

## BAB IV

### KONSTRUKSI JALAN KERETA API

#### 4.1 Umum

Untuk dapat memenuhi kriteria jalan kereta api yang baik, nyaman, dan ekonomis, maka konstruksi jalan kereta api perlu direncanakan dengan sangat teliti dan memenuhi keadaan daerah sekitar trase. Dalam perencanaan jalan kereta api perencana perlu memperhatikan beberapa komponen yang sangat penting diantaranya adalah keausan kepala rel, penambahan panjang rel akibat perbedaan suhu, sambungan rel, wesel, penambat rel, bantalan, lapisan balas dan tubuh jalan rel.

Dalam pembangunan jalan rel dikenal dua macam rel yaitu :

a. Rel untuk jalan rel

Menurut beratnya dibagi menjadi dua kelompok :

1. Rel berat yaitu rel yang beratnya  $\geq 30$  kg/m.
2. Rel ringan yaitu rel yang beratnya  $< 30$  kg/m.

b. Rel untuk *crane*.

### Data Teknis

Dalam perencanaan jalur ganda parsial Yogyakarta – Solo, data teknis untuk konstruksi jalan rel didapatkan sebagai berikut :

Tabel 4.1 Data Teknis

No	Komponen	Jenis Yang Dipakai
1	Kecepatan maksimum	120 Km/jam
2	Beban gandar	18 . n
3	Daya angkut	> 20.10 <sup>6</sup> ton
4	Tipe rel	R-54
5	Panjang rel standart	25 meter
6	Jenis bantalan	Beton pra tekan
7	Jenis penambat	Elastik ganda
8	Lebar spoor	1067 mm
9	Sambungan rel	Melayang
10	Penempatan sambungan	Siku
11	Drainasi	Permukaan terbuka
12	Kelas jalan	Kelas I

Sumber : Hasil Perhitungan Penulis

#### 4.1.1 Kekuatan Rel

Lokomotif yang digunakan harus dapat menarik gerbong pada daerah lurus maupun pada landai maksimum. Kombinasi beban yang digunakan adalah beban maksimum kereta secara keseluruhan.

Dipakai persamaan :

$$Pd = P + ((0,01.P.(Vr - 5)) \dots\dots\dots(4.1)$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{k}{4.E.Ix}} \dots\dots\dots(4.2)$$

$$Mo = \frac{Pd}{4.\lambda} \dots\dots\dots(4.3)$$

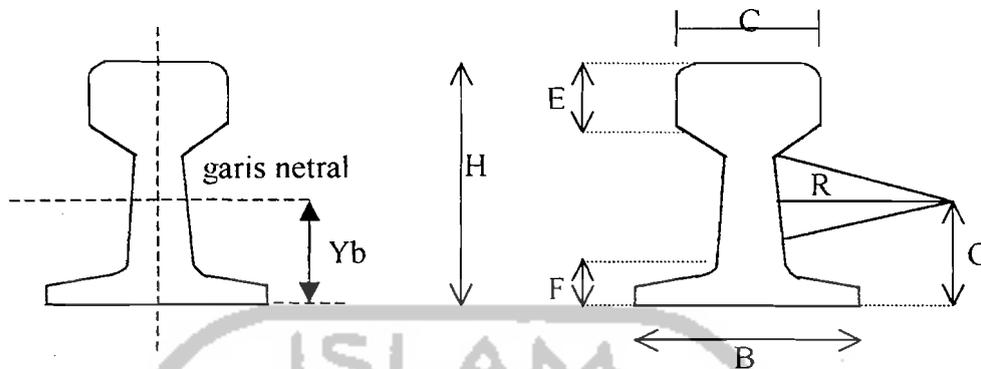
$$\delta = \frac{M_1 \cdot Y}{I_x} \dots\dots\dots (4.4)$$

dengan :

- Pd = tekanan pada kepala rel
- P = ½ beban gandar (kg)
- k = modulus elastisitas jalan rel, diambil 180 kg/cm<sup>2</sup>
- E = modulus elastisitas rel, diambil 2,1.10<sup>6</sup> kg/cm<sup>2</sup>
- I<sub>x</sub> = inersia (cm<sup>4</sup>)
- V<sub>r</sub> = kecepatan rencana (mil/jam)
- λ = faktor amblas (cm<sup>-1</sup>)
- M<sub>o</sub> = momen (kg-cm)
- M<sub>l</sub> = 0,85 M<sub>o</sub> akibat superposisi beberapagandar
- Y = jarak tepi bawah ke garis netral (cm)
- δ = tegangan (kg/cm<sup>2</sup>)

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

#### 4.1.2 Tipe dan Karakteristik Penampang



Gambar 4.1 Karakteristik Penampang rel  
(Sumber : Peraturan Dinas 10, PJKA,1986)

Tabel 4.2 Besaran geometri Rel dengan Tipe R.54

Besaran Geometri Rel	Satuan	Ukuran
H	mm	159
B	mm	140
C	mm	70
E	mm	49.4
F	mm	30.2
G	mm	74.97
R	mm	508
A	cm <sup>2</sup>	69.34
W	kg/m	54.43
I <sub>x</sub>	cm <sup>4</sup>	2.346
Yb	mm	76.20

A = luas Penampang  
 W = Berat rel per meter  
 I<sub>x</sub> = Momen inersia terhadap sumbu X  
 Yb = jarak tepi bawah rel ke garis netral

Sumber : Peraturan Dinas 10, PJKA,1986

Jenis rel menurut panjangnya :

a. Rel standar

Untuk meningkatkan keamanan dan kenyamanan penumpang dan barang, PT KAI (Persero) mulai merubah panjang rel standar dari 17 meter menjadi 25 meter, sehingga jumlah sambungan dapat dikurangi.

b. Rel pendek

Rel pendek dibuat dari beberapa rel standar yang dihubungkan dengan las tidak dikerjakan di balai yasa/depot. Batasan panjang untuk pengelasan di depot adalah kemudahan pengangkutan ke lapangan.

