



TUGAS AKHIR – RC 184803

**PERANCANGAN STRUKTUR JALAN REL LINTAS
MADIUN-KEDUNGBANTENG MENGGUNAKAN METODE
*SLAB TRACK***

FA'IZAH MAULIDYA AFIFAH LUTFI
NRP. 03111745000021

Dosen Pembimbing I
Ir. Wahyu Herijanto, MT

Dosen Pembimbing II
Budi Rahardjo, ST., MT

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019



TUGAS AKHIR – RC 184803

**PERANCANGAN STRUKTUR JALAN REL LINTAS
MADIUN-KEDUNGBANTENG MENGGUNAKAN METODE
*SLAB TRACK***

FA'IZAH MAULIDYA AFIFAH LUTFI
NRP. 03111745000021

Dosen Pembimbing I
Ir. Wahyu Herijanto, MT

Dosen Pembimbing II
Budi Rahardjo, ST., MT

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019



FINAL PROJECT – RC 184803

**STRUCTURE DESIGN OF RAILWAY TRACK CROSS
MADIUN-KEDUNGBANTENG USING SLAB TRACK
METHOD**

FA'IZAH MAULIDYA AFIFAH LUTFI
NRP. 03111745000021

Consellor Lecturer I
Ir. Wahyu Herijanto, MT

Consellor Lecturer II
Budi Rahardjo, ST., MT

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil, Enviromental, and Geo-Engineering
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2019

**PERANCANGAN STRUKTUR JALAN REL LINTAS
MADIUN-KEDUNGBANTENG MENGGUNAKAN
METODE *SLAB TRACK***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Lintas Jalur Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

FA'IZAH MAULIDYA AFIFAH LUTFI
NRP. 03111745000021

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

1. Ir. Wahyu Herijanto, MT
2. Budi Rahardjo, ST., MT



SURABAYA

JULI, 2019



Form AK/TA-04
rev01

**PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)**

Jurusan Teknik Sipil lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 601111
Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



NAMA PEMBIMBING	: Ir. Wahyu Herijanto, MT Budi Rahardjo, ST., MT
NAMA MAHASISWA	: Fa'izah Maulidya Afifah Lutfi
NRP	: 0311174500021
JUDUL TUGAS AKHIR	: Perancangan Struktur Jalan Rel Lintas Madiun-Kedungbanteng Menggunakan Metode Slab Track
TANGGAL PROPOSAL	: 4 Januari 2019
NO. SP-MMTA	: 14596 / IT2.VI.4.I / PP.05.02.00/2019

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1.	06/03/2019	- Tonase dihitung sesuai dengan jumlah kereta dan barang diasumsikan sama dengan kereta penumpang		
2.	17/03/2019		Dasar teori Slab track, mulai dari perhitungan, pembebanan, gambar.	
3.	01/04/2019	- perhitungan pembebanan menggunakan tabot	- menggunakan rumus Beam on Elastic Foundation parameter, menggunakan dimensi plat beton	
4.	12/04/2019	- Gaya yang terjadi pada rel. - Umur rel - Panjang rel - Sleeper	- ditambah gaya kontak rel + gaya terhadap pengaruh suhu. - Sleeper menggunakan perhitungan BOEF, slab (langgung ke tebal slab)	
5.	29/04/2019	- menentukan umur rel berdasarkan fatigue - tebal slab	- Dianggap pakai bantalan monoblok - lintung / analisa 2 metode saja.	
6.	07/05/2019	- bantalan tampak depan sudah betul - tampak samping. - strain ok	- analisisnya per section dg panjang 60 cm	



Form AK/TA-04
rev01

PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil It.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



NAMA PEMBIMBING	: Ir. Wahyu Herijanto, MT Budi Rahardjo, ST., MT
NAMA MAHASISWA	: Fa'izah Maulidya Afifah Lutfi
NRP	: 0311174500021
JUDUL TUGAS AKHIR	: Perancangan Struktur Jalan Rel Lintas Madiun-Kedungbanteng Menggunakan Metode Slab Track
TANGGAL PROPOSAL	: 4 Januari 2019
NO. SP-MMTA	: 14596 / IT2.VI.4.I / PP.05.02.00 / 2019

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
7.	09/05/2019	- Perletakan dan jumlah strand pada slab	- Dirubah perletakan dan jumlah strand pada slab.	
8.	09/05/2019	-	- Gambar teknis lengkap dan jelas. (notasi, dimensi)	
9.		- tegangan prategang	- Boleh pakai 2 metode saja. Shinkansen & Bagl	
10.	27/05/2019	- Laporan TA	- Keterangan ke-tabel dan ke-gambar.	
11.	29/05/2019	- Revisi Laporan TA - Revisi gambar.		

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
 PROGRAM SARJANA (S1) DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FTSLK – ITS

**BERITA ACARA PENYELENGGARAAN UJIAN
 SEMINAR DAN LISAN
 TUGAS AKHIR**

Pada hari ini **Rabu** tanggal **10 Juli 2019** jam **09:00 WIB** telah diselenggarakan **UJIAN SEMINAR DAN LISAN TUGAS AKHIR** Program Sarjana (S1) Departemen Teknik Sipil FTSLK-ITS bagi mahasiswa:

NRP	Nama	Judul Tugas Akhir
03111745000021	Fa'izah Maulidya Afifah Lutfi	Perancangan Struktur Jalan Rel Lintas Madiun-Kedungbanteng Menggunakan Metode Slab Track

1. Dengan perbaikan/penyempurnaan yang harus dilakukan adalah :
- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - <i>Perbaikan beban semu track</i> → <i>Struktur bawah diteliti</i> - <i>Baru disamping track lama</i> - <i>Pertumbuhan traffic</i> - <i>Pertumbuhan luas landasan</i> - <i>panjang yg sama</i> - <i>Perbaikan beban</i> - <i>balok beton per balok</i> - <i>atau kumulatif?</i> | <ul style="list-style-type: none"> - <i>beban semu hant analisis yg</i> - <i>belum dimasukkan.</i> - <i>model disambungkan / biar.</i> - <i>Stressing dimasukkan</i> - <i>dan tumpang.</i> - <i>dilengkapi gambar yg detail</i> |
|--|---|

2. Rentang nilai dari hasil diskusi Tim Penguji Tugas Akhir adalah : A / AB / B / BC / C / D / E
3. Dengan hasil ujian (wajib dibacakan oleh Ketua Sidang di depan Peserta Ujian dan Penguji) :
- Lulus Tanpa Perbaikan Mengulang Ujian Seminar dan Lisan
- Lulus Dengan Perbaikan Mengulang Ujian Lisan

Tim Penguji (Anggota)	Tanda Tangan
Ir. Wahyu Herijanto, MT (Pembimbing 1)	
Budi Rahardjo, ST. MT (Pembimbing 2)	
Cahya Buana, ST. MT	
Dr. Catur Arif Prastyanto, ST. M.Eng	
Dr. Ir. Hitapriya Suprayitno, M.Eng	

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1

Dr. techn. Umhoro Lasmino, ST. MSc
 NIP 19721202 199802 1 001

Surabaya, 10 Juli 2019

Ketua Sidang

CATUR ARIF P.
 Nama terang

PERANCANGAN STRUKTUR JALAN REL LINTAS MADIUN-KEDUNGBANTENG MENGGUNAKAN METODE SLAB TRACK

Nama Mahasiswa : Fa'izah Maulidya Afifah Lutfi
NRP : 03111745000021
Jurusan : Teknik Sipil FTSLK-ITS
Dosen Pembimbing : 1. Ir. Wahyu Herijanto, MT
2. Budi Rahardjo, ST., MT

Abstrak

Jalan rel merupakan salah satu prasarana kereta api, juga perlu dirancang dan direncanakan supaya ekonomis dalam pelaksanaan konstruksinya dan mudah untuk dilakukan pemeliharaan. Perencanaan konstruksi jalur kereta api sesuai dengan Peraturan Menteri Perhubungan No. PM. 60 tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api, bahwa jalan rel harus direncanakan sesuai persyaratan teknis sehingga dapat dipertanggung jawabkan secara teknis dan ekonomis. Besarnya biaya perawatan dan pemeliharaan dari konstruksi ballasted track membuat konstruksi tersebut kini mulai tergantikan oleh konstruksi jalur kereta tanpa balas (ballastless track). Konstruksi jalur kereta modern ini menggunakan lempengan plat beton sebagai pendistribusi beban gandar kereta ke tanah dasar sehingga dikenal dengan istilah slab track. Beberapa tahun terakhir ini, pemerintah mulai menambah kapasitas jalan rel khususnya double track Lintas Selatan Jawa antar Madiun-Kedungbanteng. Dengan adanya penambahan track diharapkan dapat mendukung perkembangan ekonomi di Wilayah sekitarnya. Dalam pembangunannya saat ini jenis track yang digunakan adalah ballasted track. Pada Tugas Akhir ini, direncanakan struktur jalan rel menggunakan metode slab track beserta rencana anggaran biaya.

Lokasi tinjauan adalah jalur baru disebelah jalur lama pada lintas Madiun-Kedungbanteng. Dari data lintas kereta api yang didapat, kemudian dihitung daya angkut lintas kereta api yang nantinya dapat digunakan untuk perhitungan gaya beban yang terjadi diatas rel. Dari geometrik yang telah ada, dilakukan analisa perhitungan struktur jalan rel meliputi perencanaan dimensi rel, sambungan rel, pengelasan rel, penambat rel, dan dimensi slab. Penentuan dimensi slab yang digunakan merupakan hasil dari perhitungan dua metode. Metode yang digunakan adalah metode Bögl dan Shinkansen yang kemudian direncanakan anggaran biaya untuk masing-masing metode slab track. Peraturan yang digunakan dalam perancangan struktur jalan rel lintas Madiun-Kedungbanteng menggunakan metode slab track adalah PM No. 60 tahun 2012, PD No. 10 tahun 1986, dan peraturan perencanaan lainnya yang berkaitan dengan perencanaan pembangunan jalan kereta api.

Dari hasil analisa konstruksi jalan rel yang telah dilakukan adalah didapatkan hasil berupa jalur kereta api lintas Madiun-Kedungbanteng termasuk ke dalam kategori kelas jalan II dengan jenis rel UIC tipe R54, menggunakan penambat elastis ganda tipe *E-Clip*, serta dimensi slab track dengan metode Shinkansen 4,95 m x 2 m x 0,21 m dan metode Bögl 6,45 m x 2 m x 0,21 m. Berdasarkan perhitungan biaya, dibutuhkan rencana anggaran biaya sebesar Rp. 98.214.546.000.000 (untuk penggunaan shinkansen) dan Rp. 98.204.652.000.000 (untuk penggunaan Bögl)

Kata kunci: jalan rel, slab track, Madiun, Kedungbanteng, struktur rel

STRUCTURE DESIGN OF RAILWAY TRACK CROSS MADIUN-KEDUNGBANTENG USING SLAB TRACK METHOD

Student Name : Fa'izah Maulidya Afifah Lutfi
NRP : 0311174500021
Department : Civil Engineering FTSLK-ITS
Consellor Lecturer : 1. Ir. Wahyu Herijanto, MT
2. Budi Rahardjo, ST., MT

Abstract

Railroad is one of the railroad infrastructure, it also needs to be designed and planned so that it is economical in its construction and easy to do maintenance. Railroad construction planning in accordance with Minister of Transportation Regulation No. PM. 60 of 2012 concerning the Technical Requirements of the Railroad, that railways must be planned according to technical requirements so that they can be accounted for technically and economically. The large maintenance and maintenance costs of ballasted track construction have made the construction replaced by ballastless tracks. The construction of this modern railway line uses concrete slab plates as a distribution of the axle load of the train to the subgrade so that it is known as the slab track. In the past few years, the government has begun to increase railroad capacity, especially in the double track of the Southern Java Cross between Madiun-Kedungbanteng. With the addition of tracks, it is expected to support economic development in the surrounding area. In its current development the type of track used is ballasted track. In this Final Project, the planned

railroad structure uses the slab track method along with the budget plan.

The observation location is a new track next to the old track on the Madiun-Kedungbanteng crossing. From the cross-train data obtained, it is then calculated the carrying capacity of the trains which can later be used to calculate the load force that occurs on the rail. From the existing geometric, an analysis of the railroad structure calculation includes the planning of rail dimensions, rail connections, rail welding, rail fastening, and slab dimensions. Determination of the dimensions of the slab used is the result of the calculation of two methods. The method used is the Bögl and Shinkansen method which is then planned for the budget for each slab track method. The regulation used in the design of the structure of the Madiun-Kedungbanteng railroad using the slab track method is PM No. 60 of 2012, PD No. 10 of 1986, and other planning regulations relating to the planned construction of railways.

The results of the analysis of railroad construction that have been carried out are obtained in the form of the Madiun-Kedungbanteng crossroad included in the category II road class with the R54 type UIC rail, using E-Clip type double elastic fastening, and the Shinkansen method slab track 4.95 mx 2 mx 0.21 m and the Bögl method 6.45 mx 2 mx 0.21 m. Based on the calculation of costs, a budget plan of Rp. 98.214.546.000.000 (for shinkansen use) and Rp. 98.204.652.000.000 (for use in Bögl)

Keywords: railroad, slab track, Madiun, Kedungbanteng, rail structure

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan syukur Alhamdulillah kepada Allah SWT atas segala karunia, rahmat, nikmat, dan ridho-Nya sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir Terapan ini.

Dalam Proses penyusunan Tugas Akhir ini, mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada

1. Keluarga penulis yang menjadi penyemangat untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Ir. Wahyu Herijanto, MT dan bapak Budi Rahardjo, ST., MT selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan mengarahkan penulis selama penyusunan tugas akhir.
3. Bapak Ir. Heppy Kristijanto, MS selaku dosen wali yang telah memberikan arahan selama masa perkuliahan di jurusan Teknik Sipil ITS.
4. Teman-teman Lintas Jalur 2017 dan teman-teman 2015 yang mengambil tugas akhir perkeretaapian yang telah membantu untuk dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
5. LCG yang telah menemani selama masa perkuliahan.

Di dalam penyusunan Tugas Akhir ini, masih jauh dari sempurna. Untuk itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan Tugas Akhir ini nantinya. Semoga penulisan Tugas Akhir ini bisa berguna bagi semua pihak yang berkaitan.

Surabaya, 2019

Penyusun

“Halaman sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

Abstrak.....	v
<i>Abstract</i>	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penulisan.....	3
1.6 Lokasi.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Umum.....	5
2.2 Studi Terdahulu.....	5
2.2.1 Anshory, Irfan. 2009. Perencanaan Struktur Jalan Rel Lintas Rantau Prapat Duri Provinsi Riau Ruas Kota Pinang Menggala (Sta 78+000-150+950).....	5
2.2.2 Ismoyo, Yugo. 2017. Perencanaan Jalur Ganda Kereta Api Lintas Bangil – Malang.....	7
2.3 Prasarana Kereta Api.....	9
2.4 Jalan Rel.....	9
2.5 Perancangan Konstruksi Jalan Rel.....	10
2.5.1 Kecepatan.....	10
2.5.2 Beban Dan Gaya Pada Rel.....	10

2.5.3	Standart Jalan Rel	20
2.6	Komponen Struktur Rel.....	22
2.6.1	Penentuan Dimensi Rel	22
2.7	Umur Rencana Rel	25
2.7.1	Stabilitas Rel.....	27
2.7.2	Sambungan Besi Rel.....	29
2.8	Jalan Rel Slab	29
2.8.1	Perbandingan Jalur Balas Dan Jalur Slab	30
2.8.2	Desain <i>Slab Track</i>	32
2.8.3	Prosedur Perhitungan Beton Pratekan	39
2.8.4	Syarat Beton	41
2.9	Komponen Penambat Rel	42
BAB III	METODOLOGI	43
3.1	Umum.....	43
3.2	Tahapan Persiapan.....	43
3.3	Tahapan Pencarian dan Pengumpulan Data	43
3.3.1	Pengumpulan Data Primer.....	44
3.3.2	Pengumpulan Data Sekunder.....	44
3.4	Analisa Data	45
3.4.1	Perencanaan Tebal Slab <i>Track</i>	45
3.5	Rencana Anggaran Biaya	46
3.6	Flow Chart Metodologi	46
BAB IV	PERANCANGAN KONSTRUKSI JALAN REL	
	KERETA API.....	49
4.1	Penentuan Klasifikasi Jalan Rel	49
4.1.1	Beban pada Rel.....	49
4.1.2	Daya Angkut Lintas.....	50
4.2	Komponen Struktur Jalan Rel.....	55
4.2.1	Rencana Dimensi Rel	55
4.2.2	Rencana Umur Rel	57
4.2.3	Penentuan Panjang Rel	61
4.2.4	Sambungan Rel.....	61
4.3	Komponen Alat Penambat Rel	62
4.4	Perencanaan Tebal Slab.....	64

4.4.1	Metode Shinkansen	64
4.4.2	Metode Bögl.....	74
BAB V	RENCANA ANGGARAN BIAYA	85
5.1	Rencana Anggaran Biaya	85
5.2	Tingkat Inflasi	85
5.3	Perhitungan Bahan Slab Track	87
5.4	Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya	89
BAB VI	KESIMPULAN DAN SARAN	91
6.1	Kesimpulan.....	91
6.2	Saran.....	92
DAFTAR PUSTAKA.....		93
LAMPIRAN		97

“Halaman sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Klasifikasi Jalan rel 1067mm	20
Tabel 2. 2	Karakteristik Penampang Rel	22
Tabel 2. 3	Nilai tegangan untuk kelas jalan rel.....	23
Tabel 2. 4	Panjang Minimum Rel Panjang	28
Tabel 2. 5	Panjang Total dari Berbagai Sistem Slab Track yang Dibangun di Seluruh Dunia.....	32
Tabel 2. 6	Beberapa metode konstruksi dan penerapan struktur jalan rel tanpa balas (sistem slab track)	33
Tabel 4. 1	Lalu Lintas Kereta Api di Stasiun Madiun	51
Tabel 4. 2	Perhitungan Nilai Konstanta pada Jalur Rel dengan Pelumas	58
Tabel 4. 3	Hasil Perhitungan Fungsi Trigonometri dan Hiperbolikus	69
Tabel 4. 4	Hasil Perhitungan Fungsi Trigonometri dan Hiperbolikus	78
Tabel 5. 1	Rata-rata inflasi Bank Indonesia.....	85
Tabel 5. 2	Rincian anggaran biaya untuk membuat 1 blok slab track shinkansen	88
Tabel 5. 3	Rincian anggaran biaya untuk membuat 1 blok lantai kerja	88
Tabel 5. 4	Rincian anggaran biaya untuk membuat 1 blok slab track tipe Bögl	89
Tabel 5. 5	Rincian anggaran biaya untuk membuat 1 blok lantai kerja	89
Tabel 5. 6	Rekapitulasi rencana anggaran biaya untuk metode slab track shinkansen	90
Tabel 5. 7	Rekapitulasi rencana anggaran biaya untuk metode slab track Bögl	90

“Halaman sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1	Peta Lokasi Studi.....	4
Gambar 2. 1	Gaya Yang Bekerja Pada Rel.....	11
Gambar 2. 2	Pola Distribusi Beban Pada Struktur Jalan Rel.....	15
Gambar 2. 3	BoEF sebagai balok menerus di atas tumpuan elastik yang menerima beban.....	16
Gambar 2. 4	Dimensi Penampang Rel.....	23
Gambar 2. 5	Diagram Gaya Lawan Bantalan.....	28
Gambar 2. 6	Struktur Sistem Slab Track Bögl.....	34
Gambar 2. 7	Tulangan GEWI.....	36
Gambar 2. 8	Struktur Sistem Slab Track Shinkasen.....	37
Gambar 2. 9	Struktur Sistem Slab Track Rheda.....	38
Gambar 2. 10	Gaya pada slab.....	40
Gambar 2. 11	Komponen penambat D.E Spring Clip.....	42
Gambar 3. 1	Flow Chart Metodologi.....	47
Gambar 4. 1	Clip Produksi PT.Pindad (persero).....	62
Gambar 4. 2	Shoulder Produksi PT.Pindad (persero).....	63
Gambar 4. 3	Insulator Produksi PT.Pindad (persero).....	63
Gambar 4. 4	Rail pad Produksi PT.Pindad (persero).....	64
Gambar 4. 5	Dimensi Slab Track Metode Shinkansen.....	65
Gambar 4. 6	Potongan Tampak Samping Bawah Rel.....	65
Gambar 4. 7	Potongan Tampak Samping Tengah Slab.....	66
Gambar 4. 8	Potongan Tampak Samping Bawah Rel.....	67
Gambar 4. 9	Potongan Tampak Samping Tengah Slab.....	68
Gambar 4. 10	Jarak Perletakan Rel.....	69
Gambar 4. 11	Jumlah Tulangan pada Slab.....	70
Gambar 4. 12	Dimensi Slab Track Metode Bögl.....	74
Gambar 4. 13	Potongan Tampak Samping Bawah Rel.....	74
Gambar 4. 14	Potongan Tampak Samping Tengah Slab.....	75
Gambar 4. 15	Potongan Tampak Samping Bawah Rel.....	76

Gambar 4. 16 Potongan Tampak Samping Bawah Rel	77
Gambar 4. 17 Jarak Perletakan Rel	78
Gambar 4. 18 Jumlah Tulangan pada Slab	80

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transportasi perkeretaapian mempunyai banyak keunggulan dibandingkan dengan transportasi jalan antara lain: kapasitas angkut besar (massal), cepat, aman, hemat energi dan ramah lingkungan serta membutuhkan lahan yang relatif sedikit (Rosyidi, 2015). Dengan semakin kuatnya isu lingkungan, maka keunggulan kereta api dapat dijadikan sebagai salah satu alasan yang kuat untuk membangun transportasi perkeretaapian sehingga terwujud transportasi yang efektif, efisien, dan ramah lingkungan.

Prasarana kereta api adalah jalur dan stasiun kereta api termasuk fasilitas yang diperlukan agar sarana kereta api dapat dioperasikan. Fasilitas penunjang kereta api adalah segala sesuatu yang melengkapi penyelenggaraan angkutan kereta api yang dapat memberikan kemudahan serta kenyamanan bagi pengguna jasa angkutan kereta api.

Jalan rel merupakan salah satu prasarana kereta api, juga perlu dirancang dan direncanakan supaya ekonomis dalam pelaksanaan konstruksinya dan mudah untuk dilakukan pemeliharaan. Perencanaan konstruksi jalur kereta api sesuai dengan Peraturan Menteri Perhubungan No. PM. 60 tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api, bahwa jalan rel harus direncanakan sesuai persyaratan teknis sehingga dapat dipertanggung jawabkan secara teknis dan ekonomis. Secara teknis diartikan konstruksi jalur kereta api tersebut harus aman dilalui oleh sarana perkeretaapian dengan tingkat kenyamanan tertentu selama umur konstruksinya.

Secara ekonomis diharapkan agar pembangunan dan pemeliharaan konstruksi tersebut dapat diselenggarakan dengan tingkat harga yang sekecil mungkin dengan output yang dihasilkan kualitas terbaik dan tetap menjamin keamanan dan kenyamanan.

Perencanaan konstruksi jalur kereta api dipengaruhi oleh jumlah beban, kecepatan maksimum, beban gandar dan pola operasi.

Tipe jalur kereta yang umum digunakan di Indonesia adalah *ballasted track*, yaitu jalur kereta konvensional yang menggunakan batuan krikak sebagai dasarnya. Besarnya biaya perawatan dan pemeliharaan dari konstruksi *ballasted track* membuat konstruksi tersebut kini mulai tergantikan oleh konstruksi jalur kereta tanpa balas (*ballastless track*). Konstruksi jalur kereta modern ini menggunakan lempengan plat beton sebagai pendistribusi beban gandar kereta ke tanah dasar sehingga dikenal dengan istilah slab *track*.

Keunggulan penggunaan jalur slab ini adalah biaya pemeliharaan yang rendah, bentuk struktur yang rendah dan ringan serta kemungkinan ketersediaan bahan konstruksi yang memadai. Tambah lagi, jalur slab ini mempunyai umur manfaat yang lebih panjang dengan nilai konstruksi yang kompetitif jika dibandingkan jalur dengan formasi balas. Dapat Mereduksi pekerjaan perawatan jalur kereta api diantaranya tidak memerlukan pekerjaan pengawasan pemadatan rutin, pembersihan balas dan koreksi level jalur rel.

Dalam memenuhi kebutuhan akan permintaan penambahan Prasarana kereta api yang relatif cepat, aman, dan ekonomis, maka pemerintah mulai menambah kapasitas jalan rel khususnya *double track* Lintas Selatan Jawa antar Madiun-Kedungbanteng. Dengan adanya penambahan *track* diharapkan dapat mendukung perkembangan ekonomi di Wilayah sekitarnya. Dalam pembangunannya jenis *track* yang digunakan adalah *ballasted track*. Oleh karena itu, pada tugas akhir ini akan dibahas mengenai perencanaan struktur jalan rel menggunakan metode slab *track*. Perencanaan dimulai dari penentuan lokasi tinjauan yang letaknya disamping *track* lama, kemudian pemilihan profil rel, penambat rel, hingga tebal slab yang menggunakan dua metode berbeda yaitu Bögl dan Shinkansen. Kemudian menganalisa anggaran biaya yang diperlukan untuk penggunaan slab *track* dari masing-masing metode yang digunakan.

1.2 Rumusan Masalah

Perumusan permasalahan dalam pembuatan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa kebutuhan tebal slab *track* pada Lintas Selatan Jawa antar Madiun-Kedungbanteng berdasarkan metode Bögl dan Shinkansen?
2. Berapa anggaran biaya yang diperlukan untuk penggunaan slab *track* pada masing-masing metode?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mendesain struktur jalan rel mulai dari pemilihan profil, penambat rel, hingga tebal slab yang layak digunakan
2. Mengetahui anggaran biaya yang diperlukan pada penggunaan slab *track*

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

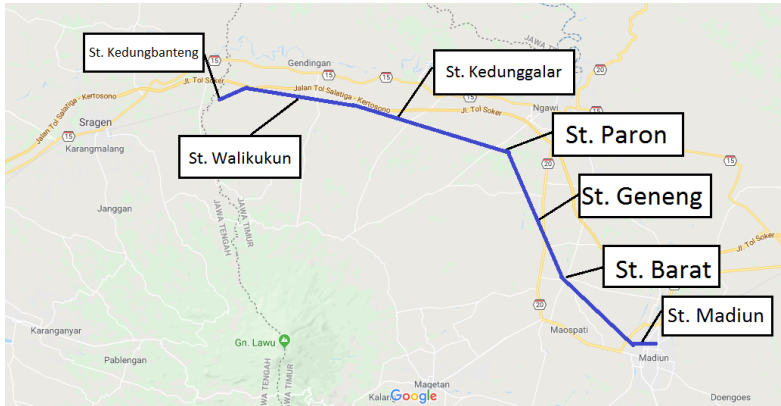
1. Studi ini menggunakan data dari proyek pembangunan jalur ganda kereta api antara Madiun-Kedungbanteng tahun 2018
2. Perancangan jalan rel hanya meliputi perancangan struktur atas jalan rel.
3. Hanya menghitung anggaran biaya pada perencanaan struktur jalan rel dengan metode slab *track*.
4. Perancangan tidak mencakup rancangan stasiun, jembatan, terowongan, kajian pola operasi, dan analisis hidrologi-hidraulika.

