

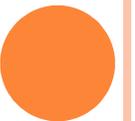
Kuliah ke – 1

**JALAN KERETA API
SECARA UMUM**

KERETA API

adalah sarana transportasi berupa kendaraan dengan tenaga gerak, baik berjalan sendiri maupun dirangkaikan dengan kendaraan lainnya, yang akan ataupun sedang bergerak di rel.

Kereta api merupakan alat transportasi massal yang umumnya terdiri dari lokomotif (kendaraan dengan tenaga gerak yang berjalan sendiri) dan rangkaian kereta atau gerbong (dirangkaikan dengan kendaraan lainnya).



PETA RENCANA PERKERETAAPIAN NASIONAL



KLASIFIKASI KERETA API BERDASARKAN PROPULSI (TENAGA PENGGERAK)

1. Kereta Api Uap

Merupakan cikal bakal mesin kereta api. Uap yang dihasilkan dari pemanasan air yang terletak di ketel uap digunakan untuk menggerakkan torak atau turbin kemudian disalurkan ke roda.

2. Kereta Diesel Mekanis

Menggunakan mesin diesel sebagai sumber tenaga yang kemudian ditransfer ke roda melalui transmisi mekanis. Lokomotif ini biasanya bertenaga kecil dan sangat jarang digunakan karena keterbatasan kemampuan dari transmisi mekanis untuk dapat mentransfer daya.



3. Kereta Diesel Elektrik

Merupakan lokomotif yang paling banyak populasinya. Mesin diesel dipakai untuk memutar generator agar mendapatkan energi listrik. Listrik tersebut dipakai untuk menggerakkan motor listrik besar yang langsung menggerakkan roda.

4. Kereta Diesel Hidrolik

Lokomotif ini menggunakan tenaga mesin diesel untuk memompa oli dan selanjutnya disalurkan ke perangkat hidrolik untuk menggerakkan roda. Lokomotif ini tidak sepopuler lokomotif diesel elektrik karena perawatan dan kemungkinan terjadi problem sangat tinggi.

5. Kereta Rel Listrik

Prinsip kerjanya hampir sama dengan lokomotif diesel elektrik, tapi tidak menghasilkan listrik sendiri. Jangkauan lokomotif ini terbatas hanya pada jalur yang tersedia jaringan transmisi listrik penyuplai tenaga.



CC 204

Lokomotif CC 204 adalah salah satu jenis lokomotif yang dibuat khusus di Indonesia.

Lokomotif ini terbagi menjadi dua jenis, yaitu CC204 produksi pertama yg bentuknya seperti CC201, dan CC204 produksi kedua yang bentuknya seperti CC203.



KRL

Kereta ini menggunakan tenaga listrik dengan sistem DC. Memiliki daya mesin 206kW dengan kecepatan maksimum 90 km/jam.

KLASIFIKASI KERETA API BERDASARKAN REL

1. Kereta Api Rel Konvensional

Menggunakan rel yang terdiri dari dua batang besi yang diletakan di bantalan. Pada daerah tertentu yang memiliki tingkat ketinggian curam, digunakan rel bergerigi yang diletakkan di tengah tengah rel dengan menggunakan lokomotif khusus.

2. Kereta Api Monorel

Rel kereta ini hanya terdiri dari satu batang besi. Letak kereta api didesain menggantung pada rel atau di atas rel. Karena efisien, biasanya digunakan sebagai alat transportasi kota khususnya di kota-kota metropolitan dunia. 



<http://matanews.com/2009/05/19/perawatan-rel/>



Rel Konvensional

Monorel



<http://www.kaskus.co.id/showthread.php?p=388060325>

	Rel Konvensional	Monorel
Kecepatan Operasi	Terdapat konflik dengan lalu lintas kendaraan, kecepatan rata ² 30-50 km/jam	Terletak diatas lalu lintas kendaraan, kecepatan rata ² 50-70 km/jam
Kebutuhan Lahan	Mebutuhkan lebar lahan yang cukup untuk dua arah rel dengan drainase	Pilar monorel dapat ditempatkan pada lahan sempit seperti median jalan
Kebisingan	Roda besi pada kereta menimbulkan kebisingan yang cukup mengganggu	Roda karet pada monorel dapat mengurangi polusi kebisingan
Keamanan	Setiap tahun tercatat kecelakaan baik itu melibatkan kendaraan maupun manusia	Menjadi alternatif peningkatan keamanan karena tidak bersinggungan langsung dengan lalu lintas
Biaya	Mebutuhkan biaya tinggi untuk pengerjaan terowongan dan pembebasan lahan	Tidak membutuhkan terowongan dan hanya sedikit untuk pembebasan lahan

KLASIFIKASI KERETA API BERDASARKAN POSISI/LETAK

1. Kereta Api Permukaan (*surface*)

Kereta api permukaan berjalan di atas permukaan tanah. Biaya pembangunan kereta permukaan adalah yang termurah dan umum digunakan di berbagai negara.

2. Kereta Api Layang (*elevated*)

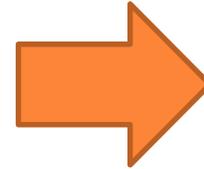
Kereta api layang berjalan diatas tanah pada ketinggian tertentu dengan bantuan tiang/pilar. Hal ini untuk menghindari persilangan sebidang agar tidak memerlukan pintu perlintasan kereta api.

3. Kereta Api Bawah Tanah (*subway*)

Kereta api bawah tanah adalah kereta api yang berjalan di bawah permukaan tanah. Biaya yang dikeluarkan sangat mahal sekali, karena sering menembus 20m di bawah permukaan tanah, sungai, bangunan maupun jalan.

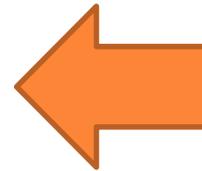


<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=422772>



Surface Railway

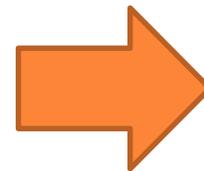
Elevated Railway



<http://www.thehindu.com/news/cities/Delhi/article75937.ece>



<http://news.biharprabha.com/2012/06/pune-to-get-metro-trains-by-2015/>

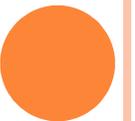


Subway Railway

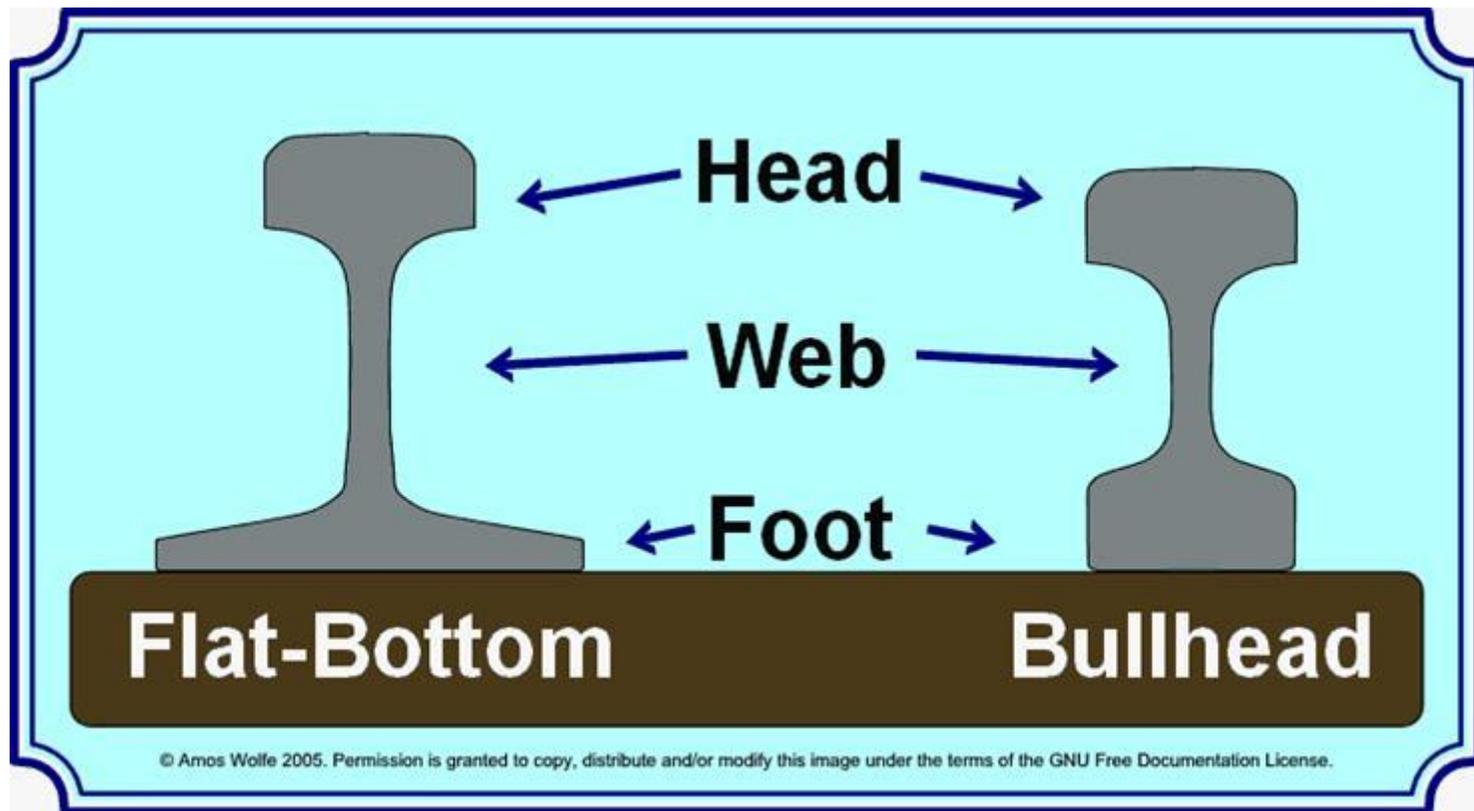


KELAS JALAN REL

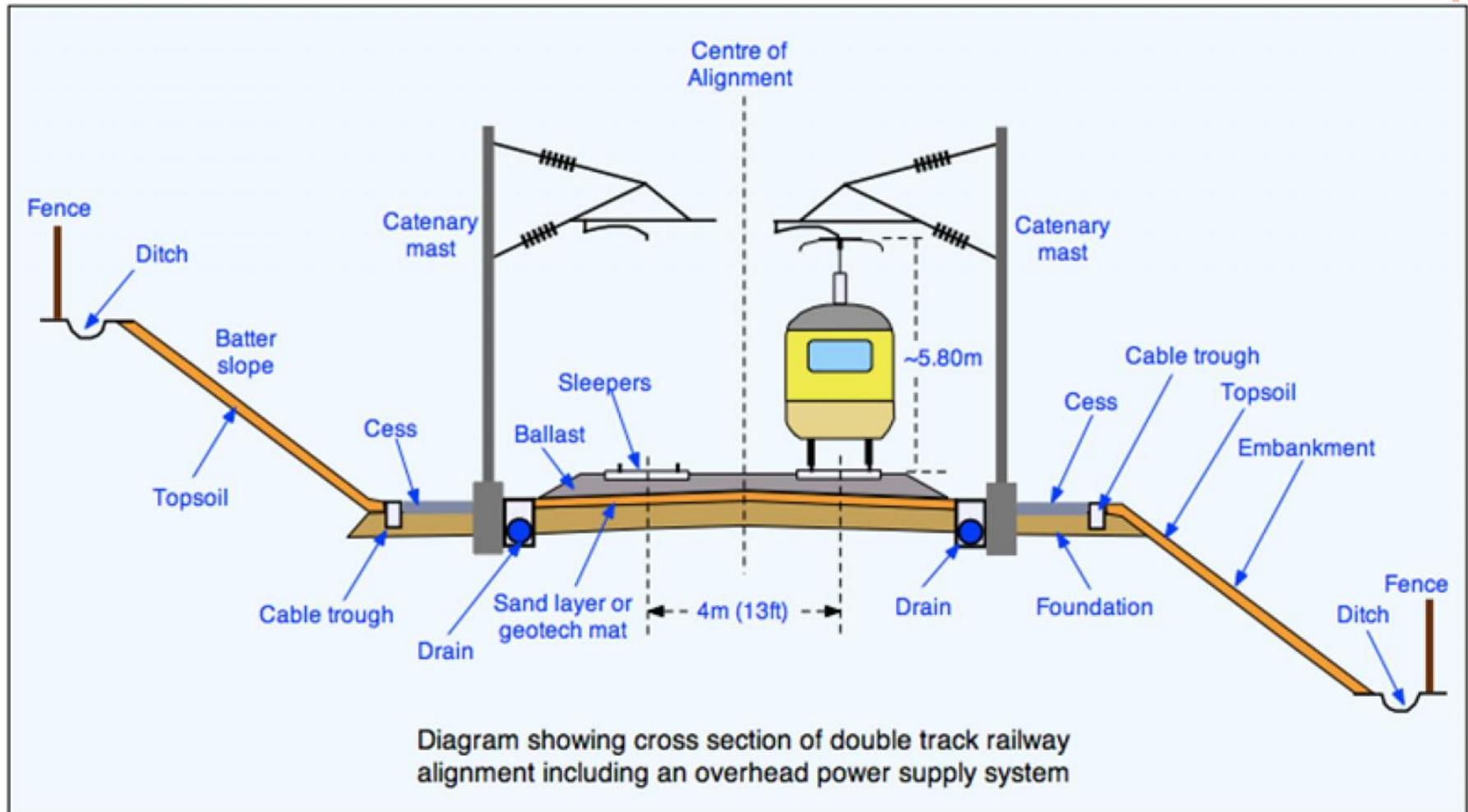
Kelas I Daya Angkut (ton/tahun)	$> 20 \times 10^6$
Kelas II, Daya angkut (ton/tahun)	$= 10 \times 10^6 - 20 \times 10^6$
Kelas III, Daya angkut (ton/tahun)	$= 5 \times 10^6 - 10 \times 10^6$
Kelas IV, Daya angkut (ton/tahun)	$= 2,5 \times 10^6 - 5 \times 10^6$
Kelas V, Daya angkut (ton/tahun)	$< 2,5 \times 10^6$



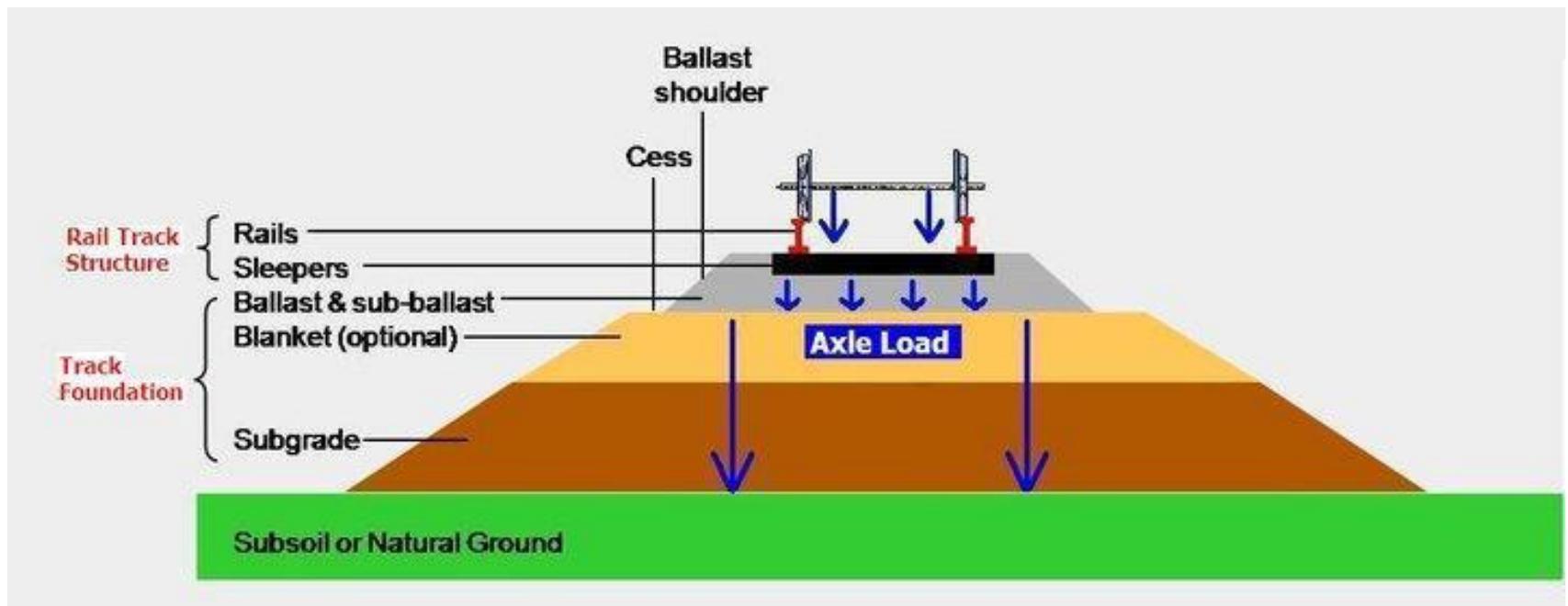
TIPIKAL REL KERETA API



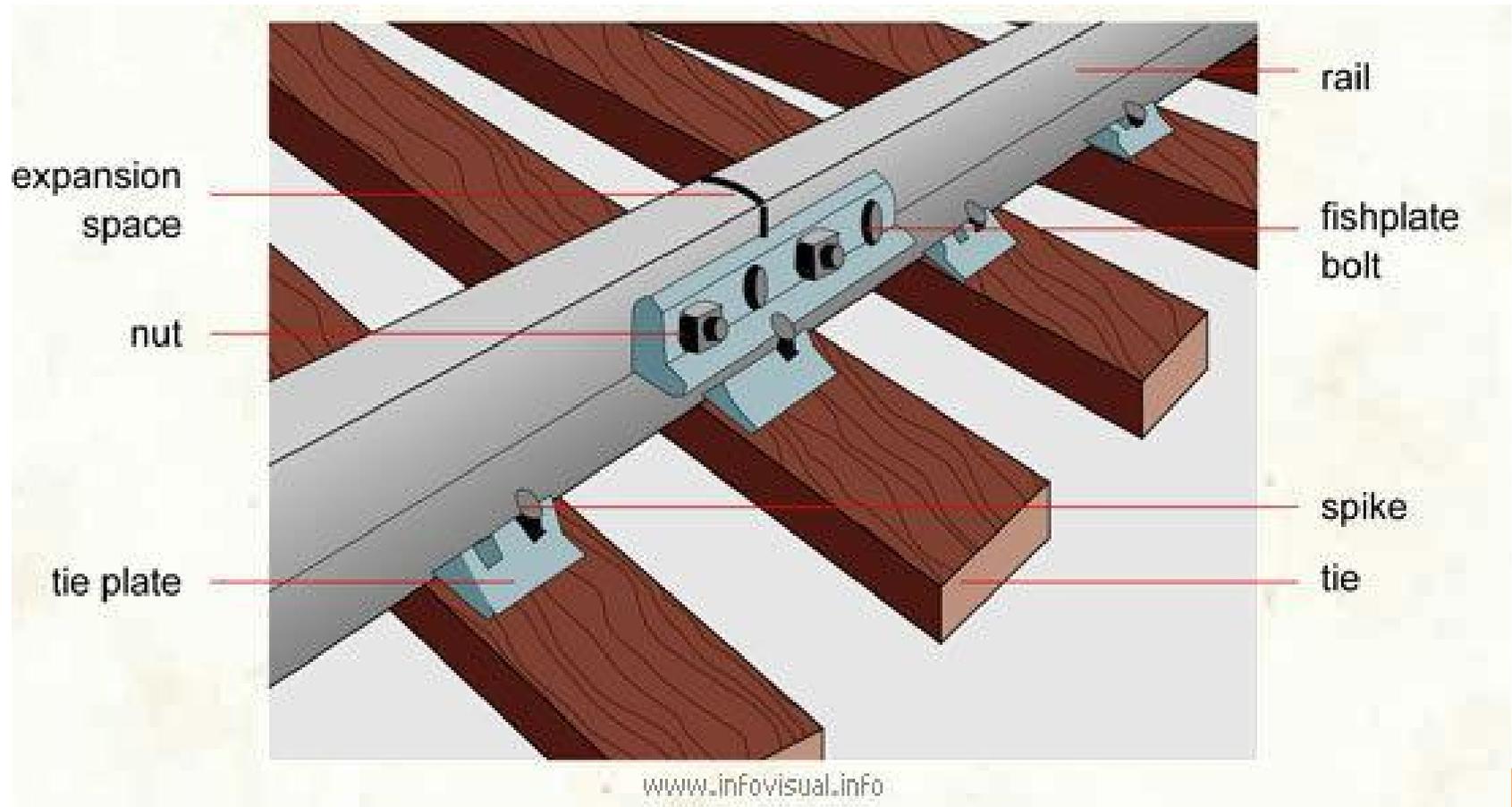
RUANG BANGUN KERETA API



STRUKTUR JALAN REL



KOMPONEN REL



KECEPATAN DAN BEBAN GANDAR

KECEPATAN RENCANA

a) Untuk perencanaan struktur jalan rel

$$V_{rencana} = 1.25 \times V_{maks}$$

b) Untuk perencanaan peninggian

$$V_{rencana} = c \times \frac{\sum N_i \times V_i}{\sum N_i}$$

$$c = 1.25$$

N_i = Jumlah kereta api yang lewat

V_i = Kecepatan operasi

c) Untuk perencanaan jari-jari lengkung lingkaran dan lengkung peralihan

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



KETENTUAN KECEPATAN... *lanjutan*

Kecepatan Maksimum

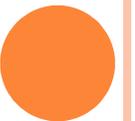
Kecepatan maksimum adalah kecepatan tertinggi yang diijinkan untuk operasi suatu rangkaian kereta pada lintas tertentu.

