

PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Indonesia sebagai negara yang sedang berkembang harus didukung dari berbagai proses pembangunan. Dengan perkembangan pembangunan yang baik akan meningkatkan perekonomian yang lebih baik. Kemajuan ekonomi nasional tidak lepas dari peranan penting transportasi, baik transportasi laut, udara, maupun darat. Kegiatan pengangkutan barang maupun jasa lebih banyak menggunakan transportasi darat.

Namun dengan semakin terbatasnya kapasitas layanan jalan, kereta api menjadi solusi yang tepat dengan berbagai keunggulannya. Keunggulan ini tak lepas dari perkembangan teknologi pertkeretaapian sehingga semakin cepat, aman, hemat energi dan ramah lingkungan. Selain itu dari sisi daya angkut kereta api merupakan moda yang paling unggul. Selain dengan prospek cerah perkeretaapian, sudah sewajarnya keunggulan-keunggulan di atas dapat dimanfaatkan secara optimal, khususnya dalam penyelenggaraan transportasi nasional yang terintegritas. Untuk itu penyelenggaraan perkeretaapian nasional di masa depan harus mampu menjamin pergerakan orang dan barang di seluruh wilayah Indonesia.

Untuk mengoptimalkan peranan penting perkeretaapian sebagai tulang punggung transportasi nasional, pemerintah terus berupaya melakukan pembangunan prasarana perkeretaapian salah satunya ialah pembangunan jalur kereta api ganda di Provinsi Lampung. Oleh karena itu tugas akhir ini merupakan Studi *Detail Engineering Desain* (DED) Pembangunan Jalur Kereta Api Ganda Antara Stasiun Rejosari Sampai Stasiun Cempaka koridor Rengas – Sulusuban, Provinsi Lampung.

B. RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, dapat disimpulkan bahwa perlu dilakukan perancangan geometrik jalur ganda kereta api sesuai peraturan yang

berlaku yang memenuhi syarat teknis jalur kereta api.

C. TUJUAN STUDI

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Menganalisis data lapangan yang berupa peta topografi sebagai dasar perancangan geometri jalur ganda kereta api
2. Merancang geometrik jalur ganda kereta api sesuai dengan peraturan yang berlaku
3. Menghitung volume pekerjaan dan anggaran biaya pelaksanaan pembangunan jalur kereta api ganda antara Stasiun Rengas – Stasiun Sulusuban.

D. MANFAAT STUDI

Manfaat yang diperoleh dari studi ini adalah untuk menyusun DED geometrik jalur ganda kereta api sebagai masukan kepada Direktorat Jendral Perkeretaapian dan Kementerian Perhubungan untuk perencanaan yang akan datang.

E. BATASAN STUDI

Penelitian ini dibatasi oleh lingkup studinya dikarenakan keterbatasan dalam waktu dan kemampuan penulis dalam menganalisis yang masih belum cukup mumpuni dan data yang sulit untuk didapat, oleh karenanya penelitian ini dibatasi oleh:

1. Studi ini menggunakan data dari proyek pembangunan jalur kereta api antara Cempaka – Rejosari koridor Stasiun Rengas- Stasiun Sulusuban
2. Peraturan yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah Peraturan Menteri No.60 Tahun 2012 dan Peraturan Dinas No. 10 Tahun 1986
3. Analisis perancangan tidak mencakup rancangan stasiun, jembatan, terowongan, wesel, kajian pola operasi, analisis data tanah dan analisis hidrologi-hidrolika.
4. Analisis perancangan hanya untuk mengetahui geometri (alinemen horizontal dan vertikal), potongan melintang, dan rancangan anggaran biaya (RAB).

TINJAUAN PUSTAKA

A. PRASARANA PERKERETAAPIAN

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan No.60 Tahun 2012 yang tertuang dalam BAB I pasal 1 ayat 3, prasarana perkeretaapian adalah jalur kereta api, stasiun kereta api, dan fasilitas operasi kereta api agar kereta api dapat dioperasikan.

Untuk kajian di bidang ketekniksipilan, lebih banyak terfokus kepada prasarana kereta api pada pembangunan jalur atau jalan rel, bangunan stasiun dan jembatan. Meskipun demikian, dalam lingkup kajian prasarana perkeretaapian disini, pembahasan materi studi lebih ditumpukan kepada perancangan jalur dan jalan rel.

B. KONDISI JALAN REL DI SUMATERA

Sasaran pengembangan jaringan jalur kereta api di Pulau Sumatera adalah mewujudkan Trans Sumatera Railways dan menghubungkan jalur kereta api eksisting yang sudah ada yaitu di Nanggroe Aceh Darussalam, Sumatera Utara, Sumatera Barat, Sumatera Selatan dan Lampung menjadi jaringan jalur kereta api yang saling terhubung.



Gambar 2.2 Rencana Jaringan Kereta Api di Pulau Sumatera Tahun 2030

Tabel 2.1 Prakiraan Perjalanan Penumpang dan Barang Menggunakan Moda Kereta Api Tahun 2030

Pulau	Perjalanan Penumpang (orang/tahun)	Perjalanan Barang (ton/tahun)
Jawa	858.500.000	534.000.000
Sumatera	48.000.000	403.000.000
Kalimantan	6.000.000	25.000.000
Sulawesi	15.500.000	27.000.000
Papua	1.500.000	6.500.000
Total	929.500.000	995.500.000

(Sumber : Rencana Induk perkeretaapian Nasional)

C. STRUKTUR JALAN REL

Struktur jalan rel dibagi ke dalam dua bagian struktur yang terdiri dari kumpulan komponen-komponen jalan rel yaitu :

1. Struktur bagian atas, atau dikenal sebagai *superstructure* yang terdiri dari komponen-komponen seperti rel (*rail*) termasuk di dalamnya pelat penyambung (jika ada), penambat (*fastening*) dan bantalan (*sleeper, tie, crossie*). Komponen superstruktur akan menerima beban pertama kali dari kendaraan lokomotif, kereta, atau gerbong. Dengan demikian, seluruh komponen superstruktur didisain sekokoh mungkin (kaku) supaya dapat menerima beban dengan baik tanpa mengalami deformasi permanen dan mampu menyebarkan beban ke substruktur.
2. Struktur bagian bawah, atau dikenali sebagai *substructure*, yang terdiri dari komponen balas (*ballast*), subbalas (*subballast*), tanah dasar (*improve subgrade*) dan tanah asli (*natural ground*). Tanah dasar merupakan lapisan tanah di bawah subbalas yang berasal dari tanah asli tempatan atau tanah yang didatangkan (jika kondisi tanah asli tidak baik), dan telah mendapatkan perlakuan pemadatan (*compaction*) atau diberikan perlakuan khusus (*treatment*). Pada kondisi tertentu, balas juga dapat disusun dalam dua lapisan, yaitu : balas atas (*top*

ballast) dan balas bawah (*bottom ballast*) (Atmaja, 2013).

LANDASAN TEORI

A. PERENCANAAN GEOMETRIK JALAN REL

1. Ketentuan Umum Perencanaan Geometrik Jalan Rel

1.1 Standar Jalan Rel

Segala ketentuan yang berkaitan dengan jenis komponen jalan rel di dalam perencanaan geometrik jalan rel tertuang dalam Tabel Klasifikasi Jalan Rel PM.60 Tahun 2012. Ketentuan tersebut diantaranya: kelas jalan, daya lintas/angkut, kecepatan maksimum, tipe rel, jenis bantalan dan jarak, jenis penambat rel dan struktur balasnya.

