju dan/atau sebaliknya (Marga, 2009).

Pada pelataran tol barrier, pelebaran jalur harus dibuat dengan kemiringan taper maksimum pelataran 1:8, dan kemiringan taper maksimum pelataran tol pada ramp atau jalan akses 1:5 yang dapat dilihat di gambar 2.1 dan 2.2 dibawah ini



Gambar 2.1 Pelataran Gerbang Tol Barrier

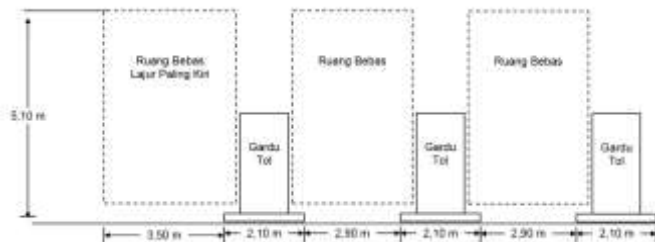
(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga)



Gambar 2.2 Pelataran Gerbang Tol Ramp

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga)

Pada kondisi-kondisi khusus tertentu dimana ketersediaan lahan menjadi penentu atau jumlah lajur tol relatif kecil yaitu 2 lajur sampai dengan 4 lajur saja seperti di wilayah perkotaan misalnya, kemiringan maksimum adalah 1:3 (Marga, 2009) yang dapat dilihat di gambar 2.3 berikut ini:



Gambar 2.3 Ruang Bebas pada Gerbang Tol

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga)

2.5 Teori Antrian

Menurut Siagian (1987) dalam (Pamuji & Widyastuti, 2019) antrian adalah suatu garis tunggu dari nasabah (satuan) yang memerlukan layanan dari satu atau lebih pelayan (fasilitas layanan). Timbulnya antrian dikarenakan tingkat permintaan yang tinggi dan melebihi kapasitas pelayanan. Lamanya waktu menunggu (waiting time) bergantung pada tingkat pelayanan (rate of services). Contoh antrian yang terjadi disekitar kita seperti panjangnya antrian yang mengantri untuk mendapatkan tiket bioskop, tiket kereta api. Tujuan teori antrian ialah merencanakan fasilitas pelayanan untuk mengatasi permintaan pelayanan yang berbeda-beda setiap waktu.

2.5.1 Sistem Antrian

Pengertian dari sistem antrian adalah suatu himpunan pelanggan, pelayanan (loket) serta suatu aturan yang mengatur kedatangan pelanggan dan pemrosesan masalah pelayanan antrian dimana dicirikan oleh 5 buah komponen, yaitu pola kedatangan para pelanggan, pola pelayanan, jumlah pelayanan, kapasitas fasilitas untuk menampung para pelanggan dan aturan dalam mana para pelanggan dilayani menurut Pangestu (2000) dalam Perencanaan Gerbang Tol Banyuwangi-Probolinggo (Pamuji & Widyastuti, 2019).

Tiga komponen dalam sistem antrian yaitu:

1. Populasi dan cara kedatangan pelanggan datang ke dalam sistem.
2. Sistem pelayanan antrian.
3. Kondisi pelanggan saat keluar system.

2.5.1.1 Populasi dan Cara Kedatangan Pelanggan

Populasi yang dimaksud dalam sistem antrian dapat dilihat menurut ukurannya, pola kedatangan, serta perilaku dari populasi yang akan dilayani seperti mobil, orang, dan lain-lain. Populasi yang akan dilayani mempunyai perilaku yang berbeda, ada 3 (tiga) jenis perilaku: *Reneging*, *Balking* dan *Jockeying*. *Reneging* seseorang masuk dalam antrian, *Balking* seseorang yang tidak

masuk dalam antrian dan langsung meninggalkan tempat antrian, *Jockeying* orang yang pindah-pindah antrian.

Distribusi kedatangan bisa teratur tetap dalam satu periode artinya kedatangan pelanggan dalam antrian dengan pelanggan memiliki waktu yang sama. Kedatangan yang teratur disekitar kita dikendalikan oleh mesin. Pola kedatangan yang sifatnya acak dapat digambarkan dengan distribusi statistik dan dapat ditentukan dengan distribusi poisson. Distribusi poisson adalah distribusi peluang acak poisson X , yang menyatakan banyaknya sukses yang terjadi dalam suatu selang waktu atau daerah tertentu. Ciri-ciri distribusi poisson menurut (Walpole,1995) dalam (Pamuji & Widyastuti, 2019) seperti berikut:

1. Banyaknya hasil percobaan yang terjadi dalam suatu interval waktu atau suatu daerah tertentu tidak bergantung pada banyaknya hasil percobaan yang terjadi pada interval waktu atau daerah lain yang terpisah.
2. Probabilitas terjadinya hasil percobaan selama suatu interval waktu yang singkat atau dalam suatu daerah yang kecil, sebanding dengan panjang interval waktu atau besarnya daerah tersebut dan tidak bergantung pada banyaknya hasil percobaan yang terjadi di luar interval waktu atau daerah tersebut.
3. Probabilitas lebih dari satu hasil percobaan yang terjadi dalam interval waktu yang singkat atau dalam daerah yang kecil dapat diabaikan.
4. Probabilitas n kedatangan dalam waktu T ditentukan dengan rumus:

$$P(n,T) = \frac{e^{-(\lambda T)} (\lambda T)^n}{n!} \quad (2.1)$$

Keterangan:

$P(n,T)$ = Probabilitas n kedatangan dalam waktu T

λ = Rata-rata kedatangan per satuan waktu T

- T = Periode waktu
 e = Bilangan natural ($e = 2,718$)
 n = Jumlah kendaraan dalam waktu t; ($n=0, 1, 2, \dots$)

Jika kedatangan mengikuti Distribusi Poisson dapat ditunjukkan secara matematis bahwa antar kedatangan akan terdistribusi sesuai dengan distribusi eksponensial.

$$P(T \leq t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad 0 \leq t \leq \infty$$

(2.2)

Dimana:

$P(T \leq t)$ = Probabilitas di mana waktu antar kedatangan $T \leq$ persatuan waktu

λ = Rata-rata kedatangan persatuan waktu

t = Suatu waktu tertentu

Kedatangan pelanggan dalam sistem antrian untuk beberapa kasus dapat dikendalikan misalnya kedatangan dikendalikan dengan cara memberikan potongan pada hari-hari tertentu yang sepi dengan maksud menggiring pelanggan untuk datang pada jam sepi, memberikan harga tinggi pada sesi-sesi padat agar pelanggan tergiring datang pada hari lain yang lebih murah.

Tingkat kesabaran pelanggan dalam antrian dikelompokkan menjadi dua tipe yaitu:

1. Kedatangan yang sabar, seseorang yang bersedia menunggu hingga dilayani terlepas apakah mereka menunjukkan perilaku tidak sabar seperti menggerutu atau mengomel tetapi tetap menunggu dalam antrian.
2. Kedatangan yang tidak sabar, kedatangan yang tidak sabar dikelompokkan menjadi 2 (dua) kategori. Kategori yang pertama adalah orang yang datang melihat-lihat fasilitas layanan dan panjang antrian lalu memutuskan

meninggalkan sistem. Kategori yang kedua adalah orang yang datang, melihat fasilitas layanan, bergabung dalam antrian dan untuk beberapa lama kemudian meninggalkan sistem.

2.5.1.2 Sistem Pelayanan Antrian

Garis antrian atau baris tunggu, terdapat faktor-faktor yang terkait dengan garis antrian yaitu panjang antrian, jumlah antrian, dan disiplin antrian.

1. Panjang Antrian

Panjang antrian dapat dikelompokkan menjadi dua, pertama panjang kapasitas antrian yang potensial tak terbatas contoh: panjang antrian membeli tiket kereta api di loket. Kedua panjang kapasitas antrian yang terbatas baik karena ketentuan peraturan contoh: tempat parkir.

2. Jumlah Antrian

Jumlah antrian dapat dikelompokkan menjadi dua. Pertama antrian tunggal, hanya ada satu fasilitas layanan untuk melayani antrian. Kedua antrian berganda, beberapa fasilitas layanan di depan antrian.

3. Disiplin Antrian

Disiplin antrian adalah aturan keputusan yang menjelaskan cara melayani pengantri, menurut (Siagian, 1987) terdapat 5 bentuk disiplin antrian yang dapat digunakan yaitu:

a. *First Come First Served* (FCFS) atau *First In First Out* (FIFO)

Maksudnya adalah pelanggan yang datang terlebih dahulu akan lebih dulu untuk di layani. Contoh antrian pada loket pembelian tiket.

Perhitungan analisis antrian FIFO seperti berikut:

$$\bar{n} = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} = \frac{\rho}{1 - \rho} \quad (2.3)$$

$$\bar{q} = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} = \frac{\rho^2}{1 - \rho} \quad (2.4)$$

$$\bar{d} = \frac{1}{\mu - \lambda} \quad (2.5)$$

$$\bar{w} = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} = \frac{d}{\mu} \quad (2.6)$$

Dimana:

\bar{n} = jumlah rata-rata kendaraan dalam sistem (kendaraan/satuan waktu)

\bar{q} = jumlah rata-rata kendaraan dalam antrian (kendaraan/satuan waktu)

\bar{d} = waktu rata-rata kendaraan dalam system (satuan waktu)

\bar{w} = waktu rata-rata kendaraan dalam antrian (satuan waktu)

λ = Tingkat kedatangan rata-rata jumlah kendaraan.

μ = Tingkat Pelayanan

- b. *Last Come First Served (LCFS)* atau *Last In First Out (LIFO)*

Maksudnya adalah pelanggan yang datang terakhir, dilayani pertama merupakan antrian dimana pelanggan yang datang terakhirlah yang akan dilayani terlebih dahulu. Contohnya seperti pada sistem antrian bongkar muat barang dalam truk, dimana barang yang masuk terakhir akan keluar terlebih dahulu.

- c. *Service In Random Order (SIRO)*

Pelayanan dalam urutan acak merupakan salah satu disiplin antrian dimana pelayanan dilakukan dengan aturan acak (Random Order). Contohnya seperti dalam suatu kegiatan arisan, dimana pemenangnya didasarkan pada proses undian.

d. *Priority Service (PS)*

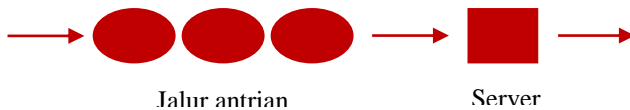
Maksudnya adalah prioritas pelayanan yang diberikan kepada pelanggan yang mempunyai prioritas lebih tinggi dibandingkan dengan pelanggan lain. Contohnya seperti pada pasien rumah sakit yang mendapatkan prioritas penanganan terlebih dahulu dikarenakan mempunyai penyakit yang lebih berat dibanding dengan pasien lain.

4. Struktur Antrian

Simulasi keadaan antrian di dunia nyata. Berikut ini adalah struktur antrian menurut (Kakiay, 2004) dan (Pangestu, dkk.2000) dalam (Pamuji & Widyastuti, 2019).

a. *Single Channel - Single Phase*

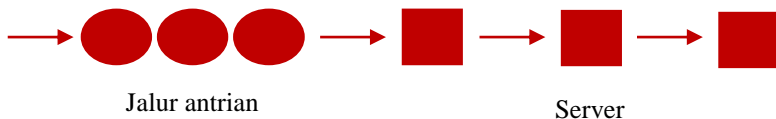
- b. Hanya ada satu jalur yang memasuki pelayanan atau hanya ada satu pelayanan. Sebagai contoh supermarket yang hanya memiliki satu kasir. Berikut merupakan ilustrasi gambar dari *Single Channel - Single Phase* ada pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Struktur Antrian *Single Channel – Single Phase*

c. *Single Channel - Multi Phase*

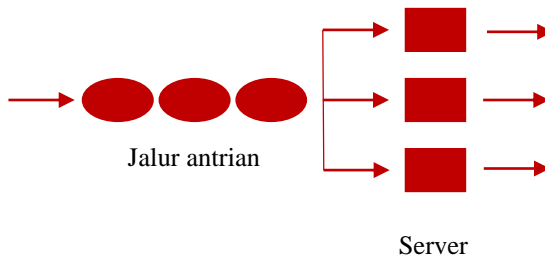
Terdapat dua atau lebih pelayanan yang dilaksanakan secara berurutan. Sebagai contoh pencucian mobil. Berikut merupakan ilustrasi gambar dari *Single Channel - Multi Phase* ada pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Struktur Antrian *Single Channel – Multi Phase*

d. *Multi Channel - Single Phase*

Terdapat dua atau lebih fasilitas pelayanan yang dialiri lebih dari satu pelanggan dan dapat dilayani pada waktu bersamaan. Sebagai contoh registrasi ulang mahasiswa baru pada sebuah universitas. Berikut merupakan ilustrasi gambar dari *Multi Channel - Single Phase* ada pada Gambar 2.6



Gambar 2.6 Struktur Antrian *Multi Channel – Single Phase*

2.6 Sistem Antrian Gerbang Tol

Sistem antrian pada gerbang tol adalah single channel single phase. Menurut (Kakiy,2004) dalam Perencanaan Gerbang Tol Banyuwangi - Probolinggo (Pamuji, 2018) *single channel* adalah hanya ada satu jalur yang memasuki sistem pelayanan atau fasilitas pelayanan sedangkan single phase adalah hanya ada satu pelayanan sistem. Setelah mendapatkan pelayanan individu-individu dalam hal ini adalah kendaraan yang dapat memasuki jalan tol keluar dari pelayanan.

Asumsi yang sering digunakan dalam struktur antrian single channel single phase seperti berikut:

1. Kedatangan dilayani berdasarkan antrian first come first served (FCFS) dan setiap konsumen yang datang menanti gilirannya untuk dilayani tanpa memperhatikan panjangnya antrian.
2. Kedatangan tidak tergantung pada kedatangan sebelumnya dan rata-rata tingkat kedatangan tidak berubah setiap waktunya.
3. Kedatangan mengikuti distribusi poisson dan berasal dari sumber yang tidak terbatas.

4. Waktu pelayanan bervariasi antara konsumen yang satu dengan konsumen yang lainnya serta tidak bergantung satu sama lain tetapi rata-rata tingkat pelayanan diketahui.
5. Waktu pelayanan mengikuti distribusi eksponensial negative.
6. Rata-rata tingkat pelayanan lebih cepat daripada rata-rata tingkat kedatangan.

Waktu antar kedatangan tiap kendaraan yang diperbolehkan memasuki jalan tol dilambangkan dengan simbol μ dan untuk tingkat pelayanan/jumlah kendaraan yang dapat terlayani oleh satu sistem pelayanan dalam satuan waktu tertentu diasumsikan berdistribusi eksponensial, untuk waktu pelayanan (WP) dapat diperoleh melalui:

$$WP = 1/\mu \quad (2.7)$$

Dimana:

WP = Waktu Pelayanan
 μ = Tingkat Pelayanan

Perbandingan antara waktu antar kedatangan dengan tingkat pelayanan dengan persyaratan bahwa nilai tersebut harus kurang dari 1 (satu), karena jika nilai tersebut lebih dari 1 (satu) menunjukkan bahwa tingkat antar kedatangan selalu lebih besar dari tingkat pelayanan dilambangkan dengan ρ . Dan dapat diperoleh melalui:

$$\rho = \lambda / \mu < 1 \quad (2.8)$$

Dimana:

ρ = Perbandingan tingkat kedatangan dengan tingkat pelayanan
 λ = Tingkat kedatangan rata-rata jumlah kendaraan
 μ = Tingkat pelayanan

Jika intensitas lalu lintas lebih besar daripada 1 ($\rho > 1$), maka hanya dapat dipecahkan dengan pendekatan proses antrian deterministik atau dengan melakukan penyesuaian dengan

beberapa waktu pelayanan, variasi tingkat kedatangan rata-rata dan waktu pelayanan rata-rata atau dengan cara terakhir yaitu dengan cara simulasi mikroskopik.

2.7 Model Sebaran Pergerakan

Menurut (Tamin, 2003), Pergerakan dalam sistem transportasi dijelaskan dalam bentuk arus pergerakan (kendaraan, penumpang, dan barang) yang bergerak dari zona asal ke zona tujuan di dalam daerah tertentu dan selama periode waktu tertentu. Matriks Asal Tujuan (MAT) atau Matriks Pergerakan sering digunakan untuk menggambarkan pola pergerakan tersebut.

Matriks Asal Tujuan (MAT) adalah matriks berdimensi dua yang berisi informasi mengenai besarnya pergerakan antarlokasi (zona) di dalam daerah tertentu. Baris menyatakan zona asal dan kolom menyatakan zona tujuan, sehingga sel matriksnya menggambarkan besarnya arus dari zona asal ke zona tujuan. Berikut beberapa fungsi Matrik Asal Tujuan (MAT):

1. Pemodelan kebutuhan akan transportasi untuk daerah pedalaman atau antarkota.
2. Pemodelan kebutuhan akan transportasi untuk daerah perkotaan.
3. Pemodelan dan perancangan manajemen lalu lintas baik di daerah perkotaan maupun antarkota.
4. Pemodelan kebutuhan akan transportasi di daerah yang ketersediaan datanya tidak begitu mendukung baik dari sisi kuantitas maupun kualitas (misalnya di negara sedang berkembang).
5. Perbaikan data MAT pada masa lalu dan pemeriksaan MAT yang dihasilkan oleh metode lainnya.
6. Pemodelan kebutuhan akan transportasi antar-kota untuk angkutan barang multi-moda.

Untuk mendapatkan MAT dapat dikelompokkan menjadi dua bagian utama, yaitu metode konvensional dan metode tidak konvensional.

- **Metode Furness**

Menurut (Tamin, 2003) metode ini menggunakan sebaran pergerakan pada masa mendatang didapatkan dengan mengalikan sebaran pergerakan pada saat sekarang dengan tingkat pertumbuhan zona asal atau zona tujuan yang dilakukan secara bergantian. Metode Furness dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$T_{id} = t_{id} \cdot E_i \quad (2.9)$$

Dalam metode *Furness* ini, pergerakan awal (masa sekarang) pertama kali dikalikan dengan tingkat pertumbuhan zona asal. Hasilnya kemudian dikalikan dengan tingkat pertumbuhan zona tujuan dan zona asal secara bergantian (modifikasi harus dilakukan setelah setiap perkalian) sampai total sel MAT untuk setiap arah (baris atau kolom) kira-kira sama dengan total sel MAT yang diinginkan.

2.8 Sistem Pembayaran Pada Gerbang Tol

Gerbang tol terdapat berbagai macam sistem pembayaran seperti sistem konvensional, gardu tol otomatis, dan On Board. Sistem ini dibuat untuk memudahkan pembayaran pada gerbang tol itu sendiri selain itu juga untuk mempercepat waktu pelayanan.

2.8.1 Sistem Pembayaran Gardu Tol Otomatis (GTO)

Gerbang tol dengan sistem pembayaran gardu tol otomatis (GTO) adalah gerbang tol yang sistem pembayarannya menggunakan kartu yang sebelumnya telah diisi uang dan cara pembayaran hanya disentuh di mesin GTO dan palang penghalang akan terbuka. Sistem pembayaran seperti ini sedang ditingkatkan oleh pemerintah karena dengan cara ini waktu pelayanan lebih cepat dibanding dengan sistem konvensional. Berikut adalah Gambar 2.7 contoh pembayaran di gardu tol otomatis (GTO).



Gambar 2.7 Sistem Pembayaran Gardu Tol Otomatis (GTO)

(Sumber: <https://jalantikus.com/tips/cara-menggunakan-e-toll/>)

2.8.2 Sistem Pembayaran *On Board* (OBU)

Gerbang tol dengan sistem pembayaran On Board (OBU) adalah gerbang tol dengan sistem pembayaran dengan menggunakan perangkat OBU yang diletakkan di dalam kendaraan dan gerbang tol tersebut akan memindai perangkat OBU sehingga pengguna gerbang tol ini tidak harus membuka kaca jendela dan tap kartu e-Toll untuk bertransaksi. Perangkat OBU adalah perangkat transmitter yang dipasang didalam kendaraan dan berfungsi untuk memancarkan sinyal elektronik yang akan dibaca oleh *receiver* yang ada di Gerbang Tol Otomatis (GTO) dan akan langsung membuka palang penghalang (barier) (Jasamarga.com 20/01/2017). Gambar 2.8 dibawah ini adalah gambar perangkat OBU dan sistem pembayaran On Board (OBU).



Gambar 2.8 Sistem Pembayaran Gardu Tol *On Board Unit* (OBU)
(Sumber: <https://ketagihanbayar.wordpress.com/2015/08/24/ingin-bayar-tol-lebih-mudah-dan-aman-gunakanlah-trik-berikut-ini/>)

2.9 Studi Terdahulu

A. Tugas Akhir “Perencanaan Gerbang Tol Batang – Semarang” Oleh Andri Danu Saputra

Kesimpulan dalam Tugas Akhir berdasarkan hasil analisis dan pembahasan maka akan didapatkan kesimpulan berupa diantaranya adalah:

1. Panjang Antrian rata-rata tiap gerbang tol masuk pada tahun 2019:
 - a. GTO sejumlah 2 kendaraan
 - b. GTO khusus sejumlah 2 kendaraan
 - c. OBU sejumlah 2 kendaraan

Panjang Antrian rata-rata tiap gerbang tol keluar pada tahun 2019:

 - a. GTO sejumlah 3 kendaraan
 - b. GTO khusus sejumlah 2 kendaraan
 - c. OBU sejumlah 2 kendaraan
2. Panjang Antrian rata-rata tiap gerbang tol masuk pada tahun 2030:
 - a. GTO sejumlah 3 kendaraan
 - b. GTO khusus sejumlah 3 kendaraan
 - c. OBU sejumlah 1 kendaraan

Panjang Antrian rata-rata tiap gerbang tol keluar pada tahun 2030:

- a. GTO sejumlah 3 kendaraan
 - b. GTO khusus sejumlah 3 kendaraan
 - c. OBU sejumlah 1 kendaraan
3. Jumlah gardu pada gerbang tol Batang – Semarang di Gerbang tol Batang, SS Tulis, SS Weleri, SS Kendal, SS Kaliwungu, SS Ngaliyan dan SS Krapyak pada tahun 2019 dan 2030.

B. “Evaluasi Kapasitas dan Waktu Pelayanan pada Gerbang Tol Nusa Dua, Badung – Bali” Oleh Kadek Adi Suryawan, I M Suardana Kader, I N Sedana Triadi dan I W Sudiasa.

Selain menggunakan Tugas Akhir sebagai referensi, digunakan juga jurnal yang memiliki perhitungan mengenai waktu pelayanan pada gerbang tol dengan metode perhitungan waktu pelayanan yang serupa. Jurnal yang dijadikan referensi adalah milik Kadek Adi Suryawan dengan judul “Evaluasi Kapasitas dan Waktu Pelayanan pada Gerbang Tol Nusa Dua, Badung – Bali.”

Didapatkan kesimpulan dari perhitungan sebagai berikut:

1. Besar kapasitas maksimal yang terjadi pada gerbang tol Nusa Dua adalah sebesar 546 kendaraan/jam. Angka tersebut masih jauh untuk mencapai standar pelayanan untuk gerbang tol sistem terbuka dengan jumlah gardu 2 yaitu sebesar 1.050 kendaraan/jam.
2. Rata-rata lama waktu pelayanan pada gerbang tol Nusa Dua untuk melayani kendaraan adalah 5.51 detik/kendaraan. Standar waktu pelayanan rata-rata untuk gerbang tol sistem terbuka pada gardu masuk maupun gardu keluar untuk melayani kendaraan adalah 6.00 detik/kendaraan. Dengan itu gerbang tol Nusa Dua masih cukup baik untuk melayani kendaraan.

BAB III METODOLOGI

3.1 Umum

Dalam bab ini akan membahas mengenai langkah-langkah yang diambil selama pengerjaan Tugas Akhir serta bagan aliran penyusunan penulisan Tugas Akhir ini. Dengan tujuan selama penulisan Tugas Akhir ini sesuai dengan atura-aturan yang berlaku selama pelaksanaan penulisan.

3.2 Langkah Penulisan

Adapun langkah-langkah dalam penulisan Tugas Akhir perencanaan gerbang tol Semarang-Demak adalah sebagai berikut:

1. Identifikasi Masalah.
2. Studi Literatur.
3. Survei dan Pengumpulan Data.
4. Rekapitulasi dan Analisis Data.
5. Pembahasan.
6. Kesimpulan dan Saran.

3.2.1 Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah adalah tahapan awal yang dilakukan dalam penyusunan tugas akhir. Di dalam tahap ini meninjau kondisi lapangan dan permasalahan yang terjadi, identifikasi masalah yang dilakukan adalah peninjauan langsung kondisi lapangan yang terdapat dalam gerbang Tol Semarang – Demak.

3.2.2 Studi Literatur

Pada tahap ini studi literature yang dimaksud adalah melakukan pembelajaran dari literatur-literatur yang menunjang pengerjaan tugas akhir tentang Perencanaan Gerbang Tol Semarang - Demak. Literatur-literatur yang ada bisa berupa jurnal-jurnal ilmiah internasional maupun nasional, buku, peraturan-peraturan yang membahas tentang perencanaan gerbang tol, tugas

akhir yang berkaitan dengan perencanaan gerbang tol, dan lain-lain.

3.2.3 Survei dan Pengumpulan Data

Survei dan pengumpulan data adalah melakukan observasi yang dilakukan di jalan arteri maupun jalan provinsi sekitar jalan tol Semarang - Demak. Survei yang dilakukan adalah menghitung jumlah kendaraan yang datang. Pada tahap pengumpulan data dapat dilakukan di Badan Pelaksana Jalan Tol dan Instansi-instansi terkait. Dalam pengumpulan data terdiri dari 2 (dua) jenis data yaitu data primer dan data sekunder. Berikut adalah data-data yang akan dikumpulkan:

1. Data Primer

Data primer data yang didapatkan langsung dari lapangan dengan cara survei lapangan. Data yang dibutuhkan antara lain: Survei Waktu Pelayanan Gerbang Tol. Untuk mengetahui waktu pelayanan di lapangan dan dibandingkan dengan peraturan yang ada.

2. Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang telah ada atau data-data yang tidak berhubungan langsung terhadap objek penelitian. Data sekunder diperoleh dari instansi-instansi yang bersangkutan dengan penyusunan tugas akhir. Data yang dibutuhkan antara lain:

- a. Data-data teknis trase jalan tol dan lokasi gerbang tol. Untuk mengetahui titik-titik rencana jalan tol dan gerbang tol Semarang-Demak.
- b. Pembebanan Volume Kendaraan. Untuk direncanakan sebagai Matriks Asal-Tujuan.

3.2.4 Rekapitulasi dan Analisis Data

Tahap rekapitulasi dan analisis data adalah tahap dimana data diolah dari pengumpulan data yang sudah ada untuk menganalisis objek penelitian. Data volume kendaraan yang datang digunakan untuk perhitungan tingkat kedatangan, panjang antrian, dan lain-lain.

3.2.5 Pembahasan

Pada tahap ini adalah membahas perencanaan gerbang tol Semarang - Demak seperti tingkat kedatangan, tingkat pelayanan, panjang antrian, dan jumlah gerbang tol yang optimal dengan meninjau sistem gardu tol otomatis (GTO), dan *On Board* beserta rencana lay – out gerbang tol Semarang – Demak.

1. Mengetahui jumlah gardu yang dibutuhkan untuk menampung volume kendaraan rencana apabila gerbang tol dengan menggunakan sistem Gardu Tol Otomatis (GTO) dan *On Board Unit* (OBU).

Langkah-langkah untuk mengetahui jumlah gardu yang dibutuhkan:

- a) Mendapatkan data primer berupa waktu pelayanan gerbang tol dengan cara survei langsung pada dua gerbang tol yang berbeda untuk Gerbang Tol Otomatis dan *On Board Unit* sedangkan untuk data sekunder didapatkan dari PT. PP (Persero) sebagai owner Proyek Tol Semarang – Demak.
- b) Menganalisis matriks asal tujuan menggunakan metode Furness dengan data arus jam puncak dengan menggunakan rumus seperti berikut:

$$T_{id} = t_{id} \cdot E_i$$

Dimana sebaran pergerakan pada masa mendatang (T_{id}) didapatkan dengan mengalikan sebaran pergerakan pada saat sekarang (t_{id}) dengan tingkat pertumbuhan zona asal atau tujuan yang dilakukan secara bergantian (E_{id}). Hasilnya kemudian dikalikan dengan tingkat perubahan zona asal secara bergantian yang dilakukan modifikasi setiap setelah perkalian dalam beberapa iterasi.

- c) Selanjutnya melakukan analisis distribusi kendaraan berdasarkan masing-masing golongan menuju gerbang tol untuk mengetahui jumlah kendaraan yang akan masuk dan keluar di tiap gerbang tol Semarang – Demak. Distribusi kendaraan ini akan dilakukan dengan cara

memasukkan kendaraan pada matriks arus jam puncak ke gerbang tol yang masuk dan keluar. Hasilnya berupa jumlah kendaraan yang masuk ke gerbang dan jumlah kendaraan yang keluar dari gerbang tol.

- d) Melakukan analisis waktu pelayanan dengan menggunakan rumus (2.7)

$$WP = 1/\mu$$

Dimana:

WP = Waktu Pelayanan

μ = Tingkat Pelayanan

Untuk menentukan waktu pelayanan untuk gardu tol melihat dari nilai rata - rata, dengan persentase kumulatif 50% dan 80%. Untuk menentukan waktu pelayanan dari nilai-nilai yang sebelumnya, diperiksa dengan nilai median dan modus. Nilai yang lebih dekat dengan nilai median dan modus adalah nilai waktu pelayanan yang digunakan.

- e) Melakukan analisis tingkat pelayanan pada perencanaan gerbang tol Semarang – Demak yang membutuhkan tingkat pelayanan untuk gardu tol yang direncanakan pada tiap gerbang. Analisis tingkat pelayanan gerbang tol Semarang – Demak ini menggunakan data primer waktu pelayanan dari tiap golongan yang dianalisis sebelumnya dan tingkat kedatangan dari tiap golongan kendaraan pada tiap gerbang.
- f) Melakukan analisis tingkat kedatangan dan tingkat pelayanan pada setiap gerbang tol. Dilanjutkan menganalisis intensitas lalu lintas untuk mengetahui intensitas setiap gardu tol yaitu Gardu Tol Otomatis (GTO) dan gardu tol *On Board Unit* (OBU) yang masuk dan keluar. Untuk menganalisis intensitas lalu lintas pada Gardu Tol Otomatis (GTO) dan gardu tol *On Board Unit* (OBU) digunakan tingkat kedatangan dan tingkat

pelayanan yang didapat dari hasil perhitungan. Dimana perencanaan gerbang tol Semarang - Demak direncanakan dengan sistem gerbang tol tertutup.

- g) Memporsorsikan kendaraan golongan I menggunakan proporsi 65% masuk ke gardu tol otomatis khusus golongan I, 25% masuk ke gardu tol otomatis, dan 10% masuk ke gardu tol *On Board Unit*. Sedangkan kendaraan golongan II hingga golongan V hanya masuk ke gardu tol otomatis. Kemudian mengasumsikan jumlah gardu untuk masing - masing tipe gardu tol menurut proporsi kendaraan yang akan melewati gerbang tol baik masuk maupun keluar.
- h) Menentukan jumlah kendaraan tiap golongan yang akan datang di tiap gerbang tol masuk dan keluar dengan cara mengalikan dengan proporsi yang ditentukan pada poin (g). Dilanjutkan membagi jumlah kendaraan yang akan datang ke masing – masing jenis gardu dengan jumlah gardu yang bersangkutan. Hasil perhitungan tersebut dibagi dengan tingkat pelayanan masing masing gardu tol menurut jenisnya seperti terdapat pada Rumus (2.8) seperti berikut:

$$\rho = \lambda / \mu < 1$$

Dimana:

ρ = Perbandingan tingkat kedatangan dengan pelayanan

λ = Tingkat kedatangan rata-rata jumlah kendaraan

μ = Tingkat pelayanan

- i) Membandingkan hasil antara tingkat kedatangan dengan tingkat pelayanan ini harus menghasilkan nilai yang lebih kecil dari satu (< 1). Jika tidak, akan terjadi antrian yang akan selalu bertambah panjang pada gardu tol.
- j) Menganalisis antrian pada gerbang tol menggunakan jenis antrian FIFO (*First In First Out*) serta cara

menghitungnya terdapat pada Rumus (2.3) hingga Rumus (2.6).

$$\underline{n} = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} = \frac{\rho}{1 - \rho} \quad (2.3)$$

$$\underline{q} = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} = \frac{\rho^2}{1 - \rho} \quad (2.4)$$

$$\underline{d} = \frac{1}{\mu - \lambda} \quad (2.5)$$

$$\underline{w} = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} = \bar{d} \cdot \frac{1}{\mu} \quad (2.6)$$

Dimana:

\underline{n} = jumlah rata-rata kendaraan dalam sistem (kendaraan/satuan waktu)

\underline{q} = jumlah rata-rata kendaraan dalam antrian (kendaraan/satuan waktu)

\underline{d} = waktu rata-rata kendaraan dalam system (satuan waktu)

\underline{w} = waktu rata-rata kendaraan dalam antrian (satuan waktu)

λ = Tingkat kedatangan rata-rata jumlah kendaraan

μ = Tingkat Pelayanan

Menganalisis antrian pada gerbang dilakukan untuk mengetahui panjang antrian dan waktu antrian pada gerbang tol yang di rencanakan. Analisis antrian ini menggunakan jumlah gardu tol yang sama pada analisis intensitas lalu lintas.

Mendapatkan perhitungan panjang antrian pada masing – masing gardu tol dapat dilakukan dengan Rumus (2.4).

$$\bar{q} = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} = \frac{\rho^2}{1 - \rho} \quad (2.4)$$

Dimana:

ρ = Perbandingan tingkat kedatangan dengan tingkat pelayanan

\bar{q} = jumlah rata-rata kendaraan dalam antrian
(kendaraan/satuan waktu)

λ = Tingkat kedatangan rata-rata jumlah kendaraan

μ = Tingkat Pelayanan

Jika antrian kendaraan sudah kurang dari 10 emp, maka dapat dikatakan jumlah gardu tol yang direncanakan sudah benar dan telah memenuhi syarat.

