

BAB 2

LANDASAN TEORI

Jalan Kereta Api

Jalan kereta api atau jalan baja mempunyai jalan sendiri, yang harus dibuat, dipelihara dan dibiayai sendiri oleh perusahaan. Pada jalan ini termasuk pula gedung-gedung stasiun dengan halamannya yang disebut emplasemen. Oleh karena kereta api tinggi kecepatannya dan mengangkut secara besar-besaran meliputi jarak jauh, maka pengusahaanya terikat oleh syarat-syarat konsesi dan peraturan-peraturan umum. Untuk menjamin keamanan .

Perencanaan jalan kereta api harus direncanakan sedemikian rupa sehingga dapat dipertanggung jawabkan secara teknis dan ekonomis. Secara teknis diartikan konstruksi jalan rel harus dapat dilalui oleh kendaraan rel dengan aman dengan tingkat kenyamanan tertentu selama umur konstruksinya. Secara ekonomis dapat diharapkan agar pembangunan dan pemeliharaan konstruksi tersebut dapat diselenggarakan dengan biaya 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.

Pengelompokan Jalan Rel

Jalan rel dapat dikelompokkan menurut beberapa cara sesuai dengan kebutuhan sudut pandangnya, diantaranya ialah pengelompokan sebagai berikut :

- a) Menurut lebar sepur,
- b) Menurut kecepatan maksimal yang diijinkan,
- c) Menurut kelandaian,
- d) Menurut jumlah jalur, dan
- e) Menurut kelas jalan rel.

Pengelompokkan Menurut Lebar Sepur

Lebar sepur (Rail Gauge) ialah jarak terpendek antara kedua kepala rel, diukur dari sisi dalam kepala rel yang satu sampai sisi dalam kepala rel lainnya. Lebar sepur ini tetap (tidak berubah) meskipun dimensi rel yang digunakan berbeda. Berbagai negara menggunakan sepur yang berbeda.

Terdapat tiga kelompok sepur, yaitu :

- a) Sepur standar (*standard gauge*), lebar sepurnya ialah 1435 mm atau 4 feet 8,5 inch.
- b) Sepur lebar (*broad gauge*), lebar sepurnya lebih besar dari 1435 mm, dan
- c) Sepur sempit (*narrow gauge*), lebar sepurnya kurang dari 1435 mm.

Berikut diberikan contoh penggunaan berbagai lebar sepur di beberapa negara.

Tabel **Error! No text of specified style in document..1** Ukuran Lebar Sepur yang Digunakan di Beberapa Negara

Lebar Sepur (mm)	Digunakan di negara	Kelompok
1067	Indonesia, Jepang, Australia, Afrika Selatan	Sepur Sempit
1435	Amerika, Jepang, beberapa negara Eropa, Turki, Iran	Sepur Standar
1672	Spanyol, Portugal, Argentina	Sepur Lebar
1676	India	Sepur Lebar
1524	Rusia Finlandia	Sepur Lebar
762	India	Sepur Sempit
1000	Myanmar, Thailand, Malaysia, India	Sepur Sempit

Catatan :
 1. Lebar sepur 1000 mm disebut juga dengan *Metre Gauge*
 2. Lebar sepur 1067 mm dikenal juga dengan *Cape Gauge*.

Sumber : Utomo, 2006

Pengelompokkan Menurut Kecepatan Maksimum

Kecepatan (V) maksimum kereta api yang diijinkan berkaitan dengan kelas jalan rel, ialah seperti yang terdapat pada tabel

Tabel **Error! No text of specified style in document..2** Kecepatan Maksimum yang diijinkan sesuai kelas jalan rel

Kelas Jalan Rel	Kecepatan Maksimum (km/jam)
I	120
II	110
III	100
IV	90
V	80

Sumber : Utomo, 2006

Penentuan besarnya kecepatan perancangan (design speed) yang digunakan ialah sebagai berikut :

- a) Untuk perancangan struktur jalan rel

$$V \text{ perancangan} = 1,25 \times V \text{ maksimum}$$

- b) Untuk perencanaan jari-jari tikungan, dan lengkung peralihan

$$V \text{ perancangan} = V \text{ maksimum}$$

Pengelompokkan Menurut Kelandaian

Pengelompokkan lintas jalan rel menurut kelandaian yang digunakan di Indonesia ialah seperti yang ditunjukkan pada tabel.

Tabel **Error! No text of specified style in document..3** Lintas Jalan Rel Menurut Kelandaian

Kelompok Lintas Jalan Rel	Kelandaian (‰)
Lintas Datar	0 sampai 10‰
Lintas Pegunungan	10 sampai 40‰
Lintas dengan rel gigi	40‰ sampai 80‰

Sumber : Utomo, 2006

Kelandaian jalan rel di emplasmen dibatasi 0 – 1,5‰. Kelandaian ini dibatasi supaya :

1. Kereta api yang dalam keadaan berhenti di emplasmen tidak “berjalan sendiri” akibat berat sendiri, tiupan angin, dan atau dorongan lainnya.

2. Lokomotif yang pada saat mulai berjalan memerlukan tenaga besar untuk melawan tahanan yang besar, tidak terbebani lagi dengan tenaga yang diperlukan untuk mengatasi tahanan

Pengelompokkan Menurut Jumlah Jalur

Jumlah jalur yang dimaksud di dalam pengelompokkan ini adalah jumlah jalur pada lintas bebas. Sesuai dengan jumlah jalur yang dimaksudkan di atas, pengelompokkannya ialah sebagai berikut :

- a) Jalur tunggal (*single track*) : jumlah jalur pada lintas bebas hanya satu dan digunakan untuk melayani arus kereta api dari dua arah,
- b) Jalur ganda (*double track*) : Jumlah jalur pada lintas bebas dua buah; masing-masing jalur hanya digunakan untuk melayani arus kereta api dari satu arah saja.

Pengelompokkan Menurut Kelas Jalan Rel

Perencanaan dan Perancangan jalan rel di Indonesia sejak tahun 1986 (dengan Peraturan Dinas 10 PJKA) menggunakan satu macam beban gandar saja yaitu 18 ton. Penggunaan satu macam beban gandar sebesar 18 ton tersebut mempunyai maksud sebagai berikut :

- a) Perpindahan kereta api, baik kereta api penumpang maupun barang dari satu sepur ke sepur yang lainnya yang kelasnya lebih rendah, dapat dilakukan tanpa harus mengurangi muatannya terlebih dahulu.
- b) Setiap lokomotif dapat digunakan di semua sepur meskipun kelasnya berbeda.

Oleh karena beban gandar ditetapkan sama untuk setiap kelas, maka klasifikasi jalan rel hanya didasarkan atas kapasitas angkut lintas dan atau kecepatan maksimum. Kapasitas angkut lintas yang dimaksud ialah jumlah angkutan anggapan yang melewati suatu lalu lintas dalam jangka waktu satu tahun, dengan satuan ton/tahun.

Tabel Error! No text of specified style in document..4 Jalan Rel di Indonesia

Kelas Jalan Rel	Kapasitas Angkut Lintas (x 10 ⁶ ton/tahun)	Kecepatan Maksimum (km/jam)	Beban gandar Maksimum (ton)
I	> 20	120	18
II	10 – 20	110	18
III	5 – 10	100	18
IV	2,5 – 5	90	18
V	<2,5	80	18

Sumber : Peraturan Dinas 10 PJKA (1986)

Untuk menghitung besarnya kapasitas angkut lintas, PT.KAI (persero) menggunakan cara perhitungan berdasarkan atas persamaan dibawah ini :

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

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

dengan :

T = kapasitas angkut lintas (ton/tahun),

TE = tonase ekivalen (ton/hari),

T_p = tonase penumpang dan kereta harian,

T_b = tonase barang dan gerbonng harian,

T_l = tonase lokomotif harian

S = koefisien yang besarnya tergantung pada kualitas lintas, yaitu :

S = 1,1 untuk lintas dengann kereta penumpang dengan kecepatan maksimum 120 km/jam,

S = 1,0 untuk lintas tanpa kereta penumpang,

K_b = koefisien yang besarnya tergantung pada beban gandar, yaitu :

K_b = 1,5 untuk beban gandar <18 ton,

$K_b = 1,3$ untuk beban gandar >18 ton,

K_1 = koefisien yang besarnya ditentukan sebesar 1,4.

Standar Jalan Rel di Indonesia

Untuk keperluan perencanaan dan perancangan struktur bagiann atas jalan rel, Indonesia dalam hal ini PT. KAI (persero) menggunakan standar sebagai berikut :

Tabel Error! No text of specified style in document..5 Standar jalan rel Indonesia

Kelas Jalan	Daya Angkut Lalu 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	$>20 \cdot 10^6$	120	18	R.60/R.54	Beton	Elastis Ganda	30	50
					600			
II	$10 \cdot 10^6 - 20 \cdot 10^6$	110	18	R.54/R.50	Beton/Kayu	Elastis Ganda	30	50
					600			
III	$5 \cdot 10^6 - 10 \cdot 10^6$	100	18	R54./R.50/ R.42	Beton/Kayu/ Baja	Elastis Ganda	30	40
					600			
IV	$2,5 \cdot 10^6 - 5 \cdot 10^6$	90	18	R.54/R.50/ R.42	Beton/Kayu/ Baja	Elastis Ganda/Elastis Tunggal	25	40
					600			
V	$< 2,5 \cdot 10^6$	80	18	R.42	Kayu/Baja	Elastis Tunggal	25	35
					600			

Sumber : PD 10 Perencanaan Rel Kereta Api

Geometri Jalan Rel

Menurut Utomo (2006), Geometri jalan rel adalah bentuk dan ukuran jalan rel, baik pada arah memanjang maupun arah melebar yang meliputi lebar sepur, kelandaian, lengkung horisontal dan lengkung vertikal, peninggian rel, pelebaran sepur. Geometri jalan rel harus direncanakan dan dirancang sedemikian rupa sehingga dapat mencapai hasil yang efisien, aman, nyaman, ekonomi.