c. Rel panjang

Rel panjang dibuat dari beberapa rel standar yang dihubungkan dengan las di lapangan.

d. Rel menerus

Rel yang dibuat (dilas) hingga mencapai panjang sampai dengan 2.500 m

## 4.2 Sambungan Rel

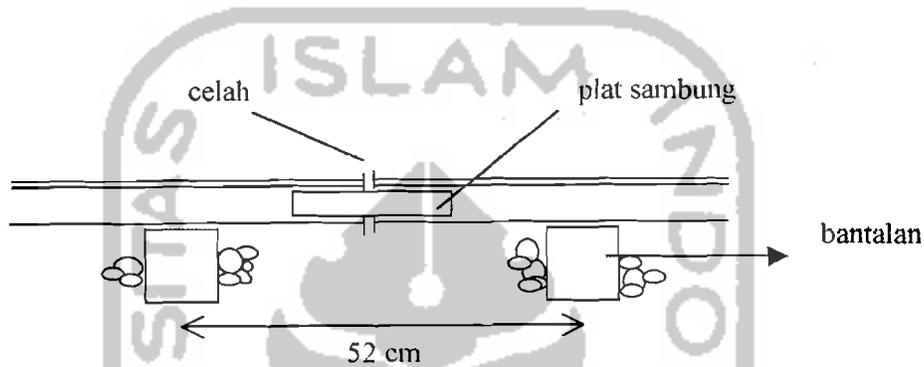
Sambungan rel adalah konstruksi yang mengikat dua ujung rel sedemikian rupa sehingga operasi kereta api tetap aman dan nyaman. Yang dimaksud sambungan rel disini adalah sambungan yang menggunakan pelat sambung, mur dan baut.

### 4.2.1 Macam Sambungan Rel

Sambungan ada dua macam yang dibedakan terhadap jenis bantalan yang dipakai, dua macam sambungan rel adalah :

a. Sambungan rel melayang

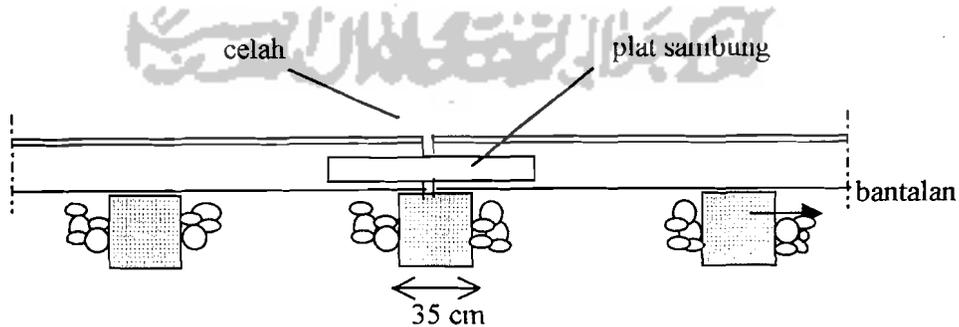
Bantalan yang biasa dipakai pada daerah sambungan adalah bantalan kayu ukuran  $13 \times 22 \times 200 \text{ cm}^3$ . Jarak antara kedua bantalan ujung sebesar 30 cm adalah jarak minimum yang diperlukan untuk pekerjaan memadatkan balas dibawah bantalan.



Gambar 4.2 Sambungan rel melayang  
(Sumber : Peraturan Dinas 10, PJKA, 1986)

b. Sambungan menumpu

Sambungan ini menggunakan bantalan dengan ukuran khusus yaitu  $13 \times 35 \times 200 \text{ cm}^3$ .

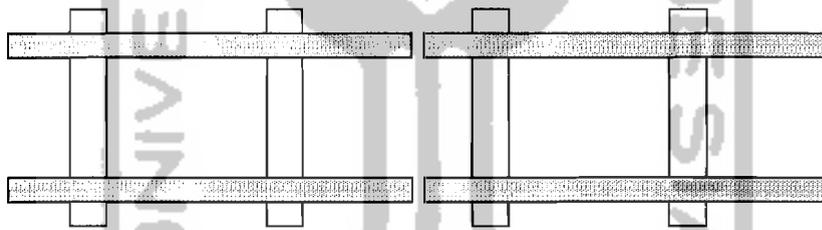


Gambar 4.3 Sambungan rel menumpu  
(Sumber : Peraturan Dinas 10, PJKA, 1986)

#### 4.2.2 Penempatan Sambungan rel

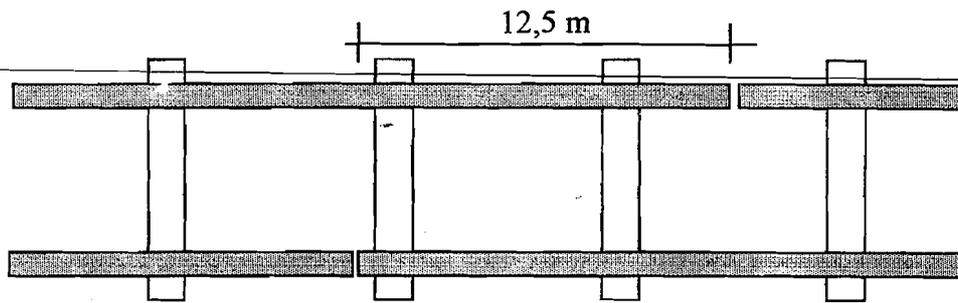
Berdasarkan cara penempatannya, sambungan rel dibedakan dua macam yaitu :

- a. Penempatan secara siku, dengan kedua sambungan berada pada satu garis yang tegak lurus terhadap sumbu sepur. Toleransi penyimpangan pada sambungan siku, maksimum 30 mm. Sambungan siku memungkinkan pemasangan rel dan bantalan dengan sistem panel. Pada suatu sistem ini penyetulan rel diatas bantalannya dilakukan diluar sepur, setelah rel dengan bantalan menjadi satu kesatuan kemudian diangkat dan diletakkan di tempatnya.