2. Mengetahui *Lay – out* gerbang tol pada tahun 2020.

Untuk mengetahui lay out gerbang tol semarang Demak, menggunakan acua dari Standar Konstruksi dan Bangunan Nomor 007/BM/2009 tentang Geometri Jalan Bebas Hambatan Untuk Jalan Tol berdasarkan volume lalu lintas, waktu pelayanan dan jumlah antrian kendaraan yang diperkenankan.

3. Mengetahui jumlah gardu yang dibutuhkan untuk menampung volume kendaraan rencana apabila gerbang tol dengan menggunakan sistem Gardu Tol Otomatis (GTO) dan *On Board Unit (OBU)* 5 tahun kedepan.

Langkah – langkah yang dikerjakan adalah sama dengan langkah-langkah pengerjaan pada nomor satu. Hanya saja, letak perbedaannya adalah pada volume lalu lintas rencana jalan tolnya menggunakan data tahun 2025.

4. Mengetahui *Lay – out* gerbang tol pada tahun 2025.

Langkah – langkah yang dikerjakan adalah sama dengan langkah-langkah pengerjaan pada nomor dua. Hanya saja, letak perbedaannya adalah pada volume lalu lintas rencana jalan tolnya menggunakan data tahun 2025.

3.2.6 Kesimpulan dan Saran

Setelah mengolah data maka dapat memberikan kesimpulan dan saran terkait dengan perencanaan gerbang tol Semarang – Demak. Hasil dari penulisan ini dapat dijadikan sebagai referensi atau acuan bagi PT. Jasamarga selaku operator untuk memperhitungkan kebutuhan gerbang tol Gerbang Tol.

3.3 Lokasi Survei

Penelitian dilaksanakan pada jalan tol Semarang - Demak. Untuk survei waktu pelayanan pertama waktu pelayanan pertama

dilakukan di gerbang tol Semarang untuk gerbang tol otomatis (GTO) dan survey waktu pelayanan kedua dilakukan di gerbang tol Cililitan karena pada gerbang tol Cililitan terdapat gardu tol *On Board Unit* (OBU).

3.4 Alat yang digunakan untuk Pengambilan Data

Peralatan yang dibutuhkan dalam pengambilan data primer adalah:

- a. Pengukur Waktu (jam tangan/ *Stopwatch*) untuk menghitung durasi waktu.
- b. Alat tulis dan formulir survei
 - Formulir Waktu Pelayanan

Formulir ini digunakan untuk mencatat waktu pelayanan dari tiap gerbang tol yang ada. Tabel 3.1 berikut adalah tabel dari formulir waktu pelayanan Gerbang Tol.

Lokasi :
 Jenis Gerbang : GTO/OBU
 Waktu :

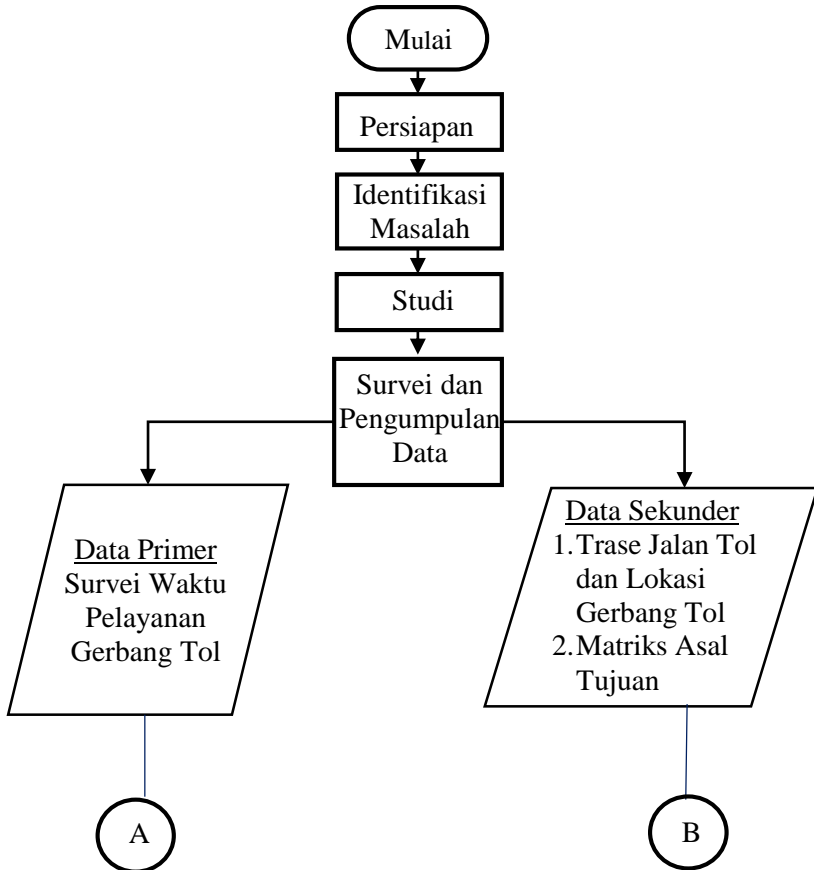
Tabel 3.1 Formulir Survei Waktu Pelayanan

No.	Golongan	Waktu	Panjang Antrian
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			

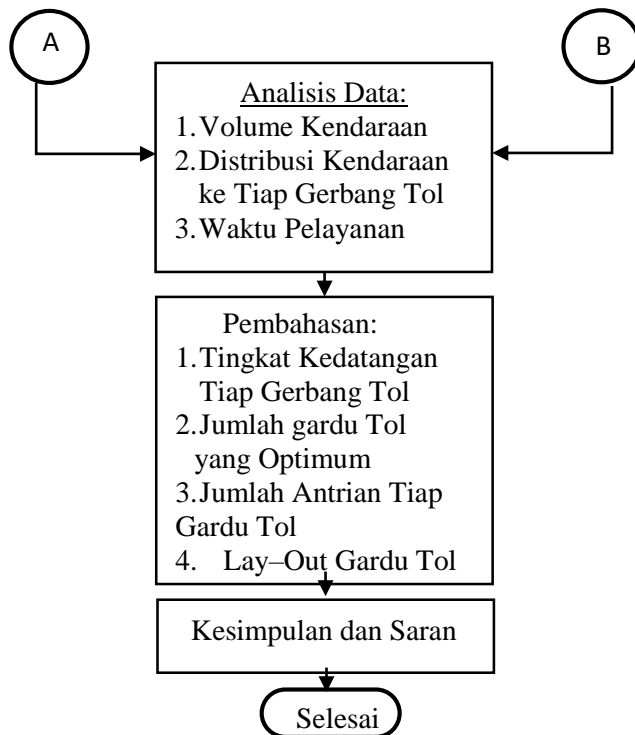
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			

3.5 Bagan Aliran (*Flow Chart*)

Langkah-langkah penyusunan pengerjaan tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 3.1 Bagan Diagram Alir (*Flow Chart*) berikut ini:



Gambar 3. 1 Bagan Diagram Alir



Gambar 3. 2 Bagan Diagram Alir (Lanjutan)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

DATA PERENCANAAN

4.1 Umum

Tahap awal perencanaan tugas akhir adalah pengumpulan data yang kemudian data tersebut akan dianalisis agar mendapat hasil akhir yang diinginkan. Ada 2 jenis data yang dibutuhkan yaitu data primer dan data sekunder. Data sekunder adalah data-data yang telah ada dan diperoleh dari instansi yang terkait maupun hasil studi terdahulu. Sedangkan data primer adalah data yang diperoleh melalui survei.

4.2 Data Sekunder

- **Volume Lalu Lintas Rencana Jalan Tol Rencana**

Volume lalu lintas rencana jalan tol Semarang-Demak diperoleh dari PT. PP (Persero) Tbk. Data volume lalu lintas jalan tol rencana yang disajikan berupa volume lalu lintas rencana pada tiap simpang susun (SS) jalan tol pergolongan kendaraan. Data volume lalu lintas jalan tol rencana dapat dilihat pada tabel 4.1

Tabel 4. 1 Volume Lalu Lintas Jalan Tol Rencana 2020

Uraian	Semarang - Sayung	Sayung- Demak
Gol I	22,473	8,548
Gol II	2,623	998
Gol III	550	209
Gol IV	247	94
Gol V	54	21

(Sumber: PT PP (Persero) Tbk)

4.3 Data Primer

4.3.1 Waktu Pelayanan

Perencanaan suatu gerbang tol sangat di butuhkan data waktu pelayanan, waktu pelayanan yang digunakan dalam merencanakan gerbang tol Semarang-Demak diambil dari survei waktu pelayanan gerbang tol yang memiliki sistem Gardu Tol Otomatis (GTO) dan On Board Unit (OBU).

A. Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis

Survei waktu pelayanan gardu tol otomatis di Gerbang Tol dihitung ketika mobil berhenti dan supir menempelkan kartu e-toll untuk pembayaran tol sampai mobil meninggalkan gardu dan melewati palang pintu gardu yang sudah terbuka hingga tertutup kembali. Waktu pelayanan di bawah ini di ambil dari gerbang tol arah keluar.

Pada waktu pelayanan gerbang tol arah masuk dianggap sama dengan waktu pelayanan arah keluar. Dimana tabel waktu pelayanan dibawah adalah hasil survey waktu pelayanan oleh Ahada Rizqi Ilham Pamuji (2019). Tabel waktu pelayanan gardu tol otomatis terdapat pada Tabel 4.3

Jenis Gardu : Gardu Tol Otomatis

Waktu : 11.00 (28 Februari 2019)

Tabel 4. 2 Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis Gol 1

GOLONGAN 1			
No	Golongan	Waktu Pelayanan (detik)	Panjang Antrian (kendaraan)
1	I	10	5
2	I	9	4
3	I	10	4
4	I	12	4
5	I	9	4
6	I	6	3
7	I	10	3
8	I	9	2
9	I	10	3
10	I	8	4
11	I	8	3
12	I	6	3
13	I	10	4
14	I	9	4

Tabel 4. 3Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis Gol 1 (lanjutan)

GOLONGAN 1			
No	Golongan	Waktu Pelayanan (detik)	Panjang Antrian (kendaraan)
15	I	7	4
16	I	10	4
17	I	9	4
18	I	9	4
19	I	8	4
20	I	8	3
21	I	9	3
22	I	7	4
23	I	7	4
24	I	8	3
25	I	7	3
26	I	9	5
27	I	12	4
28	I	7	4
29	I	7	4
30	I	10	4

Tabel 4. 4 Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis Gol 1 (lanjutan)

GOLONGAN 1			
No	Golongan	Waktu Pelayanan (detik)	Panjang Antrian (kendaraan)
31	I	6	3
32	I	8	3
33	I	6	2
34	I	7	3
35	I	7	4
36	I	11	3
37	I	7	3
38	I	8	4
39	I	10	4
40	I	8	4
41	I	12	4
42	I	8	4
43	I	7	4
44	I	8	4
45	I	9	3
46	I	6	3
47	I	6	4
48	I	7	4
49	I	8	3
50	I	7	3

Tabel 4. 5 Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis Gol 2

GOLONGAN 2			
No	Golongan	Waktu Pelayanan (detik)	Panjang Antrian (kendaraan)
1	II	14	4
2	II	9	4
3	II	9	3
4	II	11	4
5	II	18	2
6	II	9	4
7	II	10	4
8	II	8	3
9	II	10	10
10	II	9	10
11	II	11	10
12	II	10	9
13	II	9	8
14	II	11	9
15	II	13	8
16	II	13	8
17	II	8	4
18	II	8	4
19	II	15	5
20	II	8	7

Tabel 4. 6 Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis Gol 2 (lanjutan)

GOLONGAN 2			
No	Golongan	Waktu Pelayanan (detik)	Panjang Antrian (kendaraan)
21	II	14	6
22	II	8	5
23	II	9	6
24	II	9	5
25	II	9	5
26	II	14	4
27	II	9	4
28	II	9	3
29	II	11	4
30	II	18	2
31	II	9	4
32	II	10	4
33	II	8	3
34	II	10	10
35	II	9	10
36	II	11	10
37	II	10	9
38	II	9	8
39	II	11	9
40	II	13	8

Tabel 4. 7 Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis Gol 2 (lanjutan)

GOLONGAN 2			
No	Golongan	Waktu Pelayanan (detik)	Panjang Antrian (kendaraan)
41	II	13	8
42	II	8	4
43	II	8	4
44	II	15	5
45	II	8	7
46	II	14	6
47	II	8	5
48	II	9	6
49	II	9	5
50	II	9	5

Tabel 4. 8 Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis Gol 3

GOLONGAN 3			
No	Golongan	Waktu Pelayanan (detik)	Panjang Antrian (kendaraan)
1	III	9	4
2	III	10	5
3	III	11	2
4	III	18	1
5	III	11	1
6	III	9	1
7	III	18	1
8	III	15	0
9	III	13	1
10	III	17	0
11	III	19	3
12	III	10	3
13	III	10	5
14	III	10	5
15	III	12	6
16	III	8	1
17	III	9	2
18	III	11	3
19	III	12	5
20	III	12	4
21	III	11	1
22	III	13	2
23	III	12	5
24	III	14	3
25	III	15	3

Tabel 4. 9 Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis Gol 3 (lanjutan)

GOLONGAN 3			
No	Golongan	Waktu Pelayanan (detik)	Panjang Antrian (kendaraan)
26	III	9	4
27	III	10	5
28	III	11	2
29	III	18	1
30	III	11	1
31	III	9	1
32	III	18	1
33	III	15	0
34	III	13	1
35	III	17	0
36	III	19	3
37	III	10	3
38	III	10	5
39	III	10	5
40	III	12	6
41	III	8	1
42	III	9	2
43	III	11	3
44	III	12	5
45	III	12	4
46	III	11	1
47	III	13	2
48	III	12	5
49	III	14	3
50	III	15	3

Tabel 4. 10 Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis Gol 4

GOLONGAN 4			
No	Golongan	Waktu Pelayanan (detik)	Panjang Antrian (kendaraan)
1	IV	16	4
2	IV	15	6
3	IV	13	5
4	IV	10	0
5	IV	9	4
6	IV	12	3
7	IV	16	1
8	IV	20	2
9	IV	14	4
10	IV	15	3
11	IV	11	3
12	IV	13	1
13	IV	13	2
14	IV	13	0
15	IV	12	2
16	IV	11	3
17	IV	14	5
18	IV	16	1
19	IV	15	4
20	IV	13	3

Tabel 4. 11 Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis Gol 4 (lanjutan)

GOLONGAN 4			
No	Golongan	Waktu Pelayanan (detik)	Panjang Antrian (kendaraan)
21	IV	11	2
22	IV	12	1
23	IV	12	4
24	IV	13	6
25	IV	12	4
26	IV	16	4
27	IV	15	6
28	IV	13	5
29	IV	10	0
30	IV	9	4
31	IV	12	3
32	IV	16	1
33	IV	20	2
34	IV	14	4
35	IV	15	3
36	IV	11	3
37	IV	13	1
38	IV	13	2
39	IV	13	0
40	IV	12	2

Tabel 4. 12 Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis Gol 4 (lanjutan)

GOLONGAN 4			
No	Golongan	Waktu Pelayanan (detik)	Panjang Antrian (kendaraan)
41	IV	11	3
42	IV	14	5
43	IV	16	1
44	IV	15	4
45	IV	13	3
46	IV	11	2
47	IV	12	1
48	IV	12	4
49	IV	13	6
50	IV	12	4

Tabel 4. 13 Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis Gol 5

GOLONGAN 5			
No	Golongan	Waktu Pelayanan (detik)	Panjang Antrian (kendaraan)
1	V	11	6
2	V	13	1
3	V	13	1
4	V	16	1
5	V	15	4

Tabel 4. 14 Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis Gol 5 (lanjutan)

GOLONGAN 5			
No	Golongan	Waktu Pelayanan (detik)	Panjang Antrian (kendaraan)
6	V	10	1
7	V	13	1
8	V	16	3
9	V	15	0
10	V	15	2
11	V	14	3
12	V	17	5
13	V	19	1
14	V	16	4
15	V	18	3
16	V	20	3
17	V	16	4
18	V	15	2
19	V	15	2
20	V	16	3
21	V	17	4
22	V	19	4
23	V	17	3
24	V	19	2
25	V	15	2

Tabel 4. 15 Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis Gol 5 (lanjutan)

GOLONGAN 5			
No	Golongan	Waktu Pelayanan (detik)	Panjang Antrian (kendaraan)
26	V	11	6
27	V	13	1
28	V	13	1
29	V	16	1
30	V	15	4
31	V	10	1
32	V	13	1
33	V	16	3
34	V	15	0
35	V	15	2
36	V	14	3
37	V	17	5
38	V	19	1
39	V	16	4
40	V	18	3
41	V	20	3
42	V	16	4
43	V	15	2
44	V	15	2
45	V	16	3
46	V	17	4
47	V	19	4
48	V	17	3
49	V	19	2
50	V	15	2

B. Waktu Pelayanan Gerbang Tol On Board Unit

Survei waktu pelayanan gardu tol On Board Unit di Gerbang Tol yang memiliki sistem OBU (On Board Unit) yaitu dilakukan di gerbang tol cililitan mulai dihitung pada saat mobil dalam keadaan melambat kecepatannya agar bisa di baca oleh sinyal infra merah untuk membayar tol sampai mobil meninggalkan gardu dan melewati palang pintu gardu yang sudah terbuka hingga tertutup kembali. Berikut adalah hasil waktu pelayanan gardu tol OBU, dapat dilihat pada Tabel 4.17

Jenis Gardu : On Board Unit (OBU)

Waktu : 11.00 (27 Januari 2020)

Tabel 4.16 Waktu Pelayanan Gerbang Tol On Board Unit (OBU)

GOLONGAN 1			
No	Golongan	Waktu Pelayanan (detik)	Panjang Antrian (kendaraan)
1	I	3	0
2	I	3	0
3	I	4	0
4	I	4	0
5	I	4	0
6	I	4	0
7	I	4	0
8	I	4	0
9	I	5	0
10	I	5	0

Tabel 4.17 Waktu Pelayanan Gerbang Tol On Board Unit (OBU) (lanjutan)

GOLONGAN 1			
No	Golongan	Waktu Pelayanan (detik)	Panjang Antrian (kendaraan)
11	I	5	0
12	I	4	1
13	I	3	1
14	I	7	0
15	I	6	0
16	I	5	0
17	I	4	0
18	I	3	0
19	I	4	0
20	I	3	0
21	I	4	1
22	I	3	0
23	I	4	1
24	I	3	1
25	I	3	1
26	I	6	0
27	I	5	0
28	I	5	0
29	I	4	0
30	I	3	0

Tabel 4. 18 Waktu Pelayanan Gerbang Tol On Board Unit (OBU) (lanjutan)

No	Golongan	Waktu Pelayanan (detik)	Panjang Antrian (kendaraan)
31	I	3	1
32	I	3	1
33	I	3	1
34	I	4	0
35	I	6	0
36	I	3	1
37	I	3	0
38	I	4	1
39	I	3	0
40	I	3	1
41	I	3	1
42	I	3	0
43	I	4	0
44	I	5	0
45	I	6	0
46	I	4	0
47	I	3	0
48	I	4	0
49	I	3	0
50	I	4	0

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Analisis Data Lalu Lintas

Perhitungan yang dilakukan pada bab analisis dan pembahasan ini menggunakan data volume lalu lintas yang terlampir pada bab sebelumnya, sebelum masuk dalam perencanaan gerbang tol 2020, maka dilakukan beberapa analisis data, diantaranya adalah analisis volume kendaraan, analisis tingkat kedatangan, analisis waktu pelayanan, analisis tingkat pelayanan, analisis intensitas lalu lintas tahun 2020, analisis intensitas gerbang tol, analisis antrian gerbang tol tahun 2020 kemudian direncanakan juga untuk perencanaan gerbang tol pada tahun 2025. Analisis data lalu lintas yang dilakukan adalah analisis volume kendaraan dan matriks asal tujuan.

5.1.1 Analisis Volume Kendaraan

Analisis data lalu lintas yang pertama yaitu analisis volume kendaraan, dalam perhitungan analisis volume kendaraan digunakan data volume lalu lintas jalan tol rencana pada bab IV.

Data Volume lalu lintas jalan tol rencana yang ada pada Tabel 5.1 adalah data kumulatif dari ruas terkait, maka terlebih dahulu dibagi menjadi dua arah yaitu kendaraan yang menuju ke arah Semarang dan kendaraan yang menuju ke arah Demak dengan cara membagi 2 volume lalu lintas tiap simpang susun. Berikut contoh perhitungan matriks asal tujuan:

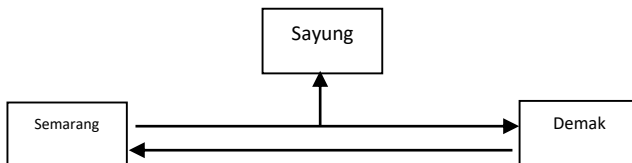
Tabel 5. 1 Volume Lalu Lintas Jalan Tol Semarang-Demak dua arah

Uraian	Semarang - Sayung	Sayung- Demak
Gol I	11,237	4,274
Gol II	1,312	499
Gol III	275	105
Gol IV	124	47
Gol V	27	11

5.1.2 Matriks Asal Tujuan

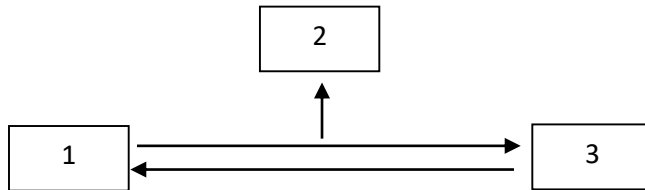
Hasil analisis pada sub bab 5.1.2 akan digunakan pada perhitungan matriks asal tujuan, dalam perhitungan matriks asal tujuan akan digunakan dua metode perhitungan, yaitu metode sum of square error dan metode furness.

Gambaran dari lalu lintas satu arah pada golongan 1 dapat dilihat pada Gambar 5.1



Gambar 5.1 Ilustrasi lalu lintas satu arah pada golongan 1

Metode yang akan digunakan dalam pengukuran perbedaan antara volume hasil matriks yang diperoleh dengan volume yang telah ditentukan sebelumnya dengan cara perbandingan selisih total volume adalah metode *sum of square error*, gambaran dalam perhitungan dengan metode tersebut seperti tertera pada Gambar 5.2 berikut ini.



Gambar 5.2 Ilustrasi lalu lintas satu arah pada golongan 1

1. Volume kendaraan arah 1-2 = (1-2)
2. Volume kendaraan arah 2-3 = (1-3)+(2-3)

Dimana:

- 1 = Semarang
- 2 = Sayung
- 3 = Demak

Berikut adalah cara perhitungan matriks asal tujuan kendaraan golongan 1 yang terdapat pada Tabel 5.2 – Tabel 5.12

Tabel 5. 2 Perhitungan Matriks Asal Tujuan kendaraan pada golongan 1

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	1	1	2	11,237	5618.25
Sayung	0	0	1	1	4,274	4274
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	1	2			
D	0	11,237	4,274			
Fd	0	11236.5	2137			

Tabel 5. 3 Perhitungan Matriks Asal Tujuan kendaraan pada golongan 1

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	5,618	5,618	11,237	11,237	1
Sayung	0	0	4,274	4,274	4,274	1
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	5,618	9,892			
D	0	11,237	4,274			
Fd	0	2	0.432055			

Tabel 5. 4 Perhitungan Matriks Asal Tujuan kendaraan pada golongan 1

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	11,237	2,427	13,664	11,237	0.8223
Sayung	0	0	1,847	1,847	4,274	2.3145
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	11,237	4,274			
D	0	11,237	4,274			
Fd	0	1	1			

Tabel 5. 5 Perhitungan Matriks Asal Tujuan kendaraan pada golongan 1

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	9,240	1,996	11,237	11,237	1
Sayung	0	0	4,274	4,274	4,274	1
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	9,240	6,270			
D	0	11,237	4,274			
Fd	0	1.2160	0.6816			

Tabel 5. 6 Perhitungan Matriks Asal Tujuan kendaraan pada golongan 1

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	11,237	1,361	12,597	11,237	0.8919
Sayung	0	0	2,913	2,913	4,274	1.4670
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	11,237	4,274			
D	0	11,237	4,274			
Fd	0	1	1			

Tabel 5. 7 Perhitungan Matriks Asal Tujuan kendaraan pada golongan 1

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	10,023	1,214	11,237	11,237	1
Sayung	0	0	4,274	4,274	4,274	1
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	10,023	5,488			
D	0	11,237	4,274			
Fd	0	1.1210	0.7788			

Tabel 5. 8 Perhitungan Matriks Asal Tujuan kendaraan pada golongan 1

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	11,237	945	12,182	11,237	0.9224
Sayung	0	0	3,329	3,329	4,274	1.2839
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	11,237	4,274			
D	0	11,237	4,274			
Fd	0	1	1			

Tabel 5. 9 Perhitungan Matriks Asal Tujuan kendaraan pada golongan 1

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	10,365	872	11,237	11,237	1
Sayung	0	0	4,274	4,274	4,274	1
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	10,365	5,146			
D	0	11,237	4,274			
Fd	0	1.0841	0.8305			

Tabel 5. 10 Perhitungan Matriks Asal Tujuan kendaraan pada golongan 1 iterasi ke-74

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	11,237	83	11,320	11,237	0.992
Sayung	0	0	4,191	4,191	4,274	1.019
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	11,237	4,274			
D	0	11,237	4,274			
Fd	0	1	1			

Tabel 5. 11 Hasil Matriks Asal Tujuan kendaraan pada golongan 1

	Semarang	Sayung	Demak
Semarang	0	11,237	83
Sayung	11,237	0	4,191
Demak	83	4,191	0

1. Volume kendaraan arah 1-2 = (1-2)
2. Volume kendaraan arah 2-3 = (1-3)+(2-3)

Dimana:

- 1 = Semarang
- 2 = Sayung
- 3 = Demak

Sehingga dapat dimasukkan ke dalam perhitungan selisih jumlah *sum of square error* yang terdapat pada tabel 5.12

Tabel 5. 12 Perhitungan Sum of square

	Hasil matriks	Volume	Selisih	Matriks ²
v12	11,237	11,237	0	0
v23	4,274	4,274	0	0
Total	15,511	15,511		

Hasil akhir dari matriks dapat digunakan ketika selisih jumlah volume kendaraan hampir sama atau mendekati volume awal. Berikut adalah hasil akhir matriks dan *sum of square error* pada kendaraan golongan 2 sampai golongan 5 yang ditunjukkan pada Tabel 5.13 – 5.20

Tabel 5. 13 Hasil Matriks asal tujuan kendaraan golongan 2

	Semarang	Sayung	Demak
Semarang	0	1,312	12
Sayung	1,312	0	487
Demak	12	487	0

Tabel 5. 14 Perhitungan sum of error pada golongan 2

	Hasil matriks	volume	Selisih	Matriks ²
v12	1,312	1,312	0	0
v23	499	499	0	0
Total	1,811	1,811		

Tabel 5. 15 Hasil Matriks asal tujuan kendaraan golongan 3

	Semarang	Sayung	Demak
Semarang	0	288	9
Sayung	288	0	95
Demak	9	95	0

Tabel 5. 16 Perhitungan sum of error pada golongan 3

	Hasil matriks	volume	Selisih	Matriks ²
v12	288	288	0	0
v23	105	105	0	0
Total	392	392		

Tabel 5. 17 Hasil Matriks asal tujuan kendaraan golongan 4

	Semarang	Sayung	Demak
Semarang	0	124	2
Sayung	124	0	45
Demak	2	45	0

Tabel 5. 18 Perhitungan sum of error pada golongan 4

	Hasil matriks	volume	Selisih	Matriks ²
v12	124	124	0	0
v23	47	47	0	0
Total	171	171		

Tabel 5. 19 Hasil Matriks asal tujuan kendaraan golongan 5

	Semarang	Sayung	Demak
Semarang	0	27	2
Sayung	27	0	9
Demak	2	9	0

Tabel 5. 20 Perhitungan sum of error pada golongan 5

	Hasil matriks	volume	Selisih	Matriks ²
v12	27	27	0	0
v23	11	11	0	0
Total	38	38		

5.2 Analisis Tingkat Kedatangan (λ)

Analisis tingkat kedatangan ini bertujuan untuk mendapatkan arus jam puncak dengan cara mengalikan hasil dari perhitungan rumus berikut dengan faktor k, adapun contoh perhitungannya dapat dilihat seperti di bawah ini:

$$qjp = k \times LHRT$$

Dimana:

q_{jp} = arus lalu lintas untuk perencanaan (kend./jam)

k = faktor pengubah LHRT menjadi arus lalu lintas puncak (0,11/Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia no. 3)

LHRT = Lalu lintas harian rata-rata

Q_{jp} = $0,11 \times 11,237 = 1236$ kendaraan

Hasil perhitungan matriks asal tujuan golongan 1 – golongan 5 pada tahun 2020 setelah di kalikan dengan faktor arus jam puncak dapat di lihat pada Tabel 5.22 – Tabel 5.26.

Tabel 5. 21 Anggapan umum untuk perancangan tipikal JBH4/2 dan JBH6/2 yang ideal

Tipe	JBH4/2	JBH6/2
Fungsi jalan	Arteri atau kolektor	Arteri atau kolektor
Jalur lalu lintas	2x2 lajur (masing-masing lebar lajur 3,50m)	3x2 lajur (masing-masing lebar lajur 3,50m)
Median	Ada	Ada
Bahu jalan	Lebar bahu efektif rata-rata: <ul style="list-style-type: none"> • 3,0m (dalam 0,50m dan luar 2,50m) per arah pada medan datar dan perbukitan; • 2,0m (dalam 0,25m dan luar 1,50m) per arah pada medan pegunungan. 	Lebar bahu efektif rata-rata: <ul style="list-style-type: none"> • 3,0m (dalam 0,50m dan luar 2,50m) per arah pada medan datar dan perbukitan; • 2,0m (dalam 0,25m dan luar 1,50m) per arah pada medan pegunungan.
Jarak pandang	75% dari segmen mempunyai jarak pandang $\geq 300m$ (KJP = A)	75% dari segmen mempunyai jarak pandang $\geq 300m$ (KJP = A)
Tipe alinemen	Datar, bukit, atau gunung	Datar, bukit, atau gunung
Lingkungan	Daerah luar kota	Daerah luar kota (umumnya pedalaman)
Komposisi lalu lintas	KR 63%; KS 25%; BB 8%; TR+TB 4%	KR 63%; KS 25%; BB 8%; TR+TB 4%
Faktor k	0,11 ($q_{jp} = 0,11$ LHRT)	0,11 ($q_{jp} = 0,11$ LHRT)
Pemisahan arah	50/50	50/50

Contoh perhitungan pengalihan matriks asal tujuan menggunakan faktor k sebagai berikut:

- Jumlah kendaraan golongan1 (Tabel 5.11) arah Semarang-Sayung = 11,237 kendaraan
- Faktor $k = 0,11$
- Jumlah kendaraan pada jam puncak
 $= 11,237 \times 0,11$
 $= 1,236$ kendaraan/jam

Berikut hasil matriks asal tujuan untuk gelombang 1-5 setelah menggunakan perhitungan dengan dikalika factor k yang dapat dilihat pada Tabel 5.22 hingga 5.26 berikut:

Tabel 5. 22 Matriks Asal Tujuan Arus Jam Puncak Kendaraan Golongan
1

	Semarang	Sayung	Demak
Semarang	0	1,236	9
Sayung	1,236	0	461
Demak	9	461	0

Tabel 5. 23 Matriks Asal Tujuan Arus Jam Puncak Kendaraan Golongan
2

	Semarang	Sayung	Demak
Semarang	0	144	144
Sayung	144	0	144
Demak	144	144	0

Tabel 5. 24 Matriks Asal Tujuan Arus Jam Puncak Kendaraan Golongan
3

	Semarang	Sayung	Demak
Semarang	0	32	32
Sayung	32	0	32
Demak	32	32	0

Tabel 5. 25 Matriks Asal Tujuan Arus Jam Puncak Kendaraan Golongan
4

	Semarang	Sayung	Demak
Semarang	0	124	2
Sayung	124	0	45
Demak	2	45	0

Tabel 5. 26 Matriks Asal Tujuan Arus Jam Puncak Kendaraan Golongan
5

	Semarang	Sayung	Demak
Semarang	0	3	3
Sayung	3	0	3
Demak	3	3	0

Setelah mendapatkan hasil matriks asal tujuan pada arus jam puncak, maka selanjutnya mendistribusikan kendaraan masing-masing golongan di setiap gerbang tol yang direncanakan, yaitu dengan menggunakan sistem tertutup. Hasil penjumlahan secara horizontal mendapatkan nilai kendaraan yang masuk gerbang, sedangkan hasil penjumlahan vertikal mendapatkan jumlah kendaraan keluar dari gerbang. Distribusi kendaraan tiap gerbang tol dapat dilihat pada Tabel 5.27 berikut:

Tabel 5. 27 Distribusi kendaraan keluar masuk gerbang tol golongan 1

Golongan 1				
Zona		Semarang	Sayung	Demak
Semarang	Sayung	1,236	1,236	
Semarang	Demak	9		9
Sayung	Demak		461	461
Sayung	Semarang	1,236	1,236	
Demak	Sayung		461	461
Demak	Semarang	9		9

Contoh perhitungan distribusi kendaraan golongan 1 adalah sebagai berikut:

- Jumlah kendaraan golongan 1 yang masuk ke gerbang Semarang (kuning)
 - = 1,236 + 9
 - = 1,245 kendaraan
- Jumlah kendaraan golongan 1 yang keluar ke gerbang Semarang (biru)
 - = 1,236 + 9
 - = 1,245 kendaraan

Berikut adalah hasil akhir distribusi kendaraan keluar masuk gerbang tol Semarang – Demak yang ditunjukkan pada Tabel 5.28 dan Tabel 5.29

Tabel 5. 28 Jumlah Kendaraan Masuk Tiap Gerbang

Jumlah Kendaraan Masuk			
Golongan	Semarang	Sayung	Demak
1	1245	1697	470
2	288	288	288
3	64	64	64
4	126	169	47
5	6	6	6
Total	1729	2224	875

Tabel 5. 29 Jumlah Kendaraan Keluar Tiap Gerbang

Jumlah Kendaraan Keluar			
Golongan	Semarang	Sayung	Demak
1	1245	461	470
2	288	144	288
3	64	32	64
4	126	45	47
5	6	6	6
Total	1729	688	875

Berdasarkan hasil dari perhitungan yang didapatkan sebelumnya, maka dapat disimpulkan volume masuk-keluar gerbang tol Semarang – Demak pada tahun 2020 sebagai berikut:

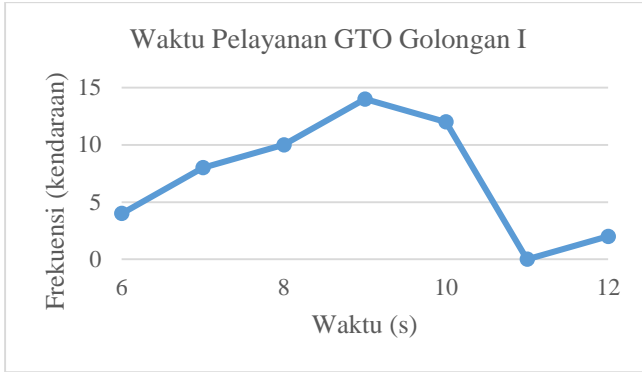
1. Gerbang I Semarang, jumlah volume kendaraan arah masuk sebesar 1,729 kend/jam, arah keluar sebesar 1,729 kend/jam.
2. Gerbang II Sayung, jumlah volume kendaraan arah masuk sebesar 2,224 kend/jam, arah keluar sebesar 688 kend/jam.
3. Gerbang III Demak, jumlah volume kendaraan arah masuk sebesar 875 kend/jam, arah keluar sebesar 875 kend/jam.