Kecepatan Operasi

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

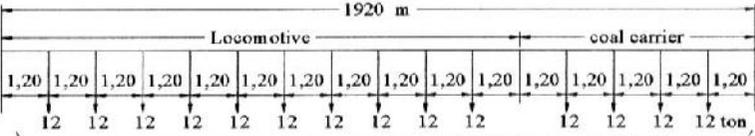
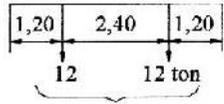
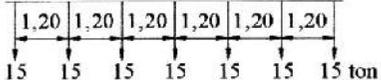
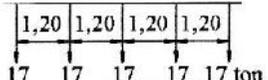
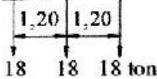
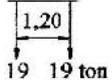
Kecepatan Komersil

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



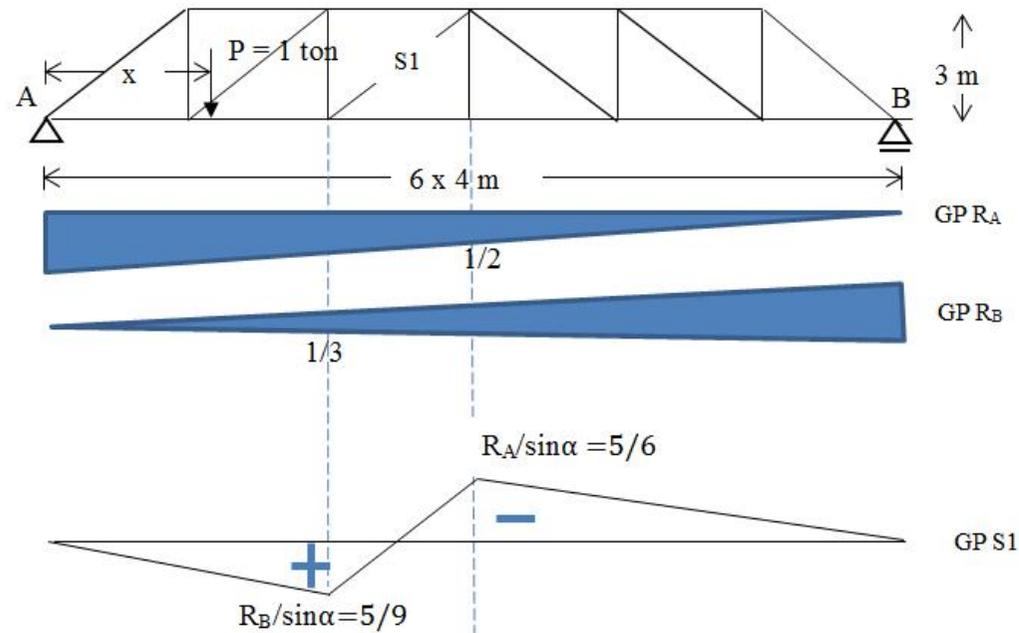
Beban Gandar

Beban gandar adalah beban yang diterima oleh jalan rel dari satu gandar.

NUMBER OF AXLES	LOADING SCHEME RM 1921
<p>> 8 AXLES Total Load 168 ton or 8.75 ton/m¹</p>	
<p>USING THE WAGON WITH NO CERTAIN VALUES Total Load= 24 ton or 5 ton/m¹</p>	
<p>6 OR 7 AXLES</p>	
<p>4 OR 5 AXLES</p>	
<p>3 AXLES</p>	
<p>2 AXLES</p>	
<p>1 AXLES</p>	

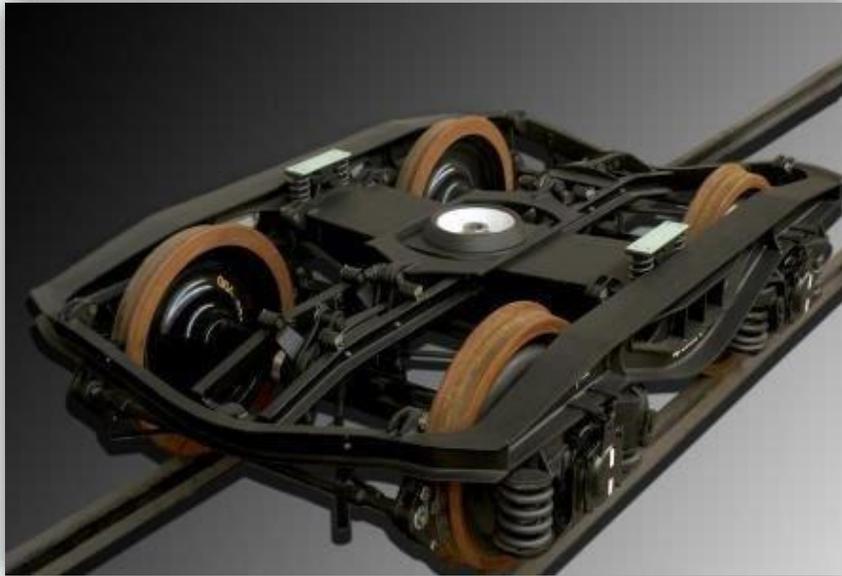


CONTOH APLIKASI BEBAN GANDAR YANG BEKERJA PADA JEMBATAN: RANGKA BATANG



Langkah perhitungan gaya batang::

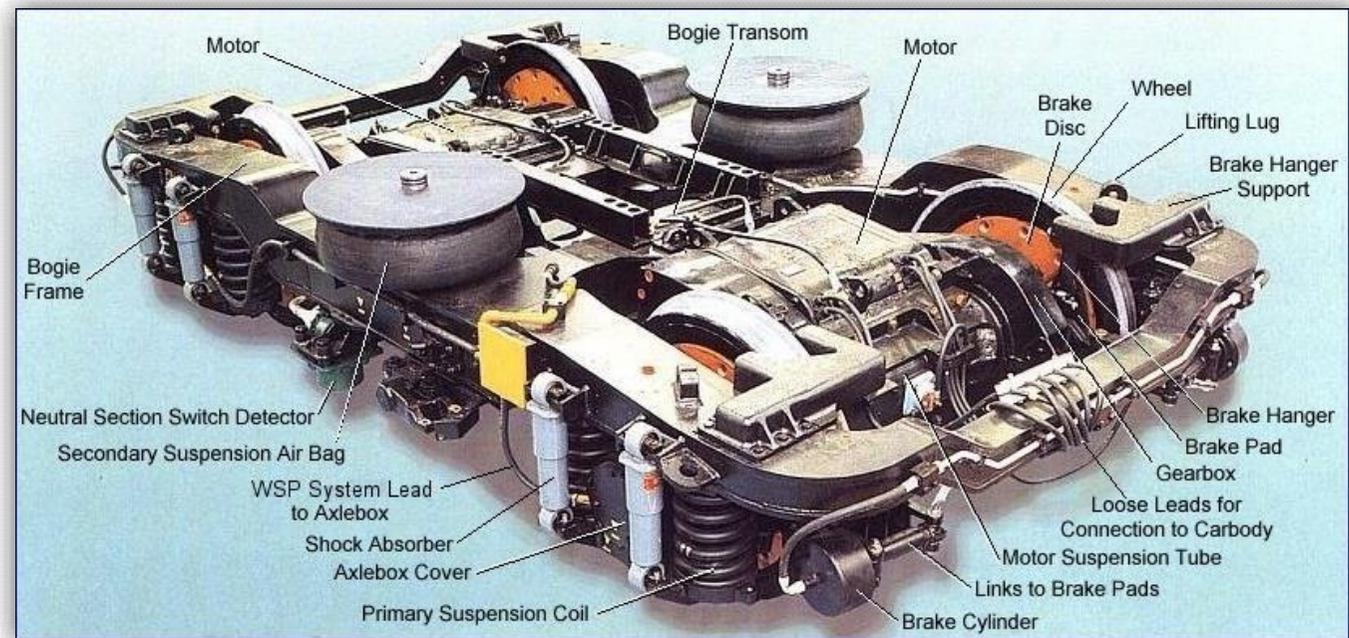
1. Hitung dan gambar diagram garis pengaruh (GP) batang S1
2. Gaya batang S1 maksimum diperoleh dengan meletakkan rangkaian gaya yang sesuai diatas diagram yang positif (+), gaya S1 maksimum = gaya terpusat x ordinat (+)
3. Gaya batang S2 minimum diperoleh dengan meletakkan rangkaian gaya yang sesuai diatas diagram yang negatif (-), gaya S1 minimum = gaya terpusat x ordinat (-)



<http://www.starmans.net/en/magnetic-particle-testing-of-railway-wheels.html>



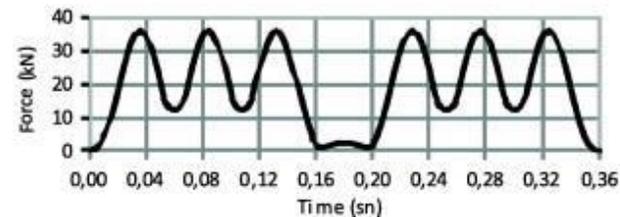
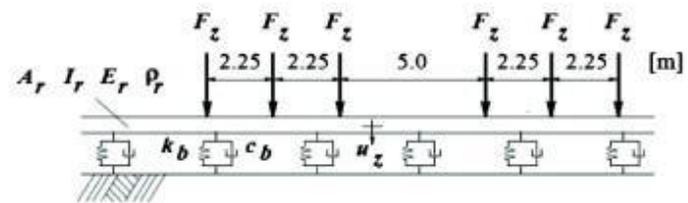
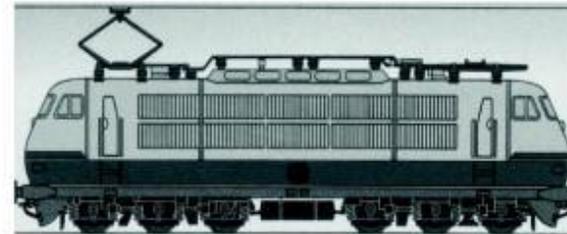
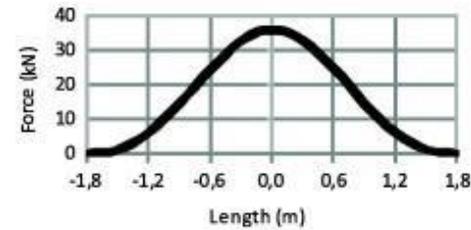
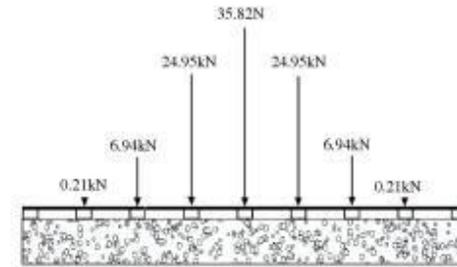
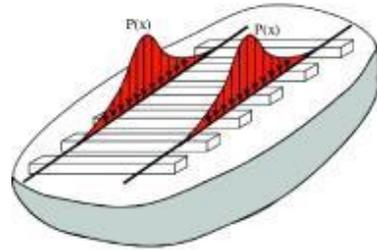
http://www.inka.co.id/?page_id=1586



<http://www.railway-technical.com/bogie1.shtml>



BEBAN KERETA BEKERJA PADA REL



STANDAR JALAN REL

Klasifikasi jalan rel menurut daya angkut lintas, kecepatan maksimum, beban gandar dan ketentuan lainnya di Indonesia

Klasifikasi Jalan KA	Passing Ton Tahunan (Juta Ton)	Perencanaan Kecepatan KA Maksimum V_{maks} (km/jam)	Tekanan Gandar P_{maks} (ton)	Tipe Rel	<u>Tipe dari Bantalan Jarak Bantalan (mm)</u>	Tipe Alat Penambat
1	> 20	120	18	R60/R54	<i>Beton</i> 600	EG
2	10 – 20	110	18	R54/R50	<u><i>Beton/ Kayu</i></u> 600	EG
3	5 – 10	100	18	R54/R50/ R42	<u><i>Beton/ Kayu/ Baja</i></u> 600	EG
4	2,5 – 5	90	18	R54/R50/ R42	<u><i>Beton/ Kayu/ Baja</i></u> 600	EG/ET
5	< 2,5	80	18	R42	<u><i>Kayu/ Baja</i></u> 600	ET

EG = Elastik Ganda
ET = Elastik Tunggal

PENGGOLONGAN JENIS MENURUT LEBAR SEPUR

Lebar sepur merupakan jarak terkecil diantara kedua sisi kepala rel, diukur pada daerah 0-14 mm di bawah permukaan teratas kepala rel.

Jenis Sepur	Lebar Sepur (mm)	Persentase di Dunia (%)	Negara Pengguna
Standard	1435	57	US, Canada, Europe, China
CIS/Russia n	1525	18	Russia, Ukraine, Kazakhstan
Cape	1067	9	South Africa, Indonesia, Japan
Meter	1000	8	Brazil, India, Argentina
Indian	1676	6	India, Pakistan, Chile
Iberian	1668	1	Portugal, Spain
Irish	1600	1	Ireland, Australia

PENGGOLONGAN JALAN REL MENURUT JUMLAH JALUR

- Jalur Tunggal : Jumlah jalur di lintas bebas hanya satu, diperuntukkan untuk melayani arus lalu lintas angkutan jalan rel dari 2 arah

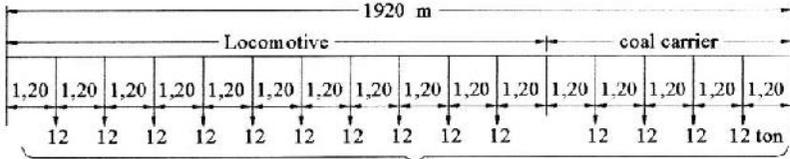
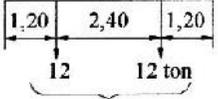
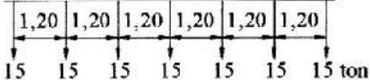
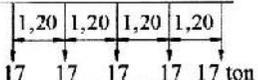


- **Jalur Ganda :** Jumlah jalur di lintas bebas > 1 (2 arah) dimana masing-masing jalur hanya diperuntukkan untuk melayani arus lalu lintas angkutan dari 1 arah.



BEBAN GANDAR

Beban gandar adalah beban yang diterima oleh jalan rel dari satu gandar.

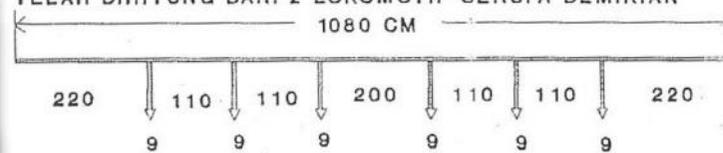
NUMBER OF AXLES	LOADING SCHEME RM 1921
<p>> 8 AXLES Total Load 168 ton or 8.75 ton/m¹</p>	
<p>USING THE WAGON WITH NO CERTAIN VALUES Total Load= 24 ton or 5 ton/m¹</p>	
<p>6 OR 7 AXLES</p>	
<p>4 OR 5 AXLES</p>	
<p>3 AXLES</p>	
<p>2 AXLES</p>	
<p>1 AXLES</p>	



RENCANA MUATAN 1907 PRIMER

MUATAN GERAK

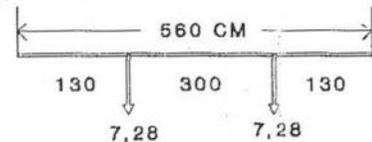
SEBAGAI MUATAN GERAK YANG MANA JEMBATAN-JEMBATAN YANG SEMULA TELAH DIHITUNG DARI 2 LOKOMOTIF SERUPA DEMIKIAN



JUMLAH 54 TON ATAU 5 TON/M

DENGAN KERETA/GEROBAK YANG BANYAKNYA TIDAK TENTU SERUPA DEMIKIAN.

KERETA/GEROBAK

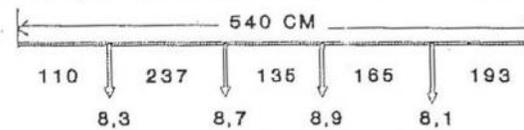


JUMLAH 14,58 TON ATAU 2,60 TON/M

RENCANA MUATAN 1907 SEKUNDER

MUATAN GERAK

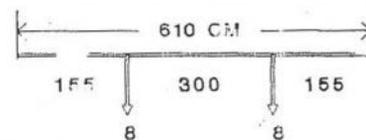
SEBAGAI MUATAN GERAK SEBAGAI MANA JEMBATAN-JEMBATAN YANG SEMULA TELAH DIHITUNG DARI 2 LOKOMOTIF SERUPA DEMIKIAN



JUMLAH 34 TON ATAU 4,05 TON/M

DENGAN KERETA/GEROBAK YANG BANYAKNYA TIDAK TERTENTU SERUPA DEMIKIAN

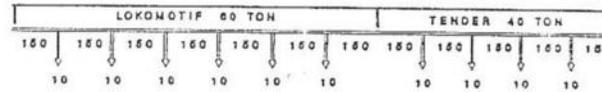
KERETA/GEROBAK



JUMLAH 1,6 TON ATAU 2,62 TON/M

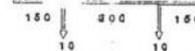
RENCANA MUATAN 1911

SEBAGAI MUATAN GERAK DIANGGAP SUATU SUSUNAN KERETA API TERDIRI DARI 2 LOKOMOTIF DENGAN TENDER, SERUPA DEMIKIAN:



JUMLAH 100 TON ATAU 5,56 TON/M

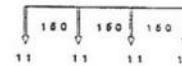
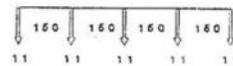
BILA DENGAN KERETA/GEROBAG YANG JUMLAHNYA TIDAK TERTENTU SERUPA DEMIKIAN :



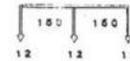
JUMLAH 20 TON ATAU 3,33 TON/M

SUSUNAN KERETA ITU SELALU DIBIKIN SEHINGGA BAGI BAGIAN YANG HARUS DIHITUNG DARI KEKUATANNYA PALING BERBAHAYA.

JIKA HANYA 4 ATAU 5 GANDAR YANG DAPAT TEMPAT DALAM HITUNGANNYA, MAKA BERATNYA MUATAN GANDAR HARUS DITAMBAH SAMPAI 11 TON



JIKA HANYA 3 GANDAR YANG DAPAT TEMPAT DALAM HITUNGANNYA, MAKA BERATNYA MUATAN GANDAR HARUS DITAMBAH SAMPAI 12 TON.



JIKA HANYA 1 ATAU 2 GANDAR YANG DAPAT TEMPAT DALAM HITUNGANNYA, MAKA BERATNYA MUATAN GANDAR HARUS DITAMBAH SAMPAI 13 TON.

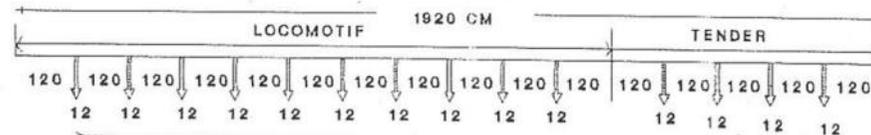


DARI SKEMA BEBAN GANDAR TERSEBUT DIATAS, DIPILIH YANG MEMBERIKAN REAKSI TERBESAR BAGI PERHITUNGAN.

RENCANA MUATAN 1917

MUATAN GERAK

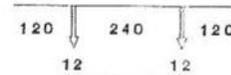
SEBAGAI MUATAN GERAK YANG MANA DIANGGAP SUATU SUSUNAN KERETA API TERDIRI DARI 2 LOKOMOTIF PAKAI TENDER SERUPA DEMIKIAN



JUMLAH BERAT 168 TON ATAU 8.75 TON/M

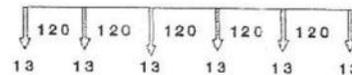
DENGAN KERETA/GEROBAK YANG BANYAKNYA TIDAK TERTENTU SERUPA DEMIKIAN.

KERETA/GEROBAK

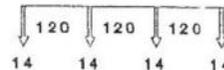


JUMLAH 24 TON ATAU 5 TON/M

SUSUNAN KERETA ITU SELALU DIBIKIN SEHINGGA BAGIAN-BAGIAN YANG HARUS DIHITUNG KEKUATANNYA PALING BERBAHAYA. JIKA HANYA 5 ATAU 6 GANDAR YANG DAPAT TEMPAT DALAM HITUNGANNYA, MAKA BERATNYA MUATAN GANDAR HARUS DITAMBAH SAMPAI 15 TON.



JIKA HANYA ADA 4 GANDAR YANG DAPAT TEMPAT DALAM HITUNGANNYA MAKA BERATNYA MUATAN GANDAR HARUS DITAMBAH SAMPAI 14 TON



JIKA HANYA ADA 2 GANDAR YANG DAPAT TEMPAT DALAM HITUNGANNYA MAKA BERATNYA MUATAN GANDAR HARUS DITAMBAH SAMPAI 15 TON.



JIKA HANYA ADA 1 GANDAR YANG DAPAT TEMPAT DALAM HITUNGANNYA MAKA BERATNYA MUATAN GANDAR HARUS DITAMBAH SAMPAI 16 TON

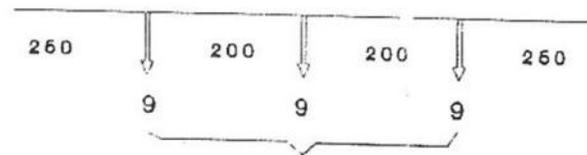


DARI RENCANA-RENCANA MUATAN TERSEBUT SELALU YANG DIPILIH PENDAPATANNYA PALING BERBAHAYA BAGI YANG DIHITUNGNYA.

RENCANA MUATAN TREM 1919

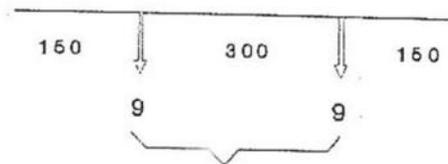
RENCANA MUATAN UNTUK MEMBUAT JALAN KERETA API YANG
MUATAN GERAK

LOKOMOTIF



JUMLAH 27 TON ATAU 3 TON/M

GEROBAK



JUMLAH 18 TON ATAU 3 TON/M

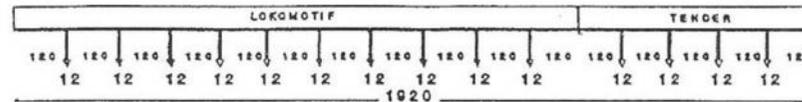
JIKA HANYA ADA 1 GANDAR YANG DAPAT TEMPAT DALAM HITUNGANNYA
MAKA BERAT MUATAN GANDAR HARUS DITAMBAH SAMPAI 10 TON

PAKAILAH SATU LOKOMOTIF DENGAN BEBERAPA GEROBAK SESISI ATAU
DI KANANNYA. SEHINGGA BUAT BAGIAN YANG DIHITUNG PALING BER-
BAHAYA.

SELALU DIPERIKSALAH APA 1 GANDAR DENGAN MUATAN YANG BER-
TAMBAH BERATNYA TIDAK MENJADIKAN LEBIH BERBAHAYA DARI PADA
2 ATAU 3 MUATAN GANDAR DAN LOKOMOTIF YANG PALING BERBAHAYA.