Gambar 4.4 Sambungan rel secara siku  
(Sumber : Peraturan Dinas 10, PJKA, 1986)

- b. Penempatan secara berselang, dengan kedua sambungan rel tidak berada pada satu garis yang tegak lurus terhadap sumbu sepur. Pada sambungan ini tidak ada masalah penyimpangan kedudukan seperti pada sambungan siku.



Gambar 4.5 Sambungan rel secara berselang  
(Sumber : Peraturan Dinas 10, PJKA),1986)

#### 4.2.3 Sambungan Rel di Jembatan

Untuk menempatkan sambungan rel pada daerah jembatan perlu diperhatikan syarat-syarat teknis sebagai berikut :

- a. Di dalam daerah bentang jembatan harus diusahakan agar tidak ada sambungan rel. Hal ini dimaksudkan untuk mengurangi beban dinamis pada struktur jembatan.
- b. Rel dengan bantalan sebagai suatu kesatuan harus dapat bergeser terhadap gelagar pemikulnya. Yang dimaksud dengan gelagar pemikul adalah bagian dari konstruksi jembatan dengan bantalan menumpu secara langsung. Hal ini dimaksudkan untuk membebaskan jembatan dari pembebanan sekunder akibat pemuaian rel.
- c. Jika digunakan rel standar atau rel pendek, jarak sambungan rel ke ujung jembatan minimal sama dengan tiga kali bantalannya.
- d. Jika digunakan rel panjang, jarak antara ujung jembatan dengan sambungan rel, minimal harus sama dengan panjang daerah muai rel itu. Panjang daerah muai untuk bermacam-macam rel tercantum pada tabel berikut.

Tabel 4.3 panjang daerah muai rel ( $L_{dm}$ )

Jenis bantalan	Tipe Rel			
	R. 42	R. 50	R. 54	R. 60
Bantalan Kayu	165 m	190 m	200 m	225 m
Bantalan Beton	100 m	115 m	125 m	140 m

Sumber : Peraturan Dinas 10, PJKA, 1986



Gambar 4.6 Penempatan sambungan rel panjang pada jembatan

(Sumber : Peraturan Dinas 10, PJKA, 1986)

### 4.3 Celah

Rel terbuat dari bahan baja. Oleh karena sifat baja dapat memuai dan menyusut, akibat perubahan suhu pada sekelilingnya. Maka sambungan rel harus diperhatikan adanya celah untuk menampung perubahan panjang rel akibat perubahan suhu tersebut. Lebar celah dapat ditentukan dengan rumus :

- a. Untuk rel standar dan rel pendek

$$G = L \cdot \alpha \cdot (40 - t) + 2 \dots\dots\dots(4.5)$$

dengan : G = lebar celah (mm)

$\alpha$  = koefisien muai rel =  $1,2 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$

L = panjang rel (mm)

t = suhu terendah setempat ( $^\circ\text{C}$ )

Untuk keamanan dan kenyamanan agar ujung rel tidak lekas rusak maka

harga  $G < 16$  mm.

b. Rel Panjang

$$G = \frac{A.E.\alpha.t^2}{2.r} + 2 \dots\dots\dots (4.6)$$

dengan :  $G$  = Lebar celah (mm)

$E = 2,1 \times 10^6$  (kg/cm<sup>2</sup>)

$A$  = Luas tampang rel (cm<sup>2</sup>)

$\alpha = 1,2 \times 10^{-5}$  /°C

$t$  = perbedaan suhu setempat (°C)

$r$  = bantalan kayu = 270 (kg/m)

$r$  = bantalan beton = 450 (kg/m)

#### 4.4 Suhu pemasangan

Untuk rel standar dan rel pendek yang panjangnya 50 m ditentukan sebesar 20<sup>0</sup>, yaitu suhu terendah yang pernah diperoleh di daerah Semarang. Sedangkan untuk suhu tertinggi diambil suhu yang menghasilkan besar celah maksimum 16 mm.

Tabel 4.4 Batas suhu pemasangan rel standar dan rel pendek

Panjang Rel (m)	Suhu (°c)	
	Min.	Mak.
75	20	44
50	20	42
75	26	40
100	30	40

Sumber : Peraturan Dinas 10, PJKA, 1986

Tabel 4.5 Batas Suhu Pemasangan Rel Panjang pada Bantalan Beton

Jenis rel	Suhu (°C)	
	Min.	Mak.
R. 42	22	46
R. 50	24	46
R. 54	24	46
R. 60	26	46

Sumber : Peraturan Dinas 10, PJKA, 1986

#### 4.5 Penambat rel

Penambat rel adalah suatu alat untuk menambatkan rel pada bantalan sedemikian rupa sehingga kedudukan rel adalah tetap kokoh dan tidak bergeser.

Alat penambat rel yang digunakan ada beberapa jenis, antara lain penambat kenyal dan penambat kaku. Alat penambat kaku terdiri dari tirepon, mur dan baut. Alat penambat kenyal terdiri dari dua jenis, yaitu penambat elastik tunggal yang terdiri dari pelat andas, pelat jepit, tirepon, mur dan baut. Alat penambat elastik ganda terdiri dari pelat andas, pelat jepit, alas rel, tirepon, mur dan baut.

Pada bantalan beton tidak diperlukan pelat andas, tetapi dalam hal ini tebal alas rel harus disesuaikan dengan kecepatan maksimum.

Penggunaan alat penambat kaku tidak boleh dipakai untuk semua kelas rel. Alat penambat elastik tunggal hanya dipergunakan pada jalan kelas 4 dan 5. Sedangkan alat penambat elastik ganda dapat dipakai pada semua kelas jalan rel, tetapi tidak dianjurkan untuk jalan rel kelas 5.