Tabel 3.3 Klasifikasi jalan rel 1067 mm

Kelas Jalan	Daya Angkut Lintas (ton/tahun)	V maks (km/jam)	P maks gandar (ton)	Tipe Rel	Jenis Bantalan		Tebal Balas Atas (cm)	Lebar Bahu Balas (cm)
					Jarak antar sumbu bantalan (cm)	Jenis Penambat		
I	> 20.10 ⁶	120	18	R.60/R.54	Beton 60	Elastis Ganda	30	60
II	10.10 ⁶ – 20.10 ⁶	110	18	R.54/R.50	Beton/Kayu 60	Elastis Ganda	30	50
III	5.10 ⁶ – 10.10 ⁶	100	18	R.54/R.50/R.42	Beton/Kayu/Baja 60	Elastis Ganda	30	40
IV	2.5.10 ⁶ – 5.10 ⁶	90	18	R.54/R.50/R.42	Beton/Kayu/Baja 60	Elastis Ganda/Tunggal	25	40
V	< 2.5.10 ⁶	80	18	R.42	Kayu/Baja 60	Elastis Tunggal	25	35

Sumber: Peraturan Menteri Nomor.60 Tahun.2012

1.2 Kecepatan

Dalam ketentuan PM.60 Tahun 2012, terdapat beberapa tipe kecepatan yang digunakan dalam perencanaan, yaitu :

a. Kecepatan Rencana

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

b. Kecepatan Maksimum

Kecepatan maksimum adalah kecepatan tertinggi yang diijinkan untuk operasi suatu rangkaian kereta pada lintas tertentu. Ketentuan pembagian kecepatan maksimum dalam perencanaan geometrik dapat dilihat pada Tabel Klasifikasi Jalan Rel.

c. Kecepatan Operasi

Kecepatan operasi adalah kecepatan rata-rata kereta api pada petak jalan tertentu.

d. Kecepatan Komersial

Kecepatan komersial adalah kecepatan rata-rata kereta api sebagai hasil pembagian jarak tempuh dengan waktu tempuh.

2. Alinemen Horisontal

Pada peralihan jalan dari satu arah ke arah yang berbeda dalam alinyemen horizontal harus ada belokan (lengkung) dengan jari-jar (radius) tertentu. Ketika melewati lengkung, KA seakan-akan terlempar ke luar menjauhi titik pusat lengkung akibat gaya sentrifugal menurut rumus berikut:

$$K = m \cdot \varepsilon = m \cdot \frac{V^2}{R} = \frac{G}{g} \cdot \frac{V^2}{R}$$

Dimana:

m = Massa Kendaraan (Kereta Api)

ε = Percepatan Radial

G = Berat Kendaraan (Kereta Api), (ton)

g = Percepatan Gravitasi (9.8 m/det²)

V = Kecepatan Kendaraan (m/det)

R = Radius Lengkung (m)

Besarnya gaya sentrifugal tergantung pada:

- Berat kendaraan;
- Kecepatan kendaraan;
- Berbanding terbalik dengan besarnya radius.
- Beberapa hal yang dapat ditimbulkan oleh adanya gaya sentrifugal yaitu:
- Rel luar lebih cepat aus akibat gesekan flens roda sisi luar;
- Sangat riskan terhadap bahaya keluar rel (derailment/anjlokkan);
- Sangat riskan terhadap bahaya guling akibat adanya momen puntir;
- Berjalannya kendaraan tidak nyaman (tenang) akibat perubahan arah laju kendaraan.
- Tindakan yang perlu diambil untuk mengurangi bahaya yang disebabkan oleh gaya sentrifugal tersebut adalah dengan mengadakan peninggian rel luar,

membuat lengkung peralihan dan melakukan pelebaran sepur.

a. Lengkung Peralihan

Agar tidak terjadi kejutan atau sentakan ke samping pada saat KA memasuki lengkung, maka diperlukan lengkung peralihan secara teratur mulai dari lurus dengan nilai radius = ∞ sampai dengan nilai radius tertentu = r.m.

Panjang lengkung peralihan diuraikan sebagai berikut:

$$\frac{\Delta K}{\Delta t} = \frac{\Delta m \cdot \frac{Vr^2}{R}}{\Delta t} = m \cdot Vr^2 \cdot \frac{\Delta \frac{1}{R}}{\Delta t} = m \cdot Vr^2 \cdot \frac{\Delta \frac{1}{R}}{\Delta t}$$

$$\frac{L.R}{\Delta t} = \frac{L.R}{\Delta t} = m \cdot \frac{\Delta a}{\Delta t}$$

Berdasarkan pengalaman perkeretaapian di negara Eropa, besarnya $\frac{\Delta a}{\Delta t} = 0,03659 = 0,36 \text{ m/det}^3$.

Diketahui persamaan (1) = (2) atau :

$$\frac{m \cdot Vr^3}{L.R} = m \cdot \frac{\Delta a}{\Delta t}$$

Maka:

$$L = \frac{Vr^3}{\frac{\Delta a}{\Delta t} \cdot R} = \frac{m \cdot Vr^3}{0,36 \cdot (3,6)^3 R} = 0,06 \frac{Vr^3}{R}$$

$$= (0,01) \cdot 6 \cdot \frac{Vr^3}{R}$$

$$= (0,01) \cdot Vr \cdot \left(6 \cdot \frac{Vr^2}{R}\right)$$

$$= 0,01 \cdot Vr \cdot h_n$$

Jadi rumus panjang lengkung peralihan tersebut sesuai dengan ketentuan yang tercantum dalam peraturan PM No.60 Tahun 2012.

$$L = 0,01 \cdot Vr \cdot h \quad (\text{mm})$$

Keterangan:

L= Panjang lengkung peralihan (mm)

Vr= Kecepatan rencana KA (km/jam)

H = Peninggian yang dipakai (mm)

b. Gaya Sentrifugal

1) Gaya sentrifugal di imbangi sepenuhnya oleh gaya berat :

Gaya berat = Gaya sentrifugal

$$G \sin \alpha = \frac{m V^2}{R} \cos \alpha \quad (\text{a})$$

$$G \sin \alpha = \frac{G V^2}{gR} \cos \alpha \quad (\text{b})$$

$$\tan \alpha = \frac{V^2}{R} \quad (\text{c})$$

$$\text{jika : } \tan \alpha = \frac{h}{W} \quad (\text{d})$$

$$\frac{m V^2}{R} \cos \alpha = G \sin \alpha \quad (\text{e})$$

$$h = \frac{WV^2}{gR} \quad (\text{f})$$

Dengan memasukkan satuan praktis :

W= jarak antara kedua titik kontak roda dan rel, untuk lebar sepur 1067 = 1120 m.

