

TUGAS AKHIR

**PERANCANGAN JALUR GANDA KERETA API
STASIUN GUNDIH – STASIUN GOPRAK
(*DOUBLE TRACK RAILWAY DESIGN OF GUNDIH -
GOPRAK STATION*)**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**Muhammad Rizky Sya'bani
16511002**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2022**

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN JALUR GANDA KERETA API STASIUN GUNDIH – STASIUN GOPRAK (DOUBLE TRACK RAILWAY DESIGN OF GUNDIH - GOPRAK STATION)

Disusun oleh

Muhammad Rizky Sya'bani
16511002

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 30 Juni 2022

Oleh Dewan Penguji:

الجمعة الائمة الانسية
الاستاد الانذو

Pembimbing

Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D
NIP: 955110103

Penguji I

Ir. Qorry Ya'cub, M.T
NIP: 815110102

Penguji II

Pravogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIP: 205111303

Mengesahkan

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T.
NIP: 885110101



PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan penuh kesadaran bahwa laporan Tugas Akhir yang berjudul *Perancangan Jalur Ganda Kereta Api Stasiun Gundih – Stasiun Goprak* yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian Program Sarjana pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya sendiri. Adapun bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila dikemudian hari ditemukan baik sebagian maupun seluruh laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 01 Juli 2022

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Rizky Sya'bani

16511002

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul *Perancangan Jalur Ganda Kereta Api Stasiun Gundih – Stasiun Goprak*. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, dorongan semangat dari berbagai pihak, alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih khususnya kepada:

1. Ibu Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan arahan dalam menyusun Tugas Akhir ini,
2. Bapak Ir. Qorry Ya'cub, M.T. selaku dosen penguji yang telah memberi masukan dan pembelajaran yang berguna bagi penulis,
3. Bapak Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc. selaku dosen penguji yang telah memberi masukan dan pembelajaran yang berguna bagi penulis,
4. Ibu Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T. selaku Ketua Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta,
5. Bapak dan Ibu dari DAOP VI Yogyakarta KAI yang telah mengarahkan dan membantu dalam perolehan data,
6. Orang tua Penulis, Bapak Sutaryo dan Ibu Tutik Rahayu yang telah berkorban banyak serta memberikan doa dan dukungannya secara moril maupun materiil demi terselesainya studi yang penulis jalani,
7. Kakak dan Adik tercinta yang senantiasa memberikan doa serta dukungan semangat,

8. Pihak lain yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang senantiasa mengingatkan maupun memberi dukungan agar cepat terselesaikannya tugas akhir ini.

Akhirnya Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini bisa bermanfaat bagi berbagai pihak yang telah membacanya.

Yogyakarta, 01 Juli 2022

Penulis,



Muhammad Rizky Sya'bani

16511002



DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xv
ABSTRAK	xvi
<i>ABSTRACT</i>	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Perancangan	3
1.4 Manfaat Perancangan	3
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tinjauan Umum	5
2.2 Perancangan Geometri Jalan Rel	5
2.3 Perancangan Struktur Jalan Rel Kereta Api	6
2.4 Perbandingan Variabel Penelitian yang Ditinjau	6
BAB III LANDASAN TEORI	10
3.1 Jalan Rel Kereta Api	10
3.2 Analisis Geometri dan Struktur Jalur Kereta Api	12
3.2.1 Klasifikasi Kelas Jalan Rel	12
3.2.2 Lengkung Horizontal	15
3.2.3 Lengkung Vertikal	21
	vi

3.2.4 Kelandaian	23
3.2.5 Pelebaran Jalan Rel	25
3.2.6 Tata Ruang untuk Pengoperasian	26
3.2.7 Koordinasi Alinyemen Horizontal dan Vertikal Jalan Rel	28
3.3 Pembebanan Kereta Api	28
3.4 Persyaratan Komponen Struktur Jalan Rel	34
3.4.1 Rel	34
3.4.2 Penambat Rel	41
3.4.3 Bantalan	42
3.4.4 Balas	43
3.4.5 Sub Balas	43
3.4.6 Badan Jalan Rel	44
3.4.7 Drainase Permukaan	46
BAB IV METODE PENELITIAN	51
4.1 Metode Penelitian	51
4.2 Lokasi Studi	51
4.3 Tinjauan Umum	52
4.4 Tahap Persiapan	52
4.5 Tahap Pengumpulan Data	52
4.6 Tahap Pengolahan Data	53
4.7 Tahap Perancangan	53
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN	57
5.1 Kondisi Eksisting Jalur Kereta Api	57
5.2 Gambar Rencana Usulan Trase Jalur Ganda	62
5.2.1 Klasifikasi Kelas Jalan Rel	62
5.2.2 Lengkung Horizontal	66
5.2.3 Lengkung Vertikal	80
5.2.4 Pelebaran Jalan Rel	86
5.2.5 Koordinasi Alinyemen Horizontal dan Vertikal Jalan Rel	86
5.3 Komponen Struktur Jalur Rel Ganda	87
5.3.1 Rel	87

5.3.2	Penambat Rel	90
5.3.3	Bantalan	91
5.3.4	Balas dan Sub Balas	96
5.3.5	Tanah Dasar	101
5.4	Perancangan Saluran Samping	103
5.4.1	Analisis Hidrologi	103
5.4.2	Analisis Hidrolika	114
5.5	Pembahasan	120
5.5.1	Hasil Perancangan Geometri Trase Jalan Rel	120
5.5.2	Hasil Perancangan Komponen Jalan Rel	121
5.5.3	Hasil Desain Saluran Samping Jalur Baru	123
5.5.4	Hasil Perhitungan Galian dan Timbunan	123
BAB VI SIMPULAN DAN SARAN		124
6.1	Simpulan	124
6.2	Saran	125
DAFTAR PUSTAKA		126
LAMPIRAN		128

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Penampang Melintang Jalan Rel pada Bagian Lurus (Lebar Jalan 1067 mm)	15
Gambar 3.2 Penampang Melintang Jalan Rel pada Lengkungan (Lebar Jalan 1067 mm)	15
Gambar 3.3 Diagram Peninggian Rel	20
Gambar 3.4 Gambar Detail Proyeksi Horizontal Lengkung Tipe S-C-S	21
Gambar 3.5 Gambar Detail Proyeksi Lengkung Vertikal	22
Gambar 3.6 Kondisi Landai Curam	24
Gambar 3.7 Ruang Bebas pada Jalur Lurus untuk Jalur Ganda 1067 mm	26
Gambar 3.8 Ruang Bebas pada Jalur Tikungan untuk Jalur Ganda 1067 mm	27
Gambar 3.9 Titik dan Dimensi Fungsi Trigonometri pada Bantalan	32
Gambar 3.10 Dimensi Penampang Rel	35
Gambar 3.11 Diagram Gaya Lawan Bantalan	37
Gambar 3.12 Celah Sambungan Pada Rel	38
Gambar 3.13 Penampang Berm Pada Ketinggian lebih dari 6 meter	45
Gambar 3.14 Penampang Saluran Persegi	49
Gambar 4.1 Peta Lokasi Penelitian	51
Gambar 4.2 Bagan Alir Perancangan Jalur Ganda (Bagian 1)	55
Gambar 4.3 Bagan Alir Perancangan Jalur Ganda (Bagian 2)	56
Gambar 5.1 Peta Lintas Wilayah DAOP VI Yogyakarta	58
Gambar 5.2 Dokumentasi Lengkung Horizontal 1 dan 2	59
Gambar 5.3 Dokumentasi Lengkung Horizontal 3 dan 4	59
Gambar 5.4 Dokumentasi Lengkung Horizontal 5 dan 6	60
Gambar 5.5 Dokumentasi Lengkung Horizontal 7	60
Gambar 5.6 Dokumentasi Topografi Pada Daerah yang Ditimbun	61
Gambar 5.7 Dokumentasi Topografi Pada Daerah yang Digali	61
Gambar 5.8 Koordinat Trase Stasiun Gundih – Stasiun Goprak	64
Gambar 5.9 Trase Lengkung 1	70

Gambar 5.10 Lengkung Geometri Horizontal 1	73
Gambar 5.11 Lengkung Geometri Horizontal 2	74
Gambar 5.12 Lengkung Geometri Horizontal 3	75
Gambar 5.13 Lengkung Geometri Horizontal 4	76
Gambar 5.14 Lengkung Geometri Horizontal 5	77
Gambar 5.15 Lengkung Geometri Horizontal 6	78
Gambar 5.16 Lengkung Geometri Horizontal 7	79
Gambar 5.17 Lengkung Vertikal (PPV 1)	82
Gambar 5.18 Lengkung Vertikal (PPV 2)	82
Gambar 5.19 Lengkung Vertikal (PPV 3)	83
Gambar 5.20 Lengkung Vertikal (PPV 5)	84
Gambar 5.21 Lengkung Vertikal (PPV 4)	84
Gambar 5.22 Lengkung Vertikal (PPV 6)	85
Gambar 5.23 Penambat KA Pandrol <i>E-Clip</i> PT. Pindad	90
Gambar 5.24 Bantalan Beton Tipe N-67 PT. WIKA Beton	92
Gambar 5.25 Karakteristik Penampang pada Dudukan Rel dan Tengah Bantalan	94
Gambar 5.26 Skema Penampang Melintang Rancangan Berm	102
Gambar 5.27 Sketsa <i>Catchment</i> Lereng Sisi Kiri Jalur Rel Baru	110
Gambar 5.28 Tata Guna Lahan Pada Saluran I Jalur Rel Baru	111
Gambar 5.29 Penampang Saluran Terbuka Material Beton Pracetak	114
Gambar 5.30 Penampang Melintang Pada Daerah Galian	116
Gambar 5.31 Penampang Melintang Pada Daerah Timbunan	117
Gambar 5.32 Penampang Melintang Pada Jalur Lurus	118
Gambar 5.33 Penampang Melintang Pada Jalur Tikungan	119

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis Kendaraan	2
Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terhadap Variabel yang Ditinjau	7
Tabel 3.1 Klasifikasi Kelas Jalan Rel (lebar 1067 mm)	14
Tabel 3.2 Ukuran Penampang Melintang Jalan Rel	15
Tabel 3.3 Jari-Jari Minimum yang Diijinkan	16
Tabel 3.4 Peninggian Jalan Rel 1067 mm	18
Tabel 3.5 Jari-Jari Minimum Lengkung Vertikal	22
Tabel 3.6 Landai Penentu Jalan Rel	23
Tabel 3.7 Pengelompokan Lintas Berdasar Kelandaian	25
Tabel 3.8 Pelebaran Jalan Rel untuk 1067 mm	25
Tabel 3.9 Pelebaran Jalan Rel untuk 1435 mm	25
Tabel 3.10 Jarak Ruang Bangun	27
Tabel 3.11 Tegangan Ijin Profil Rel Berdasarkan Kelas Jalan Rel	30
Tabel 3.12 Fungsi Trigonometri dan Hiperbolikus	32
Tabel 3.13 Koefisien Balas Berdasar Kondisi Balas	33
Tabel 3.14 Dimensi Penampang Rel	35
Tabel 3.15 Celah Sambungan pada Rel Standar dan Rel Pendek untuk Semua Tipe Rel	39
Tabel 3.16 Celah Sambungan untuk Rel Panjang pada Bantalan Kayu	40
Tabel 3.17 Celah Sambungan untuk Rel Panjang pada Bantalan Beton	41
Tabel 3.18 Spesifikasi Material Sub balas	44
Tabel 3.19 Faktor Frekuensi Distribusi <i>Log Pearson III</i>	46
Tabel 3.20 Koefisien Aliran Lahan	48
Tabel 3.21 Koefisien Nilai Kekasaran Manning	49
Tabel 5.1 Koordinat dan Stationing Eksisting Lokasi Studi	57
Tabel 5.2 Konstruksi Sepur Stasiun Gundih – Stasiun Goprak	62
Tabel 5.3 Daya Angkut pada Lintas Gundih – Goprak	62
Tabel 5.4 Koordinat Titik Usulan Trase Jalan Rel	65

Tabel 5.5 Tabel Kontrol Jarak Antar Titik Trase	66
Tabel 5.6 Rekapitulasi Perencanaan Lengkung Lingkaran dan Peralihan	68
Tabel 5.7 Rekapitulasi Perencanaan Peninggian Jalan Rel	69
Tabel 5.8 Rekapitulasi Koordinat dan Stasiun Titik Penting	72
Tabel 5.9 Rekapitulasi Perhitungan Lengkung Vertikal	85
Tabel 5.10 Rekapitulasi Stationing dan Elevasi Pada tiap Lengkung Vertikal	86
Tabel 5.11 Rekapitulasi Besar Pelebaran Lengkung Horizontal	86
Tabel 5.12 Rekapitulasi Koordinasi Jalan	87
Tabel 5.13 Dimensi Bantalan Beton Tipe N-67 PT. WIKA Beton	91
Tabel 5.14 Spesifikasi Bantalan Beton Tipe N-67 PT. WIKA Beton	92
Tabel 5.15 Tegangan Ijin Bantalan Beton Tipe N-67 PT. WIKA Beton	92
Tabel 5.16 Perhitungan Karakteristik Penampang Titik Dudukan Rel	94
Tabel 5.17 Perhitungan Karakteristik Penampang Titik Tengah Bantalan	94
Tabel 5.18 Fungsi Trigonometrik dan Hiperbolikus Titik Dudukan Rel	95
Tabel 5.19 Fungsi Trigonometrik dan Hiperbolikus Titik Tengah Bantalan	95
Tabel 5.20 Gradasi Agregat Lapisan Balas Atas	97
Tabel 5.21 Gradasi Agregat Lapisan Sub-Balas	99
Tabel 5.22 Dimensi Lapisan Balas Atas dan Lapisan Balas Bawah	99
Tabel 5.23 Fungsi Trigonometri dan Hiperbolikus Tekanan Balas	100
Tabel 5.24 Hasil Pengujian Campuran Dengan Abu Batubara	101
Tabel 5.25 Hasil Pengujian Campuran Dengan Abu Sekam Padi	102
Tabel 5.26 Data Curah Hujan Maksimal Harian Per Tahun Kec. Gayer	103
Tabel 5.27 Rekapitulasi Parameter Statistik	104
Tabel 5.28 Parameter Statistik Normal	105
Tabel 5.29 Rekapitulasi Parameter Statistik	106
Tabel 5.30 Parameter Statistik Logaritmik	107
Tabel 5.31 Syarat Penggunaan Jenis Sebaran	107
Tabel 5.32 Rekapitulasi Elevasi Saluran Samping	109
Tabel 5.33 Rekapitulasi Elevasi Batas <i>Catchment</i> Bagian Kiri Rel Baru	109
Tabel 5.34 Rekapitulasi Perhitungan Debit Rencana Aliran Saluran Sisi Kiri Jalur Baru	113

Tabel 5.35 Rekapitulasi Dimensi Saluran Sisi Kiri Jalan Rel Baru

115

Tabel 5.36 Rekapitulasi Perancangan Komponen Jalan Rel

122



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Peta Komponen Jalan Rel Lintas Gundih – Goprak	129
Lampiran 2. Grafik Perjalanan Kereta Api Gundih- Goprak 2021	136
Lampiran 3. <i>Passing Tonnage</i> 2021 DAOP VI Yogyakarta	139
Lampiran 4. Data Lengkung dan Kelandaian Rel DAOP VI Yogyakarta	140
Lampiran 5. Koordinasi Alinemen Horizontal dan Alinemen Vertikal	141
Lampiran 6. Rencana Peninggian Rel	153
Lampiran 7. Total Volume Galian dan Timbunan	154



DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

KAI	= Kereta Api Indonesia
AMDAL	= Analisis mengenai dampak lingkungan
DAOP	= Daerah operasional
<i>UIC</i>	= <i>Union Internationale des Chemins de Fer</i>
V_r	= Kecepatan rencana (km/jam)
L_s	= Lengkung <i>Spiral</i>
L_c	= Lengkung <i>Circle</i>
R	= Radius (m)
<i>UTM</i>	= <i>Universal Transverse Mercator</i>
<i>S-C-S</i>	= <i>Spiral Circle Spiral</i>
PPV	= Point perpotongan vertikal
<i>PVC</i>	= <i>Point of vertical circle</i>
<i>PVI</i>	= <i>Point of vertical intersect</i>
<i>PVT</i>	= <i>Point of vertical tangent</i>
PT	= Perseroan Terbatas

ABSTRAK

Saat ini lintas Gundih – Goprak merupakan jalur tunggal (*single track*) yang cukup banyak melayani perjalanan kereta api pada lalu lintasnya, serta termasuk jalur penghubung jalur Utara dengan jalur Selatan dan rute Kereta Api Joglosemarkerto. Berdasarkan data okupansi, KA Joglosemarkerto menunjukkan peningkatan sebesar 186% pada bulan Desember tahun 2018. Dengan dirancangnya pembangunan jalur ganda kereta api ini diharapkan dapat menambah jumlah perjalanan yang dapat dilewati oleh kereta api yang melewati lintas penghubung jalur Utara dengan jalur Selatan serta dapat melayani perjalanan kereta api sehingga tidak terjadi keadaan dimana kereta harus saling tunggu untuk melintasi rute terkait. Perancangan ini bertujuan untuk merancang alinyemen horizontal dan alinyemen vertikal, serta dapat mengusulkan rancangan susunan jalan rel, penambat rel, bantalan, balas serta sub balas sesuai dengan persyaratan Peraturan Menteri Perhubungan nomor 60 tahun 2012, dan juga usulan saluran drainase pada jalur baru.

Pada studi ini dirancang jalur ganda pada ruas Gundih – Goprak. Pengukuran jalur eksisting sepanjang ± 7 kilometer menggunakan *software Google Earth* dan dicocokkan dengan data sekunder dari instansi terkait yang kemudian ditentukan pada bagian sisi mana yang akan menjadi jalur perancangan rel ganda baru. Perancangan geometri digunakan untuk permodelan lengkung horizontal, lengkung vertikal, serta volume galian dan timbunan. Komponen struktur jalan rel, penambat rel, bantalan, balas serta sub balas dirancang berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan nomor 60 tahun 2012, dan juga mengusulkan perancangan saluran drainase pada jalur baru.

Trayek Gundih – Goprak menggunakan jalan rel kelas III, desain kecepatan rencana menggunakan 100 km/jam dengan lebar jalan rel 1067 mm dan beban gandar sebesar 18 ton. Hasil perancangan geometri jalan rel berupa 7 lengkung horizontal dengan tipe lengkung *spiral-circle-spiral*, dan didapatkan 6 lengkung vertikal yang mengikuti eksisting. Komponen struktur jalan rel menggunakan rel tipe R.54, penambat KA bertipe pandrol *E-Clip* produksi PT. Pindad, bantalan beton bertipe N-67 yang diproduksi oleh PT. WIKA Beton, dan balas setebal 30 cm dengan material batu pecah serta sub balas setebal 50 cm dengan material berupa kerikil dan pasir. Saluran samping menggunakan material beton pracetak bertipe *u-ditch* dan memiliki dimensi 0,9 x 1,4 meter.

Kata kunci: Geometri jalan rel, jalur ganda, Joglosemarkerto, kereta api, dan struktur jalan rel.

ABSTRACT

Currently, the Gundih – Goprak route is a single track which serves quite a lot of train travel in terms of traffic, and includes a connecting line connecting the North line with the South line and the Joglosemarkerto Railway route. Based on occupancy data, the Joglosemarkerto train showed an increase of 186% in December 2018. With the design of the double-track railway construction, it is hoped that it will increase the number of trips that can be passed by trains that pass through the link connecting the North line with the South line and can serve train trips. so that there is no situation where trains have to wait for each other to cross the related route. This design aims to design horizontal alignments and vertical alignments, and can propose the design of the arrangement of rail roads, rail fastenings, bearings, ballast and sub ballast in accordance with the requirements of the Minister of Transportation Regulation number 60 of 2012, as well as proposals for drainage channels on new lines.

In this study, a double track is designed on the Gundih – Goprak section. The measurement of the existing track of ± 7 kilometers using Google Earth software and matched with secondary data from the relevant agencies which is then determined on which side will be the design of the new double rail line. Geometric design is used for modeling horizontal curves, vertical curves, as well as excavation and embankment volumes. The structural components of the rail road, rail fastenings, bearings, ballast and sub ballast are designed based on the Regulation of the Minister of Transportation number 60 of 2012, and also proposes the design of drainage channels on the new track.

The Gundih – Goprak route uses class III rail, the design speed design uses 100 km/hour with a rail width of 1067 mm and an axle load of 18 tons. The results of the design of the railroad geometry in the form of 7 horizontal curves with spiral-circle-spiral arch types, and obtained 6 vertical curves that follow the existing one. The structural components of the rail road use the R.54 type rail, the Pandrol E-Clip type rail fastener produced by PT. Pindad, concrete bearing type N-67 produced by PT. WIKA Beton, and ballast with a thickness of 30 cm with crushed stone material and sub ballast with a thickness of 50 cm with materials in the form of gravel and sand. The side channel uses u-ditch type precast concrete material and has dimensions of 0.9 x 1.4 meters.

Keywords: Double track, Joglosemarkerto, railroad geometry, railroad structure, and railway.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transportasi, dewasa ini sudah menjadi kebutuhan utama bagi manusia, fungsi transportasi sendiri yaitu sebagai alat pemindah baik manusia, hewan, barang dan sebagai salah satu alat pelengkap suatu negara. Salah satu moda transportasi yang selalu mengalami perkembangan diantaranya adalah kereta api. Hal ini dikarenakan sarana kereta api memiliki ketepatan waktu dibanding moda transportasi darat lainnya. Hal ini sering menyebabkan meningkatnya intensitas pergerakan penduduk. Pergerakan penduduk ini selanjutnya disebut kegiatan transportasi, yaitu kegiatan yang terjadi karena adanya perpindahan manusia dan barang dari suatu tempat ke tempat lain (Warpani, 1990).

Peningkatan pergerakan penduduk sejalan dengan meningkatnya kebutuhan akan ketersediaan sarana dan prasarana transportasi. Kebutuhan sarana dan prasarana transportasi salah satunya meliputi penambahan dan peningkatan kualitas jalan yang sudah ada hal ini diikuti dengan peningkatan jumlah penduduk dan perkembangan aktivitas akan menyebabkan terjadinya kebutuhan ruang yang semakin bertambah. Jika pertambahan jalan baik dari segi kuantitas maupun kualitas tidak mampu mengimbangi peningkatan jumlah kendaraan, maka hal ini dapat menyebabkan masalah transportasi.

Kondisi saat ini, trayek Gundih – Goprak masih berupa satu jalur tunggal (*single track*) dan merupakan jalur operasi kereta api yang cukup banyak melayani perjalanan kereta api pada lalu lintasnya, serta termasuk dalam penghubung jalur Utara dengan jalur Selatan bahkan termasuk dalam rute “JOGLOSEMARKERTO”. Jaringan kereta api jalur tunggal (*single track*) terdiri atas sekumpulan stasiun dan petak-petak blok. Petak blok adalah bagian jalan kereta api yang dibatasi oleh dua buah sinyal yang berurutan. Sinyal-sinyal tersebut kemudian digunakan sebagai tanda apakah kereta

api boleh menggunakan petak blok yang bersangkutan atau tidak, hal ini diperlukan untuk mencegah terjadinya tabrakan dan keterlambatan kereta api dengan cara membuat aturan bahwa pada setiap waktu satu petak blok hanya boleh dilalui oleh satu perjalanan kereta api (Utomo, 2009).

Peningkatan mobilitas penumpang dan barang pada Kabupaten Grobogan baik menggunakan moda jalan raya maupun kereta api menunjukkan peningkatan yang cukup tinggi. Menurut Manager Humas PT. KAI DAOP IV, Krisbiantoro menuturkan berdasarkan data okupansi, KA Joglosemarkerto menunjukkan peningkatan sebesar 186% terhitung pada bulan Desember tahun 2018. Jumlah kendaraan bermotor yang cenderung meningkat merupakan indikator semakin tingginya kebutuhan masyarakat terhadap sarana transportasi yang memadai, sejalan dengan mobilitas penduduk yang semakin tinggi. Tabel 1.1 menyajikan data jumlah kendaraan bermotor menurut jenis kendaraan tahun 2018-2020 pada wilayah Kabupaten Grobogan.

Tabel 1.1 Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis Kendaraan

Jenis Kendaraan	Jumlah kendaraan bermotor menurut jenis kendaraan (unit)		
	2018	2019	2020
Sedan, Jeep, Wagon	303	311	19323
<i>Bus, Micro Bus</i>	155	175	911
<i>Truck, Pickup</i>	1334	1289	9081
Sepeda motor	87546	85671	647805

Sumber: Badan Pusat Statistik Kabupaten Grobogan (2021)

Kereta api merupakan salah satu alat transportasi yang diminati sebagian besar masyarakat Indonesia terutama di Pulau Jawa selain itu kereta api memiliki waktu perjalanan yang relatif singkat dan terhindar dari faktor kemacetan lalu lintas. Seiring dengan semakin meningkatnya minat penumpang KA Joglosemarkerto maka sudah sewajarnya direncanakan penambahan jalan rel kereta api pada Kabupaten Grobogan, salah satunya dengan pembangunan *double track* pada lintas yang akan dilewati oleh kereta api tersebut.

Pembangunan perkeretaapian ditujukan untuk meningkatkan kemampuan angkutan dan meningkatkan mutu pelayanan kereta api agar berfungsi sebagai

angkutan umum yang tertib dan aman. Dengan adanya penambahan *double track* jalan rel kereta api, diharapkan bisa terlayani lebih banyak jumlah perjalanan dan peningkatan kapasitas. Diharapkan Tugas Akhir ini dapat diaplikasikan pada kenyataannya.

1.2 Rumusan Masalah

Dengan berlandaskan latar belakang yang telah dikemukakan di atas, maka rumusan masalah adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana usulan rancangan alinyemen jalan rel yang sesuai dengan persyaratan Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 tahun 2012?
2. Bagaimana usulan rancangan susunan jalan rel, penambat rel, bantalan rel, dan balas serta sub balas berdasarkan persyaratan yang ada?
3. Bagaimana usulan rancangan saluran samping jalur rel?

1.3 Tujuan Perancangan

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penulisan dari tugas akhir ini sebagai berikut.

1. Mengusulkan rancangan alinyemen horizontal maupun alinyemen vertikal yang baik sesuai dengan persyaratan Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 tahun 2012.
2. Mengusulkan rancangan untuk susunan jalan rel, penambat rel, bantalan rel, balas serta sub balas yang baik untuk desain rel sesuai dengan persyaratan.
3. Mengusulkan rancangan saluran samping pada jalur rel.

1.4 Manfaat Perancangan

Pada akhirnya setelah menyelesaikan tugas akhir ini, diharapkan perancangan ini dapat memberikan usulan kepada Pemerintah khususnya Direktorat Jenderal Perkeretaapian-Kementerian Perhubungan mengenai pembangunan geometri jalur ganda yang diperlukan pada jalur Stasiun Gundih dan Stasiun Goprak, serta menambah kontribusi pengetahuan bidang perkeretaapian terutama pada proses pembangunan geometri jalur ganda kereta api.

1.5 Batasan Penelitian

Guna menghindari pembahasan diluar perencanaan tugas akhir ini dan supaya dapat terarah serta terfokus kepada tujuan yang akan dicapai, maka diperlukan batasan-batasan dalam perancangan sebagai berikut.

1. Data yang digunakan adalah data sekunder.
2. Lokasi penelitian yang digunakan adalah ruas jalur kereta api Stasiun Gundih – Stasiun Goprak.
3. Tidak memperhitungkan persinyalan, jembatan, terowongan, infrastruktur kereta api lain (stasiun dipo, rumah sinyal).
4. Tidak memperhitungkan tentang perubahan yang terjadi pada emplasemen ataupun perubahan jadwal keberangkatan kereta api.
5. Tidak memperhitungkan dampak atau AMDAL dalam perancangan geometri.
6. Tidak memperhitungkan estimasi rencana anggaran biaya.
7. Paramater serta perhitungan yang digunakan mengacu pada Peraturan Menteri No. 60 tahun 2012 serta Peraturan Dinas No. 10 PJKA.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Studi pustaka merupakan suatu aktivitas untuk meninjau atau mengkaji kembali beberapa literatur yang telah dipublikasikan oleh akademisi atau peneliti lain sebelumnya yang terkait topik atau permasalahan yang akan diteliti (Taylor dan Procter, 2010). Bab tinjauan pustaka ini akan diuraikan mengenai sebagian garis besar dari penelitian sebelumnya yang sejenis.

2.2 Perancangan Geometri Jalan Rel

Studi mengenai perancangan geometri jalur kereta api pernah dilakukan oleh Pebiandi (2008), studi yang dilakukan pada ruas Rantau Prapat - Duri II ini menentukan trase dan merancang geometri jalan baru pada trase terpilih. Geometri yang dirancang dalam penelitian tersebut berdasar pada Peraturan Dinas 10 PJKA tahun 1986. Penelitian tersebut menetapkan kecepatan rencana sebesar 200 km/jam. Dalam penelitian ini alinyemen horizontal pada tikungan berupa tikungan *spiral – circle - spiral* menggunakan kecepatan rencana 200 km/jam dan jari-jari lengkung minimal (R_c) sebesar 4000 meter, didapat lengkung pada spiral sebesar 163,9 meter dan lengkung pada *circle* sebesar 632,12 meter.

Penelitian mengenai perancangan geometri jalur ganda juga dilakukan oleh Zulkabir (2018), yang menetapkan geometri jalan rel dengan berpedomankan Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 tahun 2012 dengan kecepatan rencana yang digunakan adalah 100 km/jam. Alinyemen horizontal yang didapatkan berupa 9 tikungan dengan tipe tikungan *spiral – circle – spiral* dan jari-jari lengkung yang digunakan adalah 350 m dan 850 m.

Arifa (2019) merancang tiga usulan geometri jalan rel yang masing-masing usulan terdapat 2 lengkung horizontal dan tiap usulan memiliki kecepatan rencana yang berbeda-beda yaitu 60 km/jam, 55 km/jam, dan 50 km/jam, serta jari-jari lengkung horizontal yaitu 200 m, 170 m, 160 m, jenis tikungan yang digunakan pun

ada dua yaitu *full circle* dan tipe *spiral – circle - spiral*. Teknis perancangan jalur gandanya berpedoman Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 tahun 2012 dan Peraturan Menteri No. 78 tahun 2014 untuk standar biaya di Kementerian Perhubungan.

2.3 Perancangan Struktur Jalan Rel Kereta Api

Kajian mengenai rancangan struktur jalan kereta api telah dipublikasikan oleh Rianda (2010), dalam melakukan penelitian ini berdasarkan Peraturan Dinas No. 10 tahun 1986 tentang perencanaan konstruksi jalan rel. Dalam penelitian ini, lokasi berada di antara Stasiun Jatinegara hingga Stasiun Bekasi didapatkan jalan rel kelas II dan didapatkan spesifikasi struktur jalan rel secara teknis berupa tipe rel R.54, jenis bantalan yang digunakan berupa beton dan kayu, wesel yang digunakan adalah jenis wesel inggris, wesel biasa kanan dan kiri dengan sudut 1:10 untuk panjang 24 meter, sudut 1:12 untuk panjang 27 meter, penambat rel digunakan jenis pandrol untuk bantalan beton dan jenis paku tirpon dan pandrol untuk bantalan kayu.

Kajian lainnya pun dilakukan oleh Nugroho (2016) kajian ini mengacu pada Peraturan Menteri Perhubungan No.60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api. Dalam penelitian jalan rel kereta api lintas Magelang – Ambarawa ini didapatkan jalan rel kelas IV dan juga didapatkan spesifikasi struktur jalan rel secara teknis dimana tipe rel menggunakan tipe R.54, jenis bantalan berupa beton prategang, jarak antar bantalan 60 cm, jenis penambat yang digunakan adalah elastis ganda, balas atas setebal 25 cm dan lebar bahu balas adalah 40 cm.

2.4 Perbandingan Variabel Penelitian yang Ditinjau

Perbandingan antara penelitian yang akan dilakukan dalam Tugas Akhir ini dengan penelitian – penelitian yang telah dilakukan sebelumnya disajikan dalam bentuk tabel, dan dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terhadap Variabel yang Ditinjau

Variabel	Pebiandi (2008)	Rianda (2010)	Nugroho (2016)	Zulkabir (2018)	Arifa (2019)	Rizky (2022)
Judul Penelitian	Perencanaan Geometri Jalan Rel Kereta Api Trase Kota Pinang – Menggala Sta. 104+000 – Sta. 147+200 pada Ruas Rantau Prapat – Duri II Provinsi Riau	Perencanaan Konstruksi Atas Jalan Rel untuk <i>Double track</i> antara Stasiun Jatinegara sampai Stasiun Bekasi	Perencanaan Reaktivasi Jalan Rel Kereta Api Koridor Magelang – Ambarawa	Perancangan Jalur Ganda Jalan Rel Ruas Stasiun Solo Balapan sampai Stasiun Sragen	Perancangan Jalur Ganda Kereta Api antara Stasiun Cicalengka – Stasiun Lebak Jero Sta. KM. 193+000 – 193+925	Perancangan Jalur Ganda Kereta Api antara Stasiun Gundih – Stasiun Goprak
Lokasi Penelitian	Kabupaten Bengkalis, Riau	Wilayah DAOP I Jakarta	Magelang – Ambarawa	Wilayah DAOP VI Yogyakarta	Wilayah DAOP II Bandung	Wilayah DAOP VI Yogyakarta
Panjang Trase	± 72,95 kilometer	± 14,822 kilometer	± 21,9 kilometer	± 38,5 kilometer	± 0,925 kilometer	± 7 kilometer

Sumber: Pebiandi (2008), Rianda (2010), Nugroho (2016), Zulkabir (2018), Arifa (2019)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terhadap Variabel yang Ditinjau

Variabel	Pebiandi (2008)	Rianda (2010)	Nugroho (2016)	Zulkabir (2018)	Arifa (2019)	Rizky (2022)
Prosedur Analisis dan Perancangan	Penelitian dimulai dengan studi literatur, survei lokasi penelitian, pengumpulan data, pengolahan data, merancang geometri, analisa dan perhitungan volume timbunan.	Penelitian dimulai dengan pengumpulan data, menghitung daya angkut lintas, penyiapan ruang bebas dan ruang bangun, dan perencanaan geometri jalan rel itu sendiri.	Mengidentifikasi masalah, pengumpulan data (data primer dan data sekunder), analisa data menggunakan RIP, penetapan kelas jalan, merancang jalan rel pada trase terpilih.	Analisis potensi penumpang, analisis operasional kereta api, dan perancangan geometri serta penentuan struktur kereta api.	Tinjauan Lokasi penelitian, pengumpulan data sekunder dari instansi, pengolahan data sekunder, pembahasan analisis	Perencanaan jalur ganda kereta api ini dimulai dengan menentukan kebutuhan data, pengumpulan data, pengolahan data, serta perencanaan jalur itu sendiri.
Hasil Penelitian	Perhitungan geometri jalan yang telah ditabelkan. Kecepatan rencana trase baru	Perencanaan digunakan kelas jalan rel II dan daya angkut lintas yang dilewati sebesar $15,2064 \times 10^6$ ton/ tahun. Didapatkan 19 titik	Lalu lintas Semarang – Magelang mengalami peningkatan, reaktivasi jalur eksisting	Perencanaan jalan rel menggunakan jalan rel kelas I, dengan kecepatan rencana 100 km/jam dan 125 km/jam, beban	Perencanaan jalur rel menggunakan 3 alternatif dimana tiap alternatif memiliki perbedaan pada jari lengkungnya yaitu	Perancangan jalan rel menggunakan jalan rel kelas III, dengan kecepatan rencana 100 km/jam lebar rel 1067 mm. Geometri rel berupa 7 lengkung

Sumber: Pebiandi (2008), Rianda (2010), Nugroho (2016), Zulkabir (2018), Arifa (2019)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terhadap Variabel yang Ditinjau

Variabel	Pebiandi (2008)	Rianda (2010)	Nugroho (2016)	Zulkabir (2018)	Arifa (2019)	Rizky (2022)
	<p>adalah 200 km/jam dengan jari-jari lengkung 4000 meter, rel yang digunakan rel tipe R60 dengan bantalan beton, tebal lapis balas atas 40 cm, balas bawah 80 cm sesuai gambar perencanaan. Volume galian sebesar 1.125.378,79 m³ dan volume timbunan sebesar 3.249.962,64 m³.</p>	<p>lengkungan sepanjang trase dengan R yang berbeda-beda. Peninggian untuk mengurangi bahaya anjlogan dan kecepatan kereta api bisa tetap dengan tidak melebihi peninggian yang disyaratkan yaitu sebesar 110 mm. Tidak ada pelebaran untuk tiap titik lengkung dengan panjang sepur normal yaitu 1067 mm.</p>	<p>sepanjang 21,9km sebagian besar trase eksisting telah beralih fungsi, jalur rel masuk ke jalan rel kelas IV berdasar Peraturan Menteri Perhubungan No.60 Tahun 2012, KM Perhubungan No.52 Tahun 2000 serta PDPJKA No.10 Tahun 1986.</p>	<p>gandar sebesar 18 ton dan menggunakan rel tipe R.54. Bantalan beton menggunakan bantalan beton type b-blok dengan dimensi p 70cm, l 30cm, h sisi luar 20cm, h sisi dalam 20cm. Jarak bantalan pada lintas lurus sebesar 60 cm, untuk lintasan lengkung sebesar 60 cm.</p>	<p>200m, 170m, 160m. Berdasarkan hasil analisis dari ketiganya didapatkan alternatif 3 lah yang lebih baik dari segi biaya dan aspek lingkungan yang berpotensi mengganggu pemukiman dengan kecepatan maksimum pada tiap alternatif.</p>	<p>horizontal tipe <i>S-C-S</i> dan 6 lengkung vertikal dengan radius minimum 6000 m. Jalan rel menggunakan tipe R.54, bantalan beton bertipe N-67 PT. WIKA Beton, penambat bertipe pandrol <i>E-Clip</i> PT. Pindad, balas setebal 30 cm berupa batu pecah, sub balas setebal 50 cm berupa pasir dan kerikil. Dimensi saluran samping 0,9 x 1,4 meter. Volume timbunan 154139,31 m³ dan galian 64106,57 m³</p>

Sumber: Pebiandi (2008), Rianda (2010), Nugroho (2016), Zulkabir (2018), Arifa (2019)

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Jalan Rel Kereta Api

Undang–Undang Nomor 23 tahun 2007 tentang perkeretaapian, menyatakan “kereta api adalah sarana perkeretaapian dengan tenaga gerak, berjalan sendiri maupun dirangkai dengan sarana perkeretaapian lain, yang akan ataupun sedang bergerak di jalan rel yang terkait dengan perjalanan kereta api”. Prasarana perkeretaapian meliputi jalur kereta, stasiun, dan segala fasilitas yang diperlukan dalam pengoperasian kereta. Maka bisa ditarik kesimpulan bahwa kereta api adalah kendaraan atau transportasi yang memerlukan jalan rel untuk beroperasi atau bergerak.

Jalan rel adalah satu kesatuan konstruksi yang terbuat dari baja, beton atau konstruksi lain yang terletak di permukaan, di bawah dan di atas tanah atau bergantung beserta perangkatnya yang mengarahkan jalannya kereta api. (Kementerian Perhubungan, 2012)

Jalur kereta api adalah daerah yang meliputi daerah manfaat jalan kereta api, daerah milik jalan kereta api dan daerah pengawasan jalan kereta api termasuk bagian bawahnya serta ruang bebas di atasnya, yang diperuntukkan bagi lalu lintas kereta api. (Kementerian Perhubungan, 2012)

Lintas kereta api direncanakan untuk melewati berbagai jumlah angkutan barang dan atau penumpang dalam suatu jangka waktu tertentu. Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan No. 11 tahun 2012 tentang Tata Cara Penetapan Trase Jalur Kereta Api, disebutkan dalam perencanaan trase jalur kereta api terdapat beberapa persyaratan yang harus dipenuhi, antara lain, titik-titik koordinat, lokasi stasiun, rencana kebutuhan lahan, dan skala gambar.

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 tahun 2012 jalan rel adalah suatu kesatuan konstruksi yang terbuat dari beton, baja, maupun konstruksi lain yang terletak di permukaan, berada di bawah ataupun di atas tanah atau bergantung beserta perangkatnya yang mengarahkan jalannya kereta api.

Sedangkan rel sendiri adalah pijakan atau tempat berjalannya roda kereta api dan memiliki fungsi untuk meneruskan beban roda ke bantalan rel. Kegunaan dan manfaat dari pemasangan rel kereta api akan diuraikan sebagai berikut.

1. Landasan lajunya kereta api.
2. Medium tempat terjadinya gesekan.
3. Pijakan tempat menggelindingnya roda kereta api.
4. Tempat meneruskan beban roda ke bantalan rel.

Rel dipasang pada bantalan dengan penambat sebagai dasar landasan kereta api, penambat yang digunakan menyesuaikan dengan jenis bantalan. Ada 3 tipe jenis bantalan berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 tahun 2012 yang digunakan dalam perkeretaapian, 3 tipe jenis bantalan rel yang digunakan akan diuraikan sebagai berikut.

1. Bantalan kayu.
2. Bantalan beton.
3. Bantalan baja.

Negara Indonesia sendiri sebagian besar telah menggunakan jenis bantalan berbahan beton. Sedangkan rel yang dipakai di Indonesia menggunakan standar UIC (*Union Internationale des Chemins de Fer*) atau Peraturan Persatuan Perusahaan Kereta Api Sedunia. Terdapat 4 macam batang rel yang biasanya dipakai di Indonesia yaitu Rel 25, Rel 33, Rel 42 dan Rel 54. Angka tersebut menunjukkan berat rel dalam kilogram setiap panjang 1 meter.

Selain itu Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 tahun 2012, perencanaan konstruksi jalan rel harus direncanakan sedemikian rupa sehingga dapat dipertanggungjawabkan secara teknis dan ekonomis. Secara teknis diartikan konstruksi jalan rel tersebut harus dapat dilalui oleh kendaraan rel dengan aman dengan tingkat kenyamanan tertentu selama umur konstruksinya. Secara ekonomis diharapkan agar pembangunan dan pemeliharaan konstruksi tersebut dapat diselenggarakan dengan biaya yang seminimal mungkin dimana masih memungkinkan terjaminnya keamanan dan kenyamanan pengguna jalur. Perencanaan konstruksi jalan rel dipengaruhi oleh jumlah beban, kecepatan

maksimum, beban gandar dan pola operasi. Atas dasar ini diadakan klasifikasi jalan rel, sehingga perencanaan dapat dibuat secara tepat.

3.2 Analisis Geometri dan Struktur Jalur Kereta Api

Perancangan geometri dan struktur pada jalur kereta ini agar sesuai dengan persyaratan teknis yang dapat dipertanggung jawabkan terdapat tahapan-tahapan yang akan dijabarkan dibawah ini.

3.2.1 Klasifikasi Kelas Jalan Rel

1. Kecepatan rencana

Dalam ketentuan PD 10 tahun 1986, terdapat beberapa tipe kecepatan yang digunakan dalam perencanaan, yaitu sebagai berikut.

- a. Perhitungan untuk perencanaan struktur jalan rel menggunakan Persamaan 3.1.

$$V_{\text{rencana}} = 1,25 \times V_{\text{maks}} \quad (3.1)$$

dengan :

V_{rencana} = kecepatan rencana (km/jam), dan

V_{maks} = kecepatan maksimum (km/jam).

- b. Perhitungan untuk perencanaan peninggian jalan rel menggunakan Persamaan 3.2.

$$V_{\text{rencana}} = c \times \frac{\sum N_i V_i}{\sum N_i} \quad (3.2)$$

dengan :

c = nilai koefisien yang telah ditentukan sebesar 1,25,

N_i = jumlah kereta api yang lewat, dan

V_i = kecepatan operasi.

- c. Perhitungan untuk perencanaan jari jari lengkung peralihan rel menggunakan Persamaan 3.3.

$$V_{\text{rencana}} = V_{\text{maks}} \quad (3.3)$$

2. Kecepatan maksimum

Kecepatan maksimum adalah kecepatan tertinggi yang diijinkan dalam operasi kereta pada lintas tertentu.

3. Kecepatan komersial

Kecepatan komersial merupakan kecepatan rata-rata dalam pembagian jarak dan waktu tempuh suatu kereta api.

4. Kecepatan operasi

Kecepatan operasi adalah kecepatan rata-rata pada suatu petak jalur kereta. Satu petak berarti antar stasiun.

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 tahun 2012 disebutkan bahwa penentuan kelas suatu jalan rel dapat ditentukan berdasarkan daya angkut lintas (ton/tahun). Daya angkut lintas adalah jumlah angkutan anggapan yang melewati suatu lintas dalam jangka waktu satu tahun. Daya angkut lintas mencerminkan jenis serta jumlah beban total dan kecepatan kereta api yang lewat di lintas yang bersangkutan. Daya angkut beban disebut daya angkut T dengan satuan ton/tahun. Beban gandar maksimum untuk semua kelas jalur dengan lebar jalan rel 1067 mm adalah 18 ton. Sedangkan beban gandar maksimum untuk semua kelas jalur dengan lebar jalan rel 1435 mm adalah 22,5 ton. Daya angkut lintas dapat dicari menggunakan Persamaan 3.4 berikut.

$$T = 360 \times S \times TE \quad (3.4)$$

dengan :

TE = tonase ekuivalen (ton/hari),

$$= T_p + (K_b \times T_b) + (K_I \times T_I),$$

T_p = tonase penumpang dan kereta harian,

T_b = tonase barang dan gerbong harian,

T_I = tonase lokomotif harian,

S = 1,1 untuk lintas kereta api penumpang dengan kecepatan maksimum 120 km.jam,

= 1,0 untuk lintas tanpa kereta penumpang,

K_I = koefisien yang besarnya 1,4, dan

Kb = koefisien yang besarnya bergantung pada beban gandar
 = 1,5 untuk beban gandar < 18 ton.
 = 1,3 untuk beban gandar > 18 ton.

Terdapat dua jenis lebar jalan rel yang digunakan berdasarkan klasifikasinya namun pada perancangan ini yang lebar jalan rel yang digunakan yakni sebagai berikut.

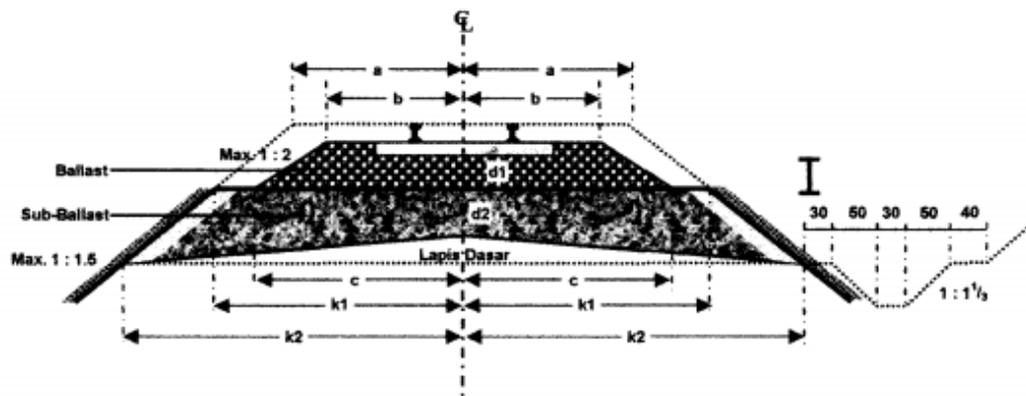
1. Lebar jalan rel 1067 mm

Jalan rel dengan lebar 1067 mm terbagi atas 5 kelas, kelas jalan tersebut dibedakan atas, kecepatan maksimum, daya angkut, tipe rel, jenis bantalan, jenis penambat, ketebalan balas atas serta lebar bahu balas. Pada Tabel 3.1 dapat dilihat spesifikasi dari kelima kelas jalan rel untuk lebar 1067 mm. Gambar 3.1 dan Gambar 3.2 memperlihatkan contoh penampang melintang jalan rel pada bagian bagian lurus dan pada bagian lengkung, ukuran-ukuran penampang melintang, baik pada bagian lurus maupun lengkung tercantum pada Tabel 3.2.

Tabel 3.1 Klasifikasi Kelas Jalan Rel (lebar 1067 mm)

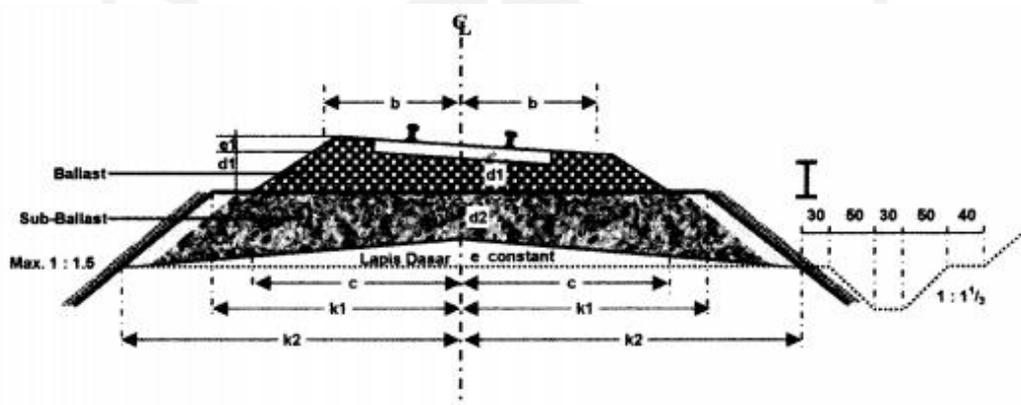
Kelas Jalan	Daya Angkut Lintas (ton/tahun)	V maks (km/jam)	P maks gandar (ton)	Tipe Rel	Jenis Bantalan	Jenis Penambat	Tebal Balas Atas (cm)	Lebar Bahu Balas (cm)
					Jarak antar sumbu bantalan (cm)			
I	>20.10 ⁶	120	18	R.60/ R.54	Beton 60	Elastis Ganda	30	60
II	10.10 ⁶ - 20.10 ⁶	110	18	R.54/ R.50	Beton / Kayu 60	Elastis Ganda	30	50
III	5.10 ⁶ - 10.10 ⁶	100	18	R.54/ R.50/ R.42	Beton/Kayu/Baja 60	Elastis Ganda	30	40
IV	2,5.10 ⁶ - 5.10 ⁶	90	18	R.54/ R.50/ R.42	Beton/Kayu/Baja 60	Elastis Ganda/ Tunggal	25	40
V	<2,5.10 ⁶	80	18	R.42	Kayu/Baja 60	Elastis Tunggal	25	35

Sumber: Kementerian Perhubungan (2012)



Gambar 3.1 Penampang Melintang Jalan Rel pada Bagian Lurus (Lebar Jalan 1067 mm)

Sumber: Kementerian Perhubungan (2012)



Gambar 3.2 Penampang Melintang Jalan Rel pada Lengkungan (Lebar Jalan 1067 mm)

Sumber: Kementerian Perhubungan (2012)

Tabel 3.2 Ukuran Penampang Melintang Jalan Rel

Kelas Jalan	V Maks (km/jam)	d1 (cm)	b (cm)	c (cm)	k1 (cm)	d2 (cm)	e (cm)	k2 (cm)
I	120	30	150	235	265	15-50	25	375
II	110	30	150	235	265	15-50	25	375
III	100	30	140	225	240	15-50	22	325
IV	90	25	140	215	240	15-35	20	300
V	80	25	135	210	240	15-35	20	300

Sumber: Kementerian Perhubungan (2012)

3.2.2 Lengkung Horizontal

Lengkung horizontal adalah proyeksi sumbu jalan pada bidang datar secara horizontal dan merupakan pertemuan dua bagian lurus yang perpanjangan dua bagian tersebut saling membentuk sudut yang dihubungkan dengan lengkung yang berbentuk lingkaran, dengan atau tanpa lengkung peralihan. Pada saat kereta api

berjalan melalui lengkung horizontal, timbul gaya sentrifugal ke arah luar yang akan berakibat kondisi berikut.

1. Rel luar mendapat tekanan yang lebih besar bila dibandingkan dengan rel bagian dalam.
2. Tingkat keausan rel luar akan lebih besar bila dibandingkan dengan tingkat keausan pada rel dalam.
3. Menimbulkan potensi bahaya karena dapat menyebabkan kereta api terguling bila perlawanan terhadap gaya sentrifugal ini tidak cukup memadai.