#### 4.6 Peninggian Rel

Pada tikungan, elevasi rel luar dapat lebih tinggi dari rel dalam untuk mengimbangi gaya lontar keluar yang dialami oleh rangkaian kereta api. Peninggian rel dicapai dengan menempatkan rel dalam pada tinggi semestinya dan rel luar lebih tinggi. Besar peninggian rel dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$h = 5,95 \cdot \frac{V^2}{R} \dots\dots\dots (4.7)$$

dengan : h = ketinggian rel (mm)

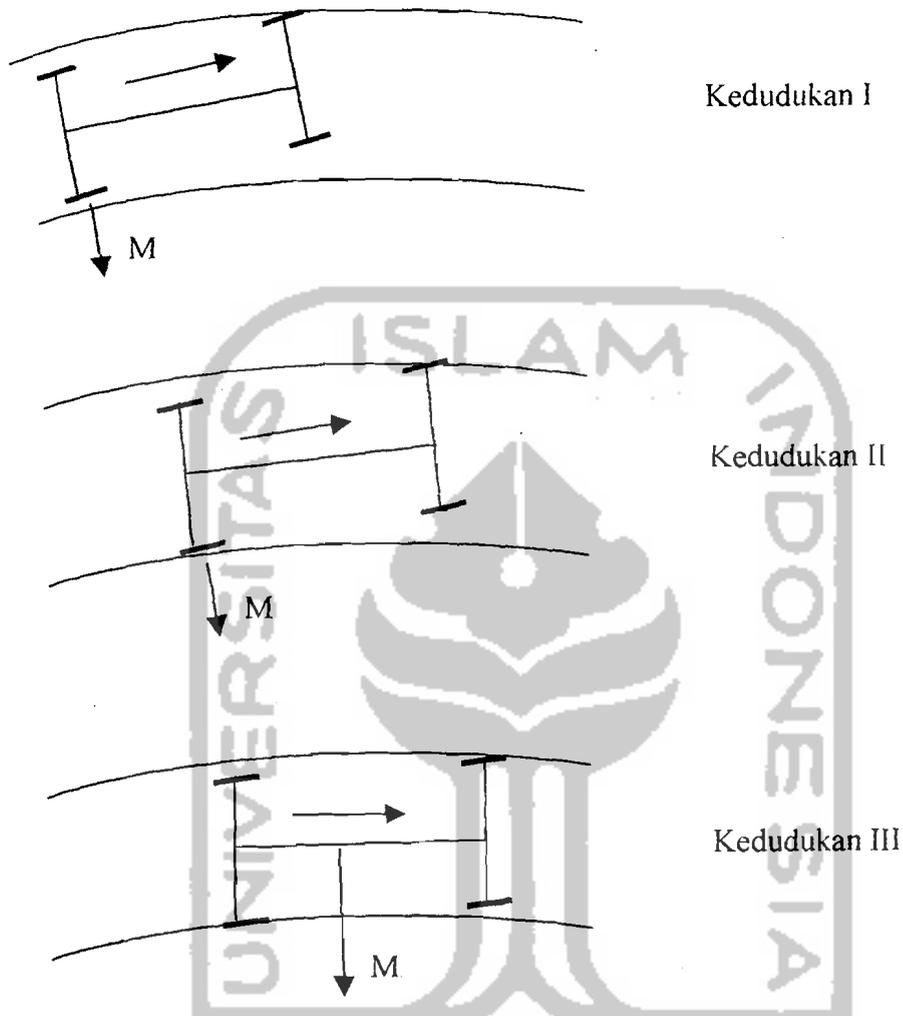
V = kecepatan rencana (km/jam)

R = jari-jari (m)

Peninggian rel dicapai dan dihilangkan secara berangsur-angsur sepanjang lengkung peralihan. Untuk tikungan tanpa lengkung peralihan, peninggian rel dicapai secara berangsur-angsur tepat diluar lengkung lingkaran sepanjang suatu panjang peralihan.

#### 4.7 Pelebaran Sepur

Pada waktu gerbong/loko dengan roda teguh (*rigid wheel*) melalui suatu tikungan, roda sisi terluar (pada rel terluar) akan menekan rel. Karena gandar muka dan gandar belakang kereta api merupakan satu kesatuan, maka gandar belakang berada pada posisi yang sejajar dengan gandar muka. Hal ini memungkinkan tertekannya rel dalam oleh roda belakang. Keadaan ini dapat dijelaskan pada gambar 4.7



Gambar 4.7 Kedudukan roda pada Saat Menikung  
(Sumber : Peraturan Dinas 10, PJKA, 1986)

Keterangan Gambar :

- a. Kedudukan I  
Gandar depan menempel pada rel luar, sedangkan gandar belakang bebas diantara kedua rel.
- b. Kedudukan II  
Gandar depan mencapai rel luar, sedangkan gandar belakang menempel pada rel dalam akan tetapi tidak sampai menekan.
- c. Kedudukan III  
Gandar depan menempel pada rel luar, sedangkan gandar belakang menekan dan menempel pada rel dalam.

Untuk mengurangi gaya tekan akibat terjepitnya roda kereta (kedudukan III), maka perlu diadakan pelebaran sepur agar rel dan roda tidak cepat aus. Pelebaran sepur dilakukan agar roda rel dapat melewati lengkung tanpa mengalami tekanan yang besar dengan menggeser rel dalam ke arah dalam.