Lebar Sepur

Di Indonesia menggunakan lebar sepur (track) 1067 mm yang tergolong dalam sepur sempit. Lebar sepur adalah jarak terpendek antara kedua kepala rel, diukur dari sisi dalam kepala rel yang satu sampai sisi dalam kepala rel lainnya. Hubungan antara lebar sepur, ukuran dan posisi roda di atas kepala rel ialah sebagai berikut :

$$S = r + 2.f + 2.c$$

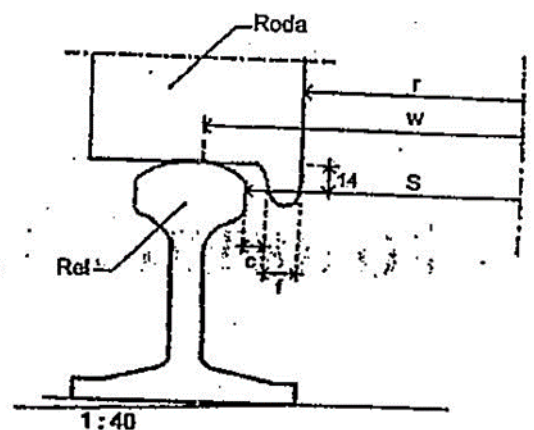
dengan :

S = lebar sepur (mm),

r = jarak antara bagian terdalam roda (mm),

f = tebal flens (mm),

c = celah antara tepi-dalam flens dengan kepala rel (mm).



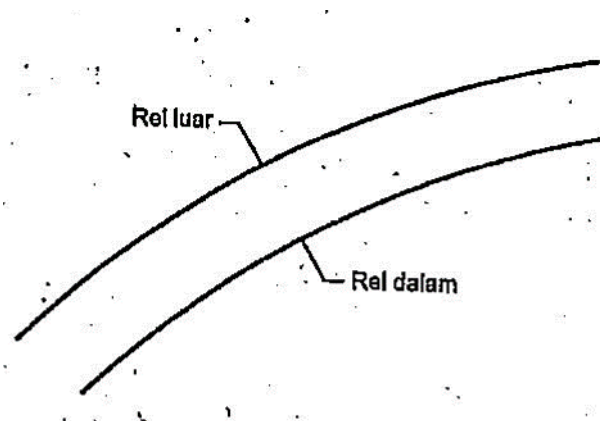
Gambar Error! No text of specified style in document..1 Lebar Sepur

Sumber : Utomo, 2006

Lebar sepur 1067 mm dan hubungan tersebut adalah untuk jalur lurus dan besarnya tetap, tidak tergantung pada jenis dan dimensi rel yang digunakan. Pada lengkung horizontal, diperlukan pelebaran lebar jalan rel yang tergantung dari jari-jari lengkung horizontalnya.

Lengkung Horisontal

Pada saat kereta api melewati lengkung horizontal maka akan timbul gaya sentrifugal kearah luar yang akan berakibat rel luar mendapat tekanan yang lebih besar dibandingkan dengan rel dalam dan keausan rel luar akan lebih banyak dibandingkan dengan yang terjadi pada rel dalam serta dapat mengakibatkan tergulingnya kereta api.



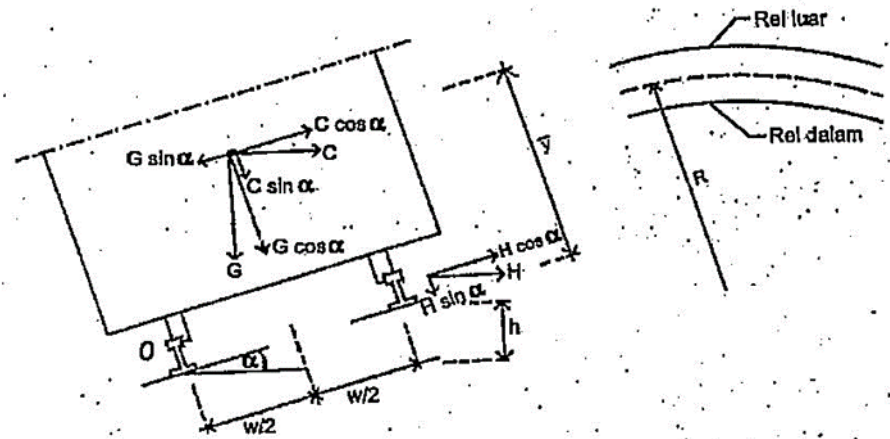
Gambar **Error! No text of specified style in document.**2 Lengkung Horisontal

Sumber : Utomo, 2006

Untuk mencegah terjadinya akibat-akibat tersebut, maka lengkung horisontal perlu diberi peninggian pada rel luarnya. Oleh karena itu, maka perancangan lengkung horisontal berkaitan dengan peninggian rel.

Lengkung Lingkaran

Pada saat kereta api melalui lengkung horizontal kedudukan kereta/gerbong/lokomotif, gaya berat kereta, gaya sentrifugal yang timbul dan dukungan komponen struktur jalan rel, dapat dilihat pada Gambar.



Gambar **Error! No text of specified style in document..3** Kedudukan Kereta/gerbong/lokomotif pada saat melalui lengkung horisontal

Sumber : Utomo, 2006

Gaya sentrifugal kereta api pada tikungan. Untuk berbagai kecepatan rencana besar jari-jari minimum yang diijinkan ditinjau dari kondisi:

- a) Gaya sentrifugal yang timbul diimbangi oleh gaya berat saja,

Gaya sentrifugal yang timbul :

$$C = \frac{m \cdot V^2}{R}$$

dengan :

C : gaya sentrifugal,

R : Jari-jari lengkung lingkaran,

V : kecepatan kereta api,

$$m = \text{massa} = \frac{G}{g}$$

g = percepatan gravitasi = 9,81 m/detik²

Gaya sentrifugal yang timbul diimbangi oleh gaya berat, maka :

$$G \cdot \sin \alpha = C \cos \alpha$$

$$G \sin \alpha = \frac{m.V^2}{R} \cos \alpha$$

$$G \sin \alpha = \frac{G.V^2}{g.R} \cos \alpha$$

$$\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \tan \alpha = \frac{V^2}{g.R}$$

$$\tan \alpha = \frac{h}{w}$$

$$h = \frac{w.V^2}{g.R}$$

dengan satuan praktis, yaitu :

R = jari-jari lengkung horisontal (m),

G = berat kereta/gerbong/lokomotif (ton),

V = kecepatan rencana (km/jam),

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

w = jarak antara kedua titik kontak antara roda dengan kepala rel sebesar 1120 mm.

$$h = \frac{8,8.V^2}{R}$$

sehingga :

$$R = \frac{8,8.V^2}{h}$$

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

$$R = \frac{8,8.V^2}{110}$$

Atau :

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

Dengan demikian maka jari-jari minimum langkung lingkaran pada kondisi ini adalah :

$$R_{\text{minimum}} = 0,08 V^2$$

Dengan :

R_{minimum} : Jari-jari minimum (meter yang diperlukan pada kondisi gaya sentrifugal yang timbul diimbangi oleh gaya berat saja, dan menggunakan peninggian maksimum,

V : kecepatan rencana (km/jam)

a) Gaya sentrifugal yang timbul diimbangi oleh gaya berat dan kemampuan dukung komponen struktur jalan rel

Kemampuan dukung komponen struktur jalan rel yang dimaksud di sini adalah kemampuan dukung total yang dapat diberikan oleh komponen struktur jalan rel, yaitu rel, sambungan rel, penambat rel, bantalan dan balas.

Pada gambar gaya sentrifugal yang timbul diimbangi oleh gaya berat kemampuan dukung komponen jalan rel, sehingga :

$$C \cos \alpha = G \sin \alpha + D \cos \alpha$$

$$\frac{mV^2}{R} \cos \alpha = G \sin \alpha + D \cos \alpha$$

$$G \sin \alpha = \left(\frac{mV^2}{R} - D \right) \cos \alpha$$

$$G \tan \alpha = \frac{mV^2}{R} - D$$

Besarnya dukungan komponen struktur jalan rel tergantung pada massa dan percepatan sentrifugal, yaitu :

$$D = m \cdot a$$

dengan :

a : percepatan sentrifugal

m : massa.