Oleh karena alasan-alasan di atas maka perlu diberikan peninggian pada lengkung horizontal. Terdapat tiga jenis lengkung horizontal, diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Lengkung lingkaran

Dalam berbagai kecepatan, jari-jari minimum yang digunakan pada lengkung lingkaran menurut Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 tahun 2012 dapat ditinjau menurut Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3 Jari-Jari Minimum yang Diijinkan

Kecepatan rencana (km/jam)	Jari-jari minimum lengkung lingkaran tanpa lengkung peralihan (m)	Jari-jari minimum lengkung lingkaran yang diijinkan dengan lengkung peralihan (m)
120	2370	780
110	1990	660
100	1650	550
90	1330	440
80	1050	350
70	810	270
60	600	200

Sumber: Kementerian Perhubungan (2012)

2. Lengkung peralihan

Lengkung peralihan digunakan sebagai penghubung antara bagian lurus dan lengkung lingkaran atau lengkung penghubung antara dua jari-jari lengkung lingkaran yang berbeda dan juga berfungsi untuk mengurangi pengaruh dari gaya sentrifugal agar dapat menambah kenyamanan penumpang kereta api.

Panjang dari lengkung transisi dipengaruhi oleh jari-jari lengkung lingkaran, kecepatan, dan peninggian rel pada bagian lengkung. Guna memperoleh panjang lengkung peralihan digunakan Persamaan 3.5 sebagai berikut.

$$L_s = 0,01 \times h \times V \quad (3.5)$$

dengan :

L_s = panjang minimum lengkung peralihan (m),

h = peninggian rel pada lengkung lingkaran (mm), dan

V = kecepatan perencanaan (km/jam).

3. Lengkung lingkaran tanpa peralihan

Lengkung lingkaran tanpa peralihan bisa disebut dengan lengkung *full circle*, perhitungan jari jari minimum lengkung lingkaran tanpa peralihan dapat dilihat pada Persamaan 3.6 berikut.

$$R = 0,164 \times V^2 \quad (3.6)$$

dengan :

R = jari-jari minimum (m), dan

V = kecepatan rencana (km/jam).

4. Lengkung S

Lengkung S terjadi apabila dua lengkung dari suatu lintas yang berbeda arah terletak bersambungan dan memiliki transisi lurus minimal 20 m di luar dari lengkung transisi.

5. Peninggian rel

Pada lengkungan, elevasi rel luar dirancang lebih tinggi dari pada rel dalam untuk mengimbangi gaya sentrifugal yang disebabkan oleh rangkaian kereta. Peninggian rel dicapai dengan menempatkan rel dalam pada tinggi semestinya dan rel luar lebih tinggi. Terdapat 3 peninggian rel sebagai berikut.

- a. Peninggian normal, berdasarkan pada kondisi komponen jalan rel tidak ikut menahan gaya sentrifugal. Pada kondisi ini gaya sentrifugal sepenuhnya diimbangi oleh gaya berat saja. Peninggian normal jalan rel 1067 mm dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.7 sebagai berikut.

$$h_{\text{normal}} = 5,95 \times \frac{V_r^2}{R_{\text{pakai}}} \quad (3.7)$$

- b. Peninggian minimum, berdasarkan pada kondisi gaya maksimum yang dapat ditahan oleh komponen jalan rel dan kenyamanan penumpang kereta api. Peninggian minimum dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.8 sebagai berikut.

$$h_{\text{min}} = 8,8 \times \frac{V_r^2}{R_{\text{pakai}}} - 53,54 \quad (3.8)$$

- c. Peninggian maksimum, ditentukan berdasarkan pada stabilitas kereta api pada saat berhenti di bagian lengkung horizontal dengan pembatasan kemiringan maksimum sebesar 10%. Apabila kemiringan lebih dari 10% maka benda-benda yang terletak pada lantai kereta api dapat bergeser kearah sisi dalam. Kemiringan maksimum 10%, peninggian rel maksimum yang digunakan adalah 110 mm untuk lebar rel 1067 mm dan 150 mm untuk lebar rel 1435 mm. Besar peninggian untuk lebar rel 1067 mm berbagai kecepatan rencana tercantum pada Tabel 3.4 dan untuk diagram peninggian rel dijelaskan pada Gambar 3.3 sebagai berikut.

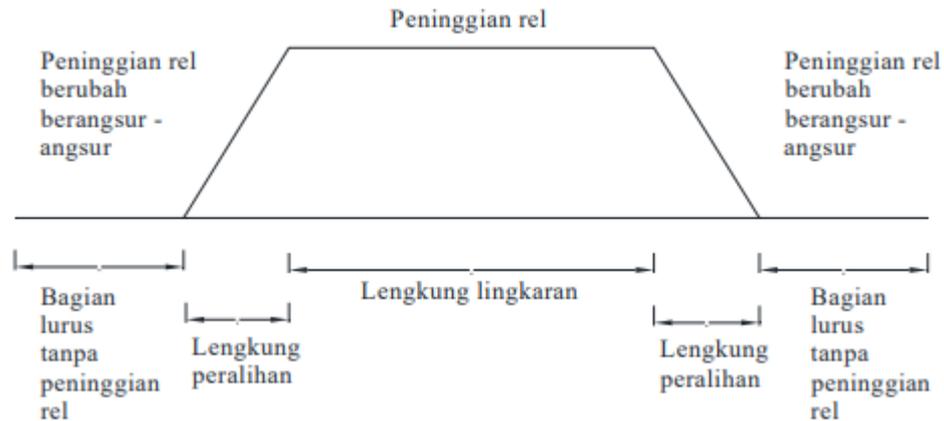
Tabel 3.4 Peninggian Jalan Rel 1067 mm

Jari-jari (m)	Peninggian (mm) saat kecepatan rancangan (km/jam)						
	120	110	100	90	80	70	60
100							
150							
200							110
250							90
300						100	75
350					110	85	65
400					100	75	55
450				110	85	65	50
500				100	80	60	45
550			110	90	70	55	40

Lanjutan Tabel 3.5 Peninggian Jalan Rel 1067 mm

Jari-jari (m)	Peninggian (mm) saat kecepatan rancangan (km/jam)						
	120	110	100	90	80	70	60
600			100	85	65	50	40
650			95	75	60	50	35
700		105	85	70	55	45	35
750		100	80	65	55	40	30
800	110	90	75	65	50	40	30
850	105	85	70	60	45	35	30
900	100	80	70	55	45	35	25
950	95	80	65	55	45	35	25
1000	90	75	60	50	40	30	25
1100	80	70	55	45	35	30	20
1200	75	60	55	45	35	25	20
1300	70	60	50	40	30	25	20
1400	65	55	45	35	30	25	20
1500	60	50	40	35	30	20	15
1600	55	45	40	35	25	20	15
1700	55	45	35	30	25	20	15
1800	50	40	35	30	25	20	15
1900	50	40	35	30	25	20	15
2000	45	40	30	25	20	15	15
2500	35	30	25	20	20	15	10
3000	30	25	20	20	15	10	10
3500	25	25	20	15	15	10	10
4000	25	20	15	15	10	10	10

Sumber: Kementerian Perhubungan (2012)



Gambar 3.3 Diagram Peninggian Rel

Sumber: Kementerian Perhubungan (2012)

6. Alur perhitungan lengkung horizontal

Perhitungan pada tiap lengkung horizontal setelahnya dapat dilanjutkan dengan menggunakan Persamaan 3.9 sampai dengan Persamaan 3.18 sebagai berikut.

a. Menghitung panjang lengkung

$$\theta_s = \frac{90 \times L_s}{\pi \times R} \quad (3.9)$$

$$\theta_c = \Delta - (2 \times \theta_s) \quad (3.10)$$

$$L_c = \frac{\theta_c}{360^\circ} \times 2 \pi R \quad (3.11)$$

$$L_{tot} = (2 \times L_s) + L_c \quad (3.12)$$

b. Menghitung X_c , Y_c , k dan P

$$X_c = L_s - \frac{L_s \cdot \theta_s}{10} \quad (3.13)$$

$$Y_c = \frac{L_s \cdot \theta_s}{3} \quad (3.14)$$

$$k = X_c - R_{rencana} \sin \theta_s \quad (3.15)$$

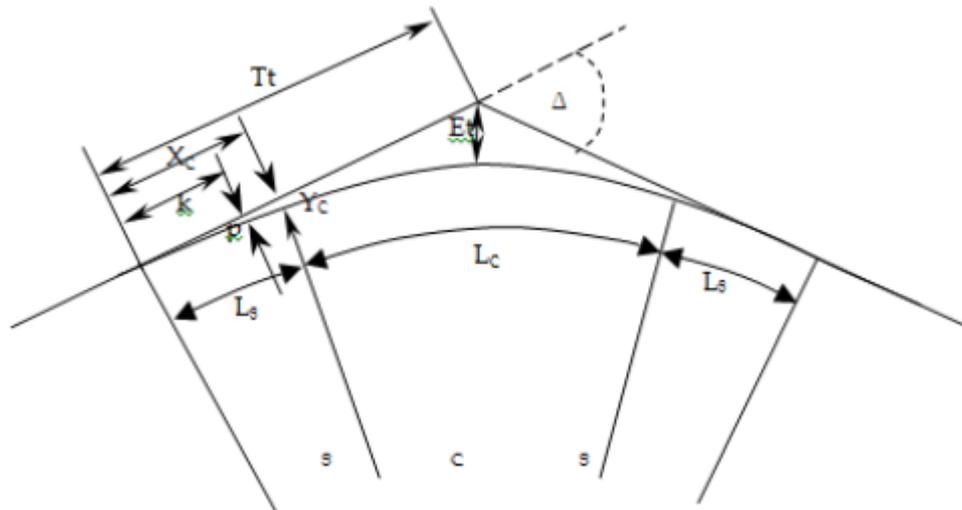
$$P = Y_c - R_{rencana} (1 - \cos \theta_s) \quad (3.16)$$

c. Menghitung T_s dan E_s

$$T_s = (R_c + P) \tan \frac{\Delta}{2} + k \quad (3.17)$$

$$E_s = (R_c + P) \sec \frac{\Delta}{2} + k \quad (3.18)$$

d. Gambar detail proyeksi lengkung horizontal



Gambar 3.4 Gambar Detail Proyeksi Horizontal Lengkung Tipe S-C-S

3.2.3 Lengkung Vertikal

Lengkung vertikal dalam Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 tahun 2012 adalah proyeksi sumbu jalan rel arah vertikal yang melalui jalur rel kereta. Sumbu rel terdiri dari garis-garis lurus dengan kelandaian ataupun tanpa kelandaian dan lengkung vertikal.

Lengkung vertikal merupakan lengkung peralihan atau perpindahan dari suatu kelandaian menuju kelandaian berikutnya dengan elevasi yang berbeda-beda, sehingga perubahan kelandaian berangsur-angsur akan beraturan. Pengukuran lengkung vertikal dilakukan ketika terjadi perubahan elevasi atau peralihan kelandaian. Jika terdapat dua lengkung vertikal dalam suatu jalur minimal kedua lengkung vertikal memiliki sisi transisi jalan lurus sepanjang 20 m. Pada Persamaan 3.19 sampai dengan Persamaan 3.22 berikut dijelaskan alur perhitungan lengkung vertikal.

1. Menghitung perbedaan kelandaian (φ)

$$\varphi = g1 - g2 \quad (3.19)$$

dengan:

$g1$ = kelandaian pertama, dan

$g2$ = kelandaian kedua.

2. Menghitung panjang lengkung vertikal (L_v)

$$L_v = \varphi \times R \quad (3.20)$$

dengan:

R = jari jari lengkung vertikal (m).

Besaran jari jari lengkung vertikal dipengaruhi oleh kecepatan rencana, berikut jari jari minimum lengkung vertikal dalam Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 tahun 2012 terlampir dalam Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Jari-Jari Minimum Lengkung Vertikal

Kecepatan rencana (km/jam)	Jari-jari minimum (m)
$V_r > 100$	8000
$V_r < 100$	6000

Sumber: Kementerian Perhubungan (2012)

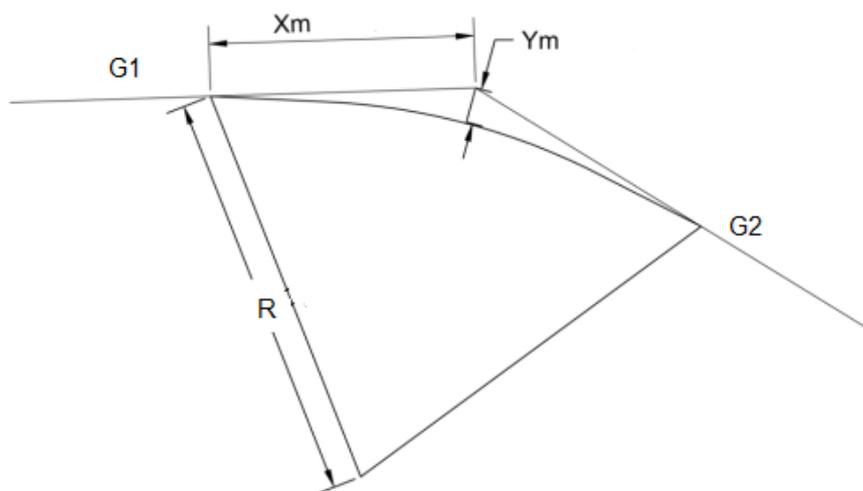
3. Menghitung X_m

$$X_m = \frac{R}{2} \times \varphi \quad (3.21)$$

4. Menghitung Y_m

$$Y_m = \frac{R}{8} \times \varphi^2 \quad (3.22)$$

5. Proyeksi lengkung vertikal ditunjukkan pada Gambar 3.5 berikut.



Gambar 3.5 Gambar Detail Proyeksi Lengkung Vertikal

dengan:

G1 = kelandaian pertama ($^{\circ}/_{\infty}$),

G2 = kelandaian kedua ($^{\circ}/_{\infty}$),

R = jari-jari lengkung vertikal (meter),

Xm = panjang titik pada kelandaian pertama (meter), dan

Ym = panjang titik pada kelandaian kedua (meter).

3.2.4 Kelandaian

Dalam suatu perancangan geometri jalan rel kereta kelandaian merupakan suatu hal penting yang perlu diperhatikan. Adanya lengkung vertikal pada suatu jalur mengakibatkan adanya perbedaan elevasi atau kelandaian. Saat suatu jalur sedang berada pada kondisi tanjakan atau turunan daya operasi kereta pasti akan berbeda dimana dibutuhkan daya yang besar saat jalur sedang mengalami tanjakan, hal itu terjadi akibat berat kereta yang tertahan saat tanjakan. Oleh sebab itu perlu adanya persyaratan kelandaian yang harus dipenuhi. Dalam Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 tahun 2012 persyaratan kelandaian meliputi persyaratan landai penentu, persyaratan landai curam dan persyaratan landai emplasemen.

1. Landai penentu

Landai penentu adalah kelandaian perbedaan elevasi terbesar yang berada pada lintasan lurus. Persyaratan yang ditetapkan untuk landai penentu dipengaruhi oleh kelas jalan rel. Semakin tinggi kelas jalan rel maka semakin kecil landai penentu maksimum dapat dilihat dalam Tabel 3.6 berikut.

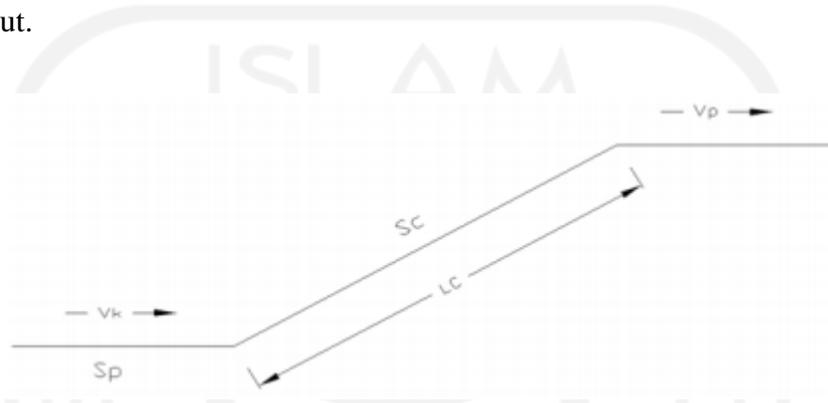
Tabel 3.6 Landai Penentu Jalan Rel

Kelas Jalan Rel	Landai Penentu Maksimum ($^{\circ}/_{\infty}$)
I	10
II	10
III	20
IV	25
V	25

Sumber: Kementerian Perhubungan (2012)

2. Landai curam

Landai curam adalah landai yang dalam suatu keadaan memang diperlukan melebihi landai penentu. Dalam kondisi medan pegunungan kelandaian suatu lintas terpaksa melebihi landai penentu karena faktor topografi dan tata guna lahan. Panjang maksimum landai curam dapat dilihat dari Persamaan 3.23 berikut.



Gambar 3.6 Kondisi Landai Curam

$$L_c = \frac{V_k^2 - V_p^2}{2 \times g (S_p - S_c)} \quad (3.23)$$

dengan:

- L_c = panjang maksimum landai curam terijin (m),
- V_k = kecepatan minimum pada kaki landai curam terijin (m/s),
- V_p = kecepatan minimum yang dapat diterima dipuncak landai curam (m/s), dengan ketentuan $V_p \geq 0,5 V_k$,
- g = percepatan gravitasi (m/s^2),
- S_p = landai penentu ($^0/_{00}$), dan
- S_c = landai curam ($^0/_{00}$).

3. Landai emplasemen

Kelandaian pada landai emplasemen berkisar antara 0 - 1,5⁰/₀₀. Berdasarkan pengelompokan kelandaian sumbu jalan rel di atas dapat dibedakan dalam 4 kelompok lintas yang tertera pada Tabel 3.7 sebagai berikut.

Tabel 3.7 Pengelompokan Lintas Berdasar Kelandaian

Kelompok	Kelandaian (⁰/∞)
Emplasemen	0 – 1,5
Lintas Datar	0 – 10
Lintas Pegunungan	10 – 40
Lintas dengan Rel Gigi	40 – 80

Sumber: Perusahaan Jawatan Kereta Api (1986)

3.2.5 Pelebaran Jalan Rel

Pelebaran jalan rel dilakukan agar ketika roda kereta api melewati lengkung tidak mengalami hambatan. Pelebaran dilakukan dengan menggeser rel kearah dalam kemudian dihilangkan secara perlahan sepanjang lengkung transisi. Jika suatu tikungan tanpa lengkung transisi maka pengurangan pelebaran dilakukan sedapatnya dengan panjang pengurangan sama. Dalam Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 tahun 2012 telah diatur pelebaran jalan rel dengan lebar jalan rel 1067 mm dan 1435 mm untuk bermacam-macam jari-jari tikungan, terlampir pada Tabel 3.8 dan Tabel 3.9.

Tabel 3.8 Pelebaran Jalan Rel untuk 1067 mm

Jari-jari tikungan (m)	Pelebaran (mm)
$R > 600$	0
$550 < R \leq 600$	5
$400 < R < 550$	10
$350 < R < 400$	15
$100 < R \leq 350$	20

Sumber: Kementerian Perhubungan (2012)

Tabel 3.9 Pelebaran Jalan Rel untuk 1435 mm

Jari-jari tikungan (m)	Pelebaran (mm)
$R > 400$	0
$350 < R \leq 400$	5
$300 < R < 350$	10

Lanjutan Tabel 3.9 Pelebaran Jalan Rel untuk 1435 mm

Jari-jari tikungan (m)	Pelebaran (mm)
$250 < R \leq 300$	15
$R \leq 250$	20

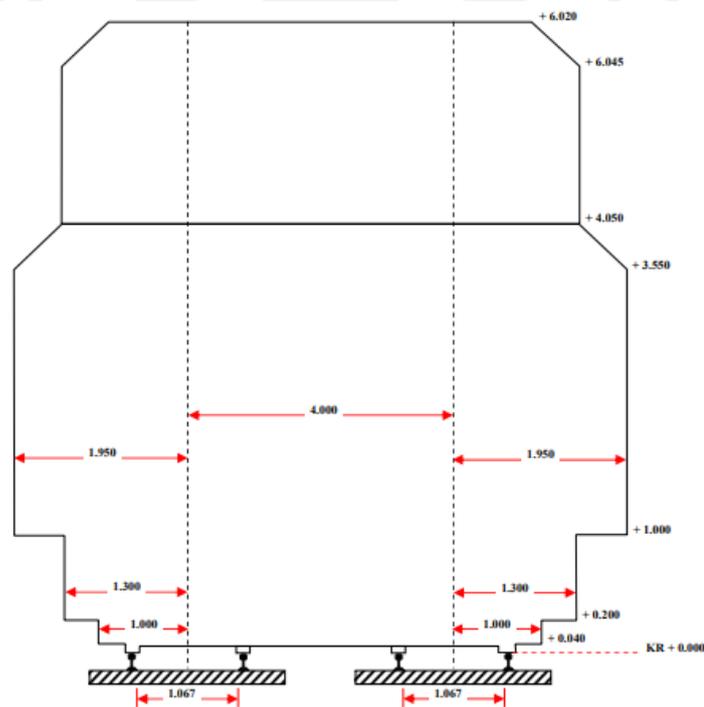
Sumber: Kementerian Perhubungan (2012)

3.2.6 Tata Ruang untuk Pengoperasian

Menurut Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 tahun 2012 suatu jalur kereta harus memiliki pengaturan ruang yaitu ruang bebas dan ruang bangun.

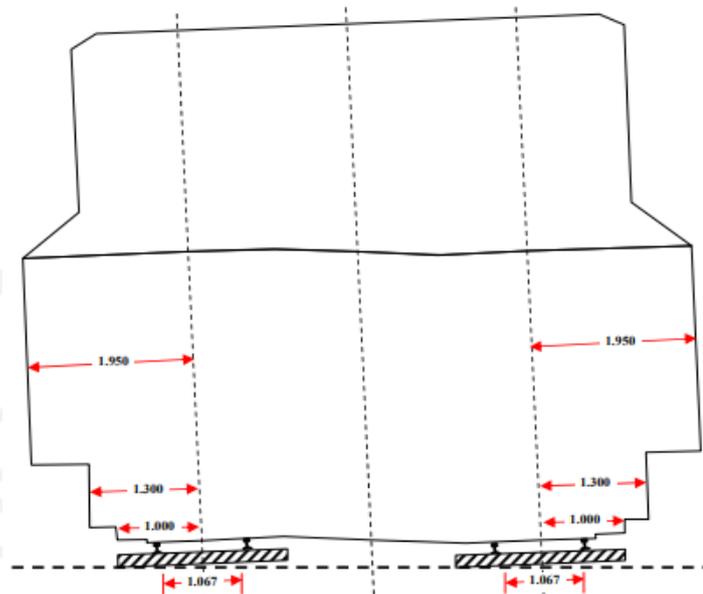
1. Ruang bebas

Ruang bebas berada di atas jalan rel yang senantiasa harus bebas dari segala benda penghalang maupun segala rintangan, digunakan sebagai lalu lintas rangkaian kereta.



Gambar 3.7 Ruang Bebas pada Jalur Lurus untuk Jalur Ganda 1067 mm

(Sumber: Kementerian Perhubungan, 2012)



Gambar 3.8 Ruang Bebas pada Jalur Tikungan untuk Jalur Ganda 1067 mm

(Sumber: Kementerian Perhubungan, 2012)

2. Ruang bangun

Ruang bangun berada di sisi jalan rel yang harus bebas dari segala bangunan tetap. Ruang bangun diukur dari ketinggian 1 meter sumbu jalan rel sampai tinggi 3,55 meter. Jarak ruang bangun menurut Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 tahun 2012 tertera pada Tabel 3.10 berikut ini.

Tabel 3.10 Jarak Ruang Bangun

Segmen jalur	Lebar jalan rel 1067 mm dan 1435 mm	
	Jalur lurus	Jalur lengkung $R < 800$
Lintas bebas	minimal 2,35 m di kiri kanan as jalan rel	$R \leq 300$, minimal 2,55 m $R > 300$, minimal 2,45 m di kiri kanan as jalan rel
Emplasemen	minimal 1,95 m di kiri kanan as jalan rel	minimal 2,35 m di kiri kanan as jalan rel
Jembatan, Terowongan	2,15 m di kiri kanan as jalan rel	2,15 m di kiri kanan as jalan rel

Sumber: Kementerian Perhubungan (2012)

3.2.7 Koordinasi Alinyemen Horizontal dan Vertikal Jalan Rel

Hasil perancangan geometri jalan rel didapatkan data-data penting berupa lengkung horizontal dan lengkung vertikal jalan. Oleh karena itu hasil perancangan tersebut harus dikoordinasikan untuk menghasilkan jalan rel yang memenuhi syarat keamanan, kenyamanan dan aspek lain. Ketentuan dalam koordinasi lengkung horizontal dan lengkung vertikal adalah sebagai berikut.

1. Lengkung horizontal seharusnya berimpit dengan lengkung vertikal, secara ideal lengkung horizontal lebih panjang dari alinemen vertikal dan melingkupinya.
2. Tikungan tajam harus dihindarkan pada bagian bawah lengkung vertikal cekung dan bagian atas pada lengkung vertikal cembung.
3. Lengkung vertikal cekung pada jalan yang lurus dan panjang harus dihindarkan.
4. Dua lengkung vertikal atau lebih harus dihindarkan dalam suatu lengkung horizontal.
5. Tikungan tajam di antara dua bagian jalan lurus yang panjang harus dihindarkan.

3.3 Pembebanan Kereta Api

Metode analisa dan desain konstruksi jalan rel menggunakan keterkaitan respon dinamik terhadap respon statik dengan menggunakan koefisien faktor pembebanan. Pembebanan dari roda kereta api terhadap struktur jalan rel merupakan sistem pendistribusian beban dari beban roda yang disalurkan melalui rel ke lapisan struktur jalan rel dengan tetap memenuhi batas kekuatan dari komponen struktur. Persamaan 3.24 beban dinamis sebagai berikut.

$$P_d = P_s \times I_d \quad (3.24)$$

dengan:

P_d = beban dinamis roda (kg),

P_s = beban roda statis (kg), dan

I_d = indeks beban dinamis.

Standar perancangan struktur jalan kereta api di Indonesia menggunakan indeks beban dinamis dengan persamaan Talbot (1990). Persamaan 3.25 merupakan persamaan indeks beban dinamis.

$$I_d = (1 + 0,01 \times (\frac{V_r}{1,609} - 5)) \quad (3.25)$$

dengan:

I_d = indeks beban dinamis, dan

V_r = kecepatan rencana (km/jam).

Nilai faktor reduksi atau *dumping factor* (λ) dihitung dengan Persamaan 3.26 seperti berikut.

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{K}{4 \times EI}} \quad (3.26)$$

dengan:

k = kekakuan rel = 180 kg/cm²,

E = modulus elastisitas rel = 2,1 x 10⁶ kg/cm², dan

I = inersia penampang rel.

Perhitungan momen jalan rel dapat ditinjau dengan Persamaan 3.27 berikut ini.

$$M_{\max} = \frac{Pd}{4 \times \lambda} \quad (3.27)$$

Nilai tinjauan terhadap tegangan ijin kelas rel dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.28 berikut.

$$\sigma = \frac{M_1 \times y}{I_x} \quad (3.28)$$

dengan:

σ = tegangan ijin kelas rel (kg/cm³),

M_1 = 0,85 M_0 akibat super posisi beberapa gandar,

y = jarak tepi bawah ke garis netral, dan

I = inersia jalan rel (cm^4).

Tinjauan terhadap tegangan yang terjadi di dasar rel didapatkan dengan menggunakan Persamaan 3.29 berikut.

$$S_{base} = \frac{M_1}{W_b} \quad (3.29)$$

dengan:

S_{base} = tegangan yang terjadi di dasar rel (kg/cm^2),

M_1 = $0,85 M_0$ akibat super posisi beberapa gandar, dan

W_b = tahanan momen dasar (cm^3).

Penentuan tegangan ijin jalan rel sesuai kelas jalan. Tipe rel memenuhi syarat jika S_{base} dan tegangan ijin rel kurang dari tegangan ijin. Tabel 3.11 merupakan tegangan ijin pada tiap profil dan tegangan ijin dasar rel untuk menentukan tipe rel.

Tabel 3.11 Tegangan Ijin Profil Rel Berdasarkan Kelas Jalan Rel

Kelas jalan	Beban dinamis (kg)	Tipe Rel	Tegangan dasar rel (kg/cm^2)	Tegangan ijin (kg/cm^2)
I	19940	R.60	1042,30	1325
		R.54	1176,80	
II	16241	R.54	1128,20	1325
		R.50	1231,80	
III	15542	R.54	1097,70	1663
		R.50	1178,80	
		R.42	1476,30	
IV	14843	R.54	1031,00	1843
		R.50	1125,80	
		R.42	1410,00	
V	14144	R.42	1343,50	2000

Sumber: Rosyidi (2015)

Pembebanan bantalan untuk mendapatkan momen didapatkan dengan menggunakan Persamaan 3.30 hingga Persamaan 3.36 berikut.

1. Modulus elastisitas bantalan beton (E)

$$E = 6400\sqrt{f_{cu}} \quad (3.30)$$

dengan:

E = modulus elastisitas bantalan (kg/cm^2), dan

f_{cu} = kuat tekan bantalan beton (kg/cm^2).

2. Beban distribusi rel (Q1)

Beban distribusi rel dengan memperhitungkan superposisi gandar sesuai dengan Persamaan 3.31 dan Persamaan 3.32 berikut ini.

$$Q1 = 0,786 \times \frac{Pd \times S}{X1} \quad (3.31)$$

dengan:

$$X1 = \frac{\pi}{4 \times \lambda} \quad (3.32)$$

dengan:

Q1 = beban distribusi dari kendaraan kereta api ke bantalan (kg),

S = jarak bantalan (cm), dan

X1 = jarak pada momen maksimum (cm).

3. Faktor reduksi/ *damping factor* (λ)

Lapisan penyusun struktur disusun sedemikian rupa bertujuan supaya beban dapat terdistribusikan secara menyebar sehingga menghasilkan reduksi tegangan yang lebih rendah. Faktor reduksi dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.33 dan Persamaan 3.34 berikut ini.

$$\lambda1 = \sqrt[4]{\frac{k}{(4 \times E \times I1)}} \quad (3.33)$$

dengan:

I₁ = inersia penampang pada dudukan rel (cm^4).

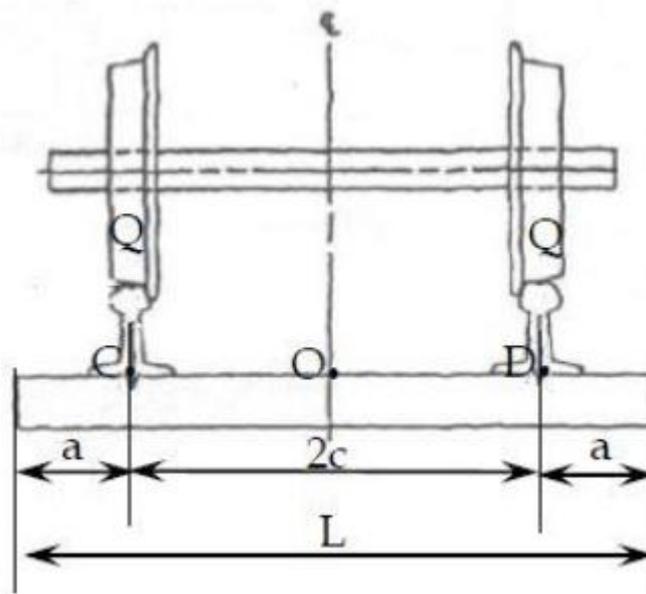
$$\lambda^2 = \sqrt[4]{\frac{k}{4 \times E \times I_2}} \quad (3.34)$$

dengan:

I_2 = inersia penampang pada tengah bantalan (cm^4).

4. Fungsi trigonometri dan hiperbolikus

Nilai maksimum defleksi, momen, dan gaya geser terletak tepat di bawah beban terpusat jika nilai trigonometri bernilai 1. Gambar 3.9 berikut adalah titik dan dimensi bantalan untuk menyelesaikan persamaan trigonometri.



Gambar 3.9 Titik dan Dimensi Fungsi Trigonometri pada Bantalan

Sumber: Rosyidi (2015)

Tabel 3.12 Fungsi Trigonometri dan Hiperbolikus

Fungsi	Fungsi
$\sin \lambda L$	$\cos 2\lambda c$
$\sinh \lambda L$	$\cos \lambda L$
$\text{Cosh} \lambda a$	$\sinh \lambda c$
$\cosh 2\lambda c$	$\sin \lambda c$
$\cosh \lambda L$	$\sin \lambda (L-c)$
$\text{Cos} \lambda a$	$\sinh \lambda (L-c)$

Lanjutan Tabel 3.12 Fungsi Trigonometrik dan Hiperbolikus

Fungsi	Fungsi
$\sinh \lambda 2a$	$\cosh \lambda c$
$\sin \lambda 2c$	$\cos \lambda (L-c)$
$\sinh \lambda 2c$	$\cos \lambda c$
$\sin 2 \lambda a$	$\cosh \lambda (L-c)$

Sumber: Rosyidi (2015)

5. Momen di titik dudukan rel ($M_{C/D}$)

Momen di titik dudukan rel berdasarkan nilai trigonometri sesuai Persamaan 3.35 berikut.

$$M_{C/D} = \frac{Q}{4\lambda l} \times \frac{1}{\sin \lambda L + \sinh \lambda L} [2 \cosh^2 \lambda a (\cos 2\lambda c + \cosh \lambda L) - 2 \cos^2 \lambda a (\cosh 2\lambda c + \cos \lambda L) - \sinh 2\lambda a (\sin 2\lambda c + \sinh \lambda L) - \sin 2\lambda a (\sinh 2\lambda c + \sin \lambda L)] \quad (3.35)$$

6. Momen di tengah bantalan (M_O)

Momen di titik tengah bantalan berdasar nilai trigonometri sesuai Persamaan 3.36 berikut.

$$M_O = \frac{-Q}{2\lambda l} \times \frac{1}{\sin \lambda L + \sinh \lambda L} [\sinh \lambda c (\sin \lambda c + \sin \lambda (L-c)) + \sin \lambda c (\sinh \lambda c + \sinh \lambda (L-c)) + \cosh \lambda c \cos \lambda (L-c) - \cos \lambda c \cosh \lambda (L-c)] \quad (3.36)$$

Perhitungan tegangan lapisan balas didapatkan dengan menggunakan Persamaan 3.37 hingga Persamaan 3.40 berikut ini.

1. Koefisien balas yang dipengaruhi oleh kondisi balas (k_e)

Nilai dari koefisien balas diambil menurut Tabel 3.13 berikut ini.

Tabel 3.13 Koefisien Balas Berdasar Kondisi Balas

Kondisi Balas	Koefisien Balas (kg/cm^3)
Buruk	3
Sedang	8-10
Baik	12-15

Sumber: Rosyidi (2015)

2. Modulus balas (k)

$$k = k_e \times b \quad (3.37)$$

3. Lendutan maksimum (y)

Nilai pada lendutan maksimum bantalan dapat dihitung dengan permodalan *BoEF* dengan Persamaan 3.38 berikut.

$$y = \frac{59\%Pd \times \lambda}{2k} \times \frac{1}{\sin\lambda L + \sinh\lambda L} [2 \cosh^2 \lambda a (\cos 2\lambda c + \cosh \lambda L) + 2 \cos^2 \lambda a (\cosh 2\lambda c + \cos \lambda L) + \sinh 2\lambda a (\sin 2\lambda c - \sinh \lambda L) - \sin 2\lambda a (\sinh 2\lambda c - \sin \lambda L)] \quad (3.38)$$

4. Tekanan pada lapisan bantalan (σ_1)

$$\sigma_1 = k_e \times y \quad (3.39)$$

5. Tekanan pada lapisan *subgrade* (σ_2)

$$\sigma_2 = \frac{58 \times \sigma_1}{(10+d)^{1,35}} \quad (3.40)$$

3.4 Persyaratan Komponen Struktur Jalan Rel

Kesatuan antar komponen struktur jalan rel meliputi rel, penambat rel, bantalan dan lapis balas akan membentuk suatu konstruksi jalan rel yang saling terhubung dan tersusun agar dapat dilalui kereta api secara aman dan nyaman.

3.4.1 Rel

Rel merupakan landasan jalan kereta api yang berfungsi untuk meneruskan tekanan dari atas menuju ke bantalan. Pada umumnya jenis rel yang terpasang di Indonesia merupakan jenis rel tahan aus dalam klasifikasi UIC disingkat menjadi WR tipe A kemudian dimodifikasi agar sesuai dengan syarat Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 tahun 2012, dimana rel harus memenuhi persyaratan berikut.

1. Minimum perpanjangan (*elongation*) adalah 10%.
2. Kekuatan tarik (*tensile strength*) minimum 1175 N/mm².
3. Kekerasan kepala rel harus lebih dari 320 BHN (*Brinells Hardness Number*).

Di Indonesia secara umum jenis rel yang sering digunakan adalah R42, R50, R54 dan R60. Penampang rel harus memenuhi ketentuan dimensi dari Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 tahun 2012 yang tertera pada Tabel 3.14 dan didetailkan melalui Gambar 3.10 sebagai berikut.

Tabel 3.14 Dimensi Penampang Rel

Besaran Geometri Rel	Tipe Rel			
	R.42	R.50	R.54	R.60
H (mm)	138,00	153,00	159,00	172,00
B (mm)	110,00	127,00	140,00	150,00
C (mm)	68,50	65,00	70,00	74,30
D (mm)	13,50	15,00	16,00	16,50
E (mm)	40,50	49,00	49,40	51,00
F (mm)	23,50	30,00	30,20	31,50
G (mm)	72,00	76,00	74,79	80,95
R (mm)	32,00	500,00	508,00	120,00
A (cm ²)	54,26	64,20	69,34	76,86
W (kg/m)	42,59	50,40	54,43	60,34
I _x (cm ⁴)	1369	1960	2346	3055
Y _b (mm)	68,50	71,60	76,20	80,95

Sumber: Kementerian Perhubungan (2012)

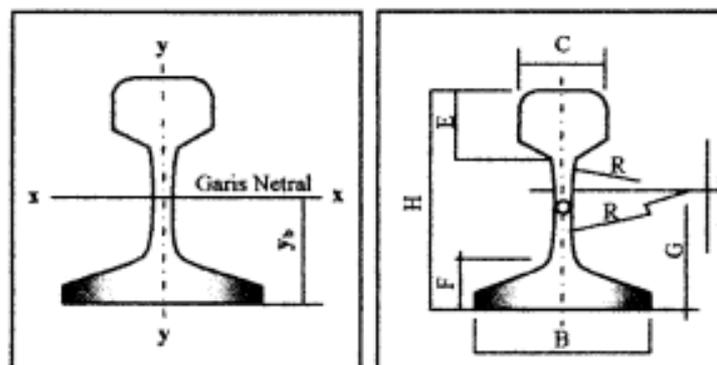
dengan :

A = luas penampang,

W = berat rel tiap satu meter,

I_x = momen inersia terhadap sumbu x, dan

Y_b = jarak tepi bawah rel ke garis netral.



Gambar 3.10 Dimensi Penampang Rel

Sumber: Kementerian Perhubungan (2012)

1. Penentuan panjang minimum rel

Menurut Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 tahun 2012 rel dapat diklasifikasikan sesuai dengan panjangnya, yaitu:

- a. rel standar, dengan panjang 25 meter (sebelumnya 6-10 meter),
- b. rel pendek, dengan panjang maksimum 100 meter atau 4 x 25 meter,
- c. rel panjang, adalah rel yang mempunyai panjang statis, yaitu daerah yang tidak terpengaruh pergerakan sambungan rel, biasanya dengan panjang minimal 200 meter.

Permasalahan yang ditimbulkan pada jenis rel panjang adalah penentuan panjang minimal rel yang akan diakibatkan oleh dilatasi pemuaian sebagaimana dituliskan dalam Persamaan 3.41 berikut.

$$\Delta L = L \times \lambda \times \Delta T \quad (3.41)$$

dengan:

- ΔL = Pertambahan panjang (m),
 L = Panjang rel (m),
 λ = Koefisien muai panjang material ($^{\circ}\text{C}$), dan
 ΔT = Beda tinggi temperatur ($^{\circ}\text{C}$).

Menurut hukum *Hooke*, gaya yang terjadi pada rel dapat diturunkan menjadi Persamaan 3.42 berikut.

$$F = \frac{\Delta L \times E \times A}{L} \quad (3.42)$$

dengan:

- F = Gaya (N),
 ΔL = Pertambahan panjang (m),
 E = Modulus elastisitas young (kg/cm^2),
 A = Luas penampang (cm^2),
 L = Panjang awal (m).

Jika disubstitusi Persamaan 3.41 pada Persamaan 3.42, maka akan menjadi berikut.

$$F = E \times A \times \lambda \times \Delta T \quad (3.43)$$



Gambar 3.11 Diagram Gaya Lawan Bantalan

(Sumber: Kementerian Perhubungan, 2012)

Panjang ℓ (bagian rel yang memuai dan menyusut) dapat dihitung dengan Persamaan 3.44 sebagai berikut.

$$\ell = OM = \frac{E \times A \times \lambda \times \Delta T}{r} \quad (3.44)$$

dengan:

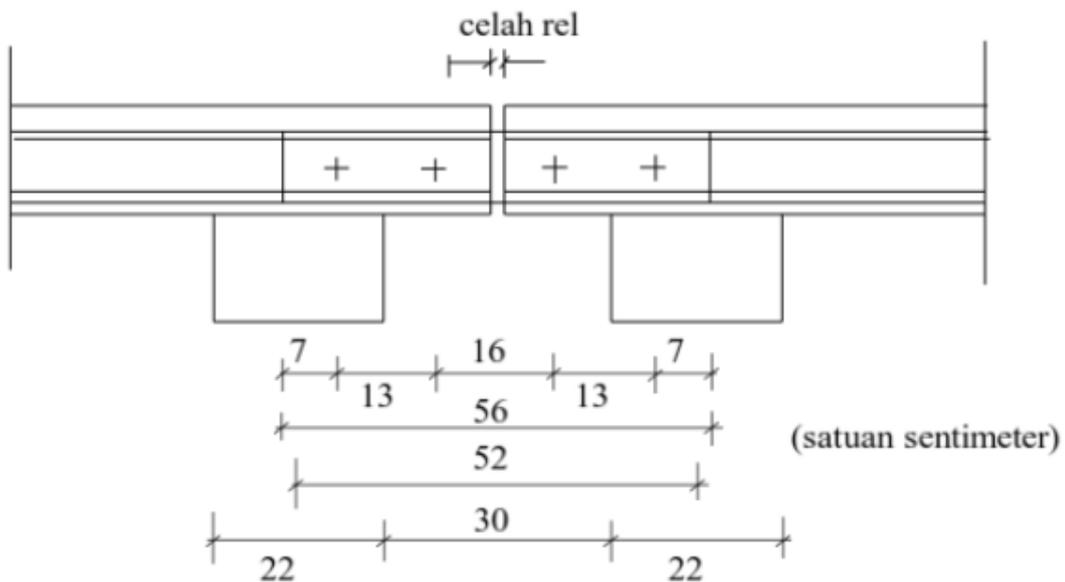
$r = \text{tg } \alpha = \text{Gaya lawan bantalan per satuan panjang (kg/m)}$

Persamaan panjang minimum jenis rel panjang digunakan Persamaan 3.45 sebagai berikut.

$$L \geq 2 \times \ell \quad (3.45)$$

2. Celah sambungan rel

Pertemuan antara dua ujung rel harus ada celah untuk memberi tempat untuk terjadinya perubahan penambahan panjang rel akibat perubahan suhu. Besarnya celah pada rel standar dan rel pendek tergantung pada suhu pemasangan dan panjang rel, sedangkan untuk celah pada rel panjang tergantung pada suhu pemasangan, tipe rel, dan bantalan yang digunakan.



Gambar 3.12 Celah Sambungan Pada Rel

(Sumber: Kementerian Perhubungan, 2012)

- a. Celah sambungan pada rel standar dan rel pendek

Besarnya celah sambungan pada rel standar dan rel pendek dapat dihitung dengan menggunakan cara yang digunakan oleh PT. Kereta Api Indonesia sebagai berikut.

$$G = L \times \lambda \times (40 - t) + 2 \quad (3.46)$$

dengan:

G = Besarnya celah sambungan rel (mm),

L = Panjang rel (mm),

λ = Koefisien muai panjang rel,

t = Suhu pemasangan rel ($^{\circ}\text{C}$).

Batasan maksimum besarnya celah sambungan rel ialah 16 mm. Berdasarkan cara tersebut dengan koefisien muai rel sebesar $1,2 \times 10^{-5}$, maka besarnya celah sambungan rel pada rel standar dan rel pendek dapat dilihat pada Tabel 3.15 sebagai berikut.

Tabel 3.15 Celah Sambungan pada Rel Standar dan Rel Pendek untuk Semua Tipe Rel

Suhu Pemasangan (°C)	Panjang Rel (m)			
	25 (mm)	50 (mm)	75 (mm)	100 (mm)
≤ 20	8	14	16	16
22	7	13	16	16
24	6	12	16	16
26	6	10	15	16
28	5	9	13	16
30	4	8	11	14
32	4	7	9	12
34	3	6	7	9
36	3	4	6	7
38	2	3	4	4
40	2	2	2	2
42	1	1	0	0
44	0	0	0	0
≥ 46	0	0	0	0

Sumber: Kementerian Perhubungan (2012)

b. Celah sambungan pada rel panjang

Besarnya celah sambungan pada rel panjang dapat dihitung dengan menggunakan cara yang sama yang digunakan oleh PT. Kereta Api Indonesia sebagai berikut.

$$G = \frac{E \times A \times \lambda \times (50-t)^2}{2 \times r} + 2 \quad (3.47)$$

dengan:

G = Besarnya celah sambungan rel (mm),

E = Modulus elastisitas rel (kg/cm²),

A = Luas Penampang rel (mm²),

λ = Koefisien muai panjang rel,

t = Suhu pemasangan rel (°C), dan

r = Gaya lawan bantalan per satuan panjang (kg/m).

Batasan maksimum besarnya celah sambungan rel yaitu 16 mm. Berdasarkan cara tersebut dengan koefisien muai rel sebesar $1,2 \times 10^{-5}$, maka besarnya celah sambungan rel pada bantalan kayu maupun beton dapat dilihat pada Tabel 3.16 dan Tabel 3.17 sebagai berikut.

Tabel 3.16 Celah Sambungan untuk Rel Panjang pada Bantalan Kayu

Suhu Pemasangan (°C)	Lebar Celah (mm)			
	R.42	R.50	R.54	R.60
≤ 28	16	16	16	16
30	14	16	16	16
32	12	14	15	16
34	10	11	12	13
36	8	9	10	10
38	6	6	8	8
40	5	4	6	6
42	4	3	5	5
44	3	3	3	4
46	2	3	3	3
≥ 48	2	2	2	2

Sumber: Kementerian Perhubungan (2012)

Tabel 3.17 Celah Sambungan untuk Rel Panjang pada Bantalan Beton

Suhu Pemasangan (°C)	Lebar Celah (mm)			
	R.42	R.50	R.54	R.60
≤ 22	16	16	16	16
24	14	16	16	16
26	13	14	15	16
28	13	12	13	14
30	10	11	11	12
32	8	9	10	10
34	7	8	8	9
36	6	6	7	7
38	5	5	5	6
40	4	4	4	5
42	3	3	3	4
44	3	3	3	3
≥ 46	2	2	2	2

Sumber: Kementerian Perhubungan (2012)

3.4.2 Penambat Rel

Penambat rel memiliki fungsi untuk menambatkan atau menahan rel tetap pada bantalan agar kedudukan rel tidak bergeser dan tetap kokoh pada posisi yang sama. Penambat rel digunakan sesuai dengan penentuan kelas jalan rel. Jenis penambat yang dipergunakan adalah penambat elastik dan penambat kaku.

Penambat kaku terdiri atas paku rel, mur dan baut. Penambat elastik ganda terdiri dari pelat landas, pelat atau batang jepit elastik, alas rel, tarpon, mur dan baut. Pada bantalan beton, tidak diperlukan pelat landas, tetapi dalam hal ini tebal karet las rel harus disesuaikan dengan kecepatan maksimum.

Penambat kaku tidak boleh dipakai untuk semua kelas jalan rel. Penambat elastis tunggal hanya digunakan pada kelas jalan rel 4 dan 5 dengan jenis bantalan besi atau kayu. Penambat elastis ganda dapat digunakan semua kelas jalan namun tidak dianjurkan pada kelas jalan rel 5.

3.4.3 Bantalan

Bantalan memiliki fungsi sebagai penghantar beban dari rel menuju balas di bawahnya, menjaga lebar jalan rel, serta menghindari kontak langsung rel dengan muka air. Pemilihan jenis bantalan yang digunakan berdasarkan pada kelas jalan rel menurut peraturan konstruksi jalan rel yang berlaku. Terdapat jenis bantalan sesuai dengan bahan pembuatannya, yang sering digunakan di Indonesia sebagai berikut.

1. Bantalan kayu

Bantalan kayu yang digunakan dalam perkeretaapian harus memenuhi persyaratan kayu mutu A kelas 1 dengan nilai modulus elastisitas tidak kurang dari 125.000 kg/cm^2 . Bantalan kayu ini juga harus mampu menahan momen maksimum yaitu 800 kgm. Lentur kayu tidak kurang dari 46 kg/cm^2 dan kadar air tidak lebih dari 15%, tanpa mata kayu dan tidak ada retakan sepanjang 230 mm dari ujung kayu.

2. Bantalan beton

Bantalan beton yang terpasang pada jalur dengan lebar 1067 mm harus memiliki kuat tekan minimal sebesar 500 kg/cm^2 dengan mutu baja prategang minimum sebesar 16.876 kg/cm^2 . Bantalan beton harus bisa memikul momen minimum sebesar +1500 kgm pada bagian dudukan rel dan pada bagian tengah bantalan dapat memikul momen sebesar -930 kgm. Dimensi bantalan beton untuk jalur dengan lebar 1067 mm dalam Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 tahun 2012 sebagai berikut.

- a. Panjang = 2000 mm
- b. Lebar maksimum = 260 mm
- c. Tinggi maksimum = 220 mm

3. Bantalan Besi

Dalam Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 tahun 2012 bantalan besi harus mengandung *Carbon Manganese Steel Grade 900 A*, bantalan besi mampu menahan momen maksimum sebesar 650 kgm dengan tegangan tarik 88 – 103 kgm. Dimensi bantalan besi adalah sebagai berikut.

- a. Panjang = 2000 mm
- b. Lebar atas = 144 mm

- c. Lebar bawah = 232 mm
- d. Tebal baja minimum = 7 mm

Jarak bantalan menurut PerMehHub No. 60 tahun 2012 pada lintas lurus adalah 60 cm dihitung dari as bantalan, sehingga jumlah bantalan pada tiap satu kilometer sebesar 1667 buah. Pada tikungan pun memiliki jarak yang sama yaitu 60 cm diukur dari rel paling luar.

3.4.4 Balas

Lapisan balas terletak di area yang mendapat tegangan terbesar dari beban lalu lintas kereta pada jalan rel. Maka dari itu fungsi utama balas adalah meneruskan beban dari bantalan dan dialirkan menuju tanah dasar. Sehingga material yang digunakan pada balas haruslah material terpilih dengan persyaratan berikut.

1. Balas terdiri dari batu pecah dengan diameter 25 – 60 mm dan bersudut banyak.
2. Material memiliki ketahanan gesek tinggi dan kapasitas ketahanan yang baik.
3. Kuat tekan rata rata maksimum 1000 kg/cm².
4. Berat jenis minimum 2,6.
5. Porositas tidak lebih dari 3%.
6. Kandungan lumpur, tanah dan organik tidak lebih dari 0,5%
7. Kandungan minyak tidak lebih dari 0,2%.
8. Keausan balas setelah di tes metode *los angeles* maksimum 25%.
9. Selain itu kemiringan lapis balas tidak boleh lebih curam dari 1:2.