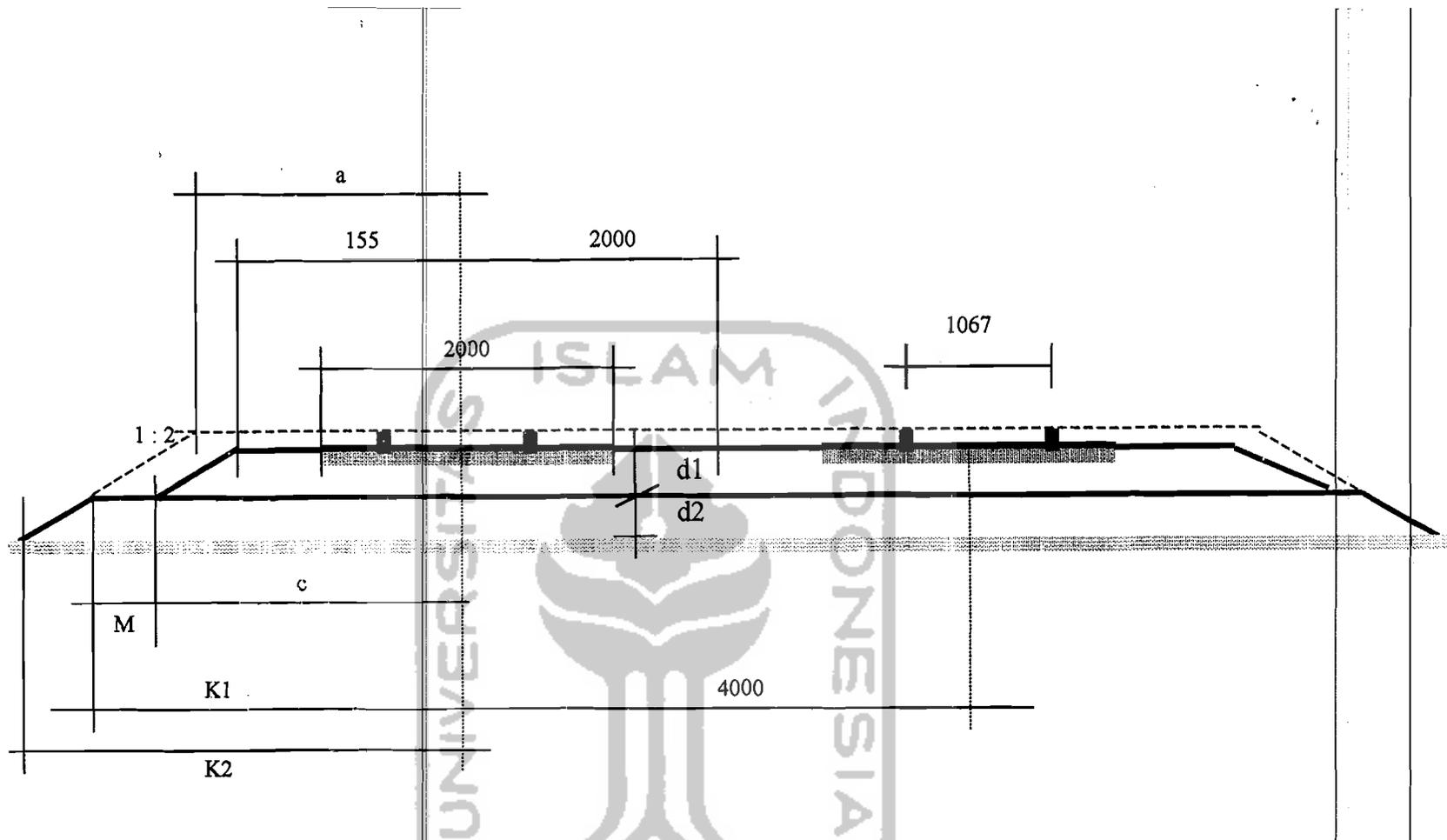
Tabel 4.6 Pelebaran Sepur

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

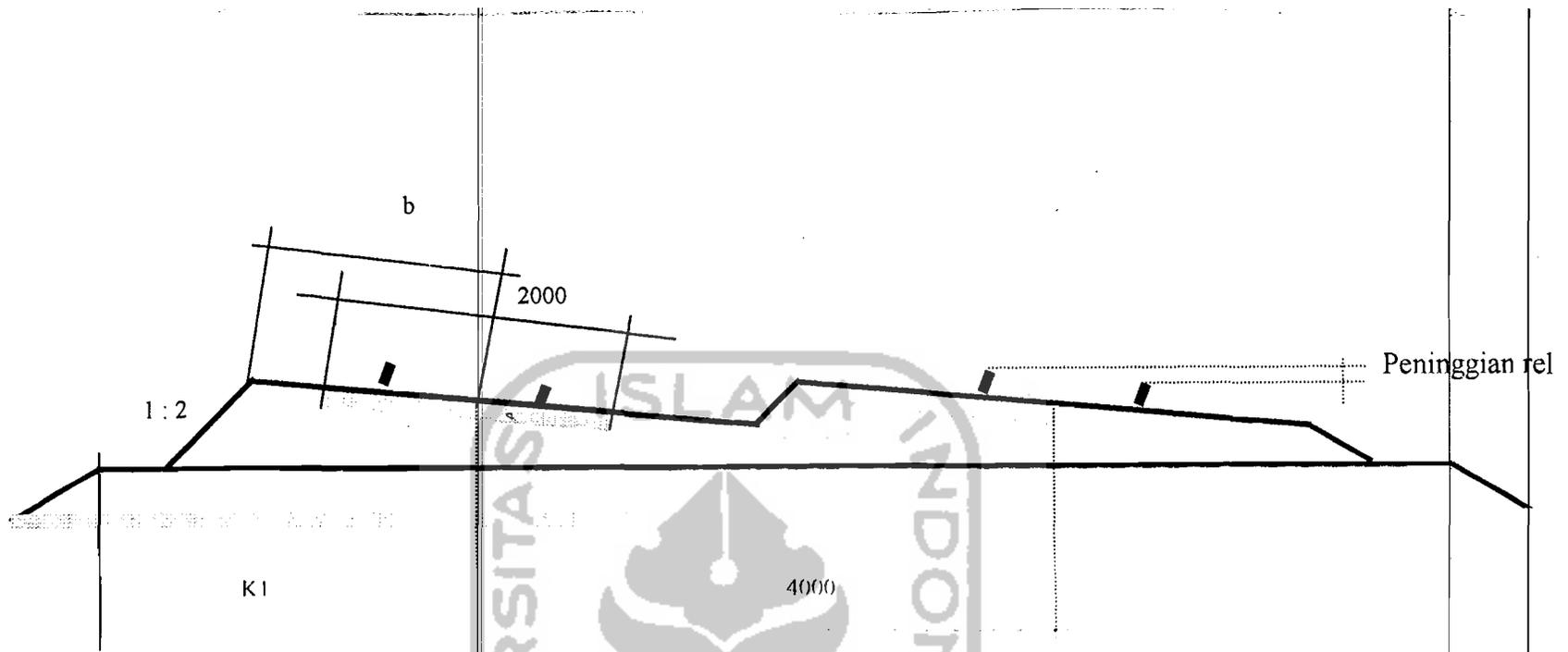
Sumber : Peraturan Dinas 10; P.JKA, 1986