Oleh karena :

$$\tan \alpha = \frac{h}{w}$$

Maka :

$$G = \frac{h}{w} = \frac{G}{g} \cdot \frac{V^2}{R} - \frac{G}{g} \cdot a$$

$$\frac{h}{w} = \frac{V^2}{g \cdot R} - \frac{a}{g}$$

$$\frac{a}{g} = \frac{V^2}{g \cdot R} - \frac{h}{w}$$

$$a = \left(\frac{V^2}{g \cdot R} - \frac{h}{w} \right) g$$

Karena dalam satuan km/jam, maka perlu diubah ke dalam satuan m/detik, sehingga:

$$a = 0,077 \frac{V^2}{R} - g \frac{h}{w}$$

atau :

$$a = \frac{V^2}{13R} - g \frac{h}{w}$$

$$a + g \frac{h}{w} = \frac{V^2}{13R}$$

$$13R = \frac{V^2}{a + g \frac{h}{w}}$$

Supaya penumpang kereta api masih merasa nyaman, besarnya percepatan sentrifugal maksimum (a_{maks}) ialah 0,0478.g.

$$13R = \frac{V^2}{0,0478g + g \frac{h}{w}}$$

dengan w yang merupakan jarak antara kedua titik kontak roda dan rel, yaitu sebesar 1120 mm, maka diperoleh :

$$13R = \frac{V^2}{0,0478g + g \frac{h}{1120}}$$

Dengan penggunaan peninggian maksimum (h_{maks}) sebesar 110 mm, maka :

$$13R = \frac{V^2}{0,0478g + g \frac{110}{1120}}$$

$$R = 0,0537 V^2$$

$$R = 0,054 V^2$$

Sehingga digunakan :

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

Dengan :

R_{minimum} : Jari-jari minimum (meter) yang diperlukan pada kondisi gaya sentrifugal yang timbul diimbangi oleh gaya berat dan kemampuan dukung komponen struktur jalan rel, dan menggunakan peninggian maksimum,

V : kecepatan rencana (km/jam)

Lengkung Lingkaran Tanpa Lengkung Transisi

Pada bentuk lengkung horisontal tanpa adanya lengkung transisi dan tidak ada peninggian rel yang harus dicapai, berdasarkan pada persamaan peninnggian minimum yaitu :

$$h = 8,8 V^2/R - 53,54$$

karena $h = 0$ (tidak ada peninggian rel), maka :

$$R = 0,164 V^2$$

Tabel 2.12 memuat daftar jari-jari minimum lengkung horisontal tanpa lengkung transisi dan jari-jari minimum yang diijinkan untuk berbagai kecepatan perencanaan yang digunakan oleh PT.KAI (persero).

Tabel **Error! No text of specified style in document..6** Persyaratan Jari-Jari Minimum Lengkung Horisontal

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

Sumber : PJKA, 1986

Lengkung Transisi

Pengurangan pengaruh perubahan gaya sentrifugal sehingga penumpang kereta api tidak terganggu kenyamanannya dapat digunakan lengkung peralihan. Oleh karena itu maka panjang lengkung peralihan yang diperlukan menggunakan Persamaan di bawah ini.

$$Lh = 0,01 \cdot h \cdot V$$

dengan:

Lh = panjang minimum lengkung peralihan (m)

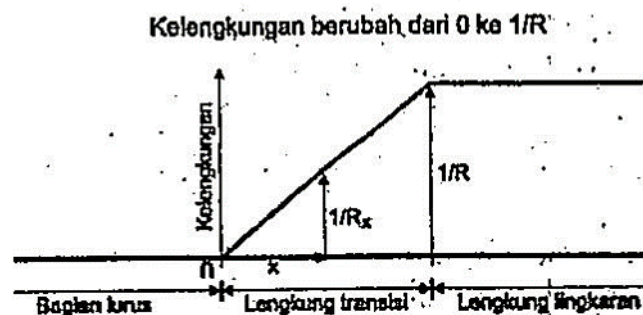
h = peninggian rel pada lengkung lingkaran (mm)

V = kecepatan rencana (km/jam)

R = jari-jari lengkung lingkaran (m)

Salah satu bentuk lengkung transisi adalah Cubic Parabola (parabola pangkat tiga), seperti yang diuraikan berikut.

Diagram kelengkungan pada lengkung transisi adalah seperti Gambar di bawah ini:



Gambar **Error! No text of specified style in document.**4 Diagram Kelengkungan lengkung transisi
Sumber : Utomo, 2006

Persamaan *Cubic Parabola* adalah sebagai berikut :

$$y = \frac{x^3}{6.R.L}$$

dengan;

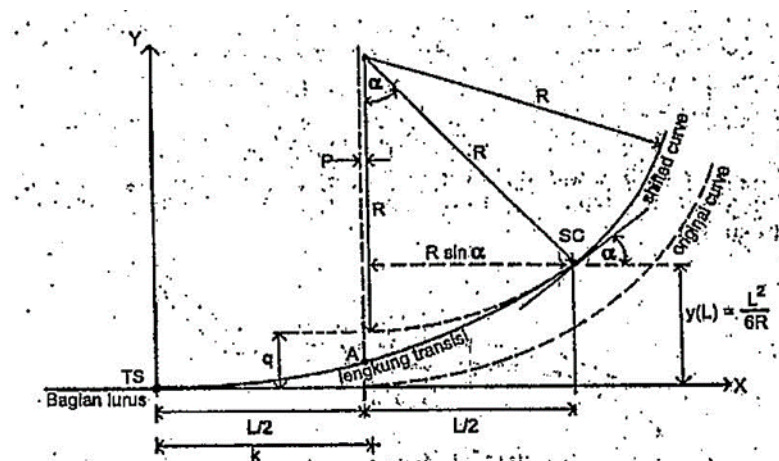
y = koordinat arah y ,

x = koordinat arah x ,

R = jari-jari lengkung (m), dan

L = panjang lengkung (m).

Pada Gambar di bawah dapat dilihat letak lengkung peralihan dan lengkung lingkaran beserta titik-titik/bagian-bagian pentingnya.



Gambar **Error! No text of specified style in document.**5 Lengkung transisi bentuk cubic parabola
Sumber : Utomo, 2006

Pada gambar di atas dapat dilihat bahwa :

TS : titik pertemuan antara bagian lurus dengan lengkung transisi,

SC : titik pertemuan antara lengkung transisi dengan lengkung lingkaran.

$$p = L/2 - R \cdot \sin \alpha$$

$$k = L - R \cdot \sin \alpha$$

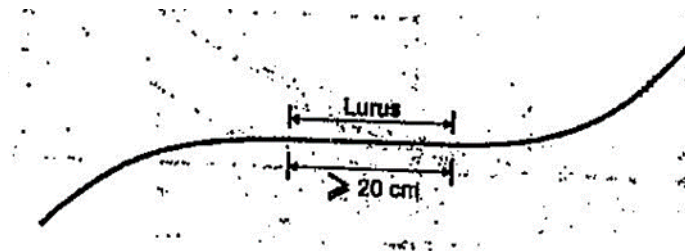
$$q = L^2/(6.R) + R \cdot \cos \alpha - R$$

dengan L adalah panjang lengkung peralihan (L_h). Sedangkan lengkung transisi berbentuk parabola dari TS melalui A hingga titik SC. Mulai SC didapatkan lengkung lingkaran.

Dengan lengkung transisi seperti tersebut di atas terjadi pergeseran letak lengkung, yaitu dari letak lengkung semula (original curve) yang tanpa lengkung transisi, ke letak lengkung yang bergeser (shifted curve) karena menggunakan lengkung transisi.

Lengkung S

Pada dua lengkung dari suatu lintas yang berbeda arah lengkungnya terletak bersambungan, akan membentuk suatu lengkung membalik (reverse curve) dengan huruf S, sehingga dikenal sebagai “lengkung S”. Antara kedua lengkung yang berbeda arah sehingga membentuk huruf S ini harus diberi bagian lurus minimum 20 meter diluar lengkung transisi, seperti pada gambar.



Gambar **Error! No text of specified style in document..6** Bentuk Lengkung S

Percepatan Sentrifugal

Pada saat kereta api berjalan melintasi lengkung horisontal terjadi gaya sentrifugal ke arah luar. Gaya sentrifugal adalah fungsi dari massa benda dan percepatan sentrifugal. Percepatan sentrifugal adalah fungsi dari kecepatan dan jari-jari lengkung, seperti berikut :

$$a = \frac{V^2}{R}$$

dengan :

a : percepatan sentrifugal

V : kecepatan rencana,

R : jari-jari lengkung.

Percepatan sentrifugal yang timbul akan berpengaruh pada :

- a) Kenyamanan penumpang kereta api,

- b) Tergesernya (ke arah luar) barang-barang di dalam kereta/gerbong/lokomotif, dan
- c) Gaya sentrifugal yang berpengaruh pada keausan rel dan bahaya tergulingnya kereta api.

Untuk mengatasi pengaruh tersebut di atas, perlu dilakukan langkah-langkah berikut :

- a) Pemilihan jari-jari lengkung horisontal (R) yang cukup besar,
- b) Pembatasan kecepatan kereta api (V), dan
- c) Peninggian rel sebelah luar.

Dengan pertimbangan supaya kenyamanan penumpang tetap terjaga dan barang-barang di dalam kereta/gerbong/lokomotif tidak tergeser, percepatan sentrifugal yang terjadi perlu dibatasi sebagai berikut :

$$a_{\text{maksimum}} = 0.0478 \cdot g$$

dengan :

$$g = \text{percepatan gravitasi (m/detik}^2\text{)}$$

Peninggian Rel

Peninggian Normal

Peninggian normal berdasarkan pada kondisi komponen jalan rel tidak ikut menahan gaya sentrifugal. Pada kondisi ini gaya sentrifugal sepenuhnya diimbangi oleh gaya berat saja. Perhitungan peninggian normal digunakan persamaan :

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

dengan :

V : kecepatan rencana (km/jam)

R : jari-jari lengkung horisontal (m)

h_{normal} : peninggian normal (mm).

Peninggian Minimum

Peninggian minimum berdasar pada kondisi gaya maksimum yang dapat ditahan oleh komponen jalan rel dan kenyamanan penumpang kereta api. Perhitungan peninggian minimum digunakan rumus :

$$h_{\text{minimum}} = 8,8 (V^2)/R - 53,54$$

dengan :

h_{minimum} = peninggian minimum

V = kecepatan rencana (km/jam)

R = jari-jari lengkung horisontal (m).