3.4.5 Sub Balas

Sub balas sendiri memiliki fungsi sebagai lapis penyaring yang terletak di antara tanah dasar dan lapis balas namun harus dapat mengalirkan air dengan baik. Tebal minimum lapis sub-balas adalah 15 cm. Lapis sub-balas terbentuk dari material berupa kerikil halus, kerikil sedang atau pasir kasar yang harus memenuhi persyaratan lolos yang tertera pada Tabel 3.18 berikut.

Tabel 3.18 Spesifikasi Material Sub balas

Standar saringan ASTM	Persentase lolos (%)
2,5"	100
0,75"	55 – 100
No. 4	25 – 95
No. 40	5 – 35
No. 200	0 – 10

Sumber: Kementerian Perhubungan (2012)

Lapis sub balas sendiri harus memenuhi persyaratan dari Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 tahun 2012 berikut.

1. Material penyusun lapis sub balas dapat berupa campuran kerikil, pasir atau kumpulan agregat pecah.
2. Material sub balas tidak boleh mengandung material organik lebih dari 5%.
3. Sub balas yang terbentuk dari kumpulan pasir dan agregat pecah setidaknya mengandung 30% agregat pecah.
4. Menurut percobaan ASTM D 698 lapis sub balas harus dipadatkan sampai dengan 100%.

3.4.6 Badan Jalan Rel

Badan jalan rel ditinjau dari 2 kondisi yaitu pada kondisi timbunan dan galian. Pada kondisi timbunan terdiri atas: tanah dasar, tanah timbunan, dan lapisan dasar (*subgrade*). Pada kondisi galian terdiri atas: tanah dasar, dan lapisan dasar (*subgrade*). Tinjauan umum badan jalan rel memiliki syarat-syarat seperti berikut.

1. Tanah dasar harus terbebas dari masalah penurunan dan mampu memikul tanah dasar (*subgrade*).
2. Kemiringan permukaan tanah dasar ke arah luar badan jalan sebesar 5%.
3. Daya dukung tanah ditentukan dengan metode uji ASTM D 1196. Nilai pengujian minimum sebesar 70 MN/m². Jika nilai pengujian berada di bawah syarat maka perlu diperbaiki dengan metode yang sesuai.

Tanah dasar yang dibentuk oleh timbunan harus memenuhi persyaratan sebagai berikut.

1. Material tanah tidak mengandung bahan–bahan organik, gambut, dan tanah mengembang
2. Kepadatan tanah minimum sebesar 95% dari kepadatan kering.
3. Mempunyai nilai CBR sebesar 6% pada uji kondisi terendam.

Lapis dasar (*subgrade*) adalah lapisan tanah yang dapat berupa tanah asli maupun tanah timbunan yang harus memiliki persyaratan ketebalan minimum sebesar 30 cm sehingga mengurangi potensi *mud pumping* yang terjadi akibat perubahan tanah isian atau tanah dasar.

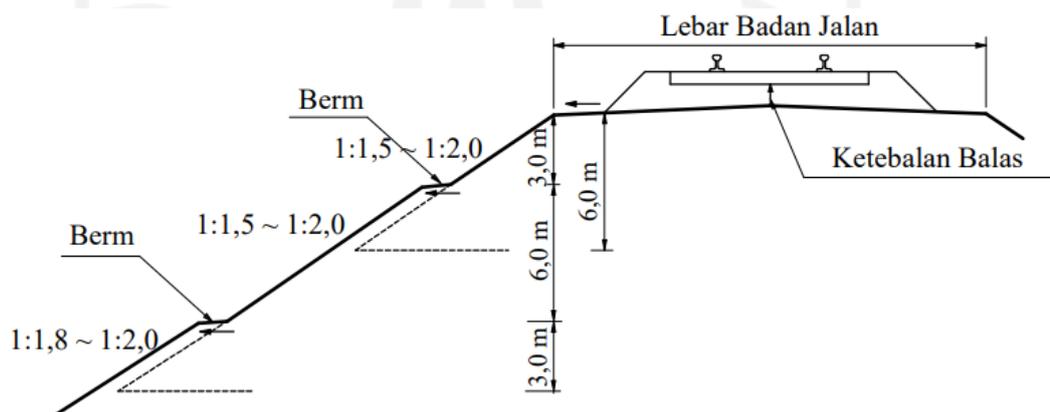
Kriteria perancangan badan jalan yang harus dipenuhi adalah sebagai berikut.

1. Konstruksi badan jalan

Secara umum jalan harus memiliki angka aman (SF) sebesar 1,5 untuk beban statis dan 1,1 untuk beban gempa.

2. Konstruksi badan jalan pada timbunan dan galian

Kondisi timbunan atau galian dengan kedalaman setinggi lebih dari 6 meter, maka dirancang *berm* selebar 1,5 meter. Gambar 3.13 berikut ini menunjukkan penampang tipikal pada kedalaman yang melebihi 6 meter. Penempatan *berm* dapat ditiadakan apabila tinggi kurang dari 6 meter. Berikut Gambar 3.13 yang menunjukkan penampang tipikal dengan *berm*.



Gambar 3.13 Penampang Berm Pada Ketinggian lebih dari 6 meter

(Sumber: Kementerian Perhubungan, 2012)

3.4.7 Drainase Permukaan

Keberadaan drainase penting untuk membuang atau mengalirkan air menuju pembuangan (sungai atau saluran buatan). Drainase dirancang untuk memperkecil penyebab kerusakan oleh air terhadap konstruksi badan jalan rel.

Menurut PerMenHub No. 60 tahun 2012, drainase harus memenuhi persyaratan sebagai berikut.

- a. Kemiringan minimum struktur drainase sebesar 0,3% guna meminimalkan endapan.
- b. Ukuran drainase berbentuk pipa, memiliki ukuran minimum sebesar 6 inch atau 15 cm

1. Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi dilakukan guna mendapatkan perkiraan besarnya debit banjir yang ditimbulkan oleh hujan deras. Hasil analisis hidrologi ditetapkan menjadi dasar analisis hidrolika.

a. Curah hujan

Data curah hujan merupakan data awal dalam perancangan saluran samping. Rekaman data curah hujan didapatkan pada *website* Badan Pusat Statistik Kabupaten Grobogan. Nilai dari perekaman data curah hujan kemudian diolah dengan analisis parameter statistik sehingga yang dipakai untuk perancangan merupakan curah hujan rencana dalam satuan mm/jam.

Hujan rancangan menggunakan metode distribusi Log Pearson III. Nilai faktor frekuensi (K_T) yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.19 berikut.

Tabel 3.19 Faktor Frekuensi Distribusi Log Pearson III

C_s	K_T	C_s	K_T	C_s	K_T
3,0	0,420	2,0	0,609	1,0	0,758
2,9	0,440	1,9	0,627	0,9	0,769
2,8	0,460	1,8	0,643	0,8	0,780
2,7	0,479	1,7	0,660	0,7	0,790
2,6	0,499	1,6	0,675	0,6	0,800
2,5	0,518	1,5	0,690	0,5	0,808

Lanjutan Tabel 3.19 Faktor Frekuensi Distribusi Log Pearson III

Cs	K _T	Cs	K _T	Cs	K _T
2,4	0,537	1,4	0,705	0,4	0,816
2,3	0,555	1,3	0,719	0,3	0,824
2,2	0,574	1,2	0,732	0,2	0,830
2,1	0,592	1,1	0,745	0,1	0,836

Sumber: Suripin (2004)

b. Luas *catchment* (A)

Catchment adalah suatu daerah luasan yang dibatasi oleh keadaan topografi dimana air hujan akan mengalir menuju suatu titik yang dituju. Luas *catchment* dapat diperkitakan dengan mengukur daerah topografi.

c. Koefisien limpasan (*runoff*)

Koefisien limpasan merupakan nilai faktor terhadap debit aliran. Data guna menghitung koefisien limpasan adalah jenis permukaan lahan yang dialiri oleh air hujan. Sehingga data yang diperlukan merupakan tata guna lahan sepanjang luasan *catchment* trase jalan.

d. Intensitas curah hujan (I_T)

Intensitas curah hujan adalah kedalaman atau tinggi air hujan yang turun per satuan waktu. Besarnya nilai intensitas hujan dapat berbeda-beda, tergantung dari lamanya curah hujan dan frekuensi kejadiannya. Sifat umum hujan terhadap intensitas yaitu semakin singkat hujan itu berlangsung maka intensitasnya cenderung tinggi dan makin besar periode ulangnya makin tinggi pula intensitasnya. Intensitas umumnya dihitung dengan rumus empiris yaitu mononobe.

e. Waktu konsentrasi (T_C)

Waktu konsentrasi merupakan waktu yang dibutuhkan oleh air hujan untuk mengalir dari titik terjauh hingga ke tempat akhir DAS. Daerah aliran kecil, lama waktu konsentrasinya sama dengan lama waktu pengaliran dari tempat terjauh.

f. Debit banjir rencana (Q)

Debit banjir rencana dianalisis berdasar besarnya curah hujan rencana pada periode ulang T tahun. Metode rasional biasanya dipakai untuk *catchment*

yang memiliki luasan cukup kecil dengan DAS <25 km². Debit banjir rencana dihitung dengan metode rasional yang didasarkan Persamaan 3.48 hingga Persamaan 3.51 berikut.

1) Debit rancangan ($Q_{rencana}$)

$$Q_{rencana} = C \times I \times A \quad (3.48)$$

2) Koefisien aliran

$$C = \frac{(A_1 \times C_1) + (A_2 \times C_2) + (A_3 \times C_3)}{A_{total}} \quad (3.49)$$

Nilai tiap koefisien aliran lahan dapat menggunakan acuan pada Tabel 3.20 berikut.

Tabel 3.20 Koefisien Aliran Lahan

Deskripsi Lahan	Koefisien Aliran
Pemukiman kepadatan sedang	0,60 - 0,70
Persawahan	0,45 – 0,60
Kebun dan Taman	0,20 – 0,40
Daerah kereta api	0,20 – 0,40

Sumber: Direktorat Jendral Bina Marga (1990)

3) Intensitas hujan

$$I_T = \left(\frac{R_{24}}{24}\right) \times \left(\frac{24}{T_C}\right)^{2/3} \quad (3.50)$$

4) Waktu konsentrasi

$$T_C = 0,0195 \times L^{0,77} \times S^{-0,385} \quad (3.51)$$

dengan:

Q = Debit rencana banjir (m³/detik),

C = Koefisien aliran,

I_T = Intensitas hujan (mm/jam),

- A = Luas daerah pengaliran (m^2),
 R_{24} = Curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm),
 T_C = Waktu konsentrasi (menit),
 L = Panjang aliran (m),
 L_{saluran} = Panjang saluran (m), dan
 S = Kemiringan saluran (%).

2. Analisis Hidrolika

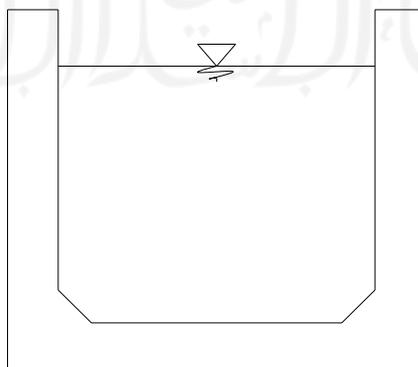
Analisis hidrolika bertujuan untuk menentukan bentuk, jenis, dimensi, dan posisi saluran samping. Analisis hidrolika dapat dihitung apabila analisis hidrologi sudah diketahui, debit aliran yang tertampung akan didesain bangunan air yang mempunyai kapasitas lebih besar daripada debit air rencana. Penentuan bahan pembentuk saluran samping erat kaitannya dengan nilai kekasaran *manning*. Tipikal nilai koefisien kekasaran *manning* (n) dengan material beton dapat dilihat pada Tabel 3.21 berikut.

Tabel 3.21 Koefisien Nilai Kekasaran Manning

Tipe Saluran	Baik Sekali	Baik	Sedang	Buruk
Beton pracetak	0,013	0,014	0,014	0,015

Sumber: Direktorat Jendral Bina Marga (1990)

Saluran terbuka digunakan bentuk penampang persegi dengan material beton pracetak seperti pada Gambar 3.14 berikut.



Gambar 3.14 Penampang Saluran Persegi

Penampang berbentuk persegi memiliki lebar dasar saluran (B) dan kedalaman air (H), maka dapat dihitung luasan penampang basah (A), keliling basah (P), dan jari-jari hidrolis (R) perhitungan dapat menggunakan Persamaan 3.52 hingga Persamaan 3.56 berikut.

$$A = B \times H \quad (3.52)$$

$$P = B + 2H \quad (3.53)$$

$$R = A/P \quad (3.54)$$

Penentuan debit saluran (Q_{saluran}) dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.55 hingga Persamaan 3.56 sebagai berikut.

$$V_{\text{saluran}} = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \quad (3.55)$$

$$Q_{\text{saluran}} = A \times V_{\text{saluran}} \quad (3.56)$$

dengan:

S = Kemiringan saluran (%), dan

n = Kekasaran *manning*.

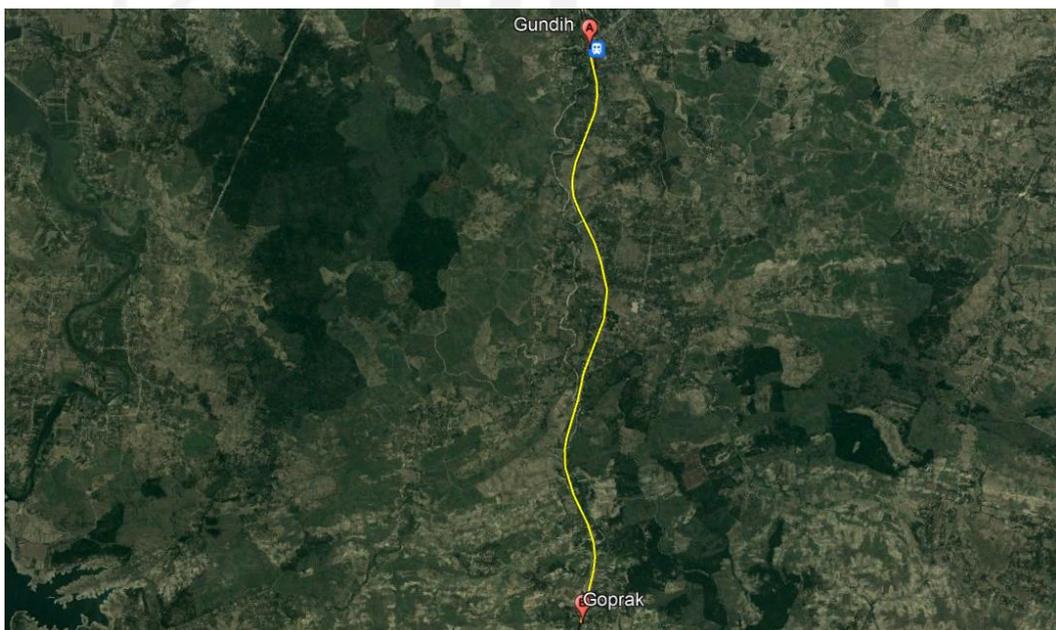
BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Metode Penelitian

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif. Metode kuantitatif merupakan metode yang dilakukan berdasarkan aspek pengukuran secara obyektif. Tujuan dari penelitian secara kuantitatif ini adalah mengembangkan dan menggunakan model matematis, teori, dan hipotesis yang saling berkaitan.

4.2 Lokasi Studi

Perancangan jalur ganda kereta api ini terletak pada jalur kereta api antara Stasiun Gundih – Stasiun Goprak yang memiliki jalur sepanjang ± 7 km, dan berada pada Provinsi Jawa Tengah. Kedua stasiun tersebut terletak di dalam Daerah Operasi yang berbeda, Stasiun Gundih berada dalam Daerah Operasi IV Semarang, sedangkan untuk Stasiun Goprak berada dalam Daerah Operasi VI Yogyakarta PT. KAI. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 Peta Lokasi Penelitian
(Sumber: *Google Earth*, 2022)

4.3 Tinjauan Umum

Dalam suatu perancangan jalan rel diperlukan analisa yang baik agar desain yang direncanakan baik sesuai peraturan yang digunakan. Supaya perancangan dapat dilakukan, maka diperlukan data yang menunjang proses perancangan. Pembahasan kali ini akan dijelaskan tahapan tentang perancangan geometri jalur ganda jalan rel Stasiun Gundih - Stasiun Goprak. Dalam perancangan ini tahapan – tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Tahap persiapan.
2. Tahap pengumpulan data.
3. Tahap pengolahan data.
4. Tahap perancangan.

4.4 Tahap Persiapan

Tahapan persiapan merupakan tahapan kegiatan sebelum memulai mengumpulkan data dan mengolahnnya. Tahapan persiapan meliputi kegiatan – kegiatan sebagai berikut.

1. Menentukan kebutuhan data.
2. Mendata divisi pada instansi terkait untuk dijadikan narasumber.
3. Pengadaan administrasi guna pencarian data.
4. Studi pustaka tentang perkeretaapian sebagai referensi.
5. Penyusunan tugas akhir.

4.5 Tahap Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini, data yang digunakan berupa data sekunder yang diperoleh dari instansi terkait yang berwenang. Data yang dimaksud adalah sebagai berikut.

1. Kantor PT. KAI DAOP VI Yogyakarta

Data sekunder yang diperoleh dari DAOP VI Yogyakarta PT KAI (Persero). Ada beberapa data sekunder yang akan digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut.

- a. Data koordinat stasiun dan juga koordinat lengkung rel eksisting.
- b. Data eksisting spesifikasi lengkung dan spesifikasi landai.

- c. Data eksisting struktur jalan rel.
- d. Data *passing tonnage* yang melewati jalur tersebut.

4.6 Tahap Pengolahan Data

Pada tahapan ini dilakukan pengolahan data sebagai perhitungan teknis untuk menghasilkan input untuk proses perencanaan selanjutnya yaitu desain detail. Pada tahapan ini data sekunder yang diperoleh diolah menggunakan *software microsoft excel* dan juga menggunakan *software AutoCAD Civil 3D 2018* agar dapat dievaluasi dan berlanjut pada tahapan selanjutnya.

4.7 Tahap Perancangan

Pada tahap ini dilakukan proses desain dengan mempertimbangkan jalur tunggal yang sudah ada dan sebisa mungkin nantinya jalur ganda tetap akan berdampingan dengan jalur yang sudah ada. Perancangan ini mengacu pada Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 tahun 2012 dan juga Peraturan Dinas No. 10 PJKA. Tahapan perancangan sebagai berikut.

1. Kriteria desain
 - a. Kelas jalan rel merupakan jalan rel kelas III.
 - b. Beban gandar sebesar 18 ton.
 - c. Lebar sepur yang digunakan 1067 mm.
 - d. Kecepatan rencana yang digunakan 100 km/jam.
2. Mendapatkan letak jalur kedua (jalur ganda)

Pertimbangan untuk mendapatkan jalur kedua adalah sebagai berikut.

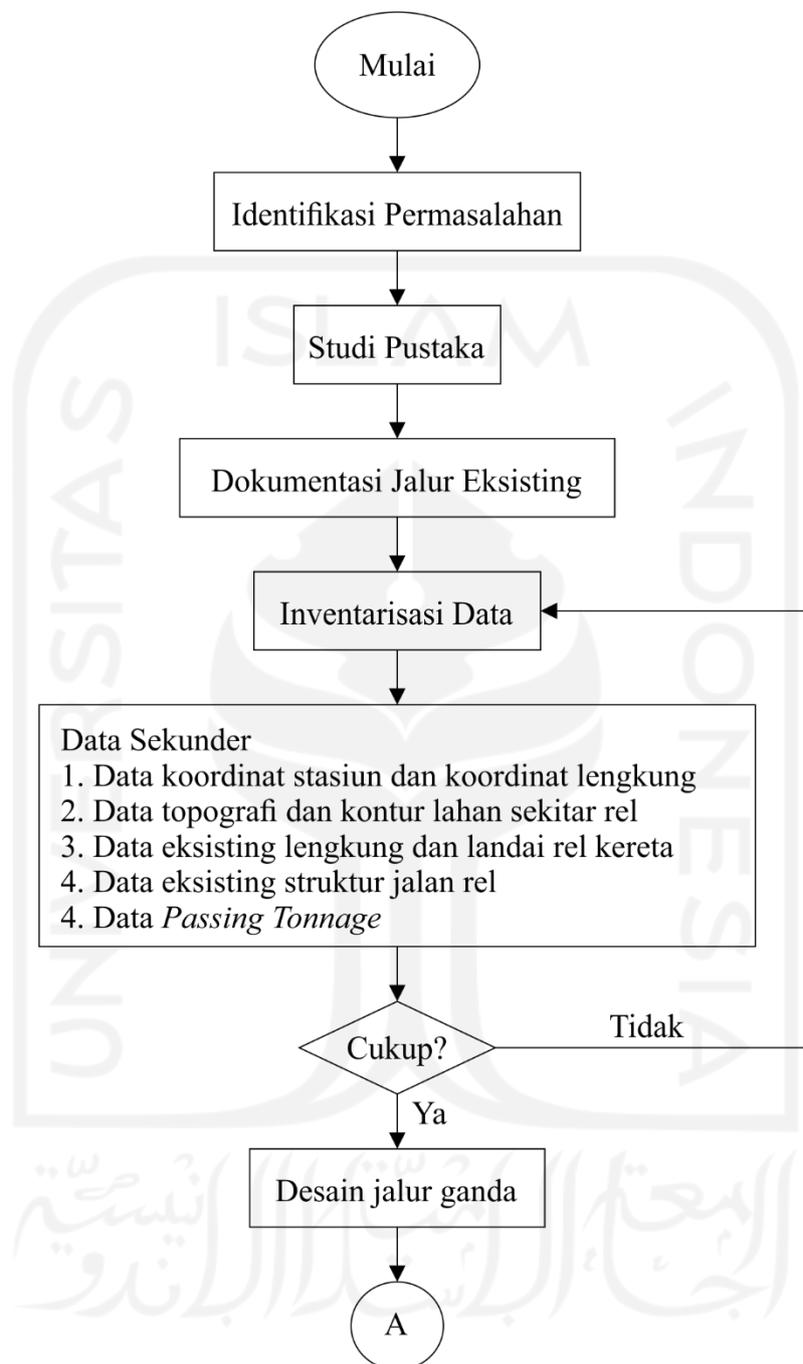
 - a. Jarak terhadap jalur yang lama (eksisting).
 - b. Jarak terhadap pusat pemukiman.
 - c. Kecepatan rencana kereta api.
3. Desain jalur ganda
 - a. Alinemen horizontal (jalur baru).
 - b. Alinyemen vertikal.
 - c. Jenis rel yang digunakan bertipe R.54.
 - d. Bantalan yang digunakan bertipe bantalan beton.

- e. Penambat rel yang digunakan berjenis penambat elastik.
 - f. Balas dan sub balas.
 - g. Saluran samping jalur rel baru.
4. Gambar rencana

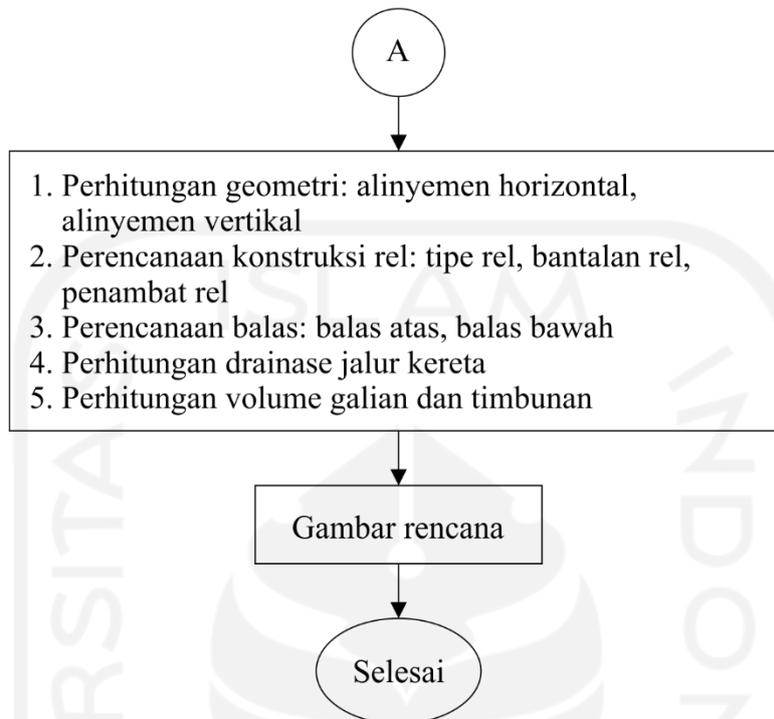
Setelah selesai menghitung geometri serta struktur jalur rel pada jalur ganda, kemudian dimodelkan dengan gambar kerja sesuai dengan perhitungan yang sudah didapatkan.

Adapun bagan alir (*flowchart*) tahapan dari perancangan jalan rel seperti yang digambarkan pada Gambar 4.2 berikut.





Gambar 4.2 Bagan Alir Perancangan Jalur Ganda (Bagian 1)



Gambar 4.3 Bagan Alir Perancangan Jalur Ganda (Bagian 2)

BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Kondisi Eksisting Jalur Kereta Api

Pada perancangan ini tahapan awal yang dilakukan adalah pengumpulan komponen-komponen eksisting untuk dijadikan dasar atau landasan dilakukannya perancangan. Komponen yang dikumpulkan yaitu meliputi koordinat stasiun yang akan ditinjau, kelas jalan jalur kereta api, serta struktur rel pada jalur eksisting.

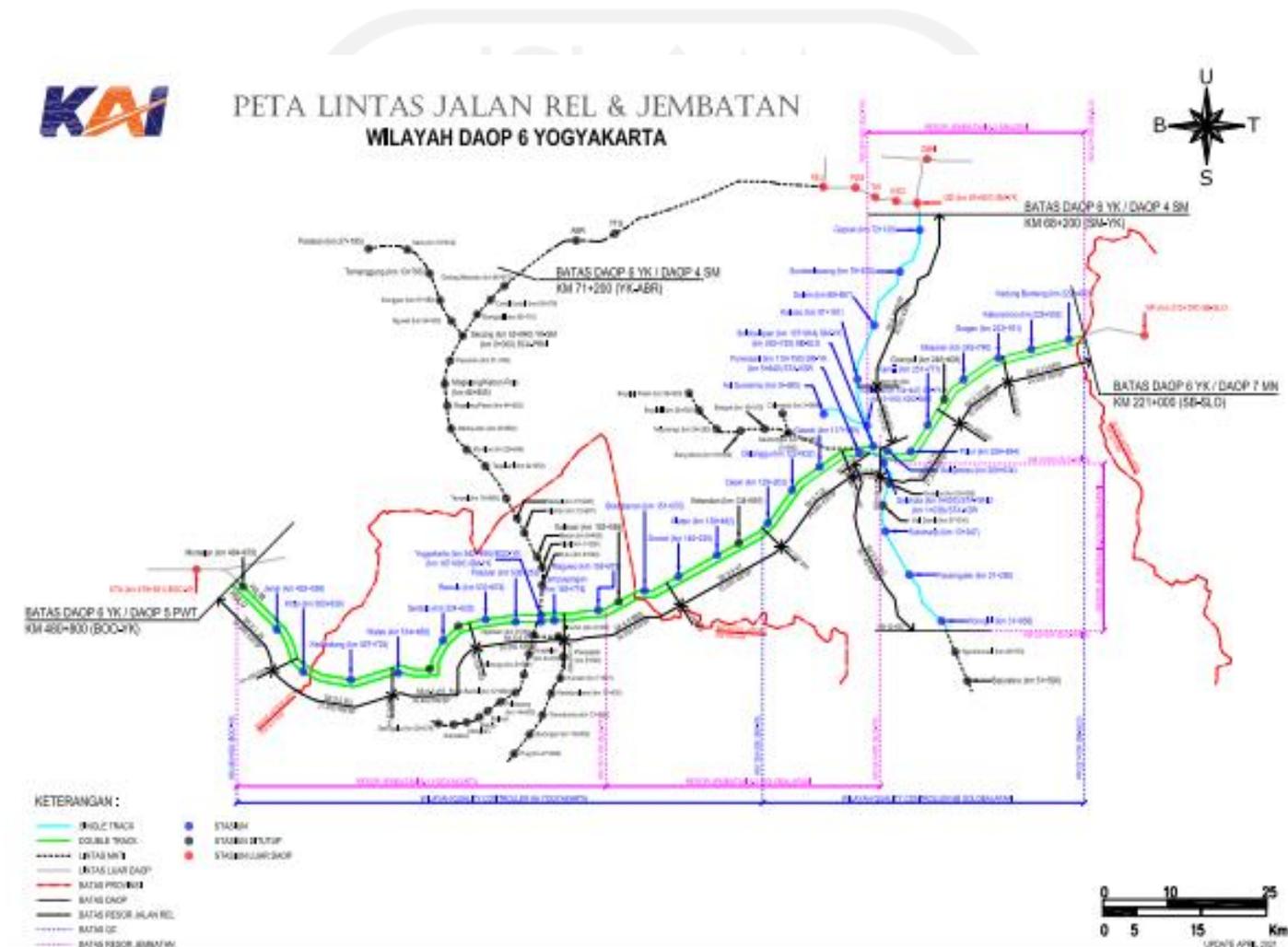
1. Lokasi

Lokasi wilayah studi berada pada Stasiun Gundih hingga Stasiun Goprak peninjauan melalui lintas Semarang – Solo, berbasis citra data *Google Earth* dan juga data *stationing* pada stasiun yang ditinjau, didapatkan data dari kedua stasiun pada Tabel 5.1 sebagai berikut.

Tabel 5.1 Koordinat dan *Stationing* Eksisting Lokasi Studi

Stasiun	<i>Stationing</i> (kilometer)	Koordinat (<i>Universal Transverse Mercator</i>)	
		<i>Northing</i> , X (meter)	<i>Easting</i> , Y (meter)
Gundih	65+857	488.941,000	9.202.062,000
1	-	489.047,000	9.201.533,000
2	-	488.657,000	9.200.635,000
3	-	489.150,000	9.199.573,000
4	-	488.743,000	9.198.626,000
5	-	488.693,000	9.198.360,000
6	-	488.479,000	9.197.723,000
7	-	488.877,000	9.196.872,000
Goprak	72+130	488.647,000	9.196.077,000

Peta lintas pada stasiun Gundih hingga Stasiun Goprak dapat dilihat pada Gambar 5.1 di bawah ini sebagai berikut.



Gambar 5.1 Peta Lintas Wilayah DAOP VI Yogyakarta
(Sumber: DAOP VI Yogyakarta, 2021)

2. Lengkung horizontal eksisting

Trayek Gundih – Goprak Berdasarkan pengamatan di lapangan terdapat 7 lengkung horizontal yang dapat dilihat pada Gambar 5.2 hingga Gambar 5.5.



(a)



(b)

Gambar 5.2 Dokumentasi Lengkung Horizontal 1 dan 2

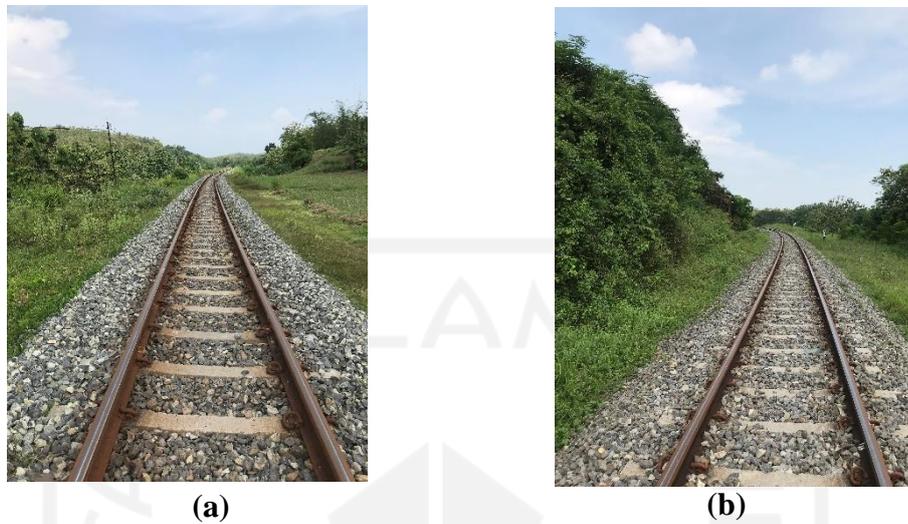


(a)



(b)

Gambar 5.3 Dokumentasi Lengkung Horizontal 3 dan 4



Gambar 5.4 Dokumentasi Lengkung Horizontal 5 dan 6



Gambar 5.5 Dokumentasi Lengkung Horizontal 7

3. Kondisi Topografi

Pengamatan di lapangan, topografi pada sebelah timur lintas Stasiun Gundih hingga Stasiun Goprak yang akan dirancang jalur baru ini terdapat lereng yang harus digali maupun ditimbun guna perancangan jalur baru disebelahnya yang mana memiliki ketinggian timbunan ataupun galian yang berbeda-beda. Dokumentasi topografi untuk jalur baru dapat dilihat pada Gambar 5.6 hingga Gambar 5.7 berikut ini



(a)



(b)

Gambar 5.7 Dokumentasi Topografi Pada Daerah yang Digali



(a)



(b)

Gambar 5.6 Dokumentasi Topografi Pada Daerah yang Ditimbun

4. Kelas jalan

Berdasarkan data perlintasan kecepatan kereta api yang diberikan oleh DAOP VI Yogyakarta trayek Stasiun Gundih – Stasiun Goprak saat ini termasuk ke dalam golongan jalan rel kelas III yang memiliki daya angkut lintas sebesar $5 \times 10^6 - 10 \times 10^6$ ton/tahun.

5. Fungsi jalan

Jalan rel lintas Stasiun Gundih – Stasiun Goprak merupakan salah satu lintas jalur percabangan dari jalur rel kereta api lintas Utara ke jalur rel kereta api lintas Selatan di Pulau Jawa dan juga sebagai perlintasan kereta api joglosemarkerto.

6. Struktur jalan rel

Berdasarkan pengukuran di lapangan serta perolehan data konstruksi rel pada trayek Stasiun Gundih – Stasiun Goprak ini maka didapatkan data yang disajikan pada Tabel 5.2 dibawah berikut.

Tabel 5.2 Konstruksi Sepur Stasiun Gundih – Stasiun Goprak

Lintas KA	Tipe Rel	Jenis bantalan	Jarak bantalan (cm)	Jenis penambat
Gundih – Goprak	R.54	Beton	60	Elastis Tunggal

Sumber: DAOP VI Yogyakarta (2021)

5.2 Gambar Rencana Usulan Trase Jalur Ganda

5.2.1 Klasifikasi Kelas Jalan Rel

Kelas jalan rel ditentukan berdasarkan data *passing tonnage* yang dipengaruhi oleh jenis kereta, volume rangkaian kereta, dan jumlah lintas harian kereta. Jenis kereta dipilih berdasar jarak lintasan dan volume rangkaian kereta. Data *passing tonnage* yang didapat pada trayek Gundih – Goprak dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut.

Tabel 5.3 Daya Angkut pada Lintas Gundih – Goprak

Lintas / Koridor	Jumlah KA/hari	<i>Passing Tonnage</i> (juta ton/tahun)	Kelas Jalan
Gundih –Goprak	22	7.265	III
Kadipiro – Bandara Adi Soemarmo	32	2.453	V

Sumber: DAOP VI Yogyakarta (2021)

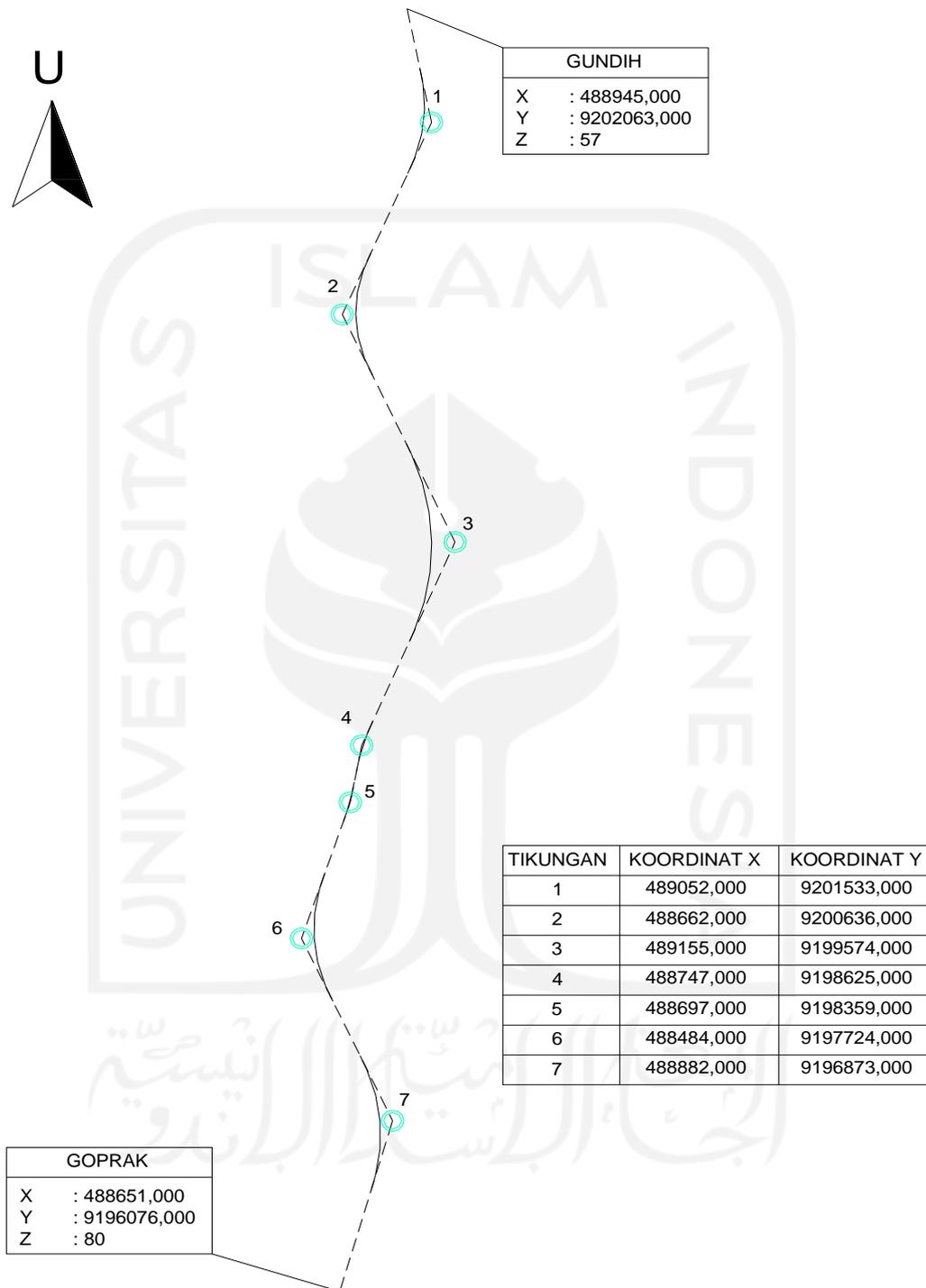
Berdasarkan data yang terlampir pada Tabel 5.3 di atas yang didapatkan dari DAOP VI Yogyakarta diketahui nilai T untuk trayek Gundih – Goprak sebesar

7.265.000 ton/tahun, menurut Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api pada Tabel 3.1 nilai daya angkut tersebut tergolong ke dalam jalan rel kelas III yang memiliki daya angkut lintas sebesar 5×10^6 - 10×10^6 . Jalan rel kelas III memiliki spesifikasi sebagai berikut.

Kecepatan maksimum (V maks)	= 100 km/jam
Tipe rel	= R.54
Jenis bantalan	= Beton
Beban gandar	= 18 ton
Jarak antar sumbu bantalan	= 60 cm
Jenis penambat	= Elastis ganda
Tebal balas atas	= 30 cm
Lebar bahu balas	= 40 cm

1. Trase dan geometri

Berdasar data foto udara yang diambil dari *Google Earth* pada Gambar 4.1 serta survei pada lokasi studi dari kondisi jalur tunggal, maka perancangan jalur ganda ditentukan berada di sebelah timur dari jalur tunggal atau sebelah kiri rel dari arah Stasiun Gundih, dengan mempertimbangkan ketersediaan lahan terbuka yang lebih banyak maka dapat meminimalisir biaya pembongkaran bangunan. Usulan jalur rel ganda direncanakan mengikuti lengkung jalur eksisting yang sudah ada, trase pada jalur baru (*double track*) dapat dilihat pada Gambar 5.8.



Gambar 5.8 Koordinat Trase Jalur Baru Stasiun Gundih – Stasiun Goprak

a. Koordinat titik trase

Koordinat titik-titik trase yang digunakan menggunakan koordinat UTM (*Universal Transverse Mercator*) berdasar gambar trase di atas dan akan diuraikan ke dalam Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5.4 Koordinat Titik Usulan Trase Jalan Rel

Titik	Koordinat Titik (<i>Universal Transverse Mercator</i>)		
	<i>Northing, X (meter)</i>	<i>Easting, Y (meter)</i>	<i>Zone</i>
Gundih	488.945,000	9.202.063,000	49 S
1	489.052,000	9.201.533,000	49 S
2	488.662,000	9.200.636,000	49 S
3	489.155,000	9.199.574,000	49 S
4	488.747,000	9.198.625,000	49 S
5	488.697,000	9.198.359,000	49 S
6	488.484,000	9.197.724,000	49 S
7	488.882,000	9.196.873,000	49 S
Goprak	488.651,000	9.196.076,000	49 S

b. Kontrol jarak

Jarak dihitung menurut titik satu dengan titik terdekat lainnya dengan menggunakan rumus berikut.

$$\begin{aligned}
 D_{\text{Sta. Gundih - 1}} &= \sqrt{(X_{GD} - X_1)^2 + (Y_{GD} - Y_1)^2} \\
 &= \sqrt{(488945 - 489052)^2 + (9202063 - 9201533)^2} \\
 &= 540,693 \text{ meter}
 \end{aligned}$$

Berikut rekapitulasi jarak antar titik dapat dilihat pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Tabel Kontrol Jarak Antar Titik Trase

Titik	Koordinat Titik (<i>Universal Transverse Mercator</i>)		Kontrol Jarak (meter)
	<i>Northing</i> , X (meter)	<i>Easting</i> , Y (meter)	
Gundih	488.945,000	9.202.063,000	0
1	489.052,000	9.201.533,000	540,693
2	488.662,000	9.200.636,000	978,115
3	489.155,000	9.199.574,000	1.170,851
4	488.747,000	9.198.625,000	1032,988
5	488.697,000	9.198.359,000	270,658
6	488.484,000	9.197.724,000	669,772
7	488.882,000	9.196.873,000	939,471
Goprak	488.651,000	9.196.076,000	829,801

5.2.2 Lengkung Horizontal

1. Perencanaan lengkung lingkaran dan peralihan

Pada perencanaan perhitungan lengkung horizontal menggunakan tipe tikungan berjenis S-C-S, di dalam perhitungan yang akan dijabarkan ini menggunakan contoh lengkung horizontal pada titik 1 untuk perhitungannya.

a. Kecepatan

Pada perencanaan jari-jari lengkung lingkaran dan peralihan

$$V_{rencana} = V_{maks}$$

$$V_{rencana} = 100 \text{ km/jam}$$

b. Perencanaan jari-jari horizontal (R)

$$R_{min} = 0,054 \times V^2$$

$$= 0,054 \times 100^2$$

$$= 540 \text{ meter (R pakai 700 meter)}$$

c. Perencanaan lengkung peralihan

$$L_s = 0,01 \times h_{pakai} \times V$$

$$= 0,01 \times 80 \times 100$$

$$= 80 \text{ meter}$$

d. Perencanaan lengkung lingkaran

$$\Theta_s = \frac{90 \times L_s}{\pi \times R}$$

$$= \frac{90 \times 80}{\pi \times 700}$$

$$= 3,274^\circ$$

$$\Theta_c = \Delta_s - 2\Theta_s$$

$$= 34,912 - 2 \times 3,274$$

$$= 28,364^\circ$$

$$L_c = \frac{\Theta_c}{360^\circ} \times 2\pi R$$

$$= \frac{28,634}{360^\circ} \times 2\pi 700$$

$$= 346,536 \text{ meter}$$

$$L = (2 \times L_s) + L_c$$

$$= (2 \times 80) + 346,536$$

$$= 506,536 \text{ meter}$$

e. Perencanaan komponen lengkung lingkaran

$$X_c = L_s - \frac{L_s^3}{40 \times R^2}$$

$$= 80 - \frac{80^3}{40 \times 700^2}$$

$$= 80,000 \text{ meter}$$

$$Y_c = \frac{L_s^2}{6 \times R}$$

$$= \frac{80^2}{6 \times 700}$$

$$= 1,524 \text{ meter}$$

$$p = Y_c - R \times (1 - \cos\Theta_s)$$

$$= 1,524 - 700 \times (1 - \cos 3,274)$$

$$= 0,381 \text{ meter}$$

$$k = X_c - R \times \sin\Theta_s$$

$$= 80 - 700 \times \sin 3,274$$

$$= 40,021 \text{ meter}$$

$$T_s = (R + p) \tan \frac{\Delta}{2} + k$$

$$= (700 + 0,381) \tan \frac{33,912}{2} + 40,021$$

$$= 250,262 \text{ meter}$$

$$\begin{aligned}
 E_s &= (R + p) \sec \frac{\Delta}{2} - R \\
 &= (700 + 0,381) \sec \frac{34,912}{2} - 700 \\
 &= 34,193 \text{ meter}
 \end{aligned}$$

Didapatkan hasil perhitungan seperti di atas pada lengkung horizontal 1. Hasil rekapitulasi perencanaan lengkung lingkaran dan peralihan yang lainnya dapat dilihat pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Rekapitulasi Perencanaan Lengkung Lingkaran dan Peralihan

Tinjauan	Lengkung Horizontal						
	1	2	3	4	5	6	7
V _r (km/jam)	100	100	100	100	100	100	100
R _{min} (m)	540	540	540	540	540	540	540
R _{pakai} (m)	700	600	1070	800	1000	710	800
Δ (°)	34,912	48,400	48,166	12,618	7,897	43,608	41,228
Θ _s (°)	3,274	4,297	1,473	2,507	1,576	3,228	2,507
L _s (m)	80	90	55	70	55	80	70
Θ _c (°)	28,364	39,806	45,221	7,605	4,746	37,152	36,215
L _c (m)	346,536	416,845	844,496	106,187	82,837	460,383	505,656
L _{total} (m)	506,536	596,845	954,496	246,187	192,837	620,383	645,656
½ L _{total} (m)	253,268	298,423	477,248	123,094	96,419	310,191	322,828
X _c (m)	80,000	89,999	55,000	70,000	55,000	80,000	70,000
Y _c (m)	1,524	2,250	0,471	1,021	0,504	1,502	1,021
P (m)	0,381	0,563	0,118	0,255	0,126	0,376	0,255
K (m)	40,021	45,042	27,503	35,011	27,503	40,021	35,011
T _s (m)	260,262	314,946	505,806	123,491	96,540	324,208	336,033
E _s (m)	34,193	58,426	102,146	5,132	2,506	55,112	54,999

2. Perencanaan peninggian rel

Pada peninggian rel digunakan kecepatan untuk peninggian. Kecepatan rencana yang digunakan untuk peninggian rel mengacu kepada grafik GAPEKA 2021 pada trayek Stasiun Gundih – Stasiun Goprak. Penjabaran perhitungan

peninggian menggunakan data pada lengkung horizontal 1 untuk perhitungannya.

a. Kecepatan

$$V_{\text{rencana}} = 95 \text{ km/jam}$$

b. Perencanaan peninggian rel (h)

$$\begin{aligned} h_{\text{normal}} &= 5,95 \times \frac{V_r^2}{R_{\text{pakai}}} \\ &= 5,95 \times \frac{95^2}{700} \\ &= 76,713 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_{\text{min}} &= 8,8 \times \frac{V_r^2}{R_{\text{pakai}}} - 53,54 \\ &= 8,8 \times \frac{95^2}{700} - 53,54 \\ &= 59,917 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan PM No. 60 tahun 2012, h_{maksimum} ditetapkan sebesar 110 mm. Berdasarkan hasil hitungan diatas, maka nilai h diperoleh 76,713 mm dengan pembulatan ke atas menjadi 80 mm.