1.5 Manfaat Penulisan

Adapun manfaat dari penulisan tugas akhir ini dengan perencanaan struktur jalan rel, diharapkan akan bermanfaat bagi pemerintah terhadap perkembangan pembangunan perkerataapian.

1.6 Lokasi

Lokasi yang ditinjau dalam pembuatan tugas akhir ini adalah kondisi eksisting yaitu sepanjang stasiun Madiun sampai stasiun Kedungbanteng, seperti yang terlihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1. 1 Peta Lokasi Studi

Sumber: google maps

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Suatu teori penunjang diperlukan sebagai pembahasan keseluruhan masalah yang akan timbul dalam penulisan tugas akhir ini. Dasar teori ini berisikan dasar-dasar teori penunjang penulisan oleh ahli dibidangnya masing-masing yang mana hasilnya telah melalui tahapan pengkajian dan penelitian serta sudah baku kebenarannya.

2.2 Studi Terdahulu

2.2.1 Anshory, Irfan. 2009. Perencanaan Struktur Jalan Rel Lintas Rantau Prapat Duri Provinsi Riau Ruas Kota Pinang Menggala (Sta 78+000-150+950)

Berdasarkan hasil studi disimpulkan sebagai berikut:

1. Desain track lurus dan tikungan berlaku tipikal untuk sepanjang jalan rel yang lurus dari Kota Pinang sampai dengan Menggala (STA 78+000 – 150+590). Desain struktur jalan rel pada emplasemen yaitu pada emplasemen Stasiun Buluh Cina. Desain struktur jalan rel pada perlintasan dengan jalan raya yaitu pada jalan raya Bagan Batu – Harapan Jaya. Adapun rincian struktur jalan rel adalah sebagai berikut:

- Kecepatan rencana 120 km/jam dengan menggunakan rel type R-54 dengan lebar spoor 1067mm.
- Menggunakan penambat elastik KA-clip. Agar menjadi elastik ganda seperti yang disyaratkan dalam PD 10, maka digunakan alas karet (rubber pad) dengan tebal 6 mm yang terbuat dari ethyl Vinyl Acetate (EVA).
- Menggunakan bantalan beton dari wika type N-67 dengan jarak 60 cm.

- Menggunakan balas dengan material pembentuk yang baik yaitu batu pecah yang berukuran 2-6 cm dengan tebal balas 70 cm.
2. Perencanaan timbunan dan galian:
- Untuk kontrol terhadap konsolidasi dan stabilitas dilakukan pada zona – zona kritis. Dari data tipikal (sumber Dinas Perhubungan Provinsi Riau) diketahui bahwa timbunan terkritis setinggi 12 m dan galian sedalam 6 m.128
 - Untuk tinggi timbunan kritis (H) = 12 m memiliki tinggi final pada saat pelaksanaan (H_f) = 16,4 m dan settlement yang terjadi (S_c) = 4,34 m.
 - Dari pengecekan terhadap kelongsoran pada timbunan didapatkan $SF < 1,2$, sehingga dibutuhkan metode perbaikan tanah. Metode perbaikan tanah yang digunakan adalah PVD dan Geotextile.
 - Sedangkan untuk galian kritis didapatkan $SF > 1,2$ sehingga tidak dibutuhkan perbaikan tanah.
3. Perencanaan perbaikan tanah:
- Untuk mencapai derajat konsolidasi (U) 90%, membutuhkan waktu 8,57 tahun. Untuk mempercepat waktu konsolidasi, diperlukan pemasangan PVD. Digunakan jarak PVD 1,2 meter dengan pola pemasangan segiempat. PVD yang digunakan adalah tipe FD 5 dengan lebar 100 mm dan tebal 5 mm.
 - Kedalaman PVD bervariasi antara 4 – 9 m untuk tiap segmennya.
 - Untuk perkuatan tanah timbunan digunakan geotextile. Didesain menggunakan Geotextile tipe STABILENKA 1000/100 dengan jumlah 15 lapisan dan jarak antar lapisan sebesar 0,6 m.

2.2.2 Ismoyo, Yugo. 2017. Perencanaan Jalur Ganda Kereta Api Lintas Bangil – Malang

Berdasarkan hasil studi disimpulkan sebagai berikut:

1. Dengan menggunakan aplikasi Global Mapper V.18 (64-Bit) didapatkan kontur trase jalur lintas bangil – malang, dengan pengaturan Contour interval 2,5 m, Minor contours 1 m, dan Major contours 5 m
2. Perencanaan geometrik jalan rel kereta api yang ditinjau dalam perencanaan ini meliputi alinyemen vertikal dan horizontal dengan hasil sebagai berikut :

- Alinyemen Horizontal

Berdasarkan perencanaan lengkung horizontal di dapat hasil Kecepatan rencana 100 km/jam, dengan Jari – jari minimum 550 m dan desain Lengkung Spiral – Circle – Spiral, untuk jumlah tikungan ada 34 tikungan

- Alinyemen Vertikal

Berdasarkan perencanaan lengkung vertikal di dapat hasil jari – jari rencana 8000 m dan jumlah lengkung 12 lengkung

- Konstruksi jalan rel

Jenis rel	= UIC tipe R.54
Umur rencana rel	= 38,812 tahun
Panjang rel	= 250 m
Sambungan rel	= Las alumino-thermic welding
Bantalan	= Produk BKA beton
Jarak pasang bantalan	= 60 cm
Penambat	= Elastis ganda tipe E – Clip

- Wesel

Berdasarkan hasil perhitungan wesel pada jalur ganda lintas bangil – malang didapatkan hasil sebagai berikut :

Nomor wesel	= W 14
Kecepatan ijin	= 50 km/jam
Sudut simpang	= tg 1 : 14

Panjang jarum	= 2,972 m
Panjang lidah	= 6,069 m
Jari – jari rencana	= 328,791 m

- Lebar Badan Jalan Rel

Berdasarkan perhitungan lebar formasi badan jalan rel direncanakan berdasarkan pola jalur ganda, didapatkan hasil Tebal balas atas (d1) 30 cm, tebal balas bawah (d2) 40 cm, dan lebar total badan jalan 0,5 m

- Daya Angkut Lintas

Berdasarkan rencana klasifikasi jalan maka jalur ganda lintas bangil – malang termasuk kelas jalan III dengan daya angkut lintas 7.308.576 ton/tahun

- Berdasarkan hasil trase jalan yang didapat dari aplikasi Global Mapper didapat hasil, volume galian (Cut) 4912006,784m³ dan volume timbunan (Fill) 13471,392m³

- Dimensi Terowongan direncanakan untuk mengurangi tanjakan kereta api akibat elevasi yang tinggi pada stasiun lawang, berikut ini adalah data umum rencana terowongan :

Panjang terowongan	= 15 km
Diameter terowongan	= 12,634 m
Tebal beton semprot	= 15 cm
Tebal dinding beton	= 40 cm
Tebal lantai kerja beton	= 45 cm
Panjang pengikat batuan	= 400 cm
Jumlah Pengikat batuan	= 16 buah

- Berdasarkan hasil perhitungan emplalsemen pada jalur ganda lintas bangil – malang di dapatkan hasil sebagai berikut :

Panjang rangkaian kereta api	= 272,54 m
Dimensi gedung stasiun kecil	= 450,048 m
Dimensi gedung stasiun sedang	= 545,280 m
Dimensi gedung stasiun besar	= 681,472 m

- | | |
|----------------------------|----------------|
| Jenis peron pada stasiun | = Peron tinggi |
| Lebar peron stasiun kecil | = 1,700 m |
| Lebar peron stasiun sedang | = 2,000 m |
| Lebar peron stasiun besar | = 2,500 m |
3. Rencana anggaran biaya yang dibutuhkan untuk pembangunan jalur ganda lintas bangil – malang adalah Rp. 2.900.000.000.000 (2 triliun 9 miliar rupiah).

2.3 Prasarana Kereta Api

Berdasarkan UU No. 23 tahun 2007 tentang perkeretaapian, prasarana kereta api adalah jalur dan stasiun kereta api termasuk fasilitas yang diperlukan agar sarana kereta api dapat dioperasikan. Fasilitas penunjang kereta api adalah segala sesuatu yang melengkapi penyelenggaraan angkutan kereta api yang dapat memberikan kemudahan serta kenyamanan bagi pengguna jasa angkutan kereta api. Prasarana kereta api lebih terperinci lagi dapat digolongkan sebagai berikut:

1. Jalur atau jalan rel
2. Bangunan stasiun
3. Jembatan
4. Sinyal dan telekomunikasi

2.4 Jalan Rel

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.

Jalan rel juga perlu dirancang dan direncanakan supaya ekonomis dalam pelaksanaan konstruksinya dan mudah untuk dilakukan pemeliharaan. Perencanaan konstruksi jalur kereta api sesuai dengan Peraturan Menteri Perhubungan No. PM. 60 tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api, bahwa jalan rel harus direncanakan sesuai persyaratan teknis sehingga dapat dipertanggung jawabkan secara teknis dan ekonomis. Secara teknis diartikan konstruksi jalur kereta api tersebut harus aman dilalui

oleh sarana perkeretaapian dengan tingkat kenyamanan tertentu selama umur konstruksinya.

2.5 Perancangan Konstruksi Jalan Rel

Lintas kereta api direncanakan untuk melewati berbagai jumlah angkutan barang dan penumpang dalam suatu jangka waktu tertentu. Perencanaan konstruksi jalan rel harus direncanakan sedemikian rupa sehingga dapat dipertanggung jawabkan 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 sekecil mungkin dimana masih memungkinkan terjaminnya keamanan dan tingkat kenyamanan.

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 guna. (Perusahaan Jawatan Kereta Api, 1986)

2.5.1 Kecepatan

Kecepatan rencana adalah kecepatan yang digunakan untuk merencanakan konstruksi jalan rel.

a) Untuk perencanaan struktur jalan rel.

$$V_{\text{rencana}} = 1,25 \times V_{\text{maks}} \quad (2.1)$$

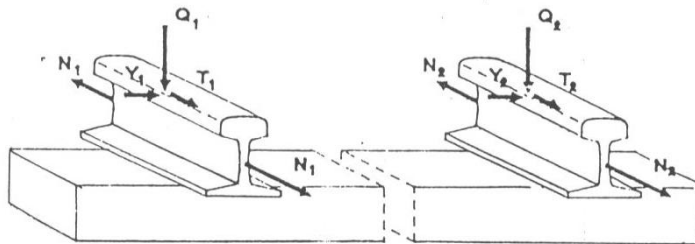
Dimana :

V_{maks} = Kecepatan Maksimum

2.5.2 Beban Dan Gaya Pada Rel

Pembebanan dan pergerakan kereta api di atas struktur jalan rel menimbulkan berbagai gaya pada rel diantaranya gaya vertikal, gaya transversal (lateral) dan gaya longitudinal. Gambar

2.1 menunjukkan ilustrasi letak dan arah dari gaya-gaya tersebut pada penampang struktur jalan rel.



Keterangan :
 Gaya vertikal : Q
 Gaya lateral : Y
 Gaya longitudinal : T
 Gaya akibat perubahan suhu : N
 (termasuk gaya longitudinal)

Gambar 2. 1 Gaya Yang Bekerja Pada Rel

Perhitungan beban dan gaya ini perlu dipahami secara benar untuk dapat merencanakan dimensi, tipe dan disain rel, bantalan dan seterusnya pola distribusi dari komponen super-strukturnya digunakan untuk merencanakan tebal lapisan balas, subbalas dan yang akhirnya dapat menentukan nilai tekanan pada tanah dasar.

A. Gaya Vertikal

Gaya ini adalah beban yang paling dominan dalam struktur jalan rel. Gaya vertikal menyebabkan terjadinya defleksi vertikal yang merupakan indikator utama dalam penentuan kualitas, kekuatan dan umur jalan rel. Secara umum, besarnya gaya vertikal dipengaruhi oleh pembebanan oleh lokomotif, kereta maupun gerbong.

1) Gaya Lokomotif (*locomotive*)

Jenis lokomotif akan menentukan jumlah *bogie* dan gandar yang akan mempengaruhi berat beban gandar di atas rel yang dihasilkannya.

- 2) Gaya Kereta (*car, coach*)
Karakteristik beban kereta dipengaruhi oleh jumlah *bogie* dan gandar yang digunakan. Selain itu, faktor kenyamanan penumpang dan kecepatan (faktor dinamis) mempengaruhi beban yang dihasilkan.
- 3) Gaya Gerbong (*wagon*)
Prinsip pembebanan pada gerbong adalah sama dengan lokomotif dan kereta. Meskipun demikian, kapasitas muatan (beban) gerbong sebagai angkutan barang perlu diperhatikan dalam perencanaan beban.

Perhitungan gaya vertikal yang dihasilkan beban gandar oleh lokomotif, kereta dan gerbong merupakan beban statik, sedangkan pada kenyataannya, beban yang terjadi pada struktur jalan rel merupakan beban dinamis yang dipengaruhi oleh faktor aerodinamik (hambatan udara dan beban angin), kondisi geometrik dan kecepatan pergerakan rangkaian kereta api. Beban dinamik kereta api menyebabkan peningkatan nilai tegangan rel di atas kondisi statik, yang disebabkan oleh faktor-faktor berikut ini:

- 1) Gaya lentur lateral pada rel
- 2) Beban vertikal eksentrik
- 3) Perpindahan beban roda kereta api disebabkan oleh pergerakan kereta api
- 4) Desakan (beban) vertikal roda pada rel akibat kecepatan kendaraan
- 5) Ketidakseragaman bahan pada jalan rel termasuk roda kendaraan dan profil rel.

Oleh karena itu, diperlukan transformasi gaya statik ke gaya dinamik untuk merencanakan beban yang lebih realistis. Persamaan umum untuk menentukan gaya vertikal pada jalan rel sebagai fungsi dari beban statik roda kereta api dapat dilihat pada persamaan 2.2

$$P_d = I_d \times P_s \quad (2.2)$$

dimana,

P_d = beban roda dinamik rencana (kN/kg),

P_s = beban roda statik dari kendaraan/kereta api (kN/kg),

I_d = faktor atau indeks beban dinamik dimensionless (nilainya > 1).

Persamaan Talbot (1918) memberikan transformasi gaya berupa pengkali faktor dinamis sebagai berikut :

$$I_d = 1 + 0,01 \left(\frac{V_R}{1,609} - 5 \right) \quad (2.3)$$

dimana,

I_d = faktor/indeks beban dinamis (dimensionless/tidak berdimensi)

V = kecepatan rencana (dalam km/jam)

Persamaan Talbot ini yang digunakan sebagai standar perencanaan struktur jalan kereta api di Indonesia (Peraturan Dinas No.10 tahun 1986, dan Peraturan Menteri Perhubungan No.60 tahun 2012).

B. Gaya Transversal (Lateral)

Gaya ini terjadi akibat adanya gaya sentrifugal (ketika rangkaian kereta api berada di lengkung horizontal), gerakan ular rangkaian (*snake motion*) dan ketidakrataan geometrik jalan rel yang bekerja pada titik yang sama dengan gaya vertikal. Gaya ini dapat menyebabkan tercabutnya penambat akibat gaya angkat (*uplift force*), pergeseran pelat andas dan memungkinkan terjadinya *derailment* (anjlog atau keluarnya roda kereta dari rel).

C. Gaya Longitudinal

Gaya longitudinal dapat diakibatkan oleh perubahan suhu pada rel (*thermal stress*). Gaya ini sangat penting di dalam analisis gaya terutama untuk konstruksi KA yang menggunakan

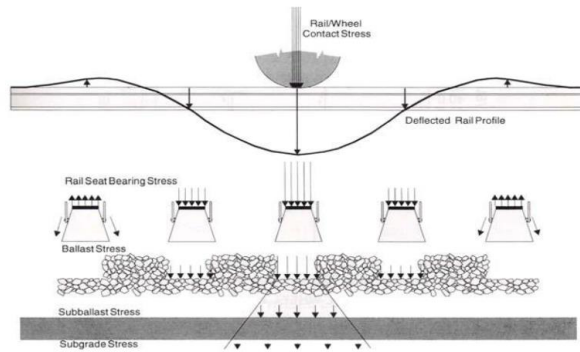
rel panjang (*long welded rails*). Gaya longitudinal juga merupakan gaya adhesi (akibat gesekan roda dan kepala rel) dan gaya akibat pengereman roda terhadap rel. Efek gaya ini akan dibahas pada perhitungan stabilitas rel panjang.

D. Pola Distribusi Gaya Pada Struktur Jalan Rel

Pola distribusi gaya vertikal beban kereta api dapat dijelaskan secara umum sebagai berikut :

1. Beban dinamik diantara interaksi roda kereta api dan rel merupakan fungsi dari karakteristik jalur, kendaraan dan kereta, kondisi operasi dan lingkungan. Gaya yang dibebankan pada jalur oleh pergerakan kereta api merupakan kombinasi beban statik dan komponen dinamik yang diberikan kepada beban statik. Beban dinamik diterima oleh rel berakibat terjadinya tegangan kontak antara kepala rel dan roda, oleh sebab itu, sangat pemilihan mutu baja rel menjadi penting.
2. Beban ini selanjutnya didistribusikan dari dasar rel ke bantalan dengan perantara pelat andas ataupun alas karet.
3. Beban vertikal dari bantalan akan didistribusikan ke lapisan balas dan subbalas menjadi lebih kecil dan melebar. Pola distribusi beban yang melebar dan menghasilkan tekanan yang lebih kecil yang dapat diterima oleh lapisan tanah dasar.

Prinsip pola distribusi gaya pada struktur rel bertujuan untuk menghasilkan reduksi tekanan kontak yang terjadi diantara rel dan roda (100.000 psi atau sekitar 7000 kg/cm²) menjadi tekanan yang sangat kecil pada tanah dasar (kurang dari 20 psi atau kurang dari 2 kg/cm²) dapat dilihat pada gambar 2.2.

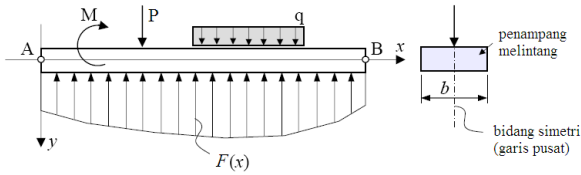


Gambar 2. 2 Pola Distribusi Beban Pada Struktur Jalan Rel
Sumber: Rosyidi (2015)

E. Konsep Perhitungan Beban Menggunakan BoEF

Teori Beam on Elastik Foundation (BoEF) atau Balok di atas Tumpuan Elastik, dikembangkan pertama kali oleh Winkler pada tahun 1867 untuk perhitungan tegangang komponen jalan rel. Rel didisain menggunakan konsep “beam-on-elastic-foundation model” dengan mengasumsikan bahwa setiap rel akan berperilaku sebagai balok menerus (infinite beam) yang diletakkan di atas tumpuan elastik linier.

Ketika beban external (beban dari roda kendaraan) disalurkan di atas balok (rel) yang diletakkan di atas fondasi elastik linier, maka gaya reaksi pada fondasi nilainya adalah proporsional terhadap nilai defleksi yang terjadi pada setiap titik pada balok tersebut. Asumsi ini menjadi dasar perhitungan model beam on elastic foundation (BoEF). Gambar 2.3 menjelaskan kembali skematik balok yang diletakkan di atas medium elastik dan gaya vertikal diberikan di atas balok sebagai bidang yang simetrik.



Gambar 2. 3 BoEF sebagai balok menerus di atas tumpuan elastik yang menerima beban

Balok akan mengalami defleksi (lendutan/deflection) yang menghasilkan gaya reaksi yang terdistribusi secara merata sepanjang fondasi elastik $[F(x)]$. Intensitas gaya reaksi pada setiap titik fondasi adalah proporsional terhadap lendutan yang terjadi pada balok, $y(x)$, yang selanjutnya ditulis dalam persamaan umum 2.4

$$F(x) = k \cdot y(x) \quad (2.4)$$

dimana,

$F(x)$ = reaksi merata per satuan panjang,

k = konstanta yang selanjutnya disebut sebagai modulus fondasi,

$y(x)$ = defleksi akibat beban pada rel.

Seperti yang diasumsikan sebelumnya bahwa balok di atas media fondasi dimodelkan memiliki penampang melintang dengan lebar b_0 (Gambar 2.3). Defleksi yang terjadi pada balok disebabkan reaksi yang nilainya sama dengan $k_0 \cdot b$ pada fondasi, dengan demikian intensitas reaksi yang terdistribusi merata per unit panjang balok dapat dituliskan sebagai berikut:

$$F(x) = k_0 \cdot b \cdot y(x) \quad (2.5)$$

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} + k \cdot y = 0 \quad (2.6)$$

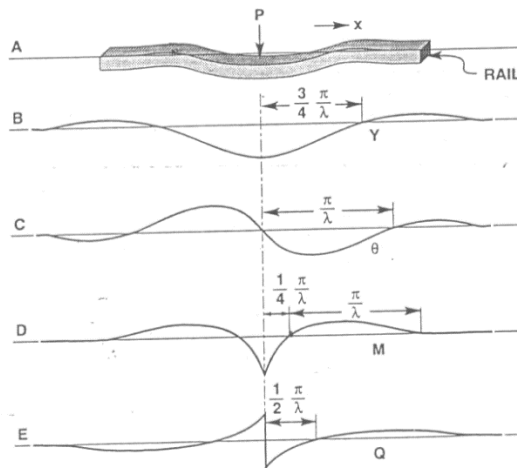
dimana,

E = Modulus elastisitas baja penyusun rel

I = Momen inersia rel (d disesuaikan dengan jenis rel yang digunakan)

k = Modulus jalan rel

dengan, $k = k_0 \cdot b$ merupakan konstanta fondasi yang dikenal juga sebagai konstanta Winkler yang memasukkan pengaruh lebar balok dan memiliki dimensi kN/m/m.



Gambar 2.4 Diagram defleksi (B), kemiringan (C), momen (D) dan gaya geser (Q) pada rel (A) akibat beban titik P

Nilai maksimum defleksi (gambar 2.4), momen dan gaya geser pada setiap titik di sepanjang rel akibat gaya titik terpusat P dapat dituliskan sebagai persamaan 2.7 :

$$\begin{aligned}
 Y_m &= \frac{P\lambda}{2k} \\
 M_m &= \frac{P}{4\lambda} \\
 F_m &= k \times Y_m
 \end{aligned}
 \tag{2.7}$$

Distribusi beban pada batas atas rel (Q) yang selanjutnya menjadi beban merata dasar rel yang membebani struktur bantalan dapat dihitung sebagai persamaan 2.8 :

$$Q_m = F_m \times S \tag{2.8}$$

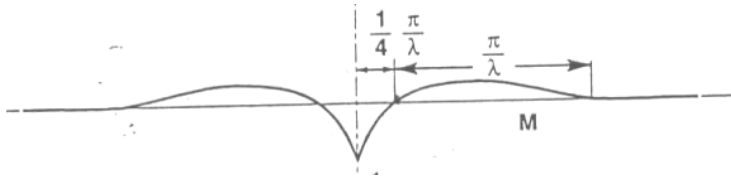
Dengan, S = jarak antar bantalan (garis pusat bantalan). Tekanan pada balas (Pb) akibat beban dengan pada luas tekanan bantalan (Ab) dapat diestimasi dengan ringkas menggunakan:

$$P_b = \frac{2Q_m}{A_b} \tag{2.9}$$

Persamaan 2.9 merupakan persamaan umum dan ringkas untuk mengetahui dampak dari pola pembebanan langsung dari beban kendaraan kereta api ke lapisan balas. Meskipun demikian, terdapat beberapa persamaan atau pendekatan analitik yang dapat digunakan untuk menentukan tekanan (tegangan) pada balas dan tanah dasar. Diskusi mengenai hal ini akan diberikan pada bab selanjutnya yang membahas lapisan balas dan tanah dasar.

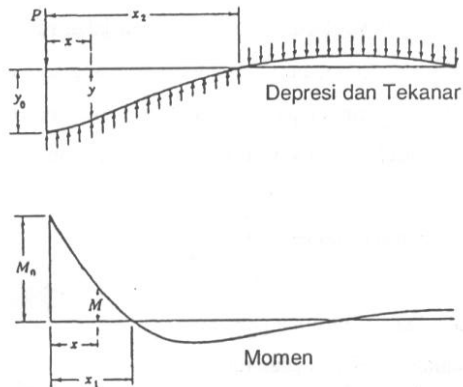
Untuk mempermudah perhitungan pada konstruksi bantalan, analisis pembebanan dapat disubstitusikan sebagai fungsi beban dinamik, jarak bantalan dan fungsi sumbu x (jarak horizontal sepanjang rel).

Analisis pembebanan ditinjau untuk kondisi momen nol ($M = 0$) :



Persamaan umum 2.10 :

$$M(x) = \frac{P}{4\lambda} e^{-\lambda x} (\cos \lambda x - \sin \lambda x) \quad (2.10)$$



Momen nol ($M = 0$) terjadi jika : $\cos \lambda x - \sin \lambda x = 0$, maka posisi momen nol terletak pada :

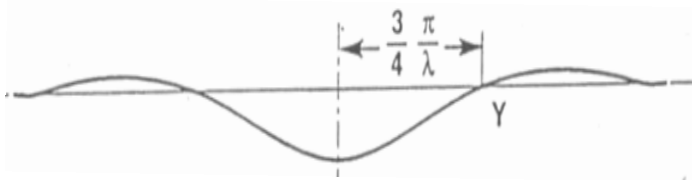
$$X_1 = \frac{1}{4} \frac{\pi}{\lambda}, \text{ untuk } \lambda = \sqrt[4]{\frac{k}{4EI_x}}, \text{ maka :}$$

$$\lambda = \frac{\pi}{4X_1} \quad (2.11)$$

Persamaan 2.11 dapat disubstitusikan pada kondisi momen maksimum (persamaan 2.12), maka :

$$M_m = \frac{P_d}{4\lambda} = \frac{P \times X_1}{\pi} = 0,318 P X_1 \quad (2.12)$$

Persamaan 2.12 juga dapat disubstitusikan pada kondisi defleksi maksimum (persamaan 2.13), maka :



$$Y_m = \frac{P_d}{2k} = \frac{P_d \times \pi}{8 \times k \times X_1} = 0,393 \frac{P_d}{k X_1} \quad (2.13)$$

2.5.3 Standart Jalan Rel

Penentuan standart jalan rel bertujuan untuk memenuhi kapasitas muatan yang melintas di atas jalan rel.