Peninggian Maksimum

Peninggian maksimum ditentukan berdasarkan pada stabilitas kereta api pada saat berhenti di bagian lengkung horisontal dengan pembatasan kemiringan maksimum sebesar 10%. Apabila kemiringan melebihi 10% maka benda-benda yang terletak pada lantai kereta api dapat bergeser ke arah sisi dalam. Dengan digunakan kemiringan maksimum 10% peninggian rel maksimum yang digunakan adalah 110 mm.

Mengenai faktor keamanan terhadap bahaya guling kereta/gerbong/lokomotif saat berhenti di bagian lengkung horisontal dengan peninggian rel sebesar 110 mm dapat dijelaskan sebagai berikut :

Momen terhadap titik O adalah :

$$SF \times G \times \sin \alpha \times y = G \times \cos \alpha \times \frac{w}{2}$$

$$\tan \alpha = \frac{w}{SF \times 2 \times y}$$

dengan : SF = faktor keamanan terhadap bahaya guling,

padahal :

$$\tan \alpha = \frac{h}{w}$$

sehingga :

$$\frac{h}{w} = \frac{w}{SF \times 2 \times x \times y}$$

atau :

$$SF = \frac{w}{SF \times 2 \times x \times y}$$

Apabila digunakan $h=h_{\text{maks}} = 110$ mm, $w = 1120$ mm dan y untuk kereta/gerbong/lokomotif yang digunakan di Indonesia = 1700 mm, maka

$$SF = 3,35$$

Dengan demikian maka faktor keamanan terhadap bahaya guling saat berhenti di bagian lengkung horisontal dengan h_{maks} sebesar 110 mm adalah sebesar 3,3.

Penggunaan Peninggian Rel

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa peninggian rel pada lengkung horisontal ditentukan berdasarkan h_{normal} , yaitu :

$$h_{\text{normal}} = 5,95 V^2/R \text{ (mm)}$$

Dengan batas-batas sebagai berikut :

$$h_{\text{maksimum}} = 110 \text{ mm}$$

$$h_{\text{minimum}} = 8,8 (V^2)/R - 53,54 \text{ (mm)}$$

Dengan pertimbangan penerapannya di lapangan, maka peninggian rel yang diperoleh melalui perhitungan teoritis di atas, dibulatkan ke 5 mm terdekat ke atas. Sebagai contoh apabila dalam perhitungan diperoleh $h = 3,5$ mm maka peninggian rel yang digunakan adalah 5 mm.

Dalam pelaksanaannya, peninggian rel dilakukan dengan cara meninggikan rel-luar, bukan menurunkan rel-dalam. Dengan demikian maka peninggian rel

dicapai dengan cara menempatkan rel-dalam tetap pada elevasinya dan rel-luar ditinggikan. Hal ini dipilih karena pekerjaan meninggikan elevasi rel relatif lebih mudah dibandingkan dengan menurunkan elevasi rel.

Pada keadaan lengkung horisontal tanpa lengkung transisi, peninggian rel dicapai dan dihilangkan berangsur-angsur sepanjang suatu “panjang transisi” dengan batasan panjang minimum yang ada pada dasarnya dapat dihitung dengan persamaan berikut :

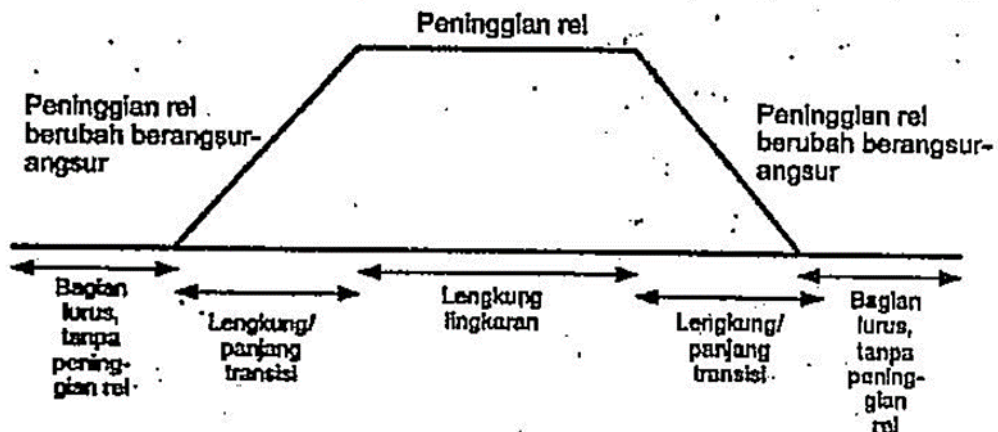
$$Ph = 0,01 \cdot h \cdot V$$

dengan :

Ph = panjang minimum “panjang transisi” (m)

h = peninggian rel pada lengkung lingkaran (mm)

V = kecepatan rencana (km/jam)



Gambar Error! No text of specified style in document..7 Diagram Peninggian Rel

Sumber : Utomo, 2006

Tabel Error! No text of specified style in document..7 Peninggian Jalan Rel 1067 mm

Sumber : PJKA, 1986

Jari-jari (m)	Peninggian (mm) pas (km/jam)						
	120	110	100	90	80	70	60
100		-	-	-	-	-	-
150	-	-	-	-	-	-	-
200	-	-	-	-	-	-	110

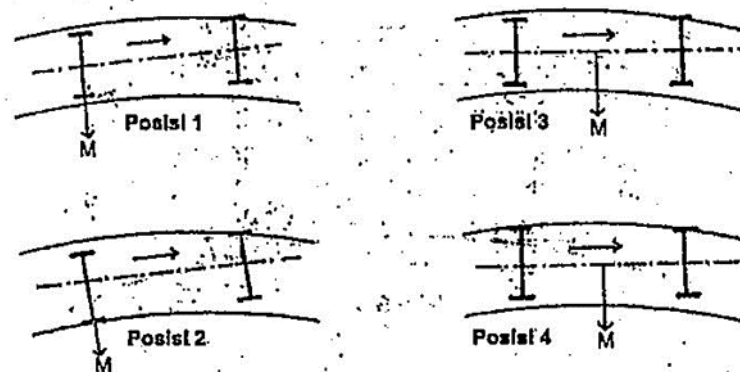
250	-	-	-	-	-	-	90
300	-	-	-	-	-	100	75
350	-	-	-	-	110	85	65
400	-	-	-	-	100	75	55
450	-	-	-	110	85	65	50
500	-	-	-	100	80	60	45
550	-	-	110	90	70	55	40
600	-	-	100	85	65	50	40
650	-	-	95	75	60	50	35
700	-	105	85	70	55	45	35
750	-	100	80	65	55	40	30
800	110	90	75	65	50	40	30
850	105	85	70	60	45	35	30
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

Pelebaran Sepur

Analisa pelebaran sepur didasarkan pada kereta/gerbong yang menggunakan dua gandar. Dua gandar tersebut yaitu gandar depan dan gandar belakang merupakan satu kesatuan, sehingga disebut sebagai Gandar Teguh (*right wheel base*). Karena merupakan kesatuan yang teguh itu maka gandar belakang akan tetap sejajar dengan gandar depan, sehingga pada waktu kereta dengan gandar

teguh melalui suatu lengkung, akan terdapat 4 kemungkinan posisi, yaitu sebagai berikut :

- Posisi 1 : gandar depan mencapai rel luar, gandar belakang pada posisi bebas di antara rel dalam dan rel luar. Posisi seperti ini disebut sebagai Jalan Bebas.
- Posisi 2 : gandar depan mencapai rel luar, gandar belakang menempel pada rel dalam tetapi tidak menekan, dan gandar belakang posisinya radial terhadap pusat lengkung horizontal.
- Posisi 3 : gandar depan menempel pada rel luar, gandar belakang menempel dan menekan rel dalam. Baik gandar depan maupun gandar belakang tidak pada posisi radial terhadap pusat lengkung horizontal, dan
- Posisi 4 : gandar depan dan gandar belakang menempel pada rel luar. Posisi ini dapat terjadi pada kereta/gerbong dengan kecepatan yang tinggi. Posisi 4 ini disebut Jalan Tali Busur.



Gambar **Error! No text of specified style in document..8** Posisi roda dan gandar teguh pada saat kereta melalui lengkung

Sumber : Utomo, 2006

Tabel **Error! No text of specified style in document..8** Pelebaran sepur yang digunakan oleh PT. KAI (persero)

Jari-jari lengkung horisontal (R), (m)	Pelebaran Sepur (m)	Lebar sepur menjadi (mm)
$R > 850$	0	1067
$550 < R < 850$	5	1072
$400 < R < 550$	10	1077
$350 < R < 400$	15	1082

100 < R < 350	20	1087
---------------	----	------

Sumber : PD 10 PJKA, 1986

Kelandaian

Landai Penentu

Landai penentu adalah suatu kelandaian (Pendakian) yang terbesar yang ada pada suatu lintas lurus. Besar landai penentu terutama berpengaruh pada kombinasi daya tarik lok dan rangkaian yang dioperasikan. Untuk masing-masing kelas jalan rel, besar landai penentu adalah seperti yang tercantum dalam tabel.