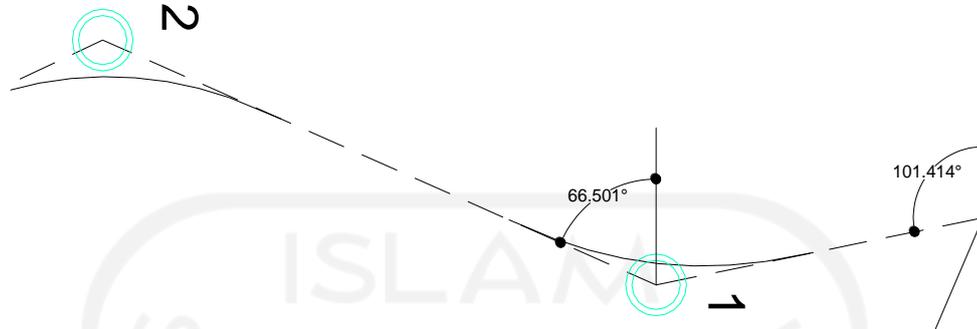
$$h_{\text{min}} < h_{\text{normal}} < h_{\text{maks}}$$

Rekapitulasi untuk perencanaan peninggian rel dapat dilihat pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Rekapitulasi Perencanaan Peninggian Jalan Rel

Lengkung	V (km/jam)	R (m)	h_{min} (mm)	h_{normal} (mm)	h_{pakai} (mm)	h_{maks} (mm)
1	95	700	59,917	76,713	80	110
2	95	600	78,827	89,498	90	110
3	95	1070	20,684	50,186	55	110
4	95	800	45,735	67,123	70	110
5	95	1000	25,880	53,699	55	110
6	95	710	58,319	75,632	80	110
7	95	800	45,735	67,123	70	110

3. Koordinat titik penting



Gambar 5.9 Trase Lengkung 1

Jarak lintasan didapatkan berdasarkan perhitungan jarak seperti pada Tabel 5.5.

a. Titik TS

$$\begin{aligned} X &= X_{GD} - (L_{GD-1} - T_s) \cos \alpha_{GD} \\ &= 488945 - (540,693 - 260,262) \cos (101,414) \\ &= 489000,496 \text{ meter} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y &= Y_{GD} - (L_{GD-1} - T_s) \sin \alpha_{GD} \\ &= 9202063 - (540,693 - 260,262) \sin (101,414) \\ &= 9201788,115 \text{ meter} \end{aligned}$$

b. Titik ST

$$\begin{aligned} X &= X_1 - T_s \times \cos \alpha_1 \\ &= 489052 - 260,262 \cos (66,501) \\ &= 488948,227 \text{ meter} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y &= Y_1 - T_s \times \sin \alpha_1 \\ &= 9201533 - 260,262 \sin (66,501) \\ &= 9201294,321 \text{ meter} \end{aligned}$$

c. Titik SC

$$\begin{aligned} X &= X_{TS} - (X_c \times \cos \alpha_{GD}) - (Y_c \times \sin \alpha_{GD}) \\ &= 489000,496 - (80 \times \cos (101,414)) - (1,524 \sin (101,414)) \\ &= 489014,833 \text{ meter} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y &= Y_{TS} - (X_c \times \sin \alpha_{GD}) + (Y_c \times \cos \alpha_{GD}) \\ &= 9201788,115 - (80 \times \sin (101,414)) + (1,524 \cos (101,414)) \end{aligned}$$

$$= 9201709,396 \text{ meter}$$

d. Titik CS

$$\begin{aligned} X &= X_{ST} + (X_c \times \cos \alpha_1) - (Y_c \times \sin \alpha_1) \\ &= 488948,227 + (80 \times \cos (66,501)) - (1,524 \sin (66,501)) \\ &= 488978,727 \text{ meter} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y &= Y_{ST} + (X_c \times \sin \alpha_1) + (Y_c \times \cos \alpha_1) \\ &= 9201294,321 + (80 \times \sin (66,501)) + (1,524 \cos (66,501)) \\ &= 9201368,294 \text{ meter} \end{aligned}$$

4. Stasiun titik penting

a. STA. GD = 65 + 857 kilometer = 65867 meter

b. STA. 1 = STA_{.GD} + L_{GD-1}
 = 65857 + 540,693
 = 66397 meter

c. STA. TS = STA₁ – T_s
 = 66397 – 260,262
 = 66137 meter

d. STA. SC = STA_{TS} + L_s
 = 66137 + 80
 = 66217 meter

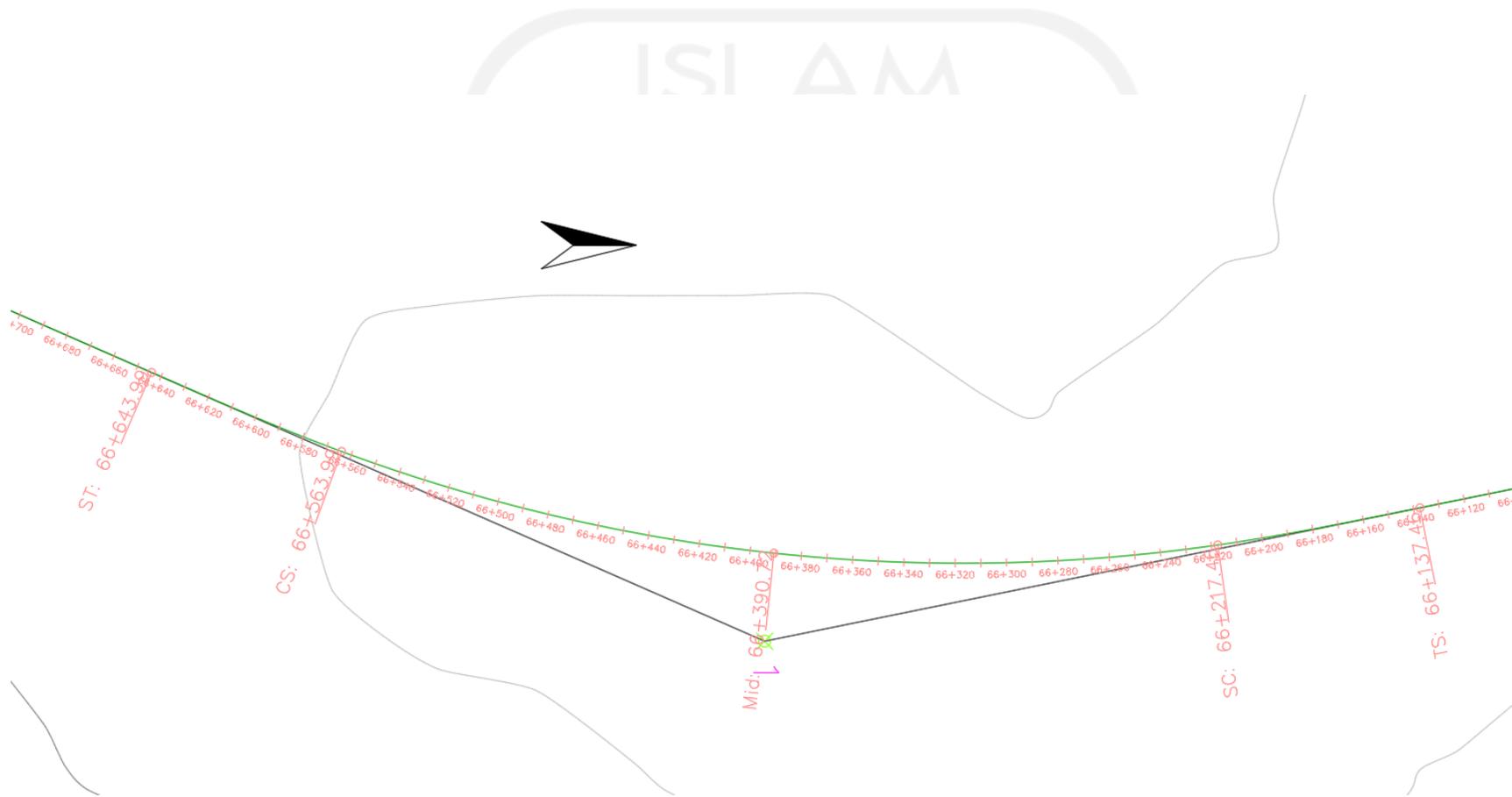
e. STA. CS = STA_{SC} + L_c
 = 66217 + 346,536
 = 66563 meter

f. STA. ST = STA_{CS} + L_s
 = 66563 + 80
 = 66643 meter

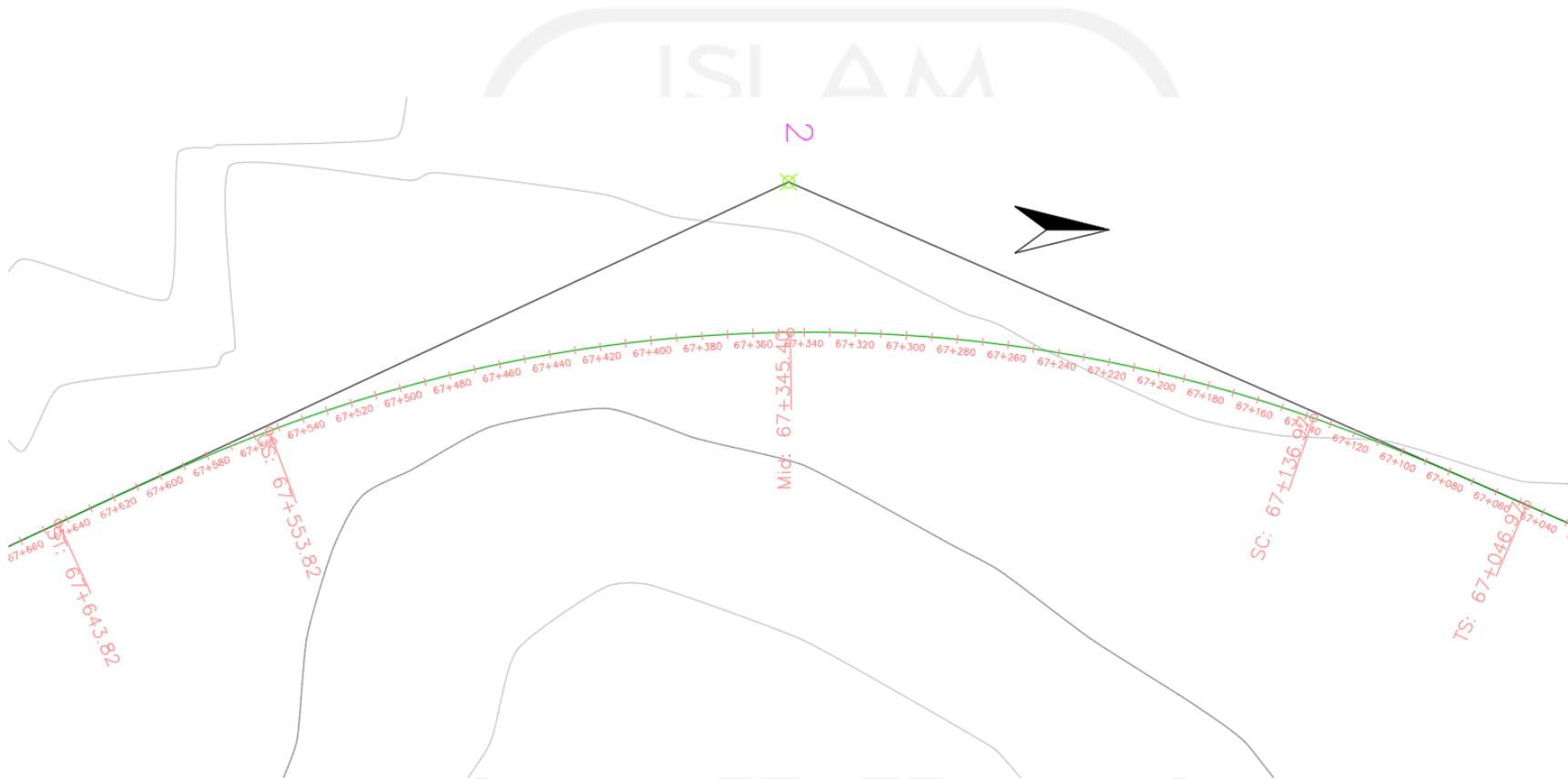
Hasil perhitungan koordinat dan stasiun pada tikungan 1 didapatkan hasil seperti di atas. Hasil rekapitulasi perhitungan koordinat dan stasiun pada titik penting lainnya dapat dilihat pada Tabel 5.8. Proyeksi pada tiap lengkung dapat dilihat pada Gambar 5.10 hingga 5.15 berikut.

Tabel 5.8 Rekapitulasi Koordinat dan Stasiun Titik Penting

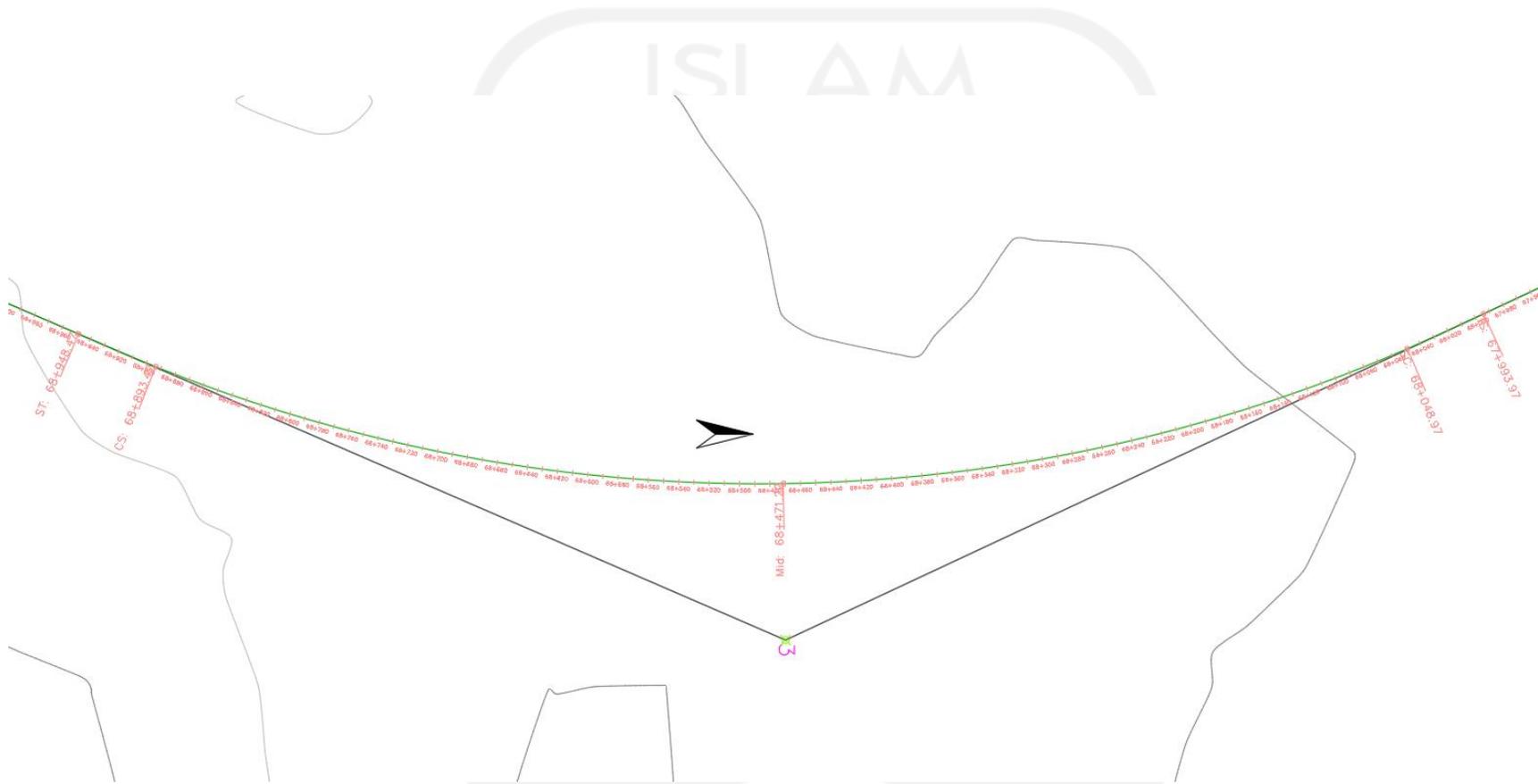
Tinjauan		Lengkung Horizontal						
		1	2	3	4	5	6	7
Koordinat TS	X	489000,50	488787,58	488942,02	488795,78	488714,83	488587,10	488739,64
	Y	9201788,12	9200924,83	9200032,78	9198738,45	9198453,88	9198031,38	9197177,39
Koordinat SC	X	489014,83	488758,76	488976,51	488738,12	488683,31	488588,82	488806,96
	Y	9201709,40	9200432,91	9199160,03	9198572,24	9198319,78	9197503,43	9196617,77
Koordinat CS	X	488978,73	488753,76	488964,76	488769,07	488704,18	488563,09	488768,37
	Y	9201368,29	9200841,40	9199982,70	9198673,74	9198399,92	9197955,05	9197113,55
Koordinat ST	X	488948,23	488794,61	488955,22	488724,19	488666,30	488621,35	488788,46
	Y	9201294,32	9200350,33	9199109,32	9198503,63	9198267,47	9197430,32	9196550,25
Sta. TS		66+137,43	67+046,87	67+993,82	69+352,00	69+648,82	70+090,68	70+990,29
Sta. SC		66+217,43	67+136,87	68+048,82	69+422,00	69+703,82	70+170,68	71+060,29
Sta. CS		66+563,97	67+553,72	68+893,31	69+528,19	69+786,66	70+631,06	71+565,95
Sta. ST		66+643,97	67+643,72	68+948,31	69+598,19	69+841,66	70+711,06	71+635,95



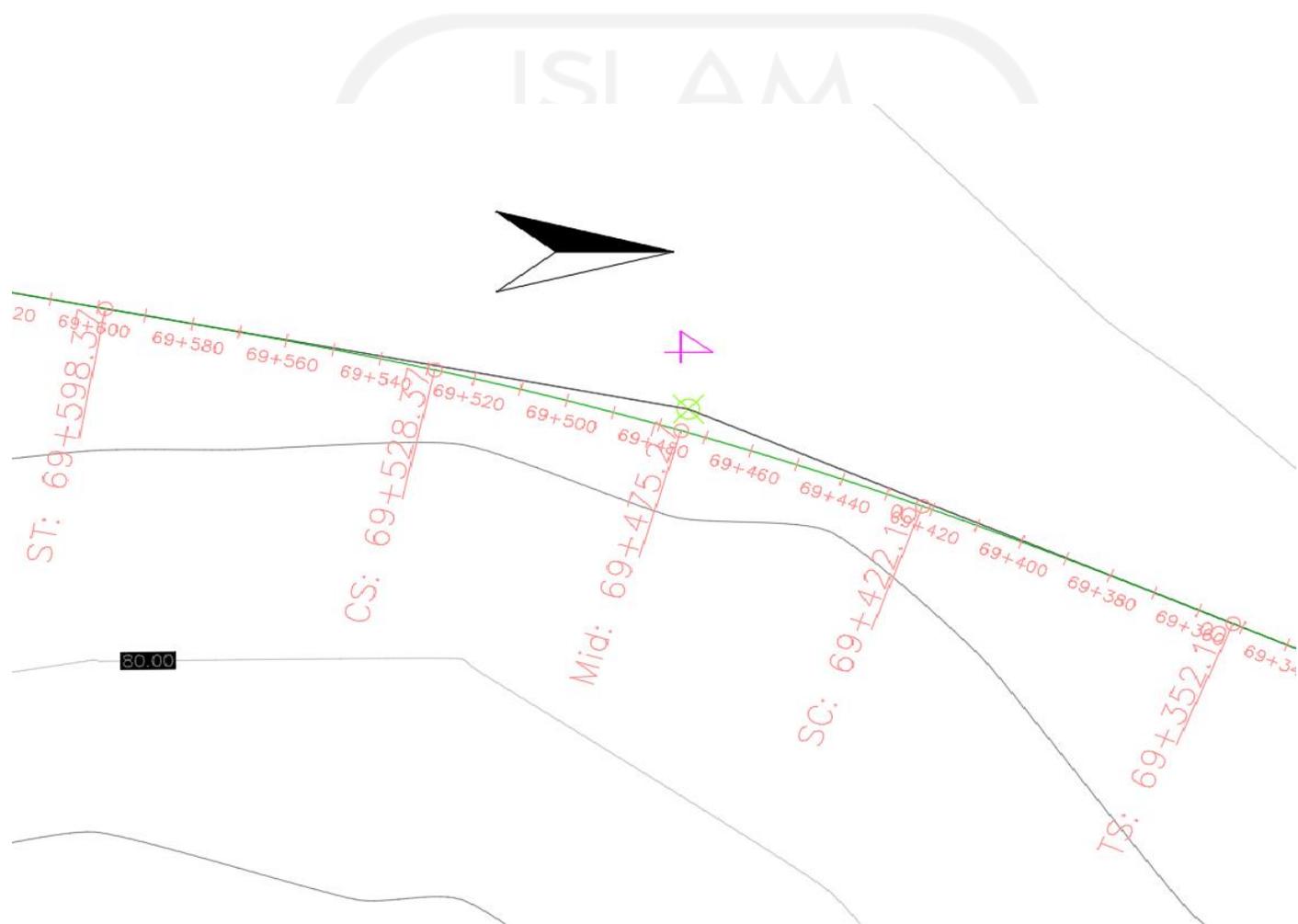
Gambar 5.10 Lengkung Geometri Horizontal 1



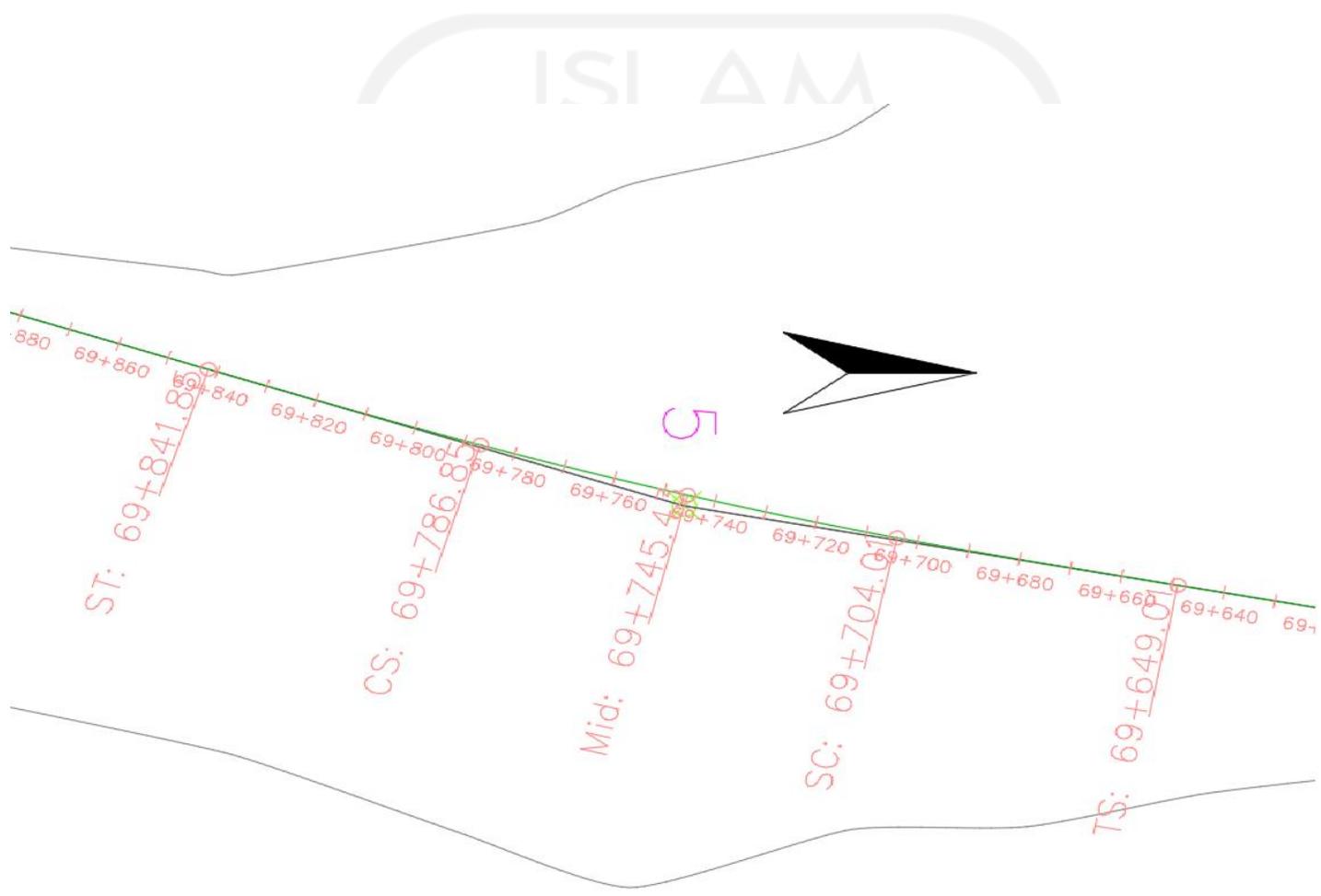
Gambar 5.11 Lengkung Geometri Horizontal 2



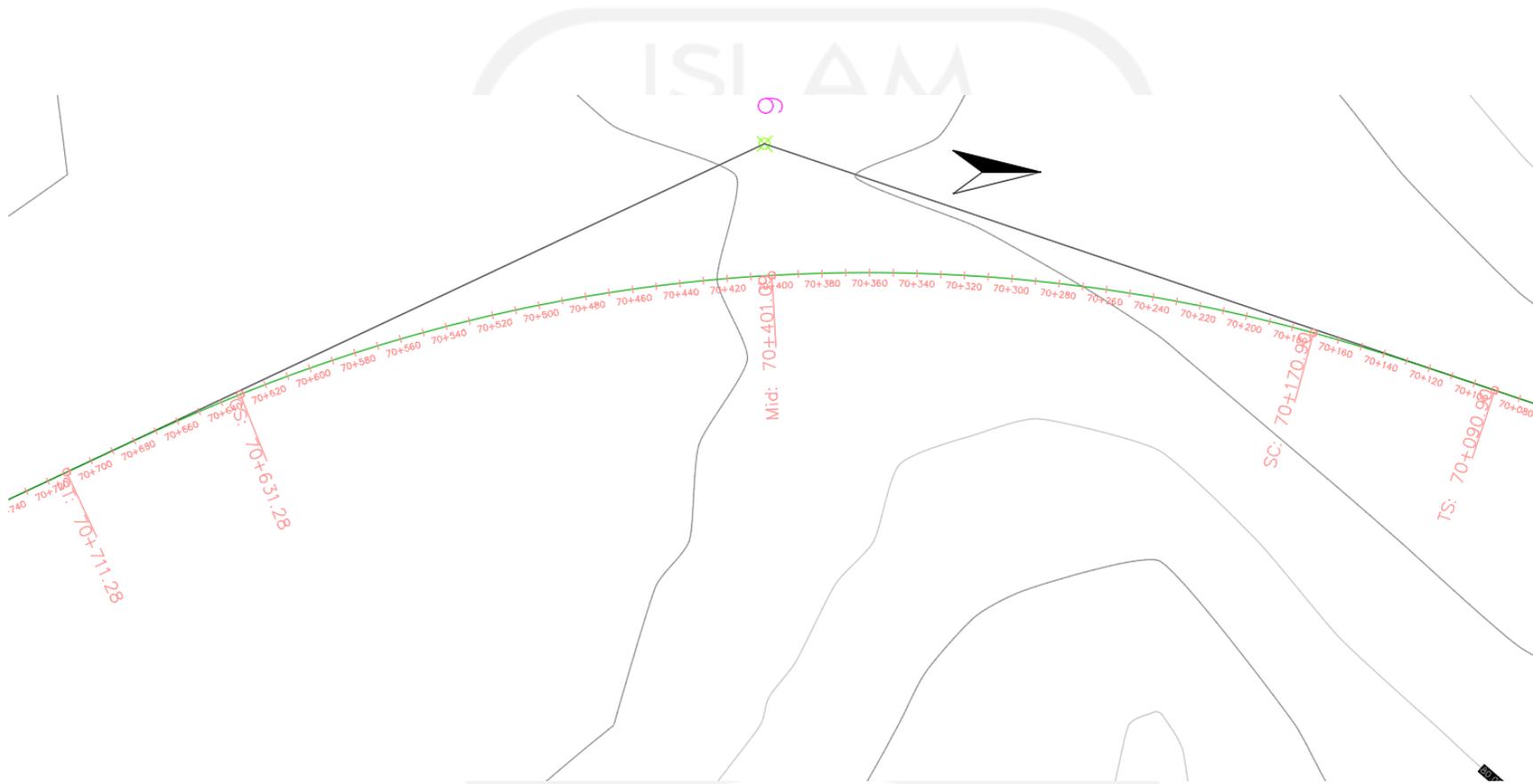
Gambar 5.12 Lengkung Geometri Horizontal 3



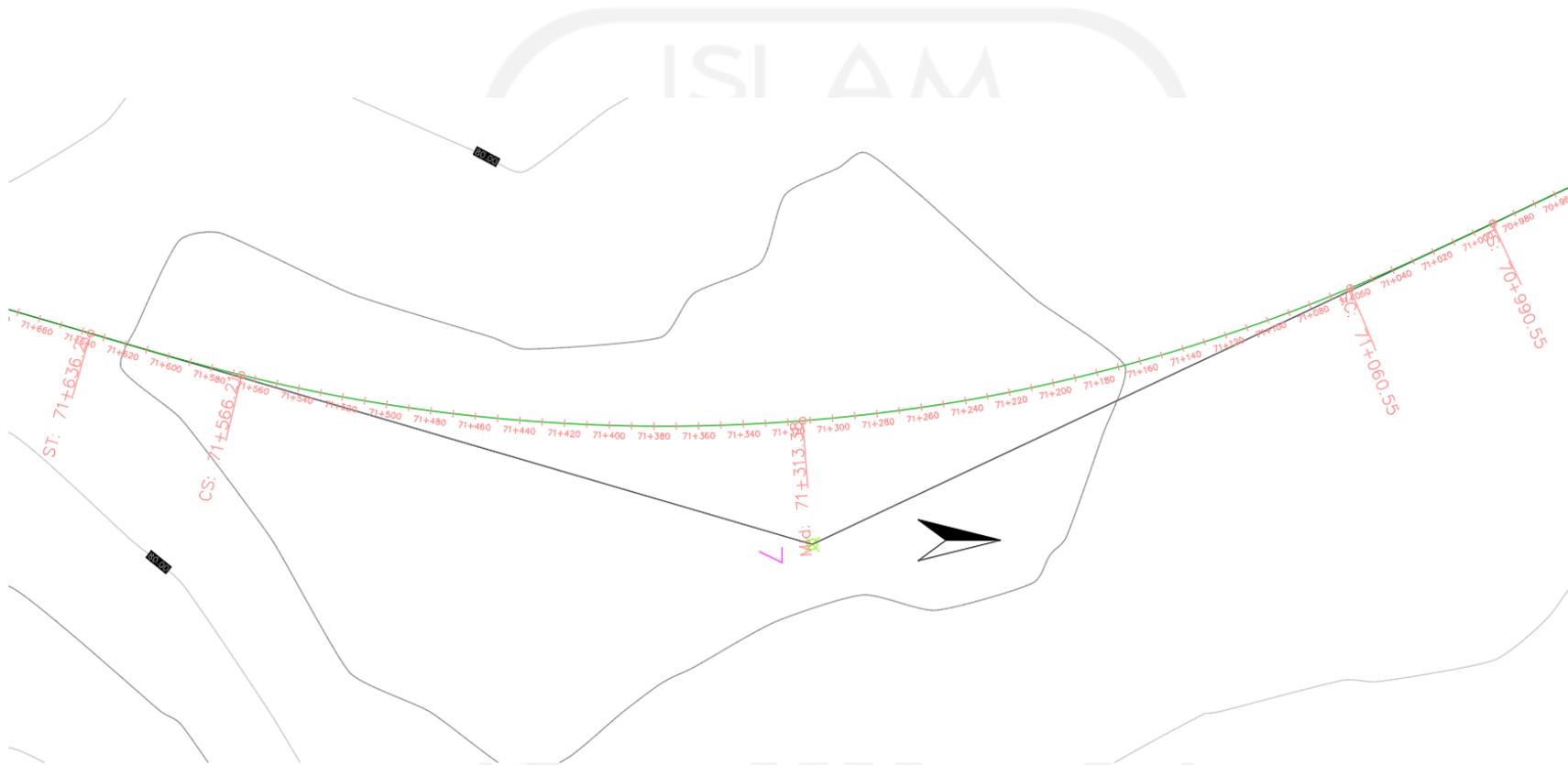
Gambar 5.13 Lengkung Geometri Horizontal 4



Gambar 5.14 Lengkung Geometri Horizontal 5



Gambar 5.15 Lengkung Geometri Horizontal 6



Gambar 5.16 Lengkung Geometri Horizontal 7

البعثة الإسلامية الأندلسية

5.2.3 Lengkung Vertikal

Dalam pengukuran tinggi rendah suatu jalan rel kereta api umumnya terdapat dataran maupun landai. Perubahan dari datar menuju datar atau landai menuju datar dan sebaliknya akan terjadi titik perpotongan yang membentuk sudut yang disebut juga alinyemen vertikal. Perancangan alinyemen vertikal mengacu pada Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 tahun 2012, pada studi ini menggunakan kecepatan rencana 100 km/jam mengacu pada peraturan jari-jari minimum lengkung vertikal disyaratkan adalah 6000 m. Alinyemen vertikal pada studi ini dirancang dengan menggunakan *software AutoCAD Civil 3D 2018* dengan memperhatikan elevasi tanah dasar serta dapat memenuhi kelandaian maksimum yaitu 20 ‰ sesuai jalan rel kelas III. Hasil perhitungan yang ada pada lengkung vertikal diambil contoh pada lengkung vertikal 1 (PPV 1) dan diuraikan pada perhitungan berikut.

1. Lengkung vertikal 1 (PPV 1)

$$\text{Sta. PPV1} = 66+150,00 \text{ km}$$

$$\text{Elevasi PPV1} = 57,524 \text{ meter}$$

$$\text{Landai 1 (g1)} = 0,00 \text{ ‰}$$

$$\text{Landai 2 (g2)} = 0,70 \text{ ‰}$$

$$V_{\text{rencana}} = 100 \text{ km/jam}$$

$$R = 6000 \text{ meter}$$

$$\begin{aligned} \Phi &= |g2 - g1| \\ &= |0,70 - 0,00| \\ &= 0,70 \text{ ‰} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{v1} &= \Phi \times R \\ &= 0,70 \times 6000 \\ &= 41,79 \text{ meter} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_{m1} &= \frac{L_{v1}}{2} \\ &= \frac{41,79}{2} \\ &= 20,89 \text{ meter} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_{m1} &= \frac{R}{8} \times \Phi^2 \\ &= \frac{6000}{8} \times 0,70^2 \end{aligned}$$

$$= 0,036 \text{ meter}$$

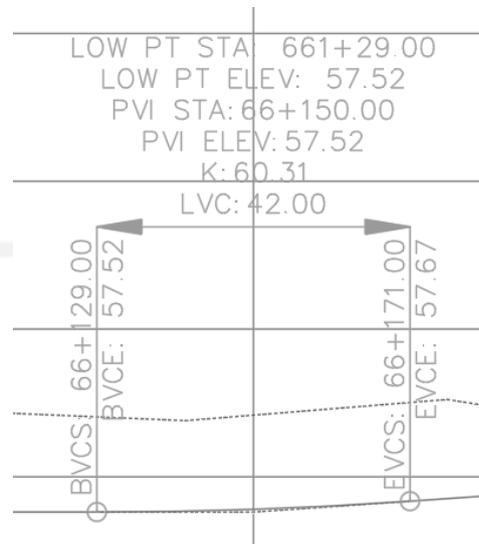
$$\begin{aligned} \text{Sta. PVC} &= \text{Sta. PPV1} - (0,5 \times Lv1) \\ &= 66+150,00 - (0,5 \times 41,79) \\ &= 66+129,11 \text{ km} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Elevasi PVC} &= \text{Elv. PPV1} - (0,5 \times Lv1 \times g1) \\ &= 57,524 - (0,5 \times 41,79 \times 0,00\text{‰}) \\ &= 57,524 \text{ meter} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sta. PVT} &= \text{Sta. PPV1} + (0,5 \times Lv1) \\ &= 66+150,00 + (0,5 \times 41,79) \\ &= 66+170,89 \text{ km} \end{aligned}$$

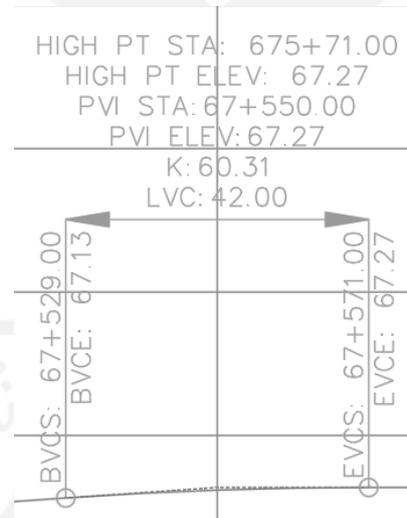
$$\begin{aligned} \text{Elevasi PVT} &= \text{Elv. PPV1} + (0,5 \times Lv1 \times g2) \\ &= 57,524 + (0,5 \times 41,79 \times 0,70\text{‰}) \\ &= 57,670 \text{ meter} \end{aligned}$$

Lengkung vertikal pada PPV 1 dimulai dari stasiun 66+129,11 KM dengan elevasi ketinggian 57,524 m dengan *Point of Vertical Increment* terletak pada stasiun 66+150,00 KM yang memiliki elevasi ketinggian 57,52 m, lengkung vertikal pada PPV 1 ini berakhir pada stasiun 66+170,89 KM pada elevasi ketinggian 57,670 m. Panjang lengkung vertikal PPV 1 ini sebesar 41,79 m dengan jari-jari lengkung vertikal sebesar 6031 m. Komponen-komponen hasil perhitungan pada lengkung vertikal 1 tersebut kemudian dimodelkan dalam bentuk gambar. Lengkung vertikal lainnya kemudian dihitung dengan menggunakan perhitungan yang sama seperti di atas dan hasil perhitungannya dapat dilihat pada Gambar 5.17 hingga Gambar 5.22 berikut.



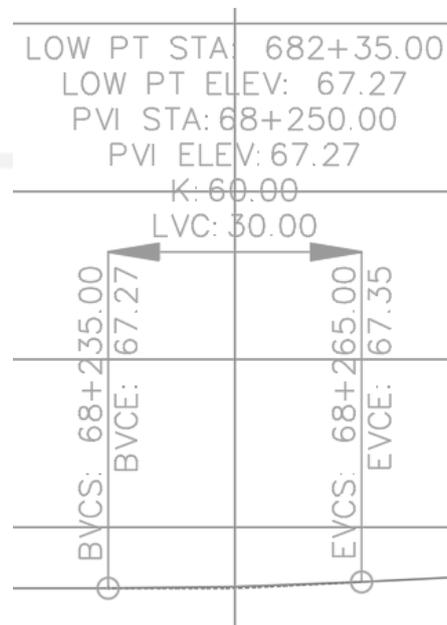
Gambar 5.17 Lengkung Vertikal (PPV 1)

Gambar 5.16 berikut merupakan proyeksi alinyemen vertikal pada lengkung vertikal 2 (PPV 2) dengan jari-jari lengkung vertikal sebesar 6031 m.



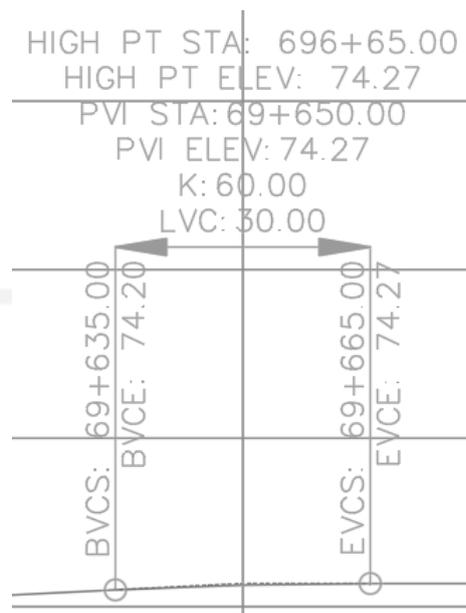
Gambar 5.18 Lengkung Vertikal (PPV 2)

Gambar 5.17 berikut merupakan proyeksi alinyemen vertikal pada lengkung vertikal 3 (PPV 3) dengan jari-jari lengkung vertikal sebesar 6000 m.



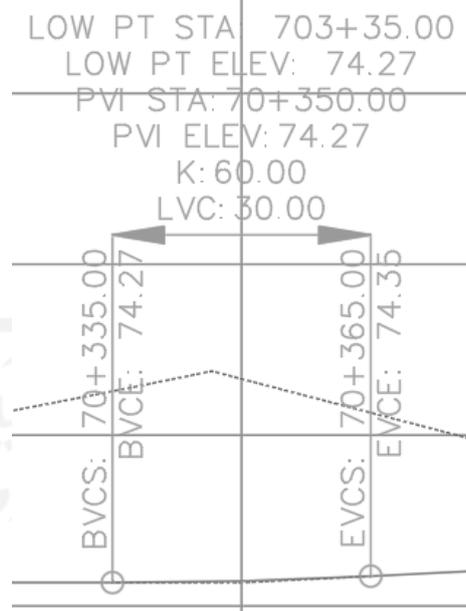
Gambar 5.19 Lengkung Vertikal (PPV 3)

Gambar 5.18 berikut merupakan proyeksi alinyemen vertikal pada lengkung vertikal 4 (PPV 4) dengan jari-jari lengkung vertikal sebesar 6000 m.



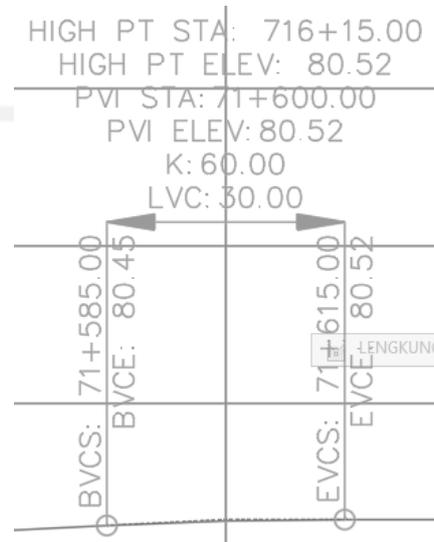
Gambar 5.21 Lengkung Vertikal (PPV 4)

Gambar 5.19 berikut merupakan proyeksi alinyemen vertikal pada lengkung vertikal 5 (PPV 5) dengan jari-jari lengkung vertikal sebesar 6000 m.



Gambar 5.20 Lengkung Vertikal (PPV 5)

Gambar 5.20 berikut merupakan proyeksi alinyemen vertikal pada lengkung vertikal 6 (PPV 6) dengan jari-jari lengkung vertikal sebesar 6000 m.



Gambar 5.22 Lengkung Vertikal (PPV 6)

Hasil rekapitulasi perhitungan pada tiap-tiap lengkung vertikal pada trayek Gundih – Goprak dapat dilihat pada Tabel 5.9 dan Tabel 5.10 berikut.

Tabel 5.9 Rekapitulasi Perhitungan Lengkung Vertikal

Nama	G1 (‰)	G2 (‰)	Φ (‰)	R (meter)	Lv (meter)	Xm (meter)	Ym (meter)
PPV 1	0,00	0,70	0,70	6031	42,00	21,00	0,037
PPV 2	0,70	0,00	0,70	6031	42,00	21,00	0,037
PPV 3	0,00	0,50	0,50	6000	30,00	15,00	0,019
PPV 4	0,50	0,00	0,50	6000	30,00	15,00	0,019
PPV 5	0,00	0,50	0,50	6000	30,00	15,00	0,019
PPV 6	0,50	0,00	0,50	6000	30,00	15,00	0,019

Tabel 5.10 Rekapitulasi Stationing dan Elevasi Pada tiap Lengkung Vertikal

Nama	Station (meter)			Elevation (meter)		
	PVC	PVI	PVT	PVC	PVI	PVT
PPV 1	66+129,11	66+150,00	66+170,89	57,524	57,524	57,670
PPV 2	67+529,11	67+550,00	67+570,89	67,128	67,274	67,274
PPV 3	68+235,00	68+250,00	68+265,00	67,274	67,274	67,349
PPV 4	69+635,00	69+650,00	69+665,00	74,199	74,274	74,274
PPV 5	70+335,00	70+350,00	70+365,00	74,274	74,274	74,349
PPV 6	71+585,00	71+600,00	71+615,00	80,449	80,524	80,524

5.2.4 Pelebaran Jalan Rel

Pelebaran jalur rel 1067 mm ditentukan sesuai dengan Tabel 3.8 berdasarkan besarnya jari-jari. Rekapitulasi besar pelebaran pada tiap lengkung horizontal dapat dilihat pada Tabel 5.11 berikut ini.

Tabel 5.11 Rekapitulasi Besar Pelebaran Lengkung Horizontal

Lengkung horizontal	Radius (meter)	Pelebaran (mm)
1	700	0
2	600	0
3	1070	0
4	800	0
5	1000	0
6	710	0
7	800	0

Pelebaran dilakukan pada sisi dalam tikungan. Sehingga pada jalan lurus lebar jalan antara kedua flens tetap 1067 mm, sedangkan pada lengkung horizontal memiliki lebar lebih dari 1067 mm.

5.2.5 Koordinasi Alinyemen Horizontal dan Vertikal Jalan Rel

Kontrol desain pada koordinasi jalan dilakukan pada tiap alinemen horizontal. Gambar untuk koordinasi jalan dapat dilihat pada Lampiran 5. Rekapitulasi dari koordinasi jalan dapat dilihat pada Tabel 5.12 berikut.

Tabel 5.12 Rekapitulasi Koordinasi Jalan

Lengkung horizontal	Tipe lengkung horizontal	Tipe lengkung vertikal
1	Cekung	Tanjakan
2	Cembung	Tanjakan, datar
3	Cekung	Datar, tanjakan
4	Cembung	Tanjakan
5	Cekung	Datar
6	Cembung	Datar, tanjakan
7	Cekung	Tanjakan, datar

5.3 Komponen Struktur Jalur Rel Ganda

Sebagai upaya untuk mencapai kriteria jalur kereta api yang baik, aman, dan nyaman maka persyaratan konstruksi harus sedemikian rupa dirancang dan dipenuhi sesuai dengan ketentuan yang berlaku saat ini yaitu Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 tahun 2012. Komponen konstruksi jalur kereta api yang akan dirancang yaitu rel, penambat, bantalan, balas, dan sub balas.

5.3.1 Rel

Diketahui rute Gundih – Goprak menurut Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 tahun 2012 adalah jalan rel kelas III berdasarkan spesifikasi jalan rel kelas III yang memiliki lebar sepur 1067 mm maka digunakan rel yang bertipe R.54. Berikut dimensi rel dengan tipe R.54 yang telah disebutkan pada Tabel 3.14 serta gambarannya pada Gambar 3.10.

H = 159 mm

B = 140 mm

C = 70 mm

D = 16 mm

E = 49,40 mm

F = 30,20 mm

G = 74,79 mm

R = 508 mm

Berikut ini merupakan spesifikasi data dari rel tipe R.54.

Luas penampang (A)	= 69,34 cm ²
Berat rel (W)	= 54,43 kg/m
Momen Inersia terhadap sumbu X (Ix)	= 2346 cm ⁴
Jarak tepi bawah rel ke garis netral (Yb)	= 7,620 cm
Tahanan momen dasar (Wb)	= 307,874 cm ³
Modulus elastisitas tubuh jalan rel (k)	= 180 kg/cm ³
Modulus elastisitas rel (E)	= 2,1 x 10 ⁶ kg/cm ²

Dengan menggunakan Persamaan 3.24 hingga Persamaan 3.29 dan digunakan kecepatan rencana untuk struktur jalan rel sebesar 125 km/jam maka dapat ditentukan elemen rel tipe R.54. Berikut merupakan perhitungan elemen rel R.54.

1. Beban statis roda (Ps)

$$Ps = 0,5 \times \text{beban gandar kereta}$$

$$Ps = 0,5 \times 18 \text{ ton}$$

$$Ps = 9 \text{ ton atau } 9000 \text{ kg}$$

2. Beban dinamis roda (Pd)

$$Pd = Ps \times Id$$

$$Pd = Ps \times \left(1 + 0,01 \times \left(\frac{Vr}{1,609} - 5\right)\right)$$

$$Pd = 9000 \times \left(1 + 0,01 \times \left(\frac{125}{1,609} - 5\right)\right)$$

$$Pd = 15541,920 \text{ kg}$$

3. *Dumping factor* (λ)

$$\lambda = \frac{4}{\sqrt{\frac{k}{4 \times E \times Ix}}}$$

$$\lambda = \frac{4}{\sqrt{\frac{180}{4 \times (2,1 \times 10^6) \times 2346}}}$$

$$\lambda = 0,009776 \text{ cm}^{-1}$$

4. Momen maksimum jalan rel

$$M_{\max} = \frac{Pd}{4 \times \lambda}$$

$$M_{\max} = \frac{15541,920}{4 \times 0,009776}$$

$$M_{\max} = 397450,900 \text{ kgcm}$$

5. Tegangan ijin kelas jalan rel

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{M1 \times y}{Ix} \\ \sigma &= \frac{(0,85 \times 397450,911) \times 7,62}{2346} \\ \sigma &= 1097,310 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 1097,310 \text{ kg/cm}^2 < \sigma \text{ ijin} = 1663 \text{ kg/cm}^2 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

6. Tegangan yang terjadi di dasar rel

$$\begin{aligned}S \text{ base} &= \frac{M1}{Wb} \\ S \text{ base} &= \frac{337833,274}{307,874} \\ S \text{ base} &= 1097,310 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 1097,310 \text{ kg/cm}^2 < 1097,7 \text{ kg/cm}^2 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan tegangan ijin kelas jalan rel dan tegangan yang terjadi di dasar rel didapatkan bahwa hasil perhitungan telah memenuhi syarat yang ada, maka jalan rel tipe R.54 dapat digunakan pada trase ini.

7. Penentuan panjang ℓ

$$\begin{aligned}\ell &= \frac{E \times A \times \alpha \times \Delta T}{r} \\ \ell &= \frac{2,1 \times 10^{10} \times 0,006934 \times 1,2 \times 10^{-5} \times (50-28)}{450} \\ \ell &= 85,427 \text{ meter}\end{aligned}$$

8. Panjang minimum rel

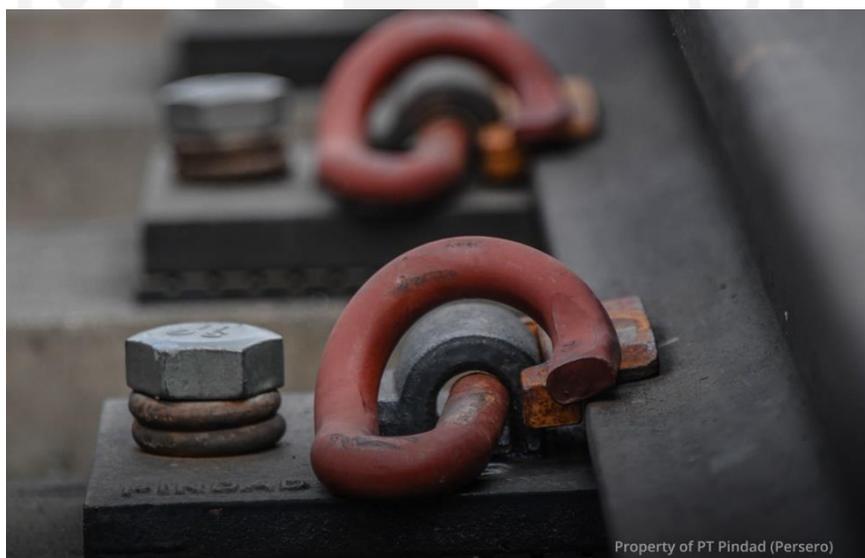
$$\begin{aligned}L &= 2 \times \ell \\ L &= 2 \times 85,427 \\ L &= 170,854 \text{ meter (dibulatkan per 25m menjadi 200 meter)}\end{aligned}$$

9. Celah sambungan rel

$$\begin{aligned}G &= \frac{E \times A \times \alpha \times (50-t)^2}{2 \times r} + 2 \\ G &= \frac{2,1 \times 10^4 \times 6934 \times 1,2 \times 10^{-5} \times (50-28)^2}{2 \times 450} + 2 \\ G &= 11,397 \text{ mm} \sim 12 \text{ mm}\end{aligned}$$

5.3.2 Penambat Rel

Penambat rel berfungsi sebagai penjaga ukuran jarak antar lebar sepur serta digunakan untuk menahan beban dan getaran pada jalan rel. Penggunaan penambat rel berdasarkan kelas jalan rel, dimana kelas jalan rel pada jalur ini tergolong kelas jalan III. Pemilihan jenis penambat juga tergantung dari jenis bantalan rel yang digunakan. Pada penelitian ini jalan rel yang direncanakan menggunakan bantalan bermaterial beton. Sesuai dengan Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 tahun 2012 digunakan penambat elastis ganda, tipe pandrol dengan alas karet karena sangat sesuai dengan tipe rel R.54. Penambat elastis ganda yang digunakan pada perancangan ini adalah penambat jenis pandrol *e-clip* yang diproduksi oleh PT. Pindad yang ditambah dengan *rubber pad*, seperti dapat dilihat pada Gambar 5.23 berikut.



Gambar 5.23 Penambat KA Pandrol *E-Clip* PT. Pindad

Sumber: PT. Pindad

Penambat kereta api produk PT. Pindad ini memiliki gaya jepit sebesar 750 – 1300 kgf dan telah terdaftar dan tersertifikasi dalam SNI 11-3677-1995. Penambat ini telah memenuhi yang disyaratkan pada Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 tahun 2012 dimana beberapa syaratnya penambat harus mempunyai gaya jepit sebesar 900-1100 kgf dan memiliki merek dagang yang terdaftar.

Gaya rangkak (F) yang terjadi pada rel dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.43 berikut.

$$F = 2,1 \times 10^{10} \times 0,006934 \times 1,2 \times 10^{-5} \times (50-28) \\ = 38442,096 \text{ kg,}$$

$$\text{Panjang rel} = 200 \text{ meter,}$$

$$\text{Jarak bantalan} = 60 \text{ cm} = 0,6 \text{ meter, dan}$$

$$\Sigma \text{ penambat} = \frac{200}{0,6} = 334 \text{ buah (pada tiap panjang rel).}$$

Gaya rangkak yang terjadi pada sebuah penambat dapat dihitung berikut.

$$F = \frac{F}{\Sigma \text{ penambat}}$$

$$F = \frac{38442,096}{333}$$

$$F = 115,326 \text{ kg} < 750 \text{ kg (OK)}$$

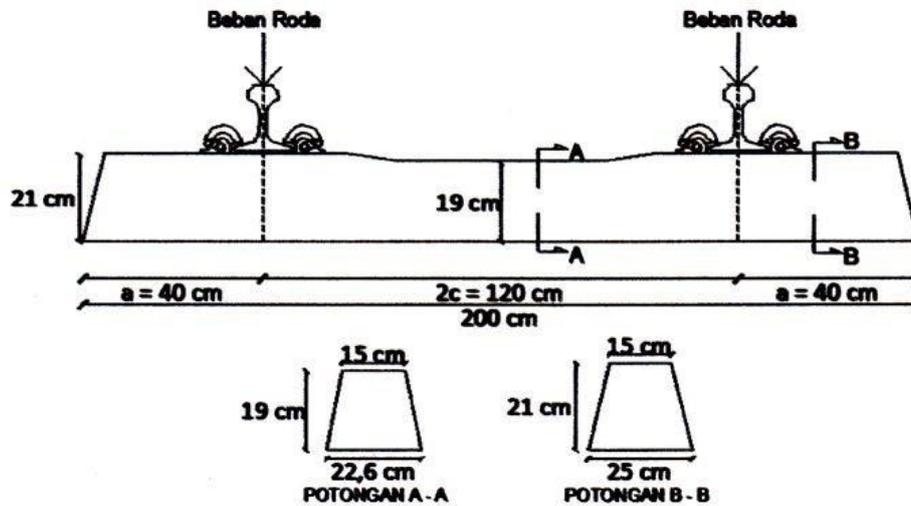
5.3.3 Bantalan

Bantalan berfungsi untuk meneruskan beban kereta api dan berat konstruksi jalan rel ke balas, mempertahankan lebar jalan rel dan menghindari kontak langsung dengan muka air oleh rel. Bantalan dapat terbuat dari kayu, baja/besi, ataupun beton. Spesifikasi masing-masing jenis bantalan sudah ditentukan pada PM No. 60 tahun 2012 untuk lebar jalan rel 1067 mm. Pada perancangan ini bantalan yang digunakan berjenis bantalan beton, bantalan yang diusulkan merupakan produk dari PT. WIKA Beton jenis N-67. Bantalan tersebut didesain untuk lebar rel 1067 mm, beban gandar 18 ton, dan kecepatan rencana hingga 120 km/jam, dan untuk dimensi bantalan beton hingga spesifikasinya dapat dilihat pada Tabel 5.13 dan Tabel 5.14 berikut.