#### 4.8 Ukuran Tubuh Jalan Rel

Secara umum di Peraturan Dinas No. 10, PT KAI, 1986, telah disebutkan ukuran-ukuran dari tubuh jalan rel. Tetapi ukuran-ukuran tersebut tidak bersifat mutlak, apabila dalam perhitungan perencanaan konstruksi ternyata hasil perhitungannya berbeda dengan yang tercantum di Peraturan Dinas 10, PT.KAI, 1986, maka ukuran-ukuran tersebut dapat diganti sesuai dengan hasil perencanaan.



Gambar 4.8 Penampang melintang jalan rel ganda pada jalur lurus



Gambar 4.9 Penampang melintang jalan rel ganda pada tikungan



Tabel 4.7 Penampang melintang jalan rel

Kelas Jalan	V Maks (Km/Jam)	d <sub>1</sub> (cm)	b (cm)	c (cm)	k <sub>1</sub> (cm)	d <sub>2</sub> (cm)	e (cm)	d <sub>2</sub> (cm)	a (cm)
I	120	30	150	225	265-315	15-50	25	275	185-237
II	110	30	150	225	265-315	15-50	25	375	185-237
III	100	30	140	205	240-270	15-25	20	300	170-190
IV	90	25	140	180	240-250	15-36	20	300	270-190
V	80	25	135	180	240-250	15-36	20	300	170-190

## 4.9 Bantalan

Rel-rel dipasang di atas bantalan-bantalan kayu atau di atas bantalan beton dan bantalan besi. Bantalan merupakan prasarana jalan rel yang berfungsi :

1. Untuk meneruskan tekanan-tekanan yang ditimbulkan oleh roda-roda kendaraan pada rel ke alas ballas.
2. Untuk menjamin kedudukan rel-rel supaya lebar sepur jalan baja itu tetap tidak berubah.
3. Untuk menjamin kokohnya kedudukan rel-rel di dalam alas ballas.

Bantalan-bantalan harus keras supaya kuat menahan tekanan-tekanan dan supaya dapat tahan lama. Bantalan dapat terbuat dari bahan kayu, baja ataupun beton. Pemilihan jenis bantalan yang akan dipergunakan di dasarkan pada kelas jalan rel yang sesuai dengan klasifikasi jalan rel di Indonesia.

Menurut klasifikasi jalan rel untuk jalan rel kelas I dengan kecepatan  $V = 120$  km/jam, maka jenis bantalan yang dipergunakan untuk konstruksi jalan rel adalah bantalan beton. Bantalan dapat terbuat dari kayu, baja ataupun beton.

Pemilihan didasarkan pada kelas yang sesuai dengan klasifikasi jalan rel Indonesia.

### 4.9.1 Bantalan Kayu

Bantalan kayu digunakan dalam jalan rel dikarenakan bahan tersebut mudah diperoleh di Indonesia dan mudah pula dibentuk. Yang perlu dilakukan adalah pengawetan harus merata dan sempurna.

Untuk memperpanjang umur bantalan, antara rel dan bantalan harus dipasang pelat andas. Geometri bantalan kayu yang dipakai pada saat ini, yaitu :

a. Bantalan jalur lurus : 200 x 22 x 13 cm( PT.KAI)

210 x 22 x 14 cm (JNR)

b. Bantalan Jembatan : 180 x 22 x 18 cm atau

180 x 22 x 24 cm

Adapun jenis kayu yang dapat dipakai adalah :

- a. Kayu besi
- b. Kayu jati
- c. Kayu yang digolongkan dalam PKKI, termasuk kelas I atau kelas II dan yang biasa dipakai oleh PT.KAI.

Bantalan kayu pada bagian tengah maupun bagian bawah rel, harus mampu menahan momen maksimum sebesar yang terlihat pada tabel 4.7 berikut ini:

Tabel 4.7 Momen Maksimum pada Kelas Kayu

Kelas Kayu	Momen Maksimum (Kg.m)
I	800
II	530

Sumber : Peraturan Dinas 10, PJKA, 1986

#### 4.9.2 Bantalan Baja

Bantalan baja dipergunakan karena lebih ringan, sehingga memudahkan pengangkutan. Selain itu jika dilihat dari penampang melintangnya kurang baik karena stabilitas lateral dan axialnya didapat dari konstruksi cengkramannya, karena berat sendiri yang kecil ( 47,1 kg) dan gesekan antara dasar bantalan dan balas juga kecil.

Bantalan terbuat dari bahan baja, gunanya adalah untuk menghindari retak-retak yang timbul (pasti terdapat) pada bantalan beton dan kayu. Pada bantalan baja hal ini tidak terlihat karena elastisitas lebih besar. Perencanaan

Bantalan terbuat dari bahan baja, gunanya adalah untuk menghindari retak-retak yang timbul (pasti terdapat) pada bantalan beton dan kayu. Pada bantalan baja hal ini tidak terlihat karena elastisitas lebih besar. Perencanaan dimensi bantalan, sepenuhnya memakai teori tegangan lentur,  $\sigma = \frac{M.Y}{I_x}$ . Momen dihitung dengan teori balok sehingga di atas peletakan elastis. Momen maksimum yang dapat dipikul, dihitung berdasarkan tegangan ijin baja = 1600 kg/cm<sup>2</sup> dan momen tahanan bantalan baja yang dipakai di PT.KAI = 40,6 cm<sup>3</sup>.