R = jari-jari lengkung horizontal (m)

V = kecepatan rencana (km/jam)

h = peninggian rel pada lengkung horizontal (mm)

g = percepatan gravitasi (9,81 m/dtk²)

Maka :

$$R = \frac{8,8 V^2}{h} \quad (\text{g})$$

Dengan peninggian maksimum,

$h_{\text{maks}} = 110 \text{ mm}$, maka :

$$\mathbf{R_{\text{min}} = 0,08 V^2} \quad (\text{h})$$

2) Gaya Sentrifugal diimbangi oleh gaya berat dan daya dukung jalan rel

Gaya berat + Komponen Rel = Gaya Sentrifugal

$$G \sin \alpha + H \cos \alpha = \frac{m V^2}{R} \cos \alpha \quad (\text{a})$$

$$G \sin \alpha = \left[\frac{GV^2}{gR} - H \right] \cos \alpha \quad (\text{b})$$

$$G \tan \alpha = \left[\frac{GV^2}{gR} - H \right] \quad (\text{c})$$

$$\text{Jika : } \tan \alpha = \frac{H}{W} \quad (\text{d})$$

$$\text{Dan, } H = m \cdot a = \frac{G}{g} a \quad (\text{e})$$

Maka :

$$a = \frac{V^2}{R} - g \frac{h}{W} \quad (\text{f})$$

a = percepatan sentrifugal (m/dtk²)

Dengan peninggian maksimum

$h_{\text{maks}} = 110 \text{ mm}$, maka

$$\mathbf{R_{\text{min}} = 0,054 V^2} \quad (\text{g})$$

c. Pelebaran Sepur

Untuk mengetahui nilai pelebaran sepur maka dapat langsung merujuk pada tabel dibawah ini untuk lebar sepur 1067 mm. (*PM.No.2012 tahun 2012, halaman 16*)

Tabel 3.4 Pelebaran Sepur Untuk 1067 mm

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

d. Peninggian Jalan Rel

Gaya sentrifugal cenderung membuat kereta keluar dari belokan atau lengkung maka diperlukan peninggian rel untuk mengimbangi gaya sentrifugal pada kereta. Salah satu cara untuk mereduksi gaya sentrifugal yang membebani kereta api adalah meninggikan rel luar terhadap rel bagian dalam di lengkung horizontal.

1) Peninggian Rel Minimum

Persamaan dasar :

Gaya Sentrifugal = Gaya Berat +
Komponen Rel

$$\frac{mV^2}{R} \cos \alpha = G \cdot \sin \alpha + H \cdot \cos \alpha \quad (a)$$

$$G \sin \alpha = \left[\frac{GV^2}{gR} - H \right] \cos \alpha \quad (b)$$

Jika :

$$\tan \alpha = \frac{H}{W} \quad (c)$$

$$\text{Dan, } H = m \cdot a = \frac{G}{g} a \quad (d)$$

Maka :

$$a = \frac{V^2}{R} - g \frac{h}{W} \quad (e)$$

a=percepatan sentrifugal (m/dtk²)

$$h = \frac{W \cdot V^2}{g \cdot R} - \frac{W \cdot a}{g} \quad (f)$$

jika :

$W = 1120$ mm, $g = 9,81$ m/dtk²,
dan $a = 0,0478$ g (m/dtk²),

maka :

$$h_{\min} = \frac{8,8V^2}{R} - 53,5 \text{ (mm)} \quad (g)$$

2) Peninggian Rel Normal

Persamaan dasar :

Gaya Sentrifugal = Gaya Berat

$$G \sin \alpha = \frac{mV^2}{R} \cos \alpha \quad (a)$$

$$G \sin \alpha = \frac{GV^2}{gR} \cos \alpha \quad (b)$$

$$\tan \alpha = \frac{V^2}{R} \quad (c)$$

jika :

$$\tan \alpha = \frac{h}{W} \quad (d)$$

$$\frac{mV^2}{R} \cos \alpha = G \sin \alpha \quad (e)$$

$$h = \frac{WV^2}{gR} \quad (f)$$

Maka :

$$h_{\text{normal}} = \frac{8,8V^2}{h} \text{ (mm)} \quad (g)$$

Dalam perhitungan peniggian digunakan kecepatan kereta api terbesar (V_{maksimum}) yang melewati suatu lintas dengan jari-jari R sebagai suatu hubungan persamaan :

$$V = 4,3 \sqrt{R}$$

Jika :

$$h = k \frac{V^2}{R}$$

dan untuk $V = 4,3 \sqrt{R}$, digunakan peninggian rel, $h = 110$ mm, maka :

$$110 = k \frac{(4,3 \sqrt{R})^2}{R}$$

$$k = 5,95$$

jadi, peninggian rel normal ditentukan sebagai :

$$h_{\text{normal}} = 5,95 \cdot \frac{V^2}{h}$$

(*PM.No.60 tahun 2012, halaman 17*)

3) Peninggian Rel Maksimum

Peninggian rel maksimum berdasarkan stabilitas kereta api pada saat berhenti di bagian lengkung, digunakan faktor keamanan (safety factor, SF) = 3,0 sehingga kemiringan maksimum dibatasi sampai 10% atau h maksimum = 110 mm.

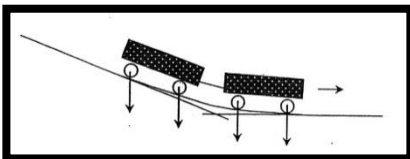
Tabel 3.5 Peninggian Jalan Rel 1067 mm

Jari-jari (m)	Peninggian (mm) pas (km/hr)						
	120	110	100	90	80	70	60
100							
150							
200							110
250							90
300						100	75
350					110	85	65
400					100	75	55
450				110	85	65	50
500				100	80	60	45
550			110	90	70	55	40
600			100	85	65	50	40
650			95	75	60	50	35
700		105	85	70	55	45	35
750		100	80	65	55	40	30
800	110	90	75	65	50	40	30
850	105	85	70	60	45	35	30
900	100	80	70	55	45	35	25
950	95	80	65	55	45	35	25
1000	90	75	60	50	40	30	25
1100	80	70	55	45	35	30	20
1200	75	60	55	45	35	25	20
1300	70	60	50	40	30	25	20
1400	65	55	45	35	30	25	20
1500	60	50	40	35	30	20	15
1600	55	45	40	35	25	20	15
1700	55	45	35	30	25	20	15
1800	50	40	35	30	25	20	15
1900	50	40	35	30	25	20	15
2000	45	40	30	25	20	15	15
2500	35	30	25	20	20	15	10
3000	30	25	20	20	15	10	10
3500	25	25	20	15	15	10	10
4000	25	20	15	15	10	10	10

3. Alinemen Vertikal

Di dalam pengukuran tinggi-rendahnya suatu jalan kereta api umumnya terdapat dataran maupun landai. Perubahan dari datar ke landai maupun dari landai ke landai yang berurutan akan terjadi titik patah atau perpotongan sehingga membentuk sudut. Titik perpotongan tersebut pada jalan kereta api akan berpengaruh terhadap beberapa hal berikut:

a. Dalam hal titik patah berupa sudut tumpul



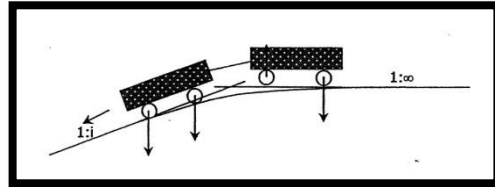
Gambar 3.10. Perubahan dari Landai ke Datar pada Sudut Tumpul

Akan menimbulkan kemungkinan akan terjadinya penambahan berat akibat beban dinamik secara berlebihan, sehingga menyebabkan:

- 1) Pemakaian titik normal dan kerusakan material atau kerusakan *rolling stock* maupun jalan kereta api.
- 2) Peningkatan kerusakan material pada *rolling stock* maupun jalan kereta api.