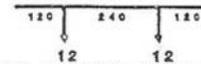
RENCANA MUATAN 1921

SEBAGAI MUATAN, GERAK DIANGGAP SUATU SUSUNAN KERETA API TERDIRI DARI 2 LOKOMOTIF DENGAN TENDER SERUPA DEMIKIAN:



JUMLAH 168 TON ATAU 8,75 TON/M

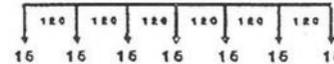
BILA DENGAN KERETA/GEROBAG YANG BANYAKNYA TIDAK TERTENTU SERUPA DEMIKIAN :



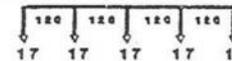
JUMLAH 24 TON ATAU 5 TON/M

SUSUNAN KERETA ITU SELALU DIBIKIN SEHINGGA BAGI BAGIAN YANG HARUS DIHITUNG KEKUATANNYA PALING BERBAHAYA.

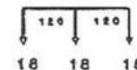
JIKA HANYA ADA 6 ATAU 7 GANDAR YANG DAPAT TEMPAT DALAM HITUNGANNYA BERATNYA MUATAN GANDAR HARUS DITAMBAH SAMPAI 15 TON



JIKA HANYA ADA 5 GANDAR YANG DAPAT TEMPAT DALAM HITUNGANNYA BERATNYA MUATAN GANDAR HARUS DITAMBAH SAMPAI 17 TON



JIKA HANYA ADA 3 GANDAR YANG DAPAT TEMPAT DALAM HITUNGANNYA BERATNYA MUATAN GANDAR HARUS DITAMBAH SAMPAI 18 TON



JIKA HANYA ADA 2 GANDAR YANG DAPAT TEMPAT DALAM HITUNGANNYA BERATNYA MUATAN GANDAR HARUS DITAMBAH SAMPAI 19 TON

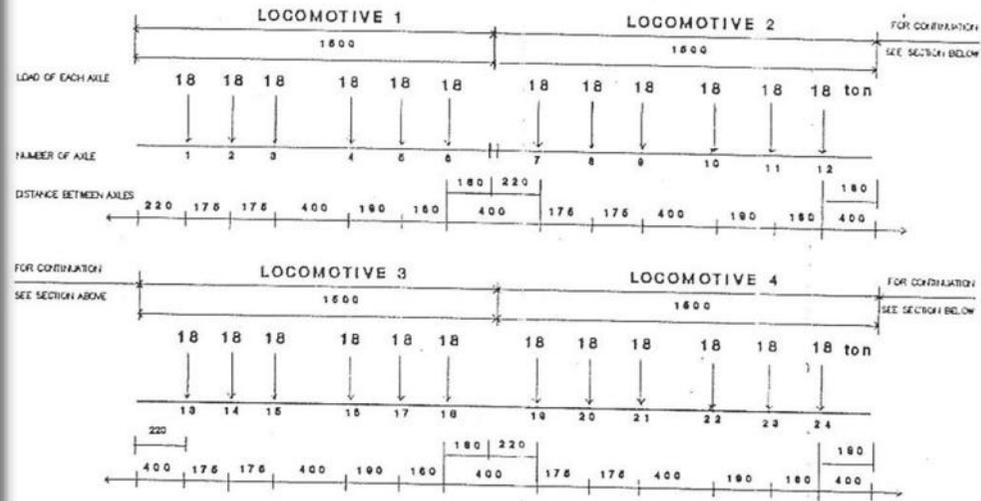


JIKA HANYA ADA 1 GANDAR YANG DAPAT TEMPAT DALAM HITUNGANNYA BERATNYA MUATAN GANDAR HARUS DITAMBAH SAMPAI 20 TON



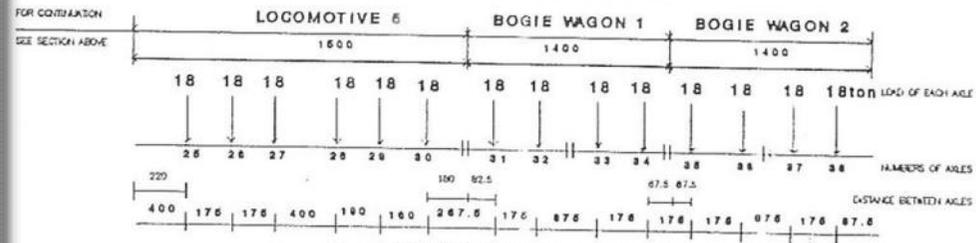
DARI SKEMA BEBAN GANDAR TERSEBUT DIATAS, DIPILIH YANG MEMBERIKAN REAKSI TERBESAR BAGI PERHITUNGAN.

RM. BUKIT ASAM

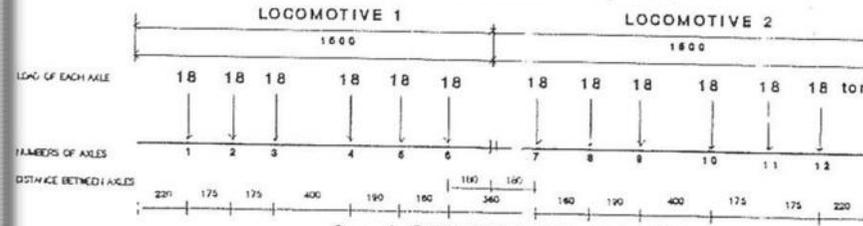


1 st STANDARD TRAIN

RM. BUKIT ASAM



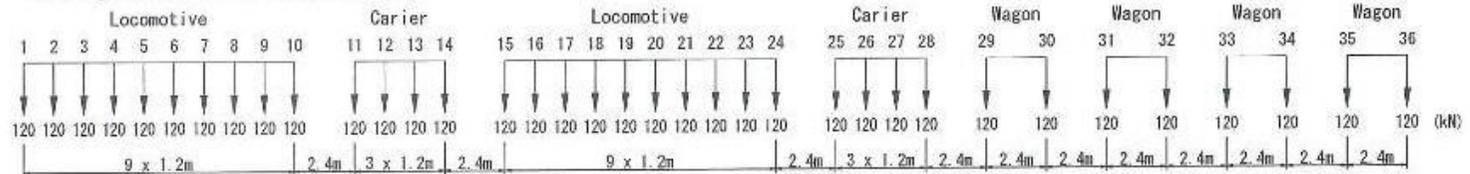
1 st STANDARD TRAIN



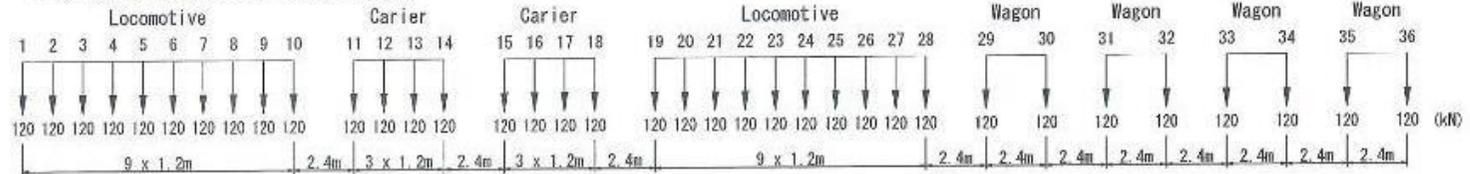
2 nd STANDARD TRAIN
(THE TWO LOCOMOTIVES ARE OPPOSITE)

APLIKASI KOMBINASI PEMBEBANAN

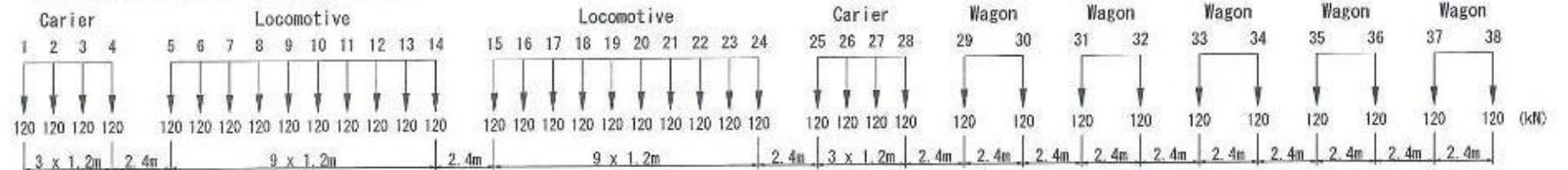
Loading Combination Possibilities : 36A



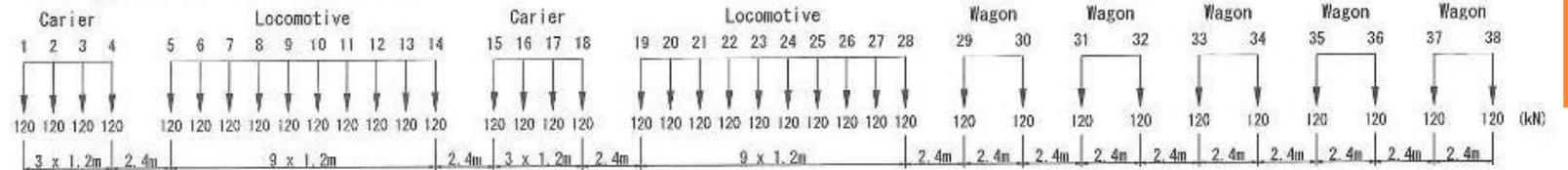
Loading Combination Possibilities : 36B



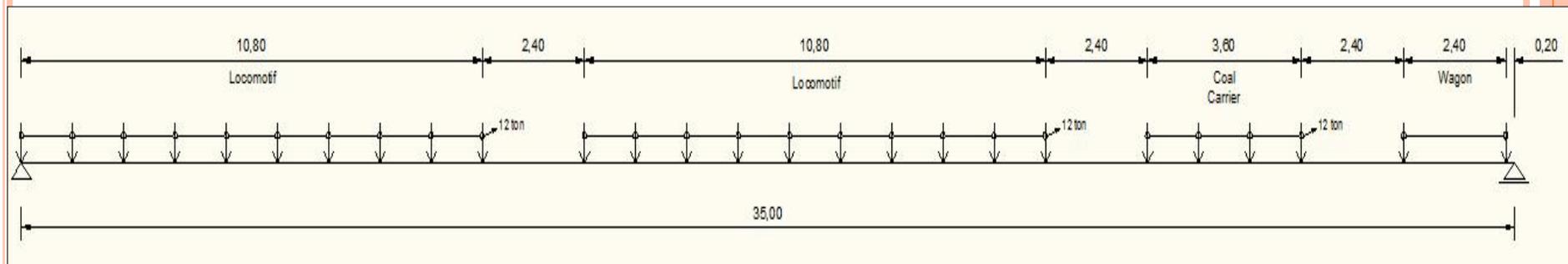
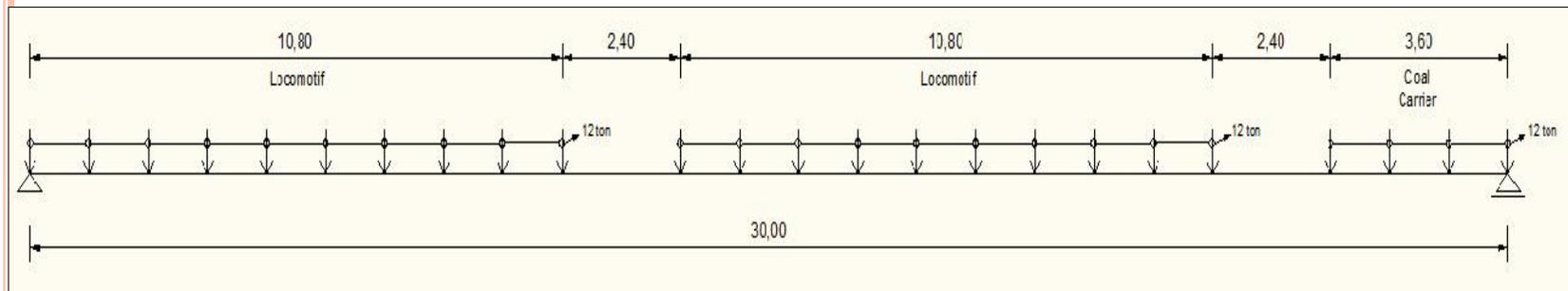
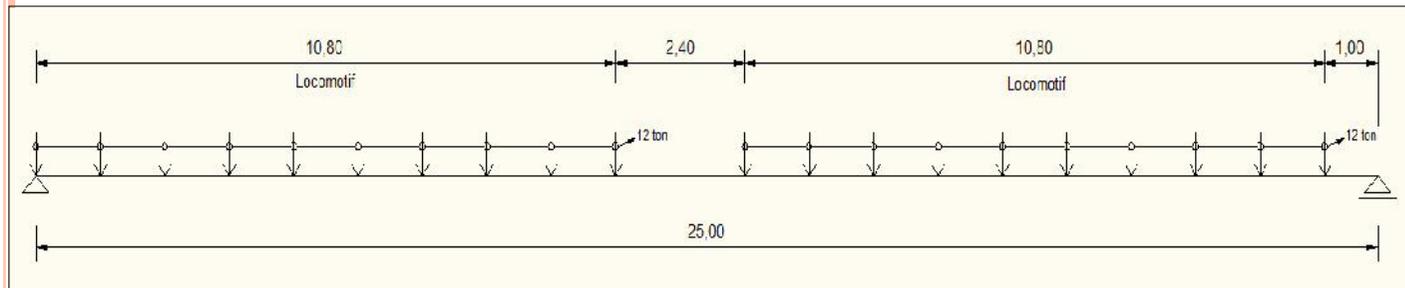
Loading Combination Possibilities : 38A



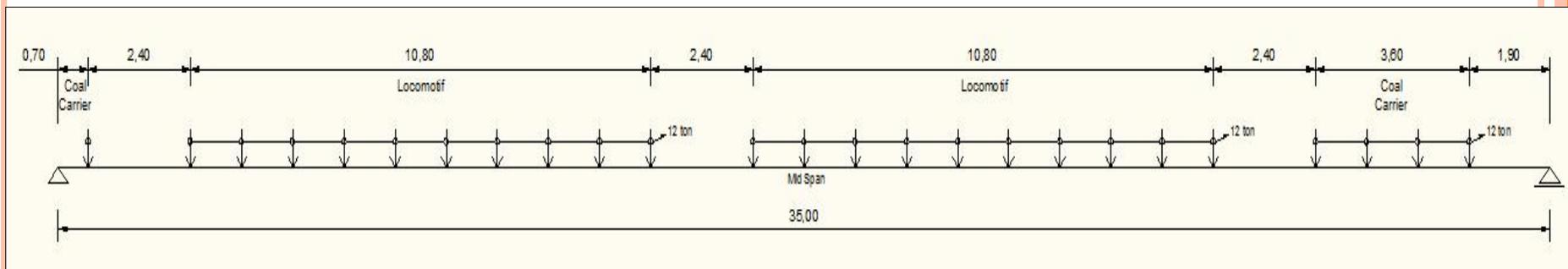
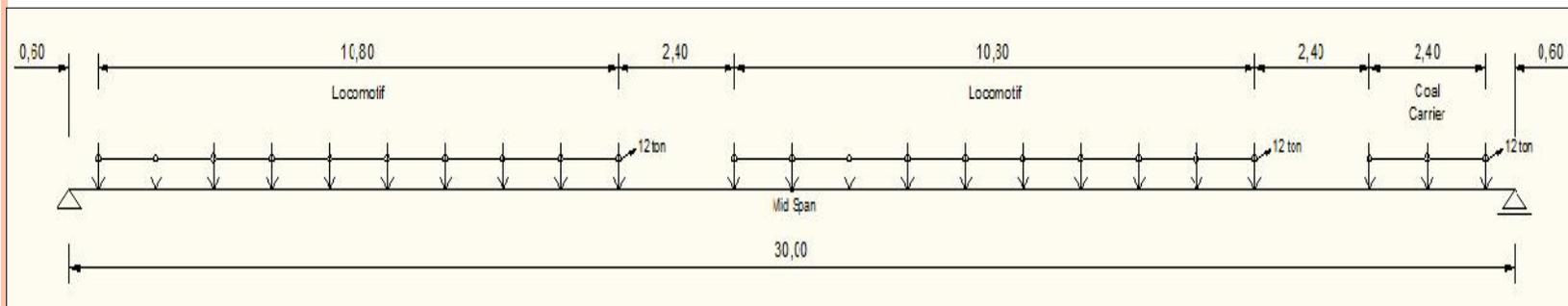
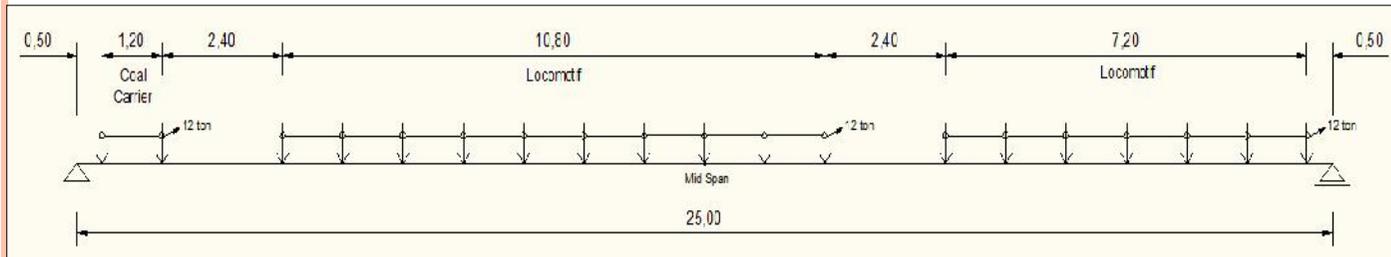
Loading Combination Possibilities : 38B