#### 4.9.3 Bantalan Beton Pratekan Blok tunggal dengan Proses Posttension

Pada jalur yang lurus, bantalan beton pra-tegang mempunyai ukuran panjang yang ditentukan dengan persamaan :

$$L = l + 2 \cdot \gamma \dots \dots \dots (4.8)$$

dengan : l = lebar sepur (mm)

$\gamma$  = panjang daerah regularisasi tegangan, yang tergantung jenis angker yang dipakai.

Mutu campuran beton yang disyaratkan, harus mempunyai kuat tekan karakteristik tidak kurang dari 500 kg/cm<sup>2</sup>, mutu baja untuk tulangan geser tidak kurang dari U-24 dan mutu baja prategang ditetapkan dengan tegangan putus minimum sebesar 17.000 kg/cm<sup>2</sup>.

Bantalan beton pratekan dengan *posttension* harus mampu memikul momen minimum seperti terlihat pada tabel 4.8 berikut ini :

Tabel 4.8 Momen Minimum pada Beton *Posttension*

Bagian	Momen (kg.M)
Bawah Rel	+ 1500
Tengah bantalan	- 765

Sumber : Peraturan Dinas 10, PJKA, 1986

#### 4.9.4 Bantalan Beton Pratekan Blok Tunggal dengan Proses Pretension

Pada jalur yang lurus, bantalan beton prategang (pra-tarik) mempunyai ukuran panjang sesuai dengan persamaan :

$$L = 1 + 2 \cdot \alpha \cdot \phi \dots\dots\dots(4.9)$$

dengan : 1 = lebar sepur (mm)

$\phi$  = diameter kabel pra-tekan

$\alpha$  = 80 sampai 160

Mutu campuran beton yang disyaratkan, harus mempunyai kuat tekan karakteristik tidak kurang dari 500 kg/cm<sup>2</sup>, mutu baja untuk tulangan geser tidak kurang dari U – 24 dan mutu baja untuk pra-tegang ditetapkan dengan tegangan leleh minimum sebesar 17000 kg/cm<sup>2</sup>.

Bantalan beton pratekan dengan proses *Pretension* harus mampu memikul momen minimum sebesar seperti terlihat pada tabel 4.9 berikut ini :

Tabel 4.9 Momen Minimum pada *Pretension*

Bagian	Momen (kg.M)
Bawah Rel	+ 1500
Tengah bantalan	- 765

Sumber : Peraturan Dinas 10, PJKA, 1986

#### 4.10 Balas

Fungsi utama dari balas adalah untuk :

1. Meneruskan dan menyebarkan beban bantalan ke tanah dasar
2. Mengokohkan kedudukan bantalan rel
3. melososkan air sehingga tidak terjadi penggenangan air di sekitar bantalan rel

Untuk menghemat biaya pembuatan jalan rel, maka lapisan balas biasanya dibagi menjadi dua bagian yaitu lapisan balas atas dan lapisan balas bawah. Kedua lapisan ini dibuat dengan kualitas material yang berbeda, balas atas dibuat dengan material yang lebih baik dibandingkan balas bawah.

##### 4.10.1 Lapisan Balas Atas

Lapisan balas atas terdiri dari batu pecah yang keras dan tahan lama serta bersudut tajam. Subtansi yang merugikan tidak boleh terdapat dalam material balas melebihi prosentase tertentu.

Jumlah tersebut adalah :

- a. Material yang lunak dan mudah pecah < 3 %
- b. Material yang melalui ayakan no.200 < 1 %
- c. Gumpalan-gumpalan lempung < 0,5 %

Tabel 4.10 Gradasi Balas Atas

Ukuran Nominal	% Lolos Saringan								
	3 "	2,5"	2"	1,5"	¾"	½"	3/8"	No 4	No 8
2,5"-3/4"	100	90-100	25-60	25-60	-	0-10	-	-	-
2"-1"	-	100	95-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-
1,5"-3/4"	-	-	100	90-100	20-15	0-15	-	0-5	-

Sumber : syarat bahan dan spesifikasi rencana kerja PT KAI (Persero)

Untuk kelas jalan I dan II dipakai ukuran nominal 2,5"-3/4", untuk kelas III dan IV dipakai ukuran 2"-1". Jarak dari sumbu jalan rel ke tepi atas lapisan balas bagian atas adalah dengan rumus :

$$b > 0,5.L + X \dots \dots \dots (4.10)$$

dengan : L = panjang bantalan (cm)

X = 50 cm untuk kelas I dan II

40 cm untuk kelas III dan IV

30 cm untuk kelas V

Kemiringan lereng lapisan balas atas tidak boleh lebih curam dari 1 : 2. kemiringan ini berlaku jika material balas memenuhi syarat bahan pada tabel 3.1. material balas harus dihamparkan sehingga mencapai elevasi yang sama dengan elevasi bantalan.