Apabila kereta/gerbong dalam keadaan kosong, akibat kecepatan tinggi atau terjadi perubahan kecepatan secara mendadak akan menyebabkan roda dapat ke luar rel (*derailment/anjlok*).

b. Dalam hal titik patah berupa sudut lancip



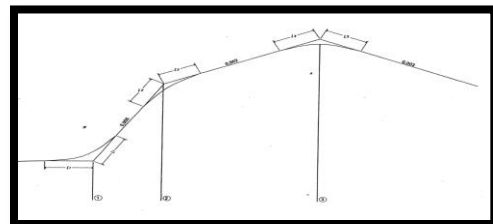
Gambar 3.11. Perubahan dari Landai ke Datar pada Sudut Lancip

Hal di atas dapat menyebabkan roda kereta/gerbong belakang ke luar rel (*derailment/anjlok*) saat terjadi pengangkatan gandar roda tersebut dalam lengkung, ataupun pada saat yang sama terjadi gerakan keras pada kereta/gerbong. Kejadian tersebut dapat menimbulkan ketidaknyamanan bagi para penumpang di dalam kereta. Maka, untuk itu perlu dibuat lengkung peralihan vertikal antara dua landai.

Lengkung peralihan vertikal pada jalan rel harus dibuat sedemikian rupa secara halus agar jalannya roda kereta api dapat dihantar secara mulus ketika menjalani perpindahan arah antara dua landai. Biasanya lengkung peralihan vertikal merupakan lintasan garis yang berbentuk suatu grafik parabola, dan telah dikenal secara umum sesuai ketentuan yang berlaku di PT. Kereta Api Indonesia, yaitu menurut rumus :

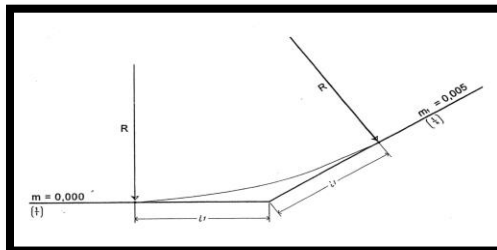
$$y = \frac{x^2}{2R}$$

Sebagai gambaran secara umum dari lengkung peralihan vertikal dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 3.12. Lengkung Peralihan Vertikal

- a) Peralihan dari datar ($\frac{1}{i} = 0,000$) ke landai ($\frac{1}{i} = m$)



Gambar 3.13 Peralihan dari Datar ke Landai

Keterangan:

l = Panjang tangent dalam (m)

R = Radius lengkung peralihan vertikal atau parabola dalam (m)

$\frac{1}{i}$ = Lereng terbesar dalam ($^0/_{00}$)

$\frac{1}{i_1}$ = Lereng terkecil dalam ($^0/_{00}$) = $\text{tg } \beta$

Panjang tangent adalah menurut rumus:

$$l = \frac{R}{2} \cdot \frac{1}{i}$$

Contoh perhitungan:

Peralihan datar ke landai $\frac{1}{i} = 0,005$ dan besarnya radius

$R = 10.000$ m, maka panjang tangent adalah:

$$l = \frac{10.000}{2} \cdot 0,005 = 25 \text{ m.}$$

- b) Peralihan dari landai ($\frac{1}{i} = m$) ke landai ($\frac{1}{i} = m$)

l = Panjang tangent dalam (m)

R = Radius lengkung dalam (m)

$\frac{1}{i}$ = Lereng terbesar dalam ($^0/_{00}$)

= $\text{tg } \alpha$

$\frac{1}{i_1}$ = Lereng terkecil dalam ($^0/_{00}$)

= $\text{tg } \beta$

Panjang tangent adalah menurut rumus:

$$l = R \cdot \text{tg} \left(\frac{\alpha - \beta}{2} \right)$$

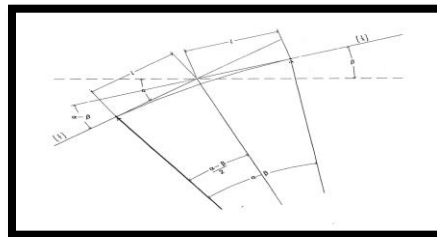
Secara pendekatan:

$$l = R \cdot \text{tg} \left(\frac{\alpha - \beta}{2} \right) = \frac{R}{2} \cdot \text{tg} (\alpha - \beta) \\ = \frac{R}{2} \cdot \frac{\text{tg } \alpha - \text{tg } \beta}{1 + \text{tg } \alpha \cdot \text{tg } \beta}$$

Disini diketahui bahwa harga $\text{tg } \alpha \cdot \text{tg } \beta$ adalah sangat kecil, maka dapat diabaikan sehingga:

$$l = \frac{R}{2} \cdot \text{tg} (\alpha - \beta)$$

$$l = \frac{R}{2} \cdot \left(\frac{1}{i} - \frac{1}{i_1} \right)$$



Gambar 3.14 Peralihan dari Landai ke Landai

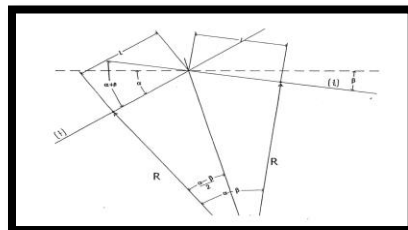
Contoh perhitungan:

Misalkan $\frac{1}{i} = 0,005$ dan $\frac{1}{i_1} = 0,002$ dan besarnya radius $R = 10.000$ m, maka panjang tangent adalah:

$$l = \frac{10.000}{2} \cdot (0,005 - 0,002)$$

$$l = 5000 \times 0,003 = 15 \text{ m.}$$

- c) Peralihan dari landai ($\frac{1}{i} = m$) ke landai ($\frac{1}{i} = m$) yang berbalik arah



Gambar 3.15 Peralihan dari Landai ke Landai yang Berbalik Arah

l = Panjang tangent dalam (m)

R = Radius lengkung dalam (m)

$\frac{1}{i}$ = Lereng terbesar dalam ($^0/_{00}$)

= $\text{tg } \alpha$

$\frac{1}{i_1}$ = Lereng terkecil dalam ($^0/_{00}$)

= $\text{tg } \beta$

Panjang tangent adalah menurut rumus:

$$l = R \cdot \text{tg} \left(\frac{\alpha + \beta}{2} \right)$$

Secara pendekatan:

$$l = R \cdot \text{tg} \left(\frac{\alpha + \beta}{2} \right) = \frac{R}{2} \cdot \text{tg} (\alpha + \beta) \\ = \frac{R}{2} \cdot \frac{\text{tg } \alpha + \text{tg } \beta}{1 - \text{tg } \alpha \cdot \text{tg } \beta}$$

Disini diketahui bahwa harga $tg \alpha$. $tg \beta$ adalah sangat kecil, maka dapat diabaikan sehingga:

$$l = \frac{R}{2} \cdot tg (\alpha + \beta)$$

$$l = \frac{R}{2} \cdot \left(\frac{1}{i} + \frac{1}{i_1} \right)$$

Contoh perhitungan:

Misalkan $\frac{1}{i} = 0,003$ dan $\frac{1}{i_1} = 0,002$ dan besarnya radius $R = 10.000$ m, maka panjang tangen adalah:

$$l = \frac{10.000}{2} \cdot (0,003 + 0,002)$$

$$l = 5000 \times 0,005 = 25 \text{ m.}$$

Perlu diperhatikan bahwa pada jalan kereta api kelas 1 sedapat mungkin kejadian seperti pada kasus 3 dihindarkan. Apabila kondisi setempat harus ada peralihan landai ke landai sebagaimana kasus 3, maka diantara kedua landai tersebut harus dibuat datar paling sedikit sama dengan rangkaian KA terpanjang.