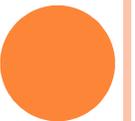


SHEAR FORCE MAX

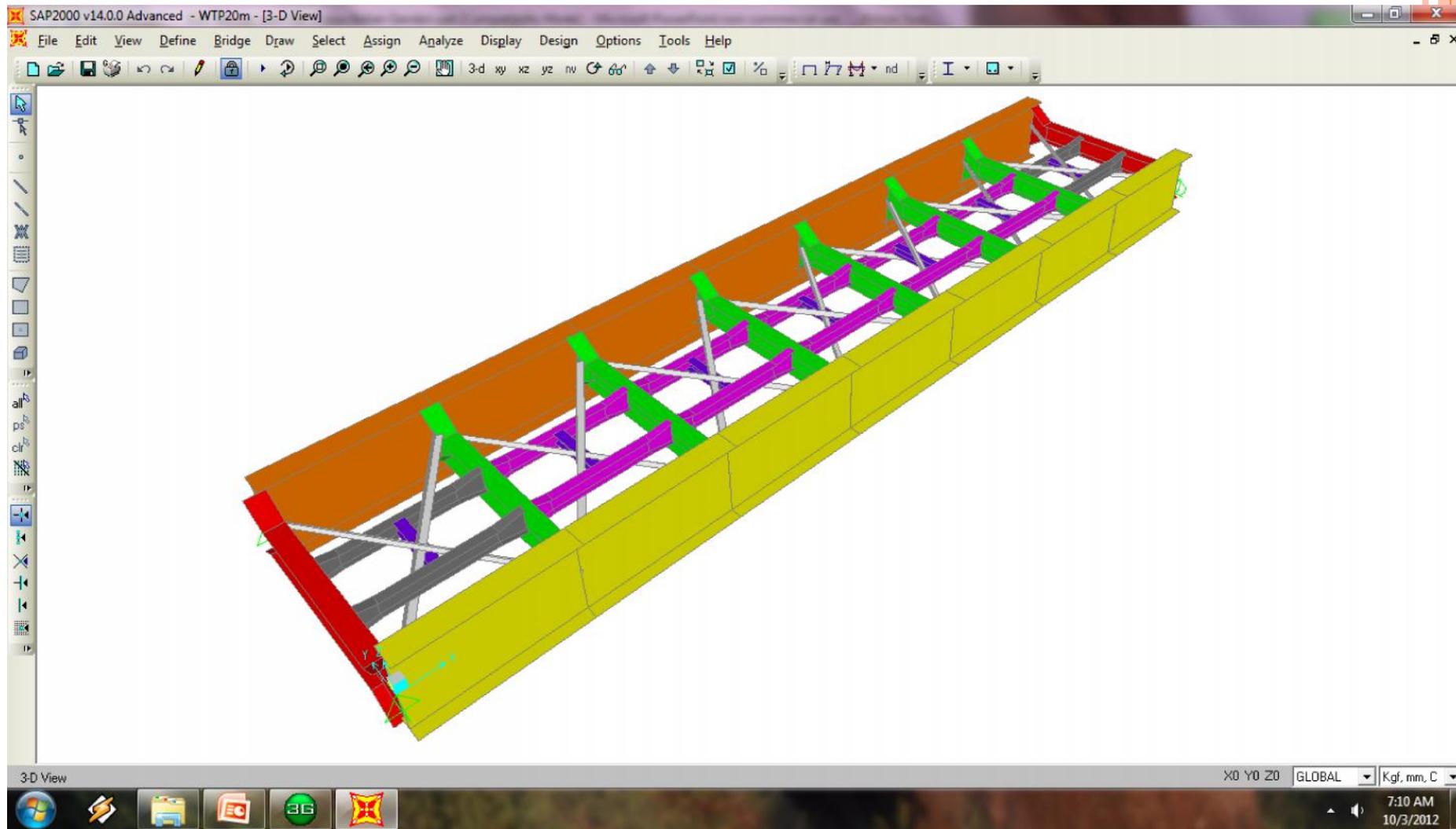


BENDING MOMENT MAX

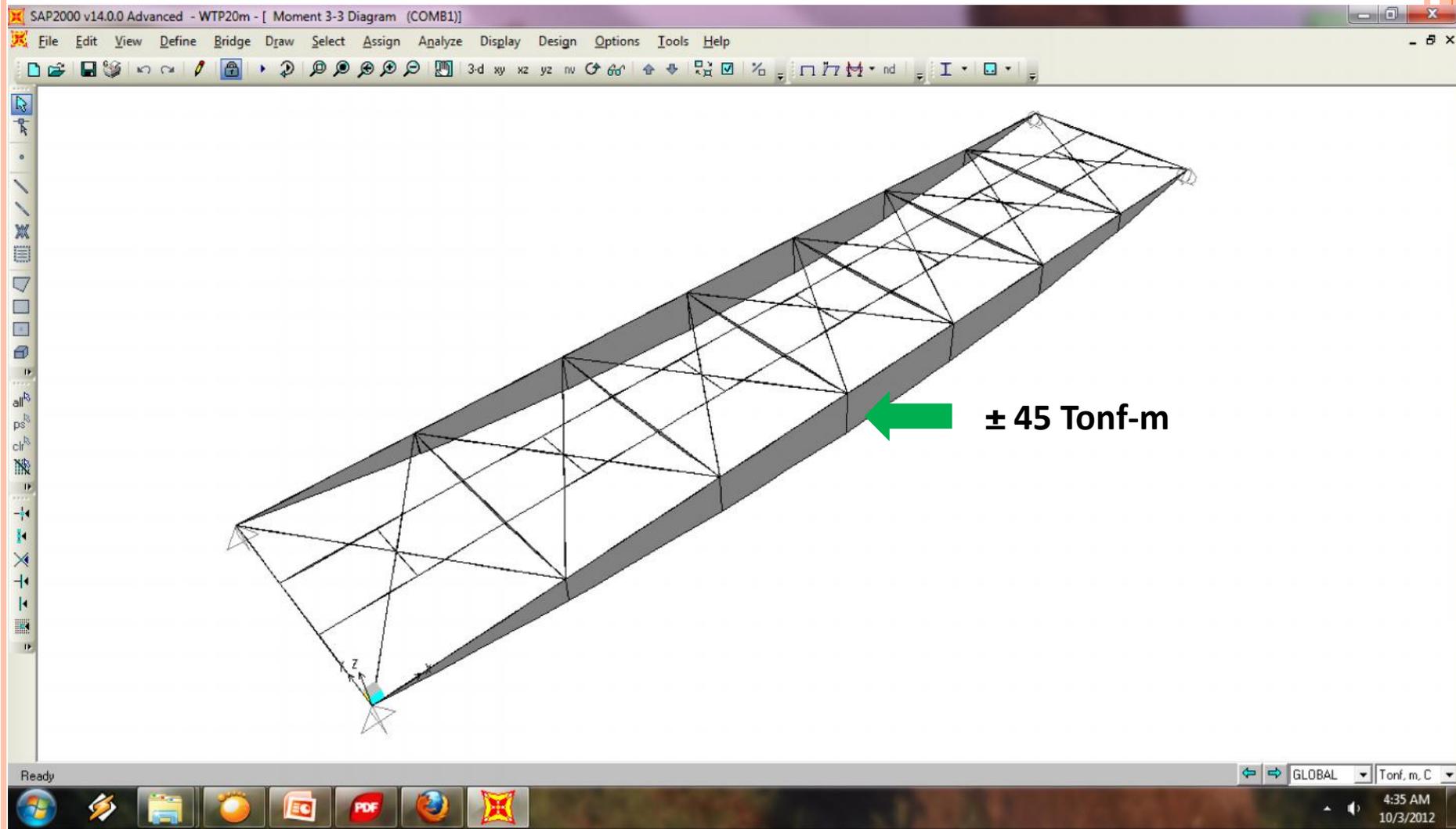




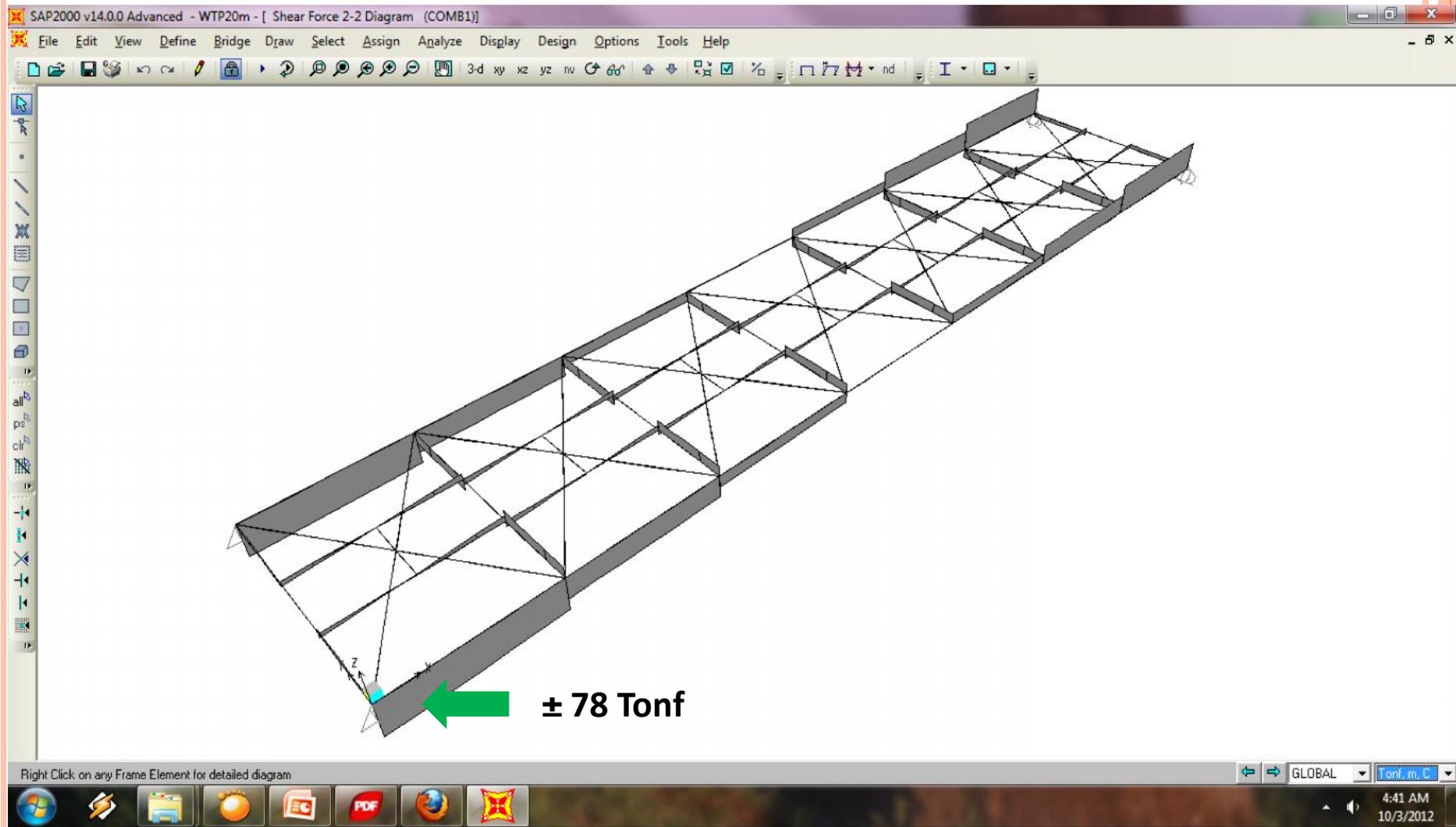
MODELLING BRIDGE WTP (WELDED THROUGH PLATE)



OUTPUT MODELLING BRIDGE



OUTPUT MODELLING BRIDGE



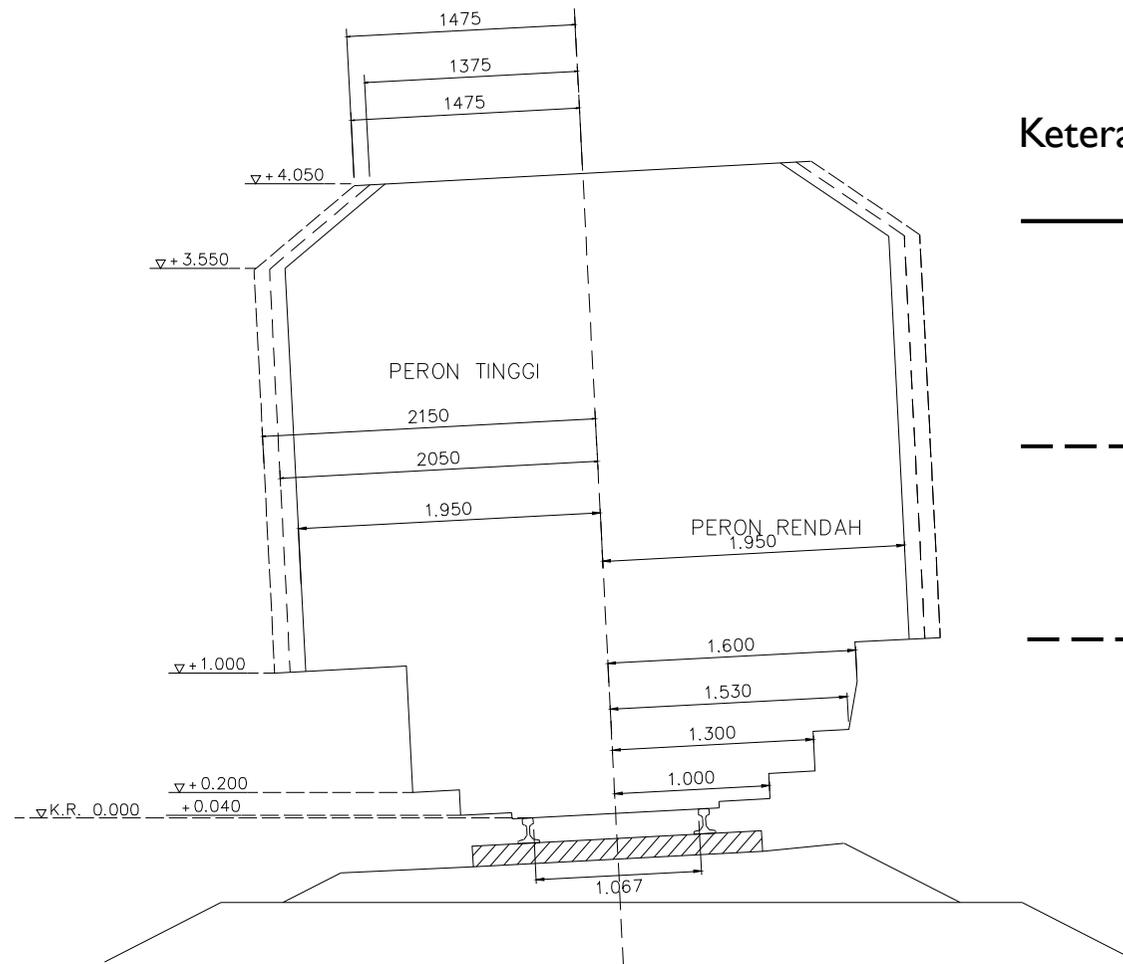
RUANG BEBAS

Ruang bebas adalah ruang diatas sepur yang senantiasa harus bebas dari segala rintangan dan benda penghalang; ruang ini disediakan untuk lalu lintas rangkaian kereta api.

Ukuran ruang bebas untuk jalur tunggal dan jalur ganda, baik pada bagian lintas yang lurus maupun yang melengkung, untuk lintas elektrifikasi dan non elektrifikasi, adalah seperti yang tertera pada gambar berikut.

Ukuran-ukuran tersebut telah memperhatikan dipergunakannya gerbong kontainer/ peti kemas ISO (*Iso Container Size*) tipe “*Standard Height*”.

RUANG BEBAS PADA JALUR LINGKUNG

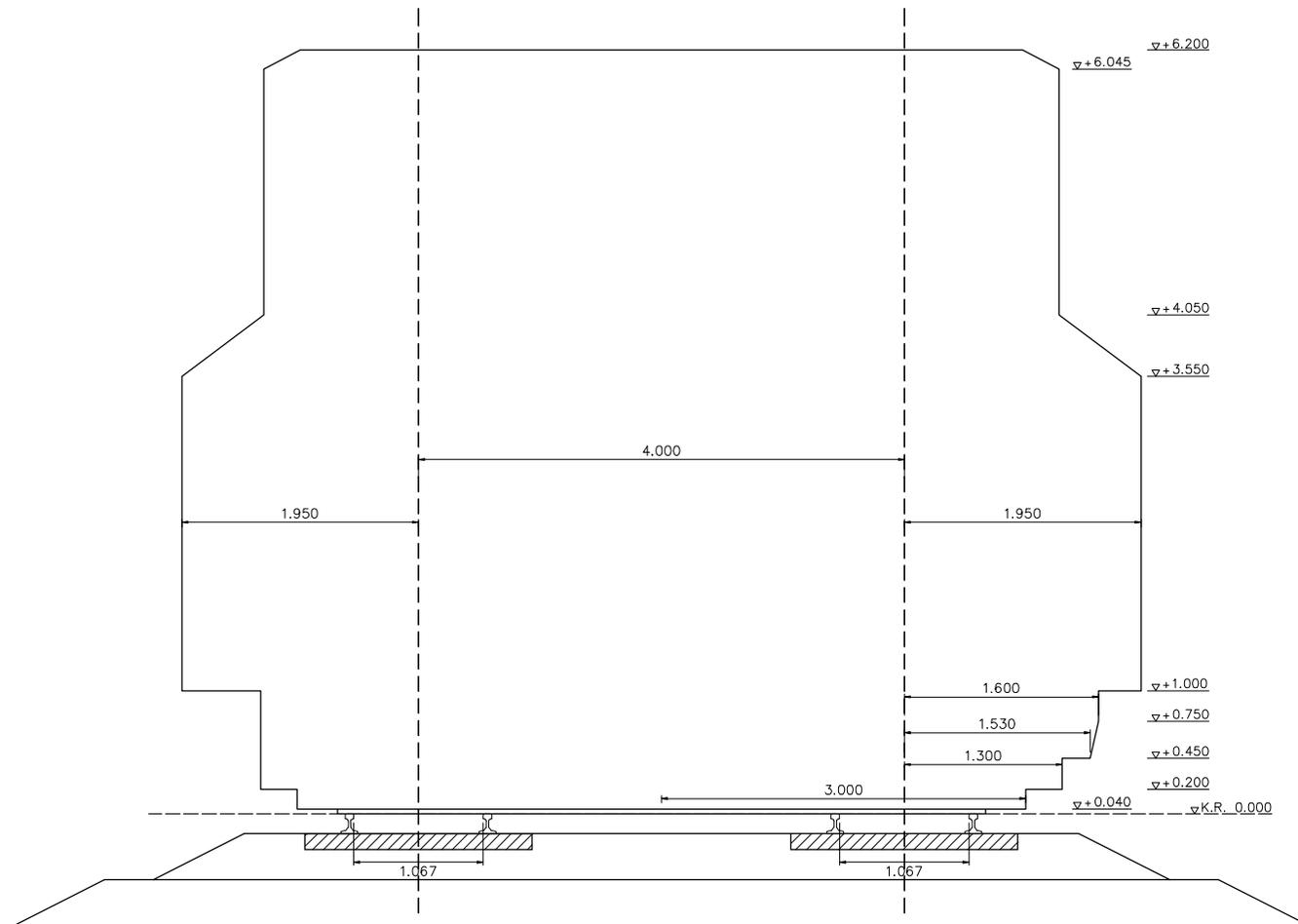


Keterangan :

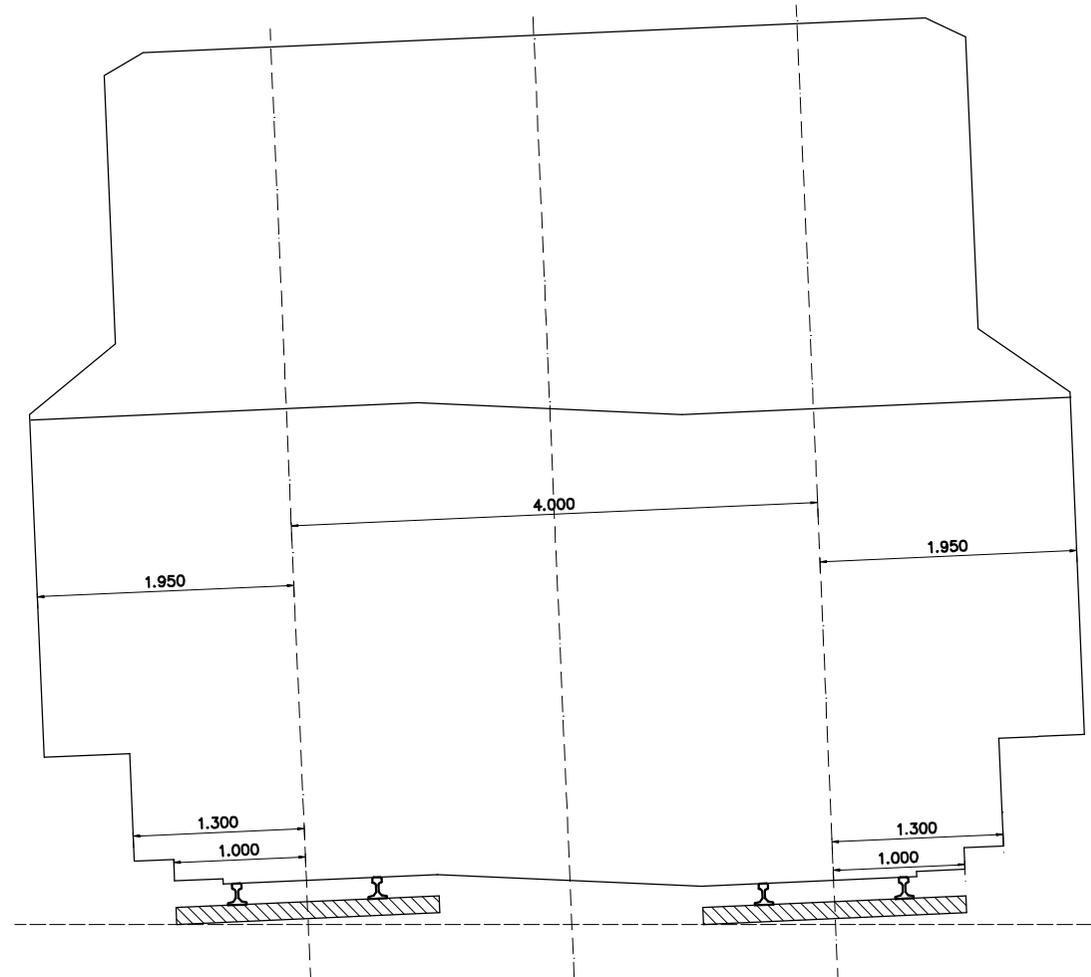
- Batas ruang bebas pada lintas lurus dan pada bagian lengkungan dengan jari-jari > 3000 m.
- - - - - Batas ruang bebas pada lengkungan dengan jari-jari < 300 m.
- · - · - Batas ruang bebas pada lengkungan dengan jari-jari 300 sampai dengan 3000 m.



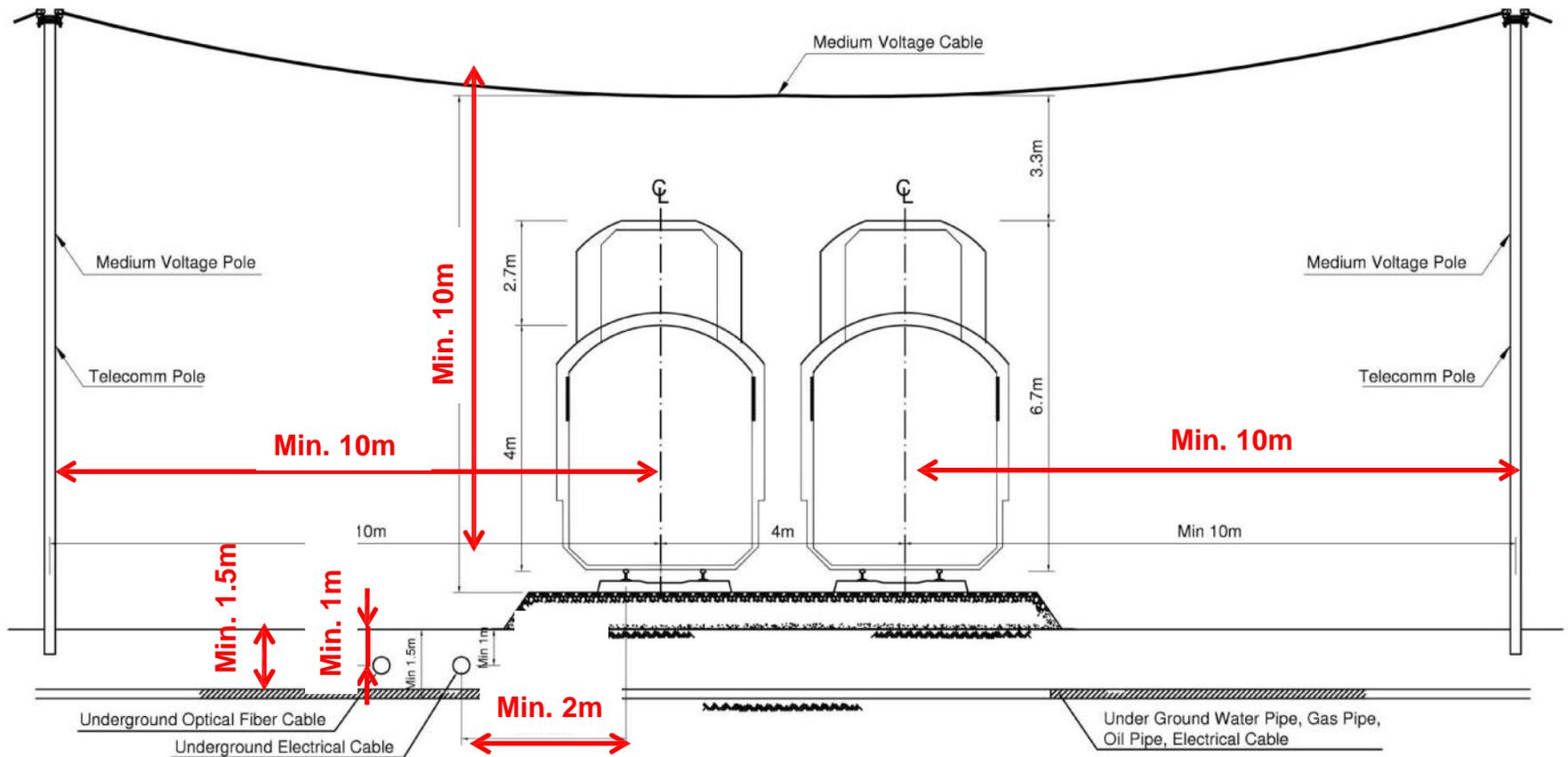
RUANG BEBAS PADA JALUR LURUS UNTUK JALAN GANDA