#### 4.10.2 Lapisan Balas Bawah (Sub Base)

Lapisan bawah terdiri atas kerikil halus, kerikil sedang, atau pasir kasar yang memenuhi spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 4.11 Gradasi Lapisan Balas Bawah

Ukuran Saringan	2"	1"	3/8"	No 10	No 40	No 200
% lolos saringan	100	95	67	38	21	7
Daerah yang diperbolehkan (%lolos)	100	90-100	50-84	26-50	12-30	0-10

Sumber : syarat bahan dan spesifikasi rencana kerja PT KAI (Persero)

Lapisan ini berfungsi sebagai penyaring/filter antara tanah dasar dan lapisan balas atas dan harus dapat mengalirkan air dengan baik. Ukuran terkecil dari tebal lapisan balas bawah  $d_2$ , dihitung dengan persamaan :

$$d_2 = d - d_1 \geq 15 \text{ cm} \dots \dots \dots (4.11)$$

dengan d dihitung dengan persamaan :

$$d = 1,35 \sqrt{\left( \frac{5,8 \cdot \tau_1}{\tau_2} - 10 \right)} \dots \dots \dots (4.12)$$

$\delta_1$  dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\delta_1 = \frac{P\tau}{2b} \frac{1}{(\sin \tau_1 + \sinh \tau_2)} (2 \cosh^2 \tau a) (\cos 2\tau c + \cosh \tau l) +$$

$$2 \cos^2 \tau a [ (\cosh 2\tau c + \cos \tau l + \sinh 2\tau a (\sinh 2\tau c - \sinh \tau l) - \sin 2\tau a$$

$$(\sinh 2\tau c - \sinh \tau l) ] \dots \dots \dots (4.13)$$

dengan :

$$P = Pr \cdot (1 + \alpha) (K\%) \dots \dots \dots (4.14)$$

Pr = beban roda yang diterima satu bantalan

$\alpha$  = faktor kejut

$$= 0,01 \left( \frac{v}{1,6} - 5 \right) \dots \dots \dots (4.15)$$

v = kecepatan rencana (km/jam)

$$\tau = \sqrt[4]{\frac{K}{4EI}} \dots \dots \dots (4.16)$$

$$K = b \times ke \dots \dots \dots (4.17)$$

b = lebar bantalan (cm)

ke = koefisien modulus reaksi dari balas ( $\text{kg/cm}^3$ )

EI = kekakuan lentur bantalan ( $\text{kgcm}^2$ )

l = panjang bantalan (cm)

a = jarak dari rel ke tepi bantalan (cm)

c =  $\frac{1}{2}$  jarak antara rel pada track (cm)

Dari kedua persamaan, kedalaman balas terbesar yang digunakan sebagai standar perhitungan.

Jarak dari sumbu jalan ke tepi atas lapisan balas bawah dihitung dengan

a. pada sepur lurus

$$k_1 \geq b + 2.d_1 + M \dots \dots \dots (4.18)$$

b. pada sepur tikungan

$$k_1 \cdot l = k_1 \dots \dots \dots (4.19)$$

$$k_1 \cdot l = b + 2.d_1 + M + 2 \cdot l \dots \dots \dots (4.20)$$

$$l = \left( b + \frac{w}{2} \right) \left( \frac{h}{w} \right) + t \dots \dots \dots (4.21)$$

dengan : w = lebar sepur

t = tebal bantalan

h = peninggian rel

harga M (lihat gambar 4.8) minimal 40 cm, agar lereng balas atas lebih terjamin

kestabilannya. Bila disediakan untuk pejalan kaki, maka harga M sebaiknya

diambil 90 cm.

#### 4.11 Sub grade

Pada *sub grade*, tegangan yang terjadi dapat dihitung dengan rumus :

$$\sigma_2 = \frac{58.\sigma_1}{(10 + d)^{1,35}} \dots \dots \dots (4.22)$$

dengan :

$d$  = tebal lapisan balas total (cm)

$\sigma_1$  = tekanan tepat di bawah bantalan ( $\text{kg/cm}^2$ )

$\sigma_2$  = tekanan subgrade ( $\text{kg/cm}^2$ )

#### 4.11.1 Daya dukung sub grade

Untuk menahan beban tubuh jalan rel itu sendiri dan beban lalu lintas kereta api, maka subgrade harus mempunyai daya dukung yang cukup. Untuk tanah dasar timbunan maka CBR minimum adalah 8%, untuk dasar galian atau tanah asli 40%, sedangkan untuk tanah batuan 60%. Dan tebal tanah dasar tersebut adalah 30 cm.

#### 4.12 Drainasi

Drainasi diperlukan untuk mengalirkan air agar tidak merusak tubuh jalan rel, seperti halnya drainasi pada konstruksi jalan raya. Ukuran penampang dapat ditentukan dengan :

$$Q_2 > 1,2 \cdot Q_1 \dots\dots\dots(4.23)$$

Kemudian :

$$Q_2 = V_2 \cdot A_2 \dots\dots\dots (4.24)$$

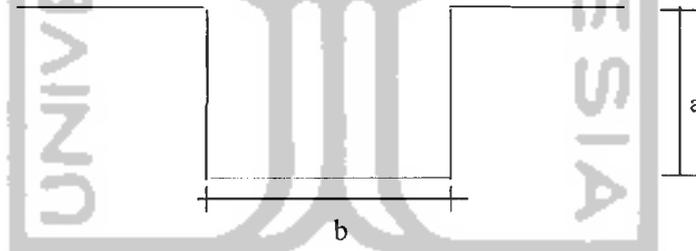
$$V_2 = \frac{1}{n} \cdot R_2^{2/3} \cdot i_2^{1/2} \dots\dots\dots(4.25)$$

$$R_2 = \frac{A_2}{P_2} \dots\dots\dots(4.26)$$

dengan :

- $Q_1$  = debit air yang dibuang (m<sup>3</sup>/det)  
 $Q_2$  = debit rencana saluran (m<sup>3</sup>/det)  
 $V_2$  = kecepatan aliran rencana dalam saluran (m/det)  
 $R_2$  = jari-jari hidrolik saluran rencana (m)  
 $A_2$  = luas penampang basah saluran rencana (m<sup>2</sup>)  
 $P_2$  = keliling basah saluran rencana (m)  
 $i_2$  = kemiringan muka aliran air dalam saluran rencana  
 $n$  = koefisiensi kekasaran saluran rencana

Dimensi saluran harus dapat menampung dan mengalirkan debit air yang ditampung, serta tidak menimbulkan genangan pada balas.



Gambar 4.8 Penampang Drainasi