Berdasarkan peraturan yang berlaku di PM No.60 Tahun 2012, ditentukan besarnya radius lengkung vertikal sebagai berikut:

Tabel 3.6 Jari-Jari Minimum Lengkung Vertikal

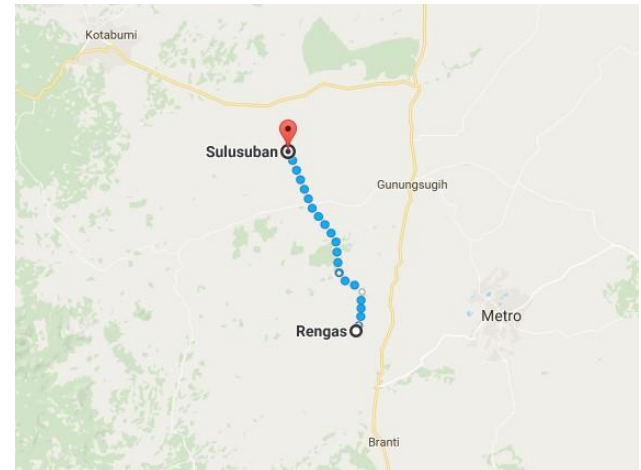
Kecepatan Rencana (Km/Jam)	Jari-Jari Minimum Lengkung Vertikal (m)
Lebih Besar Dari 100	8000
Sampai 100	6000

Sumber: PM Menhub No.60 Tahun 2012 hlm.14

METODOOGI

A. Lokasi Penelitian

Studi ini direncanakan pada lintas Rejosari – Cempaka koridor Rengas – Sulusuban, yaitu mulai dari Stasiun Rengas sampai dengan Stasiun Sulusuban 22,6 km. Pada ruas Rengas – Sulusuban (Km 47 + 253 s.d Km 69 + 750). Lokasi studi perencanaan dapat dilihat pada Gambar 4.1



Gambar 4.16 Wilayah Studi

B. Tahap Analisis

Secara umum tahapan pelaksanaan pekerjaan ini terdiri dari: Tahap Persiapan, Tahap Pengumpulan Data, Tahap Analisis dan Perencanaan serta Tahap Finalisasi. Penyusunan tahapan pekerjaan ini disesuaikan dengan kebutuhan pelaporan dalam studi ini, di mana tujuan dari setiap tahapan adalah sebagai berikut:

1. Tahap Persiapan

Ditujukan untuk menyelesaikan masalah administrasi dan menyiapkan kerangka pelaksanaan studi berupa penyusunan dan pemantapan metodologi, studi literatur dan pengenalan awal studi.

2. Tahap Pengumpulan Data

maupun primer yang dibutuhkan dalam kegiatan analisis dalam studi penetapan trase ini. Pada studi ini data sekunder didapat peta merkabumi dari BAKUSURTANAL UGM dengan skala 1 : 50.000 sedangkan primer melalui pendahuluan proyek DED tunggal dengan wilayah yang sama pada tahun 2015.

3. Tahap Analisis

Perencanaan dan Rekomendasi Studi: ditujukan untuk menghasilkan kajian Kontur tanah, trase rel, perencanaan struktur rel, dan rencana anggaran biaya (RAB), dan desain.

4. Tahap Finalisasi Studi

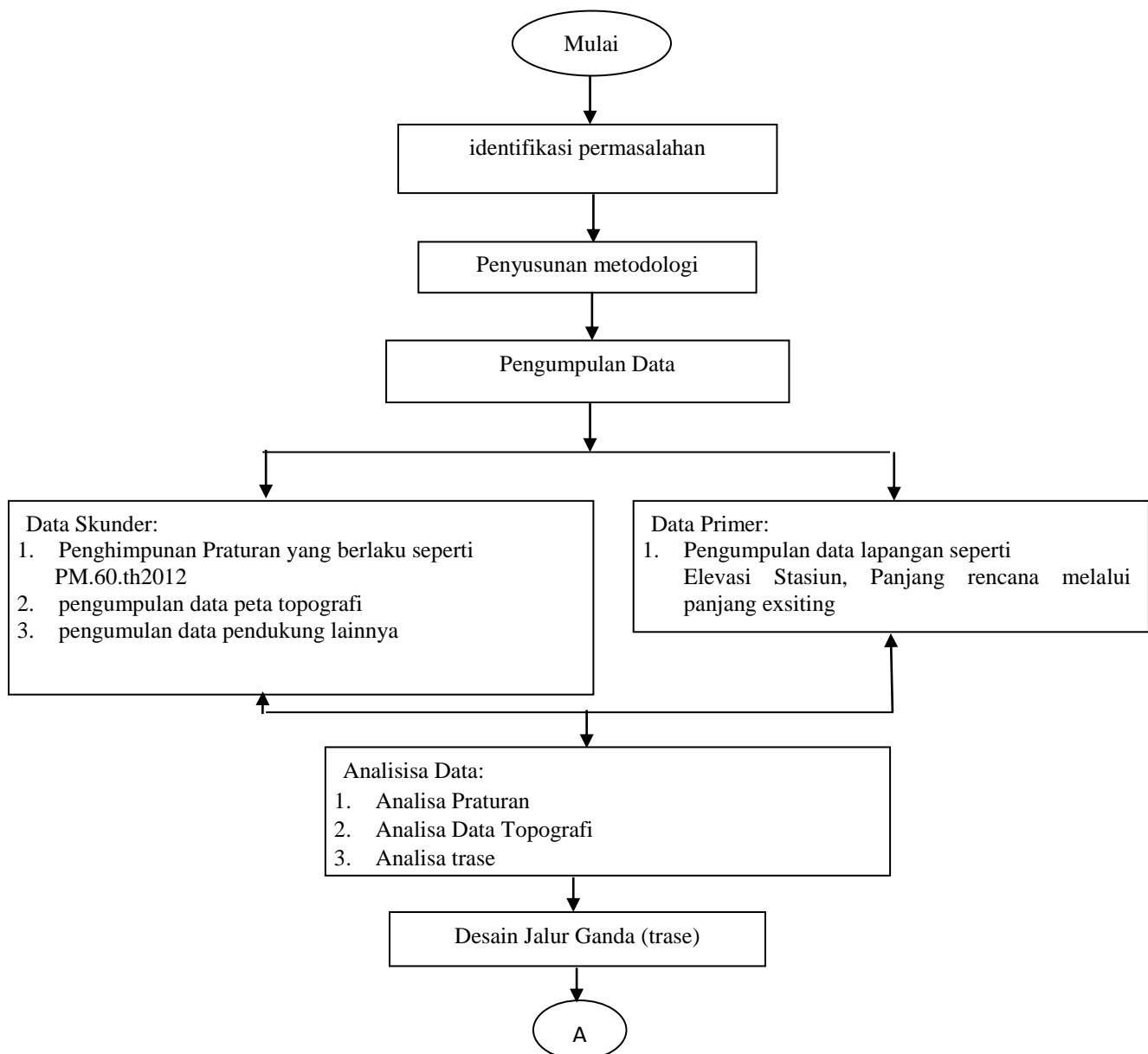
Ditujukan untuk melengkapi laporan studi sesuai dengan hasil diskusi dan analisis penulis dan rekan 1 tim dijadikan hasil akhir dari studi ini.