RUANG BEBAS PADA JALUR LINGKUNG UNTUK JALAN GANDA

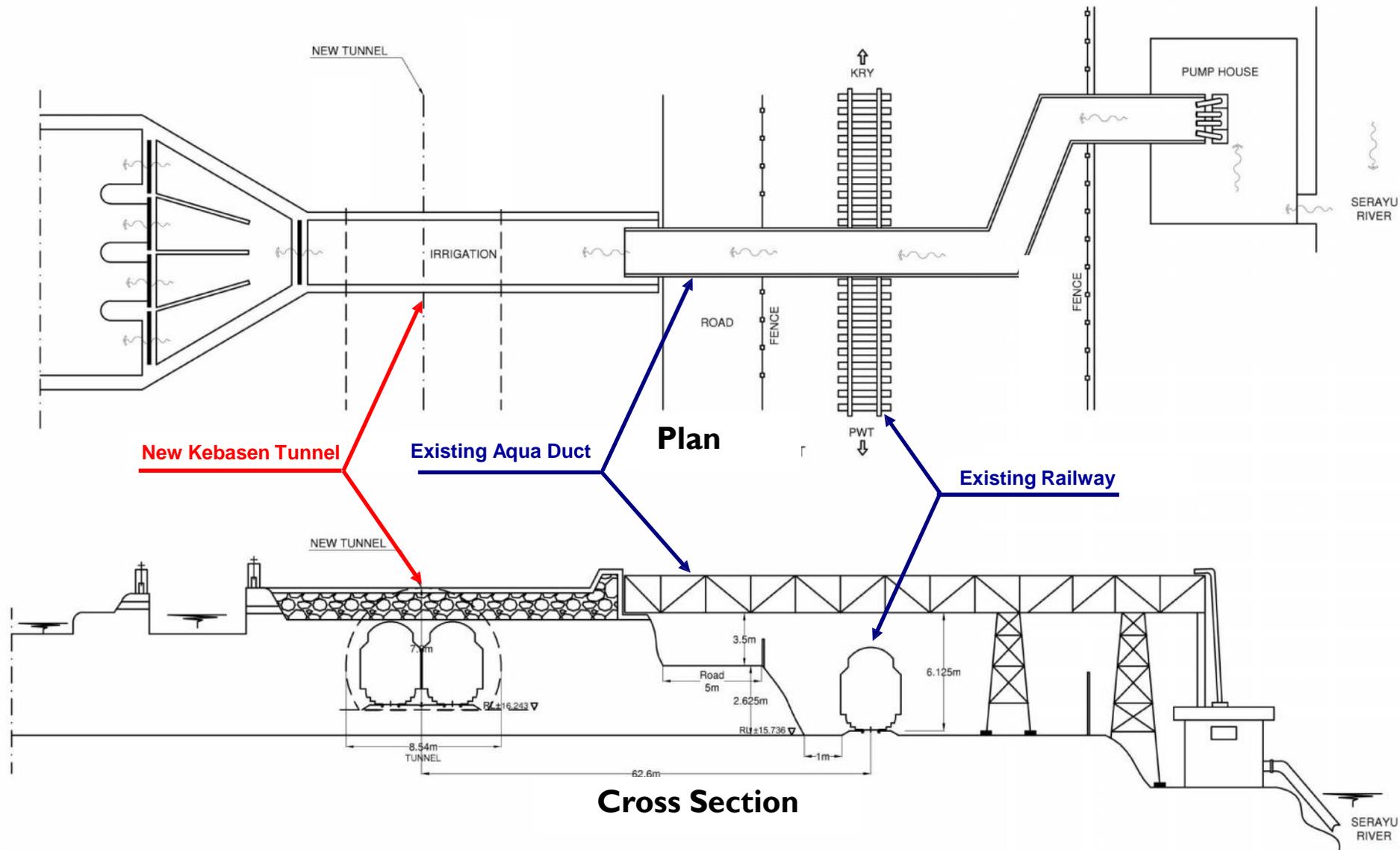


RUANG BEBAS UNTUK UTILITAS UMUM



REFERENCE : 1. THE DECREE OF MINISTER OF TRANSPORTATION
No. KM 53-2000.

RUANG BEBAS UNTUK AQUADUCT



RUANG BANGUN

Ruang bangun adalah ruang disisi sepur yang senantiasa harus bebas dari segala bangunan tetap seperti antara lain tiang semboyan, tiang listrik dan pagar.

Jarak ruang bangun tersebut ditetapkan sebagai berikut :

a. Pada lintas bebas :

2,35 sampai 2,53 m di kiri kanan sumbu sepur.

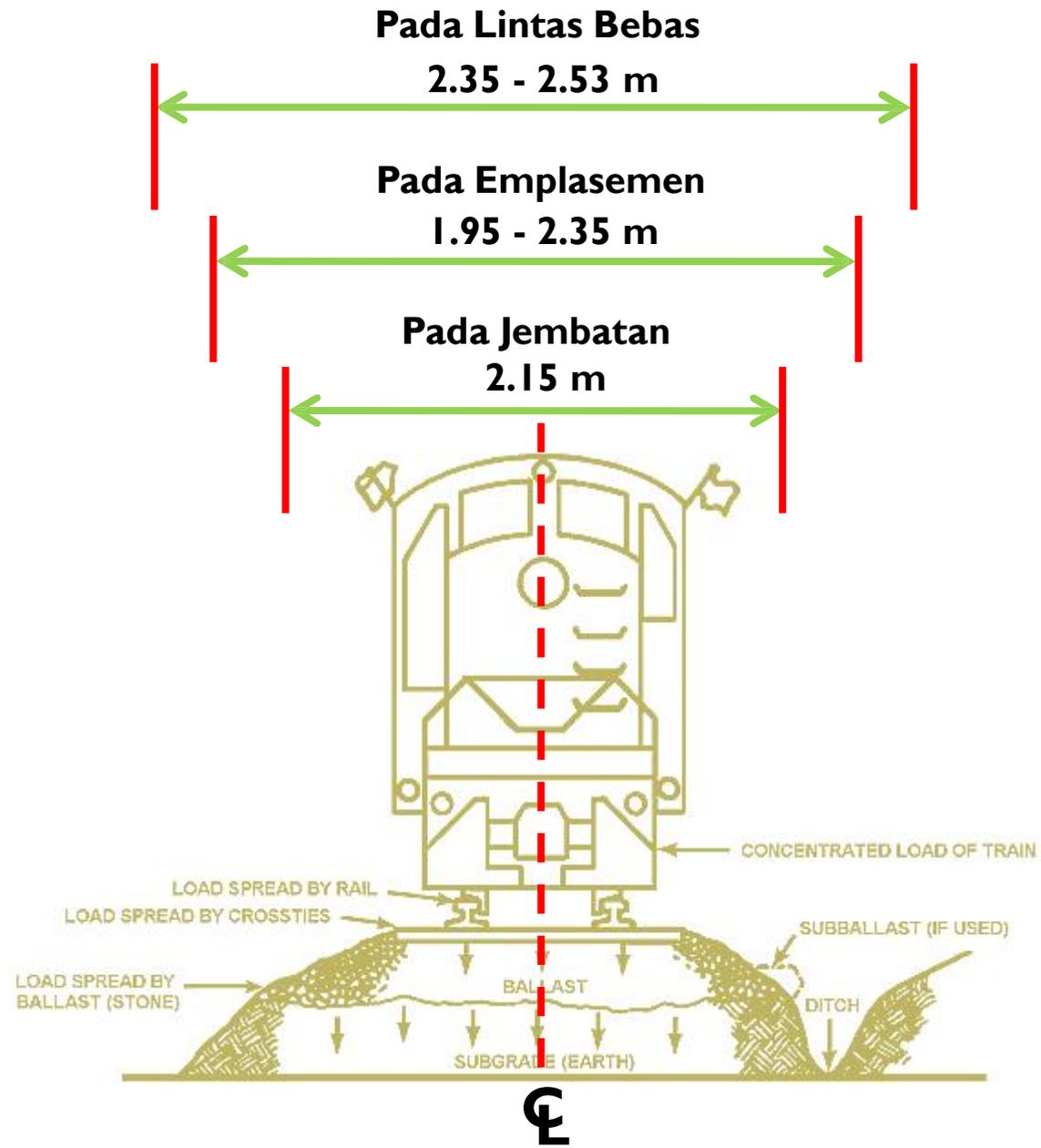
b. Pada emplasemen :

1,95 m sampai 2,35 di kiri kanan sumbu sepur

c. Pada jembatan :

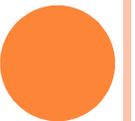
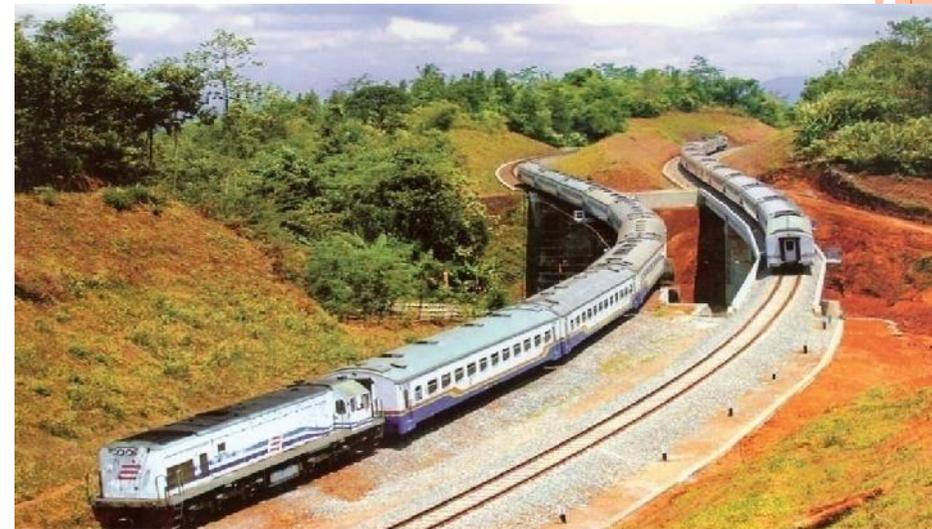
2,15 m di kiri kanan sumbu sepur.





LENGKUNG HORIZONTAL

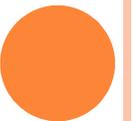
Alinemen horizontal adalah proyeksi sumbu jalan rel pada bidang horizontal, alinemen horizontal terdiri dari garis lurus dan lengkungan.

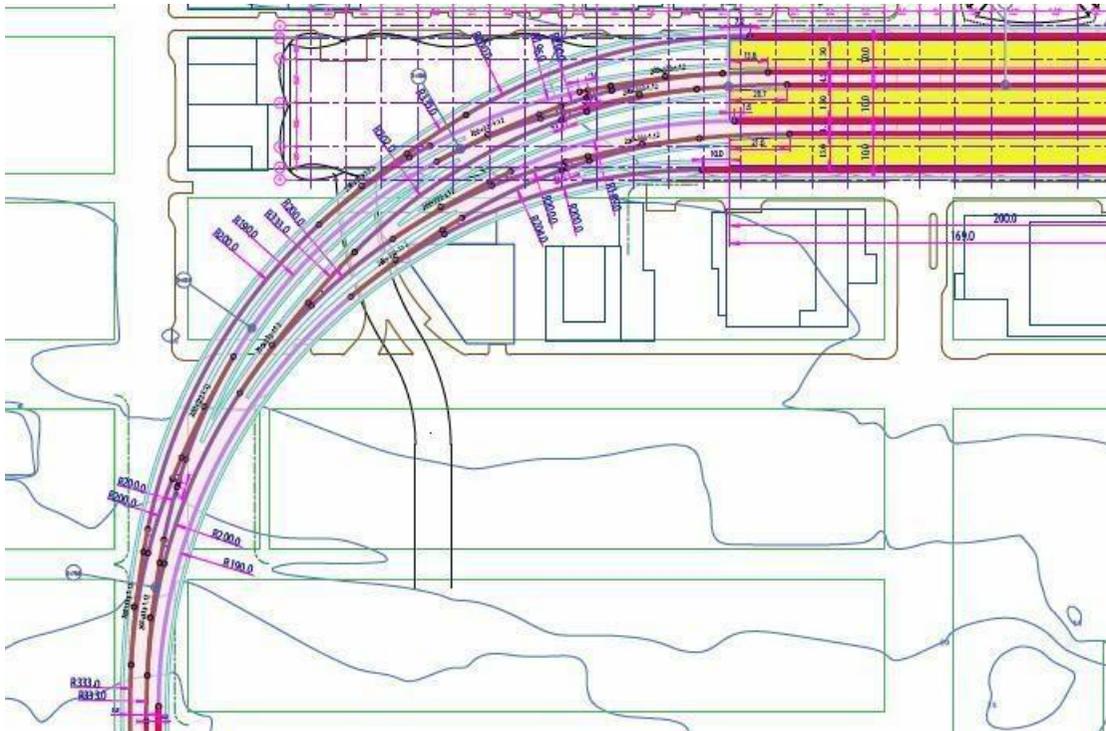
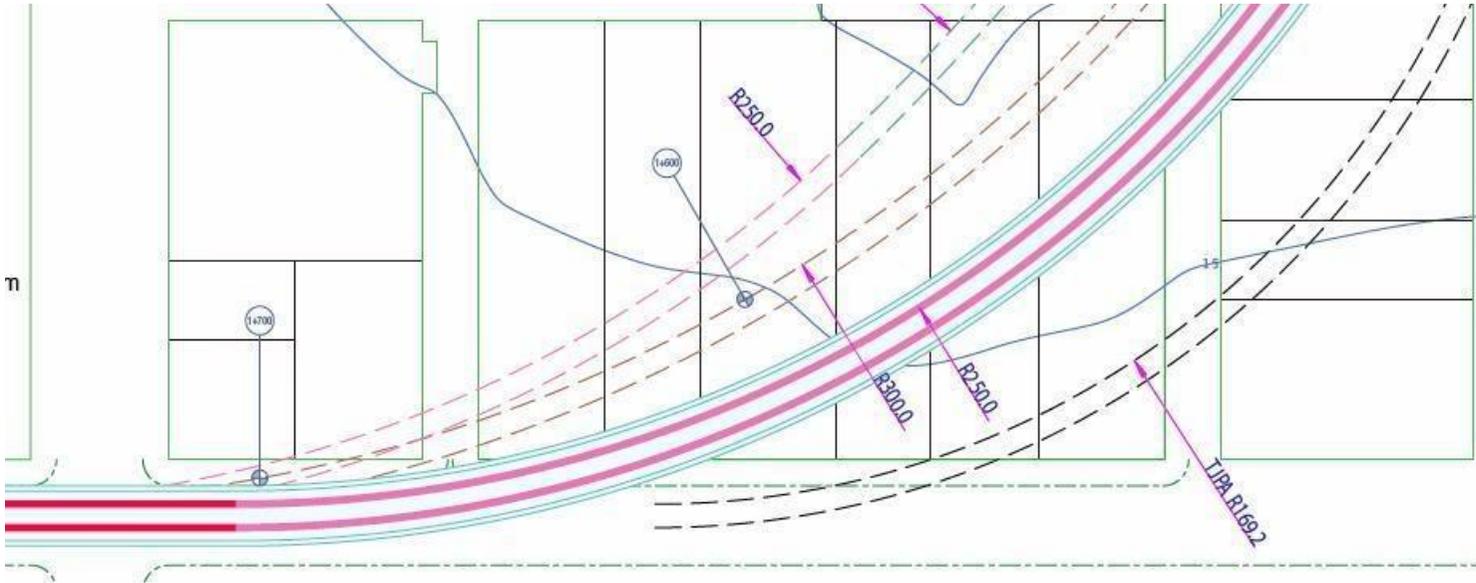


LENGKUNG LINGKARAN

Dua bagian lurus, yang per panjangnya saling membentuk sudut harus dihubungkan dengan lengkung yang berbentuk lingkaran, dengan atau tanpa lengkung-lengkung peralihan.

Untuk berbagai kecepatan rencana, besar jari-jari minimum yang diijinkan adalah seperti yang tercantum dalam tabel berikut.





Persyaratan Perencanaan Lengkung

Kecepatan Rencana (km/jam)	Jari-jari Minimum Lengkung Lingkaran tanpa Lengkung Peralihan (m)	Jari-jari Minimum Lengkung Lingkaran yang diijinkan dengan Lengkung Peralihan (m)
120	2370	780
110	1990	660
100	1650	550
90	1330	440
80	1050	350
70	810	270
60	600	200

LENGKUNG PERALIHAN

Lengkung peralihan adalah suatu lengkung dengan jari-jari yang berubah-beraturan. Lengkung peralihan dipakai sebagai peralihan antara bagian yang lurus dan bagian lingkaran dan sebagai peralihan antara dua jari-jari lingkaran yang berbeda.

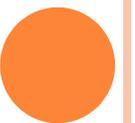
Panjang minimum dari lengkung peralihan ditetapkan dengan rumus berikut :

$$L_h = 0,01 hv$$

Dimana L_h = panjang minimal lengkung peralihan.

h = pertinggian relative antara dua bagian yang
dihubungkan (mm).

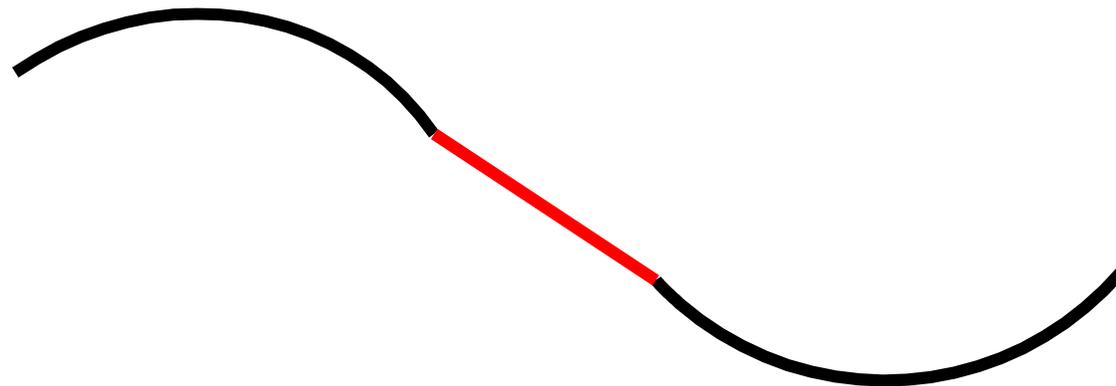
v = kecepatan rencana untuk lengkungan peralihan (km/jam).



LENGKUNG S

Lengkung S terjadi bila dua lengkung dari suatu lintas yang berbeda arah lengkungnya terletak bersambungan.

Antara kedua lengkung yang berbeda arah ini harus ada bagian lurus sepanjang paling sedikit 20 meter di luar lengkung peralihan.



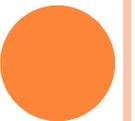
PELEBARAN SEPUR

Perlebaran sepur dilakukan agar roda kendaraan rel dapat melewati lengkung tanpa mengalami hambatan.

Perlebaran sepur dicapai dengan menggeser rel dalam kearah dalam.

Perlebaran sepur maksimum yang diijinkan adalah 20 mm.

Perlebaran sepur dicapai dan dihilangkan secara berangsur sepanjang lengkung peralihan.



PELEBARAN SEPUR

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



PENINGGIAN REL

Pada lengkungan, elevasi rel luar dibuat lebih tinggi dari pada rel dalam untuk mengimbangi gaya sentrifugal yang dialami oleh rangkaian kereta.

Peninggian rel dicapai dengan menepatkan rel dalam pada tinggi semestinya dan rel luar lebih tinggi.

Menentukan peninggian rel menggunakan rumus :

$$h_{normal} = 5.95 \frac{V^2 \text{rencana}}{R}$$

Atau lihat Tabel 2.3 PD 10

KELANDAIAAN

PENGELOMPOKAN LINTAS.

Berdasar pada kelandaian dari sumbu jalan rel dapat dibedakan atas 4 (Empat) klasifikasi seperti yang tercantum dalam tabel berikut;

Klasifikasi	Kelandaian
Emplasemen	0 sampai 1.5 ‰
Lintas Datar	0 sampai 10 ‰
Lintas Pegunungan	10 ‰ sampai 40 ‰
Lintas dengan rel gigi	40 ‰ sampai 80 ‰



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.

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



LANDAI CURAM

Dalam keadaan yang memaksa kelandaian (Pendakian) dari lintas lurus dapat melebihi landai penentu.

Kelandaian ini disebut landai curam; panjang maksimum landai curam dapat ditentukan melalui rumus pendekatan sbb :

$$l = \frac{V_a^2 - V_b^2}{2g(S_k - S_m)}$$

Dimana:

- = Panjang maximum landai curam (m).
- V_a = Kecepatan minimum yang diijinkan dikaki landai curam m/detik.
- V_b = Kecepatan minimum dipuncak landai curam (m/detik) $v_b = \frac{1}{2} v_a$.
- g = Percepatan gravitasi.
- S_k = Besar landai curam (‰).
- S_m = Besar landai penentu (‰).



LANDAI PADA LENGKUNG ATAU TEROWONGAN

Apabila di suatu kelandaian terdapat lengkung atau terowongan, maka kelandaian di lengkung atau terowongan itu harus dikurangi sehingga jumlah tahanannya tetap.



Lengkung Vertikal

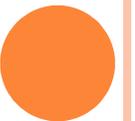
Alinemen vertikal adalah proyeksi sumbu jalan rel pada bidang vertikal yang melalui sumbu jalan rel tersebut; alinemen vertikal terdiri dari garis lurus, dengan atau tanpa kelandaian, dan lengkung vertikal yang berupa busur lingkaran.