Tabel 5.13 Dimensi Bantalan Beton Tipe N-67 PT. WIKA Beton

Tipe	Panjang bantalan (mm)	Tinggi (mm)		Lebar pada dudukan rel (mm)		Lebar di tengah (mm)	
		Dudukan rel	Tengah	Atas	Bawah	Atas	Bawah
N-67	2000	210	190	150	250	150	226

Sumber: PT. WIKA Beton



Gambar 5.24 Bantal Beton Tipe N-67 PT. WIKA Beton

Sumber: PT. WIKA Beton

Tabel 5.14 Spesifikasi Bantal Beton Tipe N-67 PT. WIKA Beton

Tipe	Lebar jalan rel (mm)	Beban gandar (ton)	Kecepatan kereta (km/jam)	Berat bantal (kg)	Mutu Beton
N-67	1067	18	120	190	K-600

Sumber: PT. WIKA Beton

Tegangan ijin bantal beton yang diproduksi oleh PT. WIKA Beton bertipe N-67 ini telah disertakan pada brosur yang bisa diakses melalui internet dan dapat dilihat pada Tabel 5.15 berikut ini.

Tabel 5.15 Tegangan Ijin Bantal Beton Tipe N-67 PT. WIKA Beton

Desain Bending Momen (kgm)			
Momen pada dudukan rel		Momen di tengah	
Positif (M+)	Negatif (M-)	Positif (M+)	Negatif (M-)
1500	750	660	930

Sumber: PT. WIKA Beton

Sesuai data yang tertera pada bantal beton tipe N-67 di atas maka, bantal beton ini bisa dikatakan telah memenuhi syarat teknis dari Peraturan Menteri

Perhubungan No. 60 tahun 2012 baik dari dimensi maupun syarat momennya. Maka dari itu penggunaan bantalan beton tipe N-67 oleh PT. WIKA Beton ini dapat diusulkan dalam penggunaan bantalan jalan rel pada jalur ini. Menurut PM Perhubungan No. 60 tahun 2012 jarak antar bantalan beton ini memiliki jarak sebesar 60 cm, pemasangan tersebut dihitung antar as bantalan. Perhitungan analisis pembebanan pada bantalan terhadap kereta api secara aktual dilakukan seperti berikut.

1. Data perhitungan pembebanan bantalan

$$Pd = 15541,920 \text{ kg,}$$

$$\text{Jarak bantalan}(S) = 60 \text{ cm,}$$

$$\lambda \text{ rel} = 0,009776 \text{ cm}^{-1}, \text{ dan}$$

$$f'_{cu} = 600 \text{ kg/cm}^2.$$

2. Beban terdistribusi rel

$$X_1 = \frac{\pi}{4 \times \lambda}$$

$$X_1 = \frac{\pi}{4 \times 0,009776}$$

$$X_1 = 80,339 \text{ cm}$$

$$Q_1 = 0,786 \times \frac{Pd \times S}{X_1}$$

$$Q_1 = 0,786 \times \frac{15541,920 \times 60}{80,339}$$

$$Q_1 = 9123,302 \text{ kg}$$

$$\% Pd = \frac{Q_1}{Pd} \times 100$$

$$\% Pd = \frac{9123,302}{15541,920} \times 100$$

$$\% Pd = 58,701\% \sim 59\%$$

3. Dimensi karakteristik penampang

Perhitungan analisis terbagi kedalam 2 letak, pada dudukan rel dan tengah bantalan. Kedua letak tinjauan memiliki perbedaan dimensi penampang sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.24, karakteristik penampang yang dihitung meliputi inersia arah x (I_x), garis netral sisi atas (Y_a), dan garis netral sisi bawah (Y_b). Rekapitulasi perhitungan karakteristik penampang pada

dudukan rel dan juga tengah bantalan dapat dilihat pada Tabel 5.16 dan Tabel 5.17 berikut.

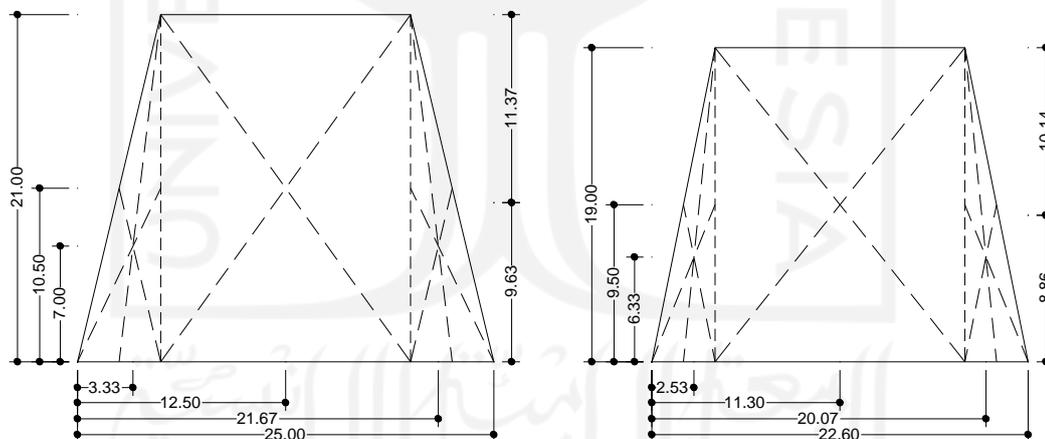
Tabel 5.16 Perhitungan Karakteristik Penampang Titik Dudukan Rel

A (cm ²)	b (cm)	h (cm)	x (cm)	y (cm)	M _{sx} (cm ⁴)	M _{sy} (cm ⁴)	I _x (cm ⁴)	Y _b (cm)	Y _a (cm)
52,5	5	21	3,33	7	174,83	367,50	1286,25	9,63	11,37
315	15	21	12,50	10,50	3937,50	3307,50	11576,25		
52,5	5	21	21,67	7	1137,68	367,50	1286,25		

Tabel 5.17 Perhitungan Karakteristik Penampang Titik Tengah Bantalan

A (cm ²)	b (cm)	h (cm)	x (cm)	y (cm)	M _{sx} (cm ⁴)	M _{sy} (cm ⁴)	I _x (cm ⁴)	Y _b (cm)	Y _a (cm)
36,10	3,80	19	2,53	6,33	91,33	228,51	724,01	8,86	10,14
285	15	19	11,30	9,50	3220,50	2707,50	8573,75		
36,10	3,80	19	20,07	6,33	724,53	228,51	724,01		

Gambar 5.25 berikut merupakan karakteristik penampang pada dudukan rel dan juga karakteristik penampang pada tengah bantalan.



Gambar 5.25 Karakteristik Penampang pada Dudukan Rel dan Tengah Bantalan

4. Modulus elastis bantalan beton

$$E = 6400\sqrt{f_{cu}}$$

$$E = 6400\sqrt{600}$$

$$E = 1.56767 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

5. *Dumping factor* (λ)

$$\text{Dudukan rel } (\lambda_1) = \sqrt[4]{\frac{180}{(4 \times 1,56 \times 10^5 \times 14148,75)}}$$

$$\lambda_1 = 0,011935 \text{ cm}^{-1}$$

$$\text{Tengah } (\lambda_2) = \sqrt[4]{\frac{180}{(4 \times 1,56 \times 10^5 \times 10021,77)}}$$

$$\lambda_2 = 0,013009 \text{ cm}^{-1}$$

6. Fungsi trigonometrik dan hiperbolik

Data perhitungan fungsi trigonometrik dan hiperbolik pada Gambar 5.22 sebagai berikut.

$$L = 200 \text{ cm}$$

$$a = 40 \text{ cm}$$

$$c = 60 \text{ cm}$$

Rekapitulasi perhitungan fungsi trigonometrik dan hiperbolik pada titik dudukan rel dapat dilihat pada Tabel 5.18 dan untuk titik tengah bantalan pada Tabel 5.19 sebagai berikut.

Tabel 5.18 Fungsi Trigonometrik dan Hiperbolikus Titik Dudukan Rel

Fungsi	Nilai	Fungsi	Nilai
$\sin\lambda L$	0,685	$\cos 2\lambda c$	0,138
$\sinh\lambda L$	5,394	$\cos\lambda L$	-0,729
$\cosh\lambda a$	1,116	$\sinh\lambda c$	0,779
$\cosh 2\lambda c$	2,213	$\sin\lambda c$	0,656
$\cosh\lambda L$	5,486	$\sin\lambda(L-c)$	0,995
$\cos\lambda a$	0,888	$\sinh\lambda(L-c)$	2,564
$\sinh\lambda 2a$	1,107	$\cosh\lambda c$	1,268
$\sin\lambda 2c$	0,990	$\cos\lambda(L-c)$	-0,100
$\sinh\lambda 2c$	1,975	$\cos\lambda c$	0,754
$\sin 2\lambda a$	0,816	$\cosh\lambda(L-c)$	2,753

Tabel 5.19 Fungsi Trigonometrik dan Hiperbolikus Titik Tengah Bantalan

Fungsi	Nilai	Fungsi	Nilai
$\sin\lambda L$	0,514	$\cos 2\lambda c$	0,010
$\sinh\lambda L$	6,707	$\cos\lambda L$	-0,858
$\cosh\lambda a$	1,138	$\sinh\lambda c$	0,862
$\cosh 2\lambda c$	2,487	$\sin\lambda c$	0,704

Lanjutan Tabel 5.18 Fungsi Trigonometrik dan Hiperbolikus Titik Tengah Bantalan

Fungsi	Nilai	Fungsi	Nilai
$\cosh\lambda L$	6,781	$\sin\lambda(L-c)$	0,969
$\cos\lambda a$	0,868	$\sinh\lambda(L-c)$	3,009
$\sinh\lambda 2a$	1,239	$\cosh\lambda c$	1,320
$\sin\lambda 2c$	1,000	$\cos\lambda(L-c)$	-0,248
$\sinh\lambda 2c$	2,277	$\cos\lambda c$	0,711
$\sin 2\lambda a$	0,863	$\cosh\lambda(L-c)$	3,171

7. Momen di dudukan rel

$$M_{C/D} = \frac{Q}{4\lambda 1} \times \frac{1}{\sin\lambda L + \sinh\lambda L} [2 \cosh^2\lambda a (\cos 2\lambda c + \cosh \lambda L) - 2 \cos^2 \lambda a (\cosh 2\lambda c + \cos\lambda L) - \sinh 2\lambda a (\sin 2\lambda c + \sinh \lambda L) - \sin 2\lambda a (\sinh 2\lambda c + \sin \lambda L)]$$

$$M_{C/D} = 76417,762 \text{ kgcm}$$

$$M_{C/D} = 764,178 \text{ kgm} < M_{ijin} = 1500 \text{ kgm (OK)}$$

8. Momen di tengah bantalan

$$M_O = \frac{-Q}{2\lambda 2} \times \frac{1}{\sin\lambda L + \sinh\lambda L} [\sinh \lambda c (\sin \lambda c + \sin \lambda(L-c)) + \sin \lambda c (\sinh \lambda c + \sinh \lambda(L-c)) + \cosh \lambda c \cos \lambda (L-c) - \cos \lambda c \cosh \lambda (L-c)]$$

$$M_O = -76985,894 \text{ kgcm}$$

$$M_O = -769,859 \text{ kgm} < M_{ijin} = -930 \text{ kgm (OK)}$$

5.3.4 Balas dan Sub Balas

Balas memiliki fungsi sebagai pengokoh kedudukan bantalan, serta meneruskan beban bantalan dan menyebarkannya ke lapisan tanah dasar serta mencegah adanya genangan air pada bantalan rel. Guna menghemat biaya pada pembuatan jalan rel, lapisan balas biasanya dibagi dua bagian yaitu balas atas dan lapisan balas bawah (sub balas). Lapisan balas atas memiliki kualitas material yang lebih baik daripada material yang digunakan pada lapisan balas bawah.

1. Lapisan balas atas

Material penyusun lapisan balas atas berupa batu pecah kualitas baik yaitu batu pecah keras, tahan lama serta bersudut tajam. Spesifikasi material pembentuk

balas telah diatur pada Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 Tahun 2012 serta tertulis pada Peraturan Bahan Jalan Rel Indonesia (PBJRI) sebagai berikut.

- a. Balas terdiri dari batu pecah berdiameter 25 – 60 mm dan bersudut banyak.
- b. Material memiliki ketahanan gesek tinggi dan kapasitas ketahanan yang baik.
- c. Kuat tekan rata rata maksimum 1000 kg/cm².
- d. Berat jenis minimum 2,6.
- e. Porositas tidak lebih dari 3%.
- f. Kandungan lumpur, tanah dan organik tidak lebih dari 0,5%
- g. Kandungan minyak tidak lebih dari 0,2%.
- h. Keausan balas setelah di tes metode *Los Angeles* maksimum 25%.
- i. Selain itu kemiringan lapis balas tidak boleh lebih curam dari 1:2.
- j. Berat padat minimal 1400 kg/m

Material yang merugikan atau tidak memenuhi persyaratan tidak boleh melebihi presentase tertentu, berikut jumlahnya.

- a. Material lunak dan mudah pecah tidak boleh lebih dari 3%.
- b. Gumpalan lempung tidak lebih dari 0,5%.
- c. Material yang lolos ayakan no.200 kurang dari 1%.
- d. Partikel lonjong atau pipih kurang dari 5%.
- e. Keausan pada uji *Los Angeles* kurang dari 40%.

Gradasi agregat penyusun lapisan balas atas dapat dilihat pada Tabel 5.20 di bawah ini.

Tabel 5.20 Gradasi Agregat Lapisan Balas Atas

Ukuran nominal	Lolos saringan (%)								
	3"	2,5"	2"	1,5"	¼ "	½ "	3/8"	No.4	No.8
2,5"-3/4"	100	90-100	25-60	25-60	-	0-10	-	-	-
2"-1"	-	100	95-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-
1,5"-3/4"	-	-	100	90-100	20-15	0-15	-	0-5	-

Sumber: PD 10 PT. KAI

Persyaratan gradasi di atas bertujuan untuk mencapai kekenyalan yang sesuai dan daya kunci antar agregat yang mampu menahan beban dengan baik.

Guna menentukan jarak tepi atas lapisan balas ke sumbu jalan rel dapat menggunakan rumus seperti di bawah ini.

$$B > \frac{1}{2} L + X$$

dengan:

- L = panjang bantalan,
 X (1067 mm) = 50 cm untuk kelas I dan II,
 = 40 cm untuk kelas III dan IV, dan
 = 35 cm untuk kelas V.

Pada perancangan koridor Gundih – Goprah ini digunakan kelas III, sehingga perhitungannya sebagai berikut.

$$B > \frac{1}{2} \times 200 \text{ cm} + 40 \text{ cm}$$

$$B > 140 \text{ cm}$$

Dari hasil perhitungan di atas didapat jarak sumbu jalan rel ke tepi atas lapisan balas adalah 140 cm.

2. Lapisan sub balas

Lapisan balas bawah atau biasa disebut sub balas memiliki kualitas material di bawah lapisan balas bagian atas. Material penyusun sub balas yaitu campuran kerikil atau agregat pecah dan pasir. Persyaratan material penyusun lapisan sub balas tertera pada Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 tahun 2012.

- a. Material penyusun lapis sub balas dapat berupa campuran kerikil, pasir atau kumpulan agregat pecah.
- b. Material sub balas tidak boleh mengandung material organik lebih dari 5%.
- c. Sub balas yang terbentuk dari kumpulan pasir dan agregat pecah setidaknya mengandung 30% agregat pecah.
- d. Menurut percobaan ASTM D 698 lapis sub balas harus dipadatkan sampai dengan 100%

Gradasi agregat penyusun lapisan sub balas dapat dilihat pada Tabel 5.21 berikut.

Tabel 5.21 Gradasi Agregat Lapisan Sub-Balas

Ukuran saringan	2"	1"	3/8"	No.10	No.40	No.200
% Lolos optimum	100	95	67	38	21	7
Yang diizinkan	100	90-100	50-84	26-50	12-30	0-10

Sumber: PD 10 PT. KAI

Lapisan sub balas memiliki fungsi sebagai lapis penyaring antara tanah dasar dan lapisan balas agar mampu dilalui air dengan baik.

Tebal lapisan balas dan sub balas telah tercantum pada Peraturan Menteri Perhubungan No.60 tahun 2012 dan dapat dilihat pada Gambar 3.1 serta Gambar 3.2 di atas. Rute Gundih – Goprak termasuk jalan rel kelas III maka dimensi lapisan balas atas dan lapisan balas bawah dapat dilihat pada Tabel 5.22 berikut ini.

Tabel 5.22 Dimensi Lapisan Balas Atas dan Lapisan Balas Bawah

d ₁ (cm)	B (cm)	C (cm)	K ₁ (cm)	d ₂ (cm)	E (cm)	K ₂ (cm)
30	140	225	240	15 - 50	22	325

Sumber: Menteri Perhubungan (2012)

$$\text{Asumsi Koefisien balas (Ke)} = 12 \text{ kg/cm}^3$$

$$\text{Lebar bantalan (b)} = 250 \text{ mm} = 25 \text{ cm}$$

$$\text{Pd x 59\%} = 9123,302 \text{ kg}$$

$$d_1 = 30 \text{ cm}$$

a. Modulus balas (k)

$$k \text{ balas} = Ke \times b$$

$$= 12 \times 25$$

$$= 300 \text{ kg/cm}^2$$

b. Menghitung *dumping factor* (λ)

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{300}{(4 \times 1,56 \times 10^5 \times 14148,75)}}$$

$$= 0,013560 \text{ cm}^{-1}$$

c. Fungsi trigonometri dan hiperbolik

Nilai dari fungsi trigonometri dan hiperbolikus pembebanan balas dapat diamati pada Tabel 5.23 berikut.

Tabel 5.23 Fungsi Trigonometri dan Hiperbolikus Tekanan Balas

Fungsi	Nilai	Fungsi	Nilai
$\sin\lambda L$	0,417	$\cos 2\lambda c$	-0,056
$\sinh\lambda L$	7,496	$\cos\lambda L$	-0,909
$\cosh\lambda a$	1,151	$\sinh\lambda c$	0,906
$\cosh 2\lambda c$	2,643	$\sin\lambda c$	0,727
$\cosh\lambda L$	7,563	$\sin\lambda(L-c)$	0,947
$\cos\lambda a$	0,856	$\sinh\lambda(L-c)$	3,263
$\sinh\lambda 2a$	1,310	$\cosh\lambda c$	1,350
$\sin\lambda 2c$	0,998	$\cos\lambda(L-c)$	-0,322
$\sinh\lambda 2c$	2,447	$\cos\lambda c$	0,687
$\sin 2\lambda a$	0,884	$\cosh\lambda(L-c)$	3,413

d. Lendutan maksimum (y)

$$y = \frac{59\%Pd \times \lambda}{2k} \times \frac{1}{\sin\lambda L + \sinh\lambda L} [2 \cosh^2 \lambda a (\cos 2\lambda c + \cosh \lambda L) + 2 \cos^2 \lambda a (\cosh 2\lambda c + \cos\lambda L) + \sinh 2\lambda a (\sin 2\lambda c - \sinh \lambda L) - \sin 2\lambda a (\sinh 2\lambda c - \sin \lambda L)]$$

$$y = 0,315932 \text{ cm}$$

e. Tekanan pada lapisan bantalan (σ_1)

$$\sigma_1 = k_e \times y$$

$$\sigma_1 = 12 \times 0,315932$$

$$\sigma_1 = 3,791184 \text{ kg/cm}^2$$

f. Tekanan pada lapisan subgrade (σ_2)

$$\sigma_2 = \frac{58 \times \sigma_1}{(10+d)^{1,35}}$$

$$\sigma_2 = \frac{58 \times 3,791184}{(10+80)^{1,35}}$$

$$\sigma_2 = 0,505796 \text{ kg/cm}^2$$

5.3.5 Tanah Dasar

Tanah asli daerah Purwodadi – Grobogan merupakan jenis tanah yang bergradasi halus dengan jenis tanah lempung yang mempunyai kembang susut yang sangat besar bila terjadi perubahan kadar air (Yulianti, 2007).

Persyaratan konstruksi tanah dasar yaitu nilai *California Bearing Ratio* (CBR), nilai CBR tanah asli pada lokasi studi diambil dari jurnal penelitian yang dilakukan oleh Yulianti (2007) yaitu sebesar 3,56% dengan indeks plastisitas sebesar 34,77%, nilai CBR tersebut belum memenuhi persyaratan untuk digunakan sebagai lapis tanah dasar begitu pula dengan nilai indeks plastisitasnya yang tinggi. Tujuan dilakukan stabilisasi tanah lempung disini untuk meningkatkan kemampuan fisis dan mekanis tanah. Masih di penelitian yang sama, stabilisasi yang digunakan adalah dengan menambahkan campuran berupa kapur dan abu batubara. Penggunaan kapur dimaksudkan untuk menghasilkan penurunan indeks plastisitas, sedangkan abu batubara merupakan suatu pozzolan buatan yang akan bereaksi secara kimiawi dengan kalsium silikat dan kalsium hidrat yang bersifat hidrolis. Hasil yang diperoleh pada pencampuran dapat dilihat pada Tabel 5.24 berikut.

Tabel 5.24 Hasil Pengujian Campuran Dengan Abu Batubara

No.	Kondisi Tanah	CBR (%)	Indeks Plastisitas (%)	<i>Swelling</i> (%)
1	Asli	3,56	34,77	2,93
2	Campuran Kapur dan Abu Batubara	36,19	9,66	0,14

Sumber: Yulianti, Fera (2007)

Masih pada lokasi Kabupaten Grobogan. Penelitian lain yang dilakukan oleh Putra dan Mukhtar, (2020) menyebutkan hasil pengujian pada tanah asli didapatkan nilai indeks plastisitas yang tinggi yaitu sebesar 42,98%. Stabilisasi yang digunakan pada metode ini adalah dengan menambahkan campuran abu sekam padi dan juga arang tempurung kelapa. Dari hasil pencampuran bahan yang dilakukan didapatkan hasil seperti pada Tabel 5.25 berikut ini.

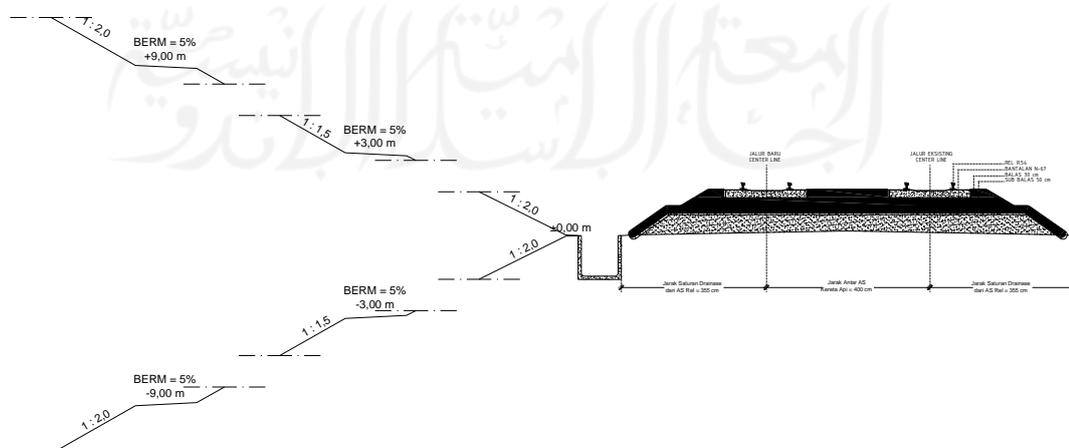
Tabel 5.25 Hasil Pengujian Campuran Dengan Abu Sekam Padi

No	Campuran	CBR (%)	Indeks Plastisitas (%)	Sudut Geser
1	Abu sekam padi (12%)	9,1	21,61	25,10
2	Arang tempurung kelapa (12%)	11,01	22,62	44,53
3	Abu sekam padi dengan arang tempurung kelapa (12%)	10,03	21,18	32,31

Sumber: Putra dan Mukhtar (2020)

Nilai dari hasil stabilitas ini menunjukkan bahwa tanah perbaikan sudah memenuhi syarat tanah dasar sesuai dengan PerMenHub No. 60 tahun 2012.

Pada trayek Gundih - Goprak ini galian tertinggi memiliki kedalaman berkisar 2,669 meter pada STA. 72+071,97 kilometer sedangkan untuk timbunan tertinggi memiliki ketinggian 7,174 meter pada STA. 71+499,06 kilometer, berdasarkan PerMenHub galian atau timbunan yang memiliki tinggi lebih dari 6 meter harus dirancang *berm* yang memiliki lebar 1,5 meter dan permukaannya memiliki kemiringan sebesar 5%, Gambar 5.26 berikut merupakan penampang rancangan *berm* untuk galian atau timbunan yang memiliki ketinggian lebih dari 6 meter.



Gambar 5.26 Skema Penampang Melintang Rancangan Berm

Nilai total volume galian dan timbunan yang dihasilkan pada perancangan jalur ganda ini sebesar 154139,31 m³ untuk timbunannya dan 64106,57 m³ untuk galiannya yang mana nilai volume ini didapatkan menggunakan aplikasi *AutoCAD Civil3D 2018*. Nilai rinci volume galian dan timbunan pada tiap stasiun ndapat dilihat pada Lampiran 7.

5.4 Perancangan Saluran Samping

5.4.1 Analisis Hidrologi

Perhitungan desain drainase permukaan dilakukan dengan analisis hidrologi. Analisis hidrologi dilakukan dengan uji distribusi, pengujian ini dilakukan dengan 4 metode yaitu normal, log normal, gumbel, dan log pearson III. Berikut akan diuraikan perhitungan analisis hidrologi.

1. Curah hujan maksimum harian per tahun

Berikut Tabel 5.26 menampilkan data curah hujan maksimal harian per tahun (mm) pada Kecamatan Geyer dimana trayek Gundih – Goprak berada pada kecamatan tersebut.

Tabel 5.26 Data Curah Hujan Maksimal Harian Per Tahun Kec. Gayer

Tahun	Curah Hujan Tahunan, X_i (mm)	Curah Hujan Rerata, \bar{X} (mm)
2010	266,00	198,33
2011	212,00	
2012	177,00	
2013	197,00	
2014	156,00	
2015	182,00	

Sumber: Badan Pusat Statistik Kabupaten Grobogan (2022)

2. Distribusi curah hujan

Penentuan metode ditentukan oleh nilai parameter statistik berupa koefisien variasi (C_v), standar deviasi (S), faktor kemencengan (C_s), dan faktor kurtosis

(C_k). Berikut adalah contoh perhitungan parameter statistik nilai curah hujan pada tahun 2010.

- a. X_i = 266,00 mm
 b. $X_i - \bar{X}$ = 266,00 – 198,33
 = 67,670
 c. $(X_i - \bar{X})^2$ = 4579,229
 d. $(X_i - \bar{X})^3$ = 309876,420
 e. $(X_i - \bar{X})^4$ = 20969337,319

Rekapitulasi perhitungan parameter statistik dari tahun 2010-2015 dengan cara yang sama dapat dilihat pada Tabel 5.27 berikut ini.

Tabel 5.27 Rekapitulasi Parameter Statistik

Tahun	X_i	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$	$(X_i - \bar{X})^3$	$(X_i - \bar{X})^4$
2010	266,000	67.670	4579.229	309876.420	20969337.319
2011	212,000	13.670	186.869	2554.498	34919.986
2012	177,000	-21.330	454.969	-9704.487	206996.700
2013	197,000	-1.330	1.769	-2.353	3.129
2014	156,000	-42.330	1791.829	-75848.117	3210650.807
2015	182,000	-16.330	266.669	-4354.703	71112.302
Jumlah		0.020	7281.334	222521.258	24493020.243

Data berikutnya untuk melengkapi perhitungan nilai parameter statistik yaitu sebagai berikut.

- a. Standar deviasi (S)

$$\begin{aligned}
 S &= \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \\
 &= \sqrt{\frac{7281,334}{6-1}} \\
 &= 38,161
 \end{aligned}$$

- b. Koefisien variasi (C_v)

$$\begin{aligned}
 C_v &= \frac{S}{\bar{X}} \\
 &= \frac{38,161}{198,333}
 \end{aligned}$$

$$= 0,192$$

c. Koefisien kemencengan (C_s)

$$\begin{aligned} C_s &= \frac{n}{(n-1) \times (n-2)} \times \frac{\sum (X_i - \bar{X})^3}{S^3} \\ &= \frac{6}{(6-1) \times (6-2)} \times \frac{222455,724}{38,161^3} \\ &= 1,201 \end{aligned}$$

d. Koefisien kurtosis (C_k)

$$\begin{aligned} C_k &= \frac{n^2}{(n-1) \times (n-2) \times (n-3)} \times \frac{\sum (X_i - \bar{X})^4}{S^4} \\ &= \frac{6^2}{(6-1) \times (6-2) \times (6-3)} \times \frac{24490350,380}{38,161^4} \\ &= 6,930 \end{aligned}$$

Rekapitulasi Hasil perhitungan parameter statistik distribusi curah hujan dapat dilihat pada Tabel 5.28 berikut.

Tabel 5.28 Parameter Statistik Normal

Parameter	Nilai
Standar Deviasi (S)	38,161
Koefisien Variasi (C_v)	0,192
Koefisien Kemencengan (C_s)	1,201
Koefisien Kurtois (C_k)	6,929

Perhitungan parameter statistik untuk distribusi hujan tipe log normal dan Pearson III dilakukan dengan logaritmik. Berikut adalah contoh perhitungan parameter statistik nilai curah hujan pada tahun 2010.

- a. $X_i = 266,00 \text{ mm}$
- b. $\text{Log } X_i = \text{Log } (266,00)$
 $= 2,425$
- c. $\text{Log } \bar{X} = 2,291$
- d. $\text{Log } X_i - \text{Log } \bar{X} = 2,425 - 2,291$
 $= 0,128$
- e. $(\text{Log } X_i - \text{Log } \bar{X})^2 = 0,016384$
- f. $(\text{Log } X_i - \text{Log } \bar{X})^3 = 0,002097$

$$g. (\text{Log } X_i - \text{Log } \bar{X})^4 = 0,000268435456$$

Rekapitulasi perhitungan parameter statistik dari tahun 2010-2015 dengan cara yang sama dapat dilihat pada Tabel 5.29 berikut ini.

Tabel 5.29 Rekapitulasi Parameter Statistik

Tahun	Log X_i	Log $X_i - \text{Log } \bar{X}$	$(\text{Log } X_i - \text{Log } \bar{X})^2$	$(\text{Log } X_i - \text{Log } \bar{X})^3$	$(\text{Log } X_i - \text{Log } \bar{X})^4$
2010	2,425	0,134	0,017956	0,00240610	0,000322417936
2011	2,326	0,035	0,001225	0,00004288	0,000001500625
2012	2,248	-0,043	0,001849	-0,00007951	0,000003418801
2013	2,294	0,003	0,000009	0,00000003	0,000000000081
2014	2,193	-0,098	0,009604	-0,00094119	0,000092236816
2015	2,260	-0,031	0,000961	-0,00002979	0,000000923521
Jumlah	13,746	0,000	0,031604	0,00139852	0,000420497780

Data berikutnya untuk melengkapi perhitungan nilai parameter statistik yaitu sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{a. Mean } (\bar{X}) &= \frac{\sum \text{Log } X_i}{n} \\ &= \frac{13,746}{6} \\ &= 2,291 \end{aligned}$$

b. Standar deviasi (S)

$$\begin{aligned} S &= \sqrt{\frac{\sum (\text{Log } X_i - \text{Log } \bar{X})^2}{n-1}} \\ &= \sqrt{\frac{0,031604}{6-1}} \\ &= 0,0795 \end{aligned}$$

c. Koefisien variasi (C_v)

$$\begin{aligned} C_v &= \frac{S}{\bar{X}} \\ &= \frac{0,0795}{198,333} \\ &= 0,0004 \end{aligned}$$

d. Koefisien kemencengan (C_s)

$$\begin{aligned} C_s &= \frac{n}{(n-1) \times (n-2)} \times \frac{\sum (\text{Log } X_i - \text{Log } \bar{X})^3}{S^3} \\ &= \frac{6}{(6-1) \times (6-2)} \times \frac{0,00139852}{0,0795^3} \end{aligned}$$

$$= 0,8350$$

e. Koefisien kurtosis (C_k)

$$\begin{aligned} C_k &= \frac{n^2}{(n-1) \times (n-2) \times (n-3)} \times \frac{\sum (\text{Log} X_i - \text{Log} \bar{X})^4}{S^4} \\ &= \frac{6^2}{(6-1) \times (6-2) \times (6-3)} \times \frac{0,000420497780}{0,0795^4} \\ &= 6,3161 \end{aligned}$$

Rekapitulasi Hasil perhitungan parameter statistik distribusi curah hujan dapat dilihat pada Tabel 5.30 berikut.

Tabel 5.30 Parameter Statistik Logaritmik

Parameter	Nilai
Standar Deviasi (S)	0,0795
Koefisien Variasi (C_v)	0,0004
Koefisien Kemencengan (C_s)	0,8350
Koefisien Kurtois (C_k)	6,3161

3. Curah hujan rancangan

Adapun syarat dari masing-masing metode sebaran dapat dilihat pada Tabel 5.31 berikut.

Tabel 5.31 Syarat Penggunaan Jenis Sebaran

No	Jenis Distribusi	Syarat	Hasil Perhitungan			Keterangan
			C_v	C_s	C_k	
1	Normal	$C_s = 0$	0,192	1,201	6,929	Tidak sesuai
2	Log normal	$C_s = C_v^3 + 3C_v$	0,0004	0,835	6,3161	Tidak sesuai
3	Gumbel	$C_s \approx 1,14$	0,192	1,201	6,929	Tidak sesuai
		$C_k \approx 5,4002$	0,192	1,201	6,929	Tidak sesuai
4	Log Pearson III	Selain nilai syarat di atas			Sesuai	

Pada Tabel 5.31 metode yang memenuhi persyaratan hanya log Pearson III. Perhitungan hujan rancangan menggunakan metode log Pearson III dengan kala ulang 5 tahun sebagai berikut.

a. Diketahui:

$$S = 0,0795, \text{ dan}$$

$$C_s = 0,8347.$$

b. Nilai K_{TR} didapat dengan interpolasi pada nilai $C_s = 0,8347$ sebagaimana perhitungan berikut

$$\begin{aligned} K_{TR} &= \frac{0,8347-0,8}{1-0,8} = \frac{X-0,780}{0,758-0,780} \\ &= \frac{0,0347}{0,2} = \frac{X-0,780}{0,022} \\ &= 0,784 \end{aligned}$$

$$\text{Log } X_T = \text{Log } \bar{X} + (K_{TR} \times S)$$

$$\text{Log } X_T = 2,291 + (0,784 \times 0,0795)$$

$$\text{Log } X_T = 2,353$$

$$X_T = 10^{2,353}$$

$$X_T = 225,424 \text{ mm}$$

Perhitungan debit dengan rumus rasional membutuhkan data pendukung berupa hujan rencana, panjang saluran, elevasi ketinggian saluran, lebar *catchment*, luas *catchment*, tata guna lahan, dan waktu limpasan. Panjang tiap saluran diambil dari 1 fase alinemen vertikal sesuai Tabel 5.10. Sehingga panjang saluran merupakan panjang antar stasiun PVI.

Elevasi saluran terbuka memanjang dihitung berdasarkan elevasi rencana dikurangi tinggi konstruksi. Ketinggian konstruksi dihitung dari kepala rel hingga elevasi terbawah dari sub balas. Ketinggian konstruksi jalur rel kelas III yaitu dapat dilihat pada uraian sebagai berikut.

$$\text{Tinggi rel R.54} = 159 \text{ mm} = 0,159 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi bantalan} = 21 \text{ cm} = 0,21 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi balas} = 30 \text{ cm} = 0,3 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi sub balas} = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$$

Rekapitulasi elevasi saluran terbuka memanjang pada tiap PVI dapat dilihat pada Tabel 5.32 berikut ini.

Tabel 5.32 Rekapitulasi Elevasi Saluran Samping

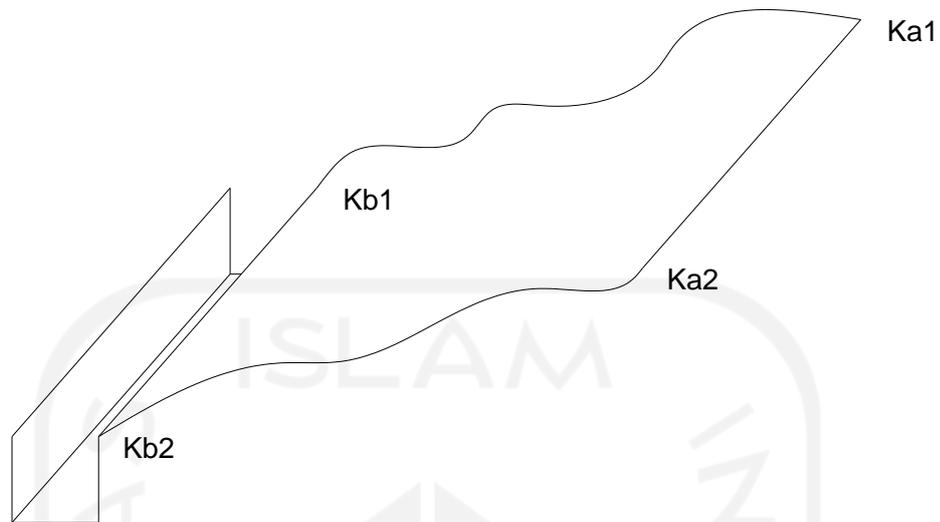
PVI	Elevasi (meter)	PVI	Elevasi (meter)
0	56,455	4	73,105
1	56,355	5	73,205
2	66,105	6	79,355
3	66,205	7	79,455

Lebar dari *catchment* diasumsikan sebesar ± 100 meter dihitung tegak lurus saluran. Batas *catchment* diplotkan pada *Google Earth* guna mendapatkan elevasi dan luas dari *catchment*. Elevasi dari batas *catchment* pada sisi kiri jalur rel baru dapat dilihat pada Tabel 5.33 berikut ini.

Tabel 5.33 Rekapitulasi Elevasi Batas Catchment Bagian Kiri Rel Baru

PVI	Elevasi (meter)	PVI	Elevasi (meter)
0	59,496	4	79,647
1	59,630	5	78,642
2	65,283	6	79,587
3	66,998	7	87,303

Badan jalan timbunan dan galian mempengaruhi debit aliran yang terjadi. Kondisi konstruksi timbunan menyebabkan aliran air hanya berasal dari badan jalan. Sedangkan pada galian, debit aliran dipengaruhi oleh sisi lereng. Maka perhitungan *catchment* lereng bergantung oleh kemiringan lereng. Nilai negatif kemiringan lereng menandakan *catchment* lereng tidak dibutuhkan. Berikut merupakan sketsa *catchment* lereng pada sisi kiri saluran I jalur rel baru pada Gambar 5.27.



Gambar 5.27 Sketsa *Catchment* Lereng Sisi Kiri Jalur Rel Baru

Berikut contoh perhitungan kemiringan lereng pada saluran I dengan panjang saluran 293 meter.

a. Diketahui

$$\text{Elevasi Ka1} = 59,496 \text{ m}$$

$$\text{Elevasi Ka2} = 59,630 \text{ m}$$

$$\text{Elevasi Kb1} = 56,455 \text{ m}$$

$$\text{Elevasi Kb2} = 56,355 \text{ m}$$

$$L1=L2 = 100 \text{ m}$$

$$\text{b. } S_1 = \frac{(\text{Elevasi Ka1} - \text{Elevasi Kb1})}{L1}$$

$$= \frac{(59,496 - 56,455)}{100}$$

$$= 3,041\%$$

$$\text{c. } S_2 = \frac{(\text{Elevasi Ka2} - \text{Elevasi Kb2})}{L2}$$

$$= \frac{(59,630 - 56,355)}{100}$$

$$= 3,275\%$$

$$\text{d. } S_{\text{tebing}} = \frac{(3,041 - 3,275)}{2}$$

$$= 3,158\%$$

Luas *catchment* terbagi menjadi 4 kategori menurut tata guna lahan pada lokasi studi yaitu pemukiman, lahan pertanian sawah, kebun, serta halaman kereta api. Luas *catchment* tidak perlu dihitung jika elevasi lereng lebih rendah dari elevasi saluran. Berikut merupakan tata guna lahan pada saluran I sisi kiri jalur rel baru dapat dilihat pada Gambar 5.28.



Gambar 5.28 Tata Guna Lahan Pada Saluran I Jalur Rel Baru

Perbedaan tata guna lahan seperti pada Gambar 5.26. Warna oranye merupakan daerah pemukiman. Warna hijau tua adalah daerah kebun, warna kuning adalah lahan pertanian sawah, dan warna abu adalah daerah stasiun kereta api. Adanya perbedaan tata guna lahan pada sekitar rel, maka perhitungan koefisien limpasan desain menggunakan Persamaan 3.49. Berikut merupakan contoh perhitungan koefisien limpasan pada saluran I sisi kiri jalur rel baru.

a. Diketahui

Panjang jalur rel	= 293 m
Luas pemukiman (A_1)	= 18191,230 m ²
Luas sawah (A_2)	= 0,000 m ²
Luas kebun (A_3)	= 0,000 m ²
Luas daerah KA (A_4)	= 9765,561 m ²
Elevasi PVI 0	= 56,455 meter
Elevasi PVI 1	= 56,355 meter

$$\begin{aligned}
 \text{b. } A \text{ total} &= 18191,230 + 9765,561 \\
 &= 27956,791 \text{ m}^2 \\
 \text{c. Koefisien pakai (C)} &= 0,6 \times \left(\frac{18191,230}{27956,791}\right) + 0,4 \times \left(\frac{9765,561}{27956,791}\right) \\
 &= 0,530 \\
 \text{d. Kemiringan (S)} &= \frac{\Delta \text{ elevasi saluran I}}{L} \times 100\% \\
 &= \frac{(56,455 - 56,355)}{293} \times 100\% \\
 &= 0,034\% \\
 &= 0,00034
 \end{aligned}$$

Contoh perhitungan waktu konsentrasi pada saluran I sisi kiri jalur rel baru diuraikan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 t_c &= 0,0195 \times L^{0,77} \times S^{-0,385} \\
 &= 0,0195 \times 293^{0,77} \times 0,00034^{-0,385} \\
 &= 33,48 \text{ menit} \\
 &= 0,558 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

Intensitas hujan dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.50 dengan perhitungan pada contoh saluran I sisi kiri jalur rel baru berikut ini.

$$\begin{aligned}
 I_T &= \left(\frac{R_{24}}{24}\right) \times \left(\frac{24}{T_c}\right)^{2/3} \\
 &= \left(\frac{225,424}{24}\right) \times \left(\frac{24}{0,558}\right)^{2/3} \\
 &= 115,303 \text{ mm/jam}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan yang didapatkan diatas, maka debit aliran pada saluran I sisi kiri jalur baru dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.48 berikut ini.

$$\begin{aligned}
 \text{Qrencana} &= C \times I \times A \\
 &= 0,530 \times 115,303 \times 27956,791 \text{ m}^3/\text{jam} \\
 &= 1708,456 \text{ m}^3/\text{jam} \\
 &= 0,475 \text{ m}^3/\text{detik}
 \end{aligned}$$

Berikut merupakan rekapitulasi perhitungan debit aliran yang ditunjukkan pada Tabel 5.34 untuk sisi kiri jalur rel baru.

Tabel 5.34 Rekapitulasi Perhitungan Debit Rencana Aliran Saluran Sisi Kiri Jalur Baru

Kode Saluran	L (m)	S Saluran (%)	S Tebing (%)	A ₁ (m ²)	A ₂ (m ²)	A ₃ (m ²)	A ₄ (m ²)	C	T _c (jam)	I _T (mm/jam)	Q rencana (m ³ /detik)
S-I	230	0,034	3,158	18191,23	0,00	0,00	9765,56	0,530	0,558	115,303	0,475
S-II	1400	0,696	1,227	6345,76	113361,09	9674,27	7350,00	0,492	0,582	112,111	2,095
S-III	700	0,014	-0,014	0,00	0,00	0,00	3675,00	0,400	1,536	58,704	0,024
S-IV	1400	0,493	3,668	16833,87	46709,79	65067,83	7350,00	0,459	0,665	102,577	1,778
S-V	700	0,014	5,990	0,00	33098,55	27719,02	3675,00	0,451	1,536	58,704	0,474
S-VI	1250	0,492	2,835	43667,34	12801,06	60259,14	6562,50	0,481	0,610	108,653	1,790
S-VII	530	0,019	4,040	16778,31	21374,04	7368,96	2782,50	0,514	1,102	73,250	0,505

dengan :

S Saluran = Kemiringan saluran,

S Tebing = Kemiringan tebing,

A₁ = Luas pemukiman,

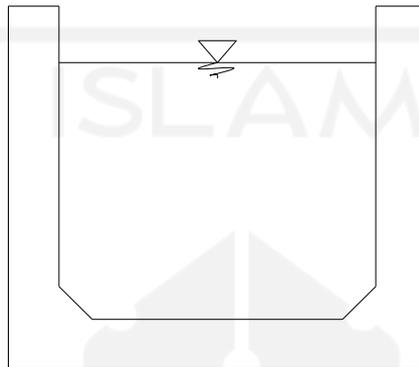
A₂ = Luas sawah,

A₃ = Luas kebun, dan

A₄ = Luas daerah kereta api.

5.4.2 Analisis Hidrolika

Perhitungan penampang dilakukan dengan analisis hidrolika. Tipe saluran yang digunakan merupakan jenis terbuka dengan penampang persegi dengan material beton pracetak sebagaimana Gambar 5.29.



Gambar 5.29 Penampang Saluran Terbuka Material Beton Pracetak

Berikut contoh perhitungan pada saluran I (S-I) sisi kiri jalur rel baru.

Diketahui

Bentuk saluran = persegi
 Material = beton pra cetak
 Kekasaran *manning* (n) = 0,014

Dengan desain trial $B = 0,9$ m, $H = 1,0$ m. Maka analisis hidrolika dihitung dengan Persamaan 3.52 hingga Persamaan 3.56

1. Luas basah (A)

$$\begin{aligned} A &= B \times H \\ &= 0,9 \times 1,0 \\ &= 0,90 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

2. Keliling basah saluran (P)

$$\begin{aligned} P &= B + 2H \\ &= 0,90 + (2 \times 1,0) \\ &= 2,90 \text{ meter} \end{aligned}$$

3. Radius hidraulik (R)

$$\begin{aligned} R &= A/P \\ &= 0,90 / 2,90 \end{aligned}$$

$$= 0,310 \text{ meter}$$

4. Kecepatan saluran (Vsal)

$$\begin{aligned} V_{sal} &= \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \\ &= \frac{1}{0,014} \times 0,310^{\frac{2}{3}} \times 0,034^{\frac{1}{2}} \\ &= 0,603 \text{ m/detik} \end{aligned}$$

5. Debit saluran (Qsal)

$$\begin{aligned} Q_{sal} &= A \times V_{sal} \\ &= 0,90 \times 0,603 \\ &= 0,543 \text{ m}^3/\text{detik} > 0,475 \text{ m}^3/\text{detik (OK)} \end{aligned}$$

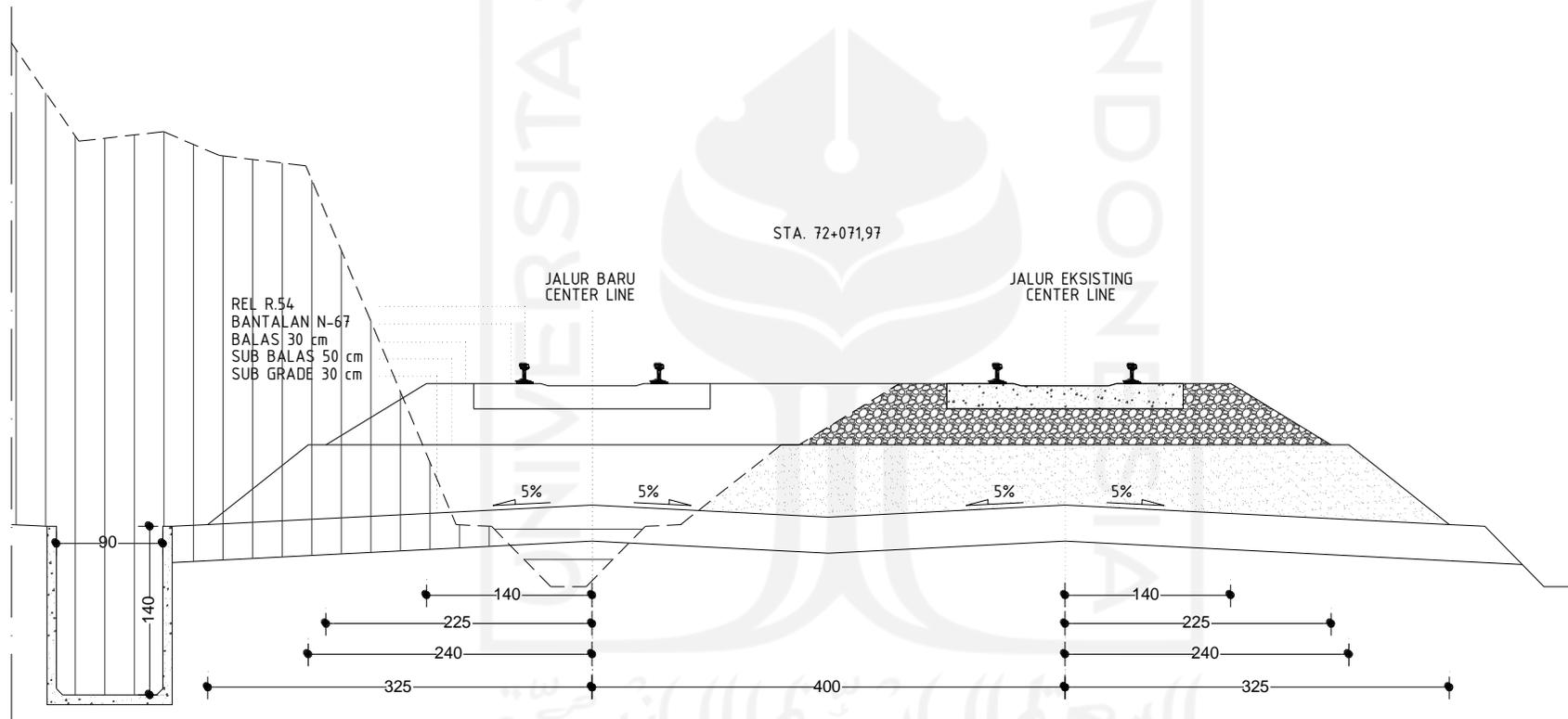
Rekapitulasi perhitungan dimensi, debit, dan kecepatan saluran pada sisi kiri jalur rel baru dapat dilihat pada Tabel 5.35 berikut ini.