5.3 Analisis Waktu Pelayanan

Dalam perencanaan konfigurasi gerbang tol Semarang – Demak menggunakan sistem gerbang tol otomatis (GTO) dan gerbang tol *On Board Unit* (OBU) sehingga perlu diadakannya analisis waktu pelayanan untuk tiap jenis gerbang (Tabel 5.30 - Tabel 5.35). Kemudian data waktu pelayanan tiap golongan, diolahh untuk dihitung frekuensi, frekuensi kumulatif, persentase frekuensi dan persentase kumulatif tiap detik. Berikut adalah contoh perhitungan waktu pelayanan pada gerbang tol setiap golongan kendaraan.

Tabel 5. 30 Frekuensi Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis Golongan I

WP	Frekuensi	Frekuensi kumulatif	%	% Kumulatif
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	4	4	8	8
7	8	12	16	24
8	10	22	20	44
9	14	36	28	72
10	12	48	24	96
11	0	48	0	96
12	2	50	4	100



Gambar 5. 1 Grafik Frekuensi dan Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis golongan I

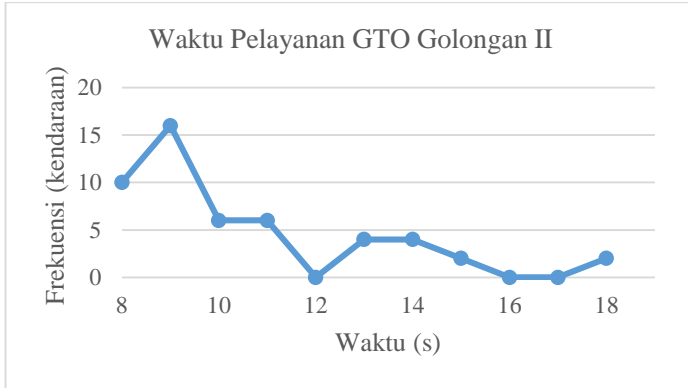
Berikut adalah penjelasan dari Tabel 5.30 dan Gambar 5.1 diatas:

Rata-rata	: 8.6 detik
Median	: 9 detik
Modus	: 9 detik
Presentase Kumulatif	: 50% = 8.58 detik
	: 80% = 9.46 detik
Waktu Pelayanan	: 9 detik

Dalam menentukan waktu pelayanan untuk golongan I dilihat dari nilai rata-rata, persentase kumulatif 50% dan presentase kumulatif 80%. Untuk menentukannya, memeriksa melalui hasil dari ketiga perhitungan tersebut yang paling mendekati dari nilai median dan modus. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai yang mendekati adalah 9 detik.

Tabel 5. 31 Frekuensi Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis Golongan
2

WP	Frekuensi	Frekuensi kumulatif	%	% Kumulatif
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	10	10	20	20
9	16	26	32	52
10	6	32	12	64
11	6	38	12	76
12	0	38	0	76
13	4	42	8	84
14	4	46	8	92
15	2	48	4	96
16	0	48	0	96
17	0	48	0	96
18	2	50	4	100



Gambar 5. 2 Grafik Frekuensi dan Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis golongan II

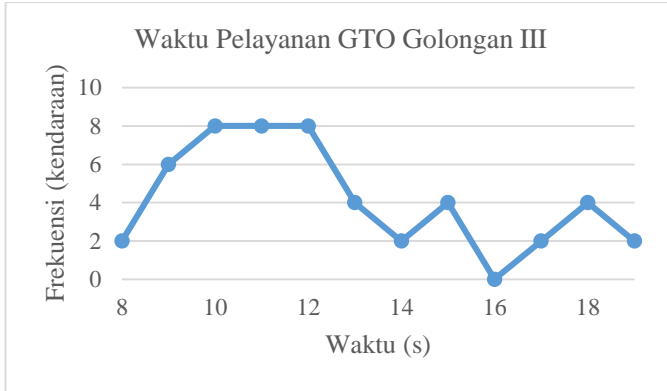
Berikut adalah penjelasan dari Tabel 5.31 dan Gambar 5.2 diatas:

Rata-rata	: 10.48 detik
Median	: 9 detik
Modus	: 9 detik
Presentase Kumulatif	: 50% = 9.27 detik
	: 80% = 13 detik
Waktu Pelayanan	: 10 detik

Dalam menentukan waktu pelayanan untuk golongan II dilihat dari nilai rata-rata, persentase kumulatif 50% dan presentase kumulatif 80%. Untuk menentukannya, memeriksa melalui hasil dari ketiga perhitungan tersebut yang paling mendekati dari nilai median dan modus. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai yang mendekati adalah 10 detik.

Tabel 5. 32 Frekuensi Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis Golongan
3

WP	Frekuensi	Frekuensi kumulatif	%	% Kumulatif
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	2	2	4	4
9	6	8	12	16
10	8	16	16	32
11	8	24	16	48
12	8	32	16	64
13	4	36	8	72
14	2	38	4	76
15	4	42	8	84
16	0	42	0	84
17	2	44	4	88
18	4	48	8	96
19	2	50	4	100



Gambar 5. 3 Grafik Frekuensi dan Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis golongan III

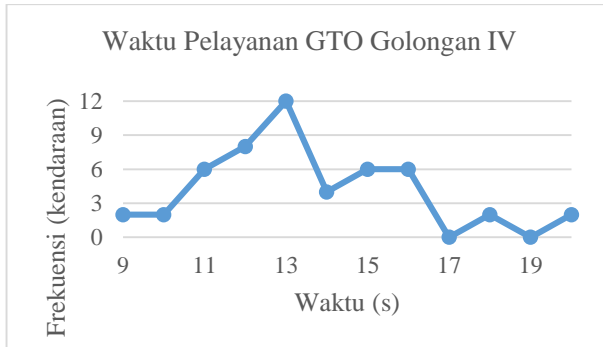
Berikut adalah penjelasan dari Tabel 5.32 dan Gambar 5.3 diatas:

Rata-rata	: 12.36 detik
Median	: 12 detik
Modus	: 10 detik
Presentase Kumulatif	: 50% = 11.5 detik
	: 80% = 14.7 detik
Waktu Pelayanan	: 12 detik

Dalam menentukan waktu pelayanan untuk golongan IV dilihat dari nilai rata-rata, persentase kumulatif 50% dan presentase kumulatif 80%. Untuk menentukannya, memeriksa melalui hasil dari ketiga perhitungan tersebut yang paling mendekati dari nilai median dan modus. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai yang mendekati adalah 12 detik.

Tabel 5. 33 Frekuensi Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis Golongan
4

WP	Frekuensi	Frekuensi kumulatif	%	% Kumulatif
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	2	2	4	4
10	2	4	4	8
11	6	10	12	20
12	8	18	16	36
13	12	30	24	60
14	4	34	8	68
15	6	40	12	80
16	6	46	12	92
17	0	46	0	92
18	2	48	4	96
19	0	48	0	96
20	2	50	4	100



Gambar 5. 4 Grafik Frekuensi dan Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis golongan IV

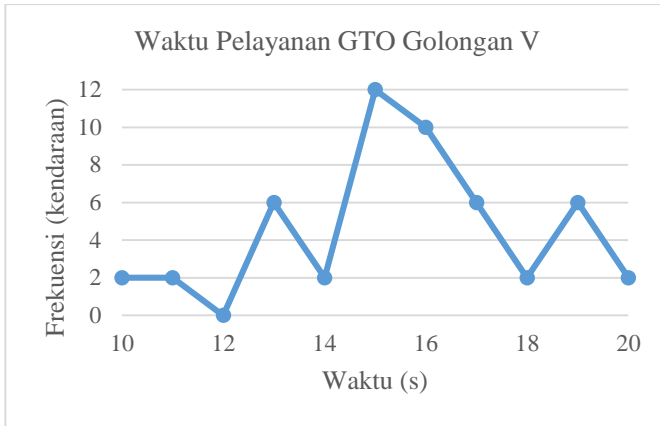
Berikut adalah penjelasan dari Tabel 5.33 dan Gambar 5.4 diatas:

Rata-rata	: 12.36 detik
Median	: 12 detik
Modus	: 13 detik
Presentase Kumulatif	: 50% = 12.6detik
	: 80% = 15 detik
Waktu Pelayanan	: 13 detik

Dalam menentukan waktu pelayanan untuk golongan IV dilihat dari nilai rata-rata, persentase kumulatif 50% dan presentase kumulatif 80%. Untuk menentukannya, memeriksa melalui hasil dari ketiga perhitungan tersebut yang paling mendekati dari nilai median dan modus. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai yang mendekati adalah 13 detik.

Tabel 5. 34 Frekuensi Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis Golongan
5

WP	Frekuensi	Frekuensi kumulatif	%	% Kumulatif
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	0	0	0	0
10	2	2	4	4
11	2	4	4	8
12	0	4	0	8
13	6	10	12	20
14	2	12	4	24
15	12	24	24	48
16	10	34	20	68
17	6	40	12	80
18	2	42	4	84
19	6	48	12	96
20	2	50	4	100



Gambar 5. 5 Grafik Frekuensi dan Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis golongan V

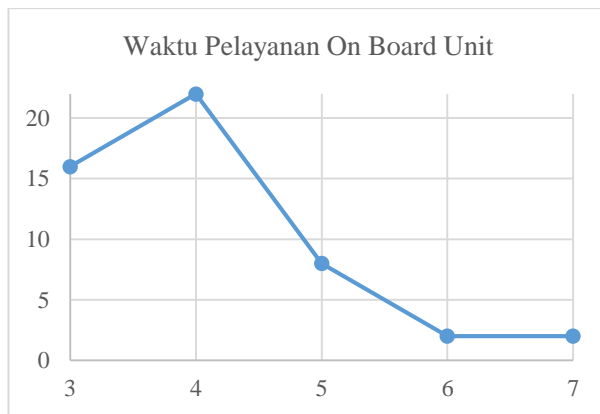
Berikut adalah penjelasan dari Tabel 5.34 dan Gambar 5.5 diatas:

Rata-rata	: 15.6 detik
Median	: 16 detik
Modus	: 15 detik
Presentase Kumulatif	: 50% = 15.5 detik
	: 80% = 17 detik
Waktu Pelayanan	: 16 detik

Dalam menentukan waktu pelayanan untuk golongan V dilihat dari nilai rata-rata, persentase kumulatif 50% dan persentase kumulatif 80%. Untuk menentukannya, memeriksa melalui hasil dari ketiga perhitungan tersebut yang paling mendekati dari nilai median dan modus. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai yang mendekati adalah 16 detik.

Tabel 5. 35 Frekuensi Waktu Pelayanan On Board Unit (OBU)

WP	Frekuensi	Frekuensi kumulatif	%	% Kumulatif
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	16	16	32	32
4	22	38	44	76
5	8	46	16	92
6	2	48	4	96
7	2	50	4	100



Gambar 5. 6 Grafik Frekuensi dan Waktu Pelayanan On Board Unit

Berikut adalah penjelasan dari Tabel 5.35 dan Gambar 5.6 diatas:

Rata-rata	: 3.96 detik
Median	: 4 detik
Modus	: 3 detik
Presentase Kumulatif	: 50% = 3.6 detik
	: 80% = 4.3 detik
Waktu Pelayanan	: 4 detik

Dalam menentukan waktu pelayanan untuk *On Board Unit* dilihat dari nilai rata-rata, persentase kumulatif 50% dan presentase kumulatif 80%. Untuk menentukannya, memeriksa melalui hasil dari ketiga perhitungan tersebut yang paling mendekati dari nilai median dan modus. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai ya10g mendekati adalah 4 detik.

5.4 Analisis Tingkat Pelayanan (μ)

Berdasarkan hasil survei yang dilakukan melalui pengamatan video bahwa hasil untuk golongan 1 menunjukkan proporsi 65% masuk gerbang tol otomatis khusus golongan I. 25% masuk ke gardu tol otomatis dan 10% masuk ke gardu tol On Board Unit. Tingkat pelayanan untuk keseluruhan gardu tol direncanakan pada tiap gerbang pada perencanaan gerbang tol Semarang – Demak.

Berikut merupakan contoh perhitungan tingkat pelayanan untuk Gerbang tol Semarang pada GTO Masuk yang dapat dilalui semua golongan kendaraan pada tahun 2020:

Waktu Pelayanan:

1. Golongan I	= 9 detik	= 3600/9	= 400
2. Golongan II	= 10 detik	= 3600/10	= 360
3. Golongan III	= 12 detik	= 3600/12	= 300
4. Golongan IV	= 13 detik	= 3600/13	= 277
5. Golongan V	= 16 detik	= 3600/16	= 225

Tingkat Kedatangan:

1. Golongan I	= 1245 x 25%	= 311 kend/jam
2. Golongan II	= 288 kend/jam	
3. Golongan III	= 64 kend/jam	
4. Golongan IV	= 126 kend/jam	
5. Golongan V	= 6 kend/jam	

$$\mu = \frac{(311 \times 400) + (288 \times 360) + (64 \times 300) + (126 \times 277) + (6 \times 225)}{311 + 288 + 64 + 126 + 6}$$

$$= 333 \text{ kend/jam}$$

Berikut adalah tabel perhitungan Tingkat Pelayanan untuk tiap gerbang tol Semarang - Demak pada tahun 2020 pada Tabel 5.36 hingga Tabel 5.37 berikut:

Tabel 5. 36 Tingkat Pelayanan Gerbang Tol Semarang – Demak Tahun 2020

Gerbang Tol	Gardu		μ
Semarang	GTO	Masuk	333
		Keluar	333
	GTO Khusus	Masuk	400
		Keluar	400
	OBU	Masuk	900
		Keluar	900

Tabel 5. 37 Tingkat Pelayanan Gerbang Tol Semarang – Demak Tahun 2025
(lanjutan)

Sayung	GTO	Masuk	338
		Keluar	327
	GTO Khusus	Masuk	400
		Keluar	400
	OBU	Masuk	900
		Keluar	900
Demak	GTO	Masuk	317
		Keluar	317
	GTO Khusus	Masuk	400
		Keluar	400
	OBU	Masuk	900
		Keluar	900

5.5 Analisis Intensitas Lalu Lintas Tahun 2020

Data waktu pelayanan yang telah diolah kemudian digunakan untuk menghitung intensitas lalu lintas pada tahun 2020.

Jumlah gardu tol rencana (N) yang terlampir pada tabel merupakan asumsi yang perlu diperhitungkan kembali untuk dikontrol menggunakan perbandingan dari hasil tingkat pelayanan (λ) dan tingkat kedatangan (μ). Berikut merupakan asumsi jumlah gardu tol yang direncanakan dapat dilihat pada tabel 5.38 berikut

Tabel 5. 38 Jumlah Rencana Gardu Tol Tiap Gerbang Tahun 2020

Gerbang Tol	Gardu		N
Semarang	GTO	Masuk	4
		Keluar	4

Tabel 5. 39 Jumlah Rencana Gardu Tol Tiap Gerbang Tahun 2020
(Lanjutan)

Gerbang Tol	Gardu		N
Semarang	GTO Khusus	Masuk	3
		Keluar	3
	OBU	Masuk	1
		Keluar	1
Sayung	GTO	Masuk	4
		Keluar	4
	GTO Khusus	Masuk	4
		Keluar	4
	OBU	Masuk	1
		Keluar	1
Demak	GTO	Masuk	3
		Keluar	3
	GTO Khusus	Masuk	2
		Keluar	2
	OBU	Masuk	1
		Keluar	1

5.6 Analisis Intensitas Gerbang Tol

Untuk merencanakan intensitas gerbang tol Semarang-Demak proporsi yang masuk untuk setiap jenis gerbang tol pada kendaraan golongan I sesuai hasil yang telah dihitung pada sub-bab 5.4 Analisis Tingkat Pelayanan (μ) yang didesain menggunakan sistem gardu tol otomatis, GTO Khusus dan On Board Unit. Untuk kendaraan golongan II hingga golongan V didesain menggunakan sistem gardu tol otomatis saja.

Berikut merupakan contoh analisis intensitas lalu lintas pada gerbang tol Semarang pada tahun 2020 arah masuk, dapat dilihat pada Tabel 5.40 hingga Tabel 5.41

Tabel 5. 40 Kendaraan Masuk Gerbang Tol Semarang

Jumlah Kendaraan Masuk Gerbang Tol	
Golongan	Semarang
1	1245
2	288
3	64
4	126
5	6
Total	1729

$$\begin{aligned}
 \lambda_1 \text{ gardu tol otomatis khusus Gol. I} &= 1245 \times 65\% &= 809 \\
 \lambda_2 \text{ gardu tol otomatis} &= 1245 \times 25\% + (288+64+126+6) &= 795 \\
 \lambda_3 \text{ gardu tol On Board Unit} &= 1245 \times 10\% &= 125
 \end{aligned}$$

Tabel 5. 41 Waktu Pelayanan Gerbang Tol Semarang

Gerbang Tol	Gardu		μ (kend/jam)
Semarang	GTO	Masuk	333
	GTO Khusus	Masuk	400
	OBU	Masuk	900

Gardu Tol Masuk

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah (N}_1\text{) Gardu Tol Otomatis Khusus Gol.I} &= 3 \text{ gardu} \\
 \text{Jumlah (N}_2\text{) Gardu Tol Otomatis} &= 3 \text{ gardu} \\
 \text{Jumlah (N}_3\text{) Gardu On Board Unit} &= 1 \text{ gardu} \\
 \lambda_1 \text{ Gardu Tol Otomatis Khusus Gol.I} &= 809 \text{ kend/jam} \\
 \lambda_2 \text{ Gardu Tol Otomatis} &= 795 \text{ kend/jam}
 \end{aligned}$$

λ_3 Gardu On Board Unit	= 125 kend/jam
μ_1 Gardu Tol Otomatis Khusus Gol.I	= 400 kend/jam
μ_2 Gardu Tol Otomatis	= 333 kend/jam
μ_3 Gardu On Board Unit	= 900 kend/jam

➤ **Gardu Tol Otomatis Khusus Golongan I**

$$\rho_1 = \frac{\lambda_1/N_1}{\mu_1} = \frac{809/3}{400} = 0,674 < 1 \text{ (OK)}$$

➤ **Gardu Tol Otomatis**

$$\rho_2 = \frac{\lambda_2/N_2}{\mu_2} = \frac{795/3}{333} = 0,796 < 1 \text{ (OK)}$$

➤ **Gardu Tol On Board Unit**

$$\rho_3 = \frac{\lambda_3/N_3}{\mu_3} = \frac{125/1}{900} = 0,138 < 1 \text{ (OK)}$$

Setelah menganalisis nilai dari intensitas kedatangan di tiap gardu tol yaitu ρ_1 , ρ_2 dan $\rho_3 < 1$ sesuai dengan ketentuan untuk sistem antrian gerbang tol dimana yang telah dijelaskan pada sub bab 2.7 yaitu

$$\rho = \lambda / \mu < 1 \quad (2.8)$$

Maka, intensitas lalu lintas yang terdapat pada gerbang tol Semarang dinyatakan aman menggunakan gardu tol otomatis khusus sebanyak 3 gardu, gardu tol otomatis sebanyak 3 gardu, dan gardu tol on board unit sebanyak 1 gardu.

Berikut merupakan contoh analisis intensitas lalu lintas pada gerbang tol Semarang pada tahun 2020 arah keluar, dapat dilihat pada Tabel 5.42 hingga Tabel 5.43

Tabel 5. 42 Kendaraan Keluar Gerbang Tol Semarang

Jumlah Kendaraan Keluar Gerbang Tol	
Golongan	Semarang
1	1245
2	288
3	64
4	126
5	6
Total	1729

$$\begin{aligned} \lambda_1 \text{ gardu tol otomatis khusus Gol. I} &= 1245 \times 65\% &&= 809 \\ \lambda_2 \text{ gardu tol otomatis} &= 1245 \times 25\% + (288+64+126+6) &&= 795 \\ \lambda_3 \text{ gardu tol On Board Unit} &= 1245 \times 10\% &&= 125 \end{aligned}$$

Tabel 5. 43 Waktu Pelayanan Gerbang Tol Semarang

Gerbang Tol	Gardu		μ (kend/jam)
Semarang	GTO	Keluar	333
	GTO Khusus	Keluar	400
	OBU	Keluar	900

Gardu Tol Keluar

$$\begin{aligned} \text{Jumlah } (N_1) \text{ Gardu Tol Otomatis Khusus Gol.I} &= 3 \text{ gardu} \\ \text{Jumlah } (N_2) \text{ Gardu Tol Otomatis} &= 3 \text{ gardu} \\ \text{Jumlah } (N_3) \text{ Gardu On Board Unit} &= 1 \text{ gardu} \\ \lambda_1 \text{ Gardu Tol Otomatis Khusus Gol.I} &= 809 \text{ kend/jam} \\ \lambda_2 \text{ Gardu Tol Otomatis} &= 795 \text{ kend/jam} \\ \lambda_3 \text{ Gardu On Board Unit} &= 125 \text{ kend/jam} \\ \mu_1 \text{ Gardu Tol Otomatis Khusus Gol.I} &= 400 \text{ kend/jam} \\ \mu_2 \text{ Gardu Tol Otomatis} &= 333 \text{ kend/jam} \\ \mu_3 \text{ Gardu On Board Unit} &= 900 \text{ kend/jam} \end{aligned}$$

➤ Gardu Tol Otomatis Khusus Golongan I

$$\rho_1 = \frac{\lambda_1/N_1}{\mu_1} = \frac{809/3}{400} = 0,674 < 1 \text{ (OK)}$$

➤ **Gardu Tol Otomatis**

$$\rho_2 = \frac{\lambda_2/N_2}{\mu_2} = \frac{795/3}{333} = 0,796 < 1 \text{ (OK)}$$

➤ **Gardu Tol On Board Unit**

$$\rho_3 = \frac{\lambda_3/N_3}{\mu_3} = \frac{125/1}{900} = 0,138 < 1 \text{ (OK)}$$

Setelah menganalisis nilai dari intensitas kedatangan di tiap gardu tol yaitu ρ_1 , ρ_2 dan $\rho_3 < 1$ sesuai dengan ketentuan untuk sistem antrian gerbang tol dimana yang telah dijelaskan pada sub bab 2.7 yaitu

$$\rho = \lambda / \mu < 1 \quad (2.8)$$

Maka, intensitas lalu lintas masuk yang terdapat pada gerbang tol Semarang dinyatakan aman menggunakan gardu tol otomatis khusus sebanyak 3 gardu, gardu tol otomatis sebanyak 3 gardu, dan gardu tol on board unit sebanyak 1 gardu.

Berikut merupakan tabel dari hasil perhitungan analisis lalu lintas untuk di setiap gerbang tol dapat dilihat di Tabel 5.44 dibawah ini:

Tabel 5. 44 Intensitas Lalu Lintas Gerbang Tol Semarang – Demak Tahun 2020

Gerbang Tol	Gardu		N (buah)	λ (kend)	μ (kend/jam)	ρ
Semarang	GTO	Masuk	3	795	333	0.796
		Keluar	3	795	333	0.796
	GTO Khusus	Masuk	3	809	400	0.674
		Keluar	3	809	400	0.674
	OBU	Masuk	1	125	900	0.138
		Keluar	1	125	900	0.138
Sayung	GTO	Masuk	4	968	338	0.715
		Keluar	4	347	327	0.265
	GTO Khusus	Masuk	4	1086	400	0.679
		Keluar	4	327	400	0.184
	OBU	Masuk	1	170	900	0.189
		Keluar	1	46	900	0.051
11Demak	GTO	Masuk	3	527	317	0.555
		Keluar	3	527	317	0.555
	GTO Khusus	Masuk	1	301	400	0.752
		Keluar	1	301	400	0.752
	OBU	Masuk	1	47	900	0.052
		Keluar	1	47	900	0.052

Keterangan:

N = Jumlah Gardu

λ = Jumlah Kendaraan (kendaraan)

μ = Tingkat Pelayanan (kendaraan/jam)

ρ = Intensitas Kendaraan

Setelah menganalisis nilai dari intensitas kedatangan di tiap gardu tol yaitu ρ_1 , ρ_2 dan $\rho_3 < 1$ sesuai dengan ketentuan untuk sistem antrian gerbang tol dimana yang telah dijelaskan pada sub bab 2.7 yaitu:

$$\rho = \lambda / \mu < 1 \quad (2.8)$$

Maka, intensitas lalu lintas keluar yang terdapat pada gerbang tol Semarang dinyatakan aman menggunakan gardu tol otomatis khusus sebanyak 3 gardu, gardu tol otomatis sebanyak 3 gardu, dan gardu tol on board unit sebanyak 1 gardu.

5.7 Analisis Antrian pada Gerbang Tol Tahun 2020

Setelah melakukan perhitungan intensitas lalu lintas dan gardu tol, dengan menggunakan hasil perhitungan tersebut akan digunakan untuk menghitung analisis antrian tahun 2020 menggunakan metode antrian FIFO (*First In First Out*). Analisis antrian pada gerbang tol dilakukan untuk mengetahui panjang natruan dan waktu antrian pada perencanaan gerbang tol Semarang-Demak.

Berikut merupakan contoh perhitungan analisis antrian yang masuk gerbang tol Semarang pada tahun 2020:

Gardu Tol Masuk:

Jumlah (N_1) Gardu Tol Otomatis Khusus Gol.I	= 3 gardu
Jumlah (N_2) Gardu Tol Otomatis	= 3 gardu
Jumlah (N_3) Gardu On Board Unit	= 1 gardu
λ_1 Gardu Tol Otomatis Khusus Gol.I	= 809 kend/jam
λ_2 Gardu Tol Otomatis	= 795 kend/jam
λ_3 Gardu On Board Unit	= 125 kend/jam
μ_1 Gardu Tol Otomatis Khusus Gol.I	= 400 kend/jam
μ_2 Gardu Tol Otomatis	= 333 kend/jam
μ_3 Gardu On Board Unit	= 900 kend/jam
ρ_1	= 0,674
ρ_2	= 0,796
ρ_3	= 0,138

➤ **Gardu Tol Otomatis Khusus**

$$\bar{n} = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,674}{1-0,674} = 2,07 \approx 3 \text{ kendaraan}$$

$$\bar{q} = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,674^2}{1-0,674} = 1,393 \approx 2 \text{ kendaraan} < 10 \text{ kendaraan}$$

$$\bar{d} = \frac{1}{\mu-\lambda/N} = \frac{1}{400-809/3} \times 3600 = 28 \text{ detik}$$

$$\bar{w} = \bar{d} - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 28 - \frac{1}{400} \times 3600 = 19 \text{ detik}$$

➤ **Gardu Tol Otomatis**

$$\bar{n} = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,796}{1-0,796} = 3,901 \approx 4 \text{ kendaraan}$$

$$\bar{q} = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,796^2}{1-0,796} = 3,105 \approx 4 \text{ kendaraan} < 10 \text{ kendaraan}$$

$$\bar{d} = \frac{1}{\mu-\lambda/N} = \frac{1}{333-795/3} \times 3600 = 53 \text{ detik}$$

$$\bar{w} = \bar{d} - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 53 - \frac{1}{333} \times 3600 = 43 \text{ detik}$$

➤ **Gardu Tol On Board Unit**

$$\bar{n} = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,138}{1-0,138} = 0,16 \approx 1 \text{ kendaraan}$$

$$\bar{q} = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,809^2}{1-0,809} = 0,022 \approx 1 \text{ kendaraan} < 10 \text{ kendaraan}$$

$$\bar{d} = \frac{1}{\mu-\lambda/N} = \frac{1}{900-125/1} \times 3600 = 5 \text{ detik}$$

$$\bar{w} = \bar{d} - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 5 - \frac{1}{900} \times 3600 = 1 \text{ detik}$$

Berikut merupakan contoh perhitungan analisis antrian yang keluar gerbang tol Semarang pada tahun 2020:

Gardu Tol Keluar:

Jumlah (N_1) Gardu Tol Otomatis Khusus Gol.I	= 3 gardu
Jumlah (N_2) Gardu Tol Otomatis	= 3 gardu
Jumlah (N_3) Gardu On Board Unit	= 1 gardu
λ_1 Gardu Tol Otomatis Khusus Gol.I	= 809 kend/jam
λ_2 Gardu Tol Otomatis	= 795 kend/jam
λ_3 Gardu On Board Unit	= 125 kend/jam
μ_1 Gardu Tol Otomatis Khusus Gol.I	= 400 kend/jam
μ_2 Gardu Tol Otomatis	= 333 kend/jam
μ_3 Gardu On Board Unit	= 900 kend/jam
ρ_1	= 0,674
ρ_2	= 0,796
ρ_3	= 0,138

➤ **Gardu Tol Otomatis Khusus**

$$\bar{n} = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,674}{1-0,674} = 2,07 \approx 3 \text{ kendaraan}$$

$$\bar{q} = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,674^2}{1-0,674} = 1,393 \approx 2 \text{ kendaraan} < 10 \text{ kendaraan}$$

$$\bar{d} = \frac{1}{\mu - \lambda/N} = \frac{1}{400 - 809/3} \times 3600 = 28 \text{ detik}$$

$$\bar{w} = \bar{d} - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 28 - \frac{1}{400} \times 3600 = 19 \text{ detik}$$

➤ **Gardu Tol Otomatis**

$$\bar{n} = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,796}{1-0,796} = 3,901 \approx 4 \text{ kendaraan}$$

$$\bar{q} = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,796^2}{1-0,796} = 3,105 \approx 4 \text{ kendaraan} < 10 \text{ kendaraan}$$

$$\bar{d} = \frac{1}{\mu - \lambda/N} = \frac{1}{333 - 795/3} \times 3600 = 53 \text{ detik}$$

$$\bar{w} = \bar{d} - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 53 - \frac{1}{333} \times 3600 = 43 \text{ detik}$$

➤ **Gardu Tol On Board Unit**

$$\bar{n} = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,138}{1-0,138} = 0,16 \approx 1 \text{ kendaraan}$$

$$\bar{q} = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,809^2}{1-0,809} = 0,022 \approx 1 \text{ kendaraan} < 10 \text{ kendaraan}$$

$$\bar{d} = \frac{1}{\mu - \lambda/N} = \frac{1}{900 - 125/1} \times 3600 = 5 \text{ detik}$$

$$\bar{w} = \bar{d} - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 5 - \frac{1}{900} \times 3600 = 1 \text{ detik}$$

Berikut merupakan tabel dari hasil perhitungan analisis antrian untuk di setiap gerbang tol Semarang – Demak dapat dilihat di Tabel 5.45 hingga Tabel 5.46 dibawah ini:

Tabel 5. 45 Hasil analisis antrisan gerbang tol Semarang-Demak tahun 2020

Gerbang Tol	Gardu		n (kend)	q (kend)	d (dtk)	w (dtk)
Semarang	GTO	Masuk	4	4	53	43
		Keluar	4	4	53	43
	GTO Khusus	Masuk	3	2	28	19
		Keluar	3	2	28	19
	OBU	Masuk	1	1	5	1
		Keluar	1	1	5	1
Sayung	GTO	Masuk	3	2	37	27
		Keluar	1	1	15	4
	GTO Khusus	Masuk	3	2	28	20
		Keluar	1	1	11	3
	OBU	Masuk	1	1	5	1
		Keluar	4	4	53	43

Tabel 5. 46 Hasil analisis antrian gerbang tol Semarang-Demak tahun 2020
(lanjutan)

Gerbang Tol	Gardu		n (kend)	q (kend)	d (dtk)	w (dtk)
Demak	GTO	Masuk	1	1	4	1
		Keluar	2	1	26	15
	GTO Khusus	Masuk	2	1	26	15
		Keluar	4	3	36	28
	OBU	Masuk	4	3	36	28
		Keluar	1	1	4	1

Keterangan:

\bar{n} = Jumlah kendaraan atau orang dalam sistem

\bar{q} = Jumlah kendaraan atau orang dalam antrian

\bar{d} = Waktu kendaraan atau orang dalam sistem

\bar{w} = Waktu kendaraan atau orang dalam antrian

Setelah dilakukan perhitungan analisis, nilai $\bar{q} < 10$ kendaraan pada setiap gerbang tol, maka dapat dinyatakan aman.