Tabel **Error! No text of specified style in document.**9 Landai penentu maksimum

Kelas Jalan Rel	Landai Penentu Maksimum
1	10 ‰
2	10 ‰
3	20 ‰
4	25 ‰
5	25 ‰

Sumber : PM 60 tahun 2012

Landai Curam

Dalam keadaan tertentu, misalnya pada lintas yang melalui pegunungan, kelandaian (tanjakan) pada suatu lintasan lurus kadang terpaksa melebihi landai penentu. Kelandaian yang melebihi landai penentu tersebut disebut Landai Curam (Sc).

Panjang maksimum landai curam dibatasi dengan persamaan berikut ini :

$$l_c = (V_k^2 - V_p^2) / (2 \cdot g \cdot (S_p - S_c))$$

dengan :

l_c : panjang maksimum landai curam yang diijinkan (m),

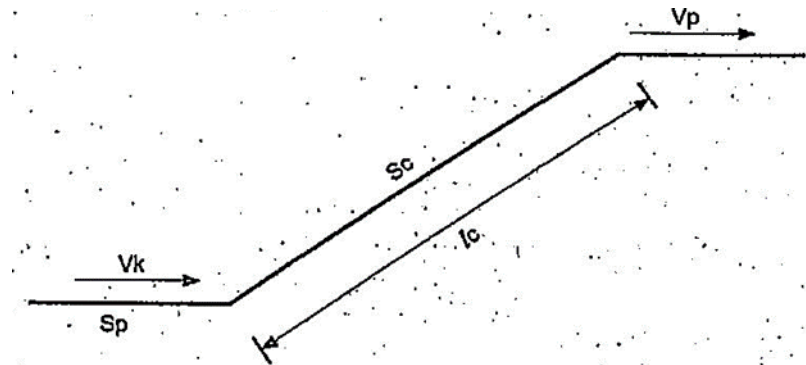
V_k : kecepatan minimum yang diijinkan di kaki landai curam (m/detik)

V_p : kecepatan minimum yang dapat diterima di puncak landai curam (m/detik). Dengan ketentuan $V_p \geq 0,5 V_k$,

g : percepatan gravitasi (m/detik²)

S_p : landai penentu (‰)

S_c : landai curam (‰)



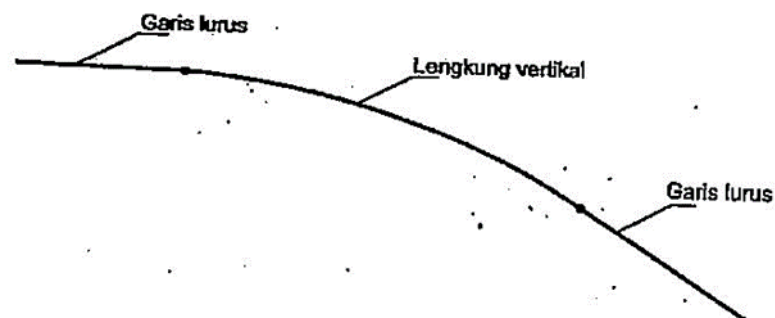
3. Gambar Error! No text of specified style in document..9 Landai Curam

4. Sumber : Utomo, 2006

Lengkung vertikal

Alinyemen vertikal yang merupakan proyeksi sumbu jalan rel pada bidang vertikal yang melalui sumbu jalan rel dimaksud, terdiri atas :

- a) Garis lurus, dengan atau tanpa kelandaian,
- b) Lengkung vertikal.



5. Gambar Error! No text of specified style in document..10 Alinyemen Vertikal

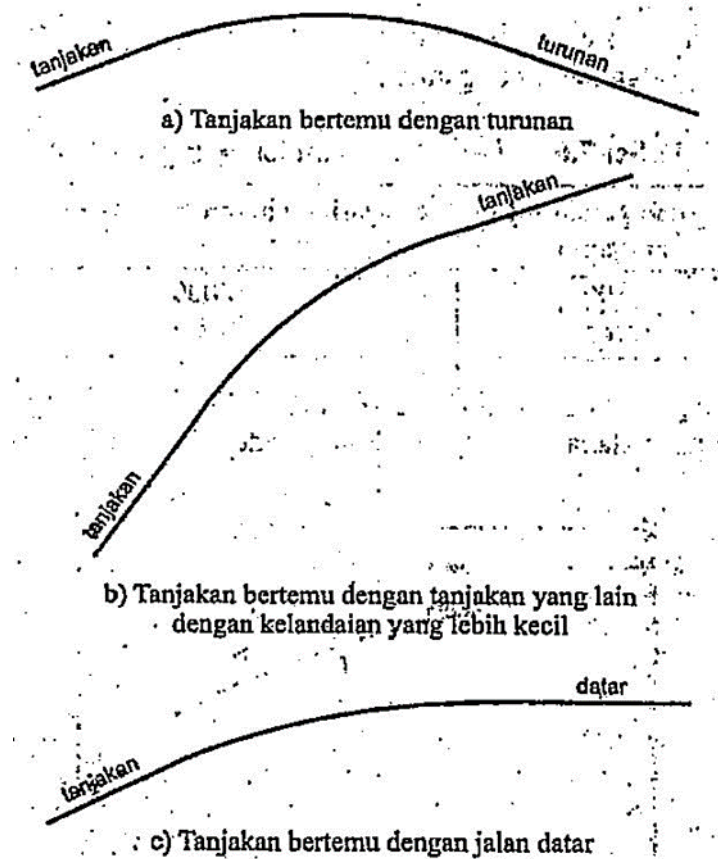
6. Sumber : Utomo, 2006

Lengkung vertikal dimaksudkan sebagai transisi dari suatu kelandaian ke kelandaian berikutnya, sehingga perubahan kelandaian akan berangsur-angsur dan beraturan. Selain itu lengkung vertikal juga dimaksudkan untuk memberikan pandangan yang cukup dan keamanan/keselamatan kereta api. Terdapat dua kelompok lengkung vertikal, yaitu :

- a) Lengkung cembung,
- b) Lengkung cekung.

Lengkung Cembung

Lengkung cembung adalah lengkung vertikal yang kecembungannya (convexity) ke atas. Lengkung vertikal seperti ini di beberapa negara dikenal dengan summit curve atau spur curve. Secara umum, pada dasarnya lengkung cembung dibuat pada kondisi tanjakkan bertemu dengan turunan, atau tanjakkan bertemu dengan tanjakkan lain dengan kelandaian yang lebih kecil, atau tanjakkan dengan jalan datar.



7. Gambar **Error! No text of specified style in document..11**
 Lengkung Cembung
 Sumber : Utomo, 2006

Besarnya jari-jari minimum lengkung vertikal yang berupa lengkung lingkaran bergantung pada kecepatan rencana.

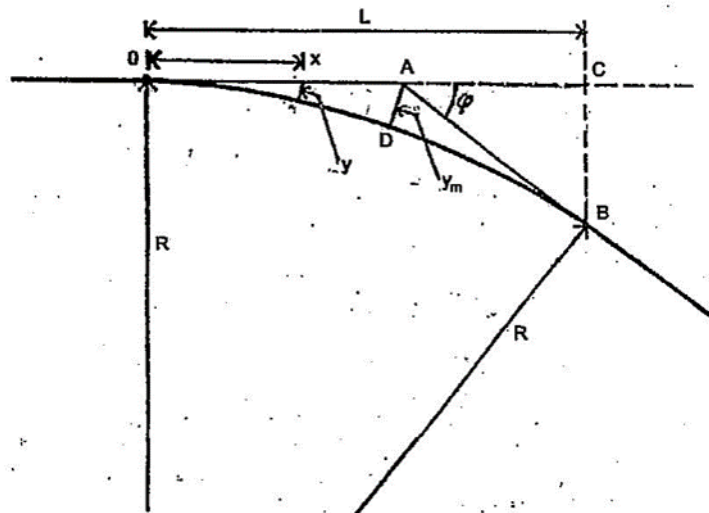
8.

9. Tabel **Error! No text of specified style in document..10** Jari-jari minimum lengkung vertikal

Kecepatan Rencana (km/jam)	Jari-jari minimum lengkung vertikal (m)
> 100	8000
≤ 100	6000

Sumber : PD 10 PJKA, 1986

Lengkung vertikal yang digunakan adalah bentuk lengkung lingkaran, sehingga dapat dihitung melalui pendekatan berikut :



10. Gambar **Error! No text of specified style in document..12**
 Lengkung Vertikal berbentuk lengkung lingkaran
 Sumber : Utomo, 2006

Ketentuan untuk Gambar :

R : jari-jari lengkung vertikal

L : panjang lengkung vertikal

A : titik pertemuan antara perpanjangan kedua landai/garis lurus

ϕ : perbedaan landai

$OA = 0,5 L$

Untuk menentukan letak titik A (x_m , y_m) digunakan persamaan berikut :

$$x_m = R/2 \phi$$

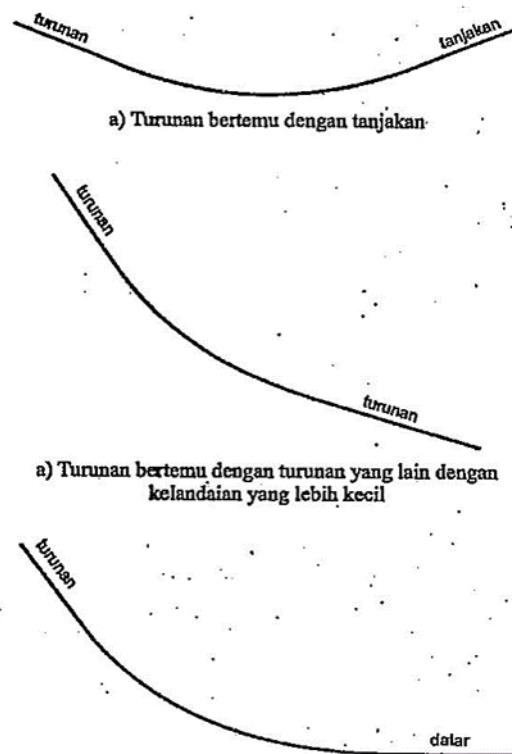
$$y_m = R/8 \phi^2$$

Dengan demikian apabila jari-jari lengkung vertikal (R) sudah ditetapkan dan perbedaan landai (ϕ) dapat dihitung, maka x_m dan y_m dapat dihitung.