A. Klasifikasi Jalan Rel

Jalan rel diklasifikasikan berdasarkan daya angkut lintas per tahunnya, seperti yang tercantum pada tabel 2.1

Tabel 2. 1 Klasifikasi Jalan rel 1067mm

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 ⁹	120	18	R.60/R.54	Beton 60	Elastis Ganda	30	60
II	10.10 ⁹ – 20.10 ⁹	110	18	R.54/R.50	Beton/Kayu 60	Elastis Ganda	30	50
III	5.10 ⁹ – 10.10 ⁹	100	18	R.54/R.50/R.42	Beton/Kayu/Baja 60	Elastis Ganda	30	40
IV	2.5.10 ⁹ – 5.10 ⁹	90	18	R.54/R.50/R.42	Beton/Kayu/Baja 60	Elastis Ganda/Tunggal	25	40
V	< 2.5.10 ⁹	80	18	R.42	Kayu/Baja 60	Elastis Tunggal	25	35

Sumber : Peraturan Menteri 60, 2012

B. Beban Gandar

Beban gandar adalah beban yang diterima oleh jalan rel dari satu gandar. Beban gandar maksimum untuk lebar jalan rel 1067 mm pada semua kelas jalur adalah sebesar 18 ton.

C. Daya Angkut Lintas

Daya angkut lintas adalah jumlah angkutan anggapan yang melewati suatu lintas dalam jangka waktu satu tahun. Daya angkut lintas menjelaskan tentang jenis, jumlah beban total, dan kecepatan kereta api yang lewat di lintas yang bersangkutan dengan persamaan 2.14 dan persamaan 2.15. (Perusahaan Jawatan Kereta Api, 1986)

$$T = 360 \times S \times TE \quad (2.14)$$

$$TE = T_p + (K_b \times T_b) + (K_l \times T_l) \quad (2.15)$$

Dimana:

TE = Tonase ekivalen (ton/hari)

T_p = Tonase penumpang dan kereta harian

T_b = Tonase barang dan gerbong harian

T_l = Tonase lokomotif harian

S = 1,1 untuk lintas kereta api penumpang dengan kecepatan max 120 km/jam

S = 1,0 untuk lintas tanpa kereta penumpang

K_l = Koefisien yang besarnya = 1,4

K_b = Koefisien yang besarnya bergantung pada beban gandar

(1,5 untuk beban gandar < 18 ton)

(1,3 untuk beban gandar >18 ton)

Dimana untuk perhitungan T_p , T_b , T_l adalah pada persamaan 2.16 :

$$T_p = T_b = T_l = \frac{\text{Jumlah Lintas} \times \text{Jumlah Kereta pada Rangkaian} \times \text{Berat kereta}}{\quad} \quad (2.16)$$

2.6 Komponen Struktur Rel

Rel merupakan struktur balok menerus yang diletakkan diatas tumpuan bantalan yang berfungsi sebagai penuntun atau mengarahkan pergerakan roda kereta api. Dalam pemilihan tipe rel, harus di sesuaikan dengan rencana kelas jalan yang dipilih

2.6.1 Penentuan Dimensi Rel

Rel dianggap sebagai suatu balok tidak berhingga panjangnya dengan pembebanan terpusat dan ditumpu oleh struktur dengan modulus elastisitas jalan rel (track stiffness). Penentuan dimensi rel didasarkan pada tegangan ijin rel. Tegangan ini tidak boleh melebihi nilai tegangan ijin yang telah ditetapkan sesuai dengan kelas jalannya. Jika suatu dimensi rel dengan beban roda tertentu menghasilkan $\sigma < \sigma$ ijin, maka dimerencana dianggap cukup

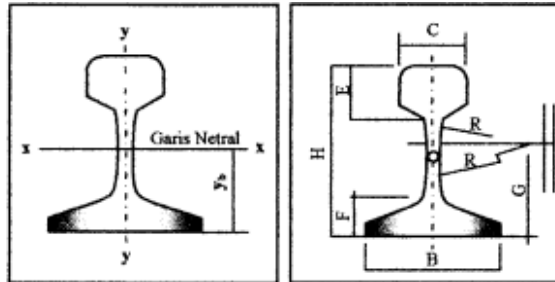
A. Karakteristik Penampang Rel

Karakteristik penampang rel harus memenuhi syarat dan ketentuan dimensi rel seperti yang tertera pada Tabel 2.2 dan Gambar 2.4

Tabel 2. 2 Karakteristik 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)	320,00	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
A	= luas penampang			
W	= berat rel permeter			
I _x	= momen inersia terhadap sumbu x			
Y _b	= jarak tepi bawah rel ke garis netral			

Sumber : Peraturan Menteri 60, 2012



Gambar 2. 4 Dimensi Penampang Rel

Sumber : Peraturan Menteri 60, 2012

B. Tegangan Ijin (σ)

Tegangan ijin tergantung pada mutu rel yang digunakan. Untuk perencanaan dimensi rel yang akan digunakan. Nilai tegangan ijin dapat dilihat pada Tabel 2.3

Tabel 2. 3 Nilai tegangan untuk kelas jalan rel

Kelas Jalan	Daya Angkut Lintas (juta ton/thn)	Kecepatan rencana (kph)	Beban gandar (ton)	Beban roda dinamis (kg)	Jenis Rel	Tegangan dasar rel (kg/cm ²)	Tegangan ijin (kg/cm ²)
I	> 20	150	18	19940	R-60	1042,3	1325
					R-54	1176,8	
II	10-20	140	18	16241	R-54	1128,2	1325
					R-50	1231,8	
III	5-10	125	18	15542	R-54	1097,7	1663
					R-50	1178,8	
					R-42	1476,3	
IV	2.5-5	115	18	14843	R-54	1031	1843
					R-50	1125,8	
					R-42	1410	
V	>2,5	100	18	14144	R-42	1343,5	2000

Sumber : Peraturan Menteri 60, 2012

- Alur Perhitungan Tegangan Ijin Rel
Alur perhitungan tegangan ijin yang terjadi pada rel akan dijelaskan dengan rumus sebagai berikut :
a) Beban dinamis roda (Pd)

$$P_s = \frac{\text{Beban Gandar}}{2} \quad (2.17)$$

$$P_d = P_s + 0,01 \times P_s \times \left(\frac{V}{1,609} - 5 \right) \quad (2.18)$$

Dimana :

P_d = Beban dinamis roda (kg)

P_s = Beban statis roda (kg)

V = kecepatan rencana (km/jam)

b) Dumping faktor (λ)

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{K}{4 \times E \times I_x}} \quad (2.19)$$

Dimana :

λ = Dumping factor (cm⁻¹)

K = Modulus elastisitas jalan rel = 180 kg/cm²

E = Modulus elastisitas struktur rel = 2,1x10⁶ kg/cm²

I_x = Momen inersia rel terhadap sumbu x-x (cm⁴)

c) Momen maksimm (M_a)

$$M_o = \frac{P_d}{4 \times \lambda} \quad (2.20)$$

$$M_a = 0,85 \times M_o \quad (2.21)$$

Dimana :

M_o = momen akibat superposisi beban gandar (kg.cm)

P_d = Beban dinamis roda (kg)

λ = Dumping factor (cm⁻¹)

M_a = Momen maksimum (kg.cm)

d) Tegangan ijin kelas jalan rel (σ)

$$\sigma = \frac{M_a \times Y_b}{I_x} \quad (2.22)$$

e) Tegangan yang terjadi pada dasar rel (S_{base})

$$S_{base} = \frac{M_a}{W_b} \quad (2.23)$$

Dimana :

σ = tegangan ijin rel (kg/cm²)

M_a = Momen maksimum (kg.cm)

Y_b = Jarak tepi bawah rel ke garis netral (cm)

I_x = Momen inersia rel terhadap sumbu x-x (cm⁴)

W_b = Tahanan momen dasar / Z_x (cm³)

2.7 Umur Rencana Rel

Panjang pendeknya umur rel ditentukan oleh mutu rel (berkaitan dengan komposisi bahan kimia penyusun rel), keadaan lingkungan, dan beban yang bekerja (daya angkut lintas). Dalam perencanaan struktur jalan rel, perancangan umur rel diperlukan untuk memperkirakan umur aus, pemeliharaan dan tahun penggantian rel, karena hal ini akan berkait dengan perencanaan keselamatan pergerakan kereta api di atas rel. (Modul V Jurusan Teknik Sipil UMY hal – 48).

A. Umur Rel Berdasarkan Keausan

Perhitungan nilai konstanta di kelompokkan menjadi 2 yaitu jalur lurus dan jalur lengkung yang direncanakan, untuk alur perhitungan umur rencana rel akan dijelaskan dengan rumus sebagai berikut :

a) Perhitungan Konstanta (K)

$$K_{total} = \frac{k_1 + k_2 + \text{Nilai } k_3 + \dots}{L_{total}} \quad (2.24)$$

Dimana :

k_1 = (Panjang jalur) x (nilai K rel 1) x (nilai K jalur lurus 1)

k_2 = (Panjang jalur) x (nilai K rel 2) x (nilai K jalur lengkung 2)

k_3 = (Panjang jalur) x (nilai K rel 3) x (nilai K jalur lengkung 3)

k_4 = dst tergantung banyaknya rencana jalur lengkung dan lurus

Konstanta kondisi rel = Untuk jalan rel baru = 0.9538

= Untuk rel > 123 RE = -9810

= Jika tidak ada data lain digunakan harga $K = 0.545$

b) Perhitungan Nilai Umur Rel (T)

$$T = K \times W \times D^{0.565} \quad (2.25)$$

Dimana :

T =Nilai umur rel (juta ton)

K =Konstanta total

W =Berat rel (Lb/yard), dimana 1 lb/yard = 0,496 kg/m

D =Daya angkut lintas (juta ton/tahun, atau million gross ton, mgt), dimana 1 mgt = 0,909 juta ton

c) Perhitungan Umur Rel (U)

$$U = \frac{T}{D} \quad (2.26)$$

Dimana :

U = Umur rel (tahun)

T = Nilai umur rel (juta ton)

D = Daya angkut lintas (juta ton/tahun)

B. Umur Rel Berdasarkan Lelah (Fatigue)

Jalan rel adalah struktur yang elastis, ini berakibat akan terbebani cyclic (tegangan yang terjadi tarik dan tekan). Tegangan total di kepala rel, akibat kombinasi tegangan lentur, kontak, dan suhu ($St = SI + Sk + Ss$).

a) Tegangan Lentur (SI)

$$SI = \frac{Ma}{Wa} \quad (2.27)$$

Dimana :

Ma = Momen lentur (kg.cm)

Wa = Tahanan momen dasar / Zx (cm³)

b) Tegangan Kontak (Sk)

Persamaan dalam menghitung tegangan kontak adalah persamaan H.R Thomas:

$$S_k = \frac{23500 \times P^{1/3}}{2 \times (R_1/R_2)^{0,271} \times R_2^{2/3}} \quad (2.28)$$

Dimana:

- S_k = Tegangan kontak (psi)
 P = Beban dinamis (lb)
 R_1 = Jari-jari roda kereta (inch)
 R_2 = Jari-jari rel (inch)

c) Tegangan Suhu (S_s)

Tegangan suhu diakibatkan oleh perubahan suhu, dimana ada perbedaan suhu dengan suhu pemasangan

$$\begin{aligned} \Delta L &= L \alpha \Delta t \\ &= L \alpha (t - t_p) \end{aligned} \quad (2.29)$$

Dimana:

- Δt = Perbedaan suhu = $t - t_p$
 t_p = suhu pemasangan
 t = suhu maksimum di lapangan
 L = Panjang rel
 A = Koefisien muai panjang = $1,1510^{-5}/^\circ\text{C}$

Menurut hukum Hooke:

$$\begin{aligned} \Delta L &= PL / AE = S_s L / E \\ S_s &= E \Delta L / L = E \alpha (t - t_p) \end{aligned} \quad (2.30)$$

2.7.1 Stabilitas Rel

Dalam perencanaan, terdapat dua rel yaitu rel panjang (*long welded rails*) dan rel panjang menerus (*continuous welded rails*). Rel panjang perlu diperhatikan panjang minimum dan stabilitasnya terutama akibat pengaruh Bahaya Tekuk (buckling) oleh gaya longitudinal dan perubahan suhu. Sedangkan untuk rel panjang menerus adalah rel yang memiliki panjang tak terbatas

dengan menggabungkan rel panjang yang telah ditentukan panjangnya minimumnya.

Oleh karena itu, sebagai penyelesaiannya, rel tidak boleh berkembang bebas dan hanya akan dihambat oleh perkuatan pada bantalan dan balas. (Modul V Jurusan Teknik Sipil UMY, hal : 48)

A. Penentuan Panjang Minimum Rel

Menurut PD No 10 Tahun 1986, panjang rel dibedakan menjadi tiga jenis rel, yaitu:

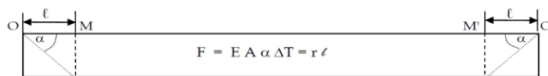
- Rel standar adalah rel yang panjangnya 25 meter.
- Rel pendek adalah rel yang panjangnya maksimal 100 m.
- Rel panjang adalah rel yang panjang minimumnya tercantum pada Tabel 2.4

Tabel 2. 4 Panjang Minimum Rel Panjang

Jenis Bantalan	Tipe Rel			
	R 24	R 50	R 54	R 60
Bantalan Kayu	325 m	375 m	400 m	450 m
Bantalan Beton	200 m	225 m	250 m	275 m

Sumber : PJKA, 1986

Permasalahan yang ditimbulkan dalam rel panjang adalah penentuan panjang minimal rel panjang yang diakibatkan oleh dilatasi pemuaihan, yang akan ditampilkan dengan Gambar 2.5 dan dijelaskan dengan persamaan sebagai berikut :



Gambar 2. 5 Diagram Gaya Lawan Bantalan

Sumber : Rosyidi, 2015

$$\ell = \text{OM} = \frac{E \times A \times \alpha \times \Delta T}{r} \quad (2.31)$$

Dimana :

ℓ	= Pertambahan panjang rel (m)
E	= Modulus elastisitas young = $2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$
A	= Luas penampang (cm^2)
α	= Koefisien muai panjang ($^{\circ}\text{C}^{-1}$) = $1,2 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
ΔT	= Kenaikan temperature ($^{\circ}\text{C}$) = Suhu minimum = $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ = Suhu maksimum = $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$
r	= $\text{tg } \alpha$ = gaya lawan bantalan per satuan panjang = (r) bantalan beton dari CPSC = 450 (kg/m) = (r) bantalan kayu dari JNR = 270 (kg/m)

Jadi untuk mendapatkan nilai panjang minimum rel panjang

digunakan persamaan sebagai berikut :

$$L \leq 2 \times \ell \quad (2.32)$$

2.7.2 Sambungan Besi Rel

Sambungan rel adalah titik-titik perlemahan dan jika terjadi beban kejut yang besar pada sambungan sehingga, akan dapat merusak struktur jalan rel.

Rel dari pabrik akan diproduksi 25 meter, selanjutnya akan dilas dengan *flash butt welding* untuk mendapatkan rel – rel pendek, dan pada saat di lapangan dapat disambung lagi dengan las “thermit welding” sehingga akan menjadi rel panjang.

2.8 Jalan Rel Slab

Konstruksi jalan rel di Indonesia maupun di luar negeri sebagian besar menggunakan jenis jalur dengan formasi balas. Meskipun demikian, beberapa inovasi terus dilakukan, yang salah satu diantaranya adalah jalur dengan formasi non-balas, yaitu jalur

slab. Keunggulan penggunaan jalur slab ini adalah biaya pemeliharaan yang rendah, bentuk struktur yang rendah dan ringan serta kemungkinan ketersediaan bahan konstruksi yang memadai. Tambah lagi, jalur slab ini mempunyai umur manfaat yang lebih panjang dengan nilai konstruksi yang kompetitif jika dibandingkan jalur dengan formasi balas. (Rosyidi,2015)

Dalam perawatannya, struktur jalan rel ini mudah untuk dilakukan sehingga dapat mengurangi keterlambatan jadwal kereta api yang biasanya diakibatkan saat melakukan proses perawatan saat menggunakan formasi balas.

2.8.1 Perbandingan Jalur Balas Dan Jalur Slab

Dibandingkan dengan jalur slab, beberapa hal yang menjadi pertimbangan sebagai kelemahan jalur diantaranya (Esveld, 2014 dalam Rosyidi, 2015):

- a. Dalam jalur formasi balas, sangat dimungkinkan terjadi penurunan level (ketinggian) jalur baik dalam arah longitudinal maupun lateral setelah beberapa waktu layanan,
- b. Terbatas percepatan lateral dalam geometrik lengkung yang disebabkan oleh resistensi lateral yang terbatas yang mampu disediakan oleh formasi balas.
- c. Terdapat *impact* dan tumbukan yang kuat pada partikel balas yang dapat menyebabkan kerusakan roda dan rel,
- d. Pengurangan kapasitas permeabilitas lapisan balas diakibatkan oleh kotoran pada lapisan balas, keausan partikel balas dan instrusi partikel tanah ke balas;
- e. Formasi balas merupakan konstruksi yang berat dan memerlukan struktur yang relatif tinggi sehingga memerlukan konstruksi yang lebih kuat khususnya pada jembatan dan *viaduct*,
- f. Potensi kerusakan pada jalur formasi balas sangat tergantung pada kualitas komponen struktur dan pelaksanaan konstruksinya, geometrik jalur,

homogenitas struktur dan daya dukung lapisan subbalas. Dan khususnya, pada landasan balas pada jembatan dan terowongan, elastisitas struktur harus ditambahkan dengan menggunakan pelapis balas (*ballast mats*) dan meningkatkan elastisitas penambat. Selain itu, pemeliharaan lapisan balas harus dilakukan berkala secara intensif.

Terhadap penggunaan jalur balas, secara umum, keunggulan jalur slab adalah kemampuan stabilitas yang lebih tinggi dan mengurangi pekerjaan perawatan. Beberapa keunggulan lainnya diantaranya:

- a. Mereduksi pekerjaan perawatan jalur kereta api diantaranya tidak memerlukan pekerjaan pengawasan pemadatan rutin, pembersihan balas dan koreksi level jalur rel. Dengan demikian, dapat mengurangi sekitar 20 hingga 30% biaya pemeliharaan terhadap jalur formasi balas,
- b. Meningkatnya umur layanan dan kemungkinan untuk penggantian konstruksi pada di akhir umur layanan,
- c. Tidak ada beban dampak yang terjadi terhadap balas dari HSR,
- d. Dapat menggunakan sistem *electro-magnetic wheel brakes* tanpa persyaratan khusus,
- e. Selisih superelevasi dan defisiensi jalur akibat lalu lintas kereta tercampur (kereta barang dan penumpang) tidak akan menyebabkan perubahan kedudukan jalur rel,
- f. Deformasi yang terjadi kecil, biasanya koreksi hanya terjadi pada 26 mm pada arah vertikal dan 5 mm pada arah horisontal,
- g. Mengurangi berat dan tinggi struktur jalan rel.

2.8.2 Desain Slab Track

Ada banyak desain slab track yang berbeda. Tabel 2.5 menggambarkan panjang saat ini dari desain slab track yang dibangun di seluruh dunia (Michas, 2012).

Tabel 2. 5 Panjang Total dari Berbagai Sistem Slab Track yang Dibangun di Seluruh Dunia

Desain Slab Track	Negara	Total Konstruksi (km)
Bögl	Jerman	4391
Shinkansen	Jepang	3044
Rheda	Jerman	2205
Sonneville-LVT	Swiss	1031
Züblin	Jerman	606
Stedef	Prancis	334
Infundo-Edilon	Belanda	211
ÖBB-Porr	Austria	122
IPA	Italia	100
PACT	Inggris	95
SATO	Jerman	36
FFYS	Jerman	33

Sumber: Michas, 2012

Berikut adalah metode konstruksi dan penerapan struktur *ballastless track*, dapat dilihat pada tabel 2.6

Tabel 2. 6 Beberapa metode konstruksi dan penerapan struktur jalan rel tanpa balas (sistem slab *track*)

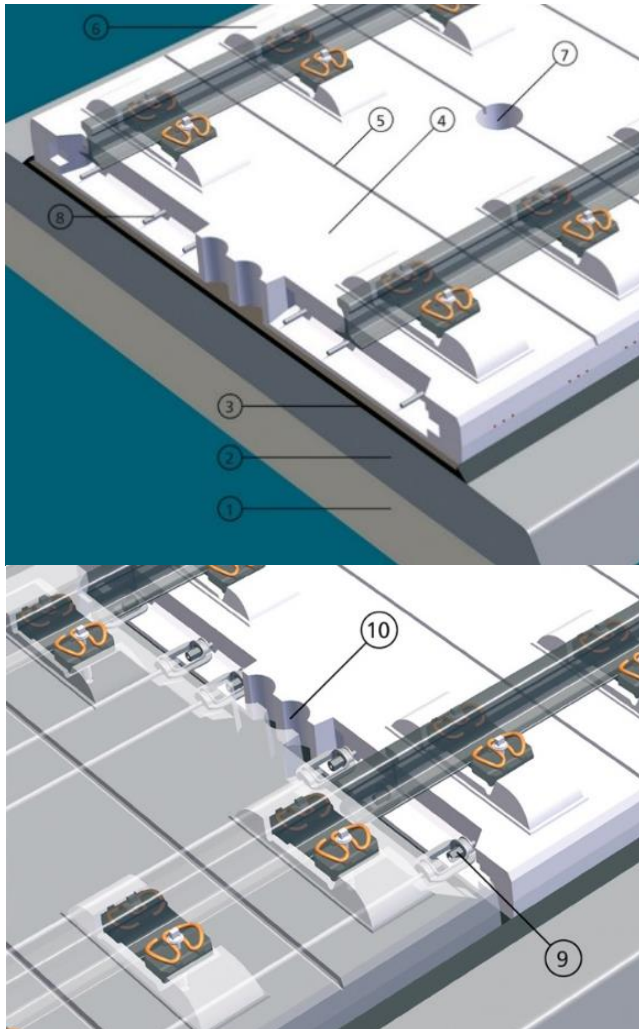
SISTEM PENDUKUNG REL DISKRIT				SISTEM PENDUKUNG REL MENERUS	
DENGAN BANTALAN ATAU BLOK		TANPA BANTALAN			
Bantalan atau blok yang tertanam dengan beton	Bantalan di atas landasan aspal beton (AC)	Slab beton fabrikasi	Monolitik setempat (<i>in-situ</i>) dengan slab	Tertanam dengan rel	Terikat dan menerus
Contoh Penerapan:					
Rheda Rheda 2000 Züblin LVT	ATD	Shinkansen Bögl	Diperkeras pada jalurnya di atas struktur	Diperkeras pada jalur rel ringan Persilangan dengan jalan Decktrack	Coctrack ERL Vanguard KES

Sumber: Michas, 2012

Berbagai sistem slab *track* dapat dibedakan berdasarkan stabilitas struktural, kekakuan lentur, tinggi struktur, produksi kebisingan, kecepatan, kebutuhan perawatan, biaya konstruksi, kecepatan konstruksi, dan panjang lintasan yang dibangun (Setiawan, 2016).

a) Bögl

Sistem slab *track* Bögl dikembangkan dan pertama kali digunakan di Jerman pada tahun 1977 (Bastin, 2005 dalam Michas 2012). Sistem prefabrikasi ini terbuat dari pelat baja serat beton (B55 atau C45 / 55) dengan tebal 20 cm, panjang 6,45 m dan lebar 2,55 atau 2,80 m, memiliki kedalaman konstruksi total 475 mm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Struktur Sistem Slab *Track Bögl*
Sumber: [http://www.vde8.de/The-Boegl-ballastless-track-system----- site.site..ls dir_nav.773 likecms.html](http://www.vde8.de/The-Boegl-ballastless-track-system-----site.site..ls_dir_nav.773_likecms.html)

Keterangan:

1. *Frost Protection Layer*
Digunakan agar dapat mengkompensasi perbedaan kekakuan berbagai lapisan terhadap lapisan tanah dan membuat air pada permukaan cepat hilang. Bagian atas pada lapisan ini harus diletakkan dengan bahan yang mirip dan terikat secara hidrolis.
2. *Hydraulically Bounded Layer*
Lapisan ini adalah campuran agregat dengan zat pengikat yang diletakkan di bawah lapisan bantalan/slab beton atau aspal yang berkontribusi terhadap peningkatan kapasitas total bantalan/slab. Mempunyai ketebalan lapisan 300mm.
3. *Grouting Mass*
Lapisan ini terdiri dari semen yang digunakan untuk mencegah terjadinya pengangkatan akibat adanya pergeseran konstruksi bangunan, dapat menghasilkan daya rekat yang optimal antara *Hydraulically Bounded Layer* dan *Slab Track*
4. *Slab Track*
Konstruksi jalur kereta api yang menggunakan lempengan plat beton.
5. *Design Cracking Joint*
Design cracking joint dengan kedalaman $t=40\text{mm}$
6. *Rail Support Joint*
Disediakan untuk meletakkan komponen struktur atas seperti *rail pad*, penambat, dan rel kereta api.

7. *Opening for Grouting Mass*

Lubang yang digunakan untuk memasukkan material grouting mass.

8. *GEWI Steel*

Sebagai tulangan memanjang yang nantinya digabung dan ditekan dengan turnbuckle/ spanskrup. Digunakan diameter tulangan GEWI sebesar $\text{Ø}16\text{mm}$ dan panjang 675mm. Contoh tulanganya dapat dilihat pada gambar 2.7



Gambar 2. 7 Tulangan GEWI

Sumber: Brosur Dywidag-syste International

9. *Turnbuckles and Nuts*

Digunakan untuk menghubungkan antar segmen/ blok dengan cara digabungkan pada tulangan GEWI yang ada pada ujung segmen/ blok

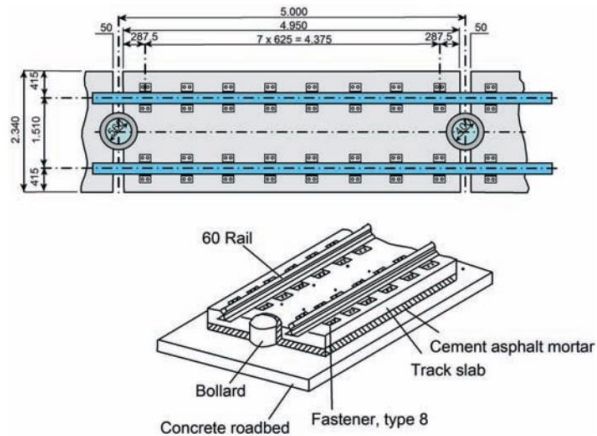
10. *Construction Joints*

Bagian ujung segmen/ blok yang berisi mortar.

b) Shinkansen

Sistem slab *track* ini pertama kali dikembangkan dan digunakan di Jepang pada tahun 1972 (Lichtberger, 2005 dalam Setiawan,2016). Ini terdiri dari sub-lapisan yang distabilkan dengan semen, dan pelat perakitan $4,95\text{ m} \times$

2,34 m × 0,19 m dan tebal 0,16 m di terowongan dengan pretensi rendah digunakan dalam dimensi longitudinal dan lateral seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7 (Esveld dan Markine, 2003 dalam Setiawan,2016).