Berdasarkan hasil perhitungan yang didaotkan melalui analisis intensitas lalu lintas dan gerbang tol maka diperoleh jumlah gerbang tol Semarang – Demak pada tahun 2020 sebagai berikut:

1. Gerbang Semarang

Arah Masuk

- Gardu tol otomatis khusus Golongan I = 3 gardu
- Gardu tol otomatis = 3 gardu
- Gardu tol *On Board Unit* = 1 gardu

Arah Keluar

- Gardu tol otomatis khusus Golongan I = 3 gardu
- Gardu tol otomatis = 3 gardu

- Gardu tol *On Board Unit* = 1 gardu

2. Gerbang Sayung

Arah Masuk

- Gardu tol otomatis khusus Golongan I = 4 gardu
- Gardu tol otomatis = 4 gardu
- Gardu tol *On Board Unit* = 1 gardu

Arah Keluar

- Gardu tol otomatis khusus Golongan I = 4 gardu
- Gardu tol otomatis = 4 gardu
- Gardu tol *On Board Unit* = 1 gardu

3. Gerbang Demak

Arah Masuk

- Gardu tol otomatis khusus Golongan I = 1 gardu
- Gardu tol otomatis = 3 gardu
- Gardu tol *On Board Unit* = 1 gardu

Arah Keluar

- Gardu tol otomatis khusus Golongan I = 1 gardu
- Gardu tol otomatis = 3 gardu
- Gardu tol *On Board Unit* = 1 gardu

5.8 Perencanaan Gerbang Tol Semarang Demak Tahun 2025

Data Volume lalu lintas jalan tol rencana tahu 2025 yang ada pada Tabel 5.47 dibawah adalah data kumulatif dari ruas terkait, maka terlebih dahulu dibagi menjadi dua arah yaitu kendaraan yang menuju ke arah Semarang dan kendaraan yang menuju ke arah Demak dengan cara membagi 2 volume lalu lintas

tiap simpang susun seperti yang ada pada Tabel 5.49. Berikut contoh perhitungan matriks asal tujuan

Tabel 5. 47 Volume Lalu Lintas Jalan Tol Semarang-Demak satu arah

Uraian	Semarang - Sayung	Sayung- Demak
Gol I	26,903	13,889
Gol II	3,140	1,621
Gol III	659	340
Gol IV	295	152
Gol V	65	34

Tabel 5. 48 Volume Lalu Lintas Jalan Tol Semarang-Demak satu arah

Uraian	Semarang - Sayung	Sayung- Demak
Gol I	13,452	6,945
Gol II	1,570	811
Gol III	330	170
Gol IV	148	76
Gol V	33	17

Dalam perhitungan matriks asal tujuan akan digunakan dua metode perhitungan, yaitu metode sum of square error dan metode furness.

Tabel 5. 49 Perhitungan Matriks Asal Tujuan kendaraan pada golongan 1

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	1	1	2	13,452	6725.75
Sayung	0	0	1	1	6,945	6944.5
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	1	2			
D	0	13,452	6,945			
Fd	0	13451.5	3472.25			

Tabel 5. 50 Perhitungan Matriks Asal Tujuan kendaraan pada golongan 1

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	6,726	6,726	13,452	13,452	1
Sayung	0	0	6,945	6,945	6,945	1
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	6,726	13,670			
D	0	13,452	6,945			
Fd	0	2	0.508001			

Tabel 5. 51 Perhitungan Matriks Asal Tujuan kendaraan pada golongan 1

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	13,452	3,417	16,868	13,452	0.797448
Sayung	0	0	3,528	3,528	6,945	1.9685
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	13,452	6,945			
D	0	13,452	6,945			
Fd	0	1	1			

Tabel 5. 52 Perhitungan Matriks Asal Tujuan kendaraan pada golongan 1

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	10,727	2,725	13,452	13,452	1
Sayung	0	0	6,945	6,945	6,945	1
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	10,727	9,669			
D	0	13,452	6,945			
Fd	0	1.254	0.718214			

Tabel 5. 53 Perhitungan Matriks Asal Tujuan kendaraan pada golongan 1

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	13,452	1,957	15,408	13,452	0.873
Sayung	0	0	4,988	4,988	6,945	1.392
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	13,452	6,945			
D	0	13,452	6,945			
Fd	0	1	1			

Tabel 5. 54 Perhitungan Matriks Asal Tujuan kendaraan pada golongan 1

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	11,743	1,708	13,452	13,452	1
Sayung	0	0	6,945	6,945	6,945	1
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	11,743	8,653			
D	0	13,452	6,945			
Fd	0	1.145476	0.802569			

Tabel 5. 55 Perhitungan Matriks Asal Tujuan kendaraan pada golongan 1

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	13,452	1,371	14,823	13,452	0.908
Sayung	0	0	5,573	5,573	6,945	1.246
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	13,452	6,945			
D	0	13,452	6,945			
Fd	0	1	1			

Tabel 5. 56 Perhitungan Matriks Asal Tujuan kendaraan pada golongan 1

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	12,207	1,244	13,452	13,452	1
Sayung	0	0	6,945	6,945	6,945	1
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	12,207	8,189			
D	0	13,452	6,945			
Fd	0	1.101926	0.848055			

Tabel 5. 57 Perhitungan Matriks Asal Tujuan kendaraan pada golongan 1
iterasi ke-74

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	13,452	123	13,574	13,452	0.99096
Sayung	0	0	6,822	6,822	6,945	1.01798
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	13,452	6,945			
D	0	13,452	6,945			
Fd	0	1	1			

Tabel 5. 58 Hasil Matriks Asal Tujuan kendaraan pada golongan 1

	Semarang	Sayung	Demak
Semarang	0	13,452	123
Sayung	13,452	0	6,822
Demak	123	6,822	0

Volume kendaraan arah 1-2 = (1-2)

Volume kendaraan arah 2-3 = (1-3)+(2-3)

Dimana:

- 1 = Semarang
- 2 = Sayung
- 3 = Demak

Sehingga dapat dimasukkan ke dalam perhitungan selisih jumlah *sum of square error* yang terdapat pada tabel 5.59

Tabel 5. 59 Perhitungan Sum of square

	Hasil matriks	Volume	Selisih	Matriks ²
v12	13,452	13,452	0	0
v23	6,945	6,945	0	0
Total	20,396	20,396		

Hasil akhir dari matriks dapat digunakan ketika selisih jumlah volume kendaraan hampir sama atau mendekati volume awal. Berikut adalah hasil akhir matriks dan *sum of square error* pada kendaraan golongan 2 sampai golongan 5 yang ditunjukkan pada Tabel 5.60 – 5.67

Tabel 5. 60 Hasil Matriks asal tujuan kendaraan golongan 2

	Semarang	Sayung	Demak
Semarang	0	1,570	18
Sayung	1,570	0	793
Demak	18	793	0

Tabel 5. 61 Perhitungan sum of error pada golongan 2

	Hasil matriks	volume	Selisih	Matriks ²
v12	1,570	1,570	0	0
v23	811	811	0	0
Total	2,381	2,381		

Tabel 5. 62 Hasil Matriks asal tujuan kendaraan golongan 3

	Semarang	Sayung	Demak
Semarang	0	330	13
Sayung	330	0	157
Demak	13	157	0

Tabel 5. 63 Perhitungan sum of error pada golongan 3

	Hasil matriks	volume	Selisih	Matriks ²
v12	330	330	0	0
v23	170	170	0	0
Total	500	500		

Tabel 5. 64 Hasil Matriks asal tujuan kendaraan golongan 4

	Semarang	Sayung	Demak
Semarang	0	148	2
Sayung	148	0	74
Demak	2	74	0

Tabel 5. 65 Perhitungan sum of error pada golongan 4

	Hasil matriks	volume	Selisih	Matriks ²
v12	148	148	0	0
v23	76	76	0	0
Total	224	224		

Tabel 5. 66 Hasil Matriks asal tujuan kendaraan golongan 5

	Semarang	Sayung	Demak
Semarang	0	33	3
Sayung	33	0	14
Demak	3	14	0

Tabel 5. 67 Perhitungan sum of error pada golongan 5

	Hasil matriks	volume	Selisih	Matriks ²
v12	33	33	0	0
v23	17	17	0	0
Total	50	50		

5.8.1 Analisis Tingkat Kedatangan (λ)

Analisis tingkat kedatangan ini bertujuan untuk mendapatkan arus jam puncak dengan cara mengalikan hasil dari perhitungan rumus berikut dengan faktor k, adapun contoh perhitungannya dapat dilihat seperti di bawah ini:

$q_{jp} = k \times LHRT$ Dimana:

q_{jp} = arus lalu lintas untuk perencanaan (kend./jam)

k = faktor pengubah LHRT menjadi arus lalu lintas puncak (0,11/Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia no. 3)

LHRT = Lalu lintas harian rata-rata

Q_{jp} = $0,11 \times 13452 = 1480$ kendaraan

Hasil perhitungan matriks asal tujuan golongan 1 – golongan 5 pada tahun 2025 setelah di kalikan dengan faktor arus jam puncak dapat di lihat pada Tabel 5.69 – Tabel 5.73.

Tabel 5. 68 Anggapan umum untuk perancangan tipikal JBH4/2 dan JBH6/2

Tipe	JBH4/2	JBH6/2
Fungsi jalan	Arteri atau kolektor	Arteri atau kolektor
Jalur lalu lintas	2x2 lajur (masing-masing lebar lajur 3,50m)	3x2 lajur (masing-masing lebar lajur 3,50m)
Median	Ada	Ada
Bahu jalan	Lebar bahu efektif rata-rata: <ul style="list-style-type: none"> • 3,0m (dalam 0,50m dan luar 2,50m) per arah pada medan datar dan perbukitan; • 2,0m (dalam 0,25m dan luar 1,50m) per arah pada medan pegunungan. 	Lebar bahu efektif rata-rata: <ul style="list-style-type: none"> • 3,0m (dalam 0,50m dan luar 2,50m) per arah pada medan datar dan perbukitan; • 2,0m (dalam 0,25m dan luar 1,50m) per arah pada medan pegunungan.
Jarak pandang	75% dari segmen mempunyai jarak pandang $\geq 300m$ (KJP = A)	75% dari segmen mempunyai jarak pandang $\geq 300m$ (KJP = A)
Tipe alinemen	Datar, bukit, atau gunung	Datar, bukit, atau gunung
Lingkungan	Daerah luar kota	Daerah luar kota (umumnya pedalaman)
Komposisi lalu lintas	KR 63%; KS 25%; BB 8%; TR+TB 4%	KR 63%; KS 25%; BB 8%; TR+TB 4%
Faktor k	0,11 ($q_{j,p} = 0,11$ LHRT)	0,11 ($q_{j,p} = 0,11$ LHRT)
Pemisahan arah	50/50	50/50

Contoh perhitungan pengalihan matriks asal tujuan menggunakan faktor k sebagai berikut:

Jumlah kendaraan golongan 1 (Tabel 5.11) arah Semarang-Sayung = 13,452 kendaraan

Faktor $k = 0,11$

Jumlah kendaraan pada jam puncak

$$= 13,452 \times 0,11$$

$$= 1,480 \text{ kendaraan/jam}$$

Berikut hasil matriks asal tujuan untuk gelombang 1-5 setelah menggunakan perhitungan dengan dikalikan factor k yang dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 5. 69 Matriks Asal Tujuan Arus Jam Puncak Kendaraan Golongan

1

	Semarang	Sayung	Demak
Semarang	0	1,480	13
Sayung	1,480	0	750
Demak	13	750	0

Tabel 5. 70 Matriks Asal Tujuan Arus Jam Puncak Kendaraan Golongan

2

	Semarang	Sayung	Demak
Semarang	0	173	173
Sayung	173	0	173
Demak	173	173	0

Tabel 5. 71 Matriks Asal Tujuan Arus Jam Puncak Kendaraan Golongan
3

	Semarang	Sayung	Demak
Semarang	0	36	36
Sayung	36	0	36
Demak	36	36	0

Tabel 5. 72 Matriks Asal Tujuan Arus Jam Puncak Kendaraan Golongan
4

	Semarang	Sayung	Demak
Semarang	0	16	16
Sayung	16	0	16
Demak	16	16	0

Tabel 5. 73 Matriks Asal Tujuan Arus Jam Puncak Kendaraan Golongan
5

	Semarang	Sayung	Demak
Semarang	0	4	4
Sayung	4	0	4
Demak	4	4	0

Setelah mendapatkan hasil matriks asal tujuan pada arus jam puncak, maka selanjutnya mendistribusikan kendaraan masing-masing golongan di setiap gerbang tol yang direncanakan, yaitu dengan menggunakan sistem tertutup. Hasil penjumlahan secara horizontal mendapatkan nilai kendaraan yang masuk gerbang, sedangkan hasil penjumlahan vertical mendapatkan jumlah kendaraan keluar dari gerbang. Distribusi kendaraan tiap gerbang tol dapat dilihat pada Tabel 5.74 berikut:

Tabel 5. 74 Distribusi kendaraan keluar masuk gerbang tol golongan 1

Golongan 1				
Zona		Semarang	Sayung	Demak
Semarang	Sayung	1480	1480	
Semarang	Demak	13		13
Sayung	Demak		750	750
Sayung	Semarang	1480	1480	
Demak	Sayung		750	750
Demak	Semarang	13		13

Contoh perhitungan distribusi kendaraan golongan 1 adalah sebagai berikut:

Jumlah kendaraan golongan 1 yang masuk ke gerbang Semarang (kuning)

$$= 1,480 + 13$$

$$= 1,493 \text{ kendaraan}$$

Jumlah kendaraan golongan 1 yang keluar ke gerbang Semarang (biru)

$$= 1,480 + 13$$

$$= 1,493 \text{ kendaraan}$$

Berikut adalah hasil akhir distribusi kendaraan keluar masuk gerbang tol Semarang – Demak yang ditunjukkan pada Tabel 5.72 dan Tabel 5.75 – Tabel 5.76 dibawah ini

Tabel 5. 75 Jumlah Kendaraan Masuk Tiap Gerbang

Jumlah Kendaraan Masuk			
Golongan	Semarang	Sayung	Demak
1	1493	2230	763
2	346	346	346
3	72	72	72
4	126	169	47
5	8	8	8
Total	2045	2825	1236

Tabel 5. 76 Jumlah Kendaraan Keluar Tiap Gerbang

Jumlah Kendaraan Keluar			
Golongan	Semarang	Sayung	Demak
1	1493	750	763
2	346	173	346
3	72	36	72
4	126	45	47
5	8	8	8
Total	2045	1012	1236

Berdasarkan hasil dari perhitungan yang didapatkan sebelumnya, maka dapat disimpulkan volume masuk-keluar gerbang tol Semarang – Demak pada tahun 2020 sebagai berikut:

- 1) Gerbang I Semarang, jumlah volume kendaraan arah masuk sebesar 2,045 kend/jam, arah keluar sebesar 2,045 kend/jam.
- 2) Gerbang II Sayung, jumlah volume kendaraan arah masuk sebesar 2,825 kend/jam, arah keluar sebesar 1,012 kend/jam.

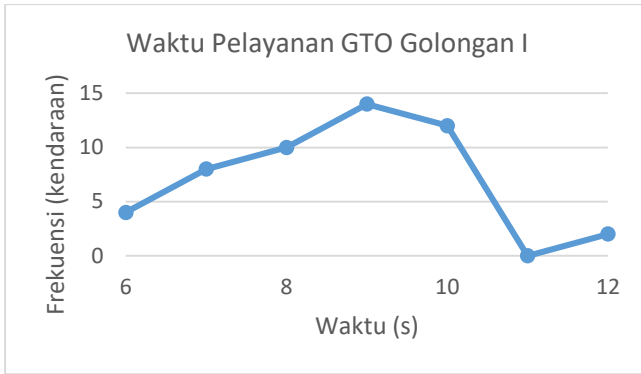
- 3) Gerbang III Demak, jumlah volume kendaraan arah masuk sebesar 1,236 kend/jam, arah keluar sebesar 1,236 kend/jam.

5.8.2 Analisis Waktu Pelayanan

Dalam perencanaan konfigurasi gerbang tol Semarang – Demak menggunakan sistem gerbang tol otomatis (GTO) dan gerbang tol *On Board Unit* (OBU) sehingga perlu diadakannya analisis waktu pelayanan untuk tiap jenis gerbang (Tabel 5.77 - Tabel 5.82). Kemudian data waktu pelayanan tiap golongan, diolahh untuk dihitung frekuensi, frekuensi kumulatif, persentase frekuensi dan persentase kumulatif tiap detik. Berikut adalah contoh perhitungan waktu pelayanan pada gerbang tol setiap golongan kendaraan.

Tabel 5. 77 Frekuensi Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis Golongan
1

WP	Frekuensi	Frekuensi kumulatif	%	% Kumulatif
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	4	4	8	8
7	8	12	16	24
8	10	22	20	44
9	14	36	28	72
10	12	48	24	96
11	0	48	0	96
12	2	50	4	100



Gambar 5. 7 Grafik Frekuensi dan Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis golongan I

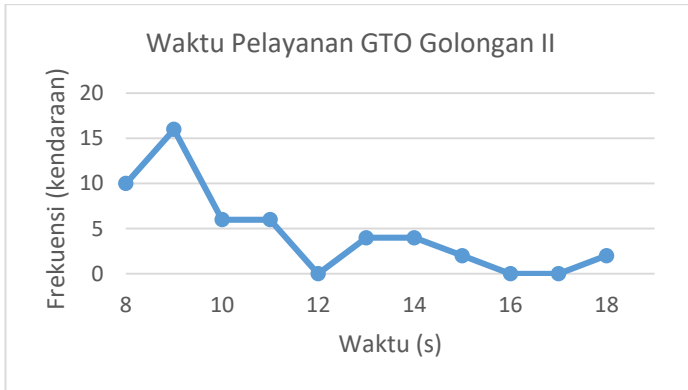
Berikut adalah penjelasan dari Tabel 5.77 dan Gambar 5.7 diatas:

Rata-rata	: 8.6 detik
Median	: 9 detik
Modus	: 9 detik
Presentase Kumulatif	: 50% = 8.58 detik
	: 80% = 9.46 detik
Waktu Pelayanan	: 9 detik

Dalam menentukan waktu pelayanan untuk golongan I dilihat dari nilai rata-rata, persentase kumulatif 50% dan presentase kumulatif 80%. Untuk menentukannya, memeriksa melalui hasil dari ketiga perhitungan tersebut yang paling mendekati dari nilai median dan modus. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai yang mendekati adalah 9 detik.

Tabel 5. 78 Frekuensi Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis Golongan
2

WP	Frekuensi	Frekuensi kumulatif	%	% Kumulatif
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	10	10	20	20
9	16	26	32	52
10	6	32	12	64
11	6	38	12	76
12	0	38	0	76
13	4	42	8	84
14	4	46	8	92
15	2	48	4	96
16	0	48	0	96
17	0	48	0	96
18	2	50	4	100



Gambar 5. 8 Grafik Frekuensi dan Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis golongan II

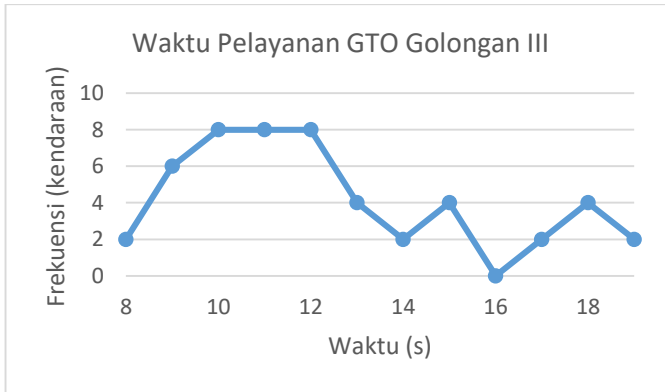
Berikut adalah penjelasan dari Tabel 5.78 dan Gambar 5.8 diatas:

Rata-rata	: 10.48 detik
Median	: 9 detik
Modus	: 9 detik
Presentase Kumulatif	: 50% = 9.27 detik
	: 80% = 13 detik
Waktu Pelayanan	: 10 detik

Dalam menentukan waktu pelayanan untuk golongan II dilihat dari nilai rata-rata, persentase kumulatif 50% dan presentase kumulatif 80%. Untuk menentukannya, memeriksa melalui hasil dari ketiga perhitungan tersebut yang paling mendekati dari nilai median dan modus. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai yang mendekati adalah 10 detik.

Tabel 5. 79 Frekuensi Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis Golongan
3

WP	Frekuensi	Frekuensi kumulatif	%	% Kumulatif
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	2	2	4	4
9	6	8	12	16
10	8	16	16	32
11	8	24	16	48
12	8	32	16	64
13	4	36	8	72
14	2	38	4	76
15	4	42	8	84
16	0	42	0	84
17	2	44	4	88
18	4	48	8	96
19	2	50	4	100



Gambar 5. 9 Grafik Frekuensi dan Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis golongan III

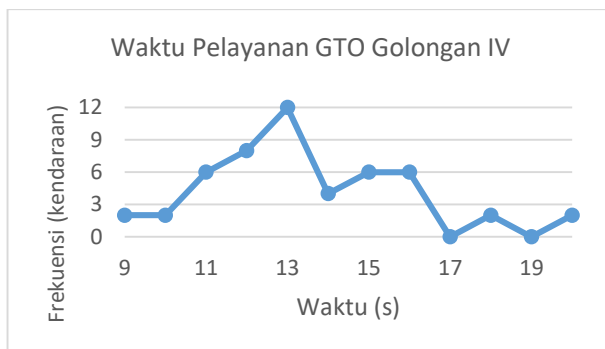
Berikut adalah penjelasan dari Tabel 5.79 dan Gambar 5.9 diatas:

Rata-rata	: 12.36 detik
Median	: 12 detik
Modus	: 10 detik
Presentase Kumulatif	: 50% = 11.5 detik
	: 80% = 14.7 detik
Waktu Pelayanan	: 12 detik

Dalam menentukan waktu pelayanan untuk golongan IV dilihat dari nilai rata-rata, persentase kumulatif 50% dan presentase kumulatif 80%. Untuk menentukannya, memeriksa melalui hasil dari ketiga perhitungan tersebut yang paling mendekati dari nilai median dan modus. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai yang mendekati adalah 12 detik.

Tabel 5. 80 Frekuensi Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis Golongan
4

WP	Frekuensi	Frekuensi kumulatif	%	% Kumulatif
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	2	2	4	4
10	2	4	4	8
11	6	10	12	20
12	8	18	16	36
13	12	30	24	60
14	4	34	8	68
15	6	40	12	80
16	6	46	12	92
17	0	46	0	92
18	2	48	4	96
19	0	48	0	96
20	2	50	4	100



Gambar 5. 10 Grafik Frekuensi dan Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis golongan IV

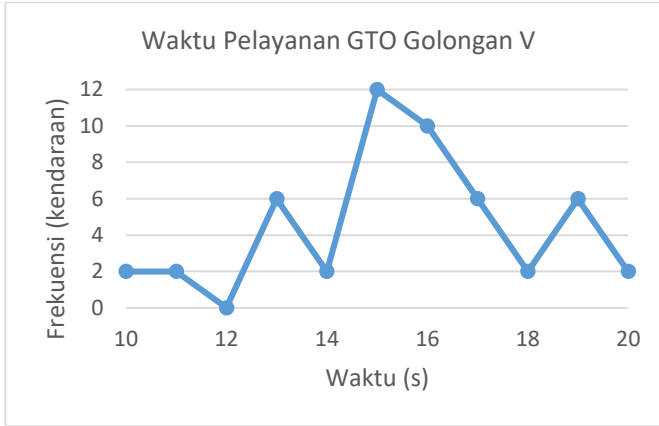
Berikut adalah penjelasan dari Tabel 5.80 dan Gambar 5.10 di atas:

Rata-rata	: 12.36 detik
Median	: 12 detik
Modus	: 13 detik
Presentase Kumulatif	: 50% = 12.6detik
	: 80% = 15 detik
Waktu Pelayanan	: 13 detik

Dalam menentukan waktu pelayanan untuk golongan IV dilihat dari nilai rata-rata, persentase kumulatif 50% dan presentase kumulatif 80%. Untuk menentukannya, memeriksa melalui hasil dari ketiga perhitungan tersebut yang paling mendekati dari nilai median dan modus. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai yang mendekati adalah 13 detik.

Tabel 5. 81 Frekuensi Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis Golongan
5

WP	Frekuensi	Frekuensi kumulatif	%	% Kumulatif
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	0	0	0	0
10	2	2	4	4
11	2	4	4	8
12	0	4	0	8
13	6	10	12	20
14	2	12	4	24
15	12	24	24	48
16	10	34	20	68
17	6	40	12	80
18	2	42	4	84
19	6	48	12	96
20	2	50	4	100



Gambar 5. 11Grafik Frekuensi dan Waktu Pelayanan Gardu Tol Otomatis golongan V

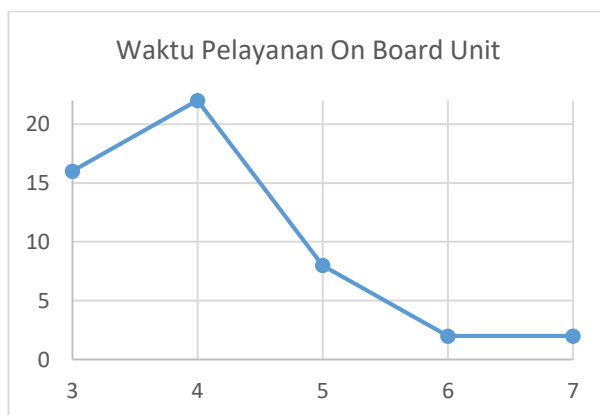
Berikut adalah penjelasan dari Tabel 5.81 dan Gambar 5.11 diatas:

Rata-rata	: 15.6 detik
Median	: 16 detik
Modus	: 15 detik
Presentase Kumulatif	: 50% = 15.5 detik
	: 80% = 17 detik
Waktu Pelayanan	: 16 detik

Dalam menentukan waktu pelayanan untuk golongan V dilihat dari nilai rata-rata, persentase kumulatif 50% dan persentase kumulatif 80%. Untuk menentukannya, memeriksa melalui hasil dari ketiga perhitungan tersebut yang paling mendekati dari nilai median dan modus. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai yang mendekati adalah 16 detik.

Tabel 5. 82 Frekuensi Waktu Pelayanan On Board Unit (OBU)

WP	Frekuensi	Frekuensi kumulatif	%	% Kumulatif
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	16	16	32	32
4	22	38	44	76
5	8	46	16	92
6	2	48	4	96
7	2	50	4	100



Gambar 5. 12 Grafik Frekuensi dan Waktu Pelayanan On Board Unit

Berikut adalah penjelasan dari Tabel 5.82 dan Gambar 5.12 diatas:

Rata-rata	: 3.96 detik
Median	: 4 detik
Modus	: 3 detik
Presentase Kumulatif	: 50% = 3.6 detik
	: 80% = 4.3 detik
Waktu Pelayanan	: 4 detik

Dalam menentukan waktu pelayanan untuk on board unit dilihat dari nilai rata-rata, persentase kumulatif 50% dan presentase kumulatif 80%. Untuk menentukannya, memeriksa melalui hasil dari ketiga perhitungan tersebut yang paling mendekati dari nilai median dan modus. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai yang mendekati adalah 4 detik.

5.8.3 Analisis Tingkat Pelayanan (μ)

Berdasarkan hasil survei yang dilakukan melalui pengamatan video bahwa hasil untuk golongan 1 menunjukkan proporsi 65% masuk gerbang tol otomatis khusus golongan I. 25% masuk ke gardu tol otomatis dan 10% masuk ke gardu tol On Board Unit. Tingkat pelayanan untuk keseluruhan gardu tol direncanakan pada tiap gerbang pada perencanaan gerbang tol Semarang – Demak.

Berikut merupakan contoh perhitungan tingkat pelayanan untuk Gerbang tol Semarang pada GTO Masuk yang dapat dilalui semua golongan kendaraan pada tahun 2025:

Waktu Pelayanan:

1. Golongan I	= 9 detik	= 3600/9	= 400
2. Golongan II	= 10 detik	= 3600/10	= 360
3. Golongan III	= 12 detik	= 3600/12	= 300
4. Golongan IV	= 13 detik	= 3600/13	= 277
5. Golongan V	= 16 detik	= 3600/16	= 225

Tingkat Kedatangan:

1. Golongan I	= 1493 x 25%	= 373 kend/jam
2. Golongan II	= 346 kend/jam	
3. Golongan III	= 72 kend/jam	
4. Golongan IV	= 126 kend/jam	
5. Golongan V	= 8 kend/jam	

$$\mu = \frac{(373 \times 400) + (346 \times 360) + (72 \times 300) + (126 \times 277) + (8 \times 225)}{373 + 346 + 72 + 126 + 8}$$

$$= 336 \text{ kend/jam}$$

Berikut adalah tabel perhitungan Tingkat Pelayanan untuk tiap gerbang tol Semarang - Demak pada tahun 2025 dapat dilihat pada Tabel 5.83 dibawah ini:

Tabel 5. 83 Tingkat Pelayanan Gerbang Tol Semarang – Demak Tahun 2025

Gerbang Tol	Gardu		μ
Semarang	GTO	Masuk	336
		Keluar	336
	GTO Khusus	Masuk	400
		Keluar	400
	OBU	Masuk	900
		Keluar	900

Tabel 5. 84 Tingkat Pelayanan Gerbang Tol Semarang – Demak Tahun 2025 (lanjutan)

Sayung	GTO	Masuk	344
		Keluar	338
	GTO Khusus	Masuk	400
		Keluar	400
	OBU	Masuk	900
		Keluar	900
Demak	GTO	Masuk	325
		Keluar	325
	GTO Khusus	Masuk	400
		Keluar	400
	OBU	Masuk	900
		Keluar	900

5.8.4 Analisis Intensitas Lalu Lintas Tahun 2020

Data waktu pelayanan yang telah diolah kemudian digunakan untuk menghitung intensitas lalu lintas pada tahun 2025.

Jumlah gardu tol rencana (N) yang terlampir pada tabel merupakan asumsi yang perlu diperhitungkan kembali untuk dikontrol menggunakan perbandingan dari hasil tingkat pelayanan (λ) dan tingkat kedatangan (μ). Berikut merupakan asumsi jumlah gardu tol yang direncanakan dapat dilihat pada tabel 5.85

Tabel 5. 85 Jumlah Rencana Gardu Tol Tiap Gerbang Tahun 2025

Gerbang Tol	Gardu		N
Semarang	GTO	Masuk	4
		Keluar	4

Tabel 5. 86 Jumlah Rencana Gardu Tol Tiap Gerbang Tahun 2025
(Lanjutan)

Gerbang Tol	Gardu		N
Semarang	GTO Khusus	Masuk	3
		Keluar	3
	OBU	Masuk	1
		Keluar	1
Sayung	GTO	Masuk	4
		Keluar	4
	GTO Khusus	Masuk	4
		Keluar	4
	OBU	Masuk	1
		Keluar	1
Demak	GTO	Masuk	3
		Keluar	3
	GTO Khusus	Masuk	2
		Keluar	2
	OBU	Masuk	1
		Keluar	1

5.8.5 Analisis Intensitas Gerbang Tol

Untuk merencanakan intensitas gerbang tol Semarang-Demak proporsi yang masuk untuk setiap jenis gerbang tol pada kendaraan golongan I sesuai hasil yang telah dihitung pada sub-bab 5.9 Analisis Tingkat Pelayanan (μ) yang didesain menggunakan sistem gardu tol otomatis, GTO Khusus dan On Board Unit. Untuk kendaraan golongan II hingga golongan V didesain menggunakan sistem gardu tol otomatis saja.

Berikut merupakan contoh analisis intensitas lalu lintas pada gerbang tol Semarang pada tahun 2025 arah masuk, dapat dilihat pada tabel 5.87 di bawah ini:

Tabel 5. 87 Kendaraan Masuk Gerbang Tol Semarang

Jumlah Kendaraan Masuk Gerbang Tol	
Golongan	Semarang
1	1493
2	346
3	72
4	126
5	8
Total	2045

$$\begin{aligned}
 \lambda_1 \text{ gardu tol otomatis khusus Gol. I} &= 1493 \times 65\% &&= 970 \\
 \lambda_2 \text{ gardu tol otomatis} &= 1493 \times 25\% + (346+72+126+8) &&= 925 \\
 \lambda_3 \text{ gardu tol On Board Unit} &= 1493 \times 10\% &&= 149
 \end{aligned}$$

Tabel 5. 88 Waktu Pelayanan Gerbang Tol Semarang

Gerbang Tol	Gardu		μ (kend/jam)
Semarang	GTO	Masuk	333
	GTO Khusus	Masuk	400
	OBU	Masuk	900

Gardu Tol Masuk

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah (N}_1\text{) Gardu Tol Otomatis Khusus Gol.I} &= 3 \text{ gardu} \\
 \text{Jumlah (N}_2\text{) Gardu Tol Otomatis} &= 4 \text{ gardu} \\
 \text{Jumlah (N}_3\text{) Gardu On Board Unit} &= 1 \text{ gardu} \\
 \lambda_1 \text{ Gardu Tol Otomatis Khusus Gol.I} &= 970 \text{ kend/jam} \\
 \lambda_2 \text{ Gardu Tol Otomatis} &= 925 \text{ kend/jam}
 \end{aligned}$$

λ_3 Gardu On Board Unit	= 149 kend/jam
μ_1 Gardu Tol Otomatis Khusus Gol.I	= 400 kend/jam
μ_2 Gardu Tol Otomatis	= 333 kend/jam
μ_3 Gardu On Board Unit	= 900 kend/jam

➤ **Gardu Tol Otomatis Khusus Golongan I**

$$\rho_1 = \frac{\lambda_1/N_1}{\mu_1} = \frac{970/3}{400} = 0,809 < 1 \text{ (OK)}$$

➤ **Gardu Tol Otomatis**

$$\rho_2 = \frac{\lambda_2/N_2}{\mu_2} = \frac{925/4}{333} = 0,695 < 1 \text{ (OK)}$$

➤ **Gardu Tol On Board Unit**

$$\rho_3 = \frac{\lambda_3/N_3}{\mu_3} = \frac{149/1}{900} = 0,166 < 1 \text{ (OK)}$$

Setelah menganalisis nilai dari intensitas kedatangan di tiap gardu tol yaitu ρ_1 , ρ_2 dan $\rho_3 < 1$ sesuai dengan ketentuan untuk sistem antrian gerbang tol dimana yang telah dijelaskan pada sub bab 2.7 yaitu

$$\rho = \lambda / \mu < 1 \quad (2.8)$$

Maka, intensitas lalu lintas yang terdapat pada gerbang tol Semarang dinyatakan aman menggunakan gardu tol otomatis khusus sebanyak 3 gardu, gardu tol otomatis sebanyak 4 gardu, dan gardu tol on board unit sebanyak 1 gardu.