Lengkung Cekung

Lengkung cekung adalah lengkung vertikal yang kecekungannya (concavity) ke bawah. Lengkung vertikal berbentuk cekung seperti ini di beberapa negara dikenal dengan valley curve atau sag curve. Seperti halnya pada lengkung cembung, pada dasarnya lengkung cekung dibuat pada kondisi turunan bertemu dengan

tanjakkan, atau turunan bertemu dengan turunan lain dengan kelandaian yang lebih kecil, atau turunan bertemu dengan jalan datar.



11. Gambar **Error! No text of specified style in document.**13 Lengkung Cekung

Sumber : Utomo, 2006

Selain berbentuk lengkung lingkaran, lengkung vertikal juga dapat dibuat dengan bentuk parabola. Panjang lengkung vertikal sebaiknya dalam kelipatan 100ft. Apabila lengkung vertikal menggunakan bentuk lengkung parabola, maka panjang lengkung vertikal dapat ditentukan dengan persamaan sebaagai berikut :

$$L = (G1-G2)/r$$

Dengan :

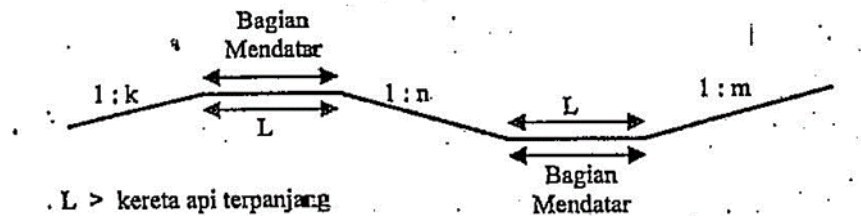
G1 dan G2 : dua kemiringan yang bertemu, positif (+), bila naik/tanjakkan dan negatif bila turunan.

L : panjang lengkung (dalam kelipatam 100ft)

r : tingkat perubahan kemiringan (dalam persen) tiap 100ft.

Subarkah (1981) menyatakan” apabila suatu tanjakan diikuti dengan turunan atau sebaliknya maka diantara lengkung vertikal yang merupakan lengkung

peralihan harus dibuat bagian mendatar yang panjangnya tidak boleh kurang dari kereta api terpanjang yang melalui jalan rel tersebut". Seperti pada Gambar dibawah ini.



12. Gambar **Error! No text of specified style in document.**14 Bagian mendatar di antara lengkung vertikal

13.

Drainase Jalan Rel

Drainase jalan rel secara umum didefinisikan sebagai system pengaliran/pembuangan air di suatu daerah jalan rel, baik secara gravitasi maupun menggunakan pompa, agar sampai tidak terjadi genangan air. Pada bab ini akan diuraikan mengenai garis besar dan pokok-pokok drainase secara gravitasi saja.

Sistem drainase, yaitu sistem pengaliran pembuangan air disuatu daerah jalan rel agar tidak sampai terjadi penggenangan. Ukuran penampang saluran harus cukup besar sehingga mampu membuang debit air hujan yang menuju padanya (strom water runoff). Bila dinyatakan dengan rumus, maka :

$$Q_2 > 1,20 Q_1$$

Jenis Drainase Permukaan

Penentuan jenis drainase permukaan ini berdasarkan pada letak drainase terhadap jalur jalan rel. Terdapat 2 jenis drainase permukaan, yaitu:

- Drainase memanjang (*slide-ditch*), yaitu drainase yang letaknya di samping dan memanjang arah jalur jalan rel,
- Drainase melintang (*cross-drainage*), yaitu drainase permukaan yang letak dan arahnya melintang arah jalur rel.

Analisis Hidrologi

- Metode Rata-rata Aljabar

Metode rata-rata aljabar adalah perhitungan rata-rata secara aljabar curah hujan didalam dan sekitar daerah yang dianalisis.

$$R = \frac{1}{n} (R_1 + R_2 + \dots + R_n)$$

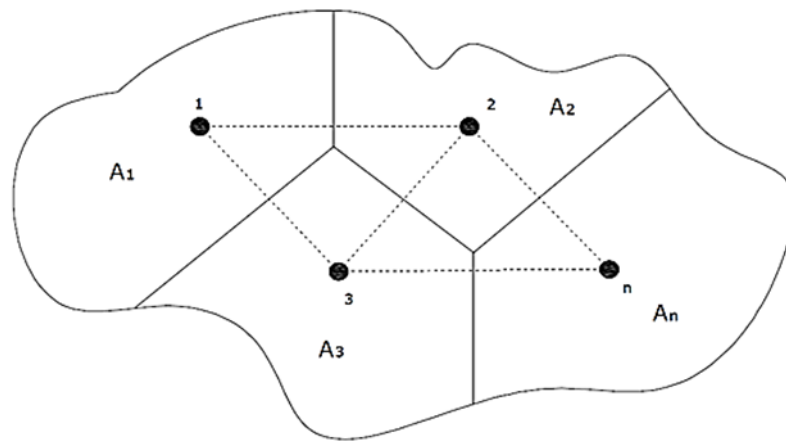
Keterangan:

R = Curah hujan daerah

n = Jumlah titik atau pos pengamatan

R_1, R_2, \dots, R_n = Curah hujan di setiap titik pengamatan

b. Metode Polygon Thiessen



14. Gambar **Error! No text of specified style in document.**15
Polygon Thiessen

Metode *Polygon Thiessen* adalah perhitungan curah hujan yang dilakukan dengan memperhitungkan daerah pengaruh tiap titik pengamatan jika titik-titik didalam daerah pengamatan tidak tersebar merata.

$$P = \frac{P_1 A_1 + P_2 A_2 + P_3 A_3 + \dots + P_n A_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i A_i}{\sum_{ii=1}^n A_i}$$

Keterangan:

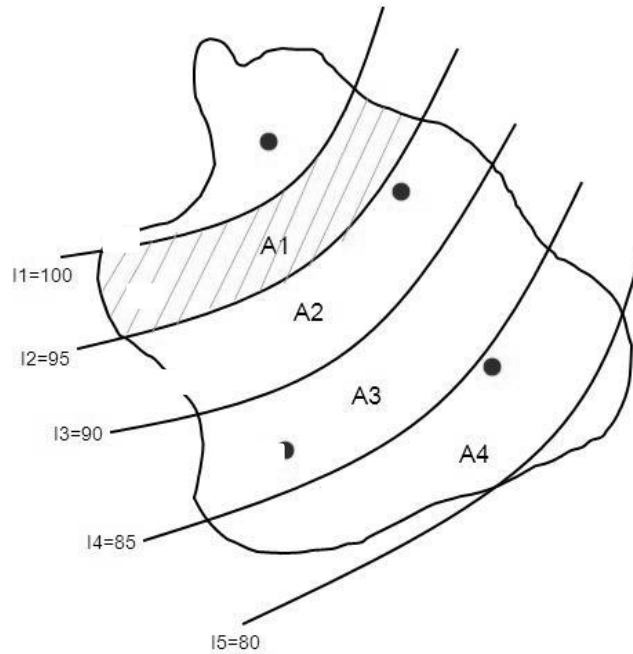
P = Curah hujan kawasan, (mm)

P_1, P_2, \dots, P_n = Curah hujan masing-masing stasiun, (mm)

A_1, A_2, \dots, A_n = Luasan area polygon, (km^2)

c. Metode Isohyet

Metode Isohyet adalah cara rasional yang terbaik jika garis-garis isohyet dapat digambar dengan teliti.



15. Gambar Error! No text of specified style in document..16
Metode Ishoyet

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \frac{I_i + I_{i+1}}{2}}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

atau

$$\bar{R} = \frac{A_1 \frac{I_1 + I_2}{2} + A_2 \frac{I_2 + I_3}{2} + \dots + A_n \frac{I_n + I_{n+1}}{2}}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

Keterangan:

\bar{R} = Hujan rata-rata suatu DAS

I = garis isohyet

A = Luas area dibatasi poligon, (km²)

Analisis Frekuensi

Tujuan analisis frekuensi data hidrologi berkaitan dengan besaran peristiwa-peristiwa ekstrim yang berkaitan dengan frekuensi kejadiannya melalui penerapan distribusi kemungkinan.

Analisis frekuensi ini berdasarkan pada sifat statistik data kejadian yang telah lalu untuk memperoleh probabilitas besaran hujan dimasa yang akan datang masih sama dengan sifat statistik kejadian hujan masa lalu.