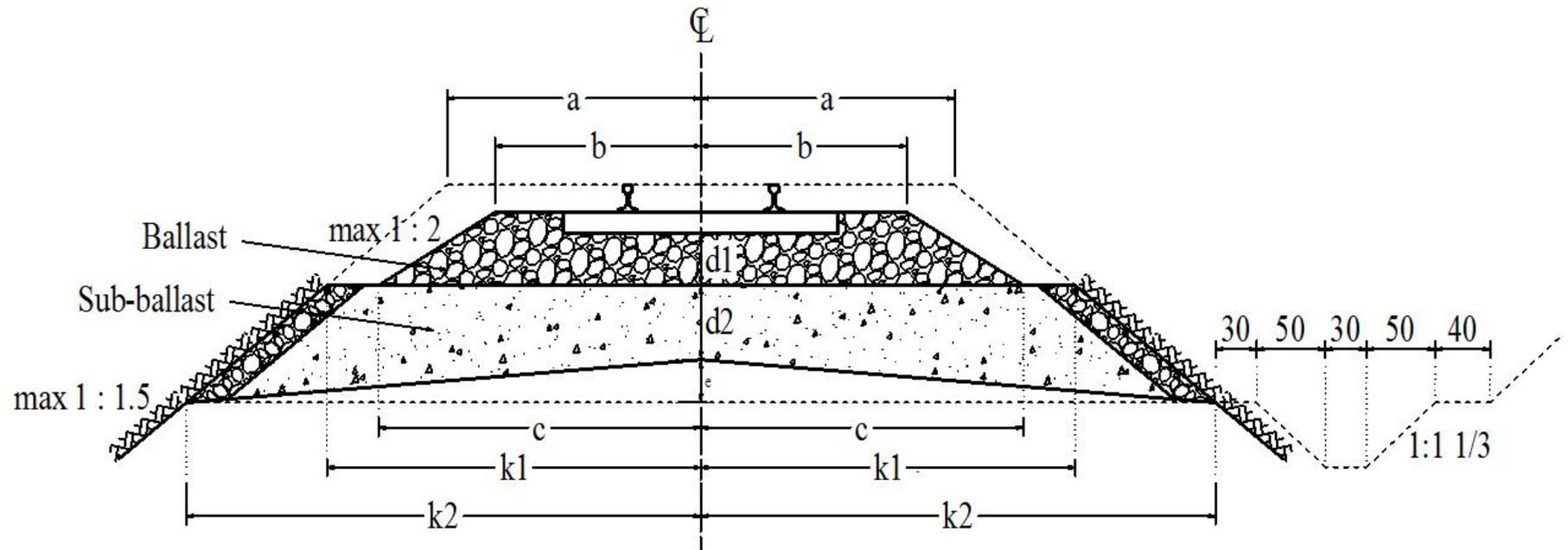
Besar jari-jari minimum dari lengkung vertikal bergantung pada besar kecepatan rencana dan adalah seperti yang tercantum dalam Tabel 2.6. pd 10

Kecepatan Rencana (Km/Jam)	Jari-Jari Minimum Lengkung Vertikal (Meter)
Lebih besar dari 100	8000
Sampai 100	6000

PENAMPANG MELINTANG JALAN REL

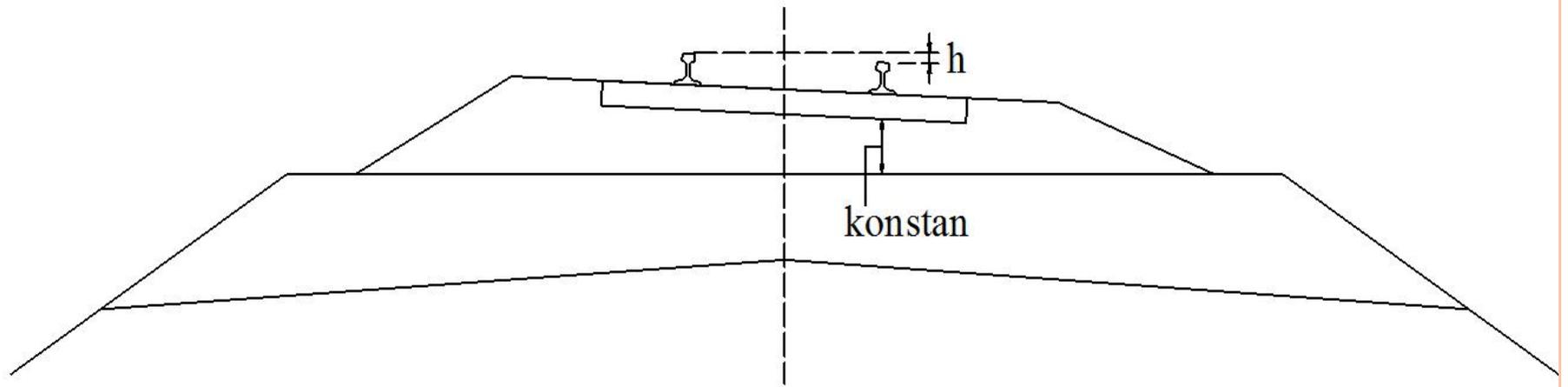
Penampang melintang jalan rel adalah potongan pada jalan rel, dengan arah tegak lurus sumbu jalan rel, di mana terlihat bagian-bagian dan ukuran-ukuran jalan rel dalam arah melintang.



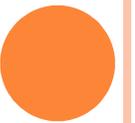


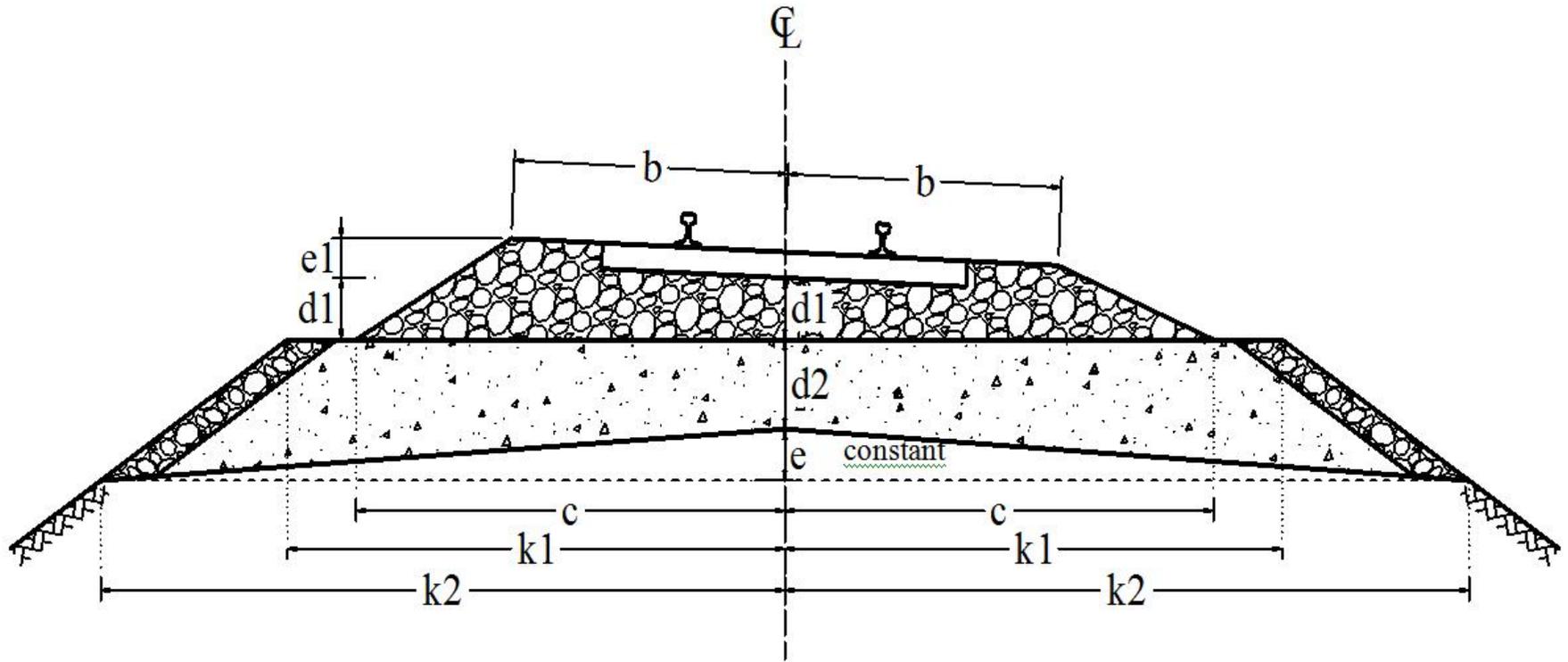
Penampang Melintang Jalan Rel Pada Bagian Lurus





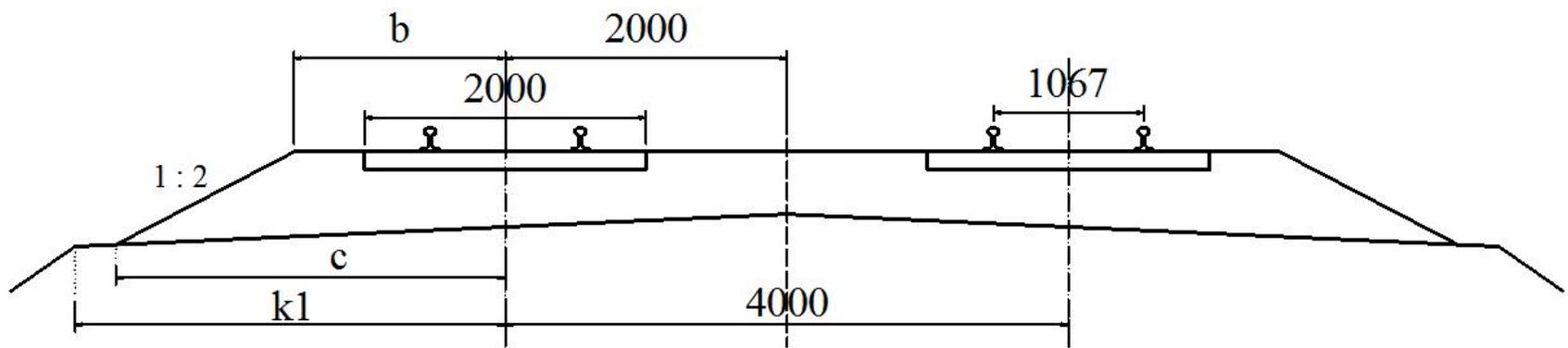
**Peninggian Elevasi Rel (h) pada
lengkungan jalur tunggal**





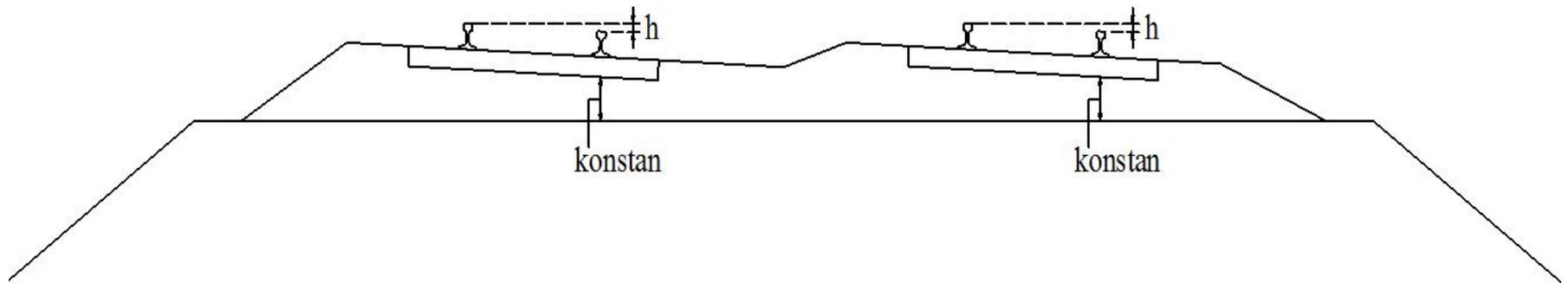
Penampang Melintang Jalan Rel Pada Lengkung – Jalur tunggal





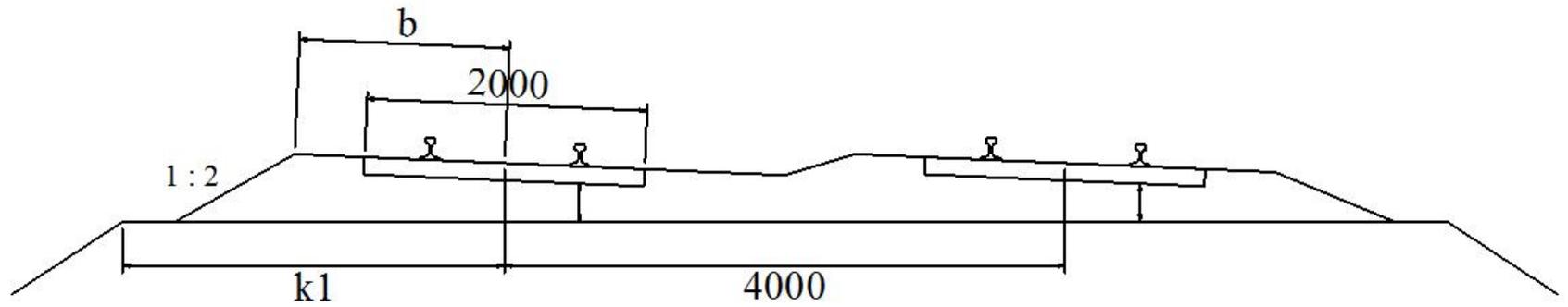
**Penampang Melintang
Jalan Rel Pada Bagian
Lurus Jalur Ganda**





Peninggian Elevasi Rel (h) pada Lengkungan Jalur Ganda





**Penampang Melintang
Jalan Rel Pada
Lengkung Jalur Ganda**



Peninggian Rel

Pada lengkungan, elevasi rel luar dibuat lebih tinggi dari pada rel dalam untuk mengimbangi gaya sentrifugal yang dialami oleh rangkaian kereta.

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	50	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

250 35

					k_1 (cm)	(cm)	(cm)	k_2 (cm)	a (cm)
1	120	30	150	235	265-315	15-50	25	375	185-237
2	110	30	150	254	265-315	15-50	25	375	185-237
3	100	30	140	244	240-270	15-50	22	325	170-200
4	90	25	140	234	240-250	15-35	20	300	170-190
5	80	25	135	211	240-	15-	20	300	170-190

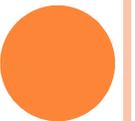
KAPASITAS LINTAS

Kapasitas lintas adalah banyaknya kereta api yang dapat dioperasikan pada satu petak jalan per satuan waktu.

Biasanya diambil satu hari, jadi satuannya adalah ka/hari.

Dalam menentukan suatu lokasi pada jalur rel, maka dikenal hierarki sebagai berikut :

- Petak Jalan** : Lokasi antara 2 stasiun atau antara 2 blok sinyal
- Antara** : Lokasi Petak antara 2 stasiun besar
- Lintas** : Biasanya sesuai dengan historis pada saat membangun
- Koridor** : Biasanya berhubungan dengan OD (origin-destination)



ANALISIS KAPASITAS LINTAS

$$C = \frac{864}{60 \times \frac{D}{V} + t}$$

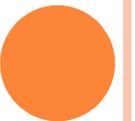
Dimana :

C = Kapasitas lintas (Ka/hari)

D = Jarak antar stasiun (Km)

V = Kecepatan rata-rata Kereta api (Km/jam)

t = Waktu pelayanan sinyal (menit)



Kecepatan yang digunakan dalam perhitungan kapasitas lintas adalah kecepatan rata-rata, dengan persamaan sebagai berikut :

$$V = \frac{n_p \times V_p + n_b \times V_b}{n_p + n_b}$$

Dimana :

V_p = Kecepatan kereta penumpang (Km/jam)

V_b = Kecepatan kereta barang (Km/jam)

n_p = Jumlah kereta penumpang

n_b = Jumlah kereta barang



Waktu pelayanan sinyal, besarnya sangat bergantung kepada kecepatan respon peralatannya, sinyal elektrik akan lebih cepat operasinya daripada sinyal mekanik, sinyal elektrik tanpa dipusatkan (non CTC) akan lebih lambat dibandingkan yang dipusatkan (CTC).

Dari kecepatan respon diatas, maka waktu pelayanan peralatan sinyal adalah sebagai berikut :

t = 8,5 menit (sinyal mekanik)

t = 5,5 menit (sinyal mekanik dengan blok)

t = 2,5 menit (sinyal elektrik)

t = 0,75 menit (sinyal elektrik dengan CTC)



ALTERNATIF MENAIKKAN KAPASITAS

Contoh: Kapasitas lintas antara Cikampek-Cirebon

Petak terjauh adalah stasiun Cankring-Cirebon dengan jarak (D) = 9,13 Km

Kecepatan Kereta rata-rata (V) = 85 Km/jam

Kapasitas eksisting (C) = 72 Ka/hari menggunakan sinyal mekanik (t = 5,5 menit)

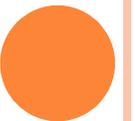
Jika kecepatan naik menjadi 100 Km/jam, maka kapasitas lintas menjadi :

$$C = \frac{864}{60 \times \frac{D}{V} + t} = \frac{864}{60 \times \frac{9,13}{100} + 5,5} = 79 \text{ _ } Ka / hari$$

Jika digunakan sinyal elektrik (t = 0,75 menit), maka kapasitas lintas menjadi :

$$C = \frac{864}{60 \times \frac{D}{V} + t} = \frac{864}{60 \times \frac{9,13}{85} + 2,5} = 97 \text{ _ } Ka / hari$$

Maka pemakaian sinyal elektrik lebih baik dengan menaikkan kecepatan rata-rata



FREKUENSI KERETA API

Frekuensi kereta dihitung berdasarkan kebutuhan angkutan dan kemampuan sarana serta prasarana dalam mendukung produksinya.

Frekuensi kereta penumpang (f_{kap}) dapat dihitung sebagai berikut :

$$f_{kap} = \frac{\text{Kebutuhan angkutan penumpang/hari}(Pnp/hari)}{(\text{Jumlah_kereta/hari}) \times (\text{Tempat_duduk/kereta})}$$

Frekuensi kereta barang (f_{kab}) dapat dihitung sebagai berikut :

$$f_{kab} = \frac{\text{Kebutuhan angkutan barang/hari}(Ton/hari)}{(\text{Jumlah_gerbong/hari}) \times (\text{Berat_muat/kereta})}$$

PERHITUNGAN FREKUENSI

Contoh: Komoditi angkutan semen dari A ke B, diangkut dengan kereta api sebanyak 3 juta ton/tahun, dengan asumsi 1 tahun adalah 300 hari, maka angkutan per hari = 10.000 ton.

Satu rangkaian kereta api, dengan jenis lok BB, dengan kondisi tanjakan dan lengkung antara A dan B pada kecepatan 50 km/jam dapat menarik 450 ton.

Jika dipakai gerbong tertutup GGW-100, dengan berat kosong 15 ton dan berat muat 30 ton, maka satu lok BB dapat menarik rangkaian sebanyak 10 gerbong.

$$f_{kab} = \frac{\text{Kebutuhan angkutan barang/hari(Ton/hari)}}{(\text{Jumlah_gerbong/hari}) \times (\text{Berat_muat/kereta})}$$

$$f_{kab} = \frac{10.000 \text{ ton/hari}}{10 \text{ gerbong/Ka} \times 30 \text{ Ton/gerbong}} = 33 \text{ Ka/hari}$$

Jika dilakukan pergi-pulang, maka frekuensi kereta adalah 66 Ka/hari

SARANA KERETA API

a) *Tractive effort*

Gaya tarik dihitung dengan persamaan berikut :

$$F = \xi \frac{P}{V} = 270 \frac{P}{V} \quad ; \text{ untuk } P = \textit{Tractive effort}$$

$$F = \xi \frac{P}{V} = 220 \frac{P}{V} \quad ; \text{ untuk } P = \textit{Engine output}$$

Dimana :

F = Gaya (Kg)

V = Kecepatan (Km/jam)

P = Daya (HP atau PK)



= Efisiensi lokomotif = 0.82

b) Gaya adhesi

Besarnya gaya tarik tersebut tidak melebihi gaya adhesi yang ditimbulkan oleh lokomotif, yaitu sebesar :

$$F_{maks} = \mu \times W_{lok}$$

Dimana :

F_{maks} = Gaya maksimum (Kg)

μ = Adhesi = 0,33

W_{lok} = Massa lokomotif (Kg)



c) Tahanan

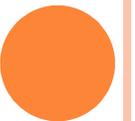
Tahanan dalam menghambat laju kereta api secara garis besar adalah :

- **Tahanan Jalan, $h_j = 1 + 0,00055 V^2$ (Kg/ton)**
- **Tahanan lengkung, $h_l = 800/R$ (Kg/ton)**
- **Tahanan landai, $h_g = 1$ (Kg/ton/‰)**

Dimana :

V = Kecepatan (Km/jam)

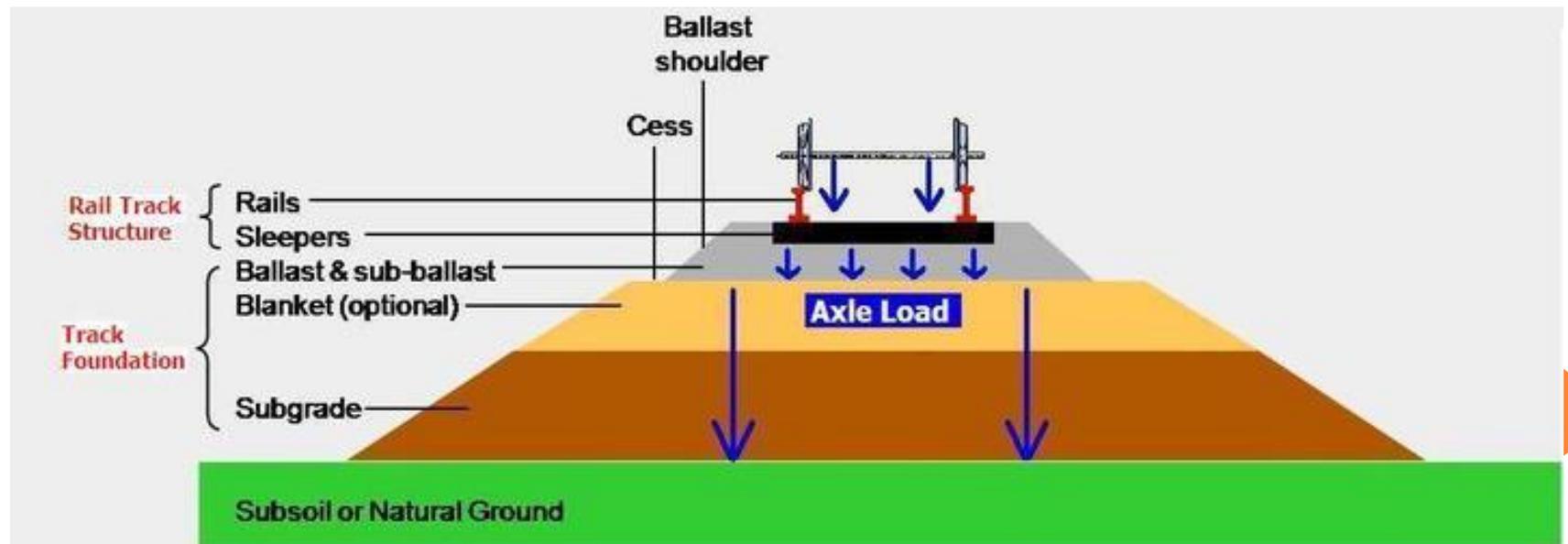
R = Jari-jari lengkung (meter)



KOMPONEN STRUKTUR JALAN REL

Struktur Jalan rel dapat dibagi menjadi dua, yaitu :

- Struktur atas, dimana komponen-komponennya terdiri dari rel (*rail*), penambat (*fastening*), dan bantalan (*sleeper*).
- Struktur bawah, dimana komponen-komponennya terdiri dari balas (*ballast*), subbalas (*subballast*), dan tanah dasar (*subgrade*).