Gambar 2. 8 Struktur Sistem Slab *Track* Shinkasen
Sumber: Esveld, 2003

Keterangan:

1. *Concrete Roadbed*

Berfungsi seperti sub-balas dan balas sebagai daya dukung struktur bawahnya, biasanya berukuran setebal 300mm.

2. *Cement Asphalt Mortar*

Diantara *concrete roadbed* dan *slab track* diisi dengan *cement asphalt mortar* agar dapat menstabilkan *slab track*. Dengan ketebalan minimum 40mm

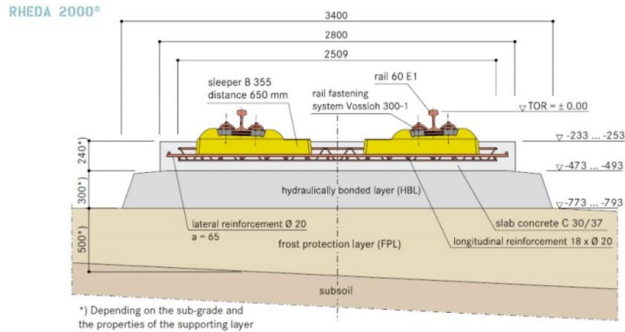
3. *Bollard*

Bollard atau biasanya disebut *stopper concrete*. Berukuran diameter 400mm-520mm, fungsi dari

bollard ini adalah untuk mencegah slab track bergerak baik itu arah longitudinal maupun arah lateral.

c) Rheda

Sistem slab *track* pertama yang dibangun di stasiun Rheda-Wiedenbruck (Jerman) pada tahun 1972 (Lichtberger, 2005 dalam Setiawan, 2016). Sistem Rheda dalam berbagai bentuknya adalah salah satu sistem trek slab yang paling populer dan paling umum digunakan di seluruh dunia seperti pada gambar 2.8



Gambar 2. 9 Struktur Sistem Slab Track Rheda
Sumber: Michas, 2012

setiap sistem slab track memiliki ketinggian struktur yang berbeda, hal ini ditentukan sesuai penggunaannya. Sistem dengan struktur yang rendah biasanya digunakan dalam terowongan dimana ruang bebasnya terbatas (Esveld, 2001 dalam Michas, 2012).

2.9 Beton Pratekan

Beton Pratekan adalah beton yang mengalami tegangan internal dengan besar dan distribusi sedemikian rupa sehingga

dapat mengimbangi tegangan yang terjadi akibat beban eksternal sampai batas tertentu (T.Y Lin, 1996)

Menurut sistem penegangan kabelnya, bantalan pratekan blok tunggal dibedakan dalam dua metode, yaitu:

- a. Sistem Pra-tegang (pre-tension),
Sistem pemberian pre-tension adalah pemberian gaya prategang pada beton pratekan dengan menarik baja prategang (tendon) terlebih dahulu sebelum dilakukannya pengecoran.
- b. Sistem Pasca-tegangan (post-tension),
Sistem pemberian gaya post-tension adalah pemberian gaya prategang setelah beton kering dicor atau setelah kekuatannya mencapai sesuai yang ditentukan.

Untuk perhitungan perkuatan slab track, slab dianggap beton pratekan pre-tension dengan panjang yang telah ditentukan dalam setiap modelnya, tebal dan lebarnya mengikuti desain bantalan produksi PT. WIKA. Sehingga, hanya dihitung tegangan yang terjadi pada slab disetiap segmennya.

2.9.1 Prosedur Perhitungan Beton Pratekan

Prosedur perhitungan sama dengan bantalan beton monoblok. Dengan alur sebagai berikut:

- a. Perhitungan Modulus Elastisitas berdasarkan nilai f_{cu}

$$E = 6400 \sqrt{f_{cu}} \text{ (kg/ cm}^2\text{)} \quad (2.33)$$
- b. Perhitungan λ Beton pada Bagian di Bawah Rel dan Tengah slab:

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{K}{4EI}} \quad (2.34)$$
- c. Perhitungan nilai eksentris
 - Menentukan leta garis netral penampang (y)

- Menentukan letak titik berat strand dengan dasar penampang (t_b)

$$t_b = \frac{\sum(\text{jumlah besi} \times \text{jarak besi ke dasar penampang})}{\sum \text{besi}} \quad (2.35)$$

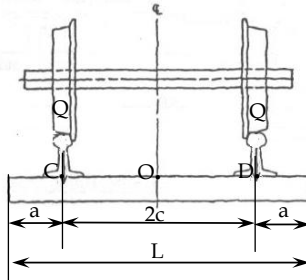
- Menentukan nilai eksentris (e)

$$e = y - t_b \quad (2.36)$$

- d. Beban yang diterima slab dari kereta api

$$Q = 60 \% Pd \quad (2.37)$$

- e. Perhitungan Momen di Titik C dan D, tepat di bawah kaki rel dalam Persamaan 2.38 (penjelasan ada dalam gambar 2.9):



Gambar 2. 10 Gaya pada slab

$$M_{CD} = \frac{Q}{4\lambda} \times \frac{1}{\sin\lambda L + \sinh\lambda L} [2 \cosh^2 \lambda a (\cos 2\lambda c + \cosh \lambda L) - 2 \cos^2 \lambda a (\cosh 2\lambda c + \cos \lambda L) - \sinh 2\lambda a (\sin 2\lambda c + \sinh \lambda L) - \sin 2 \lambda a (\sinh 2\lambda c + \sinh \lambda L)] \quad (2.38)$$

- f. Perhitungan Momen di Titik O (Tengah Bantalan) dalam Persamaan 2.39:

$$M_0 = \frac{Q}{2\lambda} \times \frac{1}{\sin\lambda L + \sinh\lambda L} [\sinh \lambda c (\sin \lambda c + \sin \lambda(L-c)) + \sin \lambda c (\sinh \lambda c + \sinh \lambda(L-c)) + \cosh \lambda c \cos \lambda (L - c) - \cos \lambda c \cosh \lambda (L - c)] \quad (2.39)$$

g. Analisis Tegangan Tahap Pratekan Awal

- Bawah rel

$$\sigma = \frac{P_{initial}}{A} - \frac{P_{initial} \times e}{W} \quad (\text{sisi atas}) \quad (2.40)$$

$$\sigma = \frac{P_{initial}}{A} + \frac{P_{initial} \times e}{W} \quad (\text{sisi bawah}) \quad (2.41)$$

- Tengah Slab

$$\sigma = \frac{P_{initial}}{A} + \frac{P_{initial} \times e}{W} \quad (\text{sisi atas}) \quad (2.42)$$

$$\sigma = \frac{P_{initial}}{A} - \frac{P_{initial} \times e}{W} \quad (\text{sisi bawah}) \quad (2.43)$$

h. Analisis Tegangan Tahap Pratekan Efektif

- Bawah rel

$$\sigma = \frac{P_{efektif}}{A} - \frac{P_{efektif} \times e}{W} + \frac{M}{W} \quad (\text{sisi atas}) \quad (2.44)$$

$$\sigma = \frac{P_{efektif}}{A} + \frac{P_{efektif} \times e}{W} - \frac{M}{W} \quad (\text{sisi bawah}) \quad (2.45)$$

- Tengah Slab

$$\sigma = \frac{P_{efektif}}{A} + \frac{P_{efektif} \times e}{W} - \frac{M}{W} \quad (\text{sisi atas}) \quad (2.46)$$

$$\sigma = \frac{P_{efektif}}{A} - \frac{P_{efektif} \times e}{W} + \frac{M}{W} \quad (\text{sisi bawah}) \quad (2.47)$$

2.9.2 Syarat Beton

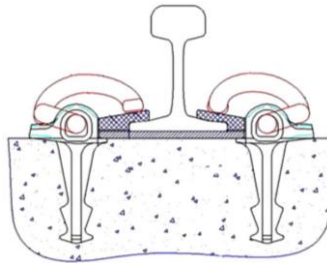
Mengikuti syarat beton untuk batalan beton yang tertulis dalam PM No 60 Tahun 2012, Bantalan beton merupakan struktur prategang maka harus memenuhi syarat sebagai berikut (untuk lebar jalan rel = 1067 mm) :

- Kuat tekan karakteristik beton tidak kurang dari 500 kg/cm²
- Mutu baja prategang dengan tegangan putus (tensile strength) minimum sebesar 16.876 kg/cm² (1.655 MPa).

- c) harus mampu memikul momen minimum sebesar +1500 kg.m pada bagian kedudukan rel dan -930 kg m pada bagian tengah bantalan.

2.10 Komponen Penambat Rel

Penambat rel adalah suatu komponen yang menambat rel ada bantalan sehingga kedudukan rel menjadi tetap, kokoh, dan tidak bergeser terhadap bantalannya. Dengan penambat rel ini jarak antara kedua rel, yaitu lebar sepur akan tetap. Semakin berat beban dan semakin tinggi kecepatan kereta api, maka harus semakin kokoh alat penambatnya. Berdasarkan PM No 60 Tahun 2012 komponen yang harus dipenuhi dalam pemasangan alat penambat elastis ganda pada bantalan beton terdiri dari : shoulder/insert, clip, insulator, dan rail pad. Detail penyusun komponen alat penambar dapat dilihat pada gambar 2.10 :



Gambar 2. 11 Komponen penambat D.E Spring Clip
Sumber : PT Pindad Persero. 2015.

BAB III METODOLOGI

3.1 Umum

Tahapan proses pengerjaan Tugas Akhir ini merupakan langkah-langkah yang harus dilakukan guna mencapai tujuan yang direncanakan. Dalam pembuatan Tugas Akhir ini, tahapan-tahapan yang diambil meliputi:

- a. Tahapan persiapan
- b. Tahapan pencarian dan pengumpulan data
- c. Tahapan pengolahan data
- d. Tahapan perencanaan struktur jalan rel

3.2 Tahapan Persiapan

Tahapan persiapan merupakan tahapan kegiatan sebelum memulai pengumpulan data dan pengolahannya. Tahap persiapan meliputi kegiatan-kegiatan sebagai berikut:

- a. Menentukan lokasi eksisting yang akan ditinjau.
- b. Menentukan kebutuhan data dalam perencanaan struktur jalan rel.
- c. Survei pendahuluan ke lokasi untuk mendapatkan gambaran umum kondisi lapangan.
- d. Pengadaan persyaratan administrasi untuk pencarian data.
- e. Mencari studi pustaka tentang perkeretaapian yang digunakan untuk referensi.
- f. Pembuatan tugas akhir

3.3 Tahapan Pencarian dan Pengumpulan Data

Untuk perencanaan struktur jalan rel yang dimulai dari Stasiun Madiun–Stasiun Kedungbanteng, diperlukan data primer dan data sekunder dengan tujuan agar dapat menarik kesimpulan dalam menentukan standar perencanaan yang tepat.

Oleh karena itu, perlu dilakukan pengumpulan data melalui instansi terkait yang kebijakannya mempunyai pengaruh dan

hubungan terhadap detail ruang lingkup perencanaan, serta melaksanakan pengamatan langsung lapangan terhadap kondisi geometrik jalan rel. Berikut ini akan dijelaskan kebutuhan data beserta sumbernya.

3.3.1 Pengumpulan Data Primer

Data primer berguna untuk menentukan ketepatan perencanaan struktur jalan rel. Dengan cara menganalisa hasil perencanaan menurut data sekunder terhadap kondisi di lapangan.

Langkah-langkah dalam pengumpulan data primer adalah sebagai berikut:

- a. Meninjau kondisi jalan rel kereta api dari Stasiun Madiun sampai Stasiun Kedungbanteng.
- b. Membuat foto dokumentasi kondisi eksisting jalur kereta api dari Stasiun Madiun sampai Stasiun Kedungbanteng.

3.3.2 Pengumpulan Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari instansi terkait. Data sekunder berguna untuk menentukan perencanaan struktur jalan rel.

Data sekunder didapat dari:

- a. Kantor Balai Teknik Perkerataapian Wilayah Jawa Bagian Timur, data sekunder tersebut adalah:
 - Data kondisi eksisting jalur kereta api di Stasiun Madiun–Stasiun Kedungbanteng.
- b. Peraturan yang dikeluarkan oleh pemerintah:
 - PJKA. 1986. Peraturan Dinas No.10 tentang Peraturan Perencanaan Konstruksi Jalan Rel.
 - PM. 2012. Peraturan Menteri No. 60 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api.
- c. Data literatur yang dibutuhkan untuk perencanaan peraturan kereta api yang berupa: jurnal, e-book, internet, dll.

3.4 Analisa Data

Pada tahapan pekerjaan ini, dilakukan proses pengolahan data. Perhitungan teknis dilakukan secara lengkap sehingga menghasilkan input bagi proses perencanaan selanjutnya, yaitu struktur jalan rel dan rencana anggaran biaya yang dibutuhkan dengan mengacu pada teknis pelaksanaan perencanaan dari Stasiun Madiun sampai Stasiun Kedungbanteng.

3.4.1 Perencanaan Tebal Slab *Track*

Besarnya tebal slab *track* dihitung berdasarkan metode Bögl, Shinkansen, dan Rheda. Dalam mendesain slab *track* hal-hal yang harus diperhatikan adalah jenis kereta api yang melintas pada lintas Madiun-Kedungbanteng.

Adapun langkah-langkah yang harus dilakukan dalam menentukan tebal perkerasan adalah sebagai berikut:

1. Analisa Daya Angkut Lintas

Analisa ini bertujuan untuk mengetahui jenis kereta api, jumlah beban total kereta api, dan kecepatan kereta api yang melewati lintas yang bersangkutan. Dimana hasilnya digunakan untuk menentukan kelas jalan rel yang akan direncanakan dalam pembangunan konstruksi jalan rel kereta api.

(Pers. 2.1 sampai Pers. 2.16 dan Tabel 2.1)

2. Dimensi dan tipe rel

Menghitung beban roda yang dinamis ke statis ekuivalen menggunakan persamaan TALBOT. Ditentukan tipe rel yang direncanakan, kemudian dicek tegangan ijin terhadap kelas jalan rel dan tegangan ijin yang terjadi di dasar rel sesuai dengan tipe rel yang digunakan.

(Pers. 2.17 sampai Pers. 2.23 dan Tabel 2.2 sampai Tabel 2.3)

3. Umur Rel

(Pers. 2.24 sampai Pers. 2.30)

4. Panjang Rel
Menentukan panjang minimum rel yang dibutuhkan untuk pemasangan di lapangan menggunakan PD No. 10 tahun 1986.
(Pers. 2.31 sampai Pers. 2.32)
5. Slab
Menghitung kuat struktur slab beton dalam menahan beban dari kereta dan rel yang melintas. Dengan perhitungan yang sama dengan bantalan beton berdasarkan PD No. 10 tahun 1986, kemudian dicek tegangan ijin yang terjadi. Penentuan dimensi slab menggunakan dua metode yaitu Shinkansen dan Bögl.
(Pers. 2.33 sampai dengan pers 2.47)
6. Alat Penambat
Penggunaan penambat elastis berdasarkan kelas jalan yang sudah diatur dalam PM No. 60 Tahun 2012.

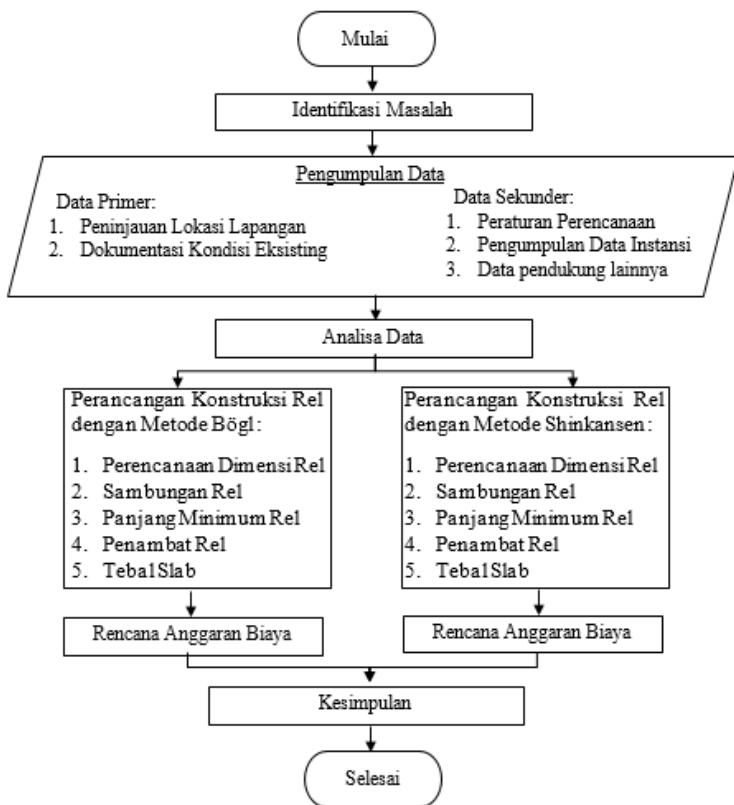
3.5 Rencana Anggaran Biaya

Tahap akhir yang dilakukan dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini adalah merencanakan total rencana anggaran biaya yang dibutuhkan pada setiap metode dalam pembangunan jalur rel kereta api yang dimulai dari Stasiun Madiun sampai Stasiun Kedungbanteng dengan mempertimbangkan teknis pelaksanaan proyek. Dengan tahapan sebagai berikut:

1. Penentuan Analisa Harga Satuan yang digunakan
2. Penentuan volume pekerjaan dari gambar rencana
3. Analisa perhitungan

3.6 Flow Chart Metodologi

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini nantinya dimulai dari Identifikasi hingga perhitungan Rencana Anggaran Biaya seperti dijelaskan pada Gambar 3.1



Gambar 3. 1 Flow Chart Metodologi

“Halaman sengaja dikosongkan”

BAB IV

PERANCANGAN KONSTRUKSI JALAN REL KERETA API

4.1 Penentuan Lokasi Tinjauan

Dalam tugas akhir ini, lokasi yang ditinjau adalah disamping *track* lama yang letaknya sama dengan proyek *double track*. Sehingga, diasumsikan membangun track baru.

4.2 Penentuan Klasifikasi Jalan Rel

Penggolongan kelas jalan rel dilakukan untuk mengetahui tonase daya angkut lintas pertahun.

4.2.1 Beban pada Rel

Sebelum menghitung tonnase kelas jalan rel, ditentukan terlebih dahulu beban komponen kendaraan yang melintas di atas jalan rel yang terdiri dari: lokomotif, kereta penumpang, dan gerbong.

A. Beban Lokomotif

Berdasarkan data lalu lintas kereta api di Stasiun Madiun maka jenis yang akan digunakan dalam menentukan kelas jalan adalah Lokomotif CC 206.

Lokomotif CC 206 ditumpu oleh 2 bogie, masing-masing bogie terdiri dari 3 gandar, dan masing-masing gandar terdiri dari 2 roda. Dengan berat lokomotif ($W_{\text{lokomotif}} = 90$ ton, maka:

- Beban bogie (P_b)
$$= \frac{W_{\text{lokomotif}}}{2} = \frac{90 \text{ ton}}{2} = 45 \text{ ton}$$
- Beban gandar (P_g)
$$= \frac{P_{\text{bogie}}}{3} = \frac{45 \text{ ton}}{3} = 15 \text{ ton}$$

- Beban roda statis (P_s) = $\frac{P \text{ gandar}}{2} = \frac{15 \text{ ton}}{2} = 7,5 \text{ ton}$

B. Beban Kereta Penumpang

Kereta digunakan untuk angkutan penumpang, sehingga karakteristik bebannya dipengaruhi oleh kenyamanan penumpang dan kecepatan (faktor gaya dinamis).

Kereta penumpang ditumpu 2 bogie, masing-masing gandar terdiri dari 2 roda, dengan berat kereta (W_{kereta}) = 40 ton, maka:

- Beban bogie (P_b) = $\frac{W_{\text{kereta}}}{2} = \frac{40 \text{ ton}}{2} = 20 \text{ ton}$

- Beban gandar (P_g) = $\frac{P_{\text{bogie}}}{2} = \frac{20 \text{ ton}}{2} = 10 \text{ ton}$

- Beban roda statis (P_s) = $\frac{P \text{ gandar}}{2} = \frac{10 \text{ ton}}{2} = 5 \text{ ton}$

C. Beban Gerbong

Gerbong digunakan untuk keperluan angkutan barang yang dibawa oleh penumpang, dimana beban yang dimuat oleh gerbong mempunyai kapasitas muatan yang besar (massal dan berat)

Prinsip beban yang berlaku pada berat gerbong sama dengan beban pada lokomotif dan kereta penumpang yaitu satu gerbong terdiri dari 3 gandar dan 2 gandar.

4.2.2 Daya Angkut Lintas

Setelah mengetahui jenis lokomotif yang melintas di atas jalan rel kereta api (lihat tabel 4.1), maka kita dapat menentukan daya angkut lintas per tahunnya. Data yang dibutuhkan untuk perhitungan perencanaan daya angkut lintas per tahun adalah sebagai berikut:

- Beban gandar lokomotif CC 206 = 15 ton

- Koefisien kereta dengan penumpang (S) = 1,1
- Koefisien bebar gandar (Kb) < 18 ton = 1,5
- Koefisien ketentuan (Kl) = 1,4

Tabel 4. 1 Lalu Lintas Kereta Api di Stasiun Madiun

No	Nama Kereta	Jumlah Lintas	Penumpang		Barang		Lokomotif	
			jumlah	berat	jumlah	berat	jumlah	berat
1	BBM MN-BET	4	0	40	20	60	1	90
2	Singasari	1	11	40	1	56	1	84
3	Malioboro Express	4	9	40	0	56	1	90
4	Bangunkarta	2	9	40	1	56	1	90
5	Malabar	2	8	40	2	56	1	90
6	Matarmaja	2	15	40	1	56	1	84
7	Bima	2	10	40	1	56	1	90
8	Mutiara Selatan	2	9	40	2	56	1	90
9	Gajayana	2	10	40	1	56	1	90
10	Brantas	2	10	40	1	56	1	84
11	Majapahit	2	9	40	1	56	1	90
12	Kahuripan	2	8	40	1	56	1	90
13	Turangga	2	9	40	1	56	1	90
14	Parcel MN-KYA-BD	2	1	40	13	53	1	90
15	Peti Kemas	2	0	40	20	69	1	90
16	Sancaka	4	12	40	0	56	1	90
17	Argo Wilis	2	10	40	0	56	1	90
18	Krakatau	1	9	40	1	56	1	90
19	Sri Tanjung	2	7	40	1	56	1	90
20	Pasundan	2	7	40	1	56	1	84
21	Logawa	2	8	40	1	56	1	90
22	Ranggajati	1	11	40	0	56	1	90
23	Gayabaru Malam Selatan	2	9	40	1	56	1	84
24	BBM RWL-MN	2	0	40	18	60	1	90

A. Perhitungan Tonase Kereta Penumpang Harian (Tp)

Menggunakan persamaan 2.18,

$$T_p = \text{Jumlah Lintas} \times \text{Jumlah Kereta pada Rangkaian} \times \text{Berat Kereta}$$

Berdasarkan tabel 4.1 maka,

$$\text{KA. Singasari} : 1 \times 11 \times 40 = 440 \text{ ton}$$

$$\text{KA. Malioboro Express} : 4 \times 9 \times 40 = 1440 \text{ ton}$$

$$\text{KA. Bangunkarta} : 2 \times 9 \times 40 = 720 \text{ ton}$$

KA. Malabar	: 2 × 8 × 40	= 640 ton
KA. Matarmaja	: 2 × 15 × 40	= 1200ton
KA. Bima	: 2 × 10 × 40	= 800ton
KA. Mutiara Selatan	: 2 × 9 × 40	= 720 ton
KA. Gajayana	: 2 × 10 × 40	= 800 ton
KA. Brantas	: 2 × 10 × 40	= 800 ton
KA. Majapahit	: 2 × 9 × 40	= 720 ton
KA. Kahuripan	: 2 × 8 × 40	= 640 ton
KA. Turangga	: 2 × 9 × 40	= 720ton
KA. Parcel MN-KYA-BD	: 2 × 1 × 40	= 80ton
KA. Sancaka	: 4 × 12 × 40	= 1920ton
KA. Argo Wilis	: 2 × 10 × 40	= 800 ton
KA. Krakatau	: 1 × 9 × 40	= 360 ton
KA. Sri Tanjung	: 2 × 7 × 40	= 560 ton
KA. Pasundan	: 2 × 7 × 40	= 560 ton
KA. Logawa	: 2 × 8 × 40	= 640 ton
KA. Ranggajati	: 1 × 11 × 40	= 440 ton
KA. GB Malam Selatan	: 2 × 9 × 40	= 720 ton

Total = 15.720 ton

B. Perhitungan Tonase Kereta Barang (T_b)

Menggunakan persamaan 2.18,

$$T_b = \text{Jumlah Lintas} \times \text{Jumlah Kereta pada Rangkaian} \times \text{Berat Kereta}$$

Berdasarkan tabel 4.1 maka,

KA. BBM MN-BET	: 4 × 20 × 60	= 4800 ton
KA. Singasari	: 1 × 1 × 56	= 56 ton
KA. Bangunkarta	: 2 × 1 × 56	= 112ton
KA. Malabar	: 2 × 2 × 56	= 224 ton
KA. Matarmaja	: 2 × 1 × 56	= 112ton
KA. Bima	: 2 × 1 × 56	= 112ton

KA. Mutiara Selatan	: 2 × 1 × 56 = 224 ton
KA. Gajayana	: 2 × 1 × 56 = 112 ton
KA. Brantas	: 2 × 1 × 56 = 112 ton
KA. Majapahit	: 2 × 1 × 56 = 112 ton
KA. Kahuripan	: 2 × 1 × 56 = 112 ton
KA. Turangga	: 2 × 1 × 56 = 112ton
KA. Parcel MN-KYA-BD	: 2 × 13 × 56 = 1456ton
KA. Peti Kemas	: 2 × 20 × 69 = 2760ton
KA. Krakatau	: 1 × 1 × 56 = 56 ton
KA. Sri Tanjung	: 2 × 1 × 56 = 112 ton
KA. Pasundan	: 2 × 1 × 56 = 112 ton
KA. Logawa	: 2 × 1 × 56 = 112 ton
KA. GB Malam Selatan	: 2 × 1 × 56 = 112 ton
KA. BBM RWL-MN	: 2 × 18 × 60 = 2160 ton
Total	= 13.080 ton

C. Perhitungan Tonase Lokomotif (T_1)

Menggunakan persamaan 2.18,

$$T_1 = \text{Jumlah Lintas} \times \text{Jumlah Kereta pada Rangkaian} \times \text{Berat Kereta}$$

Berdasarkan tabel 4.1 maka,

KA. BBM MN-BET	: 4 × 1 × 90 = 360ton
KA. Singasari	: 1 × 1 × 84 = 84 ton
KA. Malioboro Express	: 4 × 1 × 90 = 360ton
KA. Bangunkarta	: 2 × 1 × 90 = 180ton
KA. Malabar	: 2 × 1 × 90 = 180 ton
KA. Matarmaja	: 2 × 1 × 84 = 168ton
KA. Bima	: 2 × 1 × 90 = 180ton
KA. Mutiara Selatan	: 2 × 1 × 90 = 180 ton
KA. Gajayana	: 2 × 1 × 90 = 180 ton
KA. Brantas	: 2 × 1 × 84 = 168 ton

KA. Majapahit	: 2 × 1	× 90	= 180 ton
KA. Kahuripan	: 2 × 1	× 90	= 180 ton
KA. Turangga	: 2 × 1	× 90	= 180ton
KA. Parcel MN-KYA-BD	: 2 × 1	× 90	= 180ton
KA. Peti Kemas	: 2 × 1	× 90	= 180ton
KA. Krakatau	: 1 × 1	× 90	= 90 ton
KA. Sancaka	: 4 × 1	× 90	= 360ton
KA. Argo Wilis	: 2 × 1	× 90	= 180 ton
KA. Sri Tanjung	: 2 × 1	× 90	= 180 ton
KA. Pasundan	: 2 × 1	× 84	= 168 ton
KA. Logawa	: 2 × 1	× 90	= 180 ton
KA. Ranggajati	: 1 × 1	× 90	= 90 ton
KA. GB Malam Selatan	: 2 × 1	× 84	= 168 ton
KA. BBM RWL-MN	: 2 × 1	× 90	= 180ton

Total = 4.536 ton

Berdasarkan Perhitungan, total beban lintas harian Kereta Api penumpang lintas Madiun-Kadungbanteng sebesar 15.720 ton/hr, untuk Kereta Api barang sebesar 13.080 ton, dan untuk Kereta Lokomotif sebesar 4.536 ton. Dengan demikian, maka daya angkut lintas jalan rel Madiun-Kedungbanteng sebagai berikut:

$$TE = T_p + (K_b \times T_b) + (K_l \times T_l)$$

$$T = 360 \times S \times TE$$

Dimana:

$$TE = T_p + (K_b \times T_b) + (K_l \times T_l)$$

$$= 15.720 + (1,5 \times 13.080) + (1,4 \times 4.536)$$

$$= 41.690,4 \text{ ton/ hari}$$

$$T = 360 \times 1,1 \times 41690,4 \text{ ton}$$

$$= 16.509.398,4 \text{ ton/ tahun}$$

Penggolongan kelas jalan rel menurut Daya Lintas Kereta Api (juta ton/ tahun) yang diijinkan untuk Indonesia, termasuk Kelas Jalan II dengan ketentuan:

$$10.000.000 \text{ ton/ th} > \mathbf{16.509.398,4 \text{ ton/ th}} < 20.000.000 \text{ ton/th}$$

4.3 Komponen Struktur Jalan Rel

Perencanaan komponen struktur rel yang akan dibahas perhitungannya adalah dimensi rel yang digunakan, umur rencana rel, penentuan panjang rel dan pengelasan rel pada tiap-tiap titik sambungan.