Berikut merupakan contoh analisis intensitas lalu lintas pada gerbang tol Semarang pada tahun 2025 arah keluar, dapat dilihat pada tabel 5.89

Tabel 5. 89 Kendaraan Keluar Gerbang Tol Semarang

Jumlah Kendaraan Keluar Gerbang Tol	
Golongan	Semarang
1	1245
2	288
3	64
4	126
5	6
Total	1729

$$\begin{aligned} \lambda_1 \text{ gardu tol otomatis khusus Gol. I} &= 1493 \times 65\% &&= 970 \\ \lambda_2 \text{ gardu tol otomatis} &= 1493 \times 25\% + (346+72+126+8) &&= 925 \\ \lambda_3 \text{ gardu tol On Board Unit} &= 1493 \times 10\% &&= 149 \end{aligned}$$

Tabel 5. 90 Waktu Pelayanan Gerbang Tol Semarang

Gerbang Tol	ardu		μ (kend/jam)
Semarang	GTO	Keluar	333
	GTO Khusus	Keluar	400
	OBU	Keluar	900

Gardu Tol Keluar

$$\begin{aligned} \text{Jumlah } (N_1) \text{ Gardu Tol Otomatis Khusus Gol.I} &= 3 \text{ gardu} \\ \text{Jumlah } (N_2) \text{ Gardu Tol Otomatis} &= 4 \text{ gardu} \\ \text{Jumlah } (N_3) \text{ Gardu On Board Unit} &= 1 \text{ gardu} \\ \lambda_1 \text{ Gardu Tol Otomatis Khusus Gol.I} &= 970 \text{ kend/jam} \\ \lambda_2 \text{ Gardu Tol Otomatis} &= 925 \text{ kend/jam} \\ \lambda_3 \text{ Gardu On Board Unit} &= 149 \text{ kend/jam} \\ \mu_1 \text{ Gardu Tol Otomatis Khusus Gol.I} &= 400 \text{ kend/jam} \\ \mu_2 \text{ Gardu Tol Otomatis} &= 333 \text{ kend/jam} \end{aligned}$$

μ_3 Gardu On Board Unit = 900 kend/jam

➤ **Gardu Tol Otomatis Khusus Golongan I**

$$\rho_1 = \frac{\lambda_1/N_1}{\mu_1} = \frac{970/3}{400} = 0,809 < 1 \text{ (OK)}$$

➤ **Gardu Tol Otomatis**

$$\rho_2 = \frac{\lambda_2/N_2}{\mu_2} = \frac{925/4}{333} = 0,695 < 1 \text{ (OK)}$$

➤ **Gardu Tol On Board Unit**

$$\rho_3 = \frac{\lambda_3/N_3}{\mu_3} = \frac{149/1}{900} = 0,166 < 1 \text{ (OK)}$$

Setelah menganalisis nilai dari intensitas kedatangan di tiap gardu tol yaitu ρ_1 , ρ_2 dan $\rho_3 < 1$ sesuai dengan ketentuan untuk sistem antrian gerbang tol dimana yang telah dijelaskan pada sub bab 2.7 yaitu

$$\rho = \lambda / \mu < 1 \quad (2.8)$$

Maka, intensitas lalu lintas masuk yang terdapat pada gerbang tol Semarang dinyatakan aman menggunakan gardu tol otomatis khusus sebanyak 3 gardu, gardu tol otomatis sebanyak 4 gardu, dan gardu tol on board unit sebanyak 1 gardu.

Berikut merupakan tabel dari hasil perhitungan analisis lalu lintas untuk di setiap gerbang tol dapat dilihat di Tabel 5.91

Tabel 5. 91 Intensitas Lalu Lintas Gerbang Tol Semarang – Demak Tahun 2025

Gerbang Tol	Gardu		N (buah)	λ (kend)	μ (kend/jam)	ρ
Semarang	GTO	Masuk	4	925	333	0.695
		Keluar	4	940	333	0.706
	GTO Khusus	Masuk	3	970	400	0.809
		Keluar	3	956	400	0.796
	OBU	Masuk	1	149	900	0.166
		Keluar	1	149	900	0.166
Sayung	GTO	Masuk	4	1175	338	0.868
		Keluar	4	457	327	0.349
	GTO Khusus	Masuk	4	1427	400	0.892
		Keluar	4	327	400	0.300
	OBU	Masuk	1	223	900	0.248
		Keluar	1	75	900	0.083
Demak	GTO	Masuk	3	671	317	0.707
		Keluar	3	671	317	0.707
	GTO Khusus	Masuk	2	488	400	0.610
		Keluar	2	488	400	0.610
	OBU	Masuk	1	76	900	0.085
		Keluar	1	76	900	0.085

Keterangan:

N = Jumlah Gardu

 λ = Jumlah Kendaraan (kendaraan) μ = Tingkat Pelayanan (kendaraan/jam) ρ = Intensitas Kendaraan

5.8.6 Analisis Antrian pada Gerbang Tol Tahun 2025

Setelah melakukan perhitungan intensitas lalu lintas dan gardu tol, dengan menggunakan hasil perhitungan tersebut akan digunakan untuk menghitung analisis antrian tahun 2025 menggunakan metode antrian FIFO (*First In First Out*). Analisis antrian pada gerbang tol dilakukan untuk mengetahui panjang natruan dan waktu antrian pada perencanaan gerbang tol Semarang-Demak.

Berikut merupakan contoh perhitungan analisis antrian yang masuk gerbang tol Semarang pada tahun 2025:

Gardu Tol Masuk:

Jumlah (N_1) Gardu Tol Otomatis Khusus Gol.I	= 3 gardu
Jumlah (N_2) Gardu Tol Otomatis	= 4 gardu
Jumlah (N_3) Gardu On Board Unit	= 1 gardu
λ_1 Gardu Tol Otomatis Khusus Gol.I	= 970 kend/jam
λ_2 Gardu Tol Otomatis	= 925 kend/jam
λ_3 Gardu On Board Unit	= 149 kend/jam
μ_1 Gardu Tol Otomatis Khusus Gol.I	= 400 kend/jam
μ_2 Gardu Tol Otomatis	= 333 kend/jam
μ_3 Gardu On Board Unit	= 900 kend/jam
ρ_1	= 0,809
ρ_2	= 0,695
ρ_3	= 0,166

➤ **Gardu Tol Otomatis Khusus**

$$\bar{n} = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,809}{1-0,809} = 4,236 \approx 5 \text{ kendaraan}$$

$$\bar{q} = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,809^2}{1-0,809} = 3,427 \approx 4 \text{ kendaraan} < 10 \text{ kendaraan}$$

$$\bar{d} = \frac{1}{\mu-\lambda/N} = \frac{1}{400-970/3} \times 3600 = 47 \text{ detik}$$

$$\bar{w} = \bar{d} - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 47 - \frac{1}{400} \times 3600 = 39 \text{ detik}$$

➤ **Gardu Tol Otomatis**

$$\bar{n} = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,695}{1-0,695} = 2,279 \approx 3 \text{ kendaraan}$$

$$\bar{q} = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,695^2}{1-0,695} = 1,584 \approx 2 \text{ kendaraan} < 10 \text{ kendaraan}$$

$$\bar{d} = \frac{1}{\mu-\lambda/N} = \frac{1}{333-925/4} \times 3600 = 35 \text{ detik}$$

$$\bar{w} = \bar{d} - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 35 - \frac{1}{333} \times 3600 = 25 \text{ detik}$$

➤ **Gardu Tol On Board Unit**

$$\bar{n} = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,166}{1-0,166} = 0,199 \approx 1 \text{ kendaraan}$$

$$\bar{q} = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,166^2}{1-0,166} = 0,033 \approx 1 \text{ kendaraan} < 10 \text{ kendaraan}$$

$$\bar{d} = \frac{1}{\mu-\lambda/N} = \frac{1}{900-149/1} \times 3600 = 5 \text{ detik}$$

$$\bar{w} = \bar{d} - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 5 - \frac{1}{900} \times 3600 = 1 \text{ detik}$$

Berikut merupakan contoh perhitungan analisis antrian yang keluar gerbang tol Semarang pada tahun 2025:

Gardu Tol Keluar:

Jumlah (N_1) Gardu Tol Otomatis Khusus Gol.I	= 3 gardu
Jumlah (N_2) Gardu Tol Otomatis	= 4 gardu
Jumlah (N_3) Gardu On Board Unit	= 1 gardu
λ_1 Gardu Tol Otomatis Khusus Gol.I	= 970 kend/jam
λ_2 Gardu Tol Otomatis	= 925 kend/jam
λ_3 Gardu On Board Unit	= 149 kend/jam
μ_1 Gardu Tol Otomatis Khusus Gol.I	= 400 kend/jam
μ_2 Gardu Tol Otomatis	= 333 kend/jam
μ_3 Gardu On Board Unit	= 900 kend/jam
ρ_1	= 0,809
ρ_2	= 0,695
ρ_3	= 0,166

➤ **Gardu Tol Otomatis Khusus**

$$\bar{n} = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,809}{1-0,809} = 4,236 \approx 5 \text{ kendaraan}$$

$$\bar{q} = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,809^2}{1-0,809} = 3,427 \approx 4 \text{ kendaraan} < 10 \text{ kendaraan}$$

$$\bar{d} = \frac{1}{\mu-\lambda/N} = \frac{1}{400-970/3} \times 3600 = 47 \text{ detik}$$

$$\bar{w} = \bar{d} - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 47 - \frac{1}{400} \times 3600 = 39 \text{ detik}$$

➤ **Gardu Tol Otomatis**

$$\bar{n} = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,695}{1-0,695} = 2,279 \approx 3 \text{ kendaraan}$$

$$\bar{q} = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,695^2}{1-0,695} = 1,584 \approx 2 \text{ kendaraan} < 10 \text{ kendaraan}$$

$$\bar{d} = \frac{1}{\mu-\lambda/N} = \frac{1}{333-925/4} \times 3600 = 35 \text{ detik}$$

$$\bar{w} = \bar{d} - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 35 - \frac{1}{333} \times 3600 = 25 \text{ detik}$$

➤ **Gardu Tol On Board Unit**

$$\bar{n} = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0,166}{1-0,166} = 0,199 \approx 1 \text{ kendaraan}$$

$$\bar{q} = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,166^2}{1-0,166} = 0,033 \approx 1 \text{ kendaraan} < 10 \text{ kendaraan}$$

$$\bar{d} = \frac{1}{\mu-\lambda/N} = \frac{1}{900-149/1} \times 3600 = 5 \text{ detik}$$

$$\bar{w} = \bar{d} - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 5 - \frac{1}{900} \times 3600 = 1 \text{ detik}$$

Berikut merupakan tabel dari hasil perhitungan analisis antrian untuk di setiap gerbang tol Semarang – Demak dapat dilihat di Tabel 5.92

Tabel 5. 92 Hasil analisis antrian gerbang tol Semarang-Demak tahun 2025

Gerbang Tol	Gardu	n (kend)	q (kend)	d (dtk)	w (dtk)	
Semarang	GTO	Masuk	3	2	35	25
		Keluar	3	2	35	25

	GTO Khusus	Masuk	5	4	47	39
		Keluar	5	4	47	39
	OBU	Masuk	1	1	5	1
		Keluar	1	1	5	1
Sayung	GTO	Masuk	7	6	81	70
		Keluar	1	1	17	6
	GTO Khusus	Masuk	9	8	83	75
		Keluar	1	1	11	3
	OBU	Masuk	1	1	5	2
		Keluar	1	1	4	1

Tabel 5. 93 Hasil analisis antrisan gerbang tol Semarang-Demak tahun 2025 (lanjutan)

Gerbang Tol	Gardu		n (kend)	q (kend)	d (dtk)	w (dtk)
Demak	GTO	Masuk	3	2	39	28
		Keluar	3	2	39	28
	GTO Khusus	Masuk	2	1	23	15
		Keluar	2	1	23	15
	OBU	Masuk	1	1	4	1
		Keluar	1	1	4	1

Keterangan:

\bar{n} = Jumlah kendaraan atau orang dalam sistem

\bar{q} = Jumlah kendaraan atau orang dalam antrian

\bar{d} = Waktu kendaraan atau orang dalam sistem

\bar{w} = Waktu kendaraan atau orang dalam antrian

Setelah dilakukan perhitungan analisis, nilai $\bar{q} < 10$ kendaraan pada setiap gerbang tol, maka dapat dinyatakan aman.

Berdasarkan hasil perhitungan yang didaotkan melalui analisis intensitas lalu lintas dan gerbang tol maka diperoleh jumlah gerbang tol Semarang – Demak pada tahun 2025 sebagai berikut:

1) Gerbang Semarang

Arah Masuk

- Gardu tol otomatis khusus Golongan I = 3 gardu
- Gardu tol otomatis = 4 gardu
- Gardu tol *On Board Unit* = 1 gardu

Arah Keluar

- Gardu tol otomatis khusus Golongan I = 3 gardu
- Gardu tol otomatis = 4 gardu
- Gardu tol *On Board Unit* = 1 gardu

2) Gerbang Sayung

Arah Masuk

- Gardu tol otomatis khusus Golongan I = 4 gardu
- Gardu tol otomatis = 4 gardu
- Gardu tol *On Board Unit* = 1 gardu

Arah Keluar

- Gardu tol otomatis khusus Golongan I = 4 gardu
- Gardu tol otomatis = 4 gardu
- Gardu tol *On Board Unit* = 1 gardu

3) Gerbang Demak

Arah Masuk

- Gardu tol otomatis khusus Golongan I = 2 gardu
- Gardu tol otomatis = 3 gardu
- Gardu tol *On Board Unit* = 1 gardu

Arah Keluar

- Gardu tol otomatis khusus Golongan I = 2 gardu
- Gardu tol otomatis = 3 gardu
- Gardu tol *On Board Unit* = 1 gardu

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan data dan hasil perhitungan yang dilakukan, didapatkan kesimpulan untuk menjawab permasalahan di Tol Semarang-Demak berupa jumlah gardu pada gerbang tol Semarang-Demak pada tahun 2020 dan tahun 2025 sebagai berikut:

1. Jumlah gardu pada gerbang tol Semaarang – Demak pada tahun 2020:

1) Gerbang Semarang

Arah Masuk

- Gardu tol otomatis khusus Golongan I = 3 gardu
- Gardu tol otomatis = 3 gardu
- Gardu tol *On Board Unit* = 1 gardu

Arah Keluar

- Gardu tol otomatis khusus Golongan I = 3 gardu
- Gardu tol otomatis = 3 gardu
- Gardu tol *On Board Unit* = 1 gardu

2) Gerbang Sayung

Arah Masuk

- Gardu tol otomatis khusus Golongan I = 4 gardu
- Gardu tol otomatis = 4 gardu
- Gardu tol *On Board Unit* = 1 gardu

Arah Keluar

- Gardu tol otomatis khusus Golongan I = 4 gardu
- Gardu tol otomatis = 4 gardu
- Gardu tol *On Board Unit* = 1 gardu

3) Gerbang Demak

Arah Masuk

- Gardu tol otomatis khusus Golongan I = 1 gardu
- Gardu tol otomatis = 3 gardu
- Gardu tol *On Board Unit* = 1 gardu

Arah Keluar

- Gardu tol otomatis khusus Golongan I = 1 gardu
- Gardu tol otomatis = 3 gardu
- Gardu tol *On Board Unit* = 1 gardu

2. Desain lay-out gerbang tol Semarang-Demak pada tahun 2020 (Terlampir.)

3. Jumlah gardu pada gerbang tol Semarang – Demak pada tahun 2025:

1) Gerbang Semarang

Arah Masuk

- Gardu tol otomatis khusus Golongan I = 3 gardu
- Gardu tol otomatis = 4 gardu
- Gardu tol *On Board Unit* = 1 gardu

Arah Keluar

- Gardu tol otomatis khusus Golongan I = 3 gardu
- Gardu tol otomatis = 4 gardu
- Gardu tol *On Board Unit* = 1 gardu

2) Gerbang Sayung

Arah Masuk

- Gardu tol otomatis khusus Golongan I = 4 gardu
- Gardu tol otomatis = 4 gardu
- Gardu tol *On Board Unit* = 1 gardu

Arah Keluar

- Gardu tol otomatis khusus Golongan I = 4 gardu
- Gardu tol otomatis = 4 gardu
- Gardu tol *On Board Unit* = 1 gardu

3) Gerbang Demak

Arah Masuk

- Gardu tol otomatis khusus Golongan I = 2 gardu
- Gardu tol otomatis = 3 gardu
- Gardu tol *On Board Unit* = 1 gardu

Arah Keluar

- Gardu tol otomatis khusus Golongan I = 2 gardu
- Gardu tol otomatis = 3 gardu
- Gardu tol *On Board Unit* = 1 gardu

4. Desain lay-out gerbang tol Semarang-Demak pada tahun 2025 (Terlampir.)

6.2 Saran

Berdasarkan hasil perhitungan perencanaan gerbang tol Semarang-Demak, saran yang dapat diberikan kepada perencana gerbang tol, badan pengelola jalan tol ataupun pemerintah agar tercapainya gerbang tol yang sesuai dengan standar pelayanan minimum:

1. Memberikan pengarahan kembali kepada pengendara golongan 1 hingga golongan 5 untuk menggunakan alat *On Board Unit*.
2. Memberikan harga yang terjangkau untuk pembelian alat *On Board Unit*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Adityo, S. 2019. **Teori Antrian**. Retrieved December 19, 2019, from <https://sutrisnoadityo.wordpress.com/2013/10/12/teori-antrian/>
- Kakiay, T.J. 2004. **Dasar Teori Antrian Untuk Kehidupan Nyata**. Yogyakarta. Penerbit Andi Offset
- Marga, D. P. 2009. **STANDAR Konstruksi Bangunan No.007/BM/2009 Geometri Jalan Bebas Hambatan untuk Jalan Tol**. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Pamuji, A. R., & Widyastuti, H. 2019. **Perencanaan Gerbang Tol Probolinggo-Banyuwangi**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Saputra, A. D., & Widyastuti, H. 2019. **Perencanaan Gerbang Tol Batang-Semarang**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Semarang, P. K. 2001. **Profil Kota Semarang Tahun 2001**. Retrieved October 10, 2019, from <https://semarangkota.go.id/mainmenu/detail/profil>
- Siagian, P. 1987. **Penelitian Operasional: Teori dan Praktek**. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Suryawan, K. A., Kader, I. M., Triadi, I. N., & Sudiasa, I. W. 2015. **Evaluasi Kapasitas dan Waktu Pelayanan pada Gerbang Tol Nusa Dua, Badung-Bali**. *Journal Logic Vol.15 No.1*, 4.
- Tamin, O. Z. 2003. **Perencanaan & Permodelan Transportasi**. Bandung: Institut Teknologi Bandung.

LAMPIRAN 1: MATRIKS ASAL TUJUAN

- Matriks Asal Tujuan Tahun 2020

Golongan I

Awal MAT

	Semarang	Sayung	Demak	
Semarang	0			11,237
Sayung		0		4,274
Demak			0	0
	0	11,237	4,274	

Perhitungan MAT

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	1	1	2	11,237	5,618
Sayung	0	0	1	1	4,274	4,274
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	1	2			
D	0	11,237	4,274			
Fd	0	11,237	2,137			

Iterasi 1

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	5,618	5,618	11,237	11,237	1
Sayung	0	0	4,274	4,274	4,274	1
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	5,618	9,892			
D	0	11,237	4,274			
Fd	0	2	0.432055			

Iterasi 2

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	11,237	2,427	13,664	11,237	0.82235
Sayung	0	0	1,847	1,847	4,274	2.314518
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	11,237	4,274			
D	0	11,237	4,274			
Fd	0	1	1			

Iterasi 3

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	9,240	1,996	11,237	11,237	1
Sayung	0	0	4,274	4,274	4,274	1
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	9,240	6,270			
D	0	11,237	4,274			
Fd	0	1.216028	0.68164			

Iterasi 73

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	11,152	85	11,237	11,237	1
Sayung	0	0	4,274	4,274	4,274	1
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	11,152	4,359			
D	0	11,237	4,274			
Fd	0	1.007596	0.980565			

Iterasi 74 (Akhir)

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	11,237	83	11,320	11,237	0.992662
Sayung	0	0	4,191	4,191	4,274	1.01982
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	11,237	4,274			
D	0	11,237	4,274			
Fd	0	1	1			

Golongan II

Awal MAT

	Semarang	Sayung	Demak	
Semarang	0			1,312
Sayung		0		499
Demak			0	0
	0	1,312	499	

Perhitungan MAT

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	1	1	2	1,312	655.75
Sayung	0	0	1	1	499	499
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	1	2			
D	0	1,312	499			
Fd	0	1311.5	249.5			

Iterasi 1

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	656	656	1,312	1,312	1
Sayung	0	0	499	499	499	1
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	656	1,155			
D	0	1,312	499			
Fd	0	2	0.432128			

Iterasi 2

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	1,312	283	1,595	1,312	0.822325
Sayung	0	0	216	216	499	2.314128
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	1,312	499			
D	0	1,312	499			
Fd	0	1	1			

Iterasi 3

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	1,078	233	1,312	1,312	1
Sayung	0	0	499	499	499	1
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	1,078	732			
D	0	1,312	499			
Fd	0	1.216064	0.681675			

Iterasi 59

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	1,299	12	1,312	1,312	1
Sayung	0	0	499	499	499	1
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	1,299	511			
D	0	1,312	499			
Fd	0	1.009414	0.976074			

Iterasi 60 (Akhir)

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	1,312	12	1,323	1,312	0.990979
Sayung	0	0	487	487	499	1.024513
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	1,312	499			
D	0	1,312	499			
Fd	0	1	1			

Golongan III

Awal MAT

	Semarang	Sayung	Demak	
Semarang	0			288
Sayung		0	105	105
Demak			0	0
	0	288	105	

Perhitungan MAT

	Semarang	Sayung	Demak	O	O	Fo
Semarang	0	1	1	2	288	143.75
Sayung	0	0	1	1	105	104.5
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	1	2			
D	0	288	105			
Fd	0	287.5	52.25			

Iterasi 1

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	144	144	288	288	1
Sayung	0	0	105	105	105	1
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	144	248			
D	0	288	105			
Fd	0	2	0.420947			

Iterasi 2

	Semarang	Sayung	Demak	O	O	Fo
Semarang	0	288	61	348	288	0.826123
Sayung	0	0	44	44	105	2.375598
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	288	105			
D	0	288	105			
Fd	0	1	1			

Iterasi 3

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	238	50	288	288	1
Sayung	0	0	105	105	105	1
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	238	154			
D	0	288	105			
Fd	0	1.210473	0.676421			

Iterasi 15

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	277	10	288	288	1
Sayung	0	0	105	105	105	1
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	277	115			
D	0	288	105			
Fd	0	1.036686	0.911279			

Iterasi 16 (Akhir)

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	288	9	297	288	0.968759
Sayung	0	0	95	95	105	1.097359
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	288	105			
D	0	288	105			
Fd	0	1	1			

Golongan IV

Awal MAT

	Semarang	Sayung	Demak	
Semarang	0			124
Sayung		0		47
Demak			0	0
	0	124	47	

Perhitungan MAT

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	1	1	2	124	61.75
Sayung	0	0	1	1	47	47
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	1	2			
D	0	124	47			
Fd	0	123.5	23.5			

Iterasi 1

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	62	62	124	124	1
Sayung	0	0	47	47	47	1
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	62	109			
D	0	124	47			
Fd	0	2	0.432184			

Iterasi 2

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	124	27	150	124	0.822306
Sayung	0	0	20	20	47	2.31383
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	124	47			
D	0	124	47			
Fd	0	1	1			

Iterasi 3

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	102	22	124	124	1
Sayung	0	0	47	47	47	1
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	102	69			
D	0	124	47			
Fd	0	1.216092	0.681701			

Iterasi 40

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	122	2	124	124	1
Sayung	0	0	47	47	47	1
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	122	49			
D	0	124	47			
Fd	0	1.014301	0.964275			

Iterasi 41 (Akhir)

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	124	2	125	124	0.986587
Sayung	0	0	45	45	47	1.037048
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	124	47			
D	0	124	47			
Fd	0	1	1			

Golongan V

Awal MAT

	Semarang	Sayung	Demak	
Semarang	0			27
Sayung		0		11
Demak			0	0
	0	27	11	

Perhitungan MAT

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	1	1	2	27	13.5
Sayung	0	0	1	1	11	10.5
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	1	2			
D	0	27	11			
Fd	0	27	5.25			

Iterasi 1

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	14	14	27	27	1
Sayung	0	0	11	11	11	1
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	14	24			
D	0	27	11			
Fd	0	2	0.4375			

Iterasi 2

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	27	6	33	27	0.820513
Sayung	0	0	5	5	11	2.285714
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	27	11			
D	0	27	11			
Fd	0	1	1			

Iterasi 3

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	22	5	27	27	1
Sayung	0	0	11	11	11	1
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	22	15			
D	0	27	11			
Fd	0	1.21875	0.684211			

Iterasi 17

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	26	1	27	27	1
Sayung	0	0	11	11	11	1
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	26	11			
D	0	27	11			
Fd	0	1.033816	0.922414			

Iterasi 18 (Akhir)

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	27	1	28	27	0.970711
Sayung	0	0	10	10	11	1.084112
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	27	11			
D	0	27	11			
Fd	0	1	1			

- Matrik Asal Tujuan Tahun 2025
Golongan I

Awal MAT

	Semarang	Sayung	Demak	
Semarang	0			13,452
Sayung		0		6,945
Demak			0	0
	0	13,452	6,945	

Perhitungan MAT

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	1	1	2	13,452	6725.75
Sayung	0	0	1	1	6,945	6944.5
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	1	2			
D	0	13,452	6,945			
Fd	0	13451.5	3472.25			

Iterasi 1

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	6,726	6,726	13,452	13,452	1
Sayung	0	0	6,945	6,945	6,945	1
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	6,726	13,670			
D	0	13,452	6,945			
Fd	0	2	0.508001			

Iterasi 2

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	13,452	3,417	16,868	13,452	0.797448
Sayung	0	0	3,528	3,528	6,945	1.9685
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	13,452	6,945			
D	0	13,452	6,945			
Fd	0	1	1			

Iterasi 3

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	10,727	2,725	13,452	13,452	1
Sayung	0	0	6,945	6,945	6,945	1
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	10,727	9,669			
D	0	13,452	6,945			
Fd	0	1.254	0.718214			

Iterasi 73

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	13,327	125	13,452	13,452	1
Sayung	0	0	6,945	6,945	6,945	1
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	13,327	7,069			
D	0	13,452	6,945			
Fd	0	1.009369	0.982338			

Iterasi 74 (Akhir)

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	13,452	123	13,574	13,452	0.990964
Sayung	0	0	6,822	6,822	6,945	1.01798
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	13,452	6,945			
D	0	13,452	6,945			
Fd	0	1	1			

Golongan II

Awal MAT

	Semarang	Sayung	Demak	
Semarang	0			1,570
Sayung		0		811
Demak			0	0
	0	1,570	811	

Perhitungan MAT

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	1	1	2	1,570	785
Sayung	0	0	1	1	811	810.5
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	1	2			
D	0	1,570	811			
Fd	0	1570	405.25			

Iterasi 1

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	785	785	1,570	1,570	1
Sayung	0	0	811	811	811	1
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	785	1,596			
D	0	1,570	811			
Fd	0	2	0.507991			

Iterasi 2

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	1,570	399	1,969	1,570	0.797451
Sayung	0	0	412	412	811	1.968538
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	1,570	811			
D	0	1,570	811			
Fd	0	1	1			

Iterasi 3

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	1,252	318	1,570	1,570	1
Sayung	0	0	811	811	811	1
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	1,252	1,129			
D	0	1,570	811			
Fd	0	1.253996	0.718209			

Iterasi 59

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	1,552	18	1,570	1,570	1
Sayung	0	0	811	811	811	1
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	1,552	829			
D	0	1,570	811			
Fd	0	1.011604	0.978263			

Iterasi 60 (Akhir)

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	1,570	18	1,588	1,570	0.988903
Sayung	0	0	793	793	811	1.02222
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	1,570	811			
D	0	1,570	811			
Fd	0	1	1			

Golongan III

Awal MAT

	Semarang	Sayung	Demak	
Semarang	0			330
Sayung		0		170
Demak			0	0
	0	330	170	

Perhitungan MAT

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	1	1	2	330	164.75
Sayung	0	0	1	1	170	170
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	1	2			
D	0	330	170			
Fd	0	329.5	85			

Iterasi 1

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	165	165	330	330	1
Sayung	0	0	170	170	170	1
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	165	335			
D	0	330	170			
Fd	0	2	0.507842			

Iterasi 2

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	330	84	413	330	0.797499
Sayung	0	0	86	86	170	1.969118
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	330	170			
D	0	330	170			
Fd	0	1	1			

Iterasi 3

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	263	67	330	330	1
Sayung	0	0	170	170	170	1
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	263	237			
D	0	330	170			
Fd	0	1.253921	0.718135			

Iterasi 15

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	315	15	330	330	1
Sayung	0	0	170	170	170	1
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	315	185			
D	0	330	170			
Fd	0	1.046366	0.920907			

Iterasi 16 (Akhir)

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	330	13	343	330	0.960793
Sayung	0	0	157	157	170	1.085886
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	330	170			
D	0	330	170			
Fd	0	1	1			

Golongan IV

Awal MAT

	Semarang	Sayung	Demak	
Semarang	0			148
Sayung		0		76
Demak			0	0
	0	148	76	

Perhitungan MAT

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	1	1	2	148	73.75
Sayung	0	0	1	1	76	76
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	1	2			
D	0	148	76			
Fd	0	147.5	38			

Iterasi 1

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	74	74	148	148	1
Sayung	0	0	76	76	76	1
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	74	150			
D	0	148	76			
Fd	0	2	0.507513			

Iterasi 2

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	148	37	185	148	0.797603
Sayung	0	0	39	39	76	1.970395
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	148	76			
D	0	148	76			
Fd	0	1	1			

Iterasi 3

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	118	30	148	148	1
Sayung	0	0	76	76	76	1
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	118	106			
D	0	148	76			
Fd	0	1.253756	0.717973			

Iterasi 40

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	145	3	148	148	1
Sayung	0	0	76	76	76	1
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	145	79			
D	0	148	76			
Fd	0	1.017582	0.967554			

Iterasi 41 (Akhir)

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	148	2	150	148	0.983557
Sayung	0	0	74	74	76	1.033534
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	148	76			
D	0	148	76			
Fd	0	1	1			

Golongan V

Awal MAT

	Semarang	Sayung	Demak	
Semarang	0			33
Sayung		0		17
Demak			0	0
	0	33	17	

Perhitungan MAT

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	1	1	2	33	16.25
Sayung	0	0	1	1	17	17
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	1	2			
D	0	33	17			
Fd	0	32.5	8.5			

Iterasi 1

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	16	16	33	33	1
Sayung	0	0	17	17	17	1
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	16	33			
D	0	33	17			
Fd	0	2	0.511278			

Iterasi 2

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	33	8	41	33	0.796407
Sayung	0	0	9	9	17	1.955882
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	33	17			
D	0	33	17			
Fd	0	1	1			

Iterasi 3

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	26	7	33	33	1
Sayung	0	0	17	17	17	1
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	26	24			
D	0	33	17			
Fd	0	1.255639	0.719828			

Iterasi 17

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	31	1	33	33	1
Sayung	0	0	17	17	17	1
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	31	18			
D	0	33	17			
Fd	0	1.041162	0.92973			

Iterasi 18 (Akhir)

	Semarang	Sayung	Demak	o	O	Fo
Semarang	0	33	1	34	33	0.964546
Sayung	0	0	16	16	17	1.075581
Demak	0	0	0	0	0	0
d	0	33	17			
D	0	33	17			
Fd	0	1	1			

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

LAMPIRAN 2: ARUS JAM PUNCAK KENDARAAN

- Arus jam puncak tahun 2020

Golongan I

	Semarang	Sayung	Demak
Semarang	0	1,236	9
Sayung	1,236	0	461
Demak	9	461	0

Golongan II

	Semarang	Sayung	Demak
Semarang	0	144	144
Sayung	144	0	144
Demak	144	144	0

Golongan III

	Semarang	Sayung	Demak
Semarang	0	32	32
Sayung	32	0	32
Demak	32	32	0

Golongan IV

	Semarang	Sayung	Demak
Semarang	0	14	14
Sayung	14	0	14
Demak	14	14	0

Golongan V

	Semarang	Sayung	Demak
Semarang	0	3	3
Sayung	3	0	3
Demak	3	3	0

- Arus jam puncak tahun 2025

Golongan I

	Semarang	Sayung	Demak
Semarang	0	1,480	13
Sayung	1,480	0	750
Demak	13	750	0

Golongan II

	Semarang	Sayung	Demak
Semarang	0	173	173
Sayung	173	0	173
Demak	173	173	0

Golongan III

	Semarang	Sayung	Demak
Semarang	0	36	36
Sayung	36	0	36
Demak	36	36	0

Golongan IV

	Semarang	Sayung	Demak
Semarang	0	16	16
Sayung	16	0	16
Demak	16	16	0

Golongan V

	Semarang	Sayung	Demak
Semarang	0	4	4
Sayung	4	0	4
Demak	4	4	0

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

LAMPIRAN 3: DISTRIBUSI KENDARAAN KE GERBANG TOL

- Distribusi Kendaraan ke Gerbang Tol pada Tahun 2020

Golongan I

Golongan I				
Zona		Semarang	Sayung	Demak
Semarang	Sayung	1236	1236	
Semarang	Demak	9		9
Sayung	Demak		461	461
Sayung	Semarang	1236	1236	
Demak	Sayung		461	461
Demak	Semarang	9		9

Golongan II

Golongan II				
Zona		Semarang	Sayung	Demak
Semarang	Sayung	144	144	
Semarang	Demak	144		144
Sayung	Demak		144	144
Sayung	Semarang	144	144	
Demak	Sayung		144	144
Demak	Semarang	144		144

Golongan III

Golongan III				
Zona		Semarang	Sayung	Demak
Semarang	Sayung	32	32	
Semarang	Demak	32		32
Sayung	Demak		32	32
Sayung	Semarang	32	32	
Demak	Sayung		32	32
Demak	Semarang	32		32