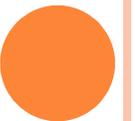
Beban-beban yang bekerja pada struktur jalan rel :

A. Gaya vertikal

Gaya ini adalah beban yang paling dominan dalam struktur jalan rel. Gaya ini menyebabkan defleksi vertikal, dimana defleksi vertikal adalah indikator dari kualitas, kekuatan, dan umur jalan rel.

Besarnya beban vertikal terbagi sebagai berikut :

- 1. Gaya lokomotif**
- 2. Gaya kereta**
- 3. Gaya gerbong**



1. Gaya lokomotif

Beban lokomotif dibagi berdasarkan jenis lokomotif yang dilihat dari cara penomorannya, yaitu :

Lokomotif BB

Artinya beban ditumpu oleh 2 bogie, yang masing-masing bogie terdiri dari 2 gandar dan satu gandar terdiri dari 2 roda.

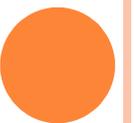
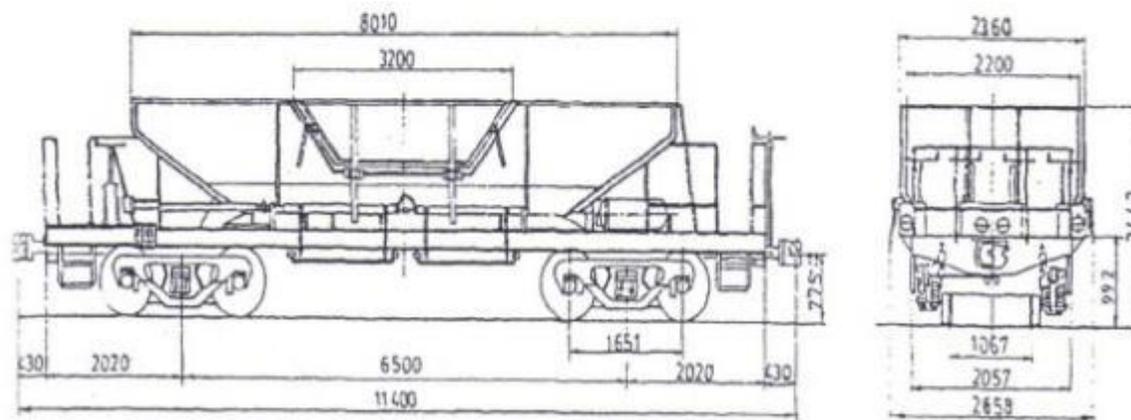
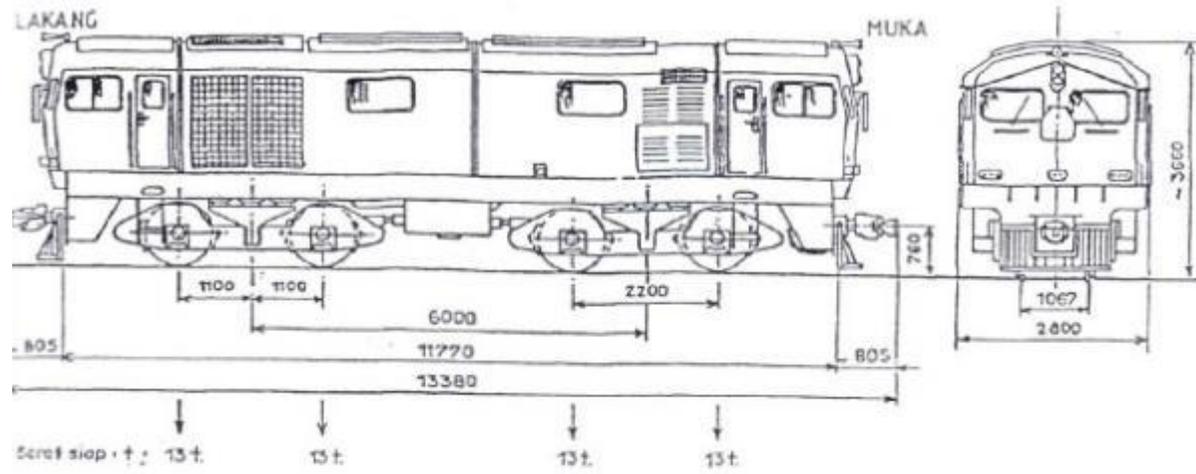
Sehingga : jika berat lokomotif (W_{lok}) = 56 ton, maka;

Gaya bogie ($P_{bogie} = P_b$) = $W_{lok}/2 = 56/2 = 28$ ton

Gaya gandar ($P_{gandar} = P_g$) = $P_b/2 = 28/2 = 14$ ton

Gaya roda statis ($P_{statis} = P_s$) = $P_g/2 = 14/2 = 7$ ton





Lokomotif CC

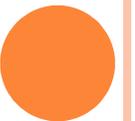
Artinya beban ditumpu oleh 2 bogie, yang masing-masing bogie terdiri dari 3 gandar dan satu gandar terdiri dari 2 roda.

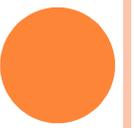
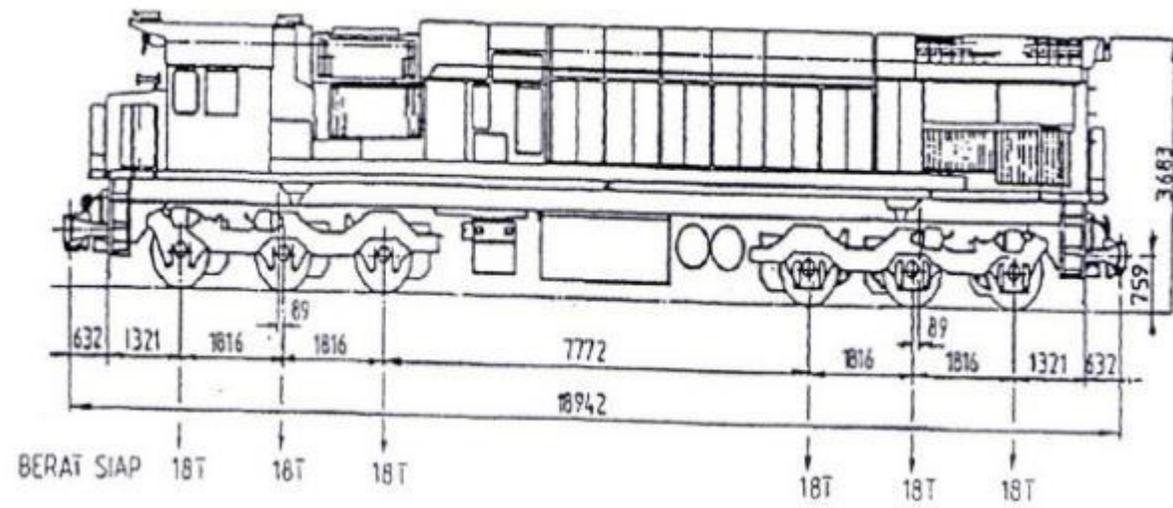
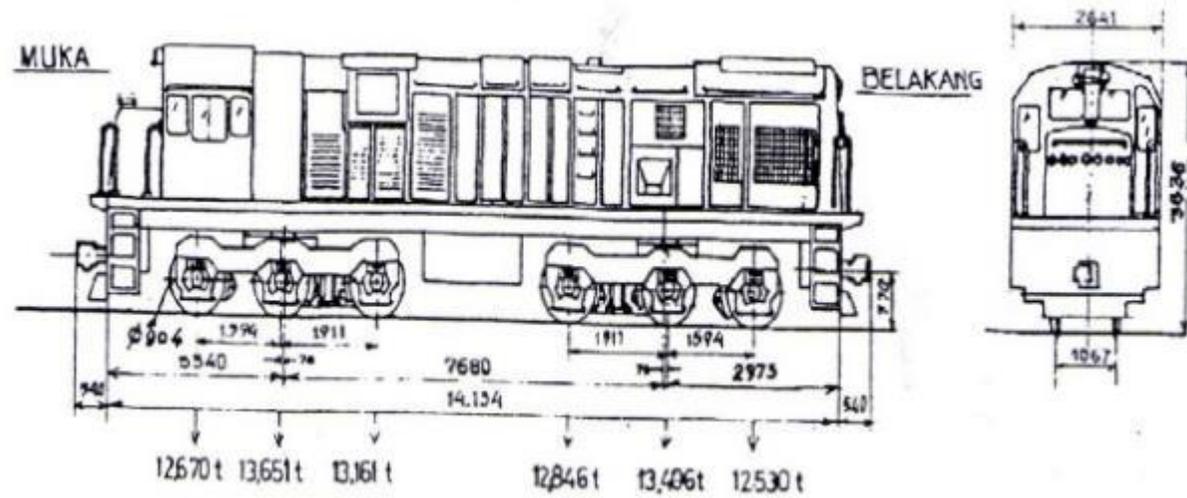
Sehingga : jika berat lokomotif (W_{lok}) = 84 ton, maka;

Gaya bogie ($P_{bogie} = P_b$) = $W_{lok}/2 = 84/2 = 42$ ton

Gaya gandar ($P_{gandar} = P_g$) = $P_b/3 = 42/3 = 14$ ton

Gaya roda statis ($P_{statis} = P_s$) = $P_g/2 = 14/2 = 7$ ton





2. Gaya kereta

Kereta dipakai untuk angkutan penumpang, sehingga karakteristiknya adalah kenyamanan dan kecepatan yang tinggi. Kenyamanan dan kecepatan yang tinggi memerlukan ruang yang cukup dan faktor gaya dinamis.

Sehingga : jika berat lokomotif (W_{krt}) = 40 ton, maka;

Gaya bogie ($P_{bogie} = P_b$) = $W_{krt}/2 = 40/2 = 20$ ton

Gaya gandar ($P_{gandar} = P_g$) = $P_b/2 = 20/2 = 10$ ton

Gaya roda statis ($P_{statis} = P_s$) = $P_g/2 = 10/2 = 5$ ton

3. Gaya gerbong

Gerbong dipakai untuk angkutan barang, dimana yang diperlukan terutama dari segi beratnya sehingga muatannya dapat besar (massal dan berat). Prinsip beban sama, hanya saja satu gerbong terdiri dari 2 gandar (tanpa bogie) atau 4 gandar (dengan 2 bogie).

Faktor dinamis

Faktor dinamis disebabkan oleh getaran-getaran dari kendaraan rel yang disebabkan oleh angin dan kondisi geometri (ketidakrataan) jalan. Untuk mentransformasikan gaya statis menjadi gaya dinamis, maka diformulasikan faktor dinamis sebagai berikut :

$$I_p = 1 + 0.01 \left(\frac{V}{1.609} - 5 \right)$$

$$P_d = P_s \times I_p$$

Dimana :

V = Kecepatan kereta api (km/jam)

I_p = Faktor dinamis

P_s = Beban statis

P_d = Beban dinamis

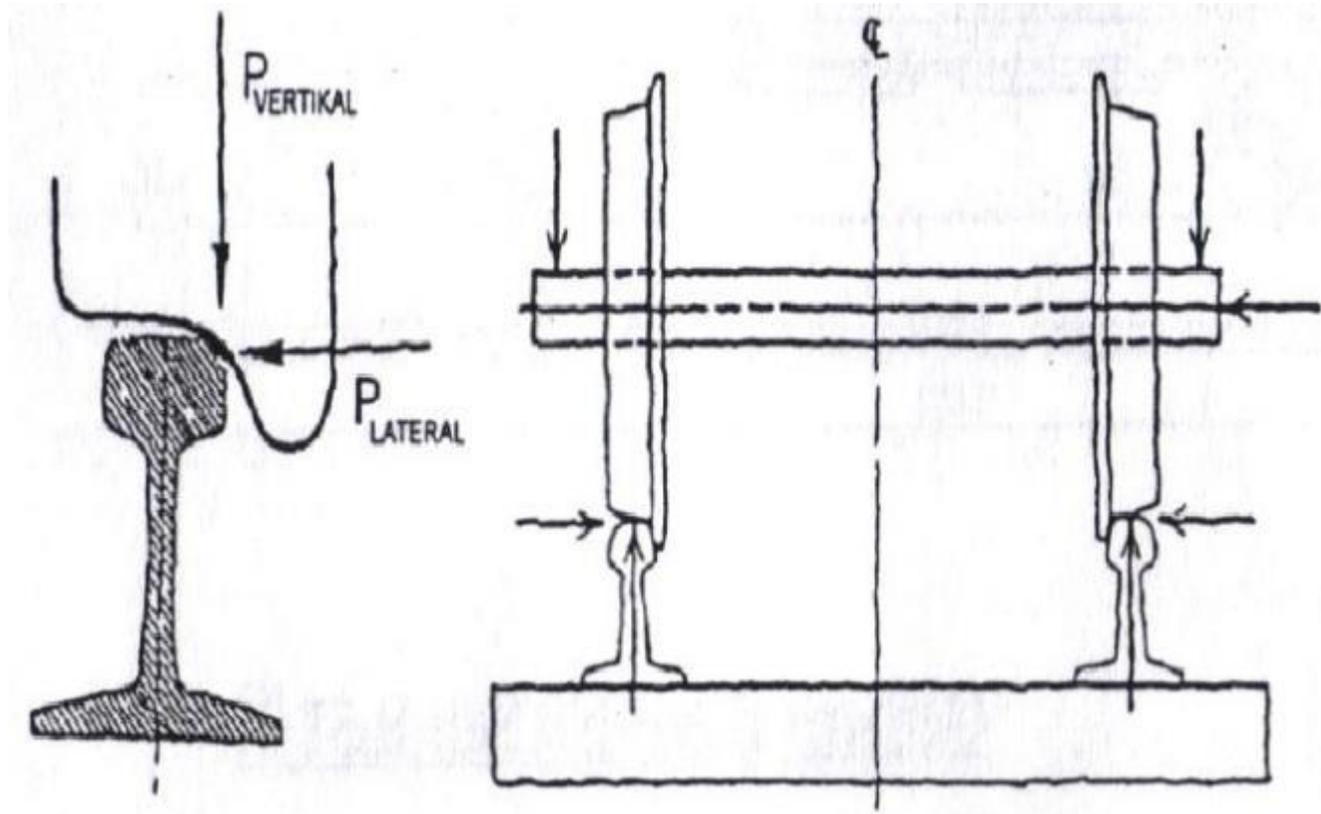


B. Gaya transversal (lateral)

Gaya ini disebabkan oleh adanya gaya sentrifugal yang terjadi pada tikungan, snake motion, dan ketidakrataan geometri jalan rel yang bekerja pada titik yang sama dengan gaya vertikal di rel. Gaya ini menyebabkan tercabutnya terpon dan geseran pelat andas (*base plate*) pada bantalan kayu sehingga dapat merubah geometri jalan rel. selain itu juga, pada kondisi tertentu dapat mengakibatkan loncatnya roda keluar rel (anjlogan).

C. Gaya longitudinal

Gaya ini diakibatkan terutama oleh perubahan suhu pada rel (*therma stress*). Pada konstruksi kereta api modern dimana dipakai rel panjang (*long welded rails*), gaya longitudinal ini sangat memegang peranan penting.



Besarnya gaya transversal/lateral adalah :

$$P_{\text{lateral}}/P_{\text{vertikal}} < 1.2$$

$$P_{\text{lateral}}/P_{\text{vertikal}} < 0.75 \text{ (jika rel dan roda sama-sama aus)}$$



Kecepatan

Kecepatan maksimum pada suatu lintas dinyatakan dalam km/jam. Kecepatan maksimum dapat dipakai untuk mengejar keterlambatan-keterlambatan yang disebabkan oleh adanya gangguan di jalan.

Sedangkan untuk kecepatan rencana dengan memperhatikan pertimbangan ekonomis maka kecepatan rencana untuk perhitungan konstruksi jalan rel adalah :

$$V_{\text{rencana}} = 1.25 \times V_{\text{max}}$$

Dimana :

V_{rencana} = Kecepatan rencana

V_{max} = Kecepatan maksimum



FUNGSI UTAMA REL

Rel dalam aplikasi di lapangan memiliki fungsi utama sebagai berikut :

- a. Penuntun/mengarahkan pergerakan roda kereta api.
- b. Untuk menerima secara langsung dan menyalurkan beban kereta api kepada bantalan tanpa menimbulkan defleksi.
- c. Struktur pengikat dalam pembentukan struktur jalan rel yang kokoh.



KOMPOSISI BAHAN REL

Rel dipilih dan disusun dari beberapa komposisi bahan kimia sehingga dapat tahan terhadap keausan akibat gesekan akibat roda dan korositas. Dalam klasifikasi menurut UIC (*International Union of Railway*)

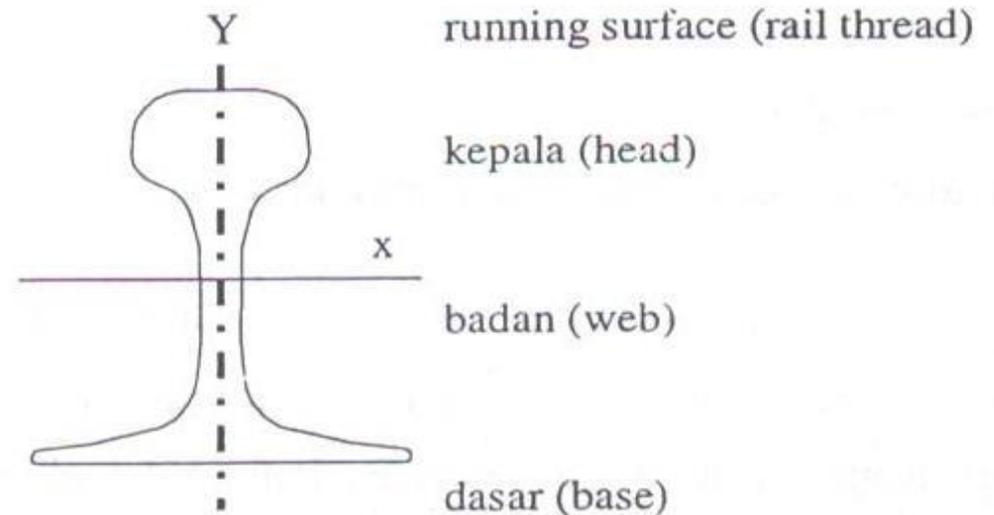
Jenis Rel	C	Mn
WR-A	0,60 – 0,75	0,80 – 1,30
WR-B	0,50 – 0,65	1,30 – 1,70
WR-C	0,45 – 0,60	1,70 – 2,10



BENTUK DAN DIMENSI REL

Suatu komponen rel terdiri dari 4 bagian utama, yaitu :

1. Permukaan Rel untuk pergerakan kereta api atau disebut sebagai *running surface (rail thread)*,
2. Kepala Rel (*head*),
3. Badan Rel (*web*),
4. Dasar Rel (*base*).