Untuk detail perhitungan struktur jalan rel akan dijelaskan sebagai berikut:

4.3.1 Rencana Dimensi Rel

Penentuan dimensi rel didasarkan kepada tegangan lentur yang terjadi pada dasar rel akibat beban dinamis roda kendaraan (S_{base}). Tegangan ini tidak boleh melebihi tegangan ijin lentur baja (S_i). Jika suatu dimensi rel dengan beban roda tertentu menghasilkan $S_{base} < S_i$, maka dimensi ini dianggap cukup.

Direncanakan perhitungan dimensi rel type R54, dengan data karakteristik sebagai berikut:

Berat rel per meter (W)	= 54,43 kg/m
Momen inersia sumbu x (I_x)	= 2346 cm ⁴
Modulus Elastisitas (E)	= 2,1 x 10 ⁶ kg/cm ²
Luas penampang melintang (A)	= 69,34 cm ²
Jarak tepi bawah ke garis netral (Y_b)	= 7,62 cm
Beban gandar lokomotif CC-206	= 15 ton
Tegangan ijin rel kelas II (σ_{ijin})	= 1325 kg/cm ²
Tegangan dasar rel kelas II (σ_{dasar})	= 1128,2 kg/cm ²
Tahanan momen dasar/ Z_x (W_{base})	= 313cm ³ (<i>JFE Rail</i>)
Modulus elastisitas jalan rel (K)	= 180 kg/cm ²
Kecepatan Rencana	= 100 km/jam

Transformasi beban roda dinamis ke statis ekuivalen menggunakan persamaan TALBOT:

Beban Dinamis Roda (Pd)

$$\begin{aligned} P_s &= \frac{\text{Beban Gandar}}{2} \\ &= \frac{15000 \text{ kg}}{2} \\ &= 7500 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_d &= P_s + 0,01 \times P_s \times \left(\frac{V}{1,609} - 5 \right) \\ &= 7500 + 0,01 \times 7500 \times \left(\frac{100}{1,609} - 5 \right) \\ &= 11786,280 \text{ kg} \end{aligned}$$

Perhitungan faktor reduksi menggunakan prinsip Beam on Elastic Foundation, sebagai berikut:

Dumping Faktor (λ)

$$\begin{aligned} \lambda &= \sqrt[4]{\frac{K}{4 \times E \times Ix}} \\ \lambda &= \sqrt[4]{\frac{180}{4 \times (2,1 \times 10^6) \times 2346}} \\ \lambda &= 0,0098 \text{ cm}^{-1} \end{aligned}$$

A. Momen Maksimum (Ma)

$$\begin{aligned} M_o &= \frac{P_d}{4 \times \lambda} \\ &= \frac{11786,280}{4 \times 0,0098} \\ &= 300670,4082 \text{ kg/cm} \end{aligned}$$

$$M_a = 0,85 \times M_o$$

$$= 0,85 \times 300670,4082$$

$$= 256194,261 \text{ kg/cm}$$

B. Cek Terhadap Tegangan Ijin Kelas Jalan Rel

$$\sigma_{ijin} = \frac{Ma \times Yb}{Ix}$$

$$= \frac{256194,261 \times 7,62}{2346}$$

$$= 832,140 \text{ kg/cm}^2 < 1325 \text{ kg/cm}^2 \text{ (OK)}$$

C. Cek Terhadap Tegangan yang Terjadi di Dasar Rel

$$S_{base} = \frac{Ma}{Wb}$$

$$= \frac{256194,261}{313}$$

$$= 818,512 \text{ kg/cm}^2 < 1128,2 \text{ kg/cm}^2 \text{ (OK)}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, rel tipe R54 bisa digunakan sebagai perencanaan kelas jalan II karena tegangan yang terjadi pada rel memenuhi syarat:

$$\text{Tegangan lentur dasar rel } (S_{base}) < \text{Tegangan ijin lentur baja } (Si)$$

$$\mathbf{818,512 \text{ kg/cm}^2 < 832,140 \text{ kg/cm}^2}$$

4.3.2 Rencana Umur Rel

4.3.2.1 Umur Rel Berdasarkan Keausan

Perencanaan umur rel diperlukan untuk memperkirakan umur aus, pemeliharaan, dan tahun penggantian rel. Jalur kereta api dari stasiun Madiun sampai stasiun Kedungbanteng menggunakan jalan rel eksisting .

Data yang dibutuhkan dalam perhitungan umur rencana rel sebagai berikut:

- Konstanta rel (Kr) = 0,9538
- L total jalur geometrik = 54 km
- Berat rel R54 (W) = 54,43 kg/ m
- Daya angkut lintas (D) = 16.509.398,4 ton \approx 16,5 juta ton

Untuk alur perhitungan rencana umur rel akan dijelaskan dengan rumus berikut ini:

A. Perhitungan Nilai Konstanta (K)

$$K1 = 34,1993 \text{ km lurus} = 34,19 \times 0,95 \times 1 = 32,62$$

$$K2 = 0,54478 \text{ km lengkung } R_{1000} = 0,544 \times 0,95 \times 0,88 = 0,457$$

$$K3 = 0,03001 \text{ km lengkung } R_{1100} = 0,030 \times 0,95 \times 0,88 = 0,025$$

Untuk detail perhitungan nilai konstanta K1-K27 akan dicantumkan pada Tabel 4.2

Tabel 4. 2 Perhitungan Nilai Konstanta pada Jalur Rel dengan Pelumas

Koefisien	Bentuk Track	R	L (m)	K Rel	Dengan Pelumas	Nilai K
K1	Lurus	0	34199,3	0,9538	1	32619,29
K2	Lengkung	1000	544,783	0,9538	0,88	457,2603
K3	Lengkung	1100	30,014	0,9538	0,88	25,19207
K4	Lengkung	300	25,061	0,9538	0,55	13,14675
K5	Lengkung	1100	30,009	0,9538	0,88	25,18787
K6	Lengkung	1100	59,958	0,9538	0,88	50,32539
K7	Lengkung	1100	58,935	0,9538	0,88	49,46674
K8	Lengkung	1000	861,929	0,9538	0,88	723,4549
K9	Lengkung	1000	488,31	0,9538	0,88	409,8601
K10	Lengkung	600	87,28	0,9538	0,73	60,77079
K11	Lengkung	1000	517,966	0,9538	0,88	434,7517
K12	Lengkung	3000	478,4	0,9538	1	456,2979
K13	Lengkung	600	99,76	0,9538	0,73	69,46029
K14	Lengkung	1000	1018,86	0,9538	0,88	855,174
K15	Lengkung	600	199,35	0,9538	0,73	138,8022
K16	Lurus	0	6000	0,9538	1	5722,8
K17	Lengkung	3000	108,67	0,9538	1	103,6494
K18	Lengkung	3000	108,67	0,9538	1	103,6494
K19	Lurus	0	300	0,9538	1	286,14
K20	Lengkung	2000,8	329,29	0,9538	1	314,0768
K21	Lengkung	3000	1057,84	0,9538	1	1008,968
K22	Lengkung	3000	466,11	0,9538	1	444,5757
K23	Lurus	0	5800	0,9538	1	5532,04
K24	Lengkung	3000	89,22	0,9538	1	85,09804
K25	Lengkung	3000	84,101	0,9538	1	80,21553
K26	Lengkung	1800	474,21	0,9538	1	452,3015
K27	Lengkung	1800	481,977	0,9538	1	459,7097

$$K_{total} = \frac{k1 + k2 + \text{Nilai } k3 + \dots}{L_{total}}$$

$$K_{total} = \frac{32,62 + 0,457 + 0,025 + \dots}{54,000}$$

$$= \frac{59,98166}{54,000}$$

$$= 0,944$$

B. Perhitungan Nilai T

$$W = 54,43 \text{ kg/m} \times (1/0,496)$$

$$= 109,738 \text{ lbs/ yd}$$

$$D = 16,5 \text{ juta ton} \times (1/0,909)$$

$$= 18,152 \text{ mgt}$$

$$T = K \times W \times D^{0,565}$$

$$= 0,944 \times 109,738 \times 18,152^{0,565}$$

$$= 532,87 \text{ mgt}$$

$$= 484,379 \text{ juta ton}$$

C. Perhitungan Umur Rel (U)

$$U = \frac{T}{D}$$

$$U = \frac{484,379}{16,5 \text{ juta.ton/ tahun}}$$

$$= 29,357 \text{ tahun}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, umur rencana rel baru (dengan pelumas) untuk masing-masing jalur sepanjang 54000 m pada perencanaan jalur kereta api lintas stasiun Madiun sampai stasiun Kedungbanteng adalah 29,357 tahun.

4.3.2.2 Umur Rel Berdasarkan Lelah (Fatigue)

A. Tegangan Lentur (SI)

$$Ma = 256194,261 \text{ kg/cm} \quad (4.2.1)$$

$$Wa = 279 \text{ cm}^3 \quad (JFE \text{ Rail})$$

$$\begin{aligned}
 SI &= \frac{Ma}{Wa} \\
 &= \frac{256194,261 \text{ kg/cm}}{279 \text{ cm}^3} \\
 &= 918,259 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

B. Tegangan Kontak (Sk)

$$P = 11786,280 \text{ kg} = 25984,298 \text{ lbs}$$

$$R_1 = 15,354 \text{ inch}$$

$$R_2 = 11,811 \text{ inch}$$

$$\begin{aligned}
 Sk &= \frac{23500 \times P^{1/3}}{2 \times (R_1/R_2)^{0,271} \times R_2^{2/3}} \\
 &= \frac{23500 \times 25984,298^{1/3}}{2 \times (15,354/11,811)^{0,271} \times 11,811^{2/3}} \\
 &= 218165,5703 \text{ psi} \\
 &= 15338,558 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

C. Tegangan Suhu (Ss)

$$t = 50^\circ\text{C}$$

$$t_p = 25^\circ\text{C}$$

$$E = 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\alpha = 1,1510^{-5}/^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned}
 Ss &= E \alpha (t - t_p) \\
 &= 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2 \times 1,1510^{-5}/^\circ\text{C} \times (50 - 25)^\circ\text{C} \\
 &= 603,75 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Sehingga kombinasi tegangan lentur, kontak, dan suhu adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 St &= SI + Sk + Ss \\
 &= 918,259 \text{ kg/cm}^2 + 15338,558 \text{ kg/cm}^2 + 603,75 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= 16860,567 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

4.3.3 Penentuan Panjang Rel

Pada perencanaan rel R54 ini dipilih jenis rel panjang. Menurut PD No. 10 tahun 1986, rel panjang dibuat dari beberapa rel pendek yang dihubungkan dengan las di lapangan. Pengelasan dilakukan dengan proses “thermit welding”.

Direncanakan R54 menumpu pada bantalan beton dengan data sebagai berikut:

- Gaya lawan bantalan beton (r) = 450 kg/m
- Koefisien muai panjang (α) = $1,2 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}$
- Luas penampang R54 (A) = 69,34 cm²
- Suhu pemasangan rel = 25 °C
- Suhu maksimum terukur = 50 °C

$$\begin{aligned} \ell &= OM = \frac{E \times A \times \alpha \times \Delta T}{r} \\ &= \frac{(2,1 \times 10^6) \times 69,34 \times (1,2 \times 10^{-5}) \times (50 - 25)}{450} \\ &= 97,076 \text{ m} \end{aligned}$$

Panjang minimum rel R54 yang dipersyaratkan dengan bantalan beton (L) adalah:

$$\begin{aligned} L &= 2 \times \ell \\ &= 2 \times 97,076 \text{ m} \\ &= 194,152 \text{ m} \end{aligned}$$

L dibulatkan menjadi kelipatan 25m, sehingga $L \approx 200\text{m}$

4.3.4 Sambungan Rel

Rel dari pabrik yang diproduksi dalam ukuran panjang 25 meter, kemudian saat dilapangan akan disambung lagi dengan las “thermit welding” sehingga menjadi rel panjang.

Dalam perencanaan tugas akhir ini, proses pengelasan dipilih dengan menggunakan proses “aluminio-thermit welding” karena mobilitas alat yang mudah dilakukan, dan harga peralatan

yang relatif murah dibandingkan dengan metode pengelasan lainnya.

Waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pekerjaan las “*alumino-thermit welding*” rel tiap R54 sepanjang 200 meter adalah ± 40 menit pada tiap-tiap titik sambungan.

4.4 Komponen Alat Penambat Rel

Alat penambat rel harus mampu menjaga kedudukan kedua rel agar tetap kokoh dan tidak bergeser di atas bantalan.

Untuk perencanaan penambat rel, digunakan penambat elastis ganda tipe e-clips produk dari PT. Pindad (persero). Berikut ini adalah komponen penyusun alat penambatnya:

1. Batang jepit (*Clip*)

Berikut adalah spesifikasi batang jepit dengan material (Spring Steel Grade 60Si2Mn–JIS G 4801/GB 1222). Bentuk desain pandrol clip dapat dilihat pada gambar 4.1



Gambar 4. 1 *Clip* Produksi PT.Pindad (persero)

Sumber: www.pindad.com

2. Shoulder

Berikut adalah spesifikasi shoulder dengan material Spherodial Graphite Cast Iron (FCD 450) Grade QT 450 - 10 / JIS G 5502. Bentuk desain shoulder/ insert dapat dilihat pada gambar 4.2



Gambar 4. 2 Shoulder Produksi PT.Pindad (persero)

Sumber: www.pindad.com

3. Insulator

Bentuk desain insulator dapat dilihat pada Gambar 4.3



Gambar 4. 3 Insulator Produksi PT.Pindad (persero)

Sumber: www.pindad.com

4. Alas rel (*Rail pad*)

Berikut adalah spesifikasi penambat dengan material High Density Polyethylene (HDPE) DIN 534555-5-4/ SNI 11-

40401996. Bentuk desain rail pad dapat dilihat pada Gambar 4.4



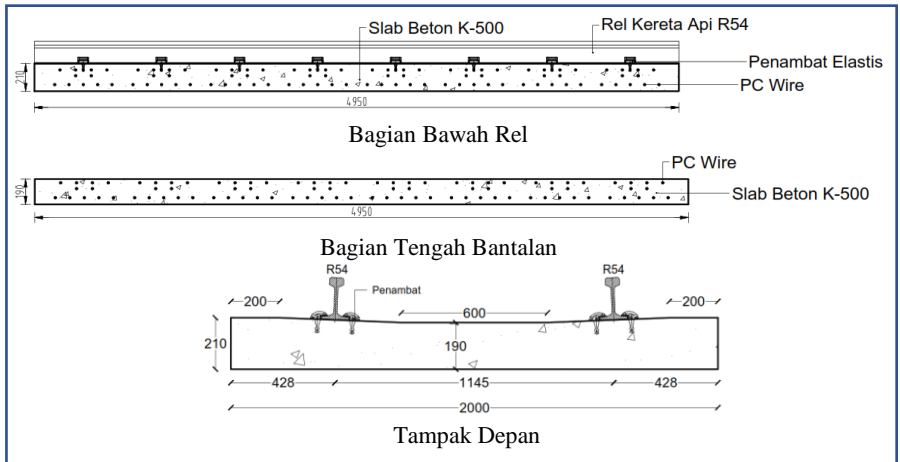
Gambar 4. 4 Rail pad Produksi PT.Pindad (persero)
Sumber: *www.pindad.com*

4.5 Perencanaan Tebal Slab

Perencanaan tebal slab terdapat 2 metode. Menggunakan metode Shinkansen dan metode Bögl. Untuk perhitungan kekuatan slab track, slab dianggap beton pratekan pre-tension menggunakan PC Wire diameter 5mm dan dengan panjang plat yang telah ditentukan dalam setiap metodenya, tebal dan lebarnya mengikuti desain bantalan produksi PT. WIKA. Sehingga, hanya dihitung tegangan yang terjadi pada slab disetiap segmennya.

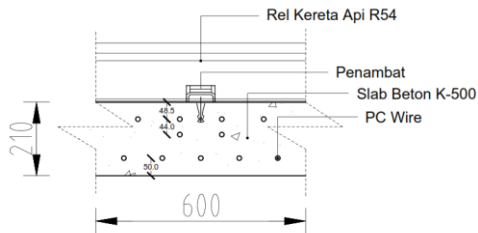
4.5.1 Metode Shinkansen

Dimensi slab untuk metode Shinkansen dapat dilihat pada gambar 4.5



Gambar 4. 5 Dimensi Slab Track Metode Shinkansen

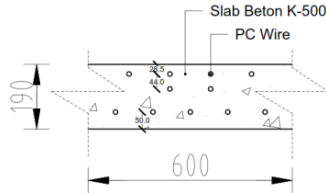
Keterangan dimensi untuk perhitungan luas penampang, momen inersia, garis netral, dan momen tahanan dapat dilihat pada gambar 4.6 dan gambar 4.7



Gambar 4. 6 Potongan Tampak Samping Bawah Rel

- Bagian Bawah Rel
 - $A_1 = 6300 \text{ cm}^2$
 - $I_{X-1} = 231525 \text{ cm}^4$
 - $Y_{1(a)} = 10,5 \text{ cm}$

$$\begin{aligned}
 Y_{1(b)} &= 10,5 \text{ cm} \\
 W_{1(a)} &= 12600 \text{ cm}^3 \\
 W_{1(b)} &= 12600 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 7 Potongan Tampak Samping Tengah Slab

- Bagian Tengah Bantalan

$$\begin{aligned}
 A_1 &= 5700 \text{ cm}^2 \\
 I_{X-1} &= 171475 \text{ cm}^4 \\
 Y_{1(a)} &= 9,5 \text{ cm} \\
 Y_{1(b)} &= 9,5 \text{ cm} \\
 W_{1(a)} &= 11400 \text{ cm}^3 \\
 W_{1(b)} &= 11400 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

A. Perhitungan Modulus Elastisitas berdasarkan nilai f_{cu}

$$\begin{aligned}
 f_{cu} &= \text{K-500} \\
 E &= 6400 \sqrt{500} = 1,431083506 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

B. Perhitungan λ Slab Beton pada Bagian di bawah rel dan tengah slab

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{K}{4EI}}$$

- Bawah Rel

$$\begin{aligned}
 \lambda &= \sqrt[4]{\frac{K}{4EI}} \\
 &= \sqrt[4]{\frac{180}{4 \times 1,43 \times 10^5 \times 46305}}
 \end{aligned}$$

$$= 0,009$$

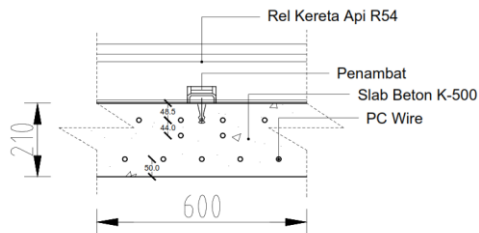
- Tengah

$$\begin{aligned}\lambda &= \sqrt[4]{\frac{K}{4EI}} \\ &= \sqrt[4]{\frac{180}{4 \times 1,43 \times 10^5 \times 34295}} \\ &= 0,01\end{aligned}$$

C. Perhitungan nilai eksentris

Keterangan dimensi untuk perhitungan nilai eksentris dapat dilihat pada gambar 4.8 dan 4.9

- Bagian bawah rel



Gambar 4. 8 Potongan Tampak Samping Bawah Rel

$$\text{Letak garis netral (y)} = 105 \text{ mm}$$

$$\text{Letak titik berat (tb)} =$$

$$= \frac{\Sigma(\text{jumlah besi} \times \text{jarak besi ke dasar penampang})}{\Sigma \text{ besi}}$$

$$= \frac{(5 \times 50) + (2 \times (210 - (48,5 + 44))) + (4 \times (210 - 48,5))}{11}$$

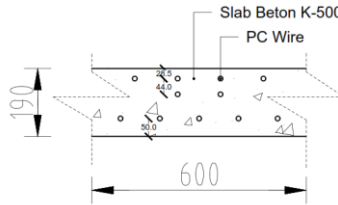
$$= 102,82 \text{ mm} = 10,282 \text{ cm}$$

$$\text{Nilai eksentris (e)} = y - \text{tb}$$

$$= 105 - 102,82$$

$$= 2,18 \text{ mm} = 0,218 \text{ cm}$$

- Bagian tengah



Gambar 4. 9 Potongan Tampak Samping Tengah Slab

$$\text{Letak garis netral (y)} = 95 \text{ mm}$$

$$\text{Letak titik berat (tb)} =$$

$$= \frac{\Sigma(\text{jumlah besi} \times \text{jarak besi ke dasar penampang})}{\Sigma \text{ besi}}$$

$$= \frac{(5 \times 50) + (2 \times (190 - (28,5 + 44))) + (4 \times (190 - 28,5))}{11}$$

$$= 102,82 \text{ mm} = 10,282 \text{ cm}$$

$$\text{Nilai eksentris (e)} = y - \text{tb}$$

$$= 95 - 102,82$$

$$= -782 \text{ mm} = -0,782 \text{ cm}$$

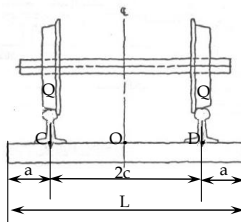
- D. Beban yang diterima slab dari kereta api

$$P_d = 11786,280 \text{ kg (lihat 4.2.1)}$$

$$Q = 60 \% P_d$$

$$= 60 \% \times 11786,280 \text{ kg.}$$

$$= 7071,768 \text{ kg}$$



Gambar 4. 10 Jarak Perletakan Rel

Dari gambar 4.10 didapatkan data sebagai berikut:

$$\begin{aligned} L &= 200 \text{ cm} \\ a &= 42,75 \text{ cm} \\ c &= 57,25 \text{ cm} \\ L-c &= 142,75 \text{ cm} \end{aligned}$$

Untuk hasil perhitungan fungsi trigonometri dan hiperbolikus dapat dilihat selengkapnya pada tabel 4.3

Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan Fungsi Trigonometri dan Hiperbolikus

	Bawah Rel	Tengah Bantalan
$\sin \lambda L$	0,970195328	0,926314556
$\sinh \lambda L$	2,990875498	3,468688221
$\cosh \lambda a$	1,076251032	1,088781964
$\cosh 2 \lambda c$	1,590601359	1,696155739
$\cosh \lambda L$	3,153622717	3,609958168
$\cos \lambda a$	0,925639085	0,913770078
$\sinh 2 \lambda a$	0,856458593	0,93773439
$\sin 2 \lambda c$	0,862103598	0,900287636
$\sinh 2 \lambda c$	1,236936814	1,370016165
$\sin 2 \lambda a$	0,700537662	0,742404858
$\cos 2 \lambda c$	0,506732066	0,435295501
$\cos \lambda L$	-0,242324218	-0,376751036
$\sinh \lambda c$	0,543415752	0,589981245
$\sin \lambda c$	0,543415752	0,589981245
$\sin \lambda (L-c)$	0,962440821	0,984912522
$\sinh \lambda (L-c)$	1,69022534	1,897573741
$\cos h \lambda c$	1,138112771	1,161067556
$\cos \lambda (L-c)$	0,271491558	0,173052951
$\cos \lambda c$	0,867966608	0,847140927
$\cosh \lambda (L-c)$	1,963889432	2,144944312

- E. Perhitungan momen di Titik C dan D, tepat di bawah kaki rel

$$\begin{aligned}
 M_{C/D} &= \frac{Q}{4\lambda} \times \frac{1}{\sin\lambda L + \sinh\lambda L} [2 \cosh^2 \lambda a (\cos 2\lambda c + \cosh \lambda L) - 2 \cos^2 \lambda a (\cosh 2\lambda c + \cos \lambda L) - \sinh 2\lambda a (\sin 2\lambda c + \sinh \lambda L) - \sin 2\lambda a (\sinh 2\lambda c + \sinh \lambda L)] \\
 &= \frac{7071,768}{4 \times 0,006} \times \frac{1}{\sin\lambda L + \sinh\lambda L} [2 \cosh^2 \lambda a (\cos 2\lambda c + \cosh \lambda L) - 2 \cos^2 \lambda a (\cosh 2\lambda c + \cos \lambda L) - \sinh 2\lambda a (\sin 2\lambda c + \sinh \lambda L) - \sin 2\lambda a (\sinh 2\lambda c + \sinh \lambda L)] \\
 &= 65056,682 \text{ kg-cm}
 \end{aligned}$$