Tabel 5.35 Rekapitulasi Dimensi Saluran Sisi Kiri Jalan Rel Baru

Saluran	B (m)	H (m)	V Saluran (m/detik)	Q Saluran (m ³ /detik)	Q Rencana (m ³ /detik)
S-I	0.900	1.000	0.603	0.543	0.475
S-II	0.900	0.900	2.670	2.163	2.095
S-III	0.900	0.900	0.379	0.307	0.024
S-IV	0.900	0.900	2.248	1.821	1.778
S-V	0.900	1.400	0.413	0.520	0.474
S-VI	0.900	0.900	2.245	1.818	1.790
S-VII	0.900	1.300	0.474	0.555	0.505

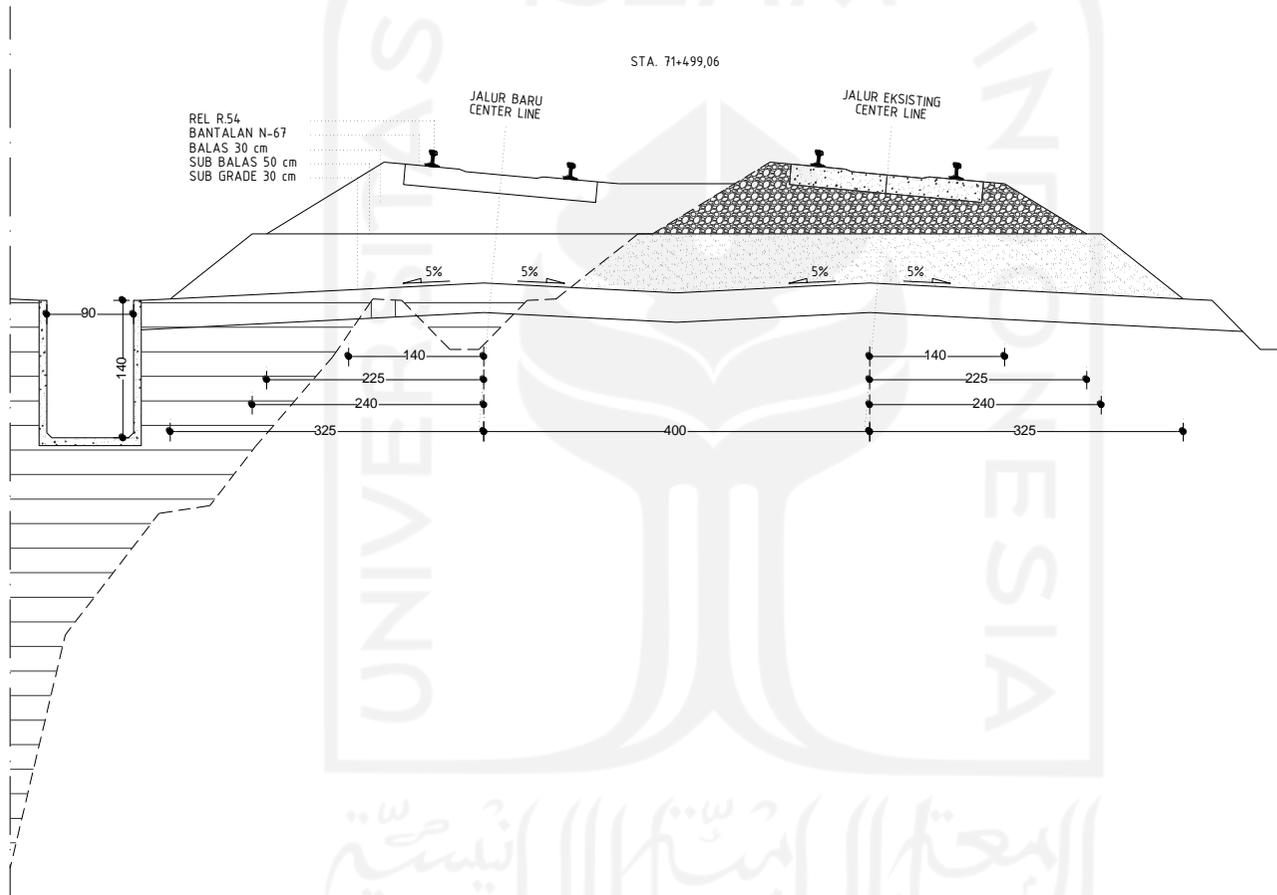
1. Penampang melintang

a. Penampang melintang pada daerah galian



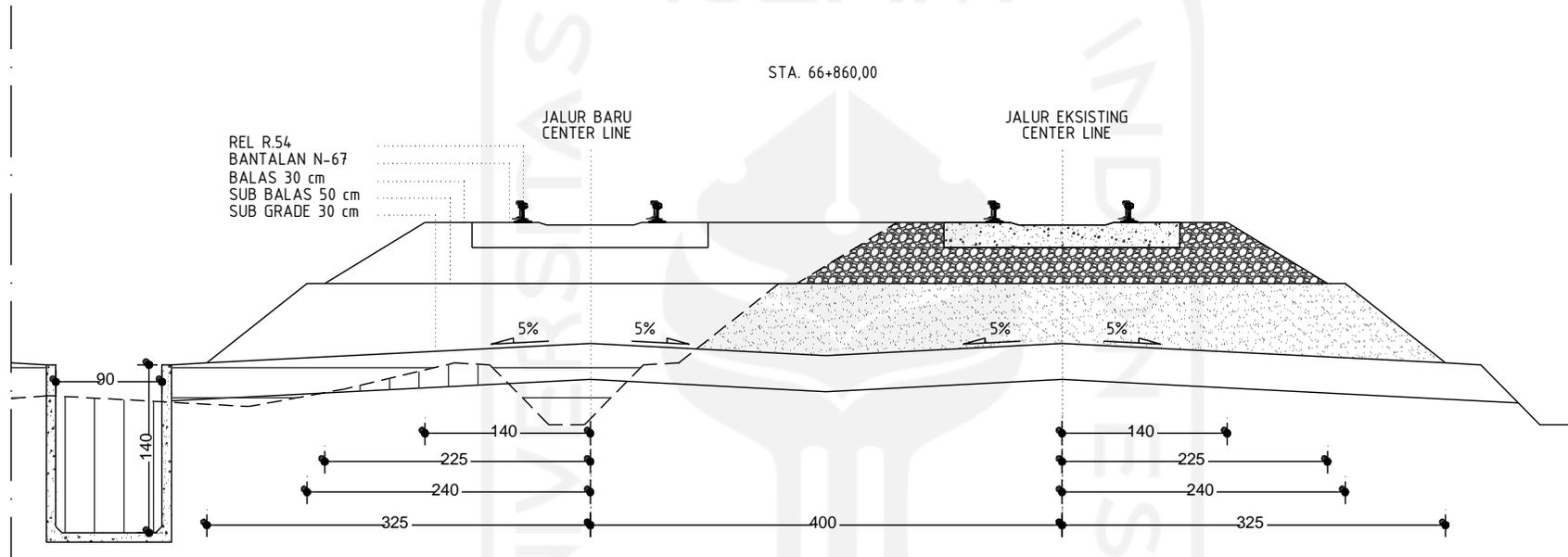
Gambar 5.30 Penampang Melintang Pada Daerah Galian

b. Penampang melintang pada daerah timbunan



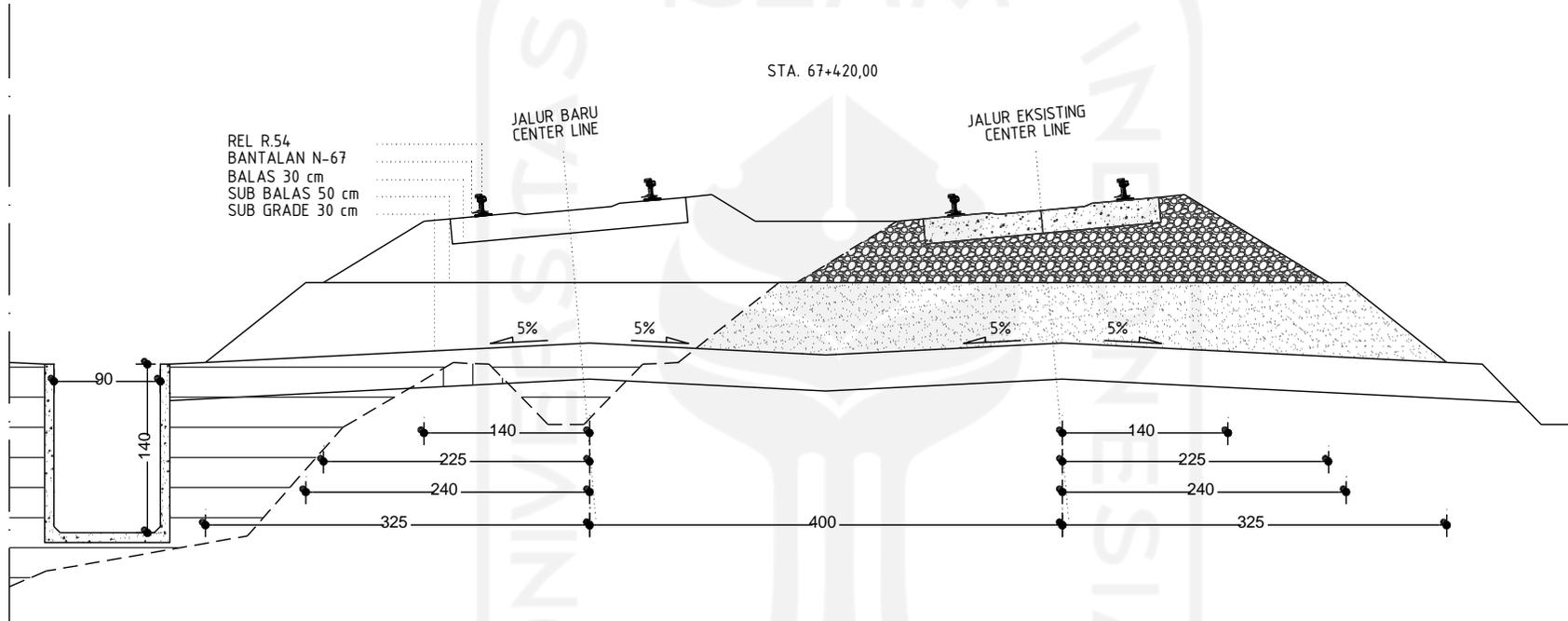
Gambar 5.31 Penampang Melintang Pada Daerah Timbunan

c. Penampang melintang pada jalur lurus



Gambar 5.32 Penampang Melintang Pada Jalur Lurus

d. Penampang melintang pada jalur tikungan



Gambar 5.33 Penampang Melintang Pada Jalur Tikungan

5.5 Pembahasan

5.5.1 Hasil Perancangan Geometri Trase Jalan Rel

Dalam merencanakan geometri jalan rel mengacu pada persyaratan yang tertera pada Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 tahun 2012. Perancangan geometri jalur ganda menggunakan aplikasi *AutoCAD Civil 3D 2018*.

Desain alinemen horizontal jalur kereta yang telah dibuat menggunakan 7 tikungan dengan tipe *spiral-circle-spiral*. Jari-jari tikungan yang digunakan sebesar 600 m, 700 m, 710 m, 800 m, 1000 m, dan 1070 m dengan lengkung peralihan sebesar 55m, 70 m, 80 m, dan 90m. Tidak adanya pelebaran jalur saat tikungan dikarenakan jari-jari lengkung yang digunakan memiliki radius > 600 meter dan sesuai dengan peraturan yang berlaku maka tidak terjadi pelebaran pada lengkung. Peninggian jalan rel pada tiap tikungan berturut-turut adalah 80mm, 90mm, 55mm, 70mm, 55mm, 80mm, dan 70mm.

Desain alinemen vertikal sesuai dengan persyaratan yang ada yaitu menggunakan radius minimal sebesar 6000 m sesuai dengan dengan kelas jalan rel dengan kecepatan rencana 100 km/jam dan didapatkan 6 lengkung vertikal menyesuaikan eksisting pada perancangannya. Radius minimal dari desain alinemen vertikal pada jalur ini didapatkan sebesar 6000 m pada lengkung vertikal ke 3, 4, 5, dan 6 yang mana masih sudah sesuai dengan peraturan yang tertera pada peraturan. Landai penentu maksimum yang tertera pada Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 tahun 2012 untuk jalan rel kelas III adalah sebesar 20‰ sedangkan dalam perancangan alinyemen vertikal pada jalur ini yang terbesar memiliki nilai 0,69‰ yang mana sudah sesuai dengan peraturan yang ada mengenai landai penentu maksimum. Persyaratan koordinasi alinemen vertikal dan horizontal juga telah memenuhi syarat dimana dalam tikungan horizontal tidak terdapat dua atau lebih lengkung vertikal.

Terdapat kesamaan acuan penelitian PerMenHub No. 60 tahun 2012 yang dilakukan oleh Badri (2018), diketahui pada perancangan geometrinya menggunakan kecepatan rencana 100 km/jam dengan lebar sepur 1067 mm didapatkan 9 tikungan dengan tipe *spiral-circle-spiral*, radius yang digunakan pada tikungan 1, 2, 3 sebesar 350 m dan tikungan 4, 5, 6, 7, 8, 9 sebesar 850 m, radius

yang digunakan masih lebih kecil apabila dibandingkan dengan studi yang penulis lakukan, yang mana semakin besar jari-jari tikungan yang digunakan maka akan menambah keamanan dan kenyamanan kereta saat melintas. Terdapat 8 lengkung vertikal dengan radius sebesar 6000 m dengan landai yang paling besar adalah 0,39 ‰ yang masih memenuhi syarat landai penentu maksimum pada jalan rel kelas I yaitu 10 ‰ dan landai emplasemen berkisar 0-1,5 ‰.

5.5.2 Hasil Perancangan Komponen Jalan Rel

Dalam merencanakan komponen jalan rel mengacu syarat dan peraturan yang tertera pada Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 tahun 2012. Daya angkut (*passing tonnage*) yang melalui lintas Gundih – Goprak diketahui sebesar $7,265 \times 10^6$ ton/tahun pada tahun 2021 dan beban gandar sebesar 18 ton, mengacu pada klasifikasi kelas jalan rel pada PerMenHub No. 60 tahun 2012, besar daya angkut termasuk ke dalam golongan jalan rel kelas III. Berdasarkan tabel klasifikasi kelas jalan rel maka pada trayek ini digunakan rel bertipe R.54 dengan lebar sepur 1067 mm. Penggunaan bantalan sudah sesuai dengan peraturan dimana jalan rel kelas III dapat menggunakan bantalan beton. Dengan pertimbangan ketersediaan bahan baku material tersebut maka bantalan pada jalur ini menggunakan material beton, dalam hal ini menggunakan bantalan beton bertipe N-67 yang diproduksi PT. WIKA Beton yang telah memenuhi persyaratan dimensi maupun tegangan ijin yang telah disyaratkan pada Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 tahun 2012. Jarak antar bantalan pada lintasan lurus sebesar 60 cm.

Penambat yang digunakan sesuai dengan peraturan yang ada yaitu menurut jalan rel kelas III maka digunakan penambat elastis ganda dalam hal ini menggunakan penambat KA pandrol *e-clip* yang diproduksi oleh PT. Pindad yang mempunyai gaya jepit sebesar 750-1300 kgf dan telah terdaftar dan tersertifikasi dalam SNI 11-3677-1995.

Penggunaan balas dan sub balas telah diatur dalam Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 tahun 2012 dan Peraturan Bahan Jalan Rel Indonesia (PBJRI). Balas lapisan atas memiliki material dengan kualitas yang baik serupa batu pecah sedangkan balas lapisan bawah menggunakan material dengan kualitas

lebih rendah dari kualitas balas lapisan atas yaitu kerikil dan pasir. Gradasi agregat yang digunakan dalam balas dan sub balas bertujuan untuk mencapai kekenyalan dan daya kunci antar agregat agar mampu menahan beban dengan baik. Kedalaman balas atas di bawah bantalan sebesar 30 cm dengan lebar 450 cm sedangkan kedalaman lapisan sub balas yaitu 15-50 cm digunakan 50 cm dengan lebar 650 cm sesuai dengan jalan rel kelas III.

Hasil curah hujan rencana menggunakan distribusi Log Pearson III dengan kala ulang 5 tahun diperoleh hasil sebesar 225,424 mm. Dimensi tipikal saluran ditentukan berdasarkan dimensi terbesar yang dihitung, sehingga saluran sepanjang trayek Gundih – Goprak ini merupakan saluran tipikal yang berdimensi 0,9 x 1,4 m. Rekapitulasi hasil perencanaan komponen jalan rel dapat dilihat pada Tabel 5.36 sebagai berikut.

Tabel 5.36 Rekapitulasi Perancangan Komponen Jalan Rel

Data Tinjauan	Keterangan
Rel	Rel tipe R.54
Penambat	Penambat elastis ganda KA pandrol <i>e-clip</i> produksi PT. Pindad
Bantalan	Bantalan N-67 produksi PT. WIKA Beton
Balas	Material batu pecah, tebal 30 cm
Sub balas	Material kerikil dan pasir, tebal 50 cm
<i>Subgrade</i>	Tanah asli yang diperbaiki, tebal 30 cm

Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Nugroho (2016), Dalam penelitian jalan rel kereta api lintas Magelang – Ambarawa ini juga mengacu pada Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 tahun 2012 dan didapatkan analisa berupa jalan rel termasuk jalan rel kelas IV dengan lebar sepur 1067 mm, juga didapatkan spesifikasi struktur jalan rel secara teknis dimana tipe rel menggunakan tipe R.54, jenis bantalan berupa beton prategang, jarak antar bantalan 60 cm, jenis penambat yang digunakan adalah elastis ganda, balas atas setebal 25 cm dan lebar bahu balas adalah 40 cm.

5.5.3 Hasil Desain Saluran Samping Jalur Baru

Hasil curah hujan rencana menggunakan distribusi Log Pearson III dengan kala ulang 5 tahun diperoleh nilai sebesar 225,424 mm. Dimensi tipikal saluran samping ditentukan berdasarkan dimensi terbesar yang didapatkan pada perhitungan sebelumnya, sehingga saluran sepanjang trayek Gundih – Goprak ini merupakan saluran tipikal yang berdimensi 0,9 x 1,4 meter.

5.5.4 Hasil Perhitungan Galian dan Timbunan

Galian tanah terdalam memiliki kedalaman berkisar 2,669 meter pada STA. 72+071,97 km, dan timbunan tanah tertinggi memiliki ketinggian berkisar 7,174 meter pada STA. 71+499,06 km. Mengacu pada PerMenHub No. 60 tahun 2012 galian atau timbunan yang memiliki ketinggian >6 meter harus menggunakan *berm* dengan lebar minimum 1,5 meter dengan kemiringan permukaannya sebesar 5%.

Perlu diperhitungkan *ratio* antara galian dan juga timbunan agar dapat terpenuhi pemadatan tanahnya, hal ini dilakukan untuk meminimalisir biaya yang diperlukan dalam tahap pembangunan. Nilai volume yang didapatkan dari *AutoCAD Civil 3D 2018* untuk volume timbunan pada perancangan jalur ganda rel kereta api ini sebesar 154139,31 m³ dan volume galian sebesar 64106,57 m³ maka didapatkan *ratio* antar volume galian dan timbunan sebesar 2,404. Hasil lengkap rekapitulasi galian dan timbunan pada tiap *section* dapat dilihat pada Lampiran 7.

BAB VI

SIMPULAN DAN SARAN

6.1 Simpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan untuk menjawab rumusan masalah yang telah diuraikan di awal dari tugas akhir ini. Adapun kesimpulan dari analisa ini ialah sebagai berikut.

1. Berdasarkan peta topografi dan foto udara dari *google earth*, rel jalur ganda dirancang berada pada sisi kiri dari arah Stasiun Gundih menuju Stasiun Goprak atau sebelah timur dari jalur eksisting karena terkait dengan biaya pembongkaran dan ketersediaan lahan. Hasil perancangan geometri jalan rel berupa 7 tikungan dengan tipe *spiral-circle-spiral* dan alinyemen vertikal menggunakan radius yang disesuaikan dengan kecepatan rencana sehingga digunakan radius minimum sebesar 6000m dan didapatkan 6 lengkung vertikal yang menyesuaikan eksisting pada perancangannya.
2. Penentuan kelas jalan rel perancangan jalur ganda ini berdasarkan besarnya daya angkut lintas pada tahun 2021 yaitu $7,265 \times 10^6$ ton/tahun yang dimana itu termasuk jalan rel kelas III, dengan kriteria perencanaan dengan kecepatan rencana 100 km/jam, beban gandar 18 ton, penggunaan rel adalah tipe R.54, penambat menggunakan penambat elastik ganda berjenis pandrol *E-Clip* yang telah diproduksi oleh PT. Pindad Indonesia, bantalan beton menggunakan bantalan beton tipe N-67 produksi oleh PT. WIKA Beton dengan dimensi panjang 2000 mm, lebar dudukan rel 250 mm (bawah) 150 mm (atas), lebar di tengah 226 mm (bawah) 150 mm (atas), tinggi di dudukan rel 210 mm, tinggi di tengah 190 mm, jarak antar bantalan 600 mm, balas dan sub balas menggunakan material batu pecah sedangkan sub balas menggunakan material kerikil dan pasir dengan ukuran balas dan sub balas d1 30 cm, b 140 cm, c 225 cm, k1 240 cm, d2 40 cm (15-50 cm), e 22 cm, k2 325 cm.

3. Usulan rancangan saluran samping menggunakan material beton pracetak yang memiliki tipe *u-ditch* yang berdimensi 0,9 x 1,4 meter.

6.2 Saran

Berdasar kesimpulan di atas, dari hasil analisis perancangan yang telah dilakukan, maka penulis mengusulkan saran guna peninjauan kembali kedepannya sebagai berikut.

1. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi usulan yang bermanfaat bagi pihak PT. Kereta Api Indonesia maupun instansi lainnya dalam proses pembangunan jalur ganda rel kereta api rute Gundih – Goprak.
2. Pada penelitian selanjutnya dapat ditambahkan pembahasan mengenai bangunan penunjang seperti, jembatan, bangunan DIPO, emplasemen, dan stasiun agar perencanaannya lebih lengkap dan matang.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifa, T. M. 2019. Perancangan Jalur Ganda Kereta Api antara Stasiun Cicalengka - Stasiun Lebak Jero (Stasiun KM 193+000 - 193+925). *Tugas Akhir* Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Curah Hujan 2013-2015. 2022. Badan Pusat Statistik Kabupaten Grobogan. (<https://grobogankab.bps.go.id/indicator/151/32/1/curah-hujan.html>. Diakses Mei 2022)
- Departemen Pekerjaan Umum. 2006. *Perencanaan Sistem Drainase Jalan, Pedoman Konstruksi dan Bangunan Pd T-02-2006-B*. Jakarta.
- Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis Kendaraan. 2021. Badan Pusat Statistik Kabupaten Grobogan. (<https://grobogankab.bps.go.id/indicator/17/204/1/jumlah-kendaraan-bermotor-menurut-jenis-kendaraan.html>. Diakses Agustus 2021)
- Mukhtar, B. K. 2020. Stabilisasi Tanah Lempung Menggunakan Campuran Abu Sekam Padi dan Arang Tempurung Kelapa. *Tugas Akhir* Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Semarang.
- Nugroho, R., & Natasha, G. 2016. Perencanaan Reaktivasi Jalan Rel Kereta Api Koridor Magelang - Ambarawa. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, Vol. 5 Nomor 2. Semarang.
- Pebiandi, V. 2008. Perencanaan Geometri Jalan Rel Kereta Api Trase Kota Pinang-Mengala Sta. 104+000 - Sta.147+200 pada ruas Rantau Prapat - Duri II. *Tugas Akhir*. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- Prakoso, R. D. 2018. Perancangan Geometerik Jalur Kereta Api Akses Penghubung Stasiun Solo Balapan - Bandar Udara Adi Sumarmo. *Tugas Akhir*. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

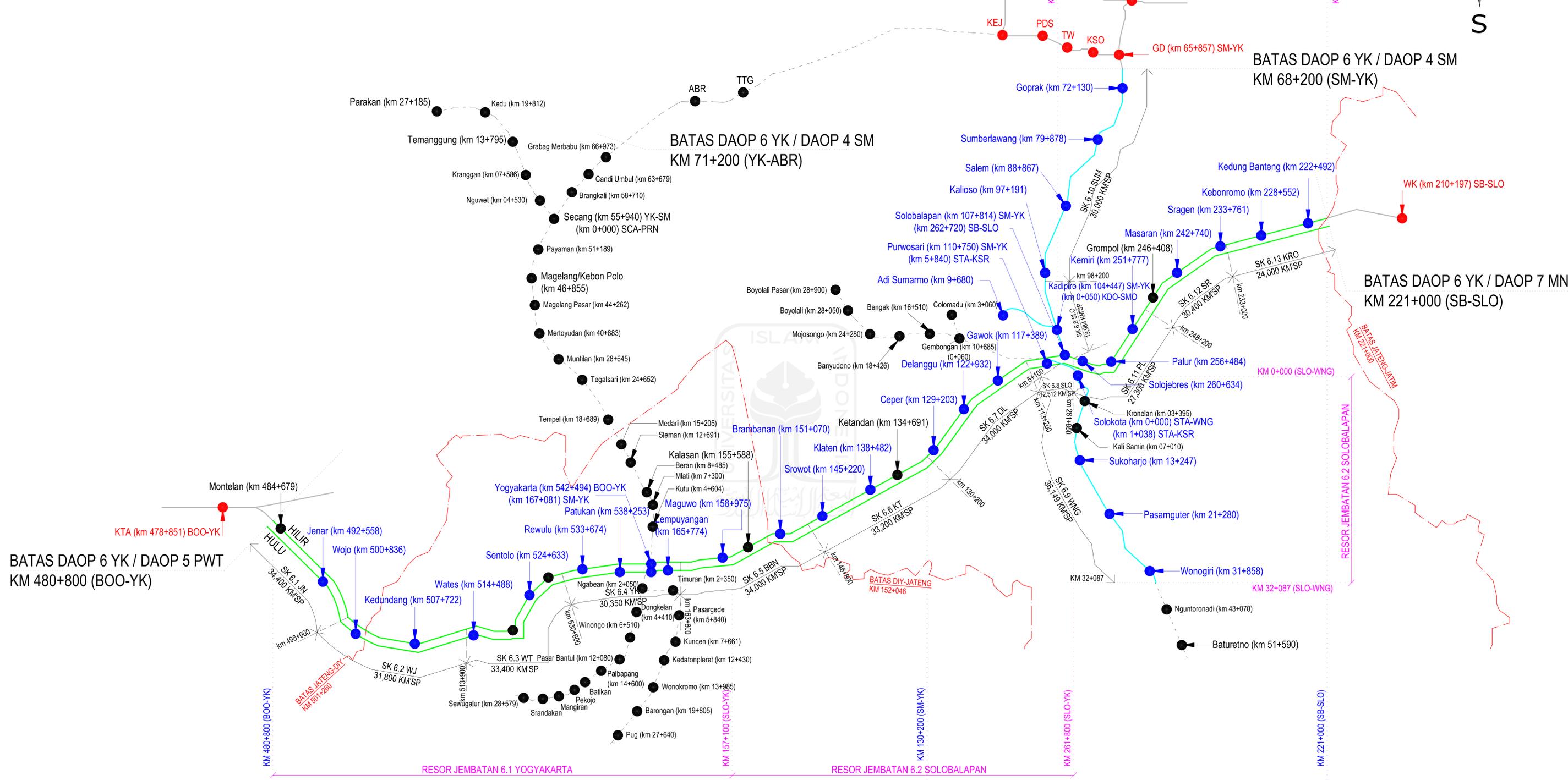
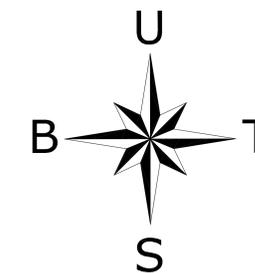
- Rianda, I. R. 2010. Perencanaan Konstruksi Atas Jalan Rel untuk Double Track antara Stasiun Jatinegara sampai Stasiun Bekasi. *Tugas Akhir*. Universitas Gunadarma. Jakarta.
- Rosyidi, S. J. 2015. *Rekayasa Jalan Kereta Api*. LP3M UMY. Yogyakarta.
- Rusbintardjo, G. 2012. *Konstruksi Jalan Baja*. Universitas Islam Sultan Agung Press. Semarang.
- Sekretariat Negara. 2012. *Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor 60 Tahun 2012 Tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api*. Republik Indonesia. Jakarta.
- Utomo, S. H. 2009. *Jalan Rel*. Beta Offset. Yogyakarta.
- Warpani, S. 1990. *Merencanakan Sistem Perangkutan*. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Yulianti, F. 2007. Stabilisasi Tanah Lempung Purwodadi dengan Menggunakan Campuran Abu Batubara dan Kapur ditinjau dari Nilai CBR dan Swelling. *Tugas Akhir*. Universitas Negeri Semarang. Semarang.
- Zulkabir, B. 2018. Perancangan Jalur Ganda Jalan Rel Ruas Stasiun SoloBalapan sampai Stasiun Sragen. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.



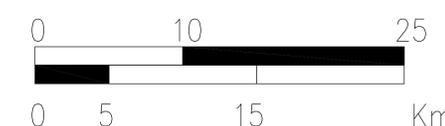
LAMPIRAN



PETA LINTAS JALAN REL & JEMBATAN WILAYAH DAOP 6 YOGYAKARTA



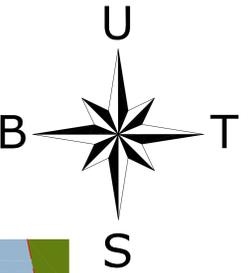
- KETERANGAN :**
- SINGLE TRACK
 - DOUBLE TRACK
 - - - - - LINTAS MATI
 - LINTAS LUAR DAOP
 - - - - - BATAS PROVINSI
 - - - - - BATAS DAOP
 - - - - - BATAS RESOR JALAN REL
 - - - - - BATAS QC
 - - - - - BATAS RESOR JEMBATAN
 - STASIUN
 - STASIUN DITUTUP
 - STASIUN LUAR DAOP



UPDATE APRIL 2021

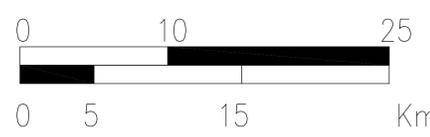


PETA WILAYAH DAOP 6 YOGYAKARTA MENURUT BATAS WILAYAH KABUPATEN



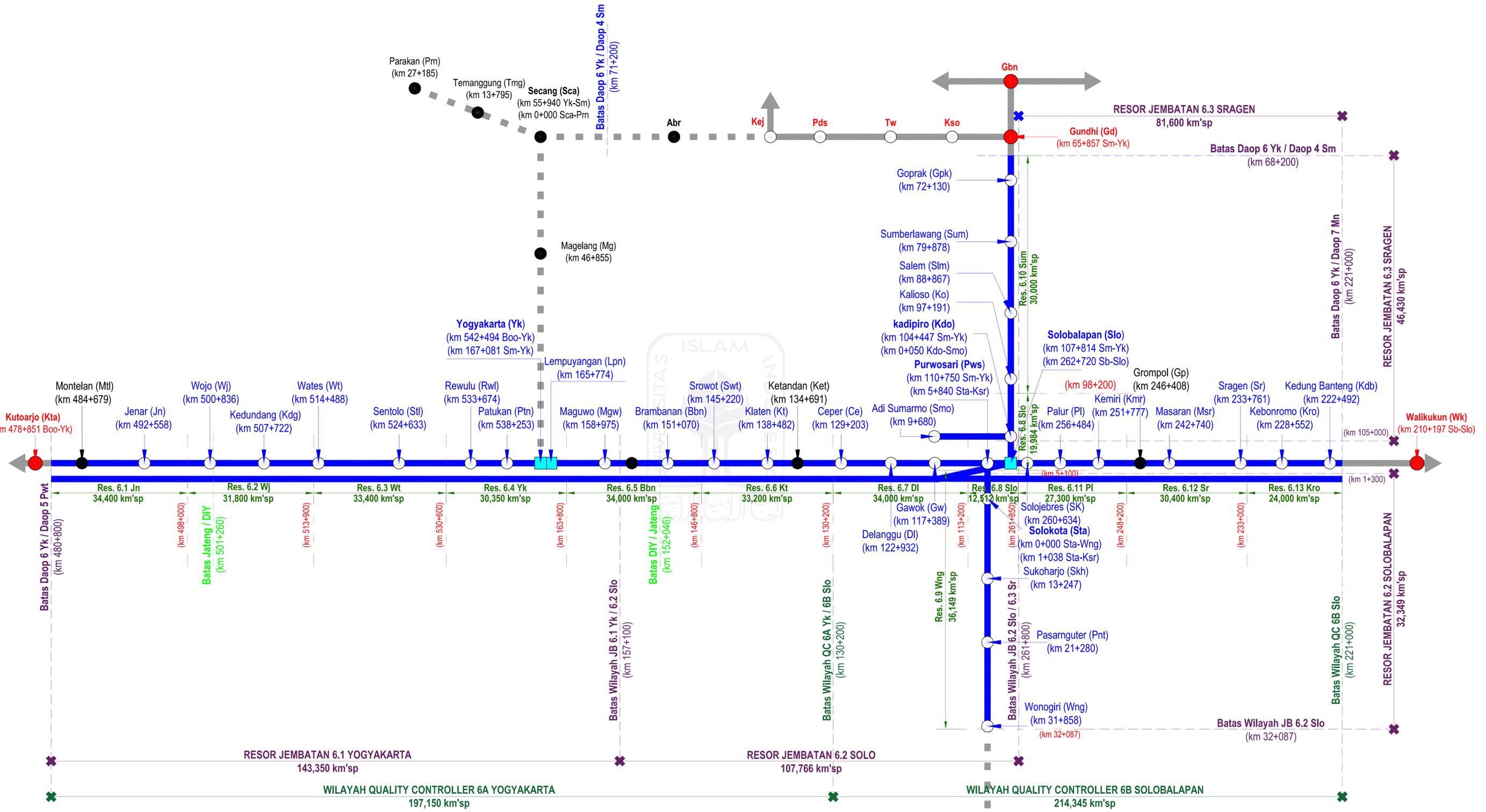
KETERANGAN :

- | | |
|-------------------------------|---|
| — LINTAS OPERASI | BATAS RESOR JEMBATAN |
| —— LINTAS LUAR DAOP | — MELINTASI KOMPLEK TNI AU KM 158+200 S/D 161+900 RESORT 6.5 YK |
| - - - LINTAS MATI | — MELINTASI PERHUTANI KM 69+500 S/D 70+500 RESORT 6.12 SUM |
| - - - - BATAS PROVINSI | — MELINTASI PERHUTANI KM 26+500 S/D 30+700 RESORT 6.13 WNG |
| BATAS DAOP | ● STASIUN |
| - - - - BATAS RESOR JALAN REL | ● STASIUN DITUTUP |
| BATAS QC | ● STASIUN LUAR DAOP |





SKEMA BATAS WILAYAH DAOP 6 YOGYAKARTA



KETERANGAN :

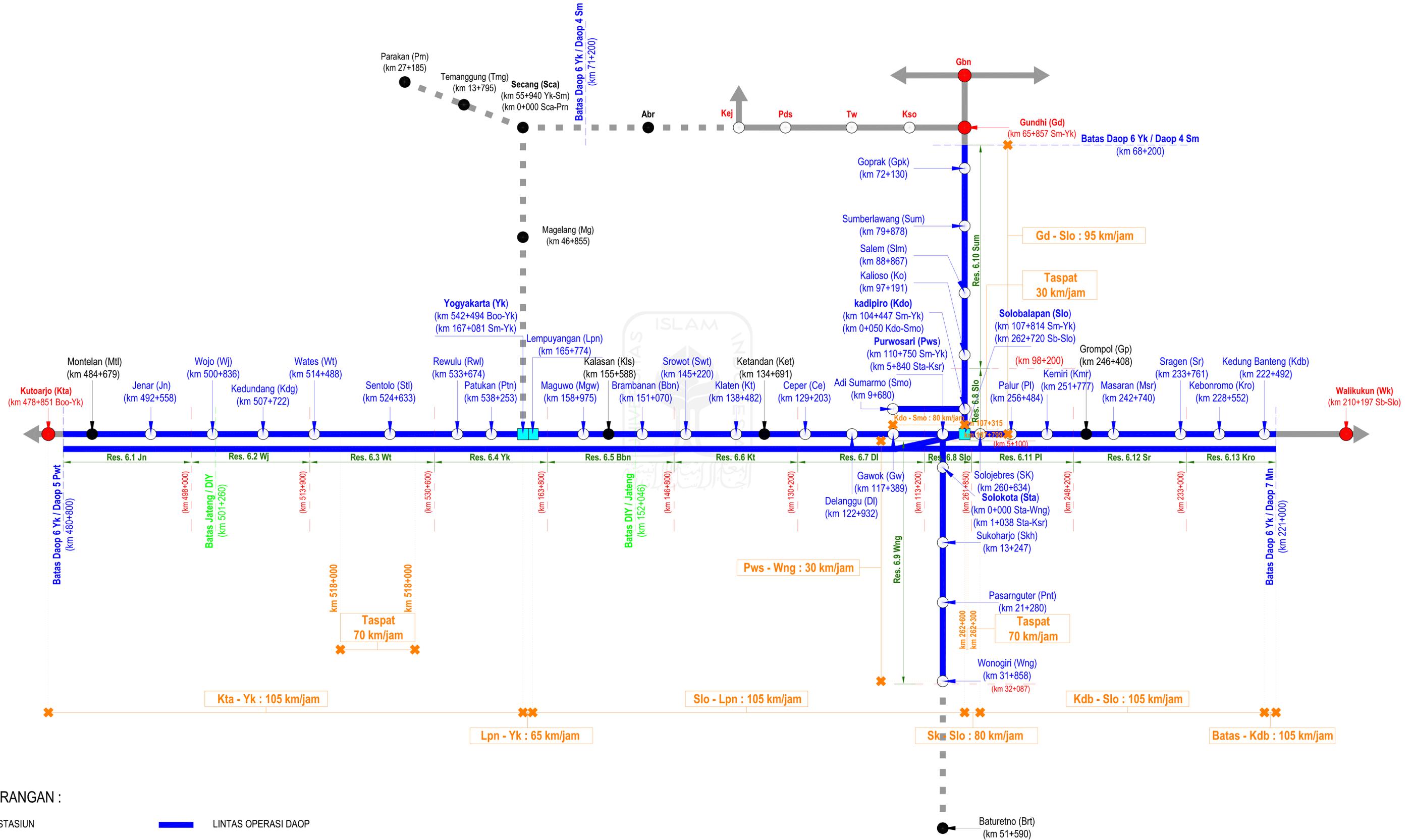
- STASIUN
- STASIUN MATI
- STASIUN BESAR
- STASIUN BESAR LUAR DAOP
- ▬ LINTAS OPERASI DAOP
- ▬ LINTAS OPERASI LUAR DAOP
- ▬ LINTAS NON OPERASI

PANJANG WILAYAH QC A YOGYAKARTA : 197,150 km'sp
 PANJANG WILAYAH QC B SOLOBALAPAN : 214,345 km'sp



SKEMA V-MAKS

DAOP 6 YOGYAKARTA

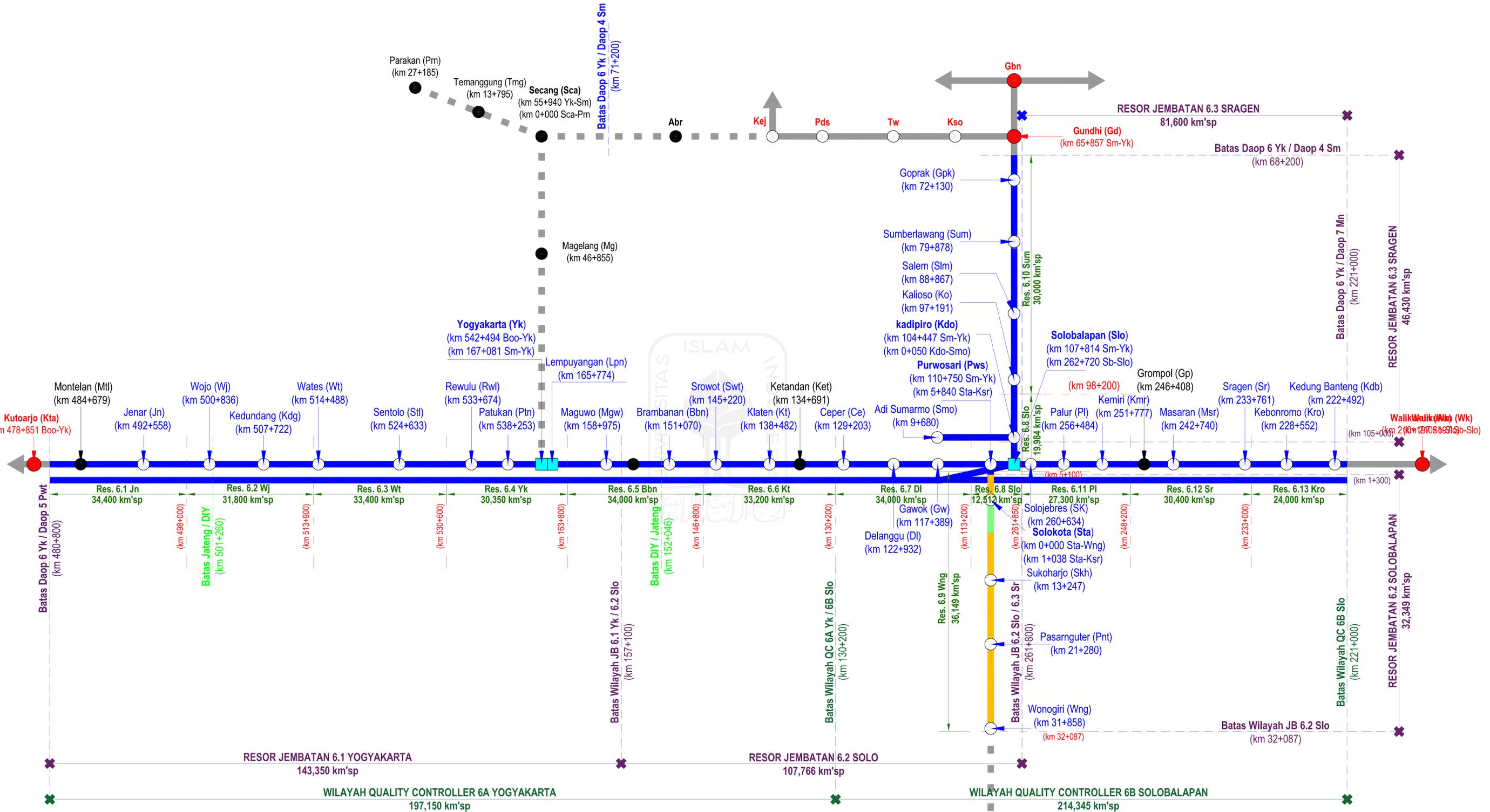


KETERANGAN :

- STASIUN
- STASIUN MATI
- STASIUN BESAR
- STASIUN BESAR LUAR DAOP
- ▬ LINTAS OPERASI DAOP
- ▬ LINTAS OPERASI LUAR DAOP
- ▬ LINTAS NON OPERASI



SKEMA REL WILAYAH DAOP 6 YOGYAKARTA

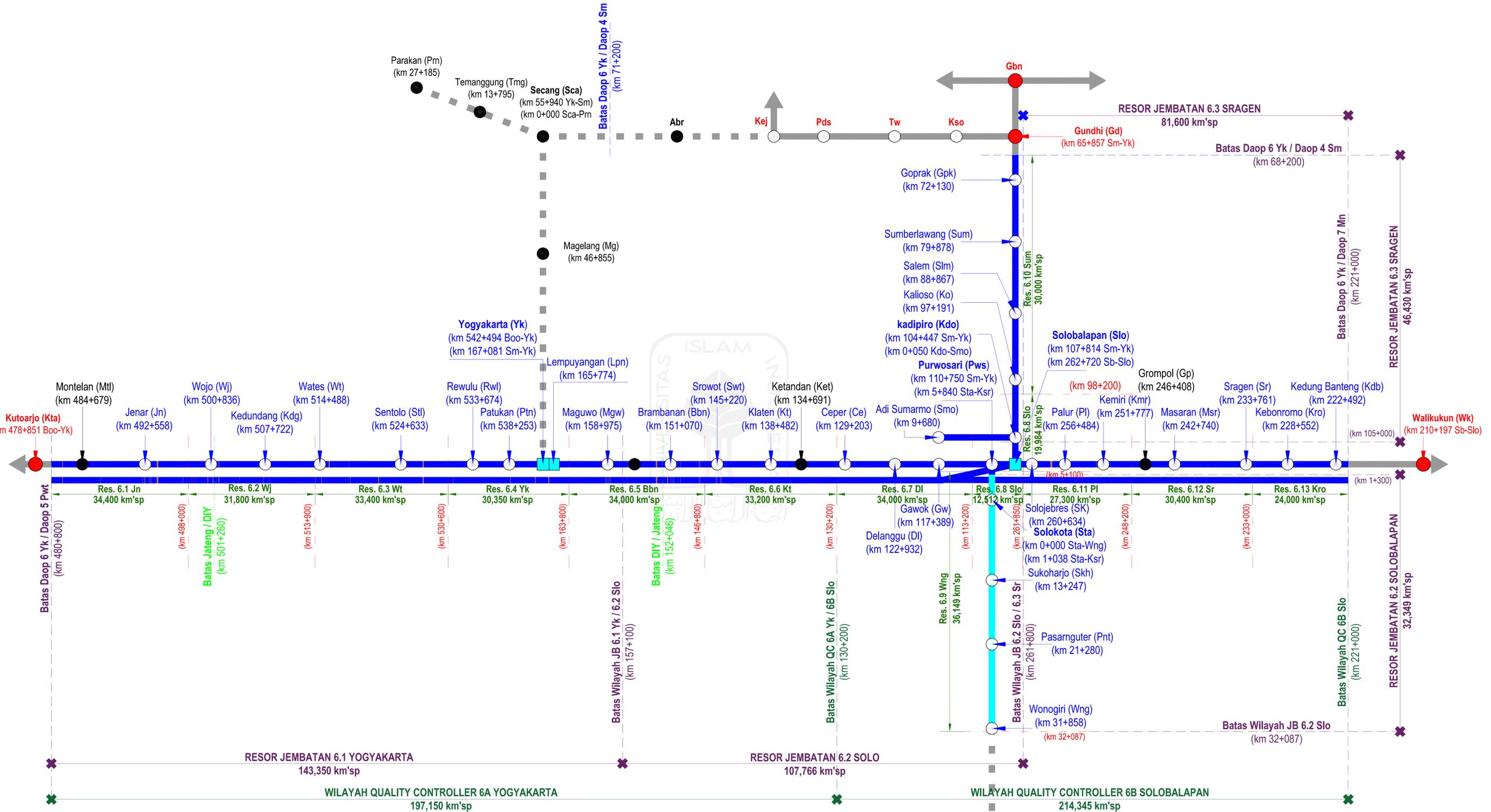


KETERANGAN :

- STASIUN
- STASIUN MATI
- STASIUN BESAR
- STASIUN BESAR LUAR DAOP
- R. 54 : 374,640 km'sp
- R. 50 : - km'sp
- R. 41/42 : 31,202 km'sp
- R. 38 : - km'sp
- R. 33 : 5,687 km'sp
- R. 25 : - km'sp
- LINTAS OPERASI LUAR DAOP
- LINTAS NON OPERASI



SKEMA BANTALAN WILAYAH DAOP 6 YOGYAKARTA

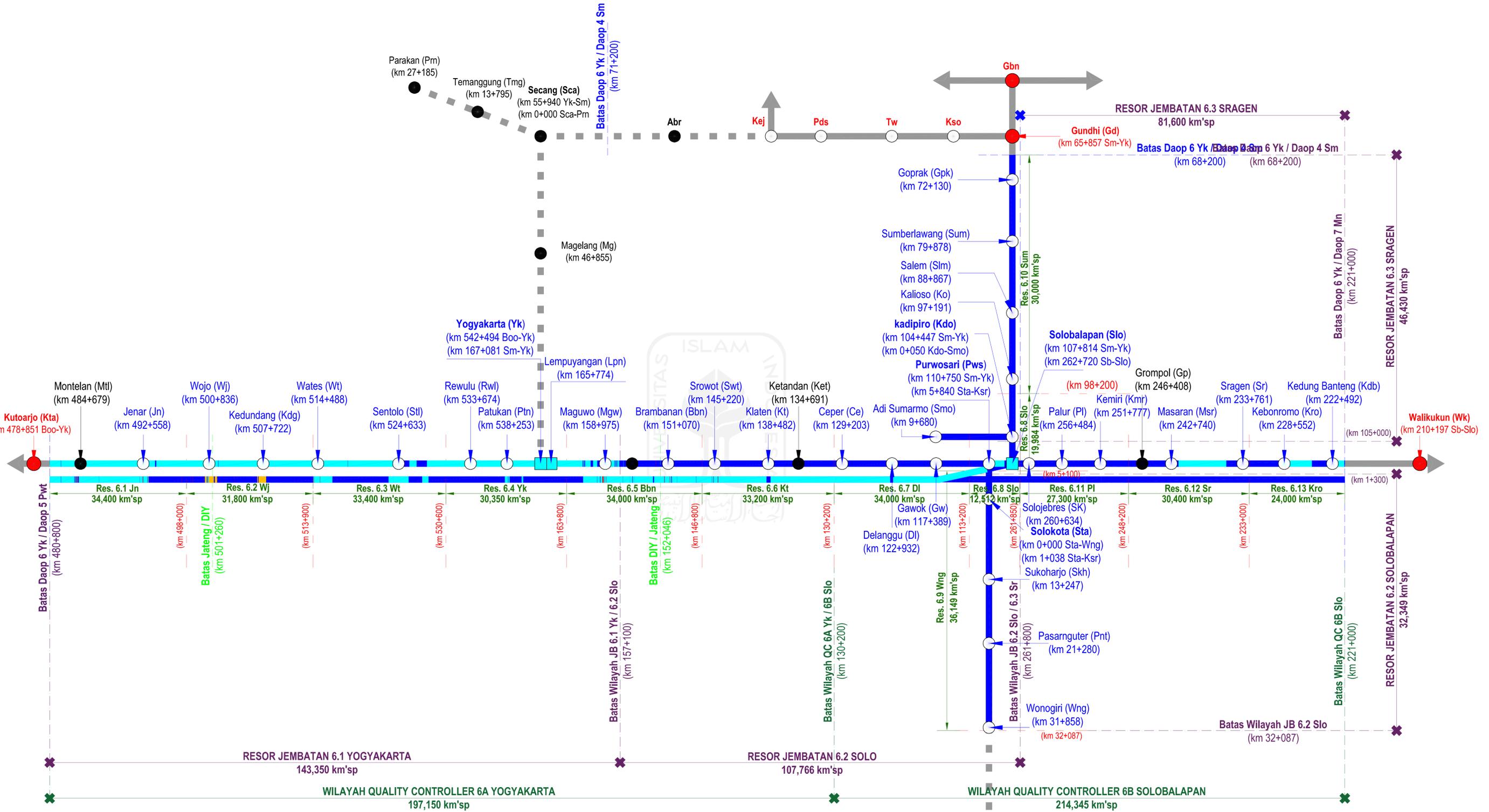


KETERANGAN :

- STASIUN
- STASIUN MATI
- STASIUN BESAR
- STASIUN BESAR LUAR DAOP
- BANTALAN BETON : 372,912 km'sp
- BANTALAN BESI : 30,523 km'sp
- BANTALAN KAYU : 8,093 km'sp
- LINTAS OPERASI LUAR DAOP
- - - LINTAS NON OPERASI



SKEMA PENAMBAT WILAYAH DAOP 6 YOGYAKARTA



KETERANGAN :

- STASIUN
- STASIUN MATI
- STASIUN BESAR
- STASIUN BESAR LUAR DAOP
- PENDROL : 260,721 km'sp
- KA. CLIP : 144,684 km'sp
- DE. CLIP : 1,751 km'sp
- KAKU : 4,374 km'sp
- LINTAS OPERASI LUAR DAOP
- LINTAS NON OPERASI