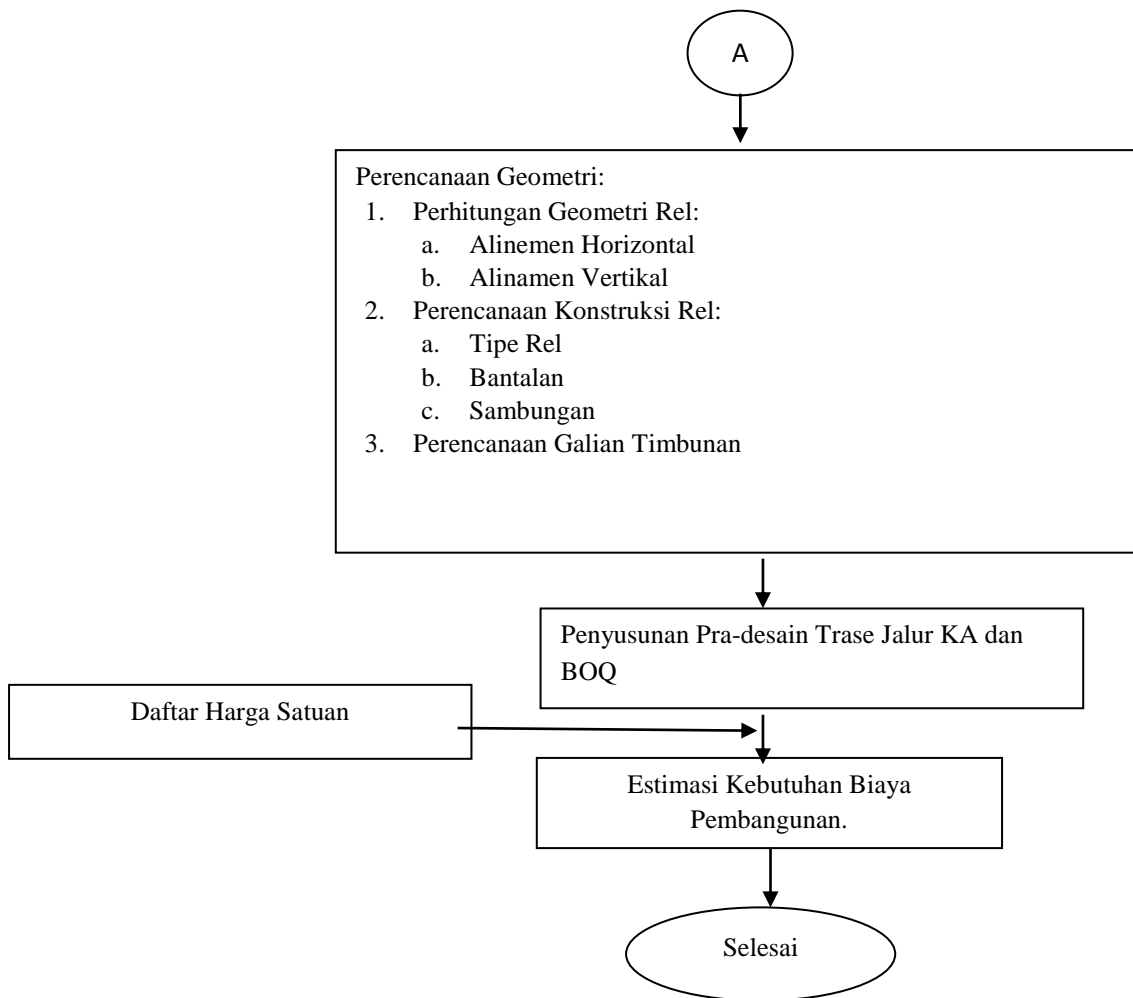
5. Tahap Kesimpulan

Kesimpulan disebut juga pengambilan keputusan. Pada tahap ini, data yang telah dianalisa dibuat suatu kesimpulan yang berhubungan dengan tujuan penelitian.

C. Tahap Desain

Pada tahap desain untuk studi ini penulis melakukan secara bertahap dengan pembagian potongan melintang per 100 meter dan memanjang per 1km. Proses penggambaran penulis menggunakan *software* gambar yaitu *AutoCad*.





Gambar 4.17 Bagan Alir Perencanaan Jalur Ganda Kereta Api Stasiun Rejosari – Stasiun Rengas.

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. TINJAUAN UMUM

Pada tahap kegiatan desain teknis ini, akan dilakukan analisis dan perhitungan lanjut yang lebih komprehensif dan mendalam yang ditujukan untuk melakukan desain teknis jalur kereta api ganda berdasarkan persyaratan teknis dan peraturan-peraturan yang berlaku di Kementerian Perhubungan maupun PT. Kereta Api Indonesia.

B. KRITERIA DESAIN

Bedasarkan pada Landasan teori pada Bab sebelumnya dan Peraturan yang sudah ada, maka ketentuan-ketentuan atau kriteria desain jalur kereta api ganda antara Stasiun Rejosari – hingga Stasiun Rengas adalah sebagai berikut:

Dalam pelaksanaan rancangan detail desain trase jalur kereta api yang harus dibuat sedapat mungkin memenuhi ketentuan sebagai berikut :

1. Lebar dan jarak jalan rel
 - a. Lebar jalur KA : 1067 mm, sama dengan lebar sepur seluruh jaringan jalur KA kereta api di Indonesia.
 - b. Jarak Minimum antar as jalur KA adalah 4,00 m.
 - c. Ruang bebas kelas I yang diperlebar diperhitungkan adanya muatan *double deck* atau muatan peti kemas.
 - d. Jarak minimum antar as jalur KA di lengkung adalah 4,40 m.

2. Emplasemen

a. Jarak minimum antar as jalur KA utama di emplasemen adalah 5,20 m.

b. Wesel menggunakan wesel 1 : 12

3. Kecepatan dan beban gandar

a. Kecepatan Maksimum : 120 km/jam.

b. Kecepatan di Emplasemen (*siding track*)

4. Beban gandar : 18 ton

5. Geometri Jalan

a. Jari-jari lengkung horizontal (R) sedapat mungkin ≥ 800 m.

b. Kelandaian jalan KA pada petak jalan sedapat mungkin $\leq 10\%$.

c. Kelandaian maksimum di emplasemen adalah 1,5%.

6. Material

a. Jenis rel yang digunakan untuk jalan kelas I adalah R.54 dengan karakteristik dan spesifikasi yang memenuhi ketentuan berlaku.

b. Alat penambat rel tipe elastis dengan persyaratan bahan sesuai dengan Peraturan Bahan Jalan Rel atau Peraturan yang berlaku.

C. PERENCANAAN GEOMETRI

1. Geometrik Jalan Rel

Jalan rel ditinjau dari sisi geometri adalah sebagaimana diuraikan sebagai berikut :

1.1 Titik Awal Pekerjaan

Titik awal trase jalan KA ganda pada Km 47 + 253 (St. Rengas).

1.2 Ainemen Horisontal

Pada perencanaan DED dari Rengas – Sulusuban (18,7) terdapat 8 tikungan dengan masing – masing jenisnya. Adapun hasil perhitungannya dibawah ini merupakan satu contoh perhitungan yang kemudian dilampirkan melalui tabel.