Analisis frekuensi dapat menggunakan beberapa macam distribusi. Parameter pemilihan jenis distribusi dapat dilihat pada Tabel 2.11

16. Tabel **Error! No text of specified style in document.** 11 Parameter Pemilihan Jenis Distribusi

Jenis Sebaran	Kriteria
Log Normal	$C_s = 3 C_v + C_v^2 = 0,159$
	$C_v = 0,06$
Log Pearson Tipe III	$C_s \neq 0$
	$C_v = 0,3$
Gumble	$C_s \leq 1,1396$
	$C_k \leq 5,4002$
Normal	$C_s = 0$
	$C_k = 3$

Sumber : Suripin 2004

a. Distribusi Gumble

$$X_T = \bar{X} + \left[\frac{Y_{Tr} - Y_n}{s_n} \right] \cdot S_X$$

$$X_T = \bar{X} + K \cdot S_X$$

$$Y_{Tr} = -\ln \left[\ln \frac{T_r}{T_r - 1} \right]$$

Keterangan:

$X_T = CH/\text{intensitas hujan pada periode } T_r$

$Y_{Tr} = \text{Factor ln dari } T_r$

$Y_n = \text{Reduce mean factor}$. Nilai Y_n dapat dilihat pada Tabel 2.13

$S_n = \text{Reduce standard deviation}$. Nilai S_n dapat dilihat pada Tabel 2.14

$T_r = \text{Tahun ulangan (2 tahun, 5 tahun, dst)}$

$X = \text{Nilai rata-rata hitung varian}$

$S_X = \text{Deviasi standar nilai varian}$

$K = \text{Faktor probabilitas, nilai } K = Y_{Tr} - Y_n / S_n$

b. Distribusi Normal

$$X_T = \bar{X} + K_T \cdot S_X$$

Keterangan:

$X_T = CH/\text{intensitas hujan pada periode } T_r$

$\bar{X} = \text{Nilai rata-rata hitung varian}$

$S_X = \text{Deviasi standar nilai varian}$

$K_T = \text{Variabel reduksi gauss}$. Nilai K_T dapat dilihat pada Tabel 2.12

c. Distribusi Log Pearson Tipe III

$$\log(X_T) = \log(\bar{X}) + K \cdot S_X$$

$$X_T = 10^{(\log(\bar{X}) + K \cdot STDEV)}$$

Keterangan:

$X_T = CH/\text{intensitas hujan pada } T_r$

$K = \text{Variabel standar bergantung } C_s \text{ dan } G$, terdapat pada Tabel 2.15

$S_X = \text{Deviasi standar nilai varian}$

$T_r = \text{Tahun ulangan (2 tahun, 5 tahun, dst)}$

d. Distribusi Log Normal

$$\log(X_T) = \log(\bar{X}) + K \cdot S_X$$

$$X_T = 10^{(\log(\bar{X}) + K \cdot S_X)}$$

Keterangan:

$X_T = CH/\text{intensitas hujan pada } T_R$

$K = \text{Variabel reduksi gauss}$, terdapat pada Tabel 2.12

17. Tabel **Error! No text of specified style in document..**12 Nilai Variabel Distribusi Gauss

18. Periode Ulang	19. Peluang	20. K_T
21. 1,001	22. 0,999	23. -3,050
24. 1,005	25. 0,995	26. -2,580
27. 1,010	28. 0,990	29. -2,330
30. 1,050	31. 0,952	32. -1,640
33. 1,110	34. 0,901	35. -1,280
36. 1,250	37. 0,800	38. -0,840
39. 1,330	40. 0,752	41. -0,670
42. 1,430	43. 0,699	44. -0,520
45. 1,670	46. 0,599	47. -0,250
48. 2,000	49. 0,500	50. 0,000
51. 2,500	52. 0,400	53. 0,250
54. 3,330	55. 0,300	56. 0,520
57. 4,000	58. 0,250	59. 0,670
60. 5,000	61. 0,200	62. 0,840
63. 10,000	64. 0,100	65. 1,280
66. 20,000	67. 0,050	68. 1,640
69. 50,000	70. 0,020	71. 2,050
72. 100,000	73. 0,010	74. 2,330
75. 200,000	76. 0,005	77. 2,580
78. 500,000	79. 0,002	80. 2,880
81. 1000,000	82. 0,001	83. 3,090

Sumber: Suripin, 2004

Pengujian Kecocokan Chi-Square

a. Uji Chi-Square

Uji Chi-Square dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan sebaran peluang yang telah dipilih dapat mewakili dari distribusi statistik sampel data yang dianalisis didasarkan pada jumlah pengamatan yang diharapkan pada pembagian kelas dan ditentukan terhadap jumlah data pengamatan yang terbaca didalam kelas tersebut, dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$Chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(O_f - E_f)^2}{E_f}$$

$$K = 1 + 2,322 \cdot \log(n)$$

$$D_k = K - (p + 1)$$

Keterangan:

Chi^2 = Parameter chi-kuadrat terhitung

E_f = Frekuensi yang diharapkan sesuai dengan pembagian kelasnya

O_f = Frekuensi yang diamati pada kelas yang sama

n = Jumlah sub-kelompok

D_k = Derajat kebebasan

p = Banyaknya parameter, untuk uji Chi-Kuadrat adalah 2

K = Jumlah kelas distribusi

Jika $Chi^2_{terhitung} < Chi^2_{kritis}$, maka metode distribusi dapat diterima.

Harga kritis Chi-square terdapat pada Tabel 2.16.

b. Smirnov-Kolmogorov

Uji kecocokan Smirnov-Kolmogorov dilakukan dengan membandingkan probabilitas untuk setiap variabel dari distribusi empiris dan teoritis didapat berbeda (D). perbedaan maksimum yang dihitung (D_{maks}) dibandingkan dengan perbedaan kritis (D_{cr}) untuk satu derajat nyata dan banyaknya varian tertentu.

$$P = \frac{m}{n+1} 100\%$$

Tabel **Error! No text of specified style in document..13** Nilai Y_n

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,507	0,51	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,522
20	0,5225	0,5252	0,5268	0,5283	0,5296	0,5309	0,532	0,5332	0,5343	0,5353
30	0,5362	0,5371	0,538	0,5388	0,5402	0,5402	0,541	0,5418	0,5424	0,5432
40	0,5436	0,5422	0,5448	0,5453	0,5463	0,5463	0,5468	0,5473	0,5477	0,5481
50	0,5485	0,5489	0,5493	0,5497	0,5504	0,5504	0,5508	0,5511	0,5519	0,5518
60	0,5521	0,5534	0,5527	0,553	0,5535	0,5535	0,5538	0,554	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,5552	0,5555	0,5555	0,5561	0,5559	0,5561	0,5563	0,5565	0,5567
80	0,5569	0,557	0,5572	0,5574	0,558	0,5578	0,558	0,5581	0,5583	0,5585
90	0,5586	0,5587	0,5589	0,5591	0,5595	0,5593	0,5595	0,5596	0,5598	0,5599

Sumber: Desain Drainase dan Bangunan Pelengkap

Tabel **Error! No text of specified style in document..14** Nilai S_n

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,9496	0,9676	0,9833	0,9971	1,0095	1,0206	1,0316	1,0411	1,0493	1,0565
20	0,0628	1,0696	1,0696	1,0811	1,0864	1,0915	1,0961	1,1004	1,1047	1,1086
30	0,1124	1,1159	1,1159	1,1226	1,1255	1,1285	1,1313	1,1339	1,1363	1,1388
40	0,1413	1,1436	1,1436	1,148	1,1499	1,1519	1,1538	1,1557	1,1574	1,159
50	0,1607	1,1623	1,1623	1,1658	1,1667	1,1681	1,1696	1,1708	1,1721	1,1734

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
60	0,1747	1,1759	1,1759	1,1782	1,1793	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844
70	0,1859	1,1866	1,1863	1,1881	1,189	1,1898	1,1906	1,1915	1,1923	1,193
80	0,1938	1,1945	1,1945	1,1959	1,1967	1,1973	1,198	1,1987	1,1994	1,2001
90	0,2007	1,2013	1,202	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044	1,2049	1,2055	1,206

Sumber : Desain Drainase dan Bangunan Pelengkap

Tabel **Error! No text of specified style in document..**15 Distribusi Log Person Tipe III untuk Koefisien Skewness (Cs)

Koefisien	Waktu Balik (Tahun)														
	1,01	1,05	1,11	1,25	1,667	2	2,5	5	10	20	25	50	100	200	1000
Cs	Peluang (%)														
	99	95	90	80	60	50	40	20	10	5	4	2	1	0,5	0,1
3,0	-0,667	-0,665	-0,660	-0,636	-0,4760	-0,396	-0,1240	0,420	1,180	2,0950	2,278	3,152	4,051	4,970	7,250
2,5	-0,799	-0,790	-0,771	-0,711	-0,4770	-0,360	-0,0673	0,518	1,250	2,0933	2,262	3,048	3,845	4,652	6,600
2,2	-0,905	-0,882	-0,844	-0,752	-0,4707	-0,330	-0,0287	0,574	1,284	2,0807	2,240	2,970	3,705	4,444	6,200
2,0	-0,990	-0,949	-0,895	-0,777	-0,4637	-0,307	-0,0017	0,609	1,302	2,0662	2,219	2,912	3,605	4,298	5,910
1,8	-1,087	-1,020	-0,945	-0,799	-0,4543	-0,282	0,0263	0,643	1,318	2,0472	2,193	2,848	3,499	4,147	5,660
1,6	-1,197	-1,093	-0,994	-0,817	-0,4417	-0,254	0,0557	0,675	1,329	2,0240	2,163	2,780	3,388	3,990	5,390
1,4	-1,318	-1,168	-1,041	-0,832	-0,4273	-0,225	0,0850	0,705	1,337	1,9962	2,128	2,706	3,271	3,828	5,110
1,2	-1,449	-1,243	-1,086	-0,844	-0,4113	-0,196	0,1140	0,732	1,340	1,9625	2,087	2,626	3,149	3,661	4,820
1,0	-1,588	-1,317	-1,128	-0,852	-0,3933	-0,164	0,1433	0,758	1,340	1,9258	2,043	2,542	3,022	3,489	4,540
0,9	-1,660	-1,353	-1,147	-0,854	-0,3833	-0,148	0,1577	0,769	1,339	1,9048	2,018	2,498	2,957	3,401	4,395