Golongan IV

Golongan IV				
Zona		Semarang	Sayung	Demak
Semarang	Sayung	124	124	
Semarang	Demak	2		2
Sayung	Demak		45	45
Sayung	Semarang	124	124	
Demak	Sayung		45	45
Demak	Semarang	2		2

Golongan V

Golongan 5				
Zona		Semarang	Sayung	Demak
Semarang	Sayung	3	3	
Semarang	Demak	3		3
Sayung	Demak		3	3
Sayung	Semarang	3	3	
Demak	Sayung		3	3
Demak	Semarang	3		3

- Distribusi Kendaraan ke Gerbang Tol pada Tahun 2025

Golongan I

Golongan I				
Zona		Semarang	Sayung	Demak
Semarang	Sayung	1480	1480	
Semarang	Demak	13		13
Sayung	Demak		750	750
Sayung	Semarang	1480	1480	
Demak	Sayung		750	750
Demak	Semarang	13		13

Golongan II

Golongan II				
Zona		Semarang	Sayung	Demak
Semarang	Sayung	173	173	
Semarang	Demak	173		173
Sayung	Demak		173	173
Sayung	Semarang	173	173	
Demak	Sayung		173	173
Demak	Semarang	173		173

Golongan III

Golongan III				
Zona		Semarang	Sayung	Demak
Semarang	Sayung	36	36	
Semarang	Demak	36		36
Sayung	Demak		36	36
Sayung	Semarang	36	36	
Demak	Sayung		36	36
Demak	Semarang	36		36

Golongan IV

Golongan IV				
Zona		Semarang	Sayung	Demak
Semarang	Sayung	124	124	
Semarang	Demak	2		2
Sayung	Demak		45	45
Sayung	Semarang	124	124	
Demak	Sayung		45	45
Demak	Semarang	2		2

Golongan V

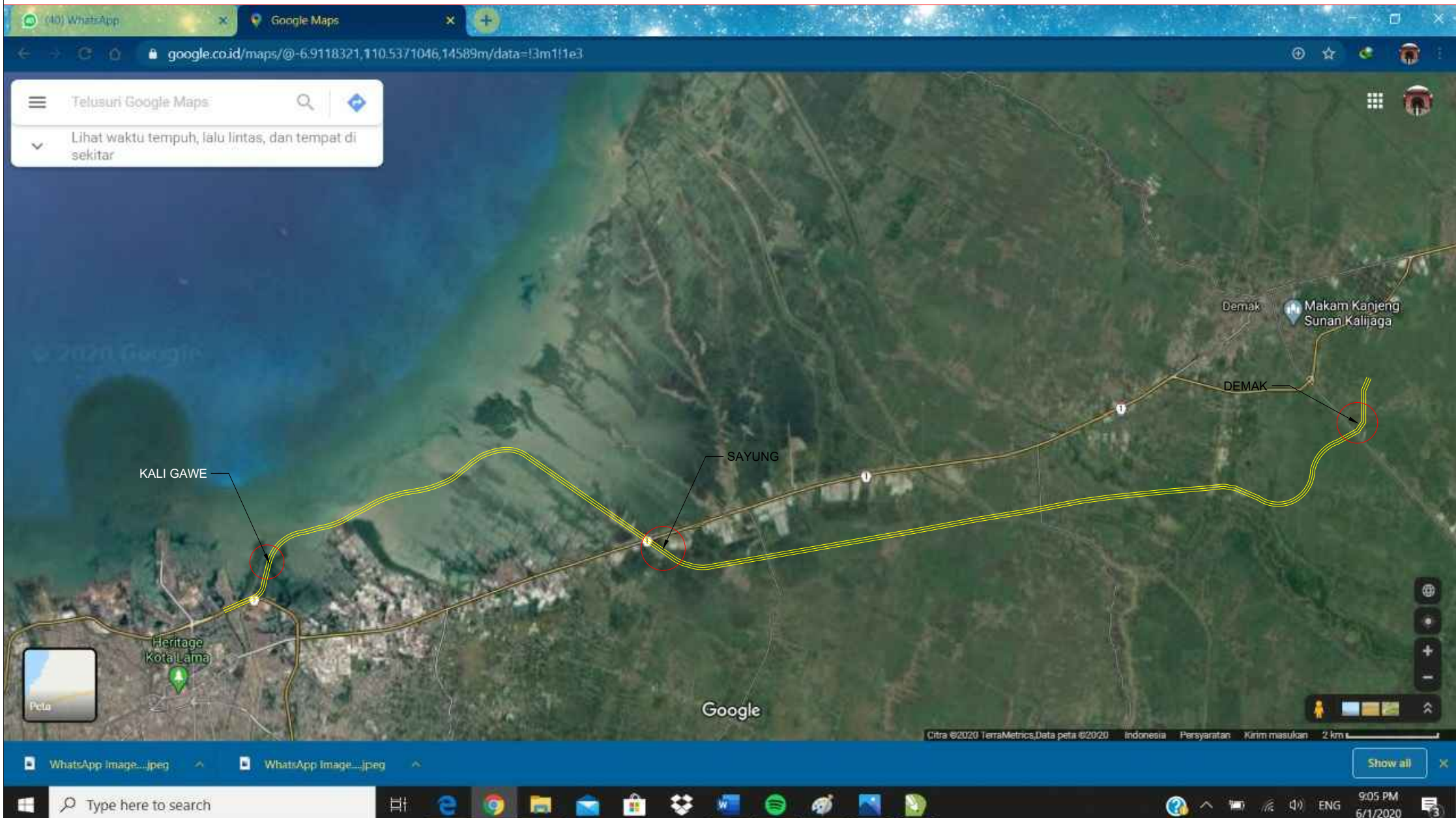
Golongan V				
Zona		Semarang	Sayung	Demak
Semarang	Sayung	4	4	
Semarang	Demak	4		4
Sayung	Demak		4	4
Sayung	Semarang	4	4	
Demak	Sayung		4	4
Demak	Semarang	4		4

BIODATA PENULIS



Farida Aprillia Akbar S lahir di Mojokerto, pada tanggal 16 April 1998. Anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Pertiwi Kabupaten Mojokerto, SD Negeri Gedongan 2 Mojokerto, SMP Negeri 1 Kota Mojokerto dan SMA Negeri 3 Kota Mojokerto. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan program sarjana (S1) di Departemen Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2016 melalui jalur kemitraan mandiri dan terdaftar dengan NRP 0311164000131 Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan. Pada semester 7, Penulis mengambil bidang peminatan transportasi. Penulis sempat aktif di organisasi Himpunan Mahasiswa Sipil ITS bidang Sosial Masyarakat selama 2 periode. Penulis mengambil judul Tugas Akhir Pencanaan Gerbang Tol Semarang-Demak.

Email penulis yang dapat dihubungi:
farida.aprillia234@gmail.com



 <p>PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA 2020</p>	JUDUL TUGAS	DOSEN PEMBIMBING	NAMA/NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO. GAMBAR
	TUGAS AKHIR	Ir. WAHJU HERIJANTO., MT. ANAK AGUNG GDE K., ST. MSc	FARIDA APRILLIA AKBAR S 03111640000131	TRASE JALAN TOL SEMARANG-DEMAK	1 : 2000	1



Google

Imagery ©2020 CNES / Airbus, Maxar Technologies, Map data ©2020 Indonesia T



PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL
 DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL,
 PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
 NOPEMBER
 SURABAYA
 2020

JUDUL TUGAS	DOSEN PEMBIMBING	NAMA/NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO. GAMBAR
TUGAS AKHIR	Ir. WAHJU HERIJANTO., MT. ANAK AGUNG GDE K., ST. MSc	FARIDA APRILLIA AKBAR S 03111640000131	GERBANG TOL SEMARANG 2020	1 : 2000	2



Google

Citra ©2020 CNES / Airbus,Maxar Technologies,Data peta ©2020 Indonesia Peta



PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL,
PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
SURABAYA
2020

JUDUL TUGAS	DOSEN PEMBIMBING	NAMA/NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO. GAMBAR
TUGAS AKHIR	Ir. WAHJU HERIJANTO., MT. ANAK AGUNG GDE K., ST. MSc	FARIDA APRILLIA AKBAR S 03111640000131	GERBANG TOL SAYUNG 2020	1 : 2000	3



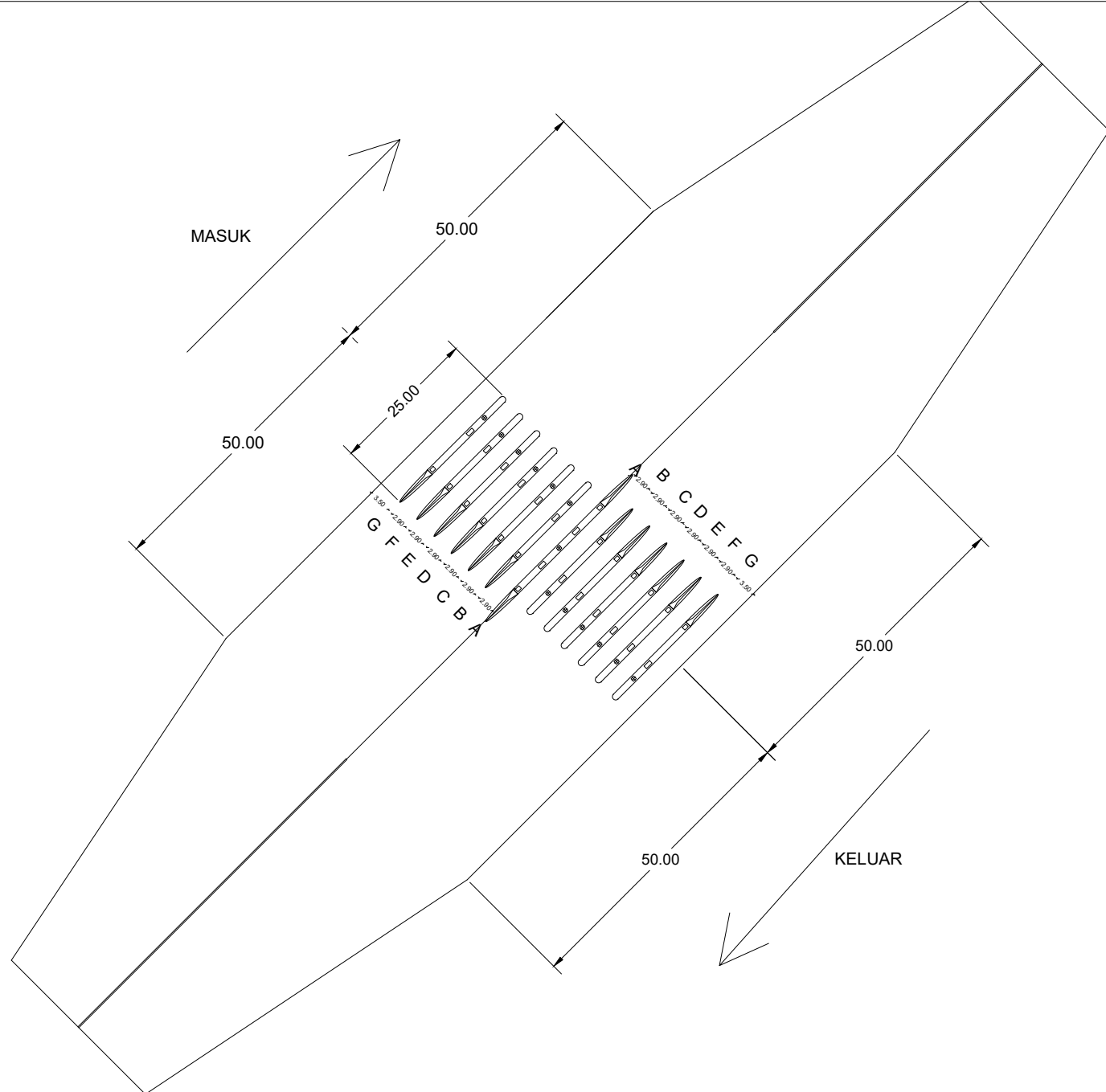
Google

Citra ©2020 CNES / Airbus,Maxar Technologies,Data peta ©2020 Indonesia Persya



PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL
 DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL,
 PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
 NOPEMBER
 SURABAYA
 2020

JUDUL TUGAS	DOSEN PEMBIMBING	NAMA/NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO. GAMBAR
TUGAS AKHIR	Ir. WAHJU HERIJANTO., MT. ANAK AGUNG GDE K., ST. MSc	FARIDA APRILLIA AKBAR S 03111640000131	GERBANG TOL DEMAK 2020	1 : 2000	4



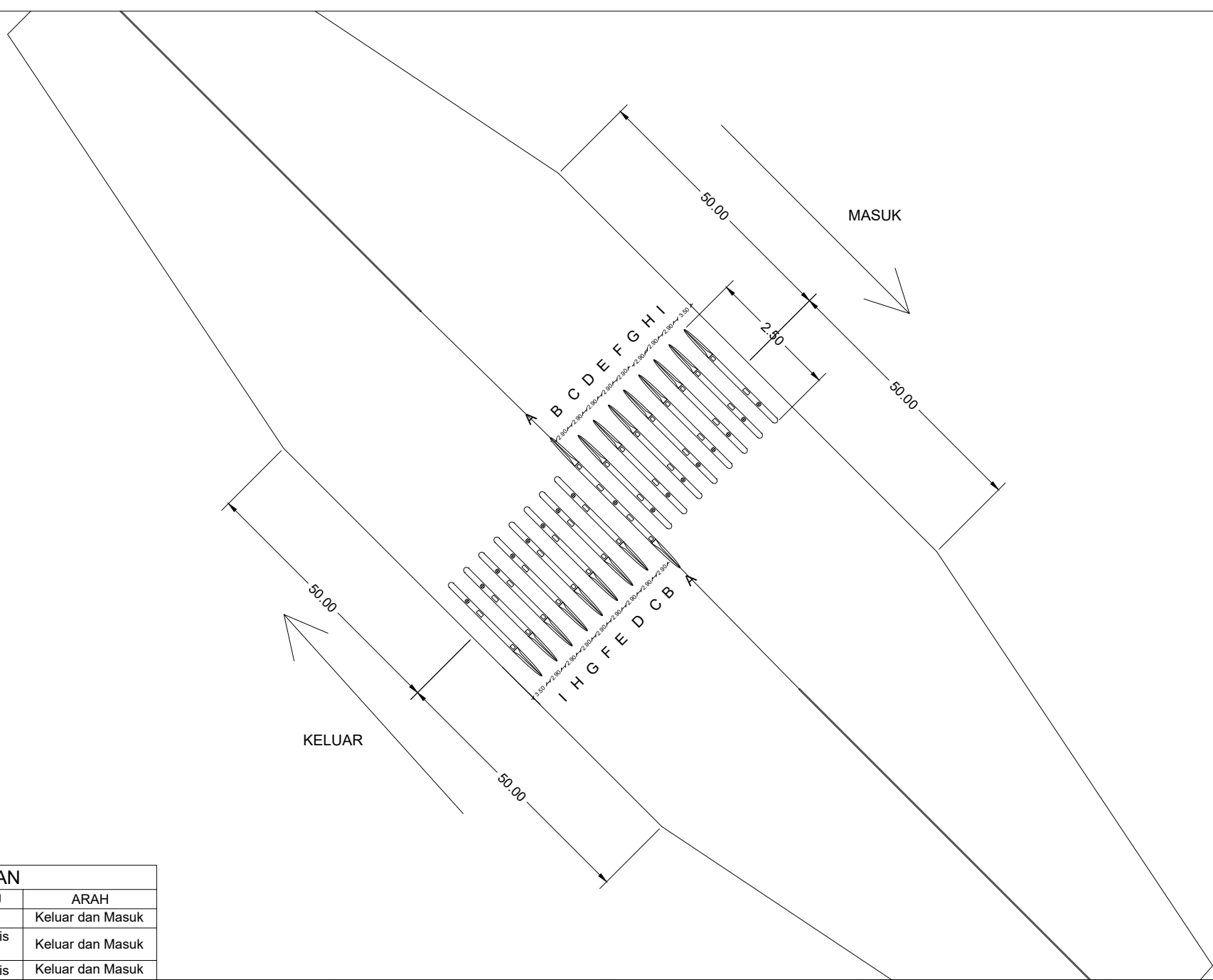
KETERANGAN

NAMA	JENIS GARDU	ARAH
A	<i>On Board Unit</i>	Keluar dan Masuk
B, C & D	Gardu Tol Otomatis Khusus	Keluar dan Masuk
E, F & G	Gardu Tol Otomatis	Keluar dan Masuk



PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL
 DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL,
 PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
 NOPEMBER
 SURABAYA
 2020

JUDUL TUGAS	DOSEN PEMBIMBING	NAMA/NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO. GAMBAR
TUGAS AKHIR	Ir. WAHJU HERIJANTO., MT. ANAK AGUNG GDE K., ST. MSc	FARIDA APRILLIA AKBAR S 03111640000131	GERBANG TOL SEMARANG 2020	1 : 1000	5



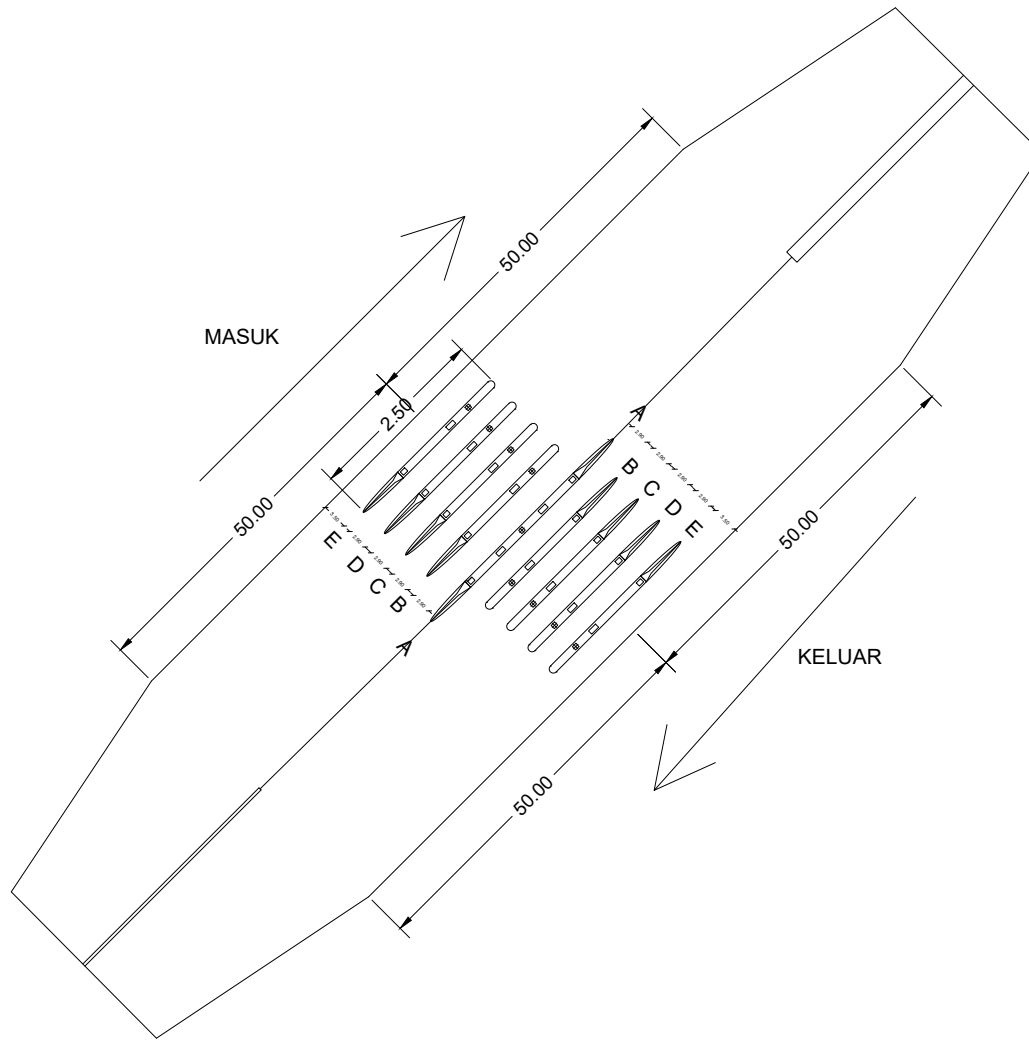
KETERANGAN

NAMA	JENIS GARDU	ARAH
A	<i>On Board Unit</i>	Keluar dan Masuk
B, C, D & E	Gardu Tol Otomatis Khusus	Keluar dan Masuk
F, G, H & I	Gardu Tol Otomatis	Keluar dan Masuk



PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL
 DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL,
 PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
 NOPEMBER
 SURABAYA
 2020

JUDUL TUGAS	DOSEN PEMBIMBING	NAMA/NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO. GAMBAR
TUGAS AKHIR	Ir. WAHJU HERIJANTO., MT. ANAK AGUNG GDE K., ST. MSc	FARIDA APRILLIA AKBAR S 03111640000131	GERBANG TOL SAYUNG 2020	1 : 1000	6



KETERANGAN

NAMA	JENIS GARDU	ARAH
A	<i>On Board Unit</i>	Keluar dan Masuk
B	Gardu Tol Otomatis Khusus	Keluar dan Masuk
C, D & E	Gardu Tol Otomatis	Keluar dan Masuk



PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL
 DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL,
 PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
 NOPEMBER
 SURABAYA
 2020

JUDUL TUGAS	DOSEN PEMBIMBING	NAMA/NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO. GAMBAR
TUGAS AKHIR	Ir. WAHJU HERIJANTO., MT. ANAK AGUNG GDE K., ST. MSc	FARIDA APRILLIA AKBAR S 03111640000131	GERBANG TOL DEMAK 2020	1 : 1000	7



PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL
 DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL,
 PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
 NOPEMBER
 SURABAYA
 2020

JUDUL TUGAS	DOSEN PEMBIMBING	NAMA/NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO. GAMBAR
TUGAS AKHIR	Ir. WAHJU HERIJANTO., MT. ANAK AGUNG GDE K., ST. MSc	FARIDA APRILLIA AKBAR S 03111640000131	GERBANG TOL SEMARANG 2025	1 : 2000	8



Google

Citra ©2020 CNES / Airbus,Maxar Technologies,Data peta ©2020 Indonesia Pers



PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL,
PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
SURABAYA
2020

JUDUL TUGAS	DOSEN PEMBIMBING	NAMA/NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO. GAMBAR
TUGAS AKHIR	Ir. WAHJU HERIJANTO., MT. ANAK AGUNG GDE K., ST. MSc	FARIDA APRILLIA AKBAR S 03111640000131	GERBANG TOL SAYUNG 2025	1 : 2000	9



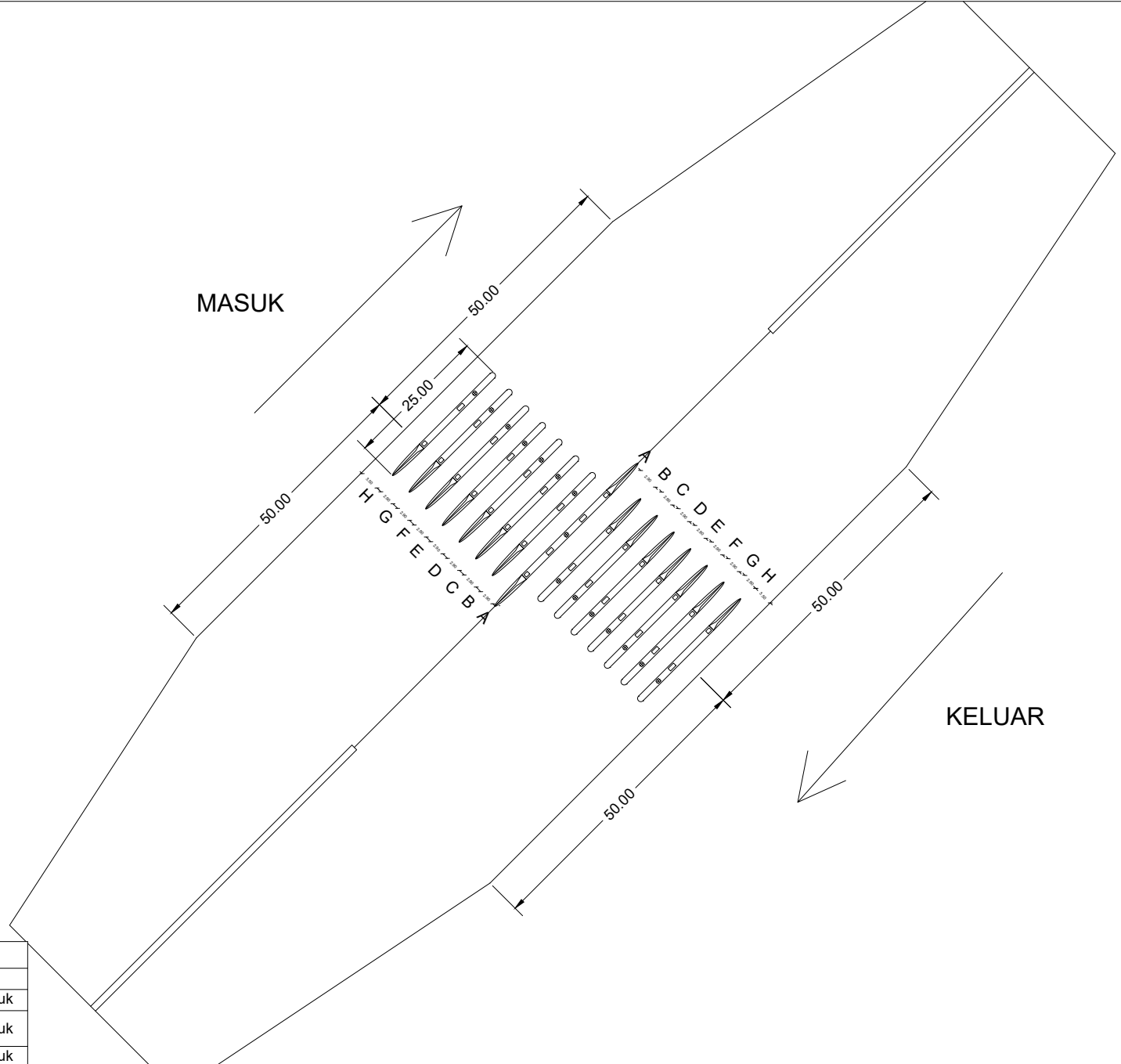
Google

Citra ©2020 CNES / Airbus,Maxar Technologies,Data peta ©2020 Indonesia Persya



PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL,
PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
SURABAYA
2020

JUDUL TUGAS	DOSEN PEMBIMBING	NAMA/NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO. GAMBAR
TUGAS AKHIR	Ir. WAHJU HERIJANTO., MT. ANAK AGUNG GDE K., ST. MSc	FARIDA APRILLIA AKBAR S 03111640000131	GERBANG TOL DEMAK 2025	1 : 2000	10



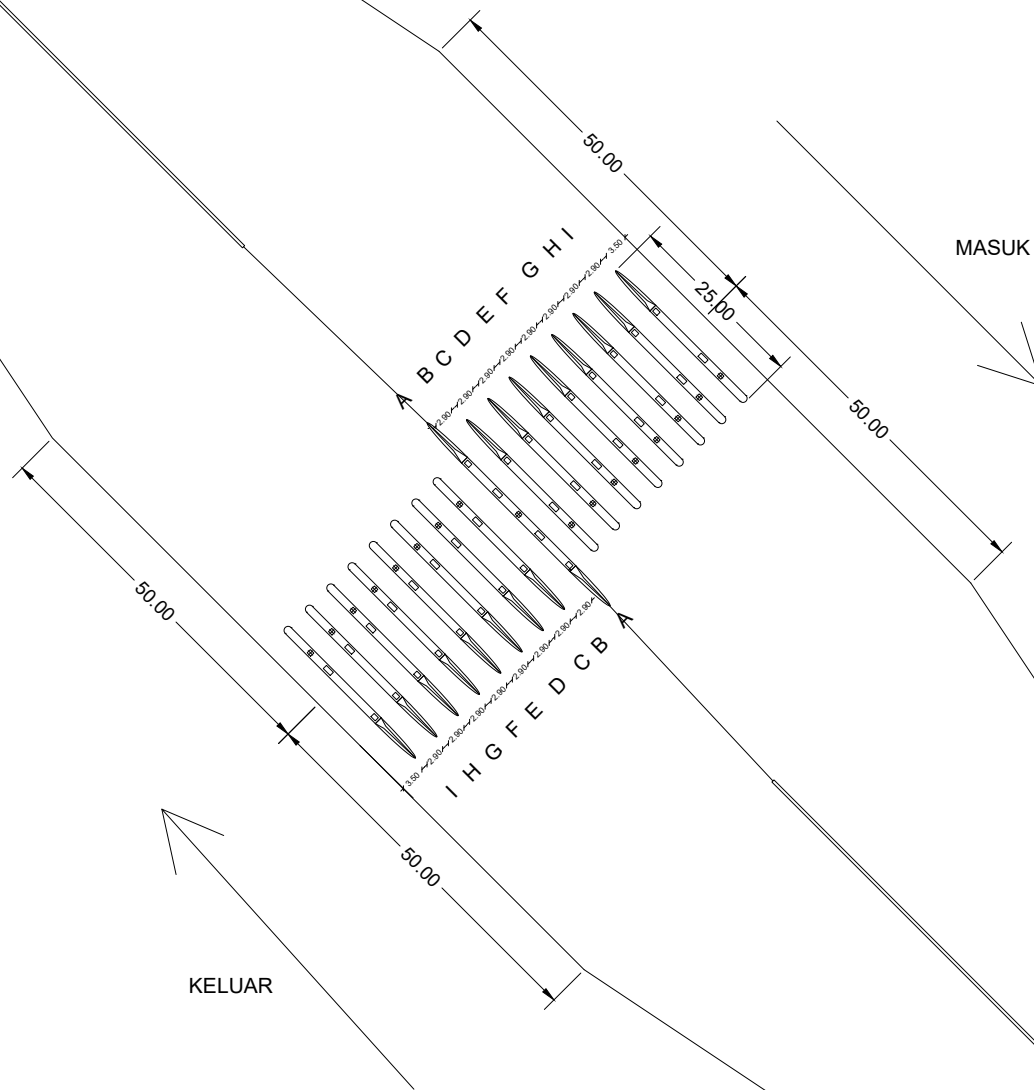
KETERANGAN

NAMA	JENIS GARDU	ARAH
A	<i>On Board Unit</i>	Keluar dan Masuk
B, C & D	Gardu Tol Otomatis Khusus	Keluar dan Masuk
E, F, G & H	Gardu Tol Otomatis	Keluar dan Masuk



PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL
 DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL,
 PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
 NOPEMBER
 SURABAYA
 2020

JUDUL TUGAS	DOSEN PEMBIMBING	NAMA/NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO. GAMBAR
TUGAS AKHIR	Ir. WAHJU HERIJANTO., MT. ANAK AGUNG GDE K., ST. MSc	FARIDA APRILLIA AKBAR S 03111640000131	GERBANG TOL SEMARANG 2025	1 : 1000	11



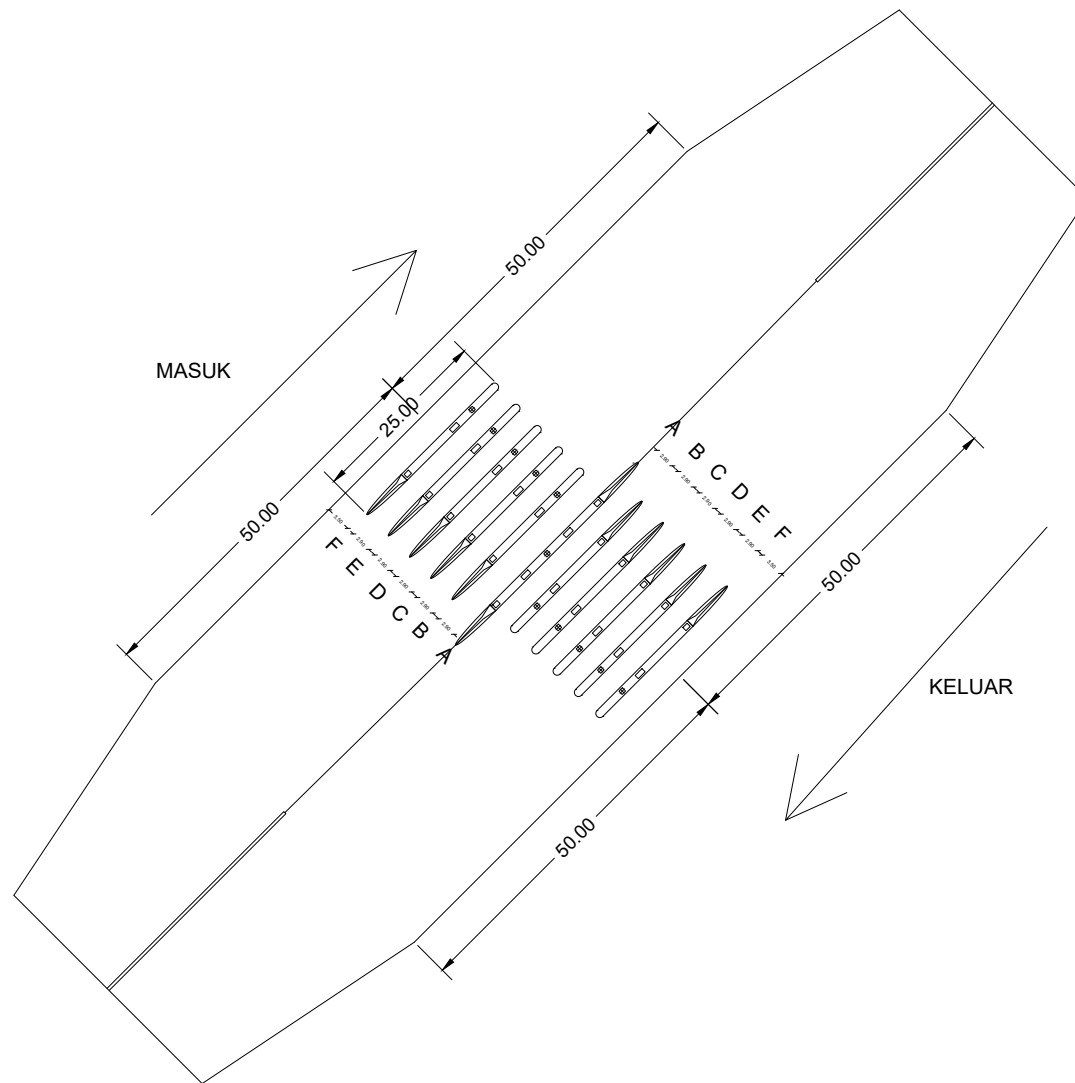
KETERANGAN

NAMA	JENIS GARDU	ARAH
A	<i>On Board Unit</i>	Keluar dan Masuk
B, C, D & E	Gardu Tol Otomatis Khusus	Keluar dan Masuk
F, G, H & I	Gardu Tol Otomatis	Keluar dan Masuk



PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL
 DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL,
 PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
 NOPEMBER
 SURABAYA
 2020

JUDUL TUGAS	DOSEN PEMBIMBING	NAMA/NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO. GAMBAR
TUGAS AKHIR	Ir. WAHJU HERIJANTO., MT. ANAK AGUNG GDE K., ST. MSc	FARIDA APRILLIA AKBAR S 03111640000131	GERBANG TOL SAYUNG 2025	1 : 1000	12



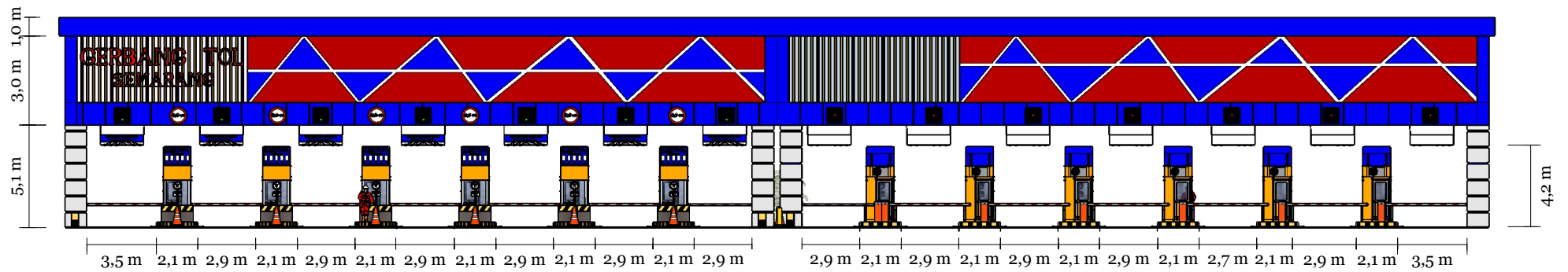
KETERANGAN

NAMA	JENIS GARDU	ARAH
A	<i>On Board Unit</i>	Keluar dan Masuk
B & C	Gardu Tol Otomatis Khusus	Keluar dan Masuk
D, E & F	Gardu Tol Otomatis	Keluar dan Masuk



PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL
 DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL,
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL,
 PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
 NOPEMBER
 SURABAYA
 2020

JUDUL TUGAS	DOSEN PEMBIMBING	NAMA/NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO. GAMBAR
TUGAS AKHIR	Ir. WAHJU HERIJANTO., MT. ANAK AGUNG GDE K., ST. MSc	FARIDA APRILLIA AKBAR S 03111640000131	GERBANG TOL DEMAK 2025	1 : 1000	13



Gerbang Tol Semarang Tahun 2020

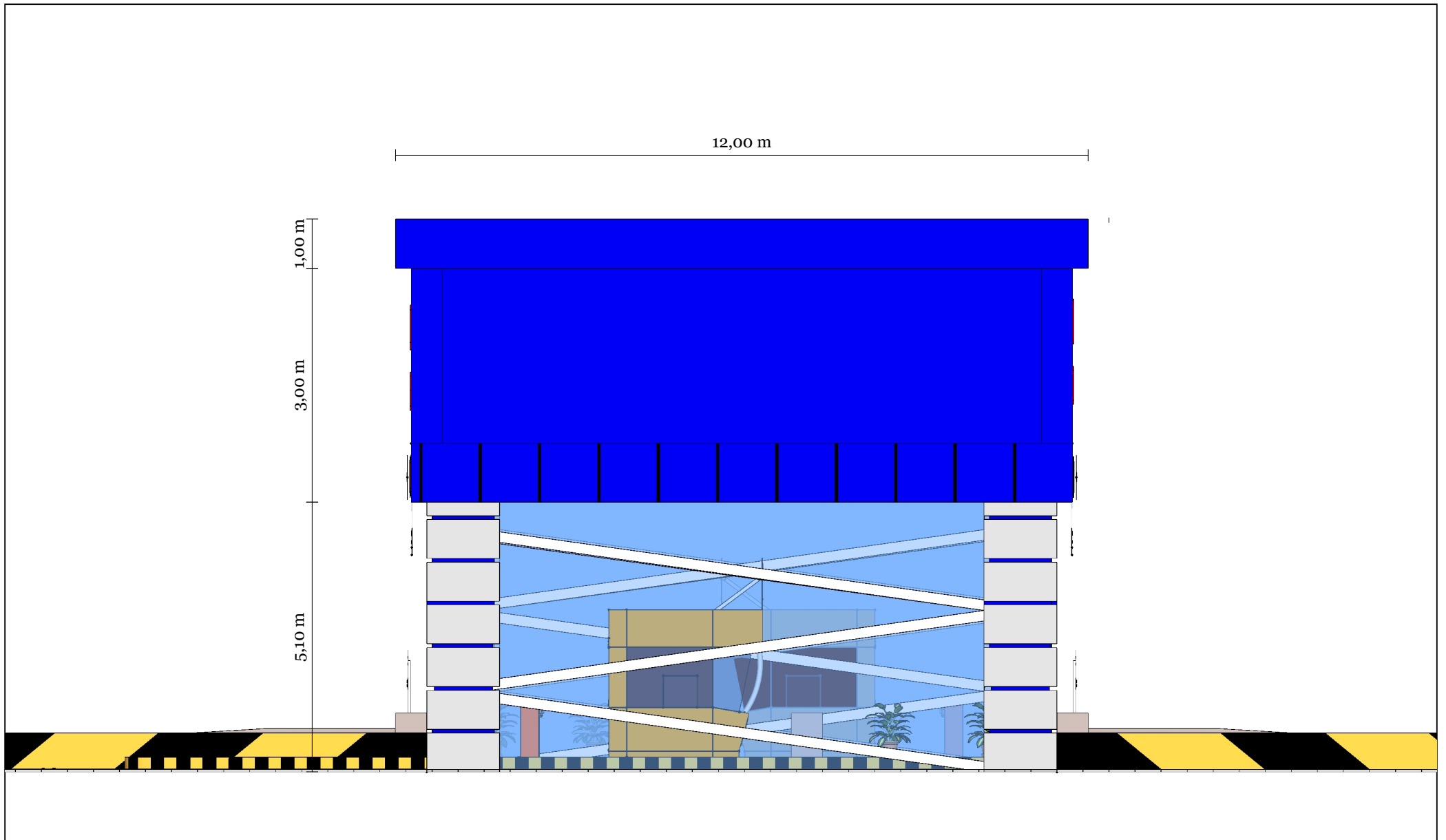
Tampak Depan

Skala 1 : 300

REVISIONS

	MM/DD/YY	REMARKS
1	--/--/--	...
2	--/--/--	...
3	--/--/--	...
4	--/--/--	...
5	--/--/--	...

NO 1



Gerbang Tol Semarang Tahun 2020

Tampak Samping

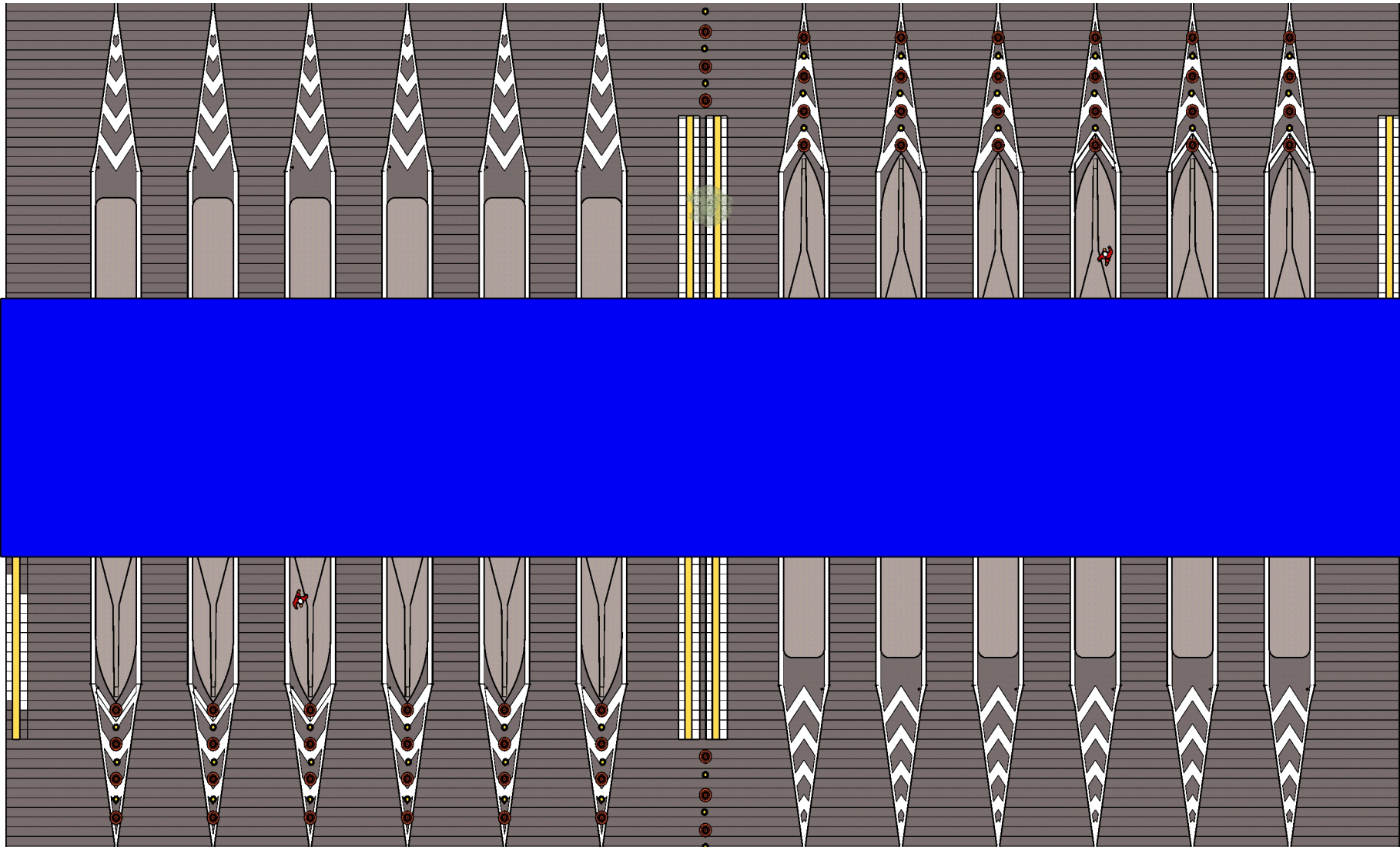
Skala 1 : 100

REVISIONS

	MM/DD/YY	REMARKS
1	--/--/--	...
2	--/--/--	...
3	--/--/--	...
4	--/--/--	...
5	--/--/--	...

2

NO



Gerbang Tol Semarang Tahun 2020

Tampak Atas

Skala 1 : 300

REVISIONS

	MM/DD/YY	REMARKS
1	--/--/--	...
2	--/--/--	...
3	--/--/--	...
4	--/--/--	...
5	--/--/--	...

NO 3

NO



Gerbang Tol Semarang Tahun 2020

Perspektif 1

REVISIONS

	MM/DD/YY	REMARKS
1	--/--/--	...
2	--/--/--	...
3	--/--/--	...
4	--/--/--	...
5	--/--/--	...

4

NO



Gerbang Tol Semarang Tahun 2020

Perspektif 2

REVISIONS

	MM/DD/YY	REMARKS
1	--/--/--	...
2	--/--/--	...
3	--/--/--	...
4	--/--/--	...
5	--/--/--	...

5

NO



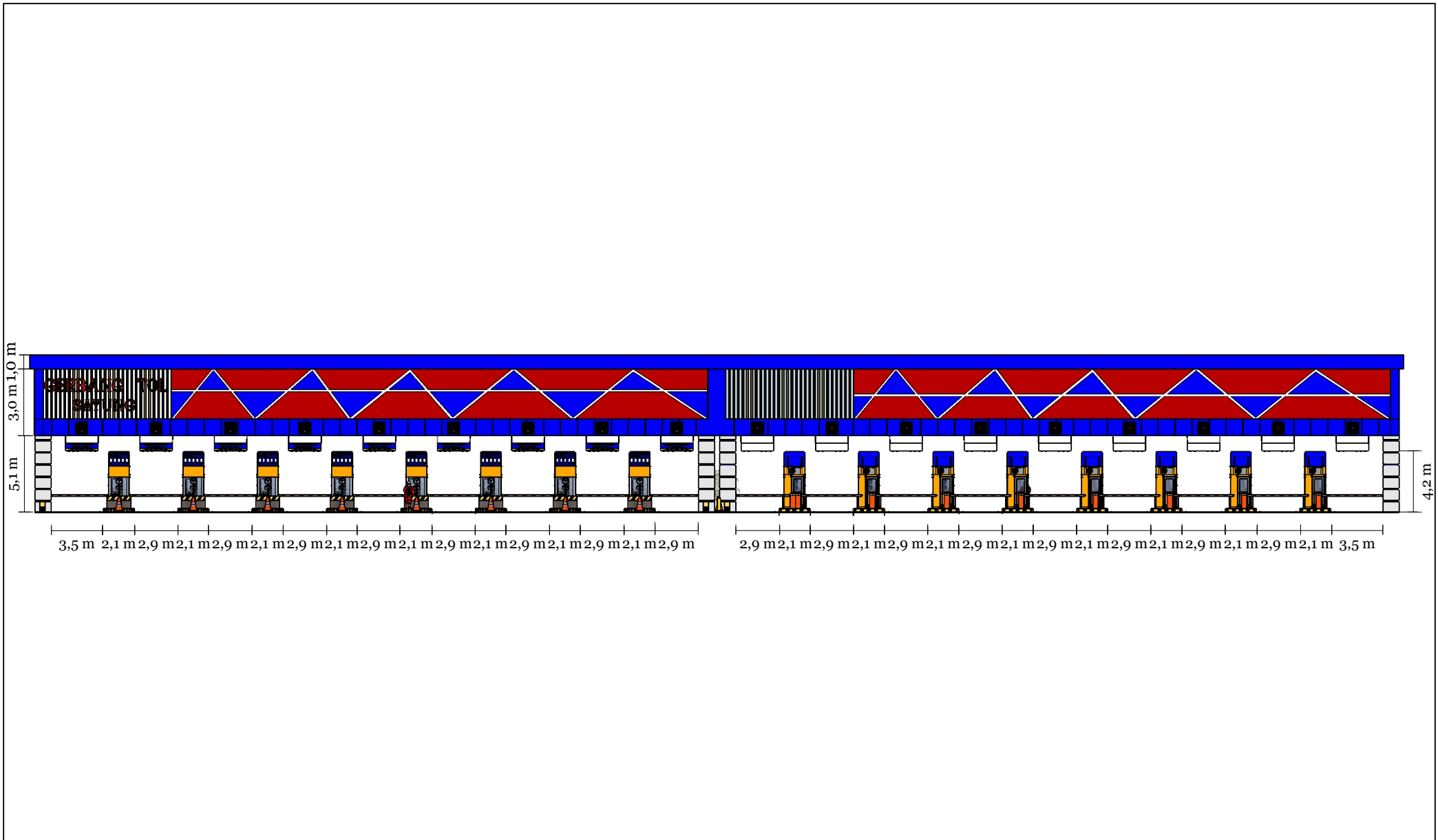
Gerbang Tol Semarang Tahun 2020

Perspektif 3

REVISIONS

	MM/DD/YY	REMARKS
1	--/--/--	...
2	--/--/--	...
3	--/--/--	...
4	--/--/--	...
5	--/--/--	...

NO 6



Gerbang Tol Sayung Tahun 2020

Tampak Depan

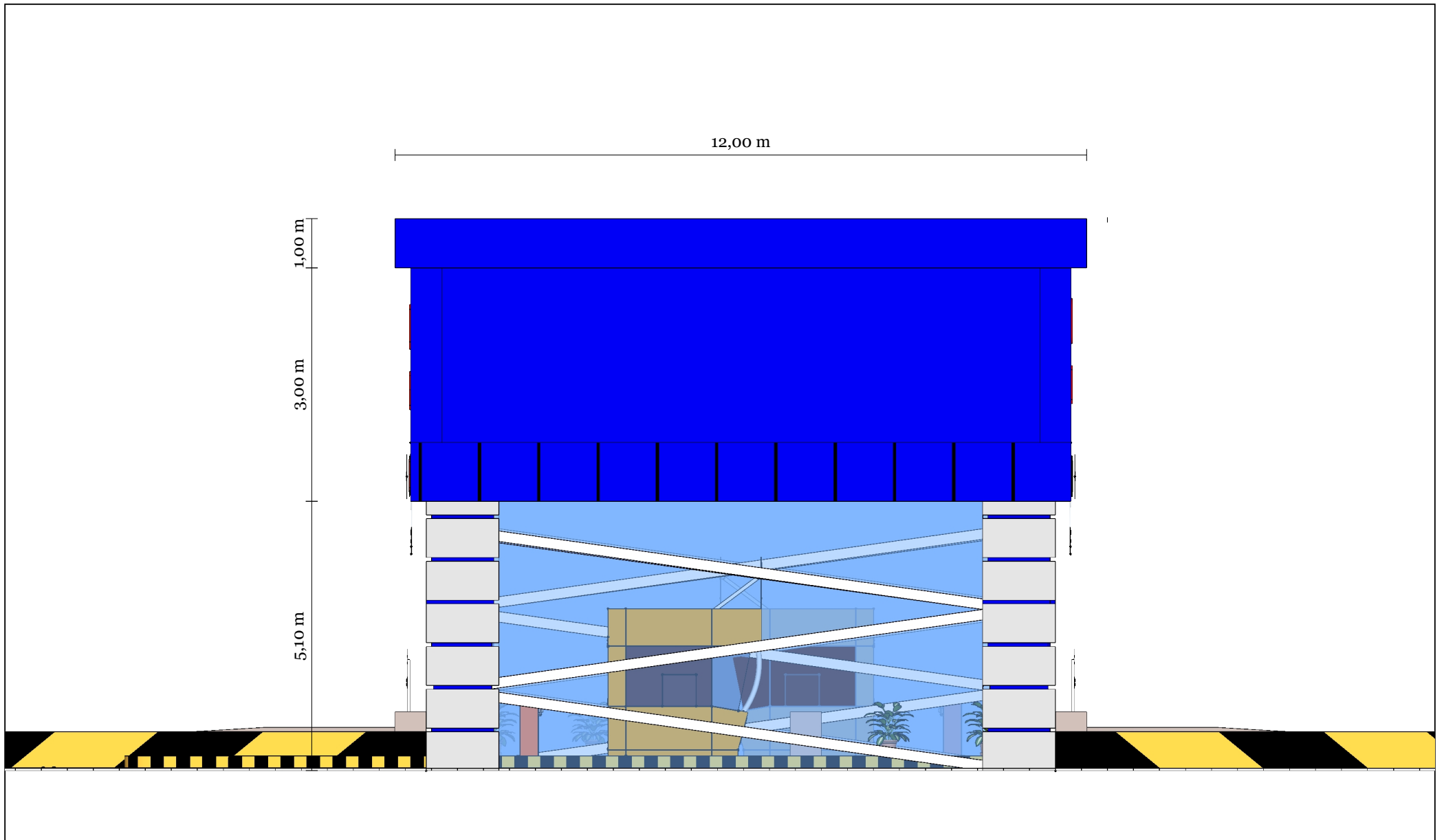
Skala 1 : 300

REVISIONS

	MM/DD/YY	REMARKS
1	--/--/--	...
2	--/--/--	...
3	--/--/--	...
4	--/--/--	...
5	--/--/--	...

7

NO



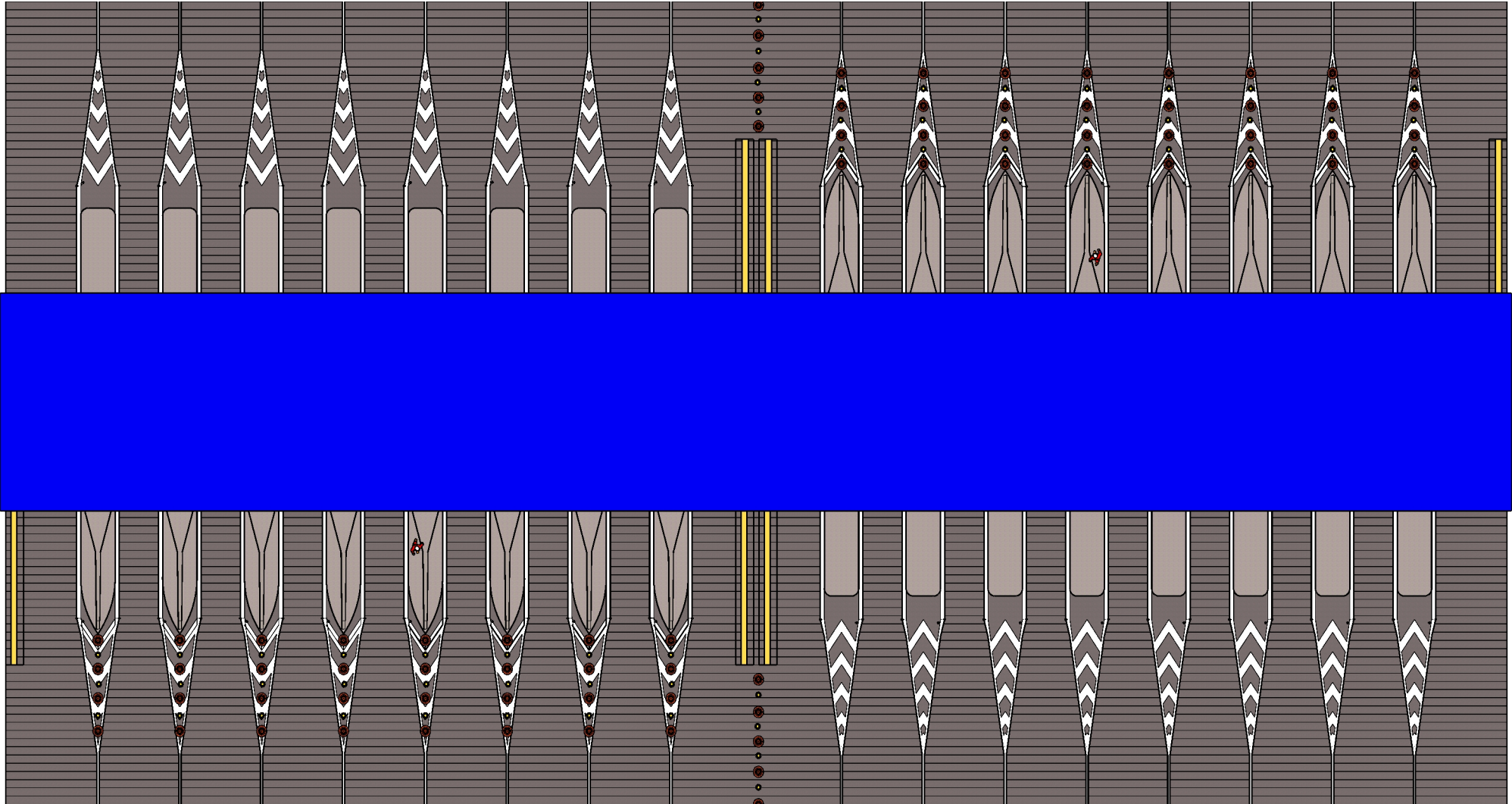
Gerbang Tol Sayung Tahun 2020

Tampak Samping

REVISIONS	
MM/DD/YY	REMARKS
1	... / ... / ...
2	... / ... / ...
3	... / ... / ...
4	... / ... / ...
5	... / ... / ...

NO 8

NO



Gerbang Tol Sayung Tahun 2020

Tampak Atas

REVISIONS	
MM/DD/YY	REMARKS
1	---/---/--- ...
2	---/---/--- ...
3	---/---/--- ...
4	---/---/--- ...
5	---/---/--- ...

NO 9



Gerbang Tol Sayung Tahun 2020

Perspektif 1

REVISIONS		
	MM/DD/YY	REMARKS
1	--/--/--	...
2	--/--/--	...
3	--/--/--	...
4	--/--/--	...
5	--/--/--	...

NO 10



Gerbang Tol Sayung Tahun 2020

Perspektif 2

REVISIONS

	MM/DD/YY	REMARKS
1	--/--/--	...
2	--/--/--	...
3	--/--/--	...
4	--/--/--	...
5	--/--/--	...

NO 11



Gerbang Tol Sayung Tahun 2020

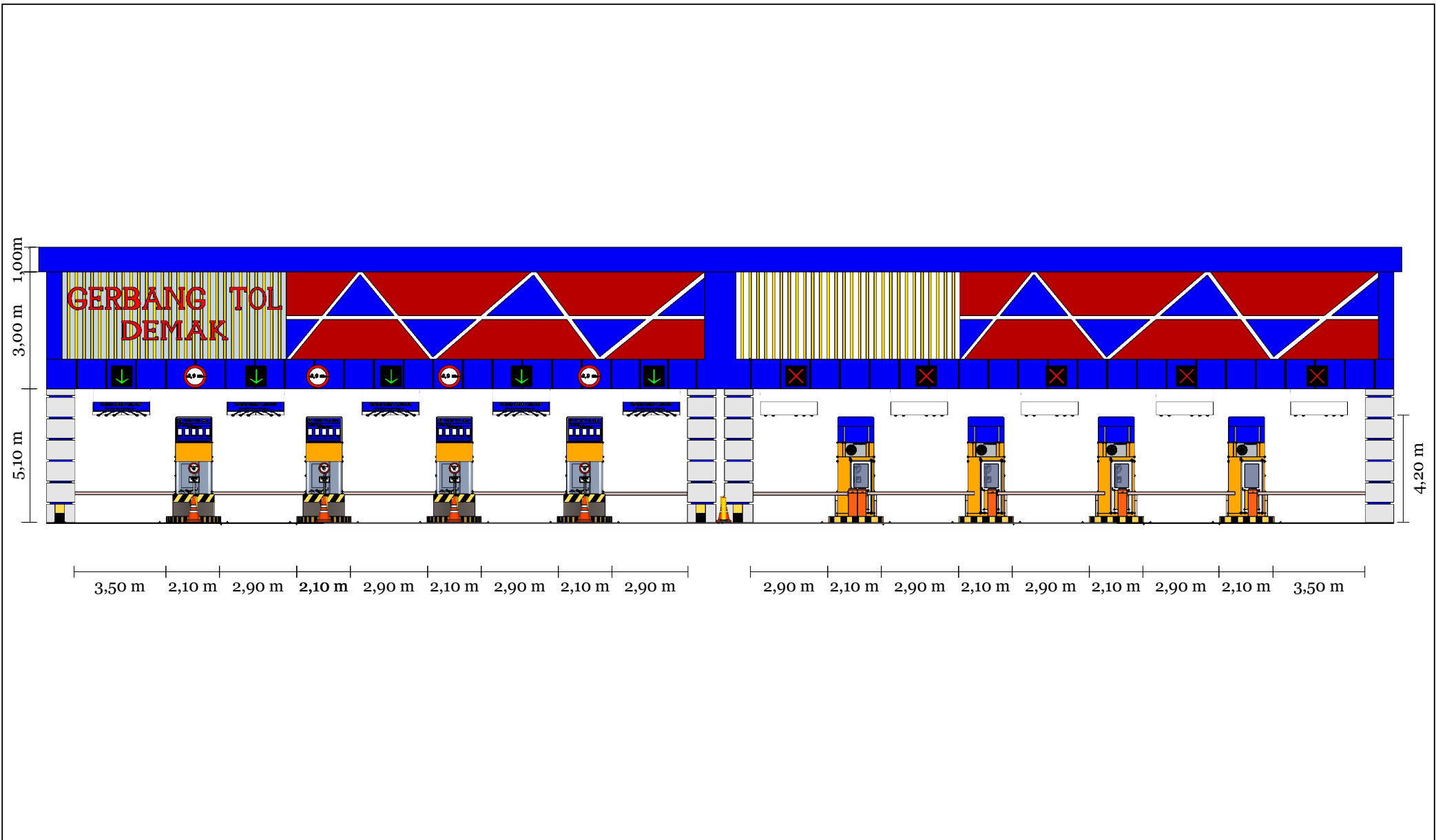
Perspektif 3

REVISIONS

	MM/DD/YY	REMARKS
1	___/___/___	...
2	___/___/___	...
3	___/___/___	...
4	___/___/___	...
5	___/___/___	...

NO 12

NO



Gerbang Tol Demak Tahun 2020

Tampak Depan

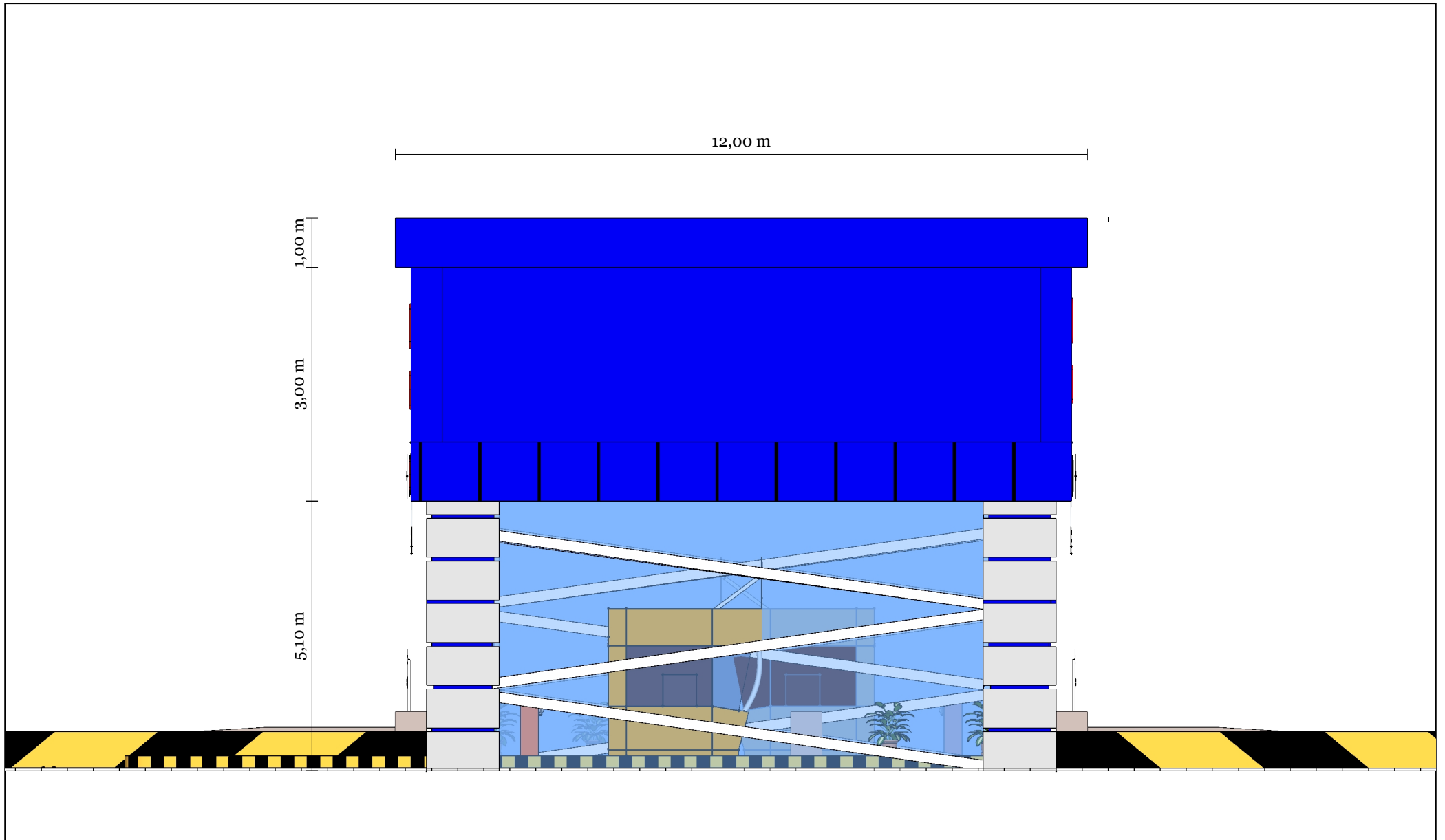
Skala 1 :200

REVISIONS

	MM/DD/YY	REMARKS
1	--/--/--	...
2	--/--/--	...
3	--/--/--	...
4	--/--/--	...
5	--/--/--	...