KUTOARJO - PURWOSARI - SOLOBALAPAN - WALIKUKUN

GUNDIH - KADIPIRO - SOLOBALAPAN

KADIPIRO - ADI SOEMARMO

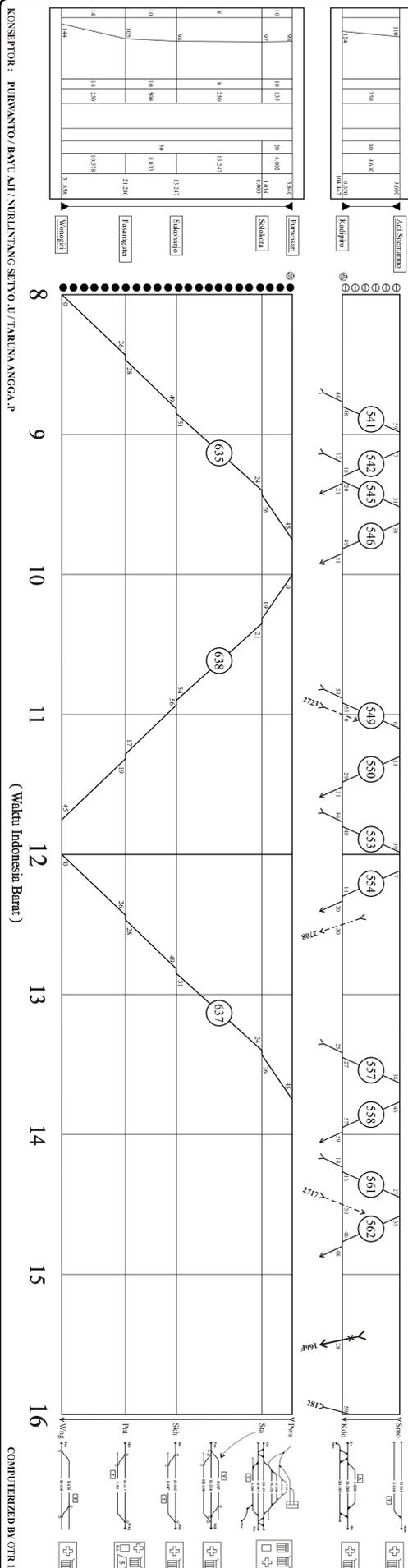
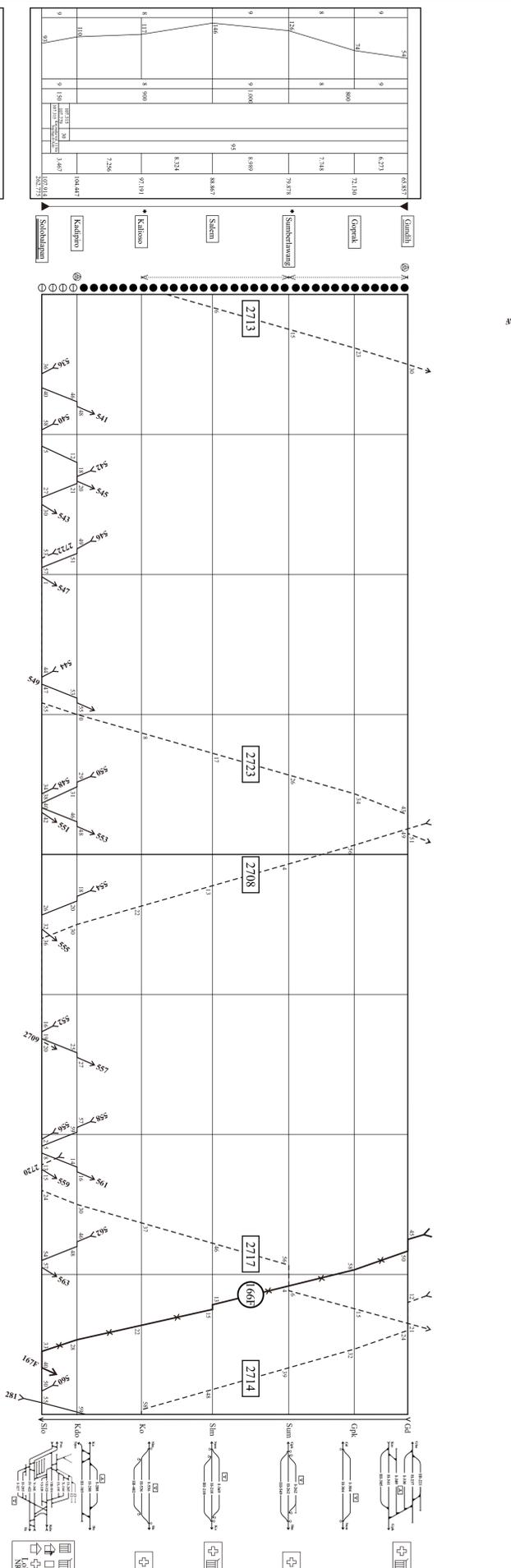
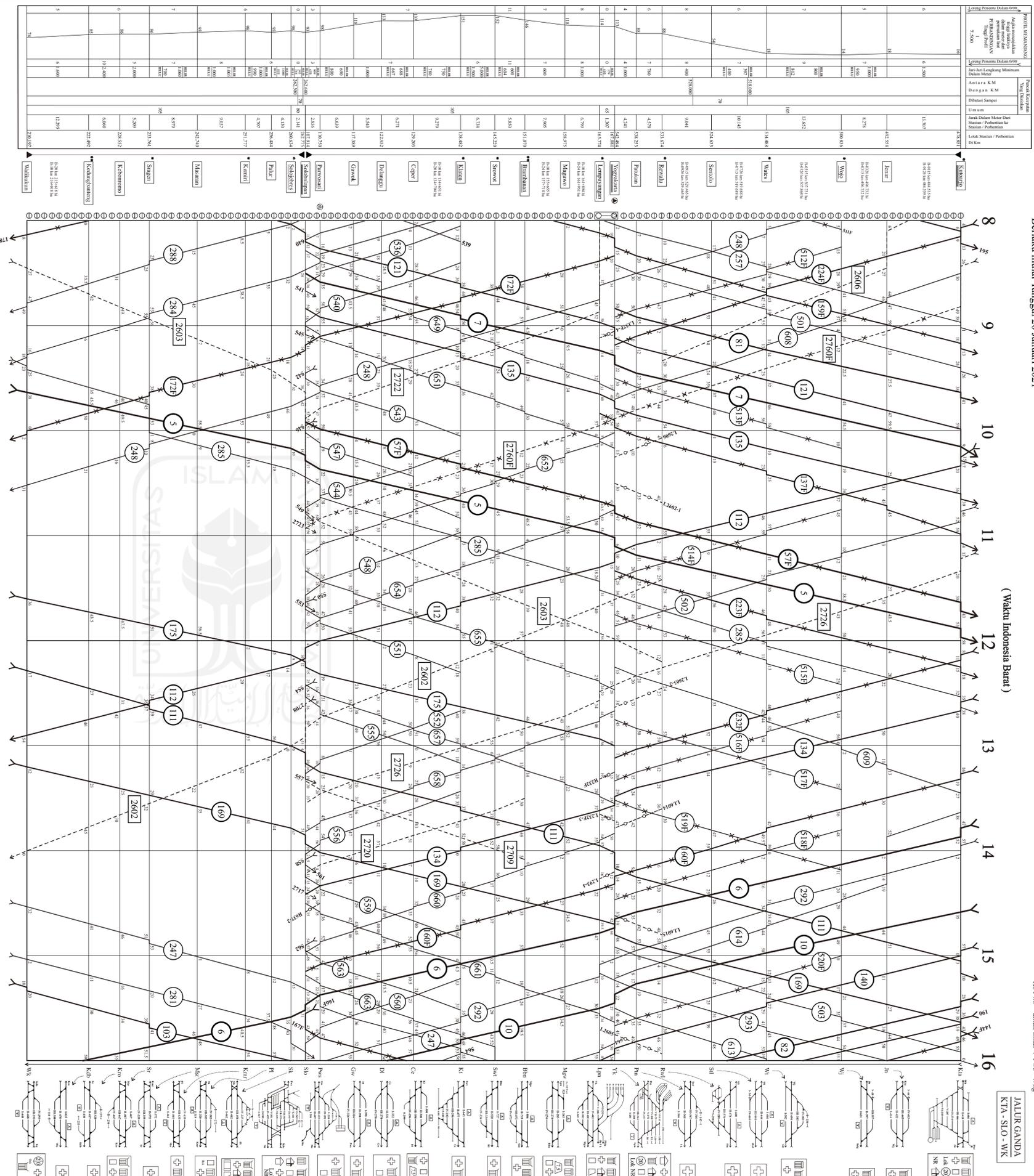
PURWOSARI - WONOGIRI

Yang berhak mengurungkan dan menbatalkan perjalanan KA
Ks YK untuk kelas : YK - K dan YK - Sio
Ks Sio untuk kelas : Sio - Gd Sio - W dan Sio - Sino
Ks Pws untuk kelas : Pws - Wng

Berlaku mulai Tanggal 20 Januari 2021



(Waktu Indonesia Barat)



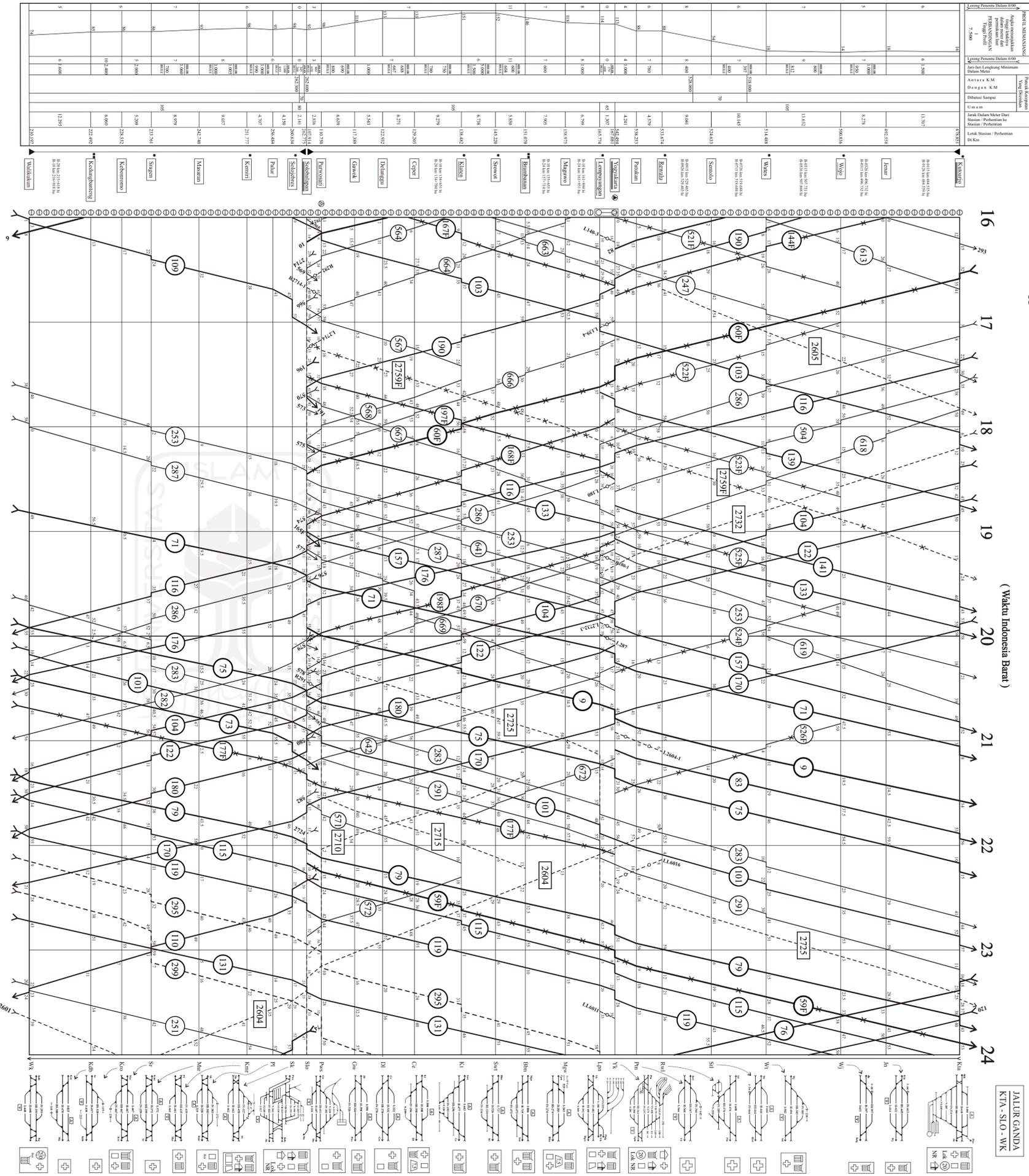


Berlaku mulai Tanggal 20 Januari 2021

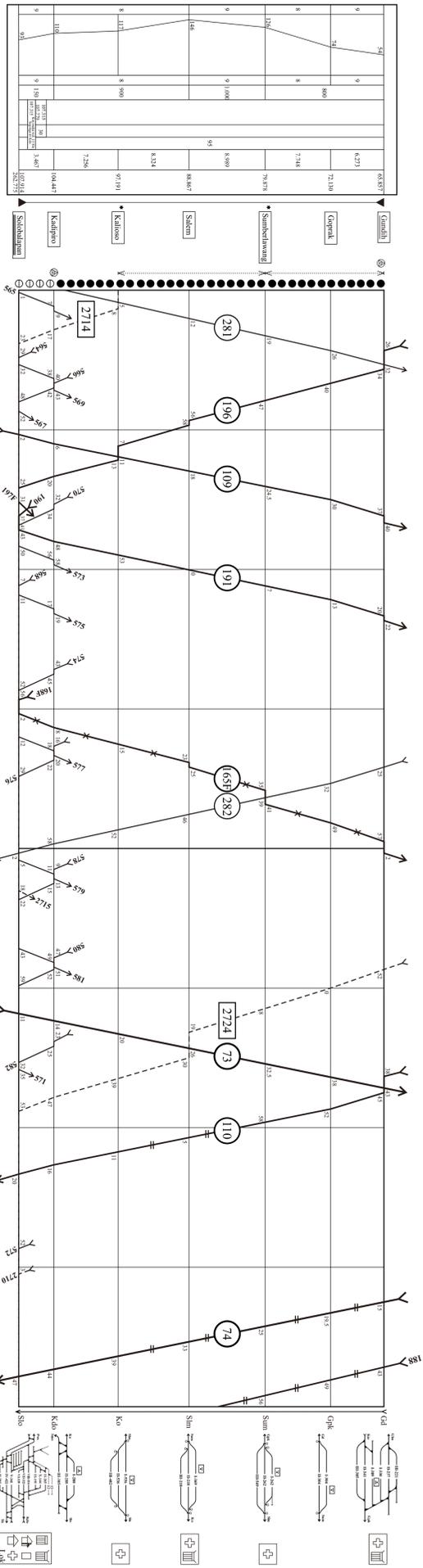
Yang berhak menyerahkan dan membenarkan perjalanan KA
 Ks YK
 untuk lintas : YK - Kaidan YK - Sio
 Ks Sio
 untuk lintas : Sio - Gd Sio - Wdn Sio - Sino
 Ks Pws
 untuk lintas : Pws - Wng

(Waktu Indonesia Barat)

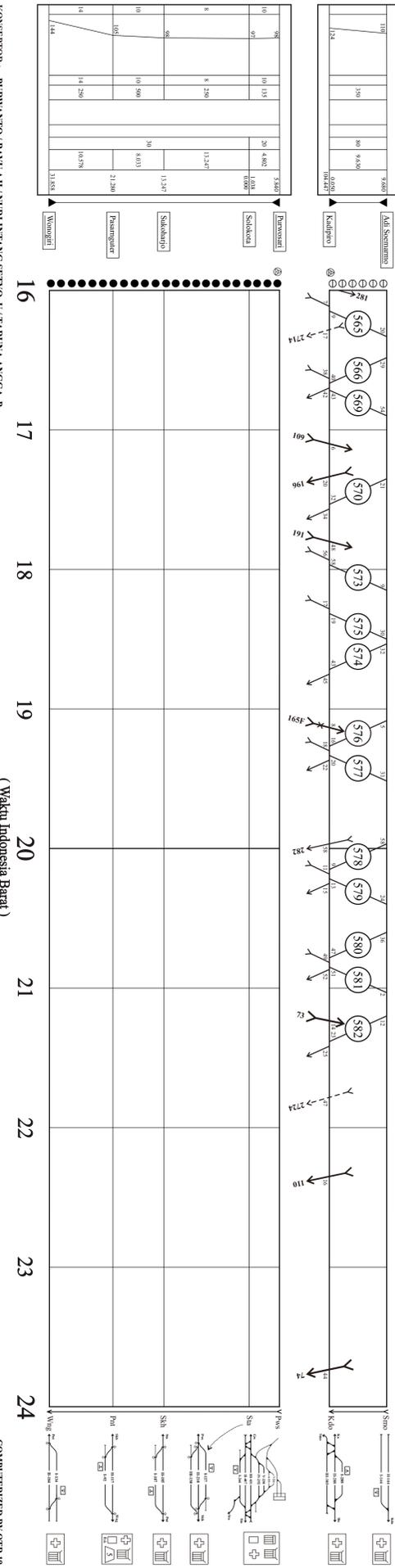
JALUR GANDA
 KTA - SIO - WK



Kategori	Detail Pergerakan		Kategori	Detail Pergerakan	
	No. Kereta	Jumlah		No. Kereta	Jumlah
Kategori	18	6	Kategori	18	6
16	18	6	16	18	6
17	18	6	17	18	6
18	18	6	18	18	6
19	18	6	19	18	6
20	18	6	20	18	6
21	18	6	21	18	6
22	18	6	22	18	6
23	18	6	23	18	6
24	18	6	24	18	6



Kategori	Detail Pergerakan		Kategori	Detail Pergerakan	
	No. Kereta	Jumlah		No. Kereta	Jumlah
Kategori	9	3	Kategori	9	3
9	9	3	9	9	3
9	9	3	9	9	3
9	9	3	9	9	3
9	9	3	9	9	3
9	9	3	9	9	3



Kategori	Detail Pergerakan		Kategori	Detail Pergerakan	
	No. Kereta	Jumlah		No. Kereta	Jumlah
Kategori	10	3	Kategori	10	3
10	10	3	10	10	3
10	10	3	10	10	3
10	10	3	10	10	3
10	10	3	10	10	3
10	10	3	10	10	3

PASSING TONNAGE
DAERAH OPERASI 6 YOGYAKARTA
TAHUN 2021

NO	KORIDOR / LINTAS	JUMLAH KA/HR	PASSING TONNAGE (JT TON/THN)	V MAX (KM/JAM)	GOLONGAN UIC	KELAS JALAN (PD.10)	REL		BANTALAN	PENAMBAT	KETERANGAN
							TYPE	PANJANG/ PENDEK			
1	Kta - Yk (HU)	60	12990	105	4	II	R.54	Panjang	Beton	Elastis	
2	Kta - Yk (HI)	60	12990	105	4	II	R.54	Panjang	Beton	Elastis	
3	Slo - Yk (HU)	68	15308	105	4	II	R.54	Panjang	Beton	Elastis	
4	Slo - Yk (HI)	68	15308	105	4	II	R.54	Panjang	Beton	Elastis	
5	Kdb - Slo (HU)	30	7073	105	5	II	R.54	Panjang	Beton	Elastis	
6	Kdb - Slo (HI)	29	7073	105	5	II	R.54	Panjang	Beton	Elastis	
7	Gd - Slo	22	7265	95	5	III	R.54	Panjang	Beton	Elastis	
8	Kdo - Smo	32	7265	80	5	V	R.54	Panjang	Beton	Elastis	
9	Pws - Wng	4	268	30	9	V	R.42/R.38/ R.33/R/25	Pendek	Beton / Kayu / Besi	Elastis/Rigid	

DATA LINGKUNG WILAYAH DAOP 6 YOGYAKARTA

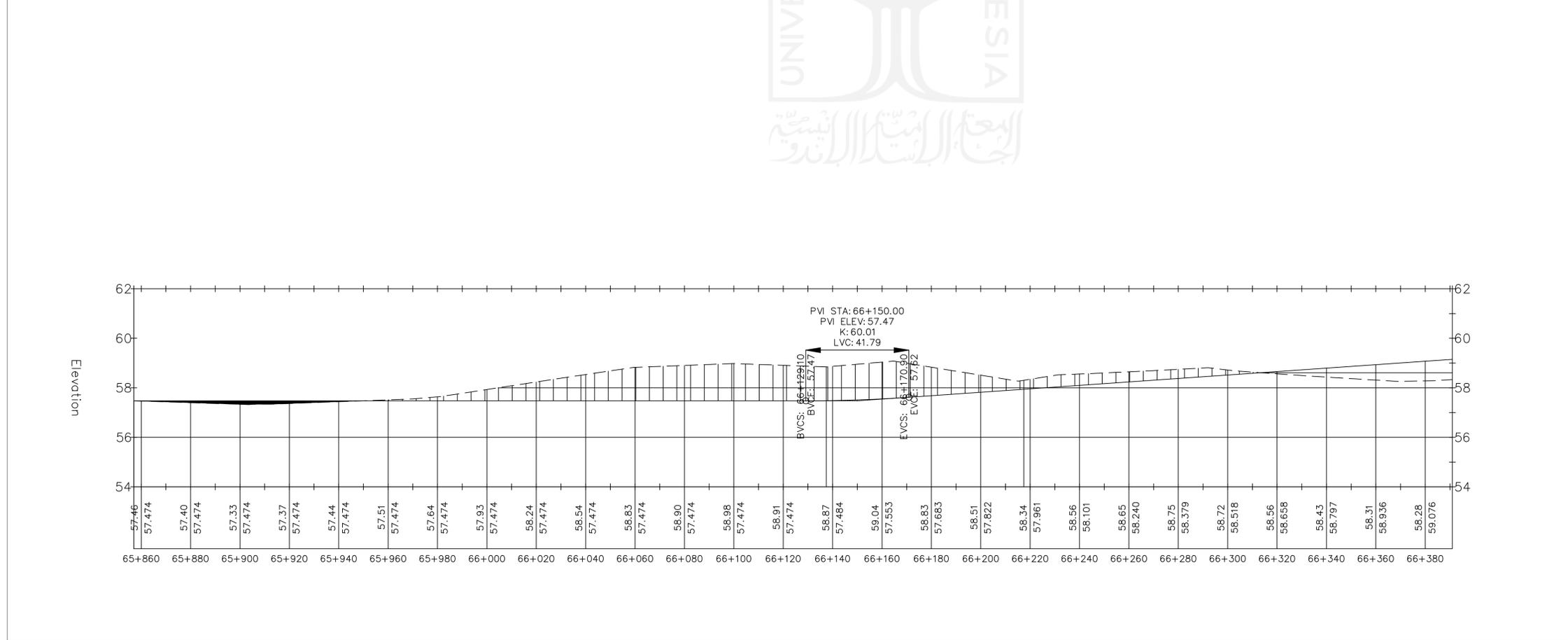
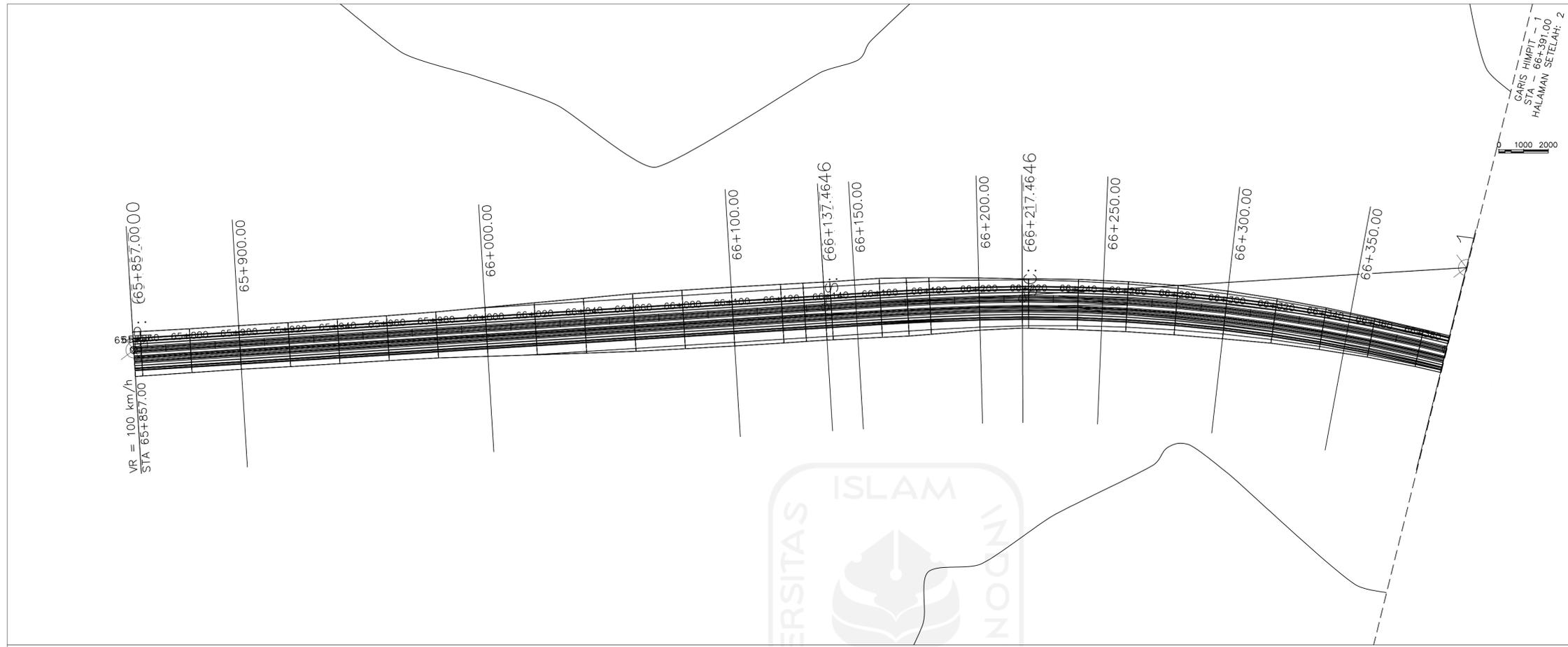
TAHUN 2021

NO	LINTAS	KORIDOR	ANTARA	RESOR	NO. LINGKUNG	KM/HM ML	KM/HM AL	JALUR	JENIS REL	RADIUS (m)	H (PERTINGGIAN) (mm)	PANJANG PL (m)	PANJANG PLA (m)	PANJANG TOTAL (m)	V MAX (GAPEKA)	ADANYA REL GONSOL (R-250) (Ada/Tidak)	KETERANGAN
1	SM-YK	GD-SLO	GD-GPK	6.10 SUMBERLAWANG	305T	66+137	66+643	TUNGGAL	R.54	700	80.00	346.54	80.00	506.54	95	Tidak	
2	SM-YK	GD-SLO	GD-GPK	6.10 SUMBERLAWANG	304T	67+046	67+643	TUNGGAL	R.54	600	90.00	416.85	90.00	596.85	95	Tidak	
3	SM-YK	GD-SLO	GD-GPK	6.10 SUMBERLAWANG	303T	67+993	68+948	TUNGGAL	R.54	1070	55.00	844.50	55.00	954.50	95	Tidak	
4	SM-YK	GD-SLO	GD-GPK	6.10 SUMBERLAWANG	302T	69+352	69+598	TUNGGAL	R.54	800	70.00	106.19	70.00	246.19	95	Tidak	
5	SM-YK	GD-SLO	GD-GPK	6.10 SUMBERLAWANG	301T	69+648	69+841	TUNGGAL	R.54	1000	55.00	82.84	55.00	192.84	95	Tidak	
6	SM-YK	GD-SLO	GD-GPK	6.10 SUMBERLAWANG	300T	70+090	70+711	TUNGGAL	R.54	710	80.00	460.38	80.00	620.38	95	Tidak	
7	SM-YK	GD-SLO	GD-GPK	6.10 SUMBERLAWANG	299T	70+990	71+635	TUNGGAL	R.54	800	70.00	505.66	70.00	645.66	95	Tidak	

DATA KELANDAIAAN JALAN REL WILAYAH DAOP 6 YOGYAKARTA

TAHUN 2021

NO	RESOR	LINTAS	ANTARA	LOKASI KM/HM AWAL	LOKASI KM/HM AKHIR	JENIS LANDAI (NAIK/TURUN)	NILAI LANDAI (%)	PANJANG (M' SP)	JALUR (HULU/HILIR/TUNGGAL)	TGL. PENGUKURAN TERAKHIR	KETERANGAN
1	6.10 SUMBERLAWANG	SM-YK	GD-GPK	66+150	67+550	NAIK	0.7	1400	TUNGGAL		
2	6.10 SUMBERLAWANG	SM-YK	GD-GPK	68+250	69+650	NAIK	0.5	1400	TUNGGAL		
3	6.10 SUMBERLAWANG	SM-YK	GD-GPK	70+350	71+600	NAIK	0.5	1250	TUNGGAL		



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL

TUGAS AKHIR SKRIPSI

DOSEN PEMBIMBING

Miftahul Fauziah S.T., M.T., Ph.D.

DOSEN PENGUJI I	DOSEN PENGUJI II
--------------------	---------------------

--	--

DIGAMBAR OLEH

Muhammad Rizky Sya'bani
16511002

No.	Revision/Issue	Date

JUDUL TUGAS AKHIR

PERANCANGAN JALUR GANDA
KERETA API
STASIUN GUNDIH - STASIUN
GOPRAK

CATATAN

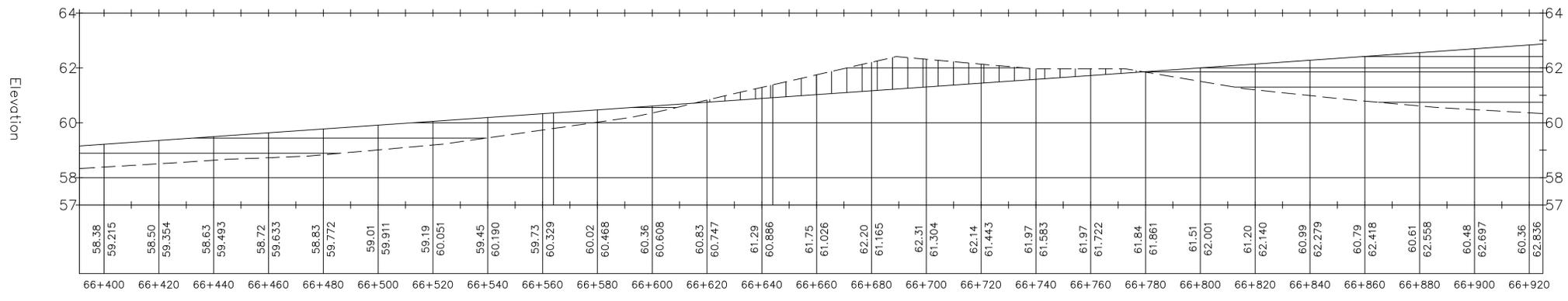
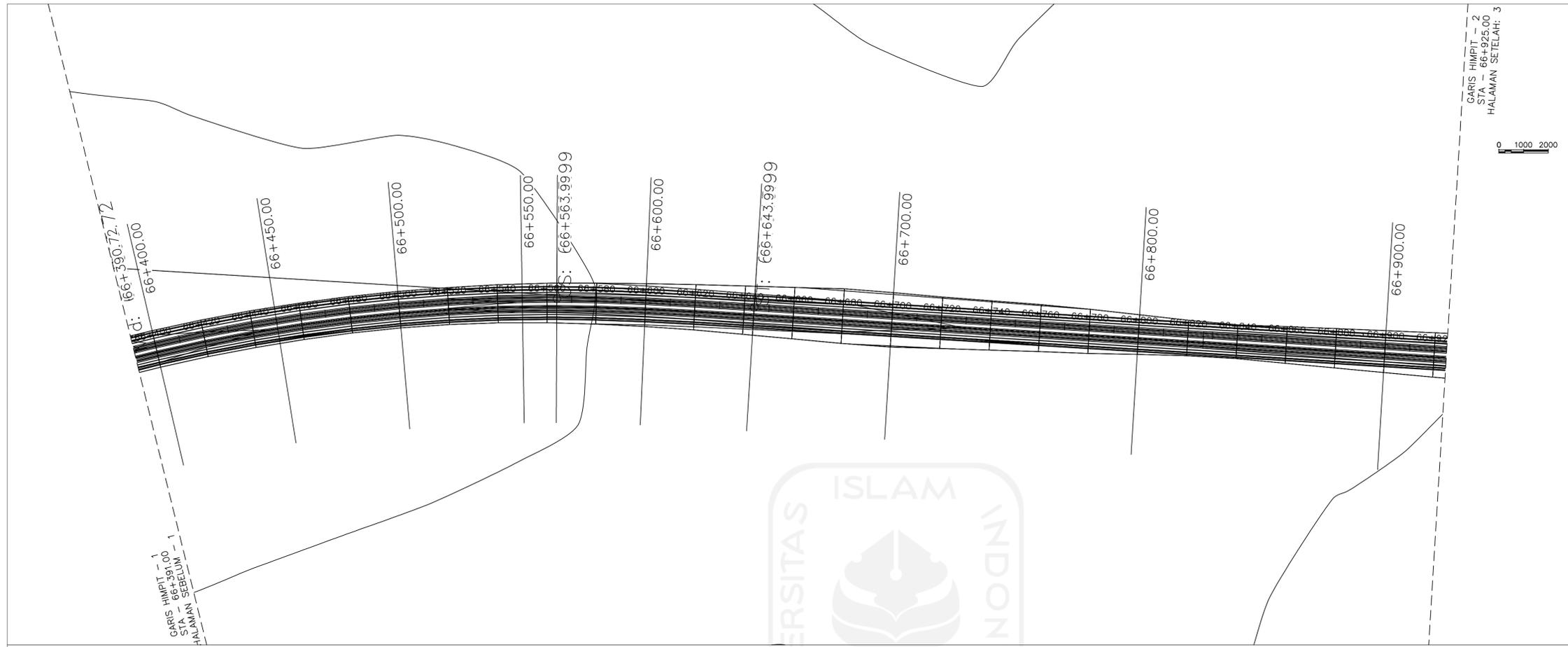
TUGAS AKHIR

Date
21.05.2022

Scale
1:1000

Sheet

1



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL

TUGAS AKHIR SKRIPSI
DOSEN PEMBIMBING

Miftahul Fauziah S.T., M.T., Ph.D.

DOSEN PENGUJI I	DOSEN PENGUJI II

DIGAMBAR OLEH

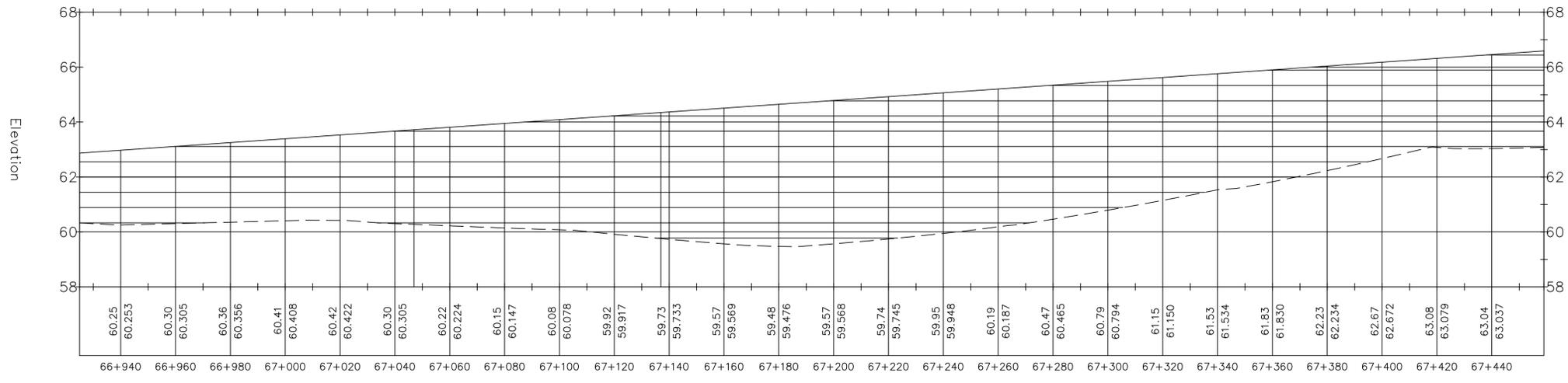
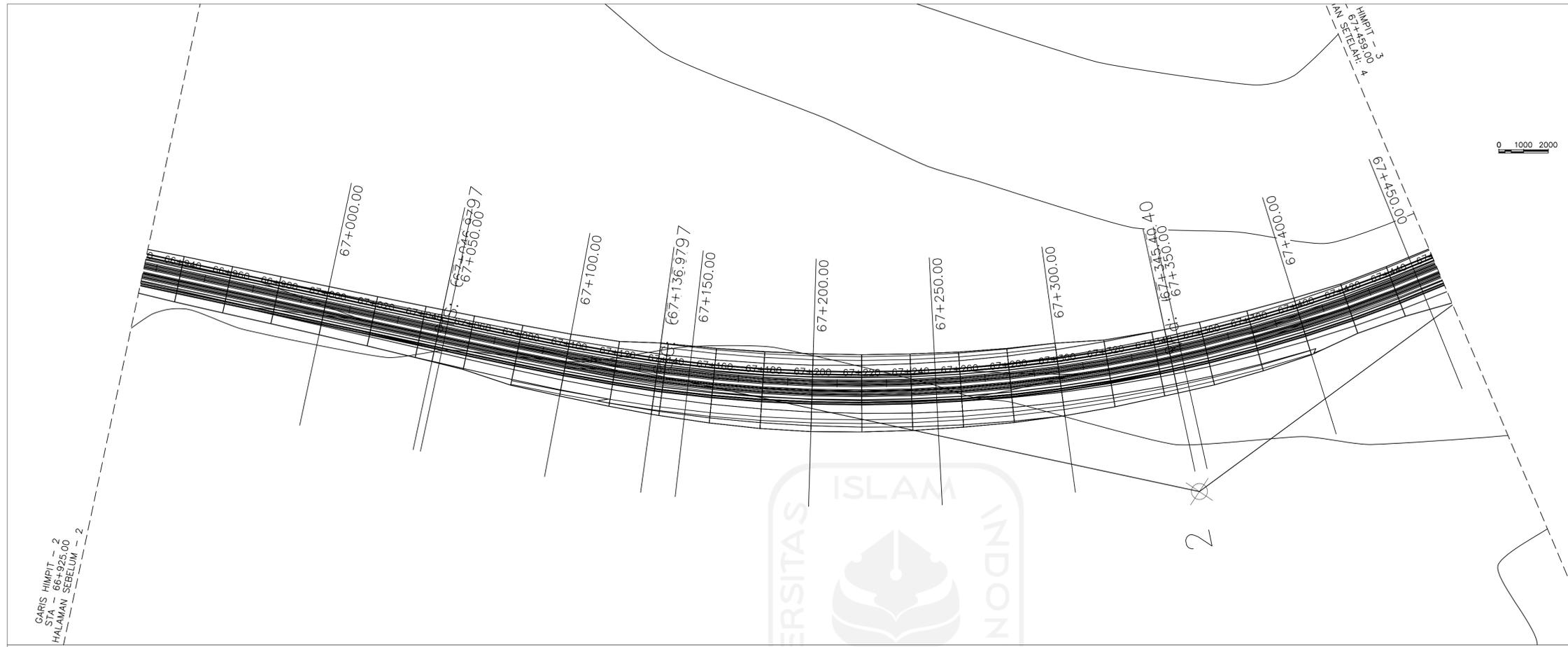
Muhammad Rizky Sya'bani
16511002

No.	Revision/Issue	Date

JUDUL TUGAS AKHIR
PERANCANGAN JALUR GANDA
KERETA API
STASIUN GUNDIH - STASIUN
GOPRAK

CATATAN

TUGAS AKHIR
Date: 21.05.2022
Scale: 1:1000
Sheet: 2



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL

TUGAS AKHIR SKRIPSI
DOSEN PEMBIMBING

Miftahul Fauziah S.T., M.T., Ph.D.

DOSEN PENGUJI I	DOSEN PENGUJI II

DIGAMBAR OLEH

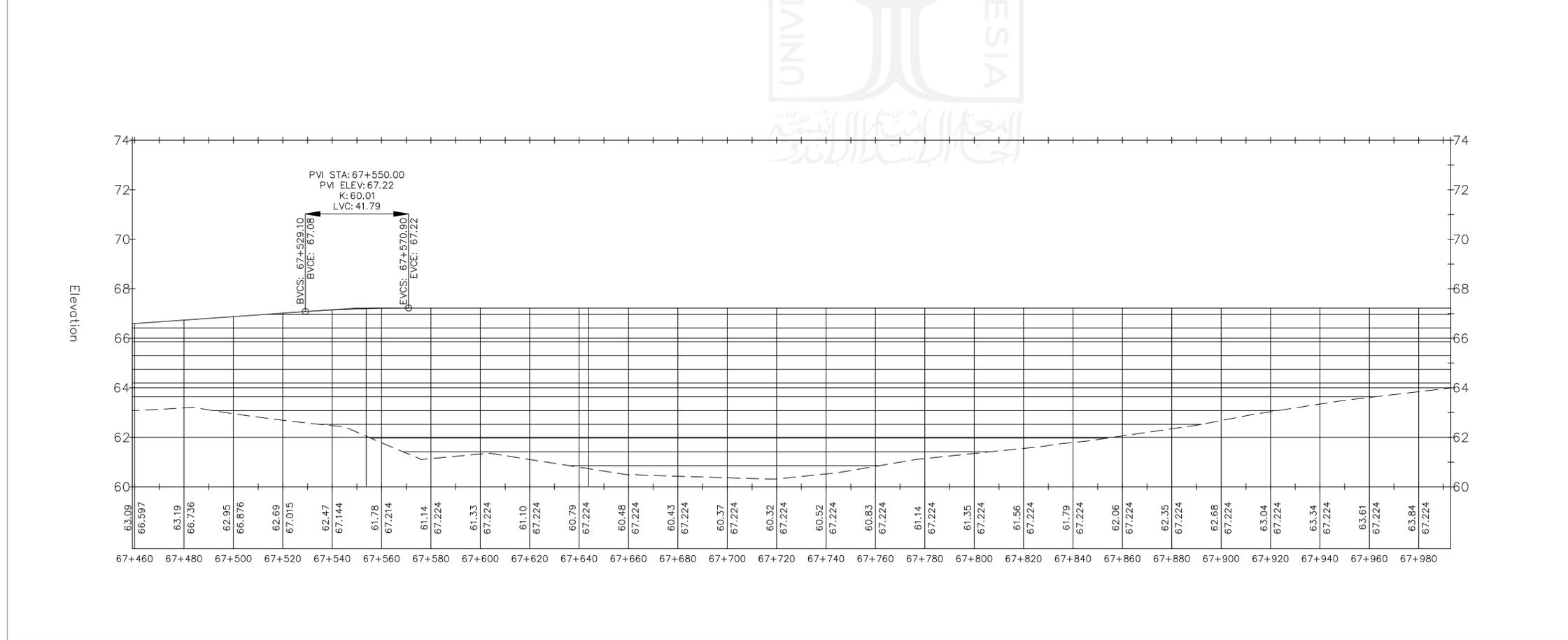
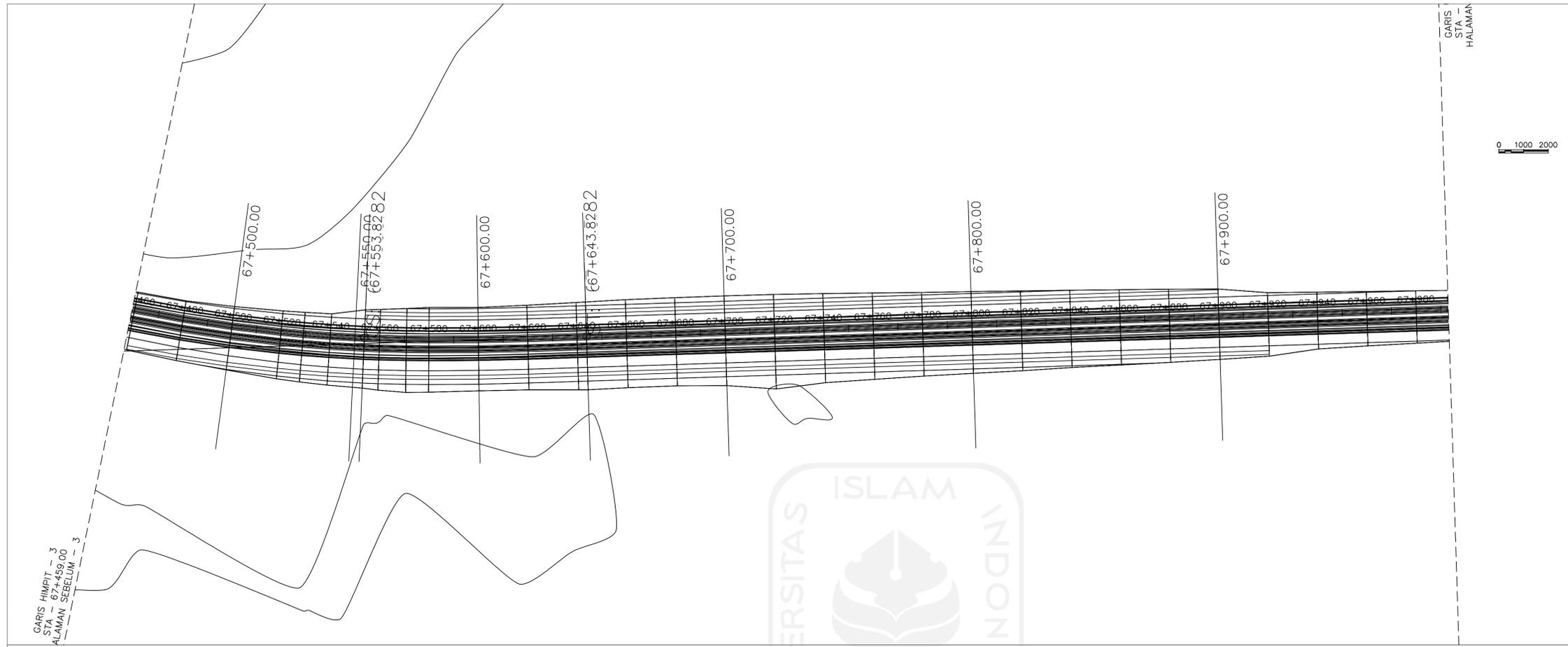
Muhammad Rizky Sya'bani
16511002

No.	Revision/Issue	Date

JUDUL TUGAS AKHIR
PERANCANGAN JALUR GANDA KERETA API STASIUN GUNDIH - STASIUN GOPRAK

CATATAN

TUGAS AKHIR	Sheet
Date 21.05.2022	3
Scale 1:1000	



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL

TUGAS AKHIR SKRIPSI
DOSEN PEMBIMBING

Miftahul Fauziah S.T., M.T., Ph.D.

DOSEN PENGUJI I	DOSEN PENGUJI II

DIGAMBAR OLEH

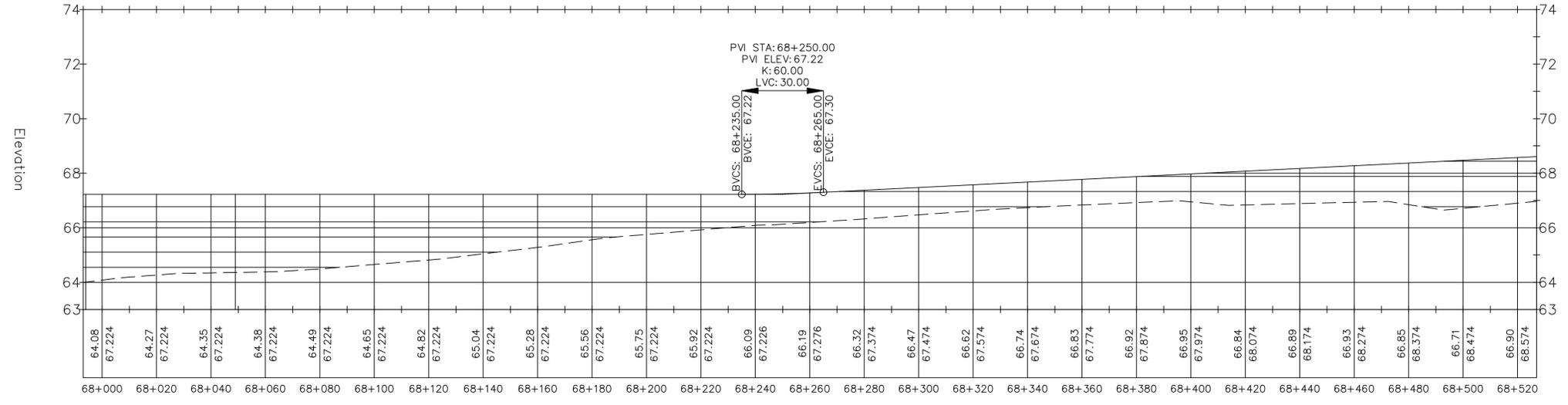
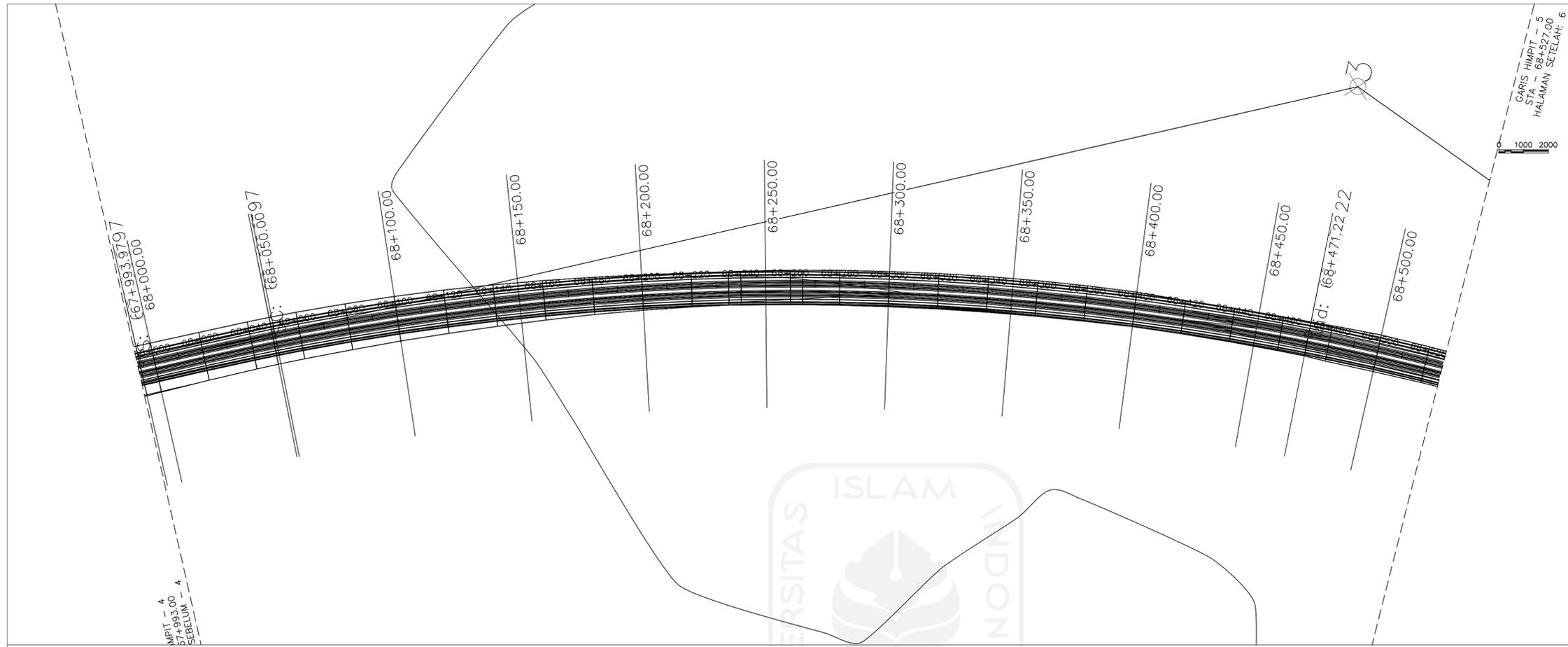
Muhammad Rizky Sya'bani
16511002

No.	Revision/Issue	Date

JUDUL TUGAS AKHIR
PERANCANGAN JALUR GANDA
KERETA API
STASIUN GUNDIH - STASIUN
GOPRAK

CATATAN

TUGAS AKHIR	Sheet
Date 21.05.2022	4
Scale 1:1000	



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL

TUGAS AKHIR SKRIPSI
DOSEN PEMBIMBING

Miftahul Fauziah S.T., M.T., Ph.D.