Ketika melewati lengkung, KA seakan-akan terlempar ke luar menjauhi titik pusat lengkung akibat gaya sentrifugal. Untuk berbagai kecepatan

rencana, besar jari-jari minimum yang diijinkan ditinjau dari 2 kondisi, yaitu :

a. Gaya berat = Gaya sentrifugal

Diketahui :

$$V = 120 \text{ km/jam}$$

Rumus :

$$R = 0,08 \cdot V^2$$

Perhitungan :

$$R = 0,08 (120)^2 = 1152 \text{ m}$$

Diperoleh nilai R min adalah 1152 m untuk kondisi gaya sentrifugal diimbangi sepenuhnya oleh gaya berat.

b. Gaya berat + Komponen Rel = Gaya Sentrifugal

Diketahui :

$$V = 120 \text{ km/jam}$$

Rumus :

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

Perhitungan :

$$R_{\min} = 0,054 (120)^2 = 777,6 \text{ mm}$$

Diperoleh nilai R min adalah 777,6 m untuk kondisi gaya sentrifugal diimbangi oleh gaya berat dan daya dukung komponen rel.

Berdasarkan nilai Rmin dari 2 kondisi di atas maka dapat ditentukan nilai Rmin rencana untuk proses perhitungan berikutnya, pada perancangan kali ini Rmin rencana yang di pakai 780 m dengan lengkung peralihan (*PM.No.60 tahun 2012, halaman 14*)

1.2.1 Perencanaan Tikungan

a. Lengkungan Peralihan

Diketahui :

$$V = 120 \text{ km/jam}$$

$$h = 110 \text{ m}$$

Rumus :

$$L_h = 0,01 \times h \times V$$

Perhitungan :

$$L_h = 0,01 \times 110 \times 120$$

$$= 132 \text{ m}$$

Dari hasil perhitungan diperoleh nilai panjang lengkung peralihan dengan kecepatan rencana 120 km/jam adalah 132 m

- b. Peninggian Rel
Peninggian Rel Minimum

Diketahui :

$$V = 120 \text{ km/jam}$$

$$R = 780 \text{ m}$$

Rumus :

$$h_{\min} = \frac{8,8V^2}{R} - 53,5 \text{ (mm)}$$

Perhitungan :

$$h_{\min} = \frac{8,8(120)^2}{780} - 53,5 = 108,92 \text{ mm}$$

Peninggian Rel Normal

Diketahui :

$$V = 120 \text{ km/jam}$$

$$h = 110 \text{ m}$$

Rumus :

$$h_{\text{normal}} = 5,95 \cdot \frac{V^2}{h}$$

(*PM.No.60 tahun 2012, halaman 17*)

Perhitungan :

$$h_{\text{normal}} = 5,95 \cdot \frac{120^2}{110} = 109,85 \text{ mm}$$

Peninggian Rel Maksimum

Peninggian rel maksimum berdasarkan stabilitas kereta api pada saat berhenti di bagian lengkung, digunakan faktor keamanan (safety factor, SF) = 3,0 sehingga kemiringan maksimum dibatasi sampai 10% atau h maksimum = 110 mm.

Hasil perhitungan yang telah diperoleh antara lain $h_{\min} = 108,92 \text{ mm}$, $h_{\text{normal}} = 109,85$ dan, $h_{\text{maks}} = 110 \text{ mm}$ maka nilai h yang di pakai adalah 110 mm kerana di anggap paling stabil dan aman.

- c. Pelebaran Sepur

Untuk mengetahui nilai pelebaran sepur maka dapat langsung merujuk pada tabel dibawah ini untuk lebar sepur 1067 mm. (*PM.No.2012 tahun 2012, halaman 16*)

Tabel 5.1. Pelebaran Sepur Untuk 1067 mm

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

Karena nilai Rmin rencana pada tikungan horizontal, 780 mm. Maka berdasarkan tabel di atas maka perancangan rel Kelas Jalan 1 ini tidak memerlukan pelebaran sepur.

- d. Perhitungan Lengkung Horisontal

Berikut ini kami sertakan salah satu contoh perhitungan tikungan horizontal pada perencanaan jalan rel Stasiun Rengas – Sulusuban, yaitu :

- 1) Menghitung Panjang Lengkung

$$\theta_s = \frac{90+Ls}{\pi \times R} = \frac{90+132}{\pi \times 780} = 5,14^\circ$$

$$\theta_c = \Delta_s \cdot 2\theta_s = 21 - 2(5,14) = 10,71^\circ$$

$$Ls = 0,01 \times h \times v = 0,01 \times$$

$$110 \times 120 = 132 \text{ m}$$

$$Lc = \frac{\theta_c}{360^\circ} \times 2\pi R = \frac{10,71}{360^\circ} \times 2\pi \times 780 = 145,74 \text{ m}$$

$$L = 2 Ls + Lc = 2(132) + 145,74 = 425,74 \text{ m}$$

- 2) Menghitung Xc, Yc, k, dan p

$$Xc = Ls - \frac{Ls^3}{40 \times R^2} = 132 - \frac{132^3}{40 \times 780^2} = 131,90 \text{ m}$$

$$Yc = \frac{Ls^2}{6 \times R} = \frac{132^2}{6 \times 780} = 3,72 \text{ m}$$

$$P = Yc - R(1 - \cos \theta_s) = 3,72 - 780(1 - \cos 514^\circ) = 0,58 \text{ m}$$

$$K = Xc - R \sin \theta_s = 131,90 - 780 \sin 11,17^\circ = 61,96 \text{ m}$$

- 3) Menghitung Tt dan Et

$$Tt = (R + P) \operatorname{tg} \frac{\Delta_s}{2} + k = (780 + 0,58) \operatorname{tg} \frac{21}{2} + 61,96 = 206,64 \text{ m}$$

$$Et = (R + P) \sec \frac{\Delta_s}{2} - R = (780 + 0,58) \sec \frac{21}{2} - 780 = 13,87 \text{ m}$$

Berikut ini penulis juga menampilkan tabel hasil perhitungan jumlah tikungan yang terdapat di alinemen horizontal, yaitu :

Tabel 5.7 Hasil Perhitungan Alinemen Horisontal

DATA	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T 8
Δ	15	21	8	17	9	4	3	3
V	120	120	120	120	120	120	120	120
Ls	140	140	140	140	140	140	140	140
(Θ_s)	5.14	5.14	5.14	5.14	5.14	5.14	5.14	5.14
(Θ_c)	4.71	10.71	-2.29	6.71	-1.29	-6.29	-7.29	-7.29
Lc	64.10	145.74	-31.15	91.31	-17.54	-85.57	-99.18	-99.18
K	61.96	61.96	61.96	61.96	61.96	61.96	61.96	61.96
P	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58
Et	7.32	13.87	2.49	9.25	2.99	1.06	0.85	0.85
Tt	164.7295	206.6362	116.5476	178.6227	123.3971	89.2225	82.4043	82.4043
R	1152	1152	1152	1152	1152	1152	1152	1152

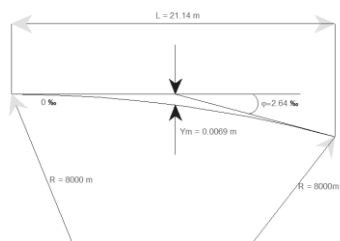
1.3 Alinemen Vertikal

Di dalam perencanaan alinemen vertikal jalan rel antara Stasiun Rejosari – Stasiun Rengas digunakan beberapa data yang diambil dari PM.No.60 tahun 2012, yaitu:

- Untuk rencana jalan rel kelas I digunakan R_{min} 8000 m.
- Pada jalur rel tingkat kelandaian yang digunakan antara 0‰ - 10‰
- Pada daerah stasiun tingkat kelandaian yaitu 0 ‰

Di dalam pengukuran tinggi-rendahnya suatu jalan kereta api umumnya terdapat dataran maupun landai. Perubahan dari datar ke landai maupun dari landai ke landai yang berurutan akan terjadi titik patah atau perpotongan sehingga membentuk sudut. Berikut ini adalah beberapa data yang diperoleh dari perhitungan.