KOMPOSISI KIMIA DAN PENGERASAN DI KEPALA REL

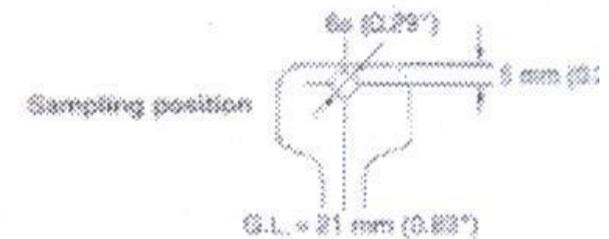
1. Chemical composition

(wt %)

C	Si	Mn	P	S
0.77	0.25	0.90	0.017	0.008

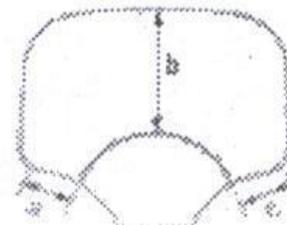
2. Mechanical properties

Yield Strength N/mm ² (kgf/mm ²)	Tensile strength N/mm ² (kgf/mm ²)	Elongation %	Reduction area %	Hardnes	
				Hs	HB
877 (89.4)	1293 (131.8)	15.3	36.5	53	365



3. Properties of head-hardened layers

a. Macrostructure



Depth of head hardened layer

Cross-section	Depth mm (in.)
a	16.5 (0.65)
b	36.0 (1.42)
c	16.0 (0.63)

KLASIFIKASI TIPE REL DI INDONESIA

Tipe	Berat (kg/m)	Tinggi (mm)	Lebar Kaki (mm)	Lebar Kepala (mm)	Tebal Badan (mm)	Panjang Standar/normal (m)
R2/ R25	25,74	110	90	53	10	6,80-10,20
R3/ R33	33,40	134	105	58	11	11,90-13,60
R14/ R41	41,52	138	110	68	13,5	11,90-13,60-17,00
R14A/ R42	42,18	138	110	68,5	13,5	13,60-17,00
R50	50,40	153	127	63,8	15	17,00
UIC 54/ R54	54,40	159	140	70	16	18,00/24,00
R60	60,34	172	150	74,3	16,5	

DIMENSI PROFIL REL

Besaran geometri rel.	Tipe rel			
	R. 42	R. 50	R. 54	R. 60
H (mm)	138,00	153,00	159,00	172,00
B (mm)	110,00	127,00	140,00	150,00
C (mm)	68,50	65,00	70,00	74,30
D (mm)	13,50	15,00	16,00	16,50
E (mm)	40,50	49,00	49,40	51,00
F (mm)	23,50	30,00	30,20	31,50
G (mm)	72,00	76,00	74,97	80,95
R (mm)	320,00	500,00	508,00	120,00
A (cm ²)	54,26	64,20	69,34	76,86
W (kg/m)	42,59	50,40	54,43	60,34
I _x (cm ⁴)	1.369	1.960	2.346	3.055
Y _b (mm)	68,50	71,60	76,20	80,95

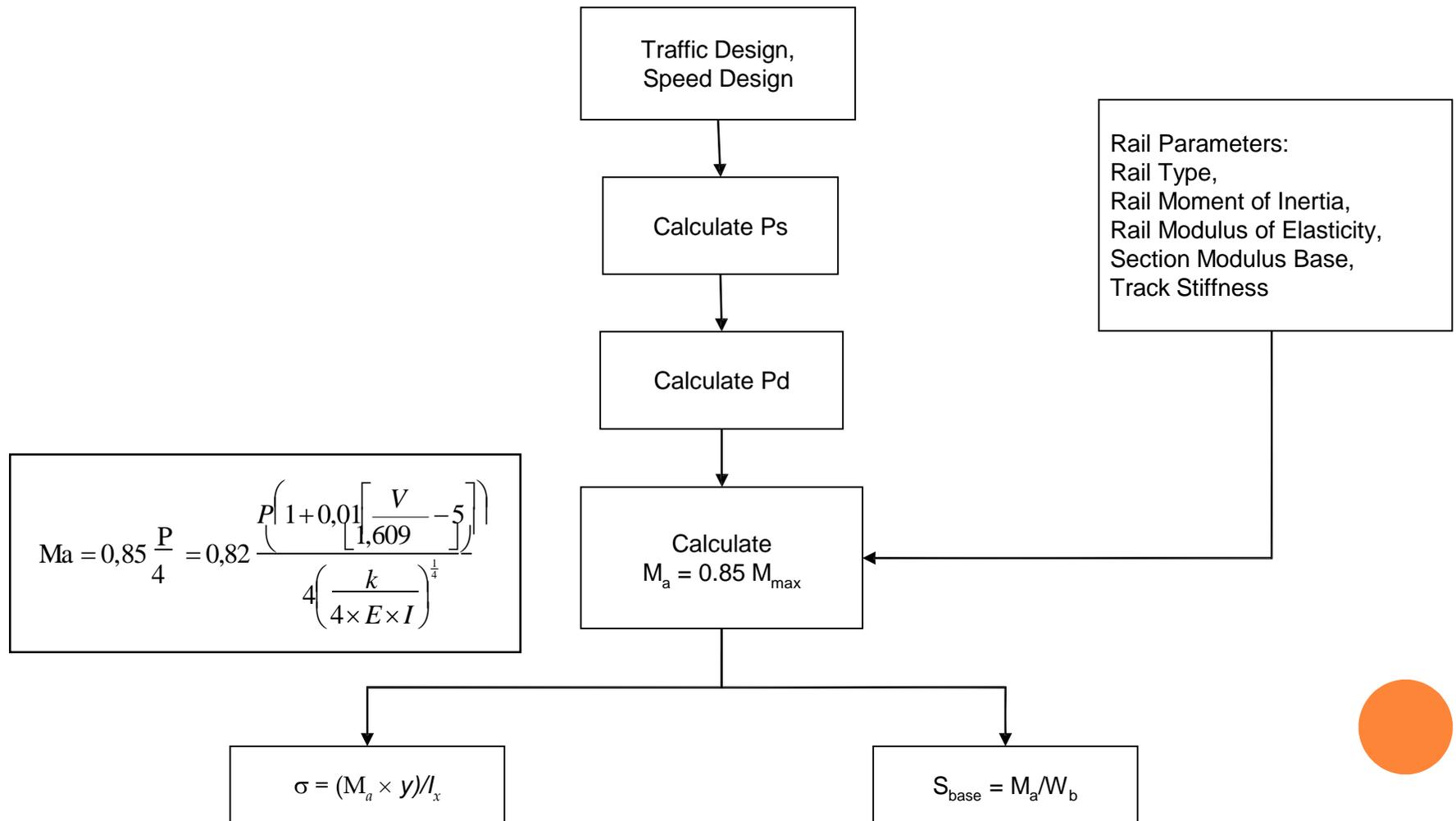
A = luas penampang.
 W = berat rel per meter.
 I_x = momen inersia terhadap sumbu X.
 Y_b = jarak tepi bawah rel ke garis netral.

TEGANGAN IJIN PROFIL REL

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



BAGAN ALIR PERENCANAAN DIMENSI REL



PERHITUNGAN TEGANGAN PADA JALAN REL

Rel dianggap sebagai balok dengan panjang tak berhingga, beban terpusat, ditumpu pada tumpuan elastis, dengan modulus elastisitas jalan rel (track stiffness) adalah k , maka :

$$P = k \times y$$

Dimana :

P = Reaksi merata/satuan panjang

k = Modulus elastisitas jalan rel = 180 kg/cm^2

y = Defleksi



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

Dimana :

= faktor dumping (cm⁻¹)

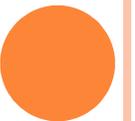
E = Modulus elastisitas rel = 2.1 x 10⁶ (kg/cm²)

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

$$M_{maks} = \frac{P_d}{4\lambda}$$

Dimana :

P_d = Beban dinamis roda (kg)



$$\sigma = \frac{M_a \times y}{I_x}$$

Dimana :

= Tegangan yang terjadi pada rel (kg/cm²)

$M_a = 0.85 \times M_o$ akibat superposisi beberapa gandar (kg-cm)

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

I_x = Momen inersia (cm⁴)

$$S_{base} = \frac{M_a}{W_b}$$

Dimana :

S_{base} = Tegangan yang terjadi pada dasar rel (kg/cm²)

W_b = Tahanan momen dasar (cm³)



Perhitungan untuk kelas lainnya dapat ditabelkan sebagai berikut:

Kelas	Rel	Tegangan dasar Rel (kg/cm ²)	Tegangan ijin (kg/cm ²)
I	R60	1042	1325
	R54	1196	
II	R54	1146	1325
	R50	1236	
III	R54	1097	1663
	R50	1183	
	R42	1474	
IV	R54	1048	1843
	R50	1130	
	R42	1409	
V	R42	1343	1843



KOMPONEN STRUKTUR JALAN REL

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

- a. Struktur bagian atas, atau dikenal sebagai *superstructure* yang terdiri dari komponen-komponen seperti rel (*rail*), penambat (*fastening*) dan bantalan (*sleeper*).
- b. Struktur bagian bawah, atau dikenal sebagai *substructure*, yang terdiri dari komponen balas (*ballast*), subbalas (*subballast*), tanah dasar (*improve subgrade*) dan tanah asli (*natural ground*).



PENGERTIAN UMUM PENAMBAT REL

Penambat rel merupakan suatu komponen yang menambatkan rel pada bantalan sehingga kedudukan rel menjadi kokoh dan kuat. Kedudukan rel dapat bergeser diakibatkan oleh pergerakan dinamis roda sehingga dapat mengakibatkan gaya lateral yang besar.

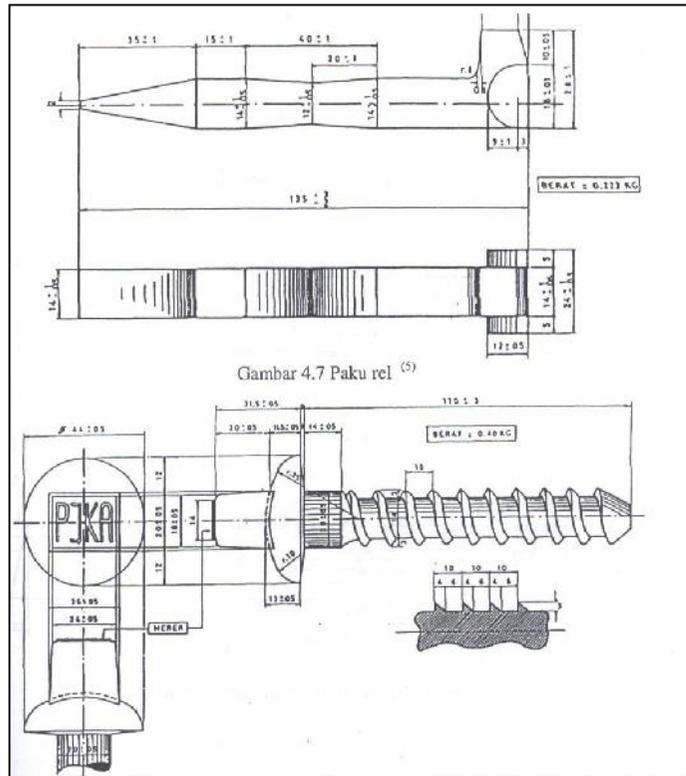
Oleh karena itu, kekuatan penambat sangat diperlukan untuk dapat mengeliminasi gaya ini. Jenis penambat digolongkan berdasarkan karakteristik perkuatan yang dihasilkan dari sistem penambat yang digunakan.



JENIS PENAMBAT REL

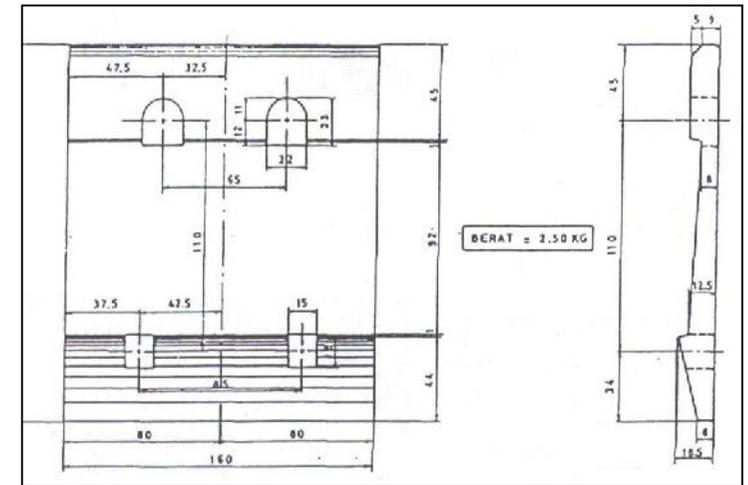
Saat ini jenis penambat dibedakan menurut sistem perkuatan penambatan yang diberikan pada rel terhadap bantalan, yaitu:

- A. Penambat Kaku, yang terdiri dari mur dan baut namun dapat juga ditambahkan pelat andas, dimana sistem perkuatannya terdapat pada *klem plat yang kaku*.
- B. Penambat Elastik, penggunaannya dibagi dalam dua jenis, yaitu **penambat elastik tunggal** yang terdiri dari pelat andas, pelat atau batang jepit elastik, tirpon, mur dan baut, dimana kekuatan jepitnya terletak pada batang jepit elastik. Jenis yang kedua adalah **penambat elastik ganda** yang terdiri dari pelat andas, pelat, alas rel, tirpon, mur dan baut, Kekuatan jepitnya terletak pada batang elastis.



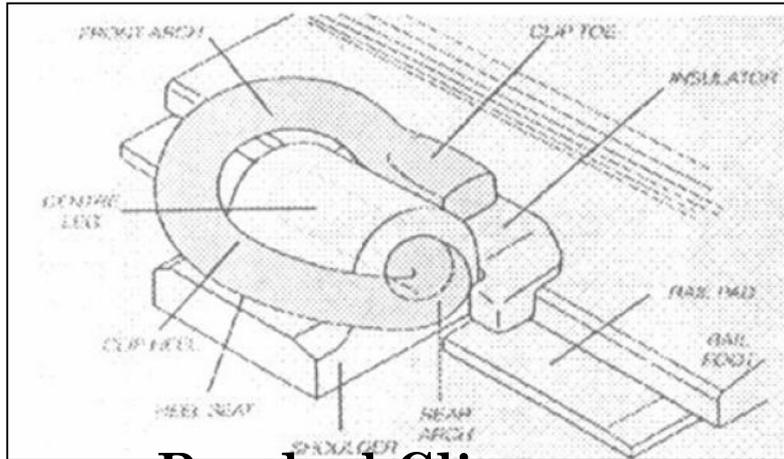
Gambar 4.7 Paku rel (5)

Contoh Penambat *TIRPONTA* untuk R-25

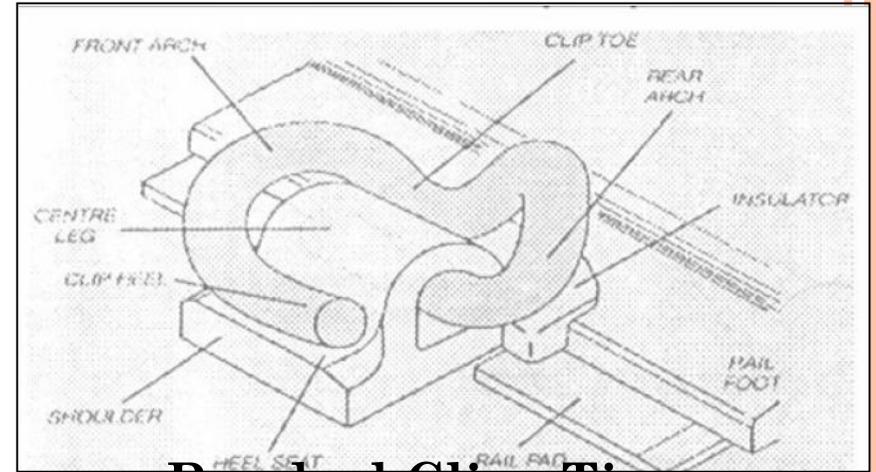


Contoh *Pelat Andas Tipe A* untuk R-25

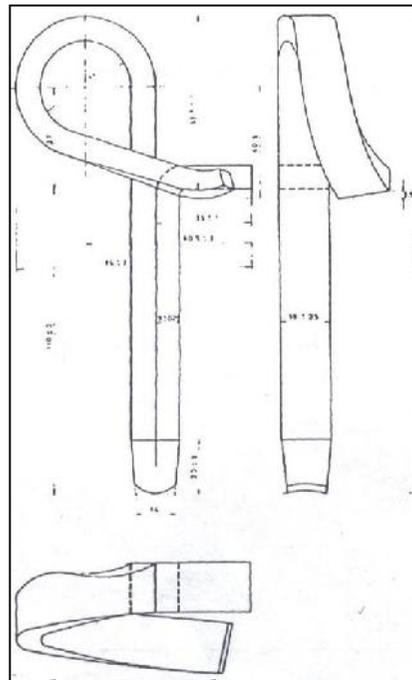




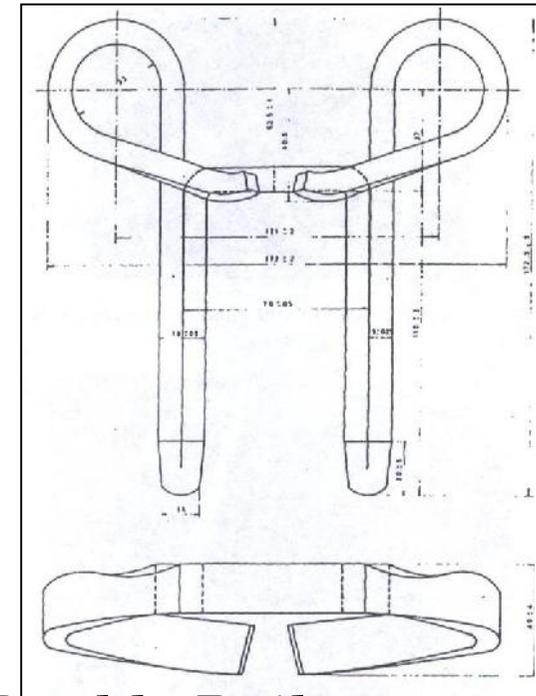
**Pandrol Clips
Type e**



**Pandrol Clips Type
PR**

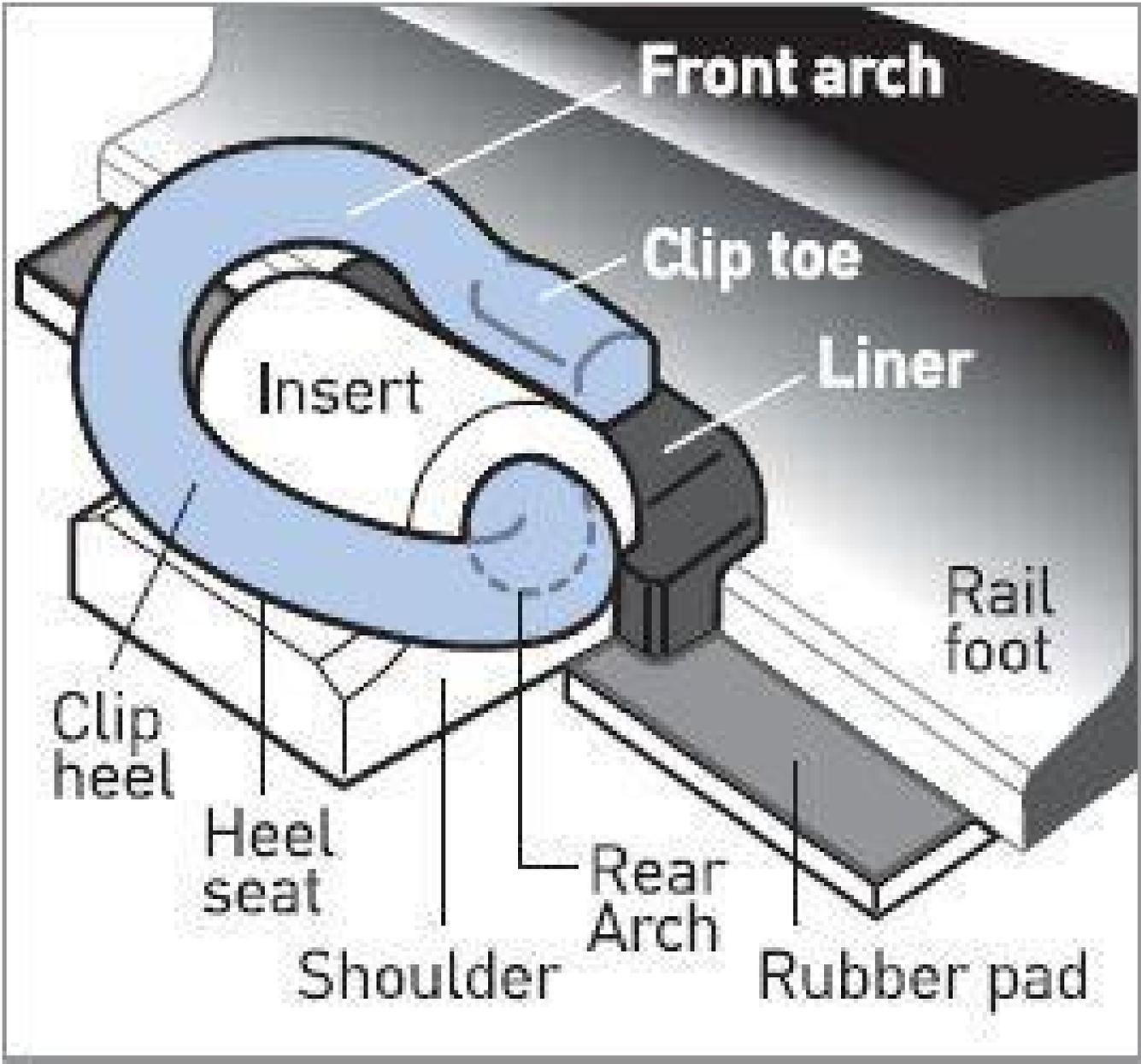


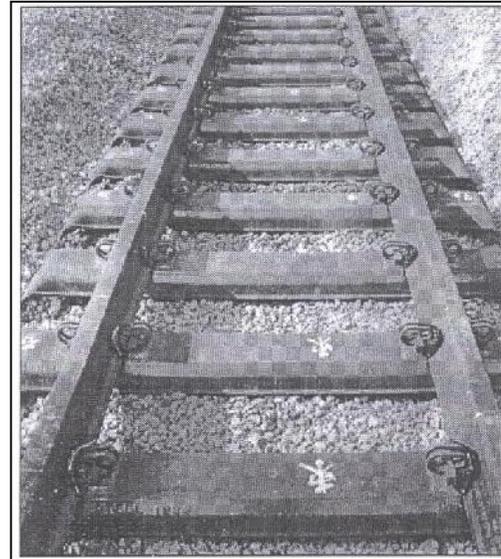
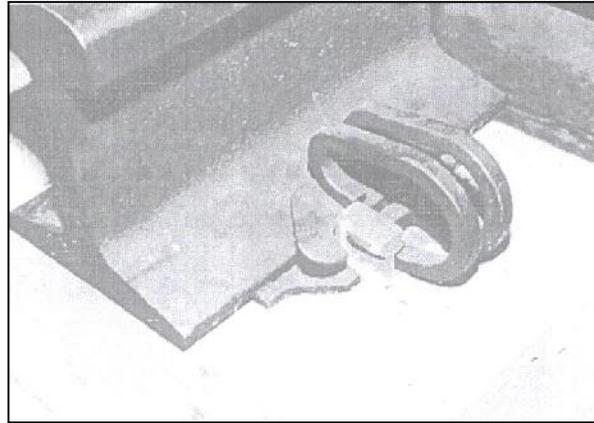
**Single Rail
Spike/Dorken**



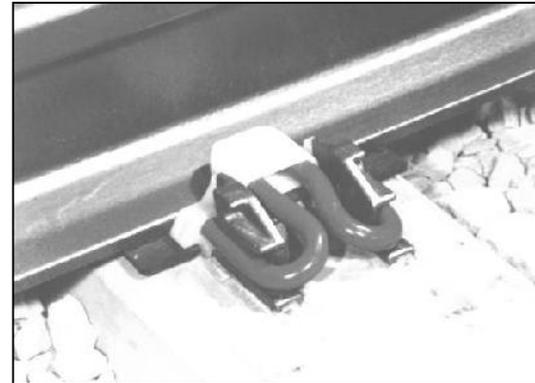
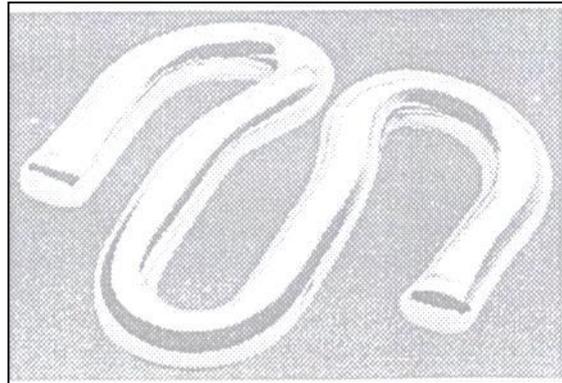
**Double Rail
Spike/Dorken**