DOSEN PENGUJI I	DOSEN PENGUJI II

DIGAMBAR OLEH

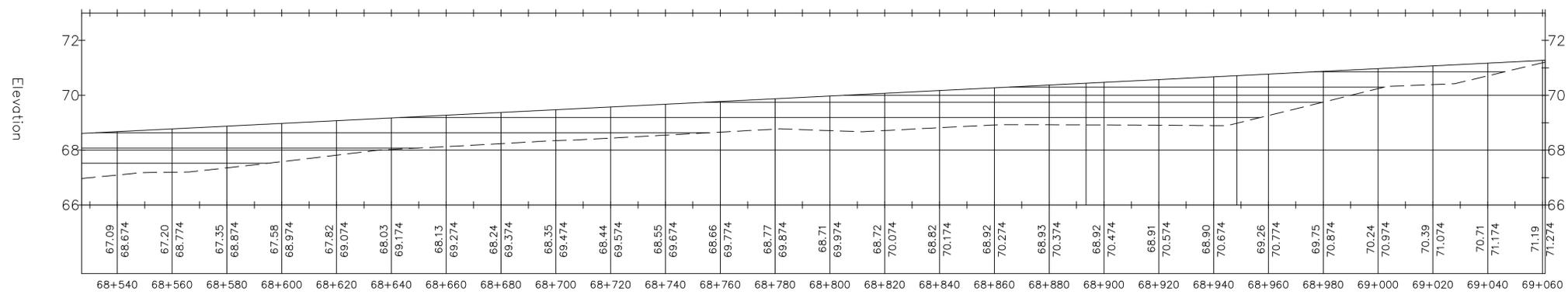
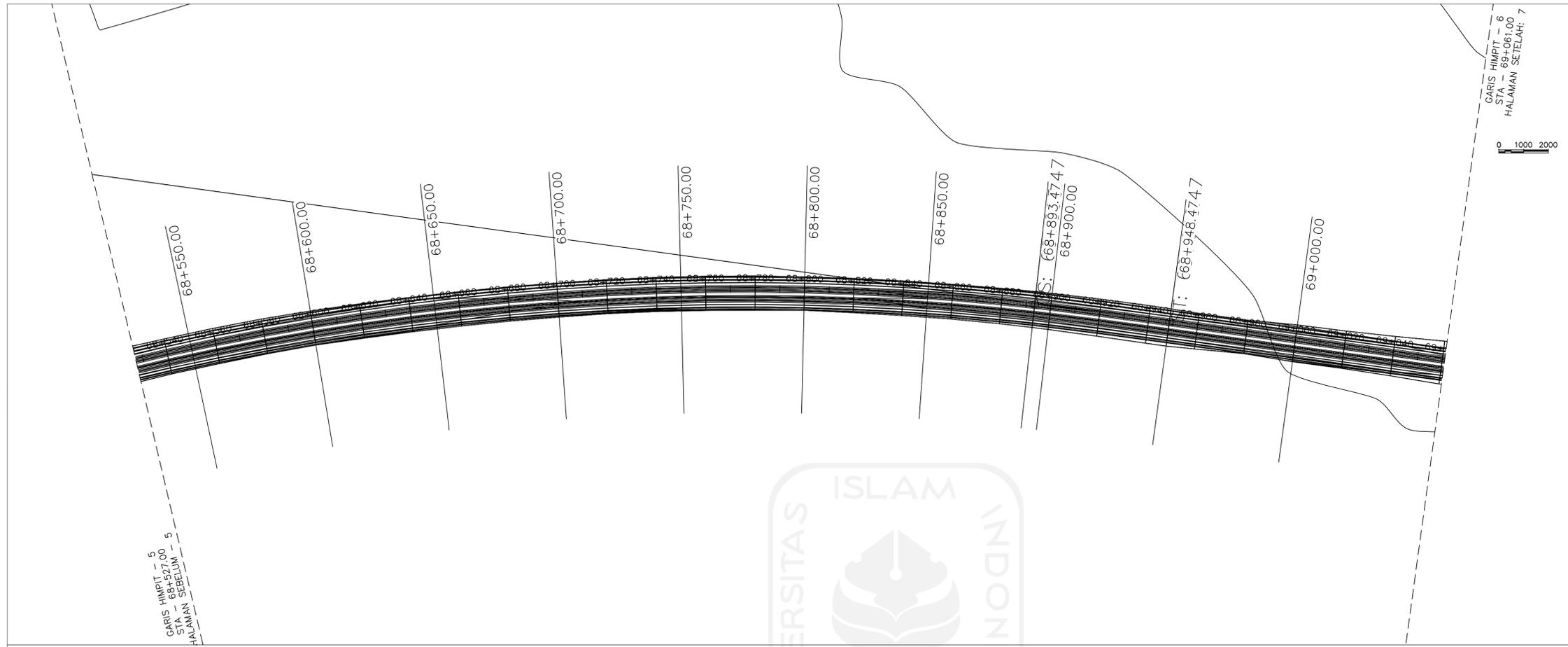
Muhammad Rizky Sya'bani
16511002

No.	Revision/Issue	Date

JUDUL TUGAS AKHIR
PERANCANGAN JALUR GANDA KERETA API STASIUN GUNDIH - STASIUN GOPRAK

CATATAN

TUGAS AKHIR	Sheet
Date 21.05.2022	5
Scale 1:1000	



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL

TUGAS AKHIR SKRIPSI
DOSEN PEMBIMBING

Miftahul Fauziah S.T., M.T., Ph.D.

DOSEN PENGUJI I	DOSEN PENGUJI II

DIGAMBAR OLEH

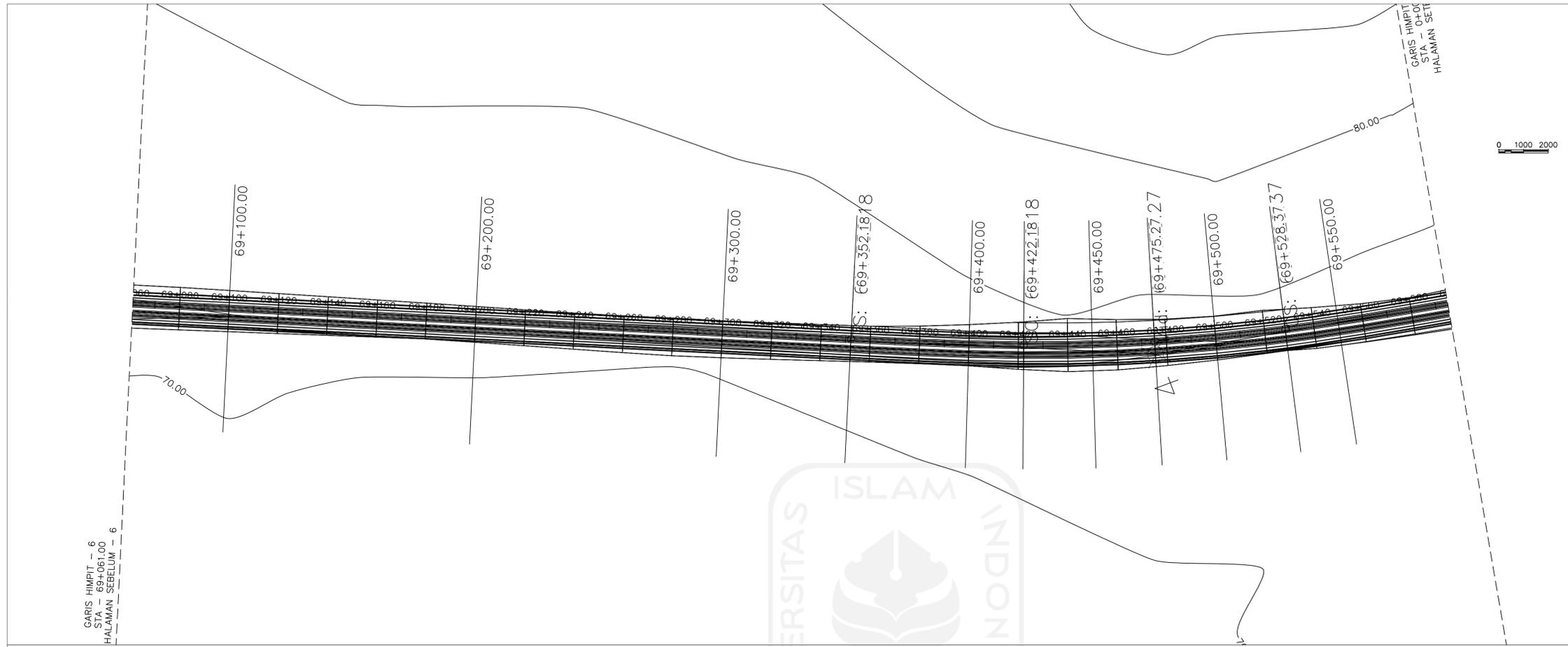
Muhammad Rizky Sya'bani
16511002

No.	Revision/Issue	Date

JUJUL TUGAS AKHIR
PERANCANGAN JALUR GANDA
KERETA API
STASIUN GUNDIH - STASIUN
GOPRAK

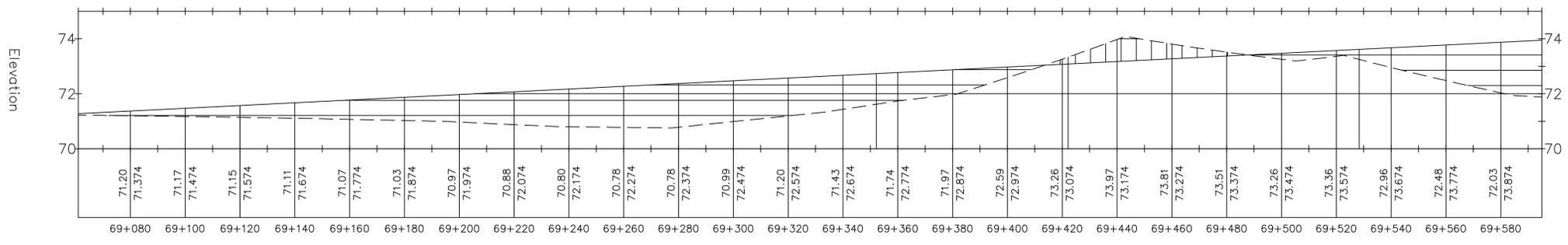
CATATAN

TUGAS AKHIR	Sheet
Date 21.05.2022	6
Scale 1:1000	



GARIS HIMPIT - 6
STA - 69+061.00
HALAMAN SEBELUM 6

0 1000 2000



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL

TUGAS AKHIR SKRIPSI
DOSEN PEMBIMBING

Miftahul Fauziah S.T., M.T., Ph.D.

DOSEN PENGUJI I	DOSEN PENGUJI II

DIGAMBAR OLEH

Muhammad Rizky Sya'bani
16511002

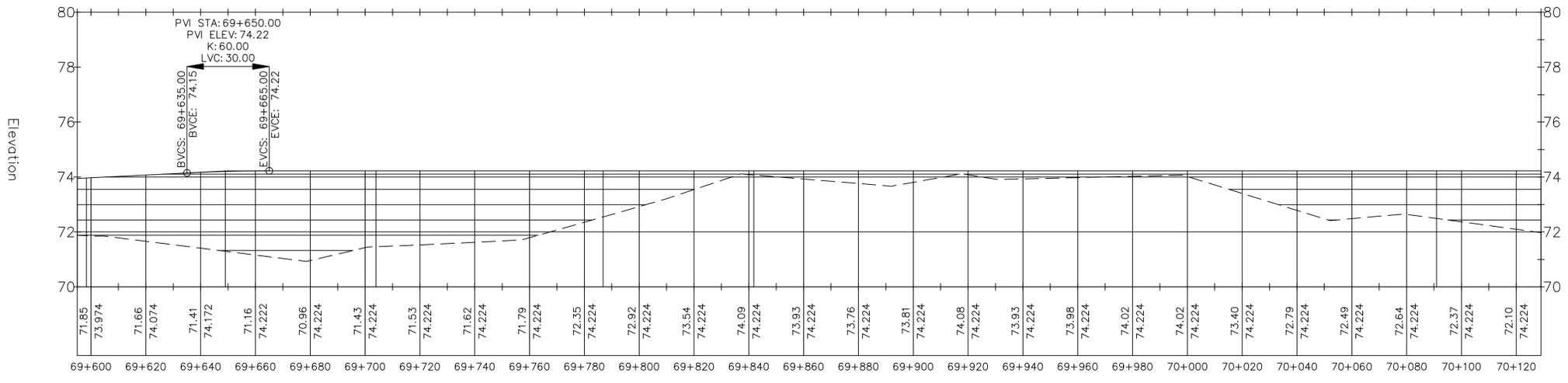
No.	Revision/Issue	Date

JUJUL TUGAS AKHIR

PERANCANGAN JALUR GANDA
KERETA API
STASIUN GUNDIH - STASIUN
GOPRAK

CATATAN

TUGAS AKHIR	Sheet
Date 21.05.2022	7
Scale 1:1000	



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL

TUGAS AKHIR SKRIPSI
DOSEN PEMBIMBING

Miftahul Fauziah S.T., M.T., Ph.D.

DOSEN PENGUJI I	DOSEN PENGUJI II

DIGAMBAR OLEH

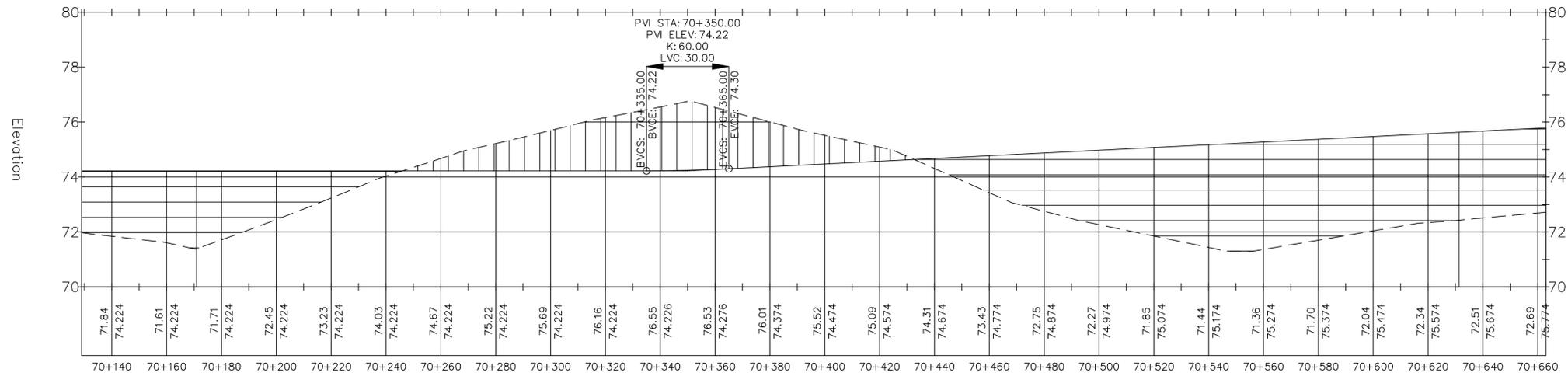
Muhammad Rizky Sya'bani
16511002

No.	Revision/Issue	Date

JUDUL TUGAS AKHIR
PERANCANGAN JALUR GANDA
KERETA API
STASIUN GUNDIH - STASIUN
GOPRAK

CATATAN

TUGAS AKHIR
Date: 21.05.2022
Scale: 1:1000
Sheet: 8



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL

TUGAS AKHIR SKRIPSI
DOSEN PEMBIMBING

Miftahul Fauziah S.T., M.T., Ph.D.

DOSEN PENGUJI I	DOSEN PENGUJI II

DIGAMBAR OLEH

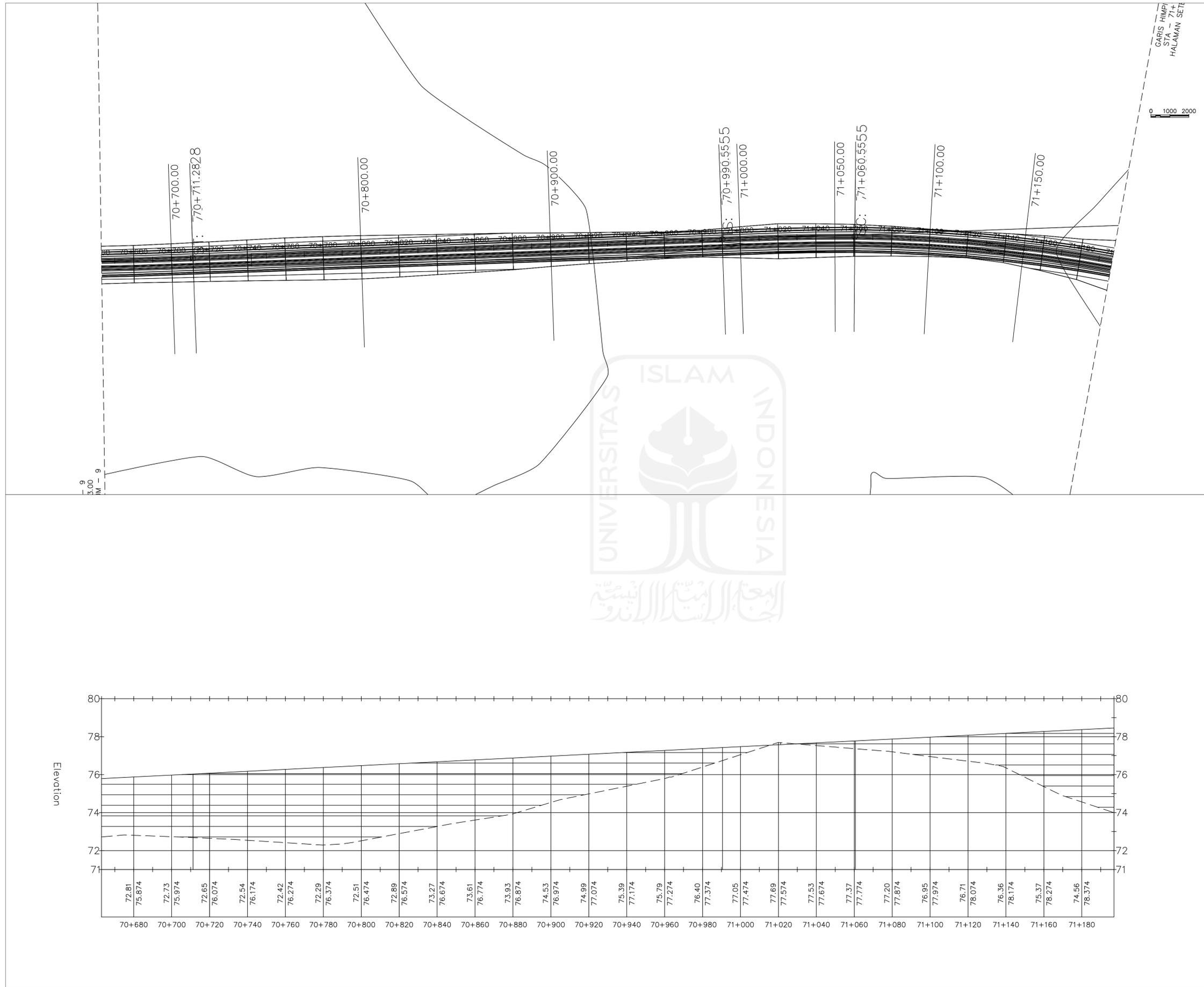
Muhammad Rizky Sya'bani
16511002

No.	Revision/Issue	Date

JUJUL TUGAS AKHIR
PERANCANGAN JALUR GANDA
KERETA API
STASIUN GUNDIH - STASIUN
GOPRAK

CATATAN

TUGAS AKHIR
Date: 21.05.2022
Scale: 1:1000
Sheet: 9



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL

TUGAS AKHIR SKRIPSI
DOSEN PEMBIMBING

Miftahul Fauziah S.T., M.T., Ph.D.

DOSEN PENGUJI I	DOSEN PENGUJI II

DIGAMBAR OLEH

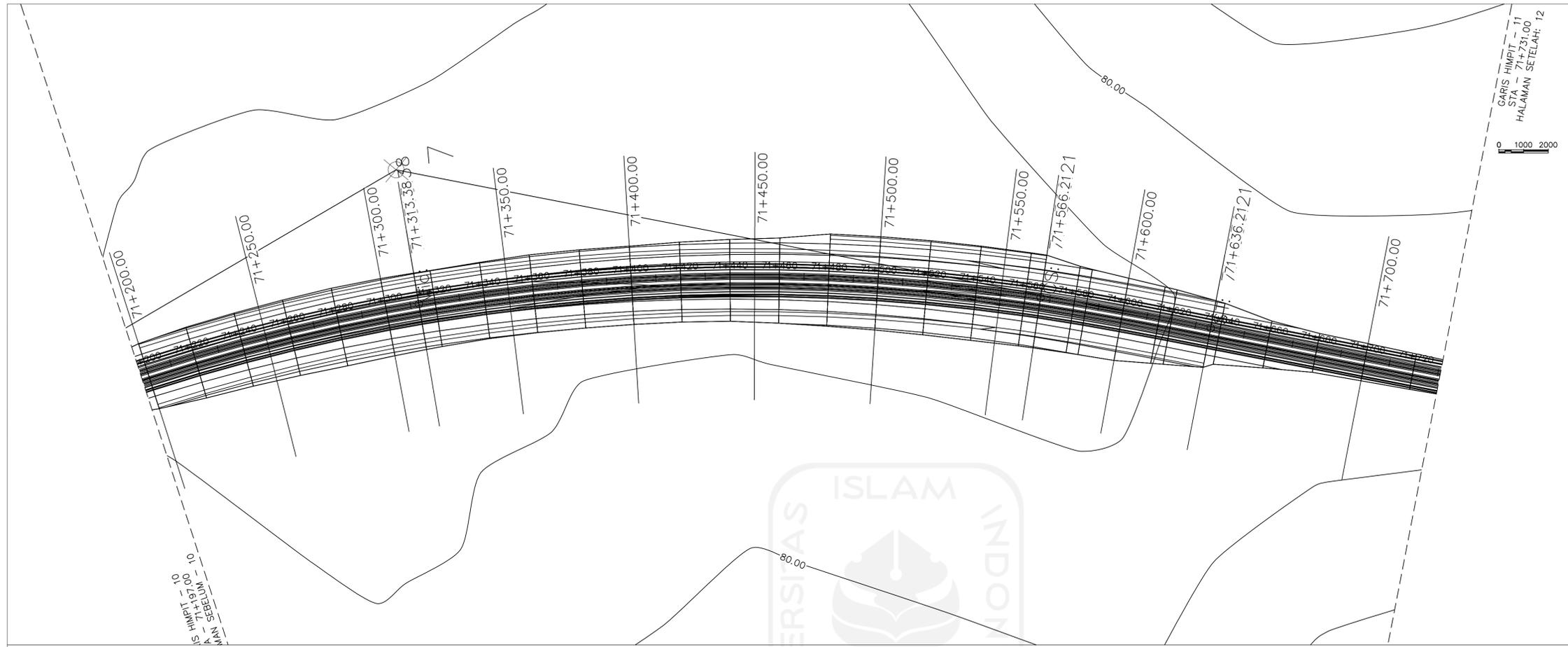
Muhammad Rizky Sya'bani
16511002

No.	Revision/Issue	Date

JUDUL TUGAS AKHIR
PERANCANGAN JALUR GANDA KERETA API STASIUN GUNDIH – STASIUN GOPRAK

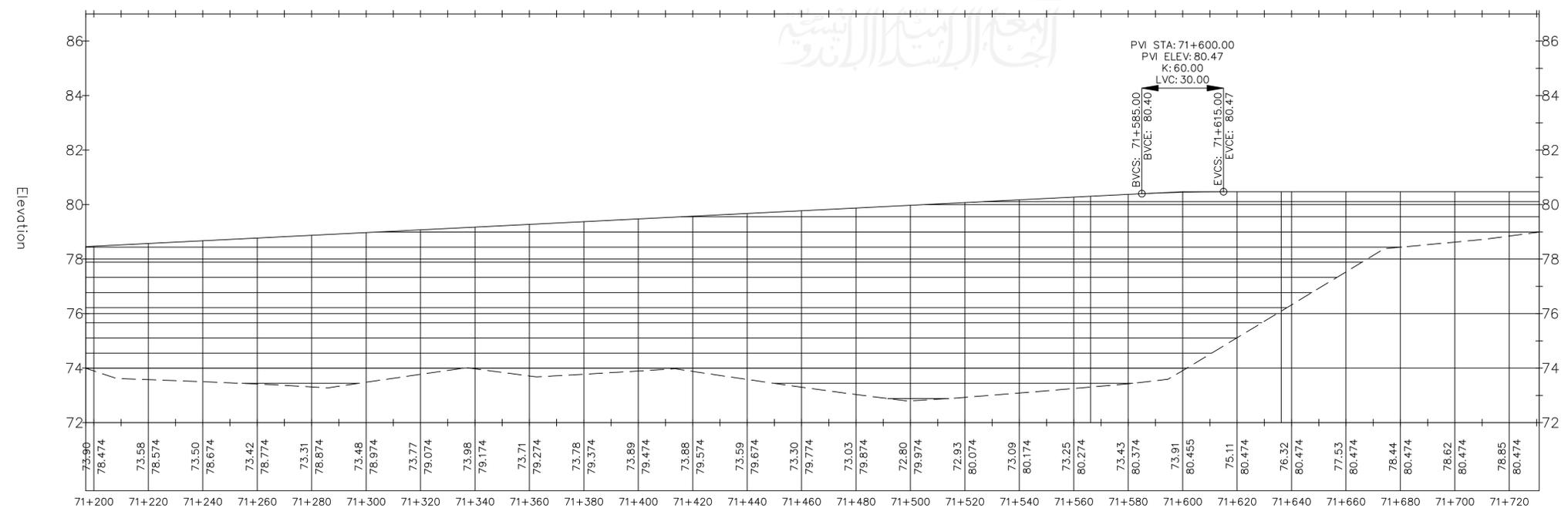
CATATAN

TUGAS AKHIR	Sheet
Date 21.05.2022	10
Scale 1:1000	



GARIS HIMPIT - 11
STA - 71+231.00
HALAMAN SEBELAH: 12

0 1000 2000



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL

TUGAS AKHIR SKRIPSI
DOSEN PEMBIMBING

Miftahul Fauziah S.T., M.T., Ph.D.

DOSEN PENGUJI I	DOSEN PENGUJI II

DIGAMBAR OLEH

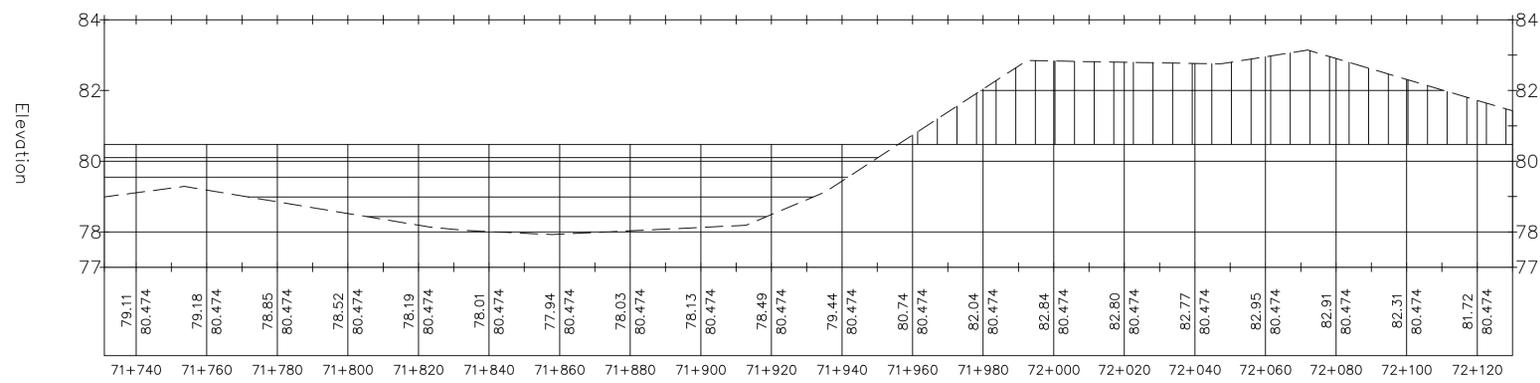
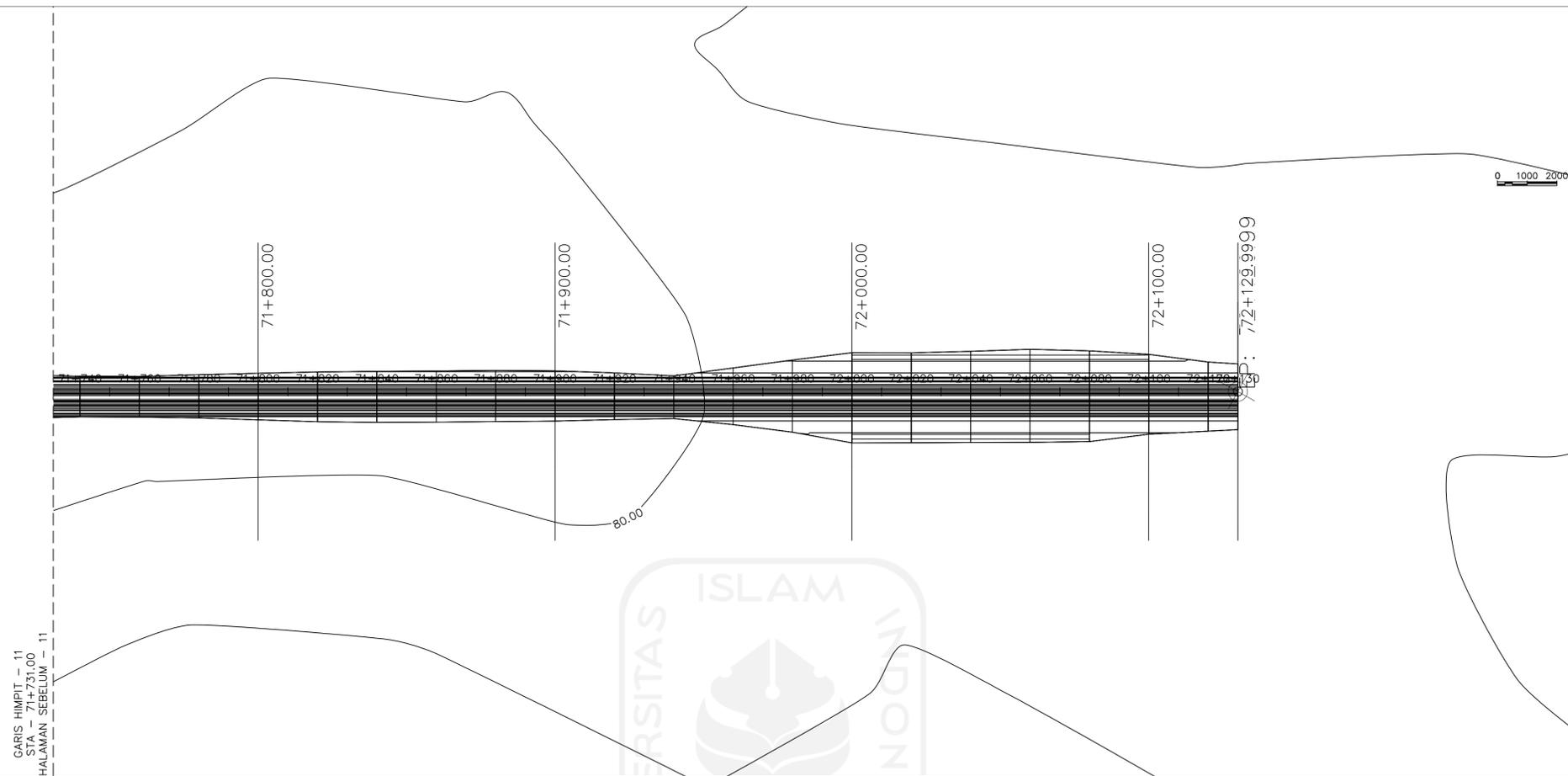
Muhammad Rizky Sya'bani
16511002

No.	Revision/Issue	Date

JUDUL TUGAS AKHIR
PERANCANGAN JALUR GANDA
KERETA API
STASIUN GUNDIH - STASIUN
GOPRAK

CATATAN

TUGAS AKHIR	Sheet
Date 21.05.2022	11
Scale 1:1000	



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL

TUGAS AKHIR SKRIPSI

DOSEN PEMBIMBING

Miftahul Fauziah S.T., M.T., Ph.D.

DOSEN PENGUJI I	DOSEN PENGUJI II
--------------------	---------------------

DIGAMBAR OLEH

Muhammad Rizky Sya'bani
16511002

No.	Revision/Issue	Date

JUDUL TUGAS AKHIR

PERANCANGAN JALUR GANDA
KERETA API
STASIUN GUNDIH - STASIUN
GOPRAK

CATATAN

#####

TUGAS AKHIR

Date
21.05.2022

Scale
1:1000

Sheet

12



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL

TUGAS AKHIR SKRIPSI

DOSEN PEMBIMBING

Miftahul Fauziah ST., MT., Ph.D

DOSEN
PENGUJI I

DOSEN
PENGUJI II

DIGAMBAR OLEH

Muhammad Rizky Sya'bani

PERANCANGAN JALUR GANDA
KERETA API
STASIUN GUNDIH - STASIUN
GOPRAK

CATATAN

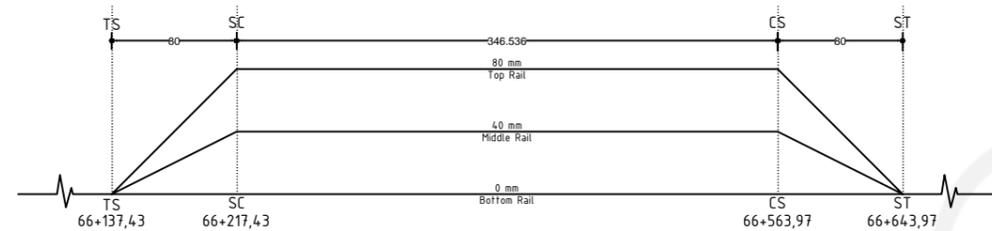
TUGAS AKHIR

19.06.2022

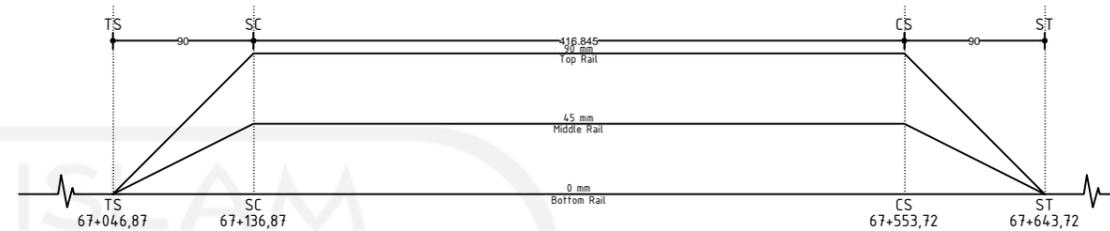
1 : 5000

1

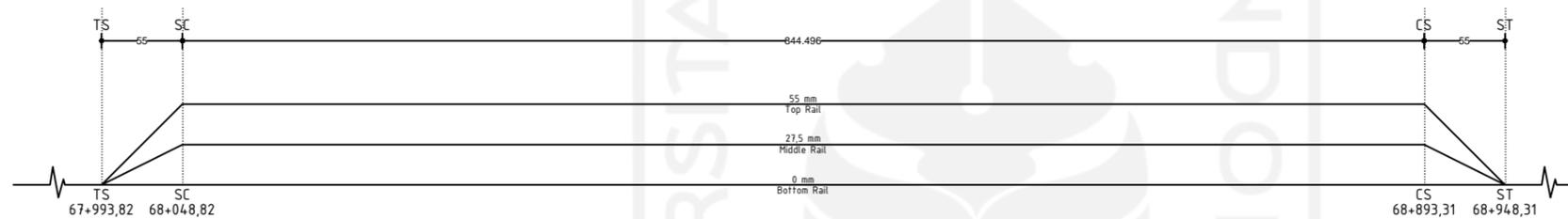
PENINGGIAN REL LINGKUNG I



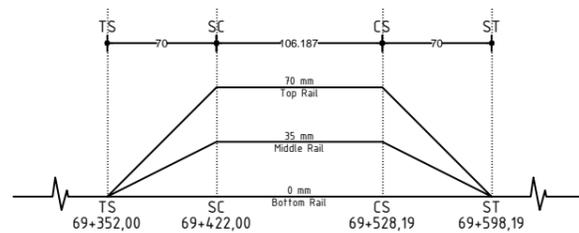
PENINGGIAN REL LINGKUNG II



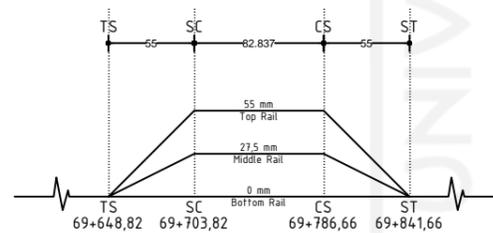
PENINGGIAN REL LINGKUNG III



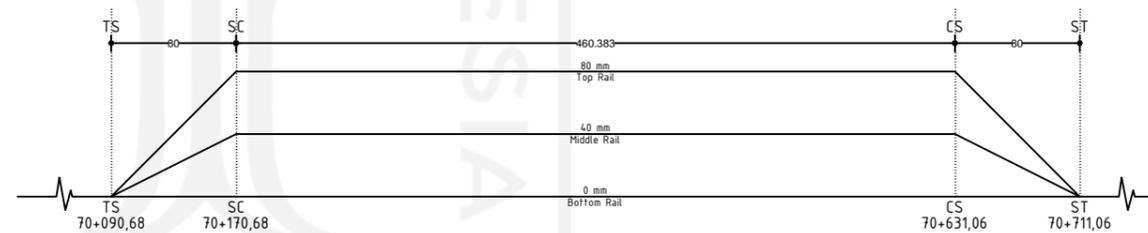
PENINGGIAN REL LINGKUNG IV



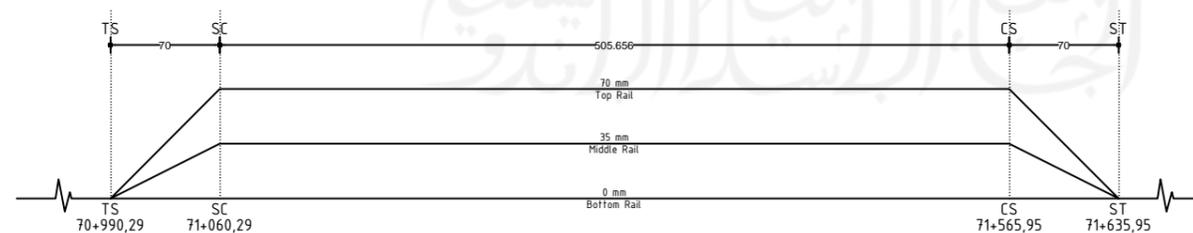
PENINGGIAN REL LINGKUNG V



PENINGGIAN REL LINGKUNG VI



PENINGGIAN REL LINGKUNG VII





UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL

TUGAS AKHIR SKRIPSI

DOSEN PEMBIMBING

Miftahul Fauziah S.T., M.T., Ph.D.

DOSEN
PENGUJI I

DOSEN
PENGUJI II

DIGAMBAR OLEH

Muhammad Rizky Sya'bani
16511002

No.	Revision/Issue	Date

JUDUL TUGAS AKHIR
PERANCANGAN JALUR GANDA
KERETA API
STASIUN GUNDIH – STASIUN
GOPRAK

CATATAN

TUGAS AKHIR	Sheet
Date 21.05.2022	1
Scale 1:1000	

Total Volume Table						
Station	Fill Area	Cut Area	Fill Volume	Cut Volume	Cumulative Fill Vol	Cumulative Cut Vol
65+857.00	0.00	21.77	0.00	0.00	0.00	0.00
65+900.00	0.00	19.46	0.00	886.49	0.00	886.49
66+000.00	0.00	30.10	0.00	2477.96	0.00	3364.45
66+100.00	0.00	52.73	0.00	4141.38	0.00	7505.82
66+137.46	0.00	50.01	0.00	1924.15	0.00	9429.97
66+150.00	0.00	51.67	0.00	637.74	0.00	10067.71
66+200.00	0.00	36.37	0.00	2198.94	0.00	12266.65
66+217.46	0.00	30.04	0.00	578.42	0.00	12845.07
66+250.00	0.00	31.83	0.00	1003.99	0.00	13849.06
66+300.00	0.00	27.24	0.00	1472.51	0.00	15321.57
66+350.00	0.00	14.61	0.00	1043.46	0.00	16365.03
66+390.72	0.00	9.32	0.00	486.11	0.00	16851.14
66+400.00	0.00	9.14	0.00	85.58	0.00	16936.72
66+450.00	0.00	8.45	0.00	438.89	0.00	17375.61
66+500.00	0.00	7.88	0.00	407.73	0.00	17783.34
66+550.00	0.00	11.40	0.00	481.21	0.00	18264.55
66+563.99	0.00	13.01	0.00	170.43	0.00	18434.98
66+600.00	0.00	17.89	0.00	555.58	0.00	18990.56
66+643.99	0.00	30.13	0.00	1056.26	0.00	20046.82
66+700.00	0.00	41.92	0.00	2017.68	0.00	22064.50

Total Volume Table						
Station	Fill Area	Cut Area	Fill Volume	Cut Volume	Cumulative Fill Vol	Cumulative Cut Vol
66+800.00	0.00	12.99	0.00	2745.80	0.00	24810.31
66+900.00	13.08	0.43	653.91	671.34	653.91	25481.65
67+000.00	27.30	0.00	2018.75	21.60	2672.66	25503.25
67+046.97	36.92	0.00	1508.25	0.00	4180.92	25503.25
67+050.00	37.73	0.00	112.92	0.00	4293.83	25503.25
67+100.00	50.75	0.00	2215.59	0.00	6509.42	25503.25
67+136.97	65.88	0.00	2165.99	0.00	8675.41	25503.25
67+150.00	71.74	0.00	901.47	0.00	9576.88	25503.25
67+200.00	85.81	0.00	3962.74	0.00	13539.63	25503.25
67+250.00	80.21	0.00	4176.27	0.00	17715.89	25503.25
67+300.00	69.87	0.00	3775.48	0.00	21491.37	25503.25
67+345.40	56.78	0.00	2893.13	0.00	24384.50	25503.25
67+350.00	56.29	0.00	260.20	0.00	24644.70	25503.25
67+400.00	39.93	0.00	2420.48	0.00	27065.18	25503.25
67+450.00	39.02	0.00	1986.00	0.00	29051.18	25503.25
67+500.00	52.25	0.00	2297.18	0.00	31348.36	25503.25
67+550.00	80.50	0.00	3342.49	0.00	34690.85	25503.25
67+553.82	85.60	0.00	317.26	0.00	35008.11	25503.25
67+600.00	107.02	0.00	4468.70	0.00	39476.81	25503.25
67+643.82	126.04	0.00	5113.27	0.00	44590.08	25503.25

Total Volume Table						
Station	Fill Area	Cut Area	Fill Volume	Cut Volume	Cumulative Fill Vol	Cumulative Cut Vol
67+700.00	137.56	0.00	7404.35	0.00	51994.43	25503.25
67+800.00	103.65	0.00	12060.31	0.00	64054.74	25503.25
67+900.00	63.43	0.00	8353.75	0.00	72408.49	25503.25
67+993.97	31.67	0.00	4467.99	0.00	76876.48	25503.25
68+000.00	30.16	0.00	186.30	0.00	77062.78	25503.25
68+048.97	23.77	0.00	1318.73	0.00	78381.51	25503.25
68+050.00	23.72	0.00	24.38	0.00	78405.89	25503.25
68+100.00	18.43	0.10	1051.46	2.42	79457.35	25505.66
68+150.00	10.20	0.56	714.07	16.59	80171.42	25522.25
68+200.00	1.61	1.19	294.38	43.96	80465.80	25566.21
68+250.00	0.00	4.29	40.06	137.09	80505.86	25703.31
68+300.00	0.00	5.89	0.01	254.42	80505.87	25957.73
68+350.00	0.00	6.64	0.00	313.08	80505.87	26270.81
68+400.00	0.00	5.40	0.00	300.87	80505.87	26571.68
68+450.00	0.33	2.06	8.26	186.40	80514.13	26758.08
68+471.22	0.69	1.64	10.79	39.26	80524.92	26797.34
68+500.00	4.91	0.76	80.54	34.56	80605.46	26831.90
68+550.00	1.99	1.08	172.45	46.16	80777.91	26878.06
68+600.00	0.71	2.04	67.41	78.09	80845.33	26956.15
68+650.00	0.00	4.64	17.77	166.89	80863.09	27123.04

Total Volume Table						
Station	Fill Area	Cut Area	Fill Volume	Cut Volume	Cumulative Fill Vol	Cumulative Cut Vol
68+700.00	0.00	4.65	0.05	232.17	80863.15	27355.21
68+750.00	0.00	4.56	0.00	230.11	80863.15	27585.32
68+800.00	0.07	2.78	1.71	183.30	80864.86	27768.62
68+850.00	0.66	1.68	18.20	111.40	80883.05	27880.02
68+893.47	2.38	1.09	65.96	60.35	80949.02	27940.37
68+900.00	2.89	1.05	17.20	6.99	80966.22	27947.37
68+948.47	5.70	0.90	207.76	47.24	81173.98	27994.61
69+000.00	0.00	9.39	146.77	265.16	81320.75	28259.77
69+100.00	0.00	15.69	0.00	1254.18	81320.75	29513.95
69+200.00	0.15	5.07	7.29	1038.02	81328.04	30551.98
69+300.00	3.81	1.25	197.87	316.00	81525.91	30867.98
69+352.18	0.48	3.72	112.01	129.74	81637.92	30997.71
69+400.00	0.00	13.97	11.56	422.76	81649.47	31420.47
69+422.18	0.00	0.00	0.00	154.73	81649.47	31575.20
69+450.00	0.00	35.69	0.00	496.61	81649.47	32071.81
69+475.27	0.00	25.27	0.00	770.44	81649.47	32842.25
69+500.00	0.00	17.60	0.00	530.00	81649.47	33372.25
69+528.37	0.00	14.35	0.00	452.77	81649.47	33825.02
69+550.00	1.43	5.36	15.53	212.94	81665.01	34037.96
69+598.37	10.95	0.65	299.78	145.18	81964.79	34183.14



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL

TUGAS AKHIR SKRIPSI

DOSEN PEMBIMBING

Miftahul Fauziah S.T., M.T., Ph.D.

DOSEN
PENGUJI I

DOSEN
PENGUJI II

DIGAMBAR OLEH

Muhammad Rizky Sya'bani
16511002

No.	Revision/Issue	Date

JUDUL TUGAS AKHIR

PERANCANGAN JALUR GANDA
KERETA API
STASIUN GUNDIH – STASIUN
GOPRAK

CATATAN

TUGAS AKHIR

Date
21.05.2022

Scale
1:1000

Sheet
2

Total Volume Table						
Station	Fill Area	Cut Area	Fill Volume	Cut Volume	Cumulative Fill Vol	Cumulative Cut Vol
69+600.00	11.27	0.61	18.16	1.03	81982.96	34184.17
69+649.01	24.39	0.00	873.78	14.90	82856.74	34199.07
69+650.00	24.66	0.00	24.27	0.00	82881.01	34199.07
69+700.00	23.16	0.00	1194.28	0.00	84075.30	34199.07
69+704.01	22.00	0.00	90.56	0.00	84165.85	34199.07
69+745.43	17.36	0.00	813.74	0.00	84979.60	34199.07
69+750.00	16.93	0.00	78.36	0.00	85057.96	34199.07
69+786.85	3.73	0.87	380.08	16.02	85438.04	34215.09
69+800.00	0.29	2.69	26.41	23.38	85464.45	34238.47
69+841.85	0.00	20.07	6.07	476.23	85470.53	34714.71
69+900.00	0.00	19.55	0.00	1151.99	85470.53	35866.69
70+000.00	0.00	21.83	0.00	2068.74	85470.53	37935.44
70+090.90	4.81	0.78	218.68	1027.48	85689.21	38962.92
70+100.00	6.51	0.66	51.51	6.55	85740.71	38969.47
70+150.00	16.01	0.07	563.51	18.19	86304.23	38987.66
70+170.90	19.98	0.13	377.13	2.03	86681.36	38989.69
70+200.00	8.96	1.08	423.13	17.51	87104.49	39007.20
70+250.00	0.00	23.44	225.66	612.98	87330.14	39620.17
70+300.00	0.00	52.84	0.00	1908.03	87330.14	41528.21
70+350.00	0.00	77.07	0.00	3251.17	87330.14	44779.37

Total Volume Table						
Station	Fill Area	Cut Area	Fill Volume	Cut Volume	Cumulative Fill Vol	Cumulative Cut Vol
70+400.00	0.00	43.98	0.00	3031.36	87330.14	47810.73
70+401.09	0.00	43.33	0.00	47.66	87330.14	47858.39
70+450.00	0.00	9.02	0.00	1283.01	87330.14	49141.40
70+500.00	20.22	0.00	507.01	225.88	87837.15	49367.27
70+550.00	45.13	0.00	1638.77	0.00	89475.92	49367.27
70+600.00	34.90	0.00	2007.22	0.00	91483.14	49367.27
70+631.28	29.77	0.00	1014.83	0.00	92497.98	49367.27
70+650.00	28.26	0.00	544.56	0.00	93042.54	49367.27
70+700.00	30.63	0.00	1474.21	0.00	94516.75	49367.27
70+711.28	32.73	0.00	357.45	0.00	94874.20	49367.27
70+800.00	47.15	0.00	3543.43	0.00	98417.62	49367.27
70+900.00	16.38	0.19	3176.70	9.63	101594.33	49376.90
70+990.55	0.00	10.56	741.79	486.63	102336.12	49863.53
71+000.00	0.00	14.70	0.00	119.30	102336.12	49982.84
71+050.00	0.00	18.22	0.00	821.96	102336.12	50804.80
71+060.55	0.00	15.92	0.00	180.09	102336.12	50984.89
71+100.00	0.00	6.46	0.00	440.58	102336.12	51425.46
71+150.00	13.37	0.12	333.82	164.36	102669.94	51589.82
71+200.00	61.64	0.00	1870.36	3.11	104540.29	51592.93
71+250.00	84.26	0.00	3635.91	0.00	108176.20	51592.93

Total Volume Table						
Station	Fill Area	Cut Area	Fill Volume	Cut Volume	Cumulative Fill Vol	Cumulative Cut Vol
71+300.00	91.10	0.00	4369.39	0.00	112545.59	51592.93
71+313.38	87.10	0.00	1192.05	0.00	113737.65	51592.93
71+350.00	85.80	0.01	3156.72	0.11	116894.36	51593.04
71+400.00	91.84	0.00	4430.31	0.15	121324.67	51593.20
71+450.00	113.14	0.00	5114.18	0.00	126438.85	51593.20
71+500.00	142.08	0.00	6368.50	0.00	132807.35	51593.20
71+550.00	141.58	0.00	7075.52	0.00	139882.88	51593.20
71+566.21	138.94	0.00	2267.59	0.00	142150.47	51593.20
71+600.00	120.14	0.00	4368.09	0.00	146518.56	51593.20
71+636.21	56.91	0.00	3205.16	0.00	149723.72	51593.20
71+700.00	6.24	0.64	2014.29	20.29	151738.01	51613.49
71+800.00	7.69	0.53	696.84	58.44	152434.85	51671.93
71+900.00	13.20	0.11	1044.59	31.99	153479.44	51703.92
72+000.00	0.00	77.62	659.87	3886.57	154139.31	55590.48
72+100.00	0.00	61.74	0.00	6968.35	154139.31	62558.83
72+129.99	0.00	41.48	0.00	1547.73	154139.31	64106.57