1.3.1 Datar Menuju Turunan



Gambar 5.18 Perubahan dari Datar ke Turunan

Perhitungan :

Diperoleh Data Rencana

Lengkung 1

$$\begin{aligned} \text{Awal Kemiringan} &= 47 + 025 \\ \text{Elevasi awal} &= 54 \\ \text{Akhir Kemiringan} &= 48 + 425 \\ \text{Elevasi akhir} &= 54 \end{aligned}$$

a. Horizontal kemiringan

$$\begin{aligned} &= (47 + 025) - (48 + 425) \\ &= -1400 \text{ m} \end{aligned}$$

b. Beda elevasi = 54 - 54 = 0

c. Permil kemiringan = $(0/-1400) \times 1000 = 0 \text{ ‰}$

Lengkung 2

$$\begin{aligned} \text{Awal Kemiringan} &= 48 + 425 \\ \text{Elevasi awal} &= 54 \\ \text{Akhir Kemiringan} &= 48 + 825 \\ \text{Elevasi akhir} &= 52.95 \end{aligned}$$

a. Horizontal kemiringan

$$\begin{aligned} &= (48 + 425) - (48 + 825) \\ &= -400 \text{ m} \end{aligned}$$

b. Beda elevasi = 54 - 52.95 = 1.05

c. Permil kemiringan = $(-1.05/400) \times 1000 = -2,625 \text{ ‰}$

d. Menghitung Panjang lengkung (X_m , Y_m , L) :

$$\begin{aligned} X_m &= \frac{R}{2} \times (\varphi)^2 = \frac{8000}{2} \times (0 - (-2,625 \text{ ‰}))^2 \\ &= -10,5 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y_m &= \frac{R}{8} \times (\varphi)^2 \\
 &= \frac{8000}{8} \times (0 - (-2,625 \text{ ‰}))^2 \\
 &= -10,5 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L &= \frac{\text{Permil Kemiringan 1} - \text{permil kemiringan 2}}{r} \\
 &= \frac{0 - (-2,625)}{0,1} \\
 &= 262,5 \text{ ft} \\
 &= 262,5 \times 30 \text{ cm} = 7875 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Tabel 5.8 Data Jumlah dan Nilai Pada Setiap Lengkung

No.	Awal Kemiringan	Elevasi Awal	Akhir Kemiringan	Elevasi Akhir	Horisontal Kemiringan	Beda Elevasi	Permil Kemiringan
1	47025	54	48425	54	1400	0	0.000
2	48425	54	48825	52.95	400	-1.05	-2.625
3	48825	52.95	49325	52.95	500	0	0.000
4	49325	52.95	49725	52.2	400	-0.75	-1.875
5	49725	52.2	50225	52.2	500	0	0.000
6	50225	52.2	50725	51.34	500	-0.86	-1.720
7	50725	51.34	51425	51.34	700	0	0.000
8	51425	51.34	53025	48	1600	-3.34	-2.088
9	53025	48	56525	48	3500	0	0.000
10	56525	48	57425	47.25	900	-0.75	-0.833
11	57425	47.25	59925	47.25	2500	0	0.000
12	59925	47.25	60225	46.46	300	-0.79	-2.633
13	60225	46.46	61025	46.46	800	0	0.000
14	61025	46.46	61525	45	500	-1.46	-2.920
15	61525	45	68825	45	7300	0	0.000

D. ESTIMASI RAB DAN PEKERJAAN

Berikut ini merupakan Rencana Anggaran Biaya (RAB) pembangunan jalur KA ganda antara stasiun Rejosari sampai stasiun Rengas. Penjabaran secara detail (break down) estimasi Rencana Anggaran Biaya (RAB) pekerjaan Pembangunan Jalur Kereta Api ganda antara Rejosari sampai stasiun Rengas dijabarkan pada Tabel 5.8 di bawah ini.

Tabel 5.8 Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya

JUMLAH	911.853.942,09
PPN 10 %	91.185.394.229,61
JUMLAH	1.003.039.336.525,16
SUPERVISI	149.878.764.569,16
TOTAL	1.152.918.101.094,86
DIBULATKAN	1.152.918.000.000,00

Secara keseluruhan, biaya yang dibutuhkan untuk pekerjaan pembangunan jalur KA ganda Stasiun Rejosari sampai Rengas adalah sebesar Rp1.152.918.000.000,- dan bila dirata-ratakan maka akan didapat biaya sebesar Rp50 Milyar per km.

KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Setelah melakukan proses analisa dan perhitungan, ada beberapa kesimpulan yang dapat diambil berkaitan dengan *Detail Engineering Design* (DED) jalur kereta api ganda lintas Rejosari – Cempaka koridor stasiun Rengas – stasiun Sulusuban (Km 47 + 253 s.d Km 69 + 750) panjang 22.6 km, yaitu:

1. Berdasarkan dari hasil analisis dan pembahasan maka struktur atas jalan rel menggunakan rel 54, bantalan dengan panjang 2000 mm, penampang 250 x 215 x 150 mm, sedangkan struktur bawah jalan rel menggunakan balas dengan material krikil atau kumpulan agregat pecah dan tebal 30 cm, kemudian subbalas menggunakan batu pecah setebal 75 cm.
2. Disepanjang jalur KA terdapat 8 lengkung horizontal dengan jari-jari terkecil adalah 777,6 mm menjadi 780 mm dan jari-jari terbesar 1150 mm
3. Disepanjang jalur KA terdapat 15 lengkung vertikal dengan jari-jari terkecil adalah 8000 m.
4. Estimasi galian 4.382.184,884 m³ dan timbunan sebesar 4.637,206 m³.
5. Biaya yang dibutuhkan untuk pekerjaan pembangunan jalur KA ganda Stasiun Rejosari sampai Rengas adalah sebesar Rp1.152.918.000.000,- dan bila dirata-ratakan maka akan didapat biaya sebesar Rp50.000.000.000,- per km.

B. SARAN

Setelah melakukan studi DED sederhana pembangunan Jalur Kereta Api ganda antara stasiun Rengas sampai Sulusuban dapat diperoleh saran sebagai berikut:

1. Diharapkan studi selanjutnya mampu melakukan survey lapangan agar mengetahui kondisi aslinya

2. Diharapkan pada studi selanjutnya dapat mempertimbangkan pembuatan jalur ganda dengan analisis eksisting sehingga studi ini bisa menjadi acuan yang baik
3. Diharapkan pada studi selanjutnya memiliki data harga satuan ter-*update* dan mampu menganalisa Rencana Anggaran Biaya (RAB).