- F. Perhitungan Momen di Titik O (Tengah Slab)

$$\begin{aligned}
 M_O &= -\frac{Q}{2\lambda} \times \frac{1}{\sin\lambda L + \sinh\lambda L} [\sinh \lambda c (\sin \lambda c + \sin \lambda(L-c)) + \sin \lambda c (\sinh \lambda c + \sinh \lambda(L-c)) + \cosh \lambda c \cos \lambda(L-c) - \cos \lambda c \cosh \lambda(L-c)] \\
 &= -\frac{7071,768}{2 \times 0,007} \times \frac{1}{\sin\lambda L + \sinh\lambda L} [\sinh \lambda c (\sin \lambda c + \sin \lambda(L-c)) + \sin \lambda c (\sinh \lambda c + \sinh \lambda(L-c)) + \cosh \lambda c \cos \lambda(L-c) - \cos \lambda c \cosh \lambda(L-c)] \\
 &= -58063,64 \text{ kg-cm}
 \end{aligned}$$

Pada gambar 4.11 dapat dilihat jumlah tulangan untuk slab track metode shinkansen



Gambar 4. 11 Jumlah Tulangan pada Slab

Jumlah Tulangan = 11

$P_{initial}$ = 11 x 2270,24 kg (kondisi transfer 70%)

$P_{efektif}$ = 11 x 1783,76 kg (kondisi transfer 55%)

G. Analisis Tegangan Tahap Pratekan Awal

- Bantalan bawah rel

Sisi atas:

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{P_{initial}}{A} - \frac{P_{initial} \times e}{W} \quad \text{dengan } e = 0,218 \\ &= \frac{11 \times 2270,24}{1260} - \frac{11 \times 2270,24 \times 0,218}{12600} \\ &= 19,387 \text{ kg/cm}^2 < 200 \text{ kg/cm}^2 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

Sisi bawah:

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{P_{initial}}{A} + \frac{P_{initial} \times e}{W} \quad \text{dengan } e = 0,218 \\ &= \frac{11 \times 2270,24}{1260} + \frac{11 \times 2270,24 \times 0,218}{12600} \\ &= 20,252 \text{ kg/cm}^2 < 200 \text{ kg/cm}^2 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

- Tengah slab

Sisi atas:

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{P_{initial}}{A} + \frac{P_{initial} \times e}{W} \quad \text{dengan } e = -0,782 \\ &= \frac{11 \times 2270,24}{1140} - \frac{11 \times 2270,24 \times (-0,782)}{11400} \\ &= 20,193 \text{ kg/cm}^2 < 200 \text{ kg/cm}^2 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

Sisi bawah:

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{P_{initial}}{A} - \frac{P_{initial} \times e}{W} \quad \text{dengan } e = -0,782 \\ &= \frac{11 \times 2270,24}{1140} + \frac{11 \times 2270,24 \times (-0,782)}{11400} \\ &= 23,618 \text{ kg/cm}^2 < 200 \text{ kg/cm}^2 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

H. Analisis Tegangan Tahap Pratekan Efektif

- Bantalan bawah rel

Sisi atas:

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{P_{efektif}}{A} - \frac{P_{efektif} \times e}{W} + \frac{M}{W} && \text{dengan } e = 0,218 \\ &= \frac{11 \times 1783,76}{1260} - \frac{11 \times 1783,76 \times 0,218}{12600} + \frac{65056,68}{12600} \\ &= 20,396 \text{ kg/cm}^2 < 200 \text{ kg/cm}^2 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

Sisi bawah:

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{P_{efektif}}{A} + \frac{P_{efektif} \times e}{W} - \frac{M}{W} && \text{dengan } e = 0,218 \\ &= \frac{11 \times 1783,76}{1260} + \frac{11 \times 1783,76 \times 0,218}{12600} - \frac{65056,68}{12600} \\ &= 10,749 \text{ kg/cm}^2 < 200 \text{ kg/cm}^2 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

- Tengah slab

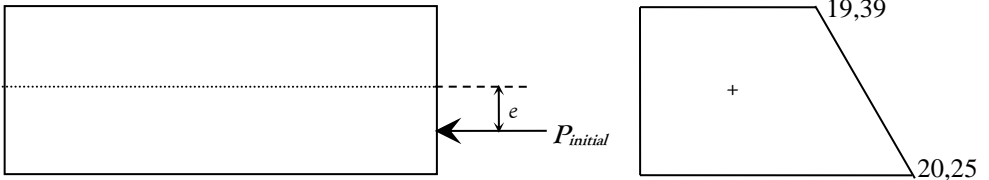
Sisi atas:

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{P_{efektif}}{A} + \frac{P_{efektif} \times e}{W} - \frac{M}{W} && \text{dengan } e = -0,782 \\ &= \frac{11 \times 1783,76}{1140} + \frac{11 \times 1783,76 \times (-0,782)}{11400} - \frac{52438,77}{11400} \\ &= 10,773 \text{ kg/cm}^2 < 200 \text{ kg/cm}^2 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

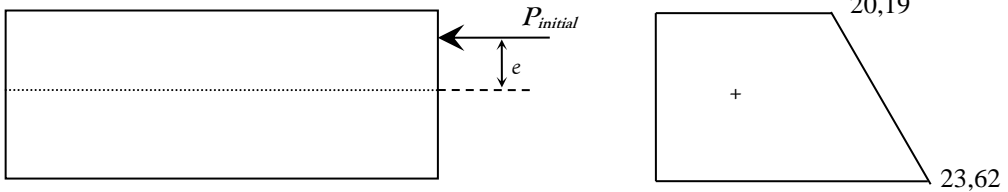
Sisi bawah:

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{P_{efektif}}{A} - \frac{P_{efektif} \times e}{W} + \frac{M}{W} && \text{dengan } e = -0,782 \\ &= \frac{11 \times 1783,76}{1140} - \frac{11 \times 1783,76 \times (-0,782)}{11400} + \frac{52438,77}{11400} \\ &= 23,651 \text{ kg/cm}^2 < 200 \text{ kg/cm}^2 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

Kondisi Tegangan Tahap Pratekan Awal untuk Bagian Bawah Rel

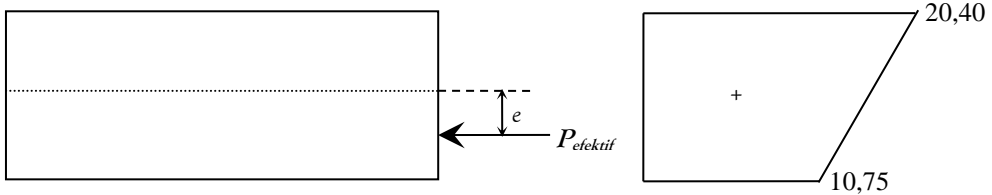


Kondisi Tegangan Tahap Pratekan Awal untuk Bagian Tengah Bantalan

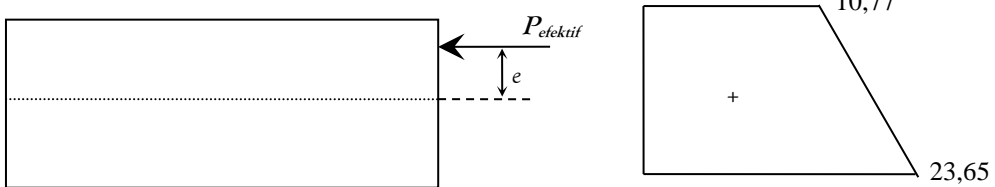


Catatan : + adalah tegangan tekan

Kondisi Tegangan Tahap Pratekan Efektif untuk Bagian Bawah Rel



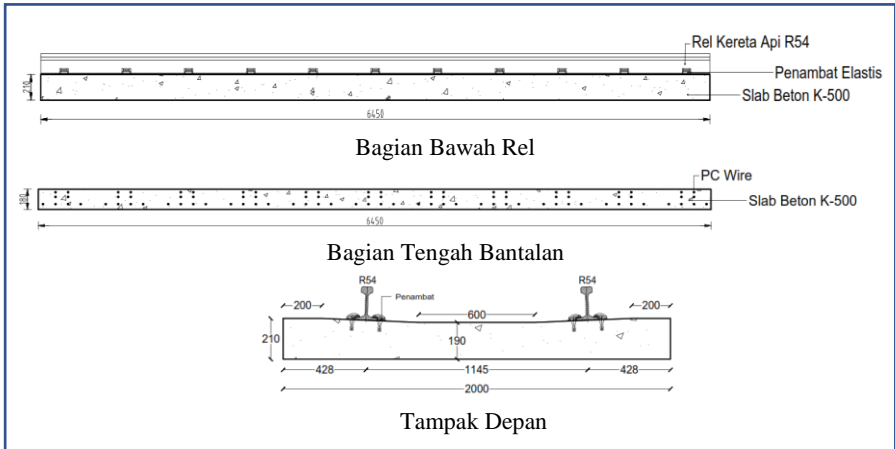
Kondisi Tegangan Tahap Pratekan Efektif untuk Bagian Tengah Bantalan



Catatan : + adalah tegangan tekan

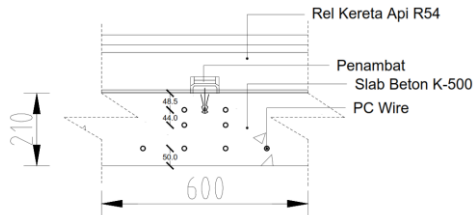
4.5.2 Metode Bögl

Dimensi slab untuk metode Bögl dapat dilihat pada gambar 4.12



Gambar 4. 12 Dimensi Slab Track Metode Bögl

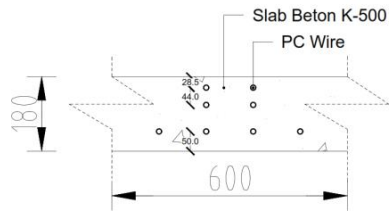
Keterangan dimensi untuk perhitungan luas penampang, momen inersia, garis netral, dan momen tahanan dapat dilihat pada gambar 4.13 dan gambar 4.14



Gambar 4. 13 Potongan Tampak Samping Bawah Rel

- Bagian Bawah Rel
 - $A_1 = 6300 \text{ cm}^2$
 - $I_{X-1} = 231525 \text{ cm}^4$

$$\begin{aligned}
 Y_{1(a)} &= 10,5 \text{ cm} \\
 Y_{1(b)} &= 10,5 \text{ cm} \\
 W_{1(a)} &= 12600 \text{ cm}^3 \\
 W_{1(b)} &= 12600 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 14 Potongan Tampak Samping Tengah Slab

- Bagian Tengah Bantalan

$$\begin{aligned}
 A_1 &= 1080 \text{ cm}^2 \\
 I_{X-1} &= 34295 \text{ cm}^4 \\
 Y_{1(a)} &= 9 \text{ cm} \\
 Y_{1(b)} &= 9 \text{ cm} \\
 W_{1(a)} &= 10800 \text{ cm}^3 \\
 W_{1(b)} &= 10800 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

1. Perhitungan Modulus Elastisitas berdasarkan nilai f_{cu}

$$\begin{aligned}
 f_{cu} &= \text{K-500} \\
 E &= 6400 \sqrt{500} = 1,431083506 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan λ Slab Beton pada Bagian di bawah rel dan tengah bantalan

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{K}{4EI}}$$

- Bawah Rel

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{K}{4EI}}$$

$$= \sqrt[4]{\frac{180}{4 \times 1,43 \times 10^5 \times 46305}}$$

$$= 0,009$$

- Tengah

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{K}{4EI}}$$

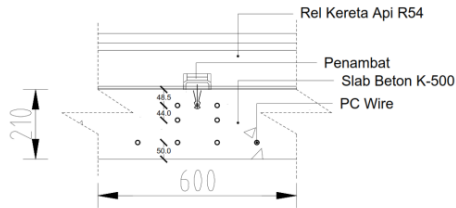
$$= \sqrt[4]{\frac{180}{4 \times 1,43 \times 10^5 \times 34295}}$$

$$= 0,01$$

3. Perhitungan nilai eksentris

Keterangan dimensi untuk perhitungan nilai eksentris dapat dilihat pada gambar 4.15 dan 4.16

- Bagian bawah rel



Gambar 4. 15 Potongan Tampak Samping Bawah Rel

$$\text{Letak garis netral (y)} = 105 \text{ mm}$$

$$\text{Letak titik berat (tb)} =$$

$$= \frac{\Sigma(\text{jumlah besi} \times \text{jarak besi ke dasar penampang})}{\Sigma \text{ besi}}$$

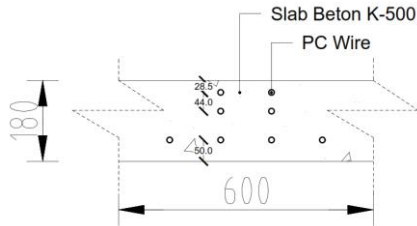
$$= \frac{(4 \times 50) + (2 \times (210 - (48,5 + 44))) + (2 \times (210 - 48,5))}{8}$$

$$= 94,75 \text{ mm} = 9,475 \text{ cm}$$

$$\text{Nilai eksentris (e)} = y - \text{tb}$$

$$\begin{aligned}
 &= 105 - 94,75 \\
 &= 10,25 \text{ mm} = 1,025 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

- Bagian tengah



Gambar 4. 16 Potongan Tampak Samping Bawah Rel

$$\text{Letak garis netral (y)} = 90 \text{ mm}$$

$$\text{Letak titik berat (tb)} =$$

$$= \frac{\Sigma(\text{jumlah besi} \times \text{jarak besi ke dasar penampang})}{\Sigma \text{ besi}}$$

$$= \frac{(4 \times 50) + (2 \times (180 - (18,5 + 44))) + (2 \times (180 - 18,5))}{8}$$

$$= 94,75 \text{ mm} = 9,475 \text{ cm}$$

$$\text{Nilai eksentris (e)} = y - \text{tb}$$

$$= 90 - 94,75$$

$$= -4,75 \text{ mm} = -0,475 \text{ cm}$$

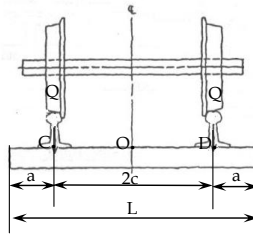
4. Beban yang diterima slab dari kereta api

$$P_d = 11786,280 \text{ kg (lihat 4.2.1)}$$

$$Q = 60 \% P_d$$

$$= 60 \% \times 11786,280 \text{ kg.}$$

$$= 7071,768 \text{ kg}$$



Gambar 4. 17 Jarak Perletakan Rel

Dari gambar 4.17 didapatkan data sebagai berikut:

$$\begin{aligned} L &= 200 \text{ cm} \\ a &= 42,75 \text{ cm} \\ c &= 57,25 \text{ cm} \\ L-c &= 142,75 \text{ cm} \end{aligned}$$

Untuk hasil perhitungan fungsi trigonometri dan hiperbolikus dapat dilihat selengkapnya pada tabel 4.4

Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan Fungsi Trigonometri dan Hiperbolikus

	Bawah Rel	Tengah Bantalan
$\sin \lambda L$	0,970195328	0,926314556
$\sinh \lambda L$	2,990875498	3,468688221
$\cosh \lambda a$	1,076251032	1,088781964
$\cosh 2 \lambda c$	1,590601359	1,696155739
$\cosh \lambda L$	3,153622717	3,609958168
$\cos \lambda a$	0,925639085	0,913770078
$\sinh 2 \lambda a$	0,856458593	0,93773439
$\sin 2 \lambda c$	0,862103598	0,900287636
$\sinh 2 \lambda c$	1,236936814	1,370016165
$\sin 2 \lambda a$	0,700537662	0,742404858
$\cos 2 \lambda c$	0,506732066	0,435295501
$\cos \lambda L$	-0,242324218	-0,376751036
$\sinh \lambda c$	0,543415752	0,589981245
$\sin \lambda c$	0,543415752	0,589981245
$\sin \lambda (L-c)$	0,962440821	0,984912522
$\sinh \lambda (L-c)$	1,69022534	1,897573741
$\cos h \lambda c$	1,138112771	1,161067556
$\cos \lambda (L-c)$	0,271491558	0,173052951
$\cos \lambda c$	0,867966608	0,847140927
$\cosh \lambda (L-c)$	1,963889432	2,144944312

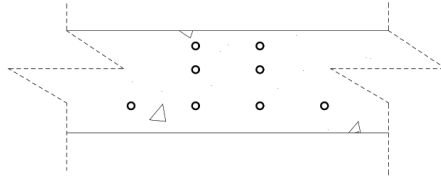
5. Perhitungan momen di Titik C dan D, tepat di bawah kaki rel

$$\begin{aligned}
 M_{C/D} &= \frac{Q}{4\lambda} \times \frac{1}{\sin\lambda L + \sinh\lambda L} [2 \cosh^2 \lambda a (\cos 2\lambda c + \cosh \lambda L) - 2 \cos^2 \lambda a (\cosh 2\lambda c + \cos \lambda L) - \sinh 2\lambda a (\sin 2\lambda c + \sinh \lambda L) - \sin 2 \lambda a (\sinh 2\lambda c + \sinh \lambda L)] \\
 &= \frac{7071,768}{4 \times 0,006} \times \frac{1}{\sin\lambda L + \sinh\lambda L} [2 \cosh^2 \lambda a (\cos 2\lambda c + \cosh \lambda L) - 2 \cos^2 \lambda a (\cosh 2\lambda c + \cos \lambda L) - \sinh 2\lambda a (\sin 2\lambda c + \sinh \lambda L) - \sin 2 \lambda a (\sinh 2\lambda c + \sinh \lambda L)] \\
 &= 65056,682 \text{ kg-cm}
 \end{aligned}$$

6. Perhitungan Momen di Titik O (Tengah Slab)

$$\begin{aligned}
 M_O &= \frac{Q}{2\lambda} \times \frac{1}{\sin\lambda L + \sinh\lambda L} [\sinh \lambda c (\sin \lambda c + \sin \lambda(L-c)) + \sin \lambda c (\sinh \lambda c + \sinh \lambda(L-c)) + \cosh \lambda c \cos \lambda (L-c) - \cos \lambda c \cosh \lambda (L-c)] \\
 &= \frac{7071,768}{2 \times 0,007} \times \frac{1}{\sin\lambda L + \sinh\lambda L} [\sinh \lambda c (\sin \lambda c + \sin \lambda(L-c)) + \sin \lambda c (\sinh \lambda c + \sinh \lambda(L-c)) + \cosh \lambda c \cos \lambda (L-c) - \cos \lambda c \cosh \lambda (L-c)] \\
 &= - 58063,64 \text{ kg-cm}
 \end{aligned}$$

Pada gambar 4.18 dapat dilihat jumlah tulangan untuk slab track metode shinkansen



Gambar 4. 18 Jumlah Tulangan pada Slab

Jumlah Tulangan = 8

$P_{initial}$ = 8 x 2270,24 kg (kondisi transfer 70%)

$P_{efektif}$ = 8 x 1783,76 kg (kondisi transfer 55%)

7. Analisis Tegangan Tahap Pratekan Awal

- Bantalan bawah rel

Sisi atas:

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{P_{initial}}{A} - \frac{P_{initial} \times e}{W} \quad \text{dengan } e = 1,025 \\ &= \frac{8 \times 2270,24}{1260} - \frac{8 \times 2270,24 \times 1,025}{12600} \\ &= 12,937 \text{ kg/cm}^2 < 200 \text{ kg/cm}^2 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

Sisi bawah:

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{P_{initial}}{A} + \frac{P_{initial} \times e}{W} \quad \text{dengan } e = 1,025 \\ &= \frac{8 \times 2270,24}{1260} + \frac{8 \times 2270,24 \times 1,025}{12600} \\ &= 15,892 \text{ kg/cm}^2 < 200 \text{ kg/cm}^2 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

- Tengah slab

Sisi atas:

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{P_{initial}}{A} + \frac{P_{initial} \times e}{W} \quad \text{dengan } e = -0,475 \\ &= \frac{8 \times 2270,24}{1080} - \frac{8 \times 2270,24 \times (-0,475)}{10800} \\ &= 16,018 \text{ kg/cm}^2 < 200 \text{ kg/cm}^2 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

Sisi bawah:

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{P_{initial}}{A} - \frac{P_{initial} \times e}{W} \quad \text{dengan } e = -0,475 \\ &= \frac{8 \times 2270,24}{1080} + \frac{8 \times 2270,24 \times (-0,475)}{10800} \\ &= 17,615 \text{ kg/cm}^2 < 200 \text{ kg/cm}^2 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

8. Analisis Tegangan Tahap Pratekan Efektif

- Bantalan bawah rel

Sisi atas:

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{P_{efektif}}{A} - \frac{P_{efektif} \times e}{W} + \frac{M}{W} \quad \text{dengan } e = 1,025 \\ &= \frac{8 \times 1783,76}{1260} - \frac{8 \times 1783,76 \times 1,025}{12600} + \frac{65056,68}{12600} \\ &= 15,328 \text{ kg/cm}^2 < 200 \text{ kg/cm}^2 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

Sisi bawah:

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{P_{efektif}}{A} + \frac{P_{efektif} \times e}{W} - \frac{M}{W} \quad \text{dengan } e = 1,025 \\ &= \frac{8 \times 1783,76}{1260} + \frac{8 \times 1783,76 \times 1,025}{12600} - \frac{65056,68}{12600} \\ &= 7,323 \text{ kg/cm}^2 < 200 \text{ kg/cm}^2 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

- Tengah slab

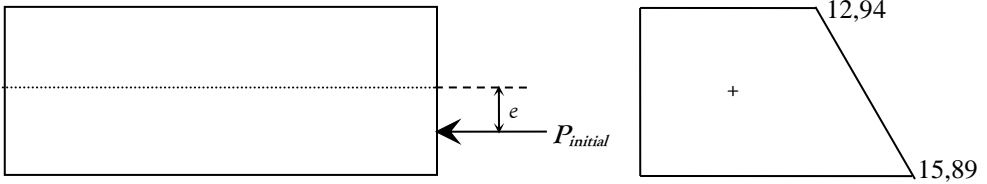
Sisi atas:

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{P_{efektif}}{A} + \frac{P_{efektif} \times e}{W} - \frac{M}{W} \quad \text{dengan } e = -0,475 \\ &= \frac{8 \times 1783,76}{1080} + \frac{8 \times 1783,76 \times (-0,475)}{10800} - \frac{52438,77}{10800} \\ &= 7,209 \text{ kg/cm}^2 < 200 \text{ kg/cm}^2 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

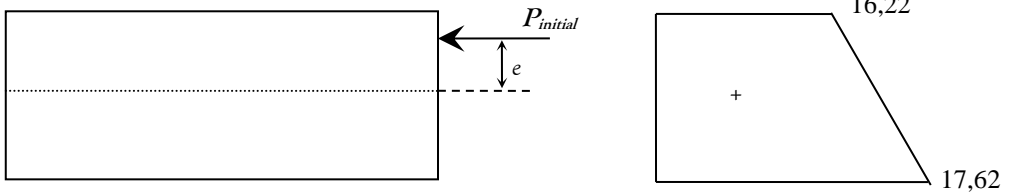
Sisi bawah:

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{P_{efektif}}{A} - \frac{P_{efektif} \times e}{W} + \frac{M}{W} \quad \text{dengan } e = -0,475 \\ &= \frac{8 \times 1783,76}{1080} - \frac{8 \times 1783,76 \times (-0,475)}{10800} + \frac{52438,77}{10800} \\ &= 19,217 \text{ kg/cm}^2 < 200 \text{ kg/cm}^2 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

Kondisi Tegangan Tahap Pratekan Awal untuk Bagian Bawah Rel

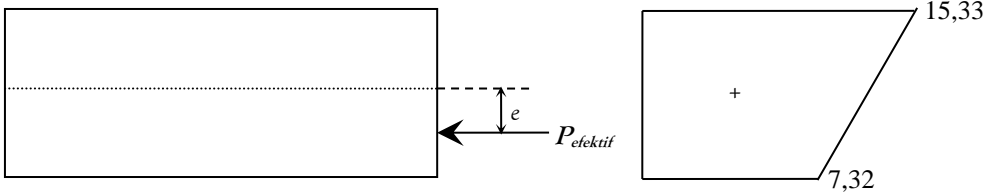


Kondisi Tegangan Tahap Pratekan Awal untuk Bagian Tengah Bantalan

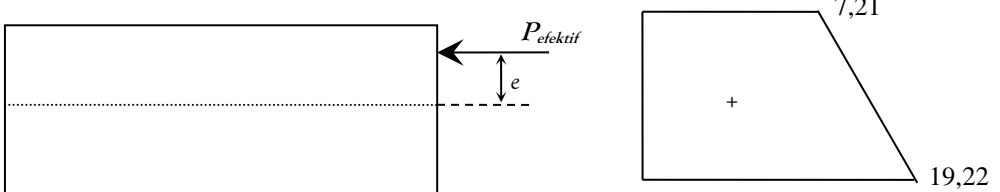


Catatan : + adalah tegangan tekan

Kondisi Tegangan Tahap Pratekan Efektif untuk Bagian Bawah Rel



Kondisi Tegangan Tahap Pratekan Efektif untuk Bagian Tengah Bantalan

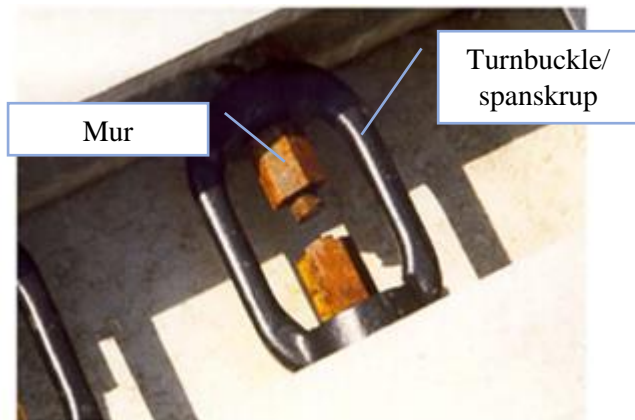


Catatan : + adalah tegangan tekan

4.6 Sambungan Antar Segmen/ Blok

Untuk penyambungan antar segmen/ blok slab track, digunakan *turnbuckle* atau spanskrup dan mur baik itu pada metode Shinkansen maupun metode Bögl.

Dengan memasang tulangan pada arah memanjang di setiap segmennya kemudian pada ujung segmen dipasang spanskrup. Untuk penggunaan pada aplikasi yang memiliki banyak getaran, diharuskan melengkapi spanskrup dengan mur dapat dilihat seperti pada gambar 4.19



Gambar 4. 19 Penggunaan sambungan pada slab track menggunakan spanskrup dan mur

“Halaman sengaja dikosongkan”

BAB V

RENCANA ANGGARAN BIAYA

5.1 Rencana Anggaran Biaya

Penentuan harga bahan material dan harga satuan pekerjaan mengacu pada analisa harga satuan pekerjaan (AHSP) Proyek pembangunan double track lintas Madiun-Kedungbanteng. Untuk bahan yang tidak tersedia pada AHSP proyek, maka menggunakan harga dari tahun 2012. Karena direncanakan akan dibangun pada tahun 2019 maka harga dari tahun 2012 harus di inflasi terlebih dahulu dengan tingkat bunga yang dikeluarkan oleh Bank Indonesia.