Koefisien	Waktu Balik (Tahun)														
	1,01	1,05	1,11	1,25	1,667	2	2,5	5	10	20	25	50	100	200	1000
Cs	Peluang (%)														
0,8	-1,733	-1,388	-1,116	-0,856	-0,3733	-0,132	0,1720	0,780	1,336	1,8877	1,998	2,453	2,891	3,312	4,250
0,7	-1,806	-1,423	-1,183	-0,857	-0,3630	-0,116	0,1860	0,790	1,333	1,8613	1,967	2,407	2,824	3,223	4,105
0,6	-1,880	-1,458	-1,200	-0,857	-0,3517	-0,099	0,2007	0,800	1,328	1,8372	1,939	2,359	2,755	3,132	3,960
0,5	-1,955	-1,491	-1,216	-0,856	-0,3407	-0,083	0,2140	0,808	1,323	1,8122	1,910	2,311	2,686	3,041	3,815
0,4	-2,029	-1,524	-1,231	-0,855	-0,3290	-0,066	0,2280	0,816	1,317	1,7862	1,880	2,261	2,615	2,949	3,670
0,3	-2,104	-1,555	-1,245	-0,853	-0,3177	-0,050	0,2413	0,824	1,309	1,7590	1,849	2,211	2,544	2,856	3,525
0,2	-2,178	-1,586	-1,258	-0,850	-0,3053	-0,033	0,2547	0,830	1,301	1,7318	1,818	2,159	2,472	2,763	3,380
0,1	-2,252	-1,616	-1,270	-0,846	-0,2933	-0,017	0,2673	0,836	1,292	1,7028	1,785	2,107	2,400	2,670	3,235
0,0	-2,326	-1,645	-1,282	-0,842	-0,2807	0,000	0,2807	0,842	1,282	1,6728	1,751	2,054	2,326	2,576	3,090
-0,1	-2,400	-1,673	-1,292	-0,836	-0,2673	0,017	0,2900	0,836	1,270	1,6417	1,716	2,000	2,252	2,482	2,950
-0,2	-2,472	-1,700	-1,301	-0,830	-0,2547	0,033	0,3053	0,850	1,258	1,6097	1,680	1,945	2,178	2,388	2,810
-0,3	-2,544	-1,726	-1,309	-0,824	-0,2413	0,050	0,3177	0,853	1,245	1,5767	1,643	1,890	2,104	2,294	2,675
-0,4	-2,615	-1,750	-1,317	-0,816	-0,2280	0,066	0,3290	0,855	1,231	1,5435	1,606	1,834	2,029	2,201	2,540
-0,5	-2,686	-1,774	-1,323	-0,808	-0,2140	0,083	0,3407	0,856	1,216	1,5085	1,567	1,777	1,955	2,108	2,400
-0,6	-2,755	-1,797	-1,328	-0,800	-0,2007	0,099	0,3517	0,857	1,200	1,4733	1,528	1,720	1,880	2,016	2,275
-0,7	-2,824	-1,819	-1,333	-0,790	-0,1860	0,116	0,3630	0,857	1,183	1,4372	1,488	1,663	1,806	1,926	2,150
-0,8	-2,891	-1,839	-1,336	-0,780	-0,1720	0,132	0,3733	0,856	1,166	1,4010	1,448	1,606	1,733	1,837	2,035
-0,9	-2,957	-1,858	-1,339	-0,769	-0,1577	0,148	0,3833	0,854	1,147	1,3637	1,407	1,549	1,660	1,749	1,910
-1,0	-3,022	-1,877	-1,340	-0,758	-0,1433	0,164	0,3933	0,852	1,128	1,3263	1,366	1,492	1,588	1,664	1,800
-1,2	-3,149	-1,910	-1,340	-0,732	-0,1140	0,195	0,4113	0,844	1,086	1,2493	1,282	1,379	1,449	1,501	1,625
-1,4	-3,271	-1,938	-1,337	-0,705	-0,0850	0,225	0,4273	0,832	1,041	1,1718	1,198	1,270	1,318	1,351	1,465

Koefisien	Waktu Balik (Tahun)														
	1,01	1,05	1,11	1,25	1,667	2	2,5	5	10	20	25	50	100	200	1000
Cs	Peluang (%)														
-1,6	-3,388	-1,962	-1,329	-0,675	-0,0557	0,254	0,4417	0,817	0,994	1,0957	1,116	1,166	1,197	1,216	1,280
-1,8	-3,499	-1,981	-1,318	-0,643	-0,0263	0,282	0,4543	0,799	0,945	1,0200	1,035	1,069	1,087	1,097	1,130
-2,0	-3,605	-1,996	-1,302	-0,600	0,0047	0,307	0,4637	0,777	0,895	0,9483	0,969	0,980	0,990	0,995	1,000
-2,2	-3,705	-2,006	-1,284	-0,574	0,0287	0,330	0,4707	0,752	0,844	0,8807	0,888	0,900	0,905	0,907	0,910
-2,5	-3,845	-2,012	-1,250	-0,518	0,0673	0,360	0,4770	0,711	0,771	0,7893	0,793	0,798	0,799	0,802	0,802
-3,0	-4,051	-2,003	-1,180	-0,420	0,1240	0,396	0,4760	0,636	0,660	0,6650	0,666	0,666	0,667	0,667	0,668

Sumber : Soemarto, C.D. 1987

Tabel **Error! No text of specified style in document.**16 Harga Kritis Chi-Square

dk	α derajat kepercayaan							
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	0,005
1	0,0000393	0,0001570	0,0009820	0,0039300	3,8410000	5,0240000	6,6350000	7,8790000
2	0,0100000	0,0201000	0,0506000	0,1030000	5,9910000	7,3780000	9,2100000	10,5970000
3	0,0717000	0,1150000	0,2160000	0,3520000	7,8150000	9,3480000	11,3450000	12,8380000
4	0,2070000	0,2970000	0,4840000	0,7110000	9,4880000	11,1430000	13,2770000	14,8600000
5	0,4120000	0,5540000	0,8310000	1,1450000	11,0700000	12,8320000	15,0860000	16,7500000
6	0,6760000	0,8720000	1,2370000	1,6350000	12,5920000	14,4490000	16,8120000	18,5480000
7	0,9890000	1,2390000	1,6900000	2,1670000	14,0670000	16,0130000	18,4750000	20,2780000
8	1,3440000	1,6460000	2,1800000	2,7330000	15,5070000	17,5350000	20,0900000	21,9550000

dk	α derajat kepercayaan							
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	0,005
9	1,7350000	2,0880000	2,7000000	3,3250000	16,9190000	19,0230000	21,6660000	23,5890000
10	2,1560000	2,5580000	3,2470000	3,9400000	18,3070000	20,4830000	23,2090000	25,1880000
11	2,6030000	3,0530000	3,8160000	4,5750000	19,6750000	21,9200000	24,7250000	26,7570000
12	3,0740000	3,5710000	4,4040000	5,2260000	21,0260000	23,3370000	26,2170000	28,3000000
13	3,5650000	4,1070000	5,0090000	5,8920000	22,3620000	24,7360000	27,3880000	29,8190000
14	4,0750000	4,6600000	5,6290000	6,5710000	23,6850000	26,1190000	29,1410000	31,3190000
15	4,6010000	5,2290000	6,2620000	7,2610000	24,9960000	27,4480000	30,5780000	32,8010000
16	5,1420000	5,8120000	6,9080000	7,9620000	26,2960000	28,8450000	32,0000000	34,2670000
17	5,6970000	6,4080000	7,5640000	8,6720000	27,5870000	30,1910000	33,4090000	35,7180000
18	6,2500000	7,0150000	8,2310000	9,3900000	28,8690000	31,5260000	34,8050000	37,1560000
19	6,8440000	7,6330000	8,9070000	10,1170000	30,1140000	32,8520000	36,1910000	38,5820000
20	7,4340000	8,2600000	9,5910000	10,8510000	31,1400000	34,1700000	37,5660000	39,9970000
21	8,0340000	8,8970000	10,2830000	11,5910000	32,6710000	35,4790000	38,9320000	41,4010000
22	8,6430000	9,5420000	10,9820000	12,3380000	33,9240000	36,7810000	40,2890000	42,7960000
23	9,2600000	10,1960000	11,6890000	13,0910000	36,1720000	38,0760000	41,6380000	44,1810000
24	9,8860000	10,8560000	12,4010000	13,8480000	36,4150000	39,3640000	42,9800000	45,5580000
25	10,5200000	11,5240000	13,1200000	14,6110000	37,6520000	40,6460000	44,3140000	46,9280000
26	11,1600000	12,1980000	13,8440000	15,3790000	38,8850000	41,9230000	45,6420000	48,2900000
27	11,8080000	12,8790000	14,5730000	16,1510000	40,1130000	43,1940000	46,9630000	49,6450000
28	12,4610000	13,5650000	15,3080000	16,9280000	41,3370000	44,4610000	48,2780000	50,9930000
29	13,1210000	14,2560000	16,0470000	17,7080000	42,5570000	45,7220000	49,5880000	52,3360000
30	13,7870000	14,9530000	16,7910000	18,4930000	43,7330000	46,9790000	50,8920000	53,6720000