NO 13

NO



Gerbang Tol Demak Tahun 2020

Tampak Samping

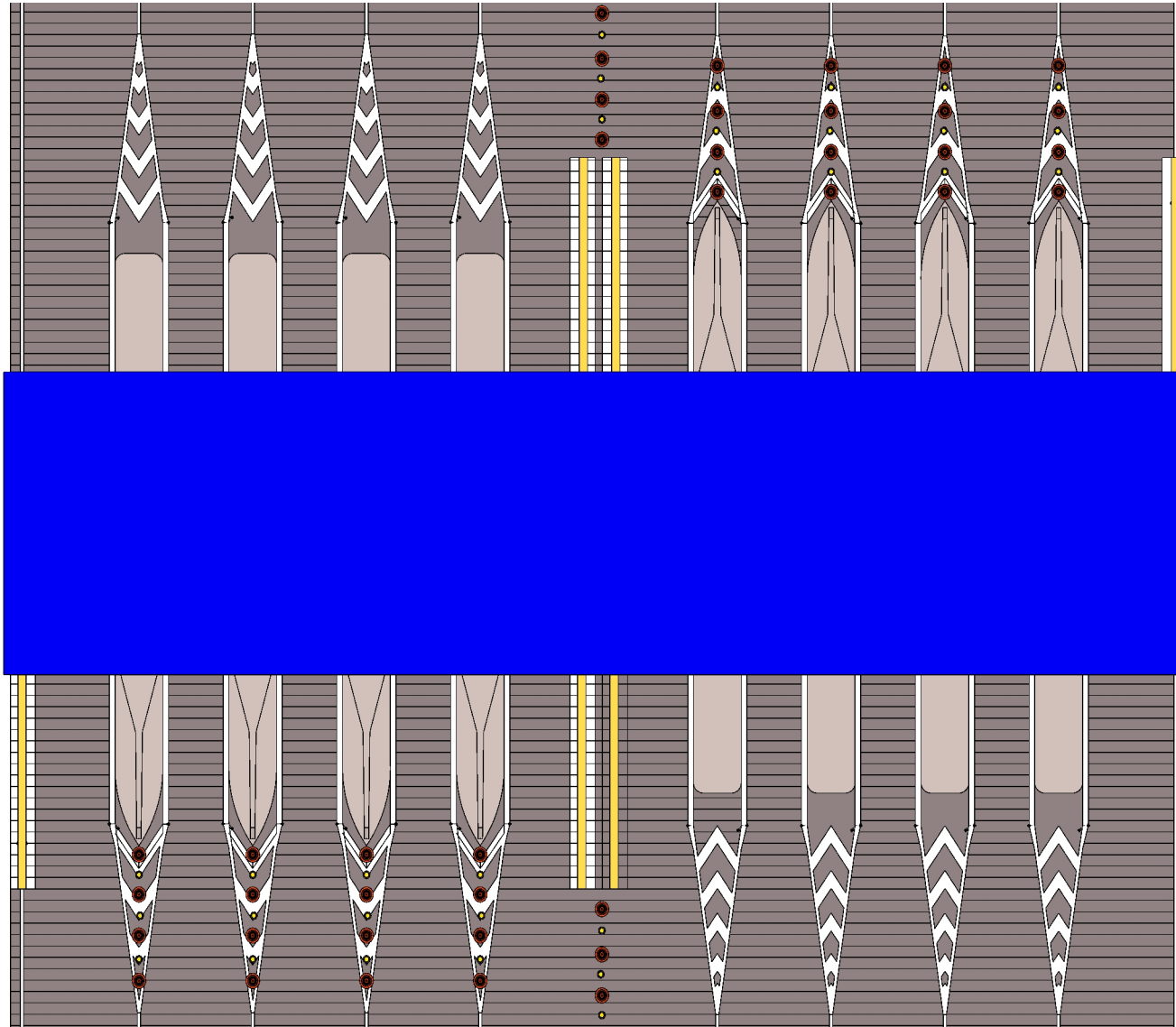
Skala 1 : 100

REVISIONS

	MM/DD/YY	REMARKS
1	--/--/--	...
2	--/--/--	...
3	--/--/--	...
4	--/--/--	...
5	--/--/--	...

NO 14

NO 14



Gerbang Tol Demak Tahun 2020

Tampak Atas

Skala 1 : 100

REVISIONS

	MM/DD/YY	REMARKS
1	--/--/--	...
2	--/--/--	...
3	--/--/--	...
4	--/--/--	...
5	--/--/--	...

NO 15

NO



Gerbang Tol Demak Tahun 2020

Perspektif 1

REVISIONS		
	MM/DD/YY	REMARKS
1	--/--/--	...
2	--/--/--	...
3	--/--/--	...
4	--/--/--	...
5	--/--/--	...

NO 16



Gerbang Tol Demak Tahun 2020

Perspektif 2

REVISIONS

	MM/DD/YY	REMARKS
1	--/--/--	...
2	--/--/--	...
3	--/--/--	...
4	--/--/--	...
5	--/--/--	...

NO 17

NO



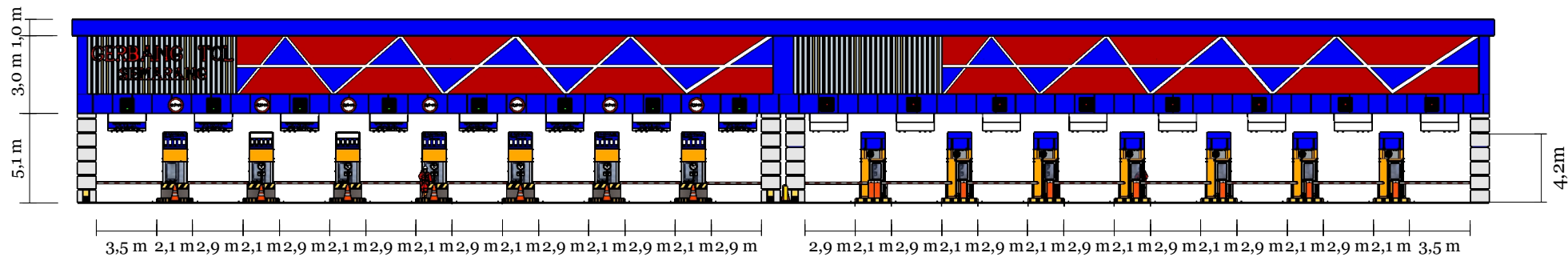
Gerbang Tol Demak Tahun 2020

Perspektif 3

REVISIONS

	MM/DD/YY	REMARKS
1	___/___/___	...
2	___/___/___	...
3	___/___/___	...
4	___/___/___	...
5	___/___/___	...

NO 18



Gerbang Tol Semarang Tahun 2025

Tampak Depan

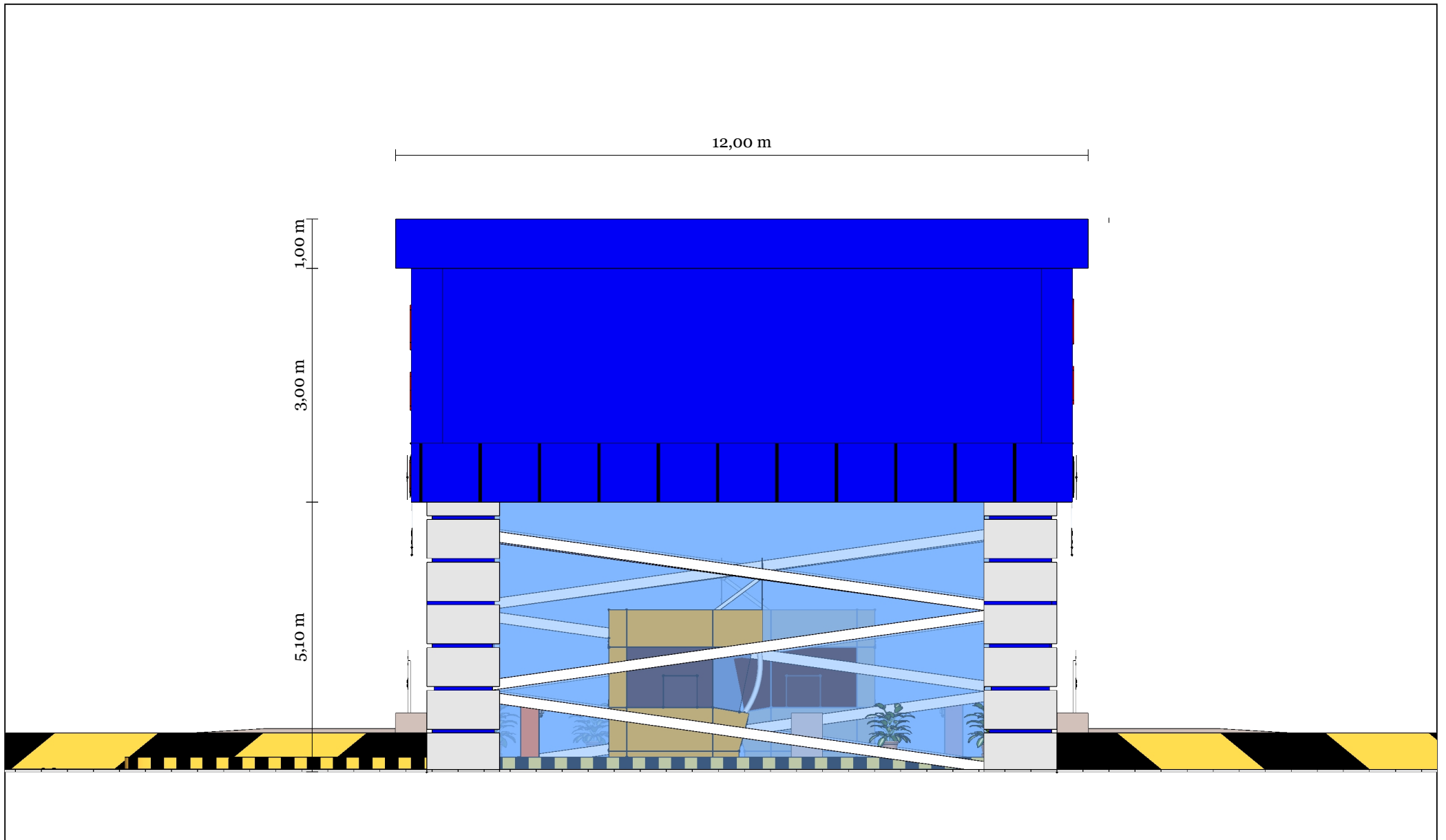
Skala 1 : 350

REVISIONS

	MM/DD/YY	REMARKS
1	--/--/--	...
2	--/--/--	...
3	--/--/--	...
4	--/--/--	...
5	--/--/--	...

NO 19

NO



Gerbang Tol Semarang Tahun 2025

Tampak Samping

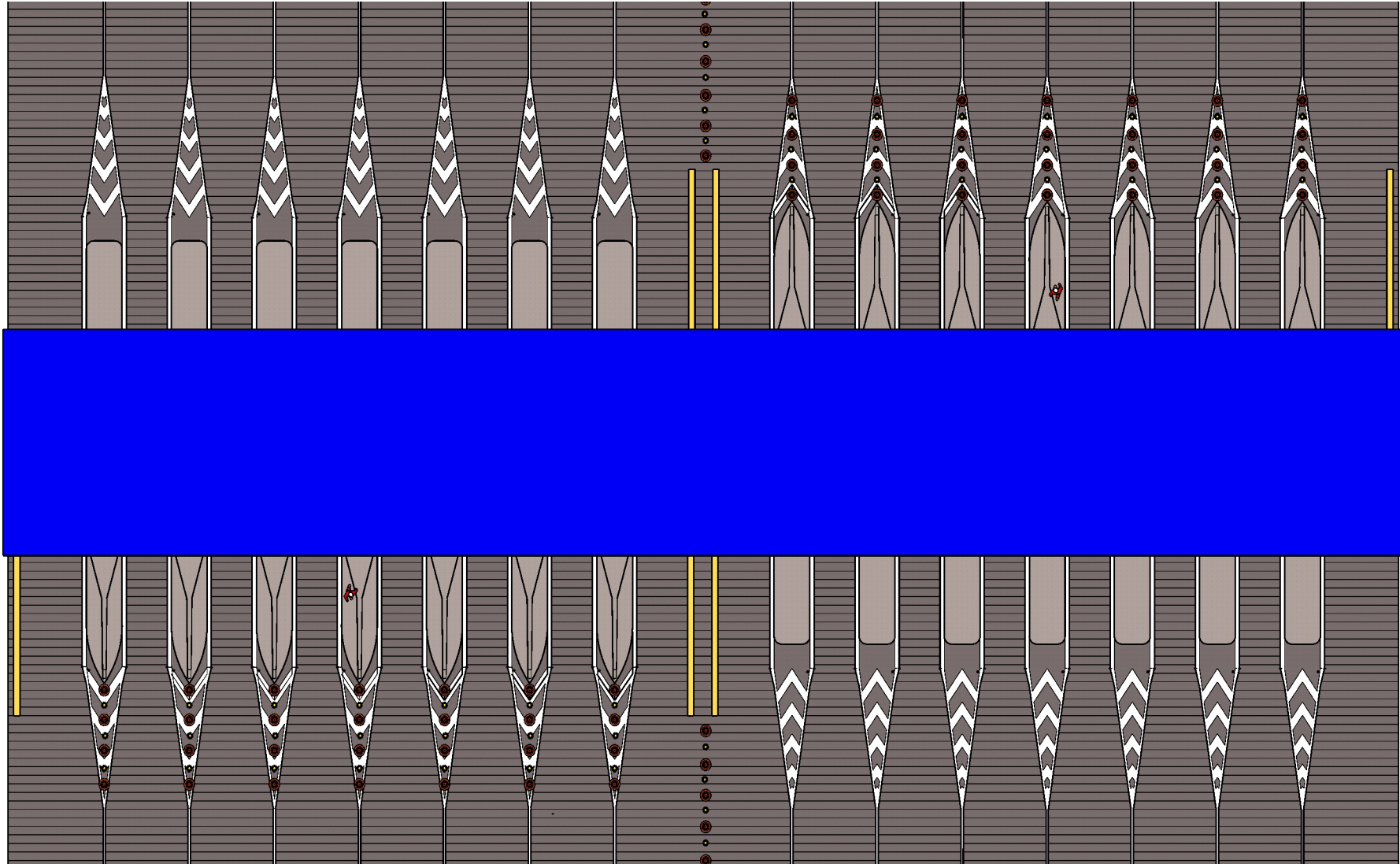
Skala 1 : 100

REVISIONS

	MM/DD/YY	REMARKS
1	--/--/--	...
2	--/--/--	...
3	--/--/--	...
4	--/--/--	...
5	--/--/--	...

NO 20

NO



Gerbang Tol Semarang Tahun 2020

Tampak Atas

Skala 1 : 350

REVISIONS

	MM/DD/YY	REMARKS
1	--/--/--	...
2	--/--/--	...
3	--/--/--	...
4	--/--/--	...
5	--/--/--	...



Gerbang Tol Semarang Tahun 2025

Perspektif 1

REVISIONS		
	MM/DD/YY	REMARKS
1	--/--/--	...
2	--/--/--	...
3	--/--/--	...
4	--/--/--	...
5	--/--/--	...

NO 22



Gerbang Tol Semarang Tahun 2025

Perspektif 2

REVISIONS

	MM/DD/YY	REMARKS
1	--/--/--	...
2	--/--/--	...
3	--/--/--	...
4	--/--/--	...
5	--/--/--	...

NO 23

NO

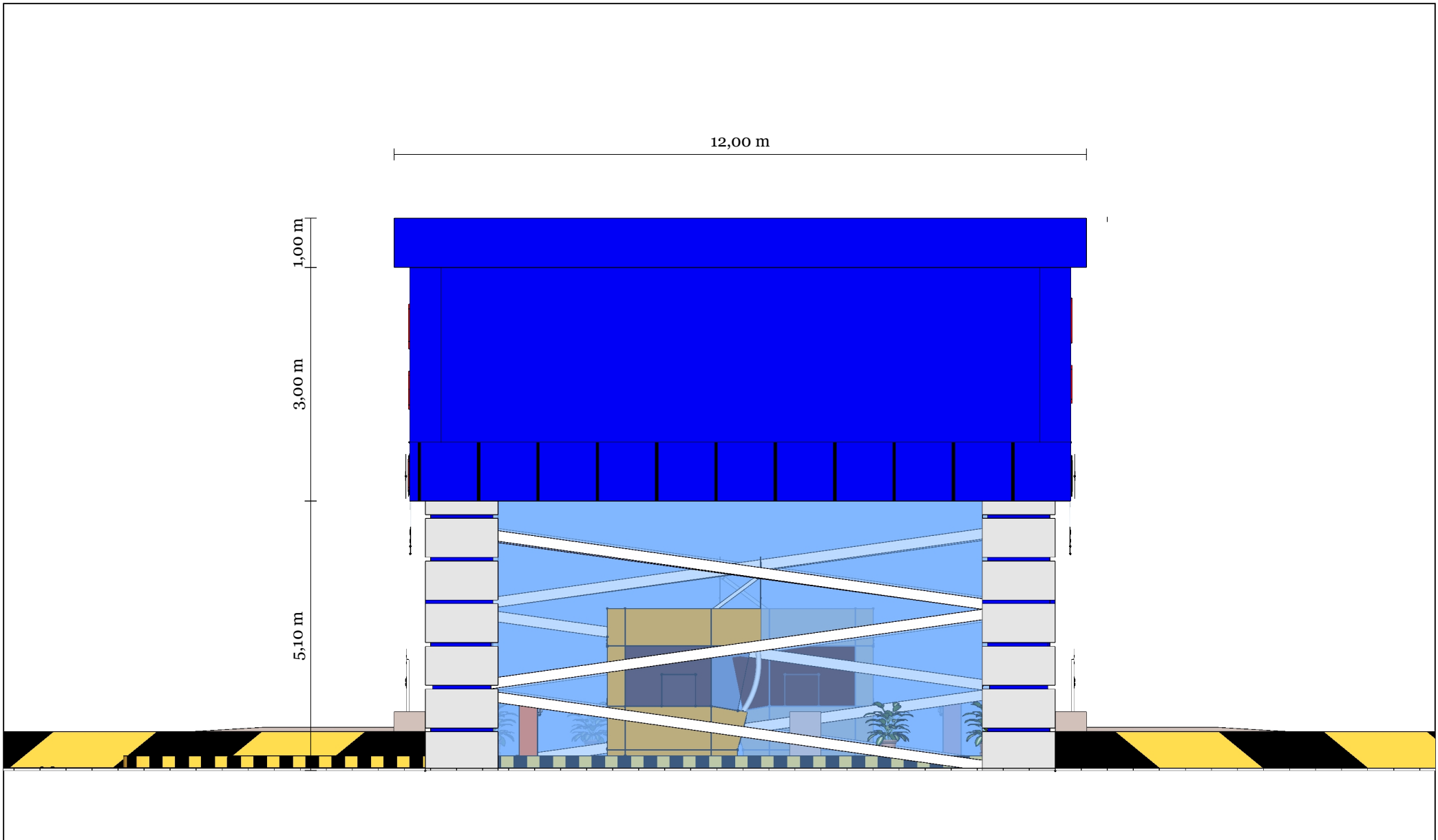


Gerbang Tol Semarang Tahun 2025

Perspektif 3

REVISIONS

	MM/DD/YY	REMARKS
1	___/___/___	...
2	___/___/___	...
3	___/___/___	...
4	___/___/___	...
5	___/___/___	...



Gerbang Tol Sayung Tahun 2025

Tampak Samping

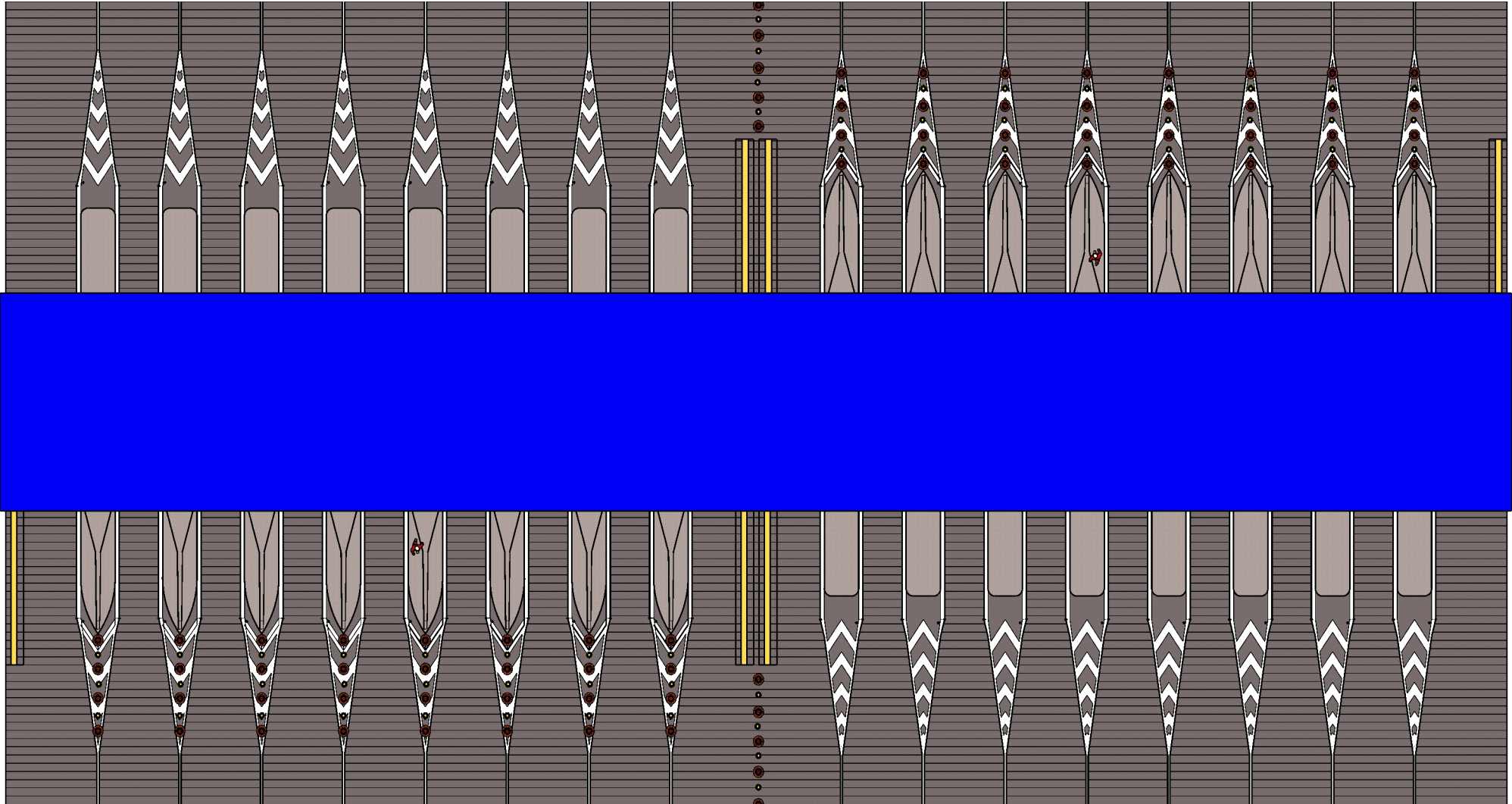
Skala 1 : 100

REVISIONS

	MM/DD/YY	REMARKS
1	--/--/--	...
2	--/--/--	...
3	--/--/--	...
4	--/--/--	...
5	--/--/--	...

NO 26

NO



Gerbang Tol Sayung Tahun 2025

Tampak Atas

Skala 1 : 350

REVISIONS		
	MM/DD/YY	REMARKS
1	--/--/--	...
2	--/--/--	...
3	--/--/--	...
4	--/--/--	...
5	--/--/--	...



Gerbang Tol Ssayung Tahun 2025

Perspektif 1

REVISIONS

	MM/DD/YY	REMARKS
1	--/--/--	...
2	--/--/--	...
3	--/--/--	...
4	--/--/--	...
5	--/--/--	...



Gerbang Tol Sayung Tahun 2025

Perspektif 2

REVISIONS

	MM/DD/YY	REMARKS
1	--/--/--	...
2	--/--/--	...
3	--/--/--	...
4	--/--/--	...
5	--/--/--	...

NO 29



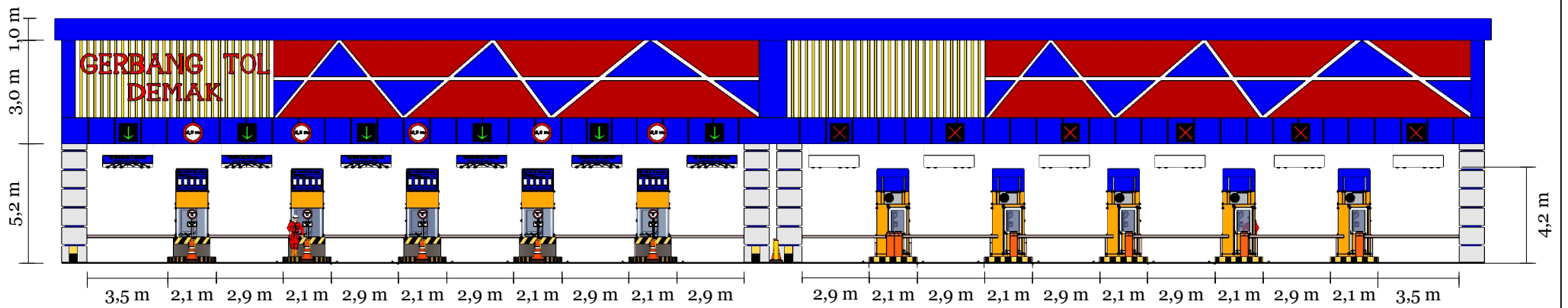
Gerbang Tol Sayung Tahun 2025

Perspektif 3

REVISIONS

	MM/DD/YY	REMARKS
1	--/--/--	...
2	--/--/--	...
3	--/--/--	...
4	--/--/--	...
5	--/--/--	...

NO 30



Gerbang Tol Demak Tahun 2025

Tampak Depan

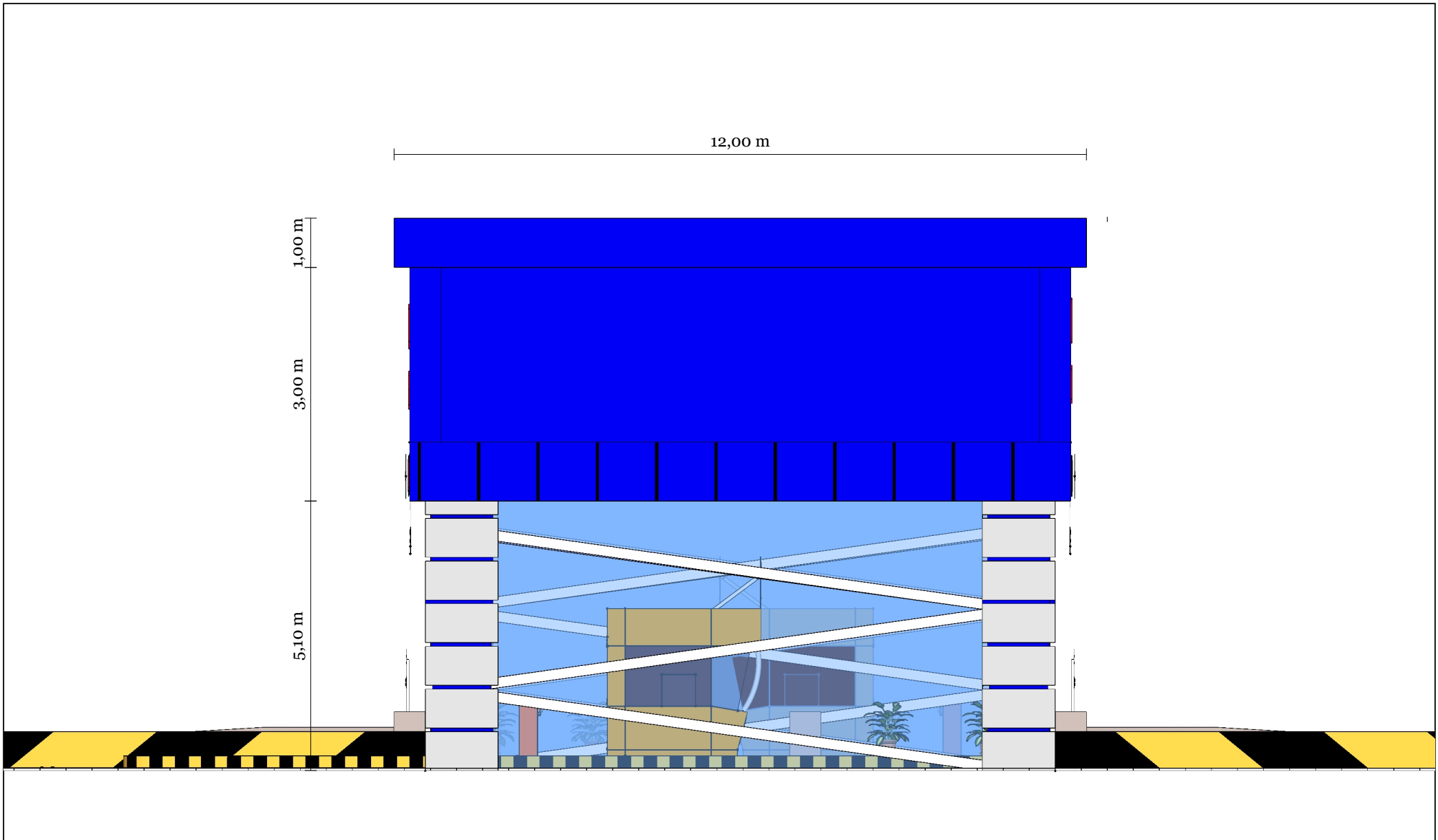
Skala 1 : 250

REVISIONS

	MM/DD/YY	REMARKS
1	--/--/--	...
2	--/--/--	...
3	--/--/--	...
4	--/--/--	...
5	--/--/--	...

NO 31

NO



Gerbang Tol Demak Tahun 2025

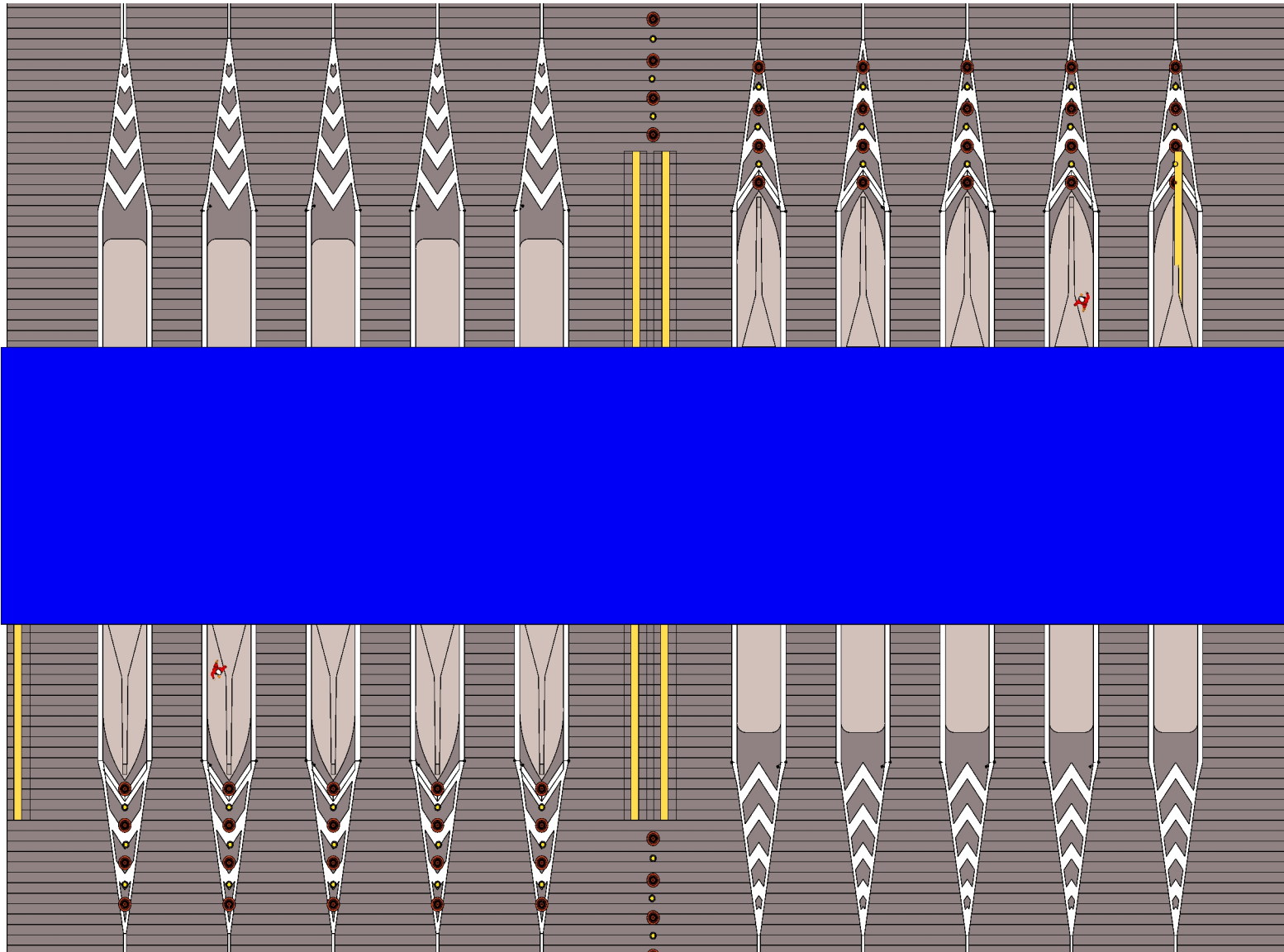
Tampak Samping

Skala 1 : 100

REVISIONS	
MM/DD/YY	REMARKS
1	... / ... / ...
2	... / ... / ...
3	... / ... / ...
4	... / ... / ...
5	... / ... / ...

NO 32

NO 32



Gerbang Tol Demak Tahun 2025

Tampak Atas

Skala 1 : 300

REVISIONS		
	MM/DD/YY	REMARKS
1	--/--/--	...
2	--/--/--	...
3	--/--/--	...
4	--/--/--	...
5	--/--/--	...



Gerbang Tol Demak Tahun 2025

Perspektif 1

REVISIONS	
MM/DD/YY	REMARKS
1	... / ... / ...
2	... / ... / ...
3	... / ... / ...
4	... / ... / ...
5	... / ... / ...



Gerbang Tol Demak Tahun 2025

Perspektif 2

REVISIONS		
	MM/DD/YY	REMARKS
1	--/--/--	...
2	--/--/--	...
3	--/--/--	...
4	--/--/--	...
5	--/--/--	...

NO 35

NO



Gerbang Tol Demak Tahun 2025

Perspektif 3

REVISIONS

	MM/DD/YY	REMARKS
1	--/--/--	...
2	--/--/--	...
3	--/--/--	...
4	--/--/--	...
5	--/--/--	...

NO 36