5.2 Tingkat Inflasi

Tingkat inflasi rata-rata dihitung berdasarkan jumlah nilai selama kurun waktu 7 tahun 4 bulan. Berikut ini adalah perhitungan nilai inflasi rata-rata yang akan digunakan untuk acuan dalam menentukan harga pekerjaan di tahun 2019 dan hasilnya dapat dilihat pada tabel 5.1

Tabel 5. 1 Rata-rata inflasi Bank Indonesia

Tahun	Jumlah Tingkat Inflasi
2012	4,28%
2013	6,97%
2014	6,42%
2015	6,38%
2016	3,53%
2017	3,81%
2018	3,29%
2019	2,68%
Jumlah rata-rata inflasi (a)	37,36%
Jumlah tahun (b)	7,3
Rata-rata inflasi (a/b)	5,117808219%

Sumber : Bank Indonesia

Dari nilai rata-rata inflasi tersebut, akan dilakukan perhitungan untuk mengetahui harga pada tahun 2019. Kemudian untuk mendapatkan nilai biayanya, maka formula yang dipakai adalah volume dikali harga satuan. Berikut adalah perhitungan pengadaan bahan rel UIC tipe R54:

Data yang dibutuhkan dalam perhitungan rencana anggaran biaya konstruksi jalan rel adalah sebagai berikut:

- Tingkat inflasi (i) = 5,12 %
- Nilai waktu (n) = 7 tahun
- HSPK 2012 (PV) = Rp. 10.692.955,26 (ismoyo, 2017)

a) Pengadaan bahan rel UIC tipe R54 (dalam satuan ton)

$$\begin{aligned} \text{Volume} &= \text{Panjang rel} \times \text{Berat rel} \\ &= 54000 \text{ m} \times 54,43 \text{ kg/m} \\ &= 2939220 \text{ kg} \\ &= 2939,22 \text{ ton} \end{aligned}$$

b) Harga satuan pengadaan bahan rel UIC tipe R54 dari tahun 2012 menjadi tahun 2019 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{FV} &= \text{PV} \times (1 + i)^n \\ &= \text{Rp. } 10.692.955,26 \times (1 + 5,12\%)^7 \\ &= \text{Rp. } 15.166.843,84 \end{aligned}$$

c) Jumlah rencana anggaran biaya untuk Pengadaan bahan rel UIC tipe R54 adalah:

$$\begin{aligned} \text{Harga} &= \text{Volume} \times \text{HSPK 2019} \\ &= 2939,22 \text{ ton} \times \text{Rp. } 15.166.843,84 \\ &= \text{Rp. } 44.578.690.751 \end{aligned}$$

5.3 Perhitungan Bahan Slab Track

1. Slab track tipe shinkansen

a) Perhitungan volume pelat beton (slab beton)

Untuk perhitungan luas dihitung menggunakan pengukuran di autocad dengan perintah:

- Ketik AA → ENTER
- Ketik A → ENTER
- Klik semua sudut bidang objek
- Tekan Enter setelah selesai

Sehingga di dapat nilai luas penampang di bawah rel dan di tengah slab sebagai berikut:

- Luas bawah rel = $0,284 \text{ m}^2$
- Luas tengah slab = $0,114 \text{ m}^2$

Kemudian untuk perhitungan didapatkan dari nilai luas dikalikan panjang slab untuk 1 bloknya, sehingga didapat nilai volume sebagai berikut:

- Volume bawah rel = $0,284 \text{ m}^2 \times 4,95 \text{ m} = 1,4058 \text{ m}^3$
- Volume tengah slab = $0,114 \text{ m}^2 \times 4,95 \text{ m} = 0,5643 \text{ m}^3$

b) Perhitungan volume lantai kerja (t=15cm)

$$\begin{aligned} \text{Luas 1 blok slab track} &= 4,95 \text{ m} \times 2 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \\ &= 1,485 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Rincian anggaran biaya terdiri dari 1 blok slab track dan lantai kerja dibawahnya terdapat pada tabel 5.2 dan tabel 5.3

Tabel 5. 2 Rincian anggaran biaya untuk membuat 1 blok slab track shinkansen

No	Bahan	Sat	Volume	Harga Satuan Bahan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
A Pelat Beton					
1	Bawah Rel	m ³	1,4058	1.560.000	2.193.048
2	Tengah	m ³	0,5643	1.560.000	880.308
B	Pembesian	m	176	12.000	2.112.000
C Alat Penambat					
1	Shoulder	bh	16	23.760	380.160
2	Elastis/ Clip	bh	16	35.000	560.000
3	Insulator	bh	16	14.850	237.600
4	Rail Pad	bh	16	14.850	237.600
Total					6.600.716

Tabel 5. 3 Rincian anggaran biaya untuk membuat 1 blok lantai kerja

No	Bahan	Sat	Volume	Harga Satuan Bahan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	Pelat Beton K-175	m ³	1,485	1.047.800	1.555.983
Total					1.555.983

2. Slab track tipe Bögl

a) Perhitungan volume pelat beton (slab beton)

Untuk perhitungan luas dihitung menggunakan pengukuran di autocad dengan perintah:

- Ketik AA → ENTER
- Ketik A → ENTER
- Klik semua sudut bidang objek
- Tekan Enter setelah selesai

Sehingga di dapat nilai luas penampang di bawah rel dan di tengah slab sebagai berikut:

- Luas bawah rel = 0,284 m²
- Luas tengah slab = 0,114 m²

Kemudian untuk perhitungan didapatkan dari nilai luas dikalikan panjang slab untuk 1 bloknya, sehingga didapat nilai volume sebagai berikut:

- Volume bawah rel = 0,284 m² x 6,45 m = 1,8318 m³

- Volume tengah slab = $0,114 \text{ m}^2 \times 6,45 \text{ m} = 0,7353 \text{ m}^3$

b) Perhitungan volume lantai kerja ($t=15\text{cm}$)

$$\begin{aligned} \text{Luas 1 blok slab track} &= 6,45 \text{ m} \times 2 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \\ &= 1,935 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Rincian anggaran biaya terdiri dari 1 blok slab track dan lantai kerja dibawahnya terdapat pada tabel 5.4 dan tabel 5.5

Tabel 5. 4 Rincian anggaran biaya untuk membuat 1 blok slab track tipe Bögl

No	Bahan	Sat	Volume	Harga Satuan Bahan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
A Pelat Beton					
1	Bawah Rel	m3	1,8318	1.560.000	2.857.608
2	Tengah	m3	0,7353	1.560.000	1.147.068
B	Pembesian	m	352	12.000	4.224.000
C Alat Penambat					
1	Shoulder	bh	22	23.760	522.720
2	Elastis/ Clip	bh	22	35.000	770.000
3	Insulator	bh	22	14.850	326.700
4	Rail Pad	bh	22	14.850	326.700
Total					10.174.796

Tabel 5. 5 Rincian anggaran biaya untuk membuat 1 blok lantai kerja

No	Bahan	Sat	Volume	Harga Satuan Bahan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	Pelat Beton K-175	m3	1,935	1.047.800	2.027.493
Total					2.027.493

5.4 Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya

Berikut adalah rekapitulasi rencana anggaran biaya untuk masing-masing metode. Metode Shinkansen pada tabel 5.6 dan metode Bögl pada tabel 5.7

Tabel 5. 6 Rekapitulasi rencana anggaran biaya untuk metode slab track shinkansen

No	Uraian pekerjaan	satuan	volume	harga satuan pekerjaan	jumlah
A Pengadaan bahan					
1	Rel UIC R.54	ton	538,857	15.166.844	8.172.759.971
2	Slab track lengkap dengan penambat	blok	1	6.600.716	6.600.716
Jumlah A					8.179.360.687
B Pekerjaan Lantai Kerja (vol. 4,95 x 2 x 0.15)m' = 1,485 m3					
1	Plat beton mutu K-175/ blok	blok	1	1.555.983	1.555.983
Jumlah B					1.555.983
C Konstruksi Jalan Rel					
1	Mengecer slab beton ke lokasi pekerjaan	blok	1	45.100	45.100
2	Memasang rel dan penambat	bh	16	89.500	1.432.000
3	Mengelaspas rel dengan las thermit termasuk bahan	titik	1	1.925.500	1.925.500
Jumlah C					3.402.600
Jumlah A-C					8.184.319.270
Ppn (10%)					818.431.927
Jumlah Total					9.002.751.197
Pembulatan					9.003.000.000
Biaya untuk Konstruksi Rel Sepanjang 54 KM					98.214.546.000.000

Tabel 5. 7 Rekapitulasi rencana anggaran biaya untuk metode slab track Bögl

No	Uraian pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan Pekerjaan	Jumlah
A Pengadaan bahan					
1	Rel UIC R.54	ton	702,018	15.166.844	10.647.397.379
2	Slab track lengkap dengan penambat	blok	1	10.174.796	10.174.796
Jumlah A					10.657.572.175
B Pekerjaan Lantai Kerja (vol. 4,95 x 2 x 0.15)m' = 1,485 m3					
1	Plat beton mutu K-175/ blok	blok	1	2.027.493	2.027.493
Jumlah B					2.027.493
C Konstruksi Jalan Rel					
1	Mengecer slab beton ke lokasi pekerjaan	blok	1	45.161	45.161
2	Memasang rel dan penambat	bh	22	89.565	1.970.430
3	Mengelaspas rel dengan las thermit termasuk bahan	titik	1	1.925.578	1.925.578
Jumlah C					3.941.168
Jumlah A-C					10.663.540.836
Ppn (10%)					1.066.354.084
Jumlah Total					11.729.894.920
Pembulatan					11.730.000.000
Biaya untuk Konstruksi Rel Sepanjang 54 KM					98.204.652.000.000

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan perancangan struktur jalan rel dan rencana anggaran biaya penggunaan slab pada lintas Madiun-Kedungbanteng, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Perancangan konstruksi jalan rel kereta api yang ditinjau dalam tugas akhir ini, didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut:
 - a) Kelas jalan dan daya angkut lintas
Berdasarkan rencana klasifikasi jalan maka lintas Madiun-Kedungbanteng termasuk kelas jalan II dengan daya angkut lintas sebesar 16.509.398,4 ton/ tahun
 - b) Konstruksi jalan rel
 - Jenis rel = UIC tipe R.54
 - Umur rencana rel = 29,357 tahun
 - Panjang rel = 200 m
 - Sambungan rel = Las alumino-thermic welding
 - Penambat = Elastis ganda tipe E – Clip
 - c) Slab track
 - Metode Shinkansen, didapatkan dimensi untuk per blok/ segmen:
 - Panjang = 495 cm
 - Lebar = 200 cm
 - Tebal = 21 cm
 - Metode Bögl, didapatkan dimensi untuk per blok/ segmen:
 - Panjang = 645 cm
 - Lebar = 200 cm
 - Tebal = 21 cm

2. Rencana anggaran biaya yang diperlukan pada penggunaan slab track lintas Madiun-Kedungbanteng untuk masing-masing metode adalah sebagai berikut:

- Metode Shinkansen sebesar Rp. 98.214.546.000.000 (sembilan puluh delapan triliun dua ratus empat belas miliar lima ratus empat puluh enam juta rupiah)
- Metode Bögl sebesar Rp. 98.204.652.000.000 (sembilan puluh delapan triliun dua ratus empat miliar enam ratus lima puluh dua juta rupiah)

Biaya untuk metode Bögl lebih kecil karena plat yang digunakan lebih tipis serta jumlah tulangan yang lebih sedikit dari metode Shinkansen. Sehingga, dipilih metode Bögl.

6.2 Saran

Saran dalam perancangan struktur jalan rel lintas Madiun-Kedungbanteng menggunakan metode slab track adalah sebagai berikut:

1. Dengan ukuran plat 2m x 6,45m untuk satu slabnya dapat menahan beban kereta sebesar 77789,448 kg dan momen yang terjadi pada slab sebesar 65056,682 kg-cm (bawah rel) serta -58063,64 kg-cm (tengah slab) sehingga tanah dasar harus bisa menahan momen yang terjadi pada slab tersebut.
2. Struktur jalan rel menggunakan slab track ini diharapkan mampu mereduksi pekerjaan perawatan jalur kereta api diantaranya adalah tidak memerlukan pekerjaan pengawasan pemadatan rutin, pembersihan balas, dan koreksi level jalur rel.

DAFTAR PUSTAKA

- Esveld, C. 2003. *Recent Developments in slab track. Delft University of Technology.*
- German Unity Transport Project 8. 2019. <URL: http://www.vde8.de/The-Boegl-ballastless-track-system-----_site.site..ls_dir._nav.773_likecms.html>. Diakses tanggal 3 Januari 2019
- Hidayat, H. & Rachmadi. 2001. **Rekayasa Jalan Rel.** Catatan Kuliah. Penerbit ITB. Bandung.
- Ismoyo, Yugo. 2017. **Tugas Akhir: Perencanaan Jalur Ganda Kereta Api Lintas Bangil-Malang.** Surabaya: Teknik Sipil ITS.
- Menteri Perhubungan. 2012. **Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api.** Jakarta.
- Michas, G. (2012). *Slab Track Systems for High-Speed Railways. Master Degree Project, Division of Highway and Railway Engineering, Royal Institute of Technology.* Stockholm, Sweden.
- PJKA. 1986. **Perencanaan Konstruksi Jalan Rel (Peraturan Dinas No.10).** Bandung.
- PT Pindad Persero. 2015. <URL:<https://www.pindad.com/e-clip-rail-fastening>>. Diakses tanggal 1 Desember 2018
- Rosyidi, S, A, P. 2015. **Modul Rel. Prasarana Transportasi Jalan Rel.** Yogyakarta: Jurusan Tenik Sipil UMY
- Sekretariat Negara. 2007. **UU No. 23 tentang Perkerataapian.** Jakarta.

Setiawan, D, M. 2016. *Worldwide Slab Track Development As Consideration For Indonesian Slab Track Design Concept*. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta



Fa'izah Maulidya Afifah Lutfi, Penulis dilahirkan di Surabaya, pada tanggal 17 Juli 1996, merupakan anak ketiga dari enam bersaudara ini menempuh pendidikan formal di SD Islam Maryam Surabaya, SMP Negeri 17 Surabaya, SMA Negeri 17 Surabaya, setelah lulus melanjutkan pendidikan di Program Studi Diploma III Teknik Infrastruktur Sipil ITS, dengan mengambil konsentrasi studi di bangunan transportasi pada tahun 2014 dan lulus pada tahun 2017. Kemudian setelah lulus dari Diploma

III Teknik Infrastruktur Sipil ITS, penulis melanjutkan studi pada program S1 Lintas Jalur Jurusan Teknik Sipil FTSLK-ITS pada tahun 2017 dan terdaftar dengan NRP 03111745000021. Untuk pertanyaan mengenai tugas akhir, penulis bisa dihubungi lewat email: faizah.afifah@gmail.com

“Halaman sengaja dikosongkan”

Lampiran 1

Lokasi Proyek



Sumber: Dokumentasi Proyek, 2018

Lampiran 2

Spesifikasi Gerbong



Gerbong ketal BBM khusus warna silver.

DATA TEKNIS GERBONG KETEL (GK) BBM

Beban Muat (Maksimum)	40 Ton
Kecepatan (Maksimum)	70 km/jam
Lebar Sepur	1067 mm
Berat Kosong	20000 kg
Panjang Total Gerbong termasuk Alat Perangkai	12160 mm
Lebar Gerbong	2516 mm
Jarak Antar Pusat Bogie	7400 mm
Tinggi Pusat Alat Perangkai dari atas Rel	775 mm

PENGADAAN

Pabrikan	PT INKA
Tahun Dinas	2009
Posisi	Daop 6 Yogyakarta

KOMPONEN UTAMA

Bogie	Barber Type
Sistem Pengereman	Air Brake
Alat Perangkai	Automatic Coupler

Sumber: Album Gerbong PT KA



Gerbong ketal khusus HSD berat biru khas Daop 8 Surabaya.

DATA TEKNIS GERBONG KETEL (GK) BBM

Beban Muat (Maksimum)	30 Ton
Kecepatan (Maksimum)	70 km/jam
Lebar Sepur	1067 mm
Berat Kosong	17000 kg
Panjang Total Gerbong termasuk Alat Perangkai	11793 mm
Lebar Gerbong	2400 mm
Jarak Antar Pusat Bogie	6880 mm
Tinggi Pusat Alat Perangkai dari atas Rel	775 mm

PENGADAAN

Pabrikan	Korea, Perancis
Tahun Dinas	1984, 2004
Posisi	Daop 5 Purwokerto, Daop 6 Yogyakarta dan Daop 8 Surabaya

KOMPONEN UTAMA

Bogie	SM.13 TM. 774
Sistem Pengereman	Air Brake
Alat Perangkai	Automatic Coupler

Sumber: Album Gerbong PT KA



Gerbong ketal khusus HSD berat biru khas Daop 5 Purwokerto.

DATA TEKNIS GERBONG KETEL (GK) KHUSUS DINAS (HSD)

Beban Muat (Maksimum)	31.5 Ton
Kecepatan (Maksimum)	70 km/jam
Lebar Sepur	1067 mm
Berat Kosong	18 Ton
Beban Gandar	-
Panjang Total Gerbong termasuk Alat Perangkai	18600 mm
Lebar Gerbong	2216 mm
Jarak Antar Pusat Bogie	6500 mm
Tinggi Pusat Alat Perangkai dari atas Rel	775 mm

PENGADAAN

Pabrikan	Rumania, Jepang
Tahun Dinas	1985, 1972, 1977
Posisi	Daop 6 Yogyakarta dan Daop 8 Surabaya

KOMPONEN UTAMA

Bogie	Ride Control
Sistem Pengereman	Air Brake
Alat Perangkai	Automatic Coupler

Sumber: Album Gerbong PT KA

Lampiran 3

Analisa Harga Satuan Pekerjaan

PEKERJAAN LANTAI KERJA

Jenis Pekerjaan : Membuat 1 m³ beton mutu f'c = 14,5 Mpa (K. 175)

Satuan Pembayaran : m³

No	Uraian	Unit	Kuantitas	Harga Satuan Komponen	Jumlah
A	TENAGA				
	Pekerja	oh	1,6500	80.500,00	132.825,00
	Tukang batu	oh	0,2750	95.000,00	26.125,00
	Tukang kayu	oh	0,0280	95.000,00	2.660,00
	Mandor	oh	0,083	139.300,00	11.561,90
	Jumlah				173.171,90
B	BAHAN				
	Smn / Pc	kg	326,0000	1.562,00	509.212,00
	Pasir beton	m ³	0,5430	214.500,00	116.473,50
	Batu pecak 2/3	m ³	0,5717	247.500,00	141.495,75
	Air	ltr	215,0000	500,00	107.500,00
	Jumlah				874.681,25
C	PERALATAN				
	Jumlah				-
	Harga Satuan A + B + C				1.047.853,15
	Pembulatan				1.047.800,00

MENGEGER SLAB BETON KE LOKASI PEKERJAAN

Jenis Pekerjaan : Mengecer bantalan beton kelokasi pekerjaan

Satuan Pembayaran : blok

No	Uraian	Unit	Kuantitas	Harga Satuan Komponen	Jumlah
A	TENAGA				
	Pekerja	oh	0,5610	80.500,00	45.160,50
	Jumlah				45.160,50
B	BAHAN				
	Jumlah				-
C	PERALATAN				
	Jumlah				-
	Harga Satuan A + B + C				45.160,50
	Pembulatan				45.100,00

MEMASANG REL DAN PENAMBAT

Jenis Pekerjaan : Memasang rel dan penambat

Satuan Pembayaran : msp

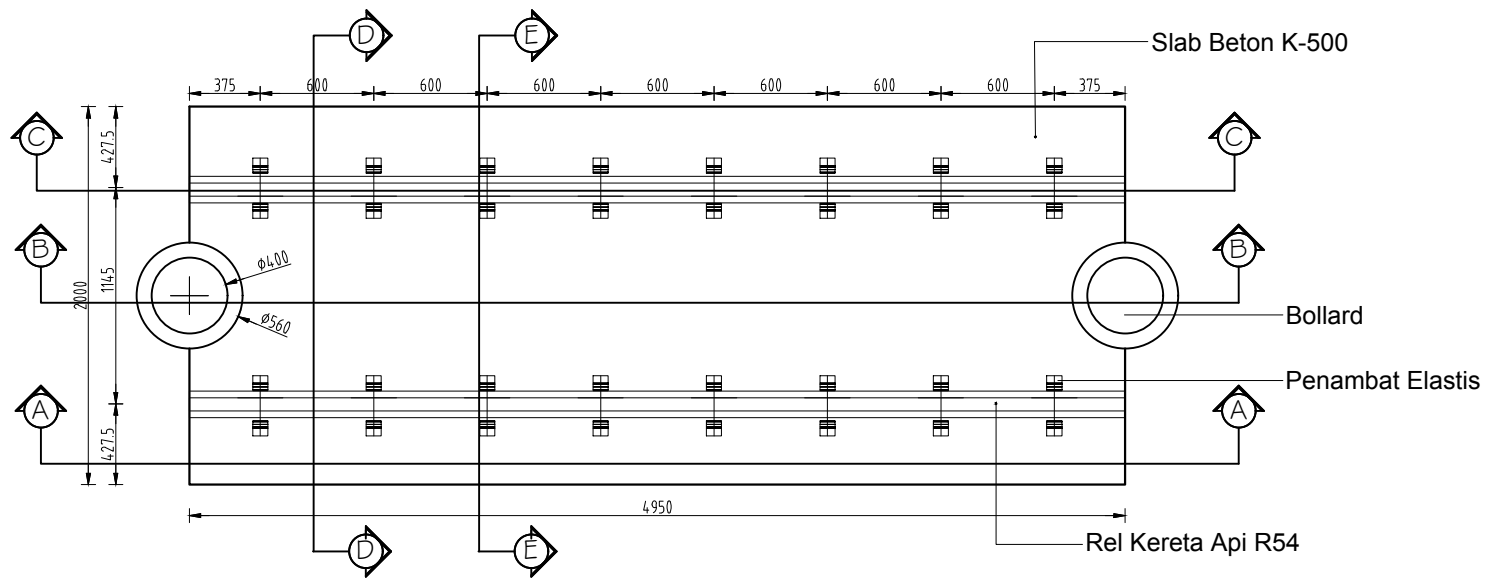
No	Uraian	Unit	Kuantitas	Harga Satuan Komponen	Jumlah
A	TENAGA				
	Pekerja	oh	0,6800	80.500,00	54.740,00
	Mandor	oh	0,2500	139.300,00	34.825,00
	Jumlah				89.565,00
B	BAHAN				
	Jumlah				-
C	PERALATAN				
	Jumlah				-
	Harga Satuan A + B + C				89.565,00
	Pembulatan				89.500,00

PENGELASAN REL R.54 DENGAN LAS THERMITH MENJADI PANJANG MENERUS

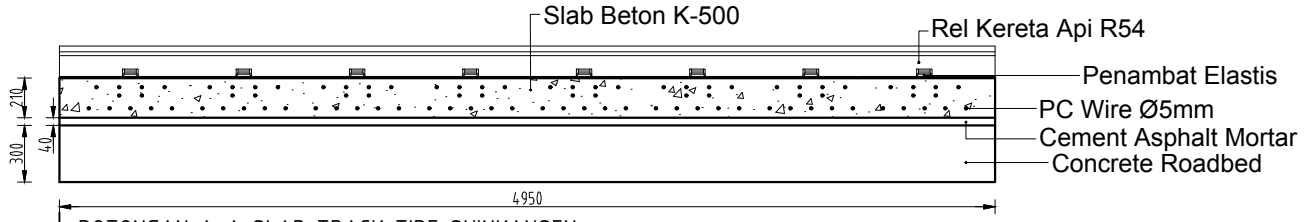
Jenis Pekerjaan : Pengelasan rel R.54 dengan las thermith menjadi panjang menerus

Satuan Pembayaran : titik

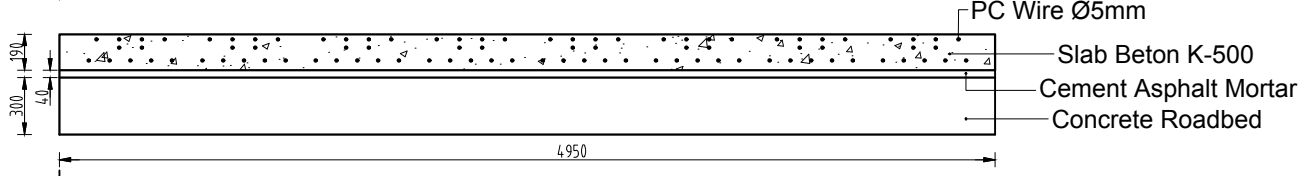
No	Uraian	Unit	Kuantitas	Harga Satuan Komponen	Jumlah
A	TENAGA				
	Pekerja	oh	0,7500	80.500,00	60.375,00
	Tukang las thermith	oh	0,5000	85.400,00	42.700,00
	Mandor las thermith	oh	0,2500	139.300,00	34.825,00
	Tukang gerinda	oh	0,5000	85.400,00	42.700,00
Jumlah					180.600,00
B	BAHAN				
	Tabung oksigen besar	bh	0,1500	132.000,00	19.800,00
	Tabung elpiji besar	bh	0,0300	132.000,00	3.960,00
	Bensin industri	ltr	1,5000	10.000,00	15.000,00
	Olie Sae 40	ltr	0,0600	35.200,00	2.112,00
	Kain lap	lembar	0,0500	7.700,00	385,00
	Tenda berjaln	lembar	0,0100	770.000,00	7.700,00
	Batu gerinda profil	bh	0,0200	137.500,00	2.750,00
	Batu gerinda tangan besar	bh	0,1500	38.500,00	5.775,00
	Regulator oksigen	bh	0,0050	506.000,00	2.530,00
	Regulator LPG	bh	0,0050	484.000,00	2.420,00
	Bahan las thermith	set	1,0000	1.474.500,00	1.474.500,00
Jumlah					1.536.932,00
C	PERALATAN				
	Palu konde 1 kg	bh	0,0100	15.400,00	154,00
	Palu 4 kg	bh	0,0040	58.300,00	233,20
	Pahat ganjal	bh	0,0150	96.800,00	1.452,00
	Sikat baja	bh	0,0500	21.780,00	1.089,00
	Kaca mata las	bh	0,0100	42.000,00	420,00
	Sarung tangan panjang	set	0,0300	17.600,00	528,00
	Apron	bh	0,0150	154.000,00	2.310,00
	Sekop	bh	0,1000	38.500,00	3.850,00
	Kunci inggris 12"	bh	0,0020	71.500,00	143,00
	Linggis bengkok	bh	0,0060	60.500,00	363,00
	Mistar pelurus rel	bh	0,0100	396.000,00	3.960,00
	Kikir segi empat	bh	0,0200	33.000,00	660,00
	Stop watch	bh	0,0010	154.000,00	154,00
	Sepatu las	set	0,0010	72.600,00	72,60
	Blander pemanas	set	0,0090	1.573.000,00	14.157,00
	Sewa dongkrak	bh	0,0050	500.000,00	2.500,00
	Sewa mesin gerinda MP 12	hr	0,2500	187.000,00	46.750,00
	Sewa mesin gerinda tangan	hr	0,2500	88.000,00	22.000,00
	Sewa mesin weld sher (Manual)	hr	0,2500	175.000,00	43.750,00
	Transportasi	unit	0,2000	64.000,00	12.800,00
	Pengaman operasional	unit	0,6000	12.500,00	7.500,00
	Biaya tes ultrasonic	unit	1,0000	43.200,00	43.200,00
Jumlah					208.045,80
Harga Satuan A + B + C					1.925.577,80
Pembulatan					1.925.500,00



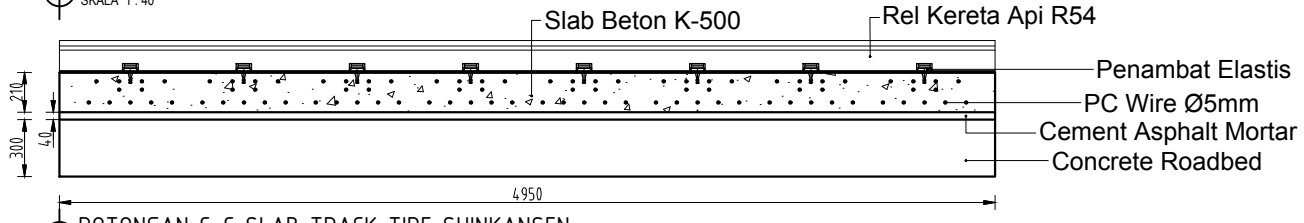
TAMPAK ATAS SLAB TRACK TIPE SHINKANSEN
SKALA 1:40



POTONGAN A-A SLAB TRACK TIPE SHINKANSEN
SKALA 1:40

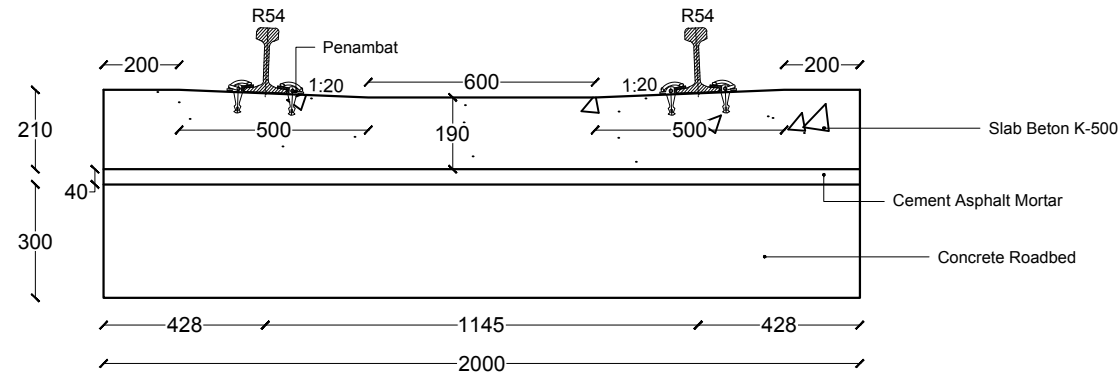


POTONGAN B-B SLAB TRACK TIPE SHINKANSEN
SKALA 1:40

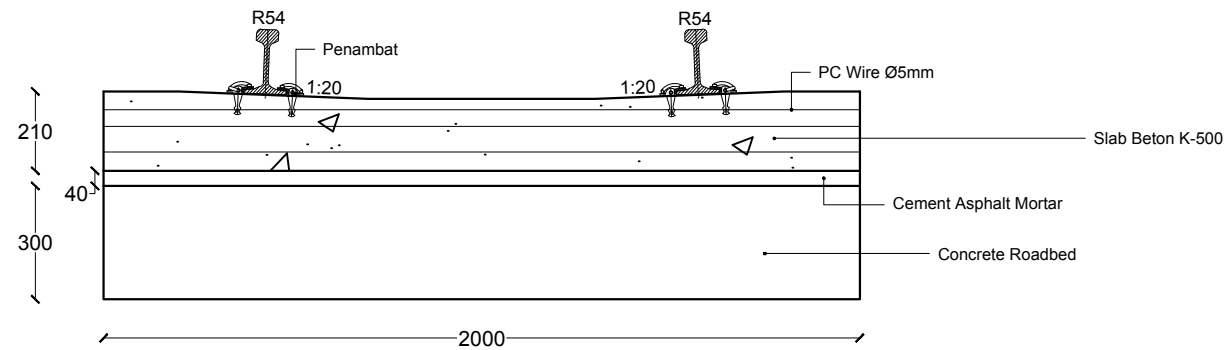


POTONGAN C-C SLAB TRACK TIPE SHINKANSEN
SKALA 1:40

	JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA 2019	DOSEN PEMBIMBING I : Ir. Wahyu Herijanto, MT	NAMA MAHASISWA Fa'izah Maulidya Afifah Lutfi 03111745000021	JUDUL TUGAS AKHIR PERANCANGAN STRUKTUR JALAN REL LINTAS MADIUN-KEDUNGBANTENG MENGGUNAKAN METODE SLAB TRACK	SKALA	JUMLAH LEMBAR	NO. LEMBAR
		DOSEN PEMBIMBING II : Budi Rahardjo ST., MT.					

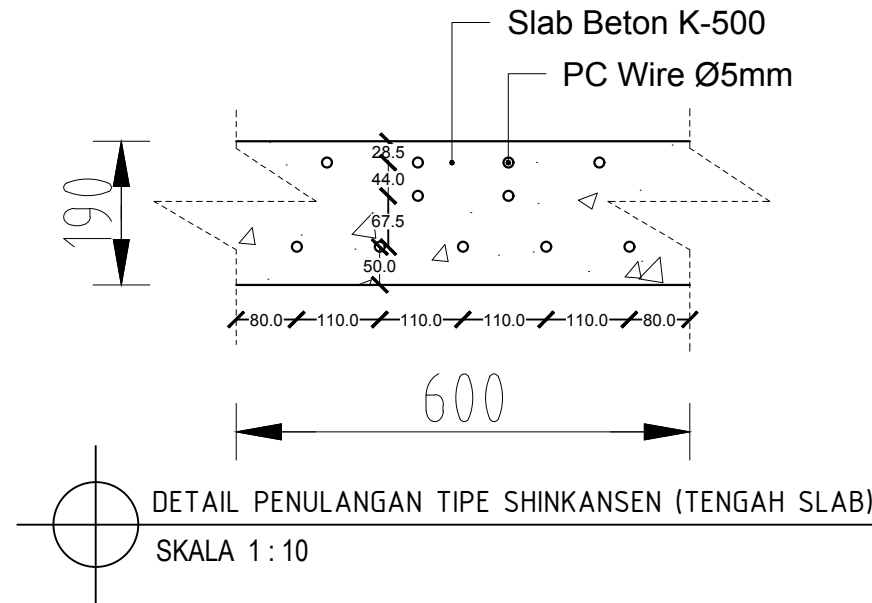
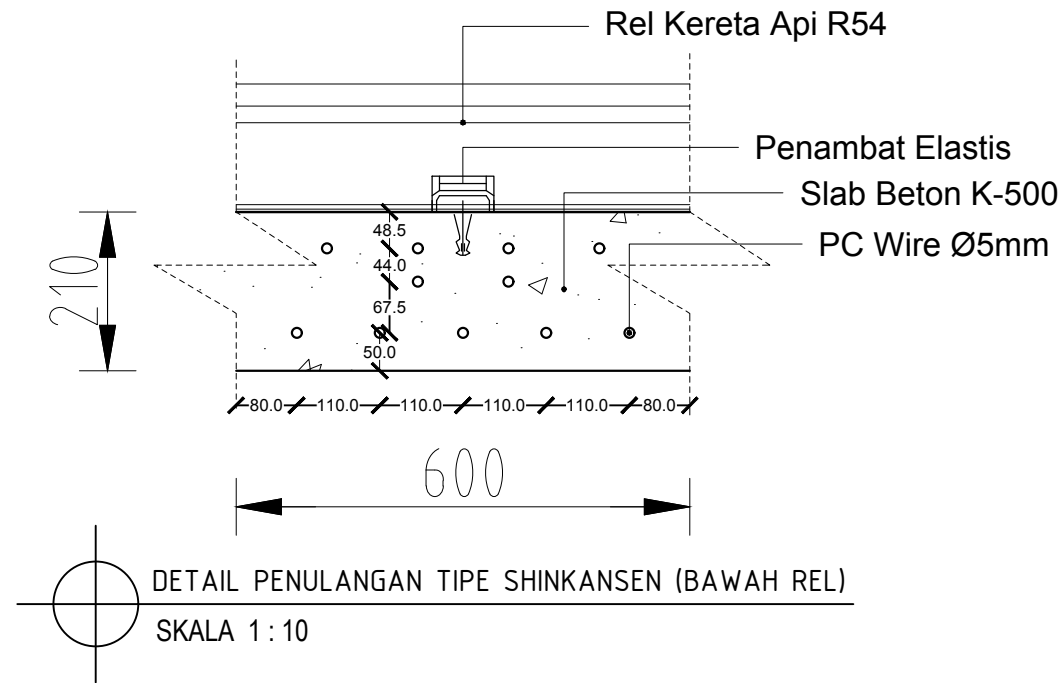


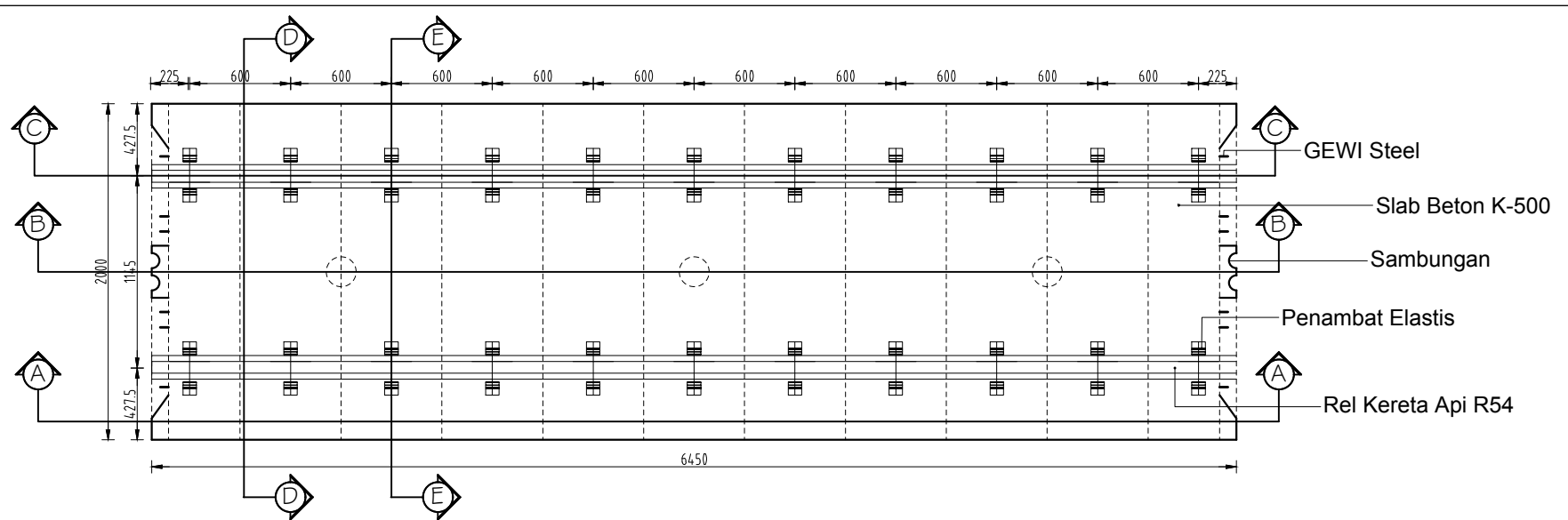
POTONGAN D-D SLAB TRACK TIPE SHINKANSEN
SKALA 1 : 20



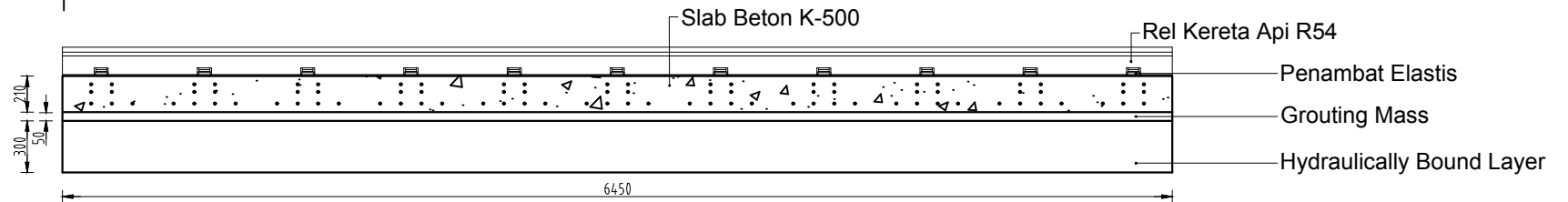
POTONGAN E-E SLAB TRACK TIPE SHINKANSEN
SKALA 1 : 20



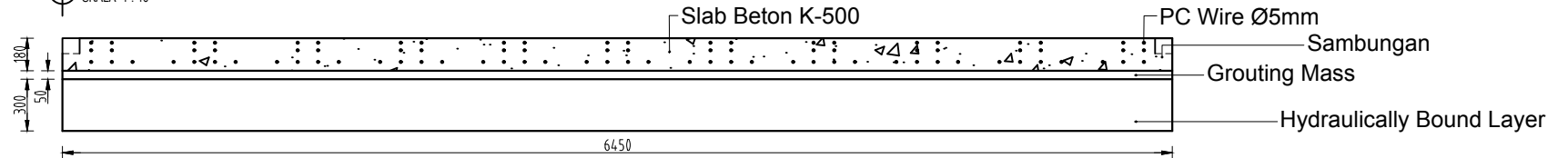




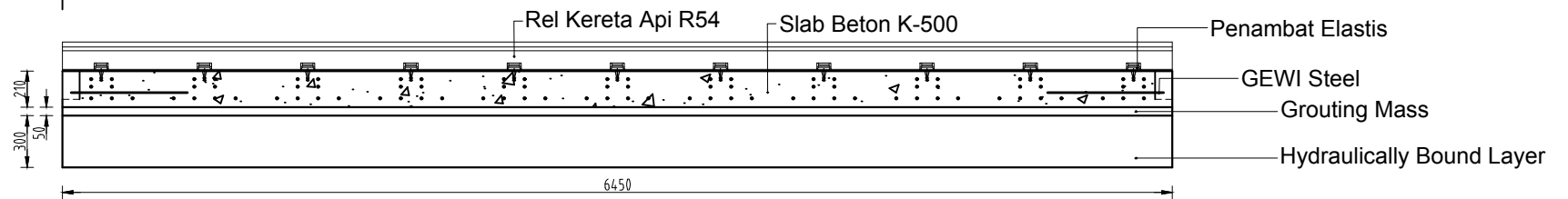
TAMPAK ATAS SLAB TRACK TIPE BÖGL
SKALA 1:40



POTONGAN A-A SLAB TRACK TIPE BÖGL
SKALA 1:40



POTONGAN B-B SLAB TRACK TIPE BÖGL
SKALA 1:40



POTONGAN C-C SLAB TRACK TIPE BÖGL
SKALA 1:40



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2019

DOSEN PEMBIMBING I :
Ir. Wahyu Herijanto, MT

DOSEN PEMBIMBING II :
Budi Rahardjo ST., MT.

NAMA MAHASISWA

Fa'izah Maulidya Afifah Lutfi
03111745000021

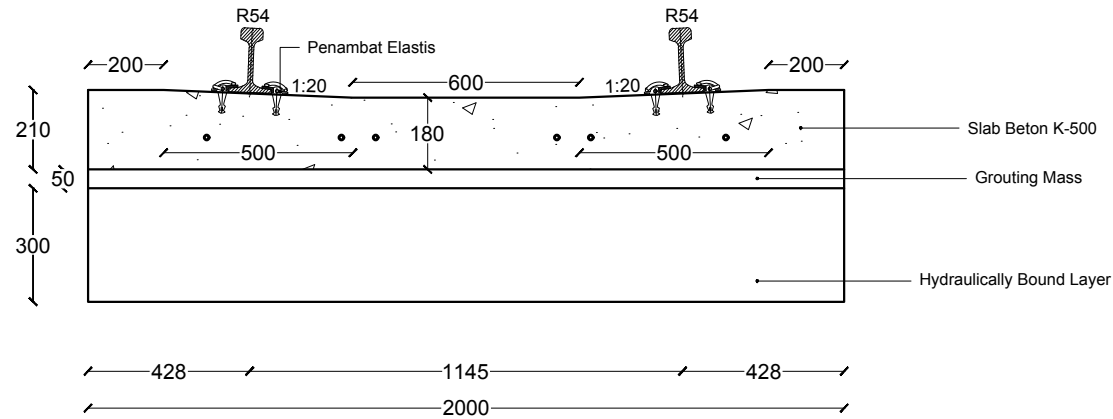
JUDUL TUGAS AKHIR

PERANCANGAN STRUKTUR JALAN REL
LINTAS MADIUN-KEDUNGBANTENG
MENGUNAKAN METODE SLAB TRACK

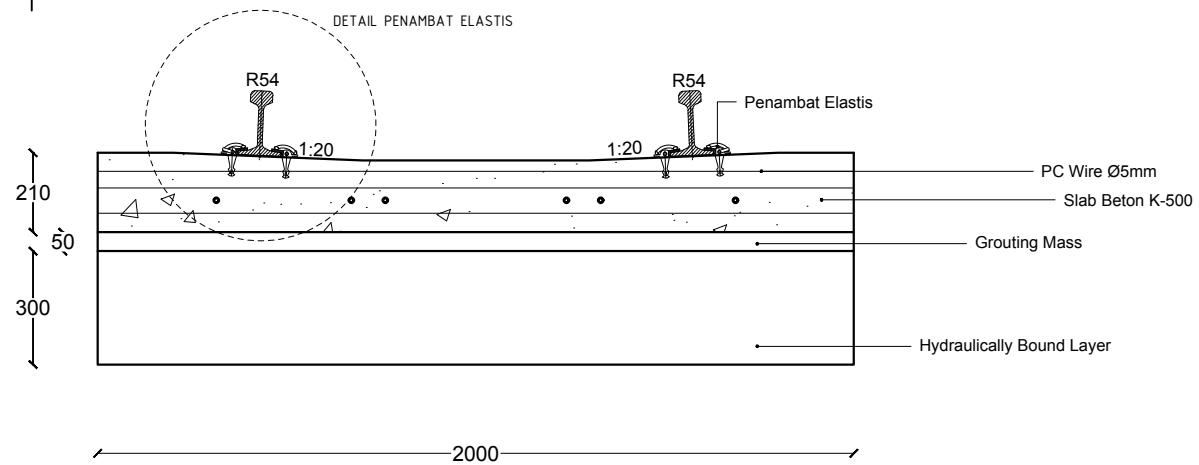
SKALA

JUMLAH LEMBAR

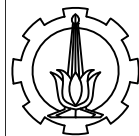
NO. LEMBAR



POTONGAN D-D SLAB TRACK TIPE BÖGL
SKALA 1 : 20



POTONGAN E-E SLAB TRACK TIPE BÖGL
SKALA 1 : 20



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2019

DOSEN PEMBIMBING I :
Ir. Wahyu Herijanto, MT

DOSEN PEMBIMBING II :
Budi Rahardjo ST., MT.

NAMA MAHASISWA

Fa'izah Maulidya Afifah Lutfi
0311174500021

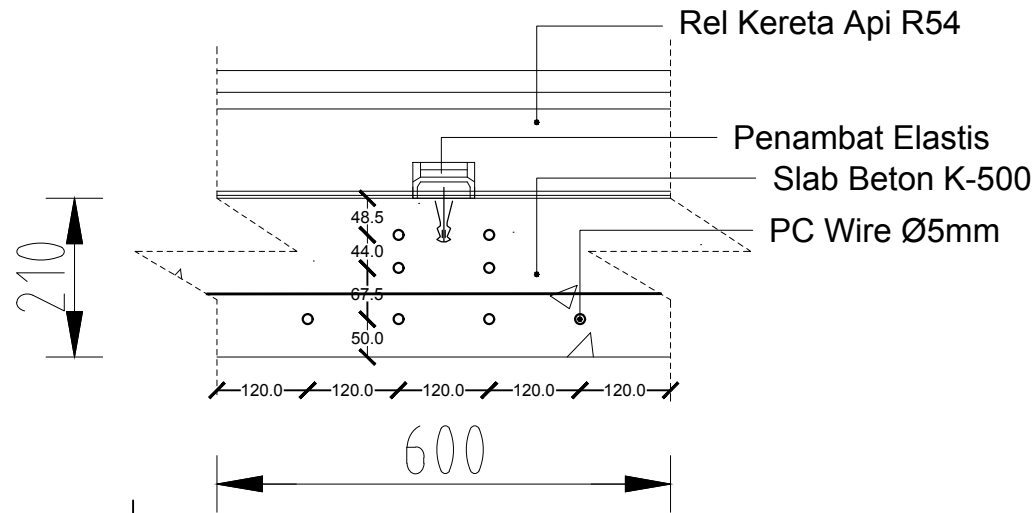
JUDUL TUGAS AKHIR

PERANCANGAN STRUKTUR JALAN REL
LINTAS MADIUN-KEDUNGBANTENG
MENGUNAKAN METODE SLAB TRACK

SKALA

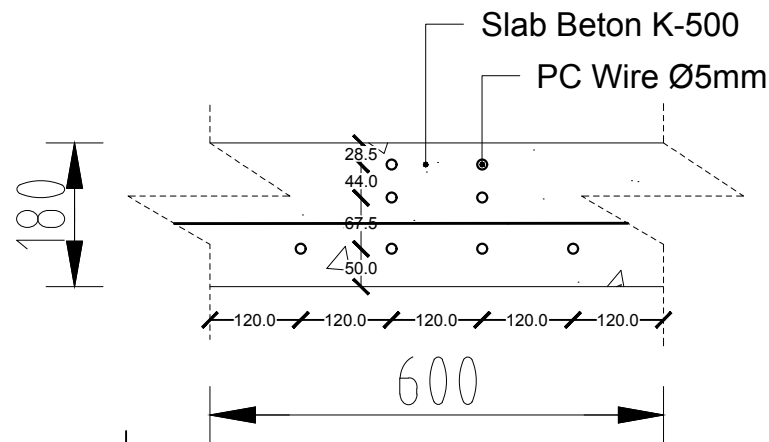
JUMLAH LEMBAR

NO. LEMBAR



DETAIL PENULANGAN TIPE BÖGL (BAWAH REL)

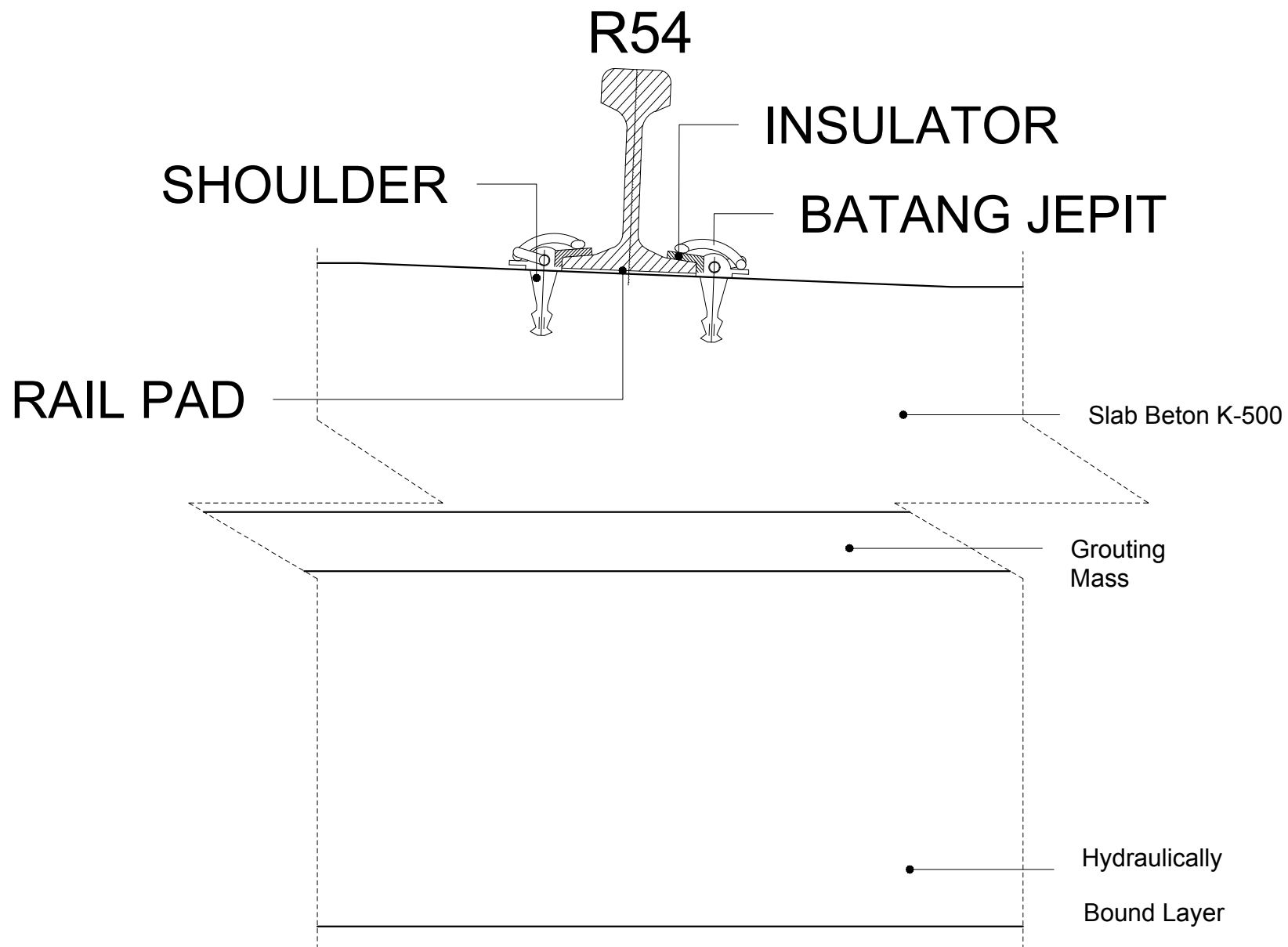
SKALA 1 : 10

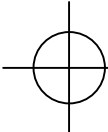


DETAIL PENULANGAN TIPE BÖGL (TENGAH SLAB)

SKALA 1 : 10






DETAIL PENAMBAT ELASTIS
 SKALA 1 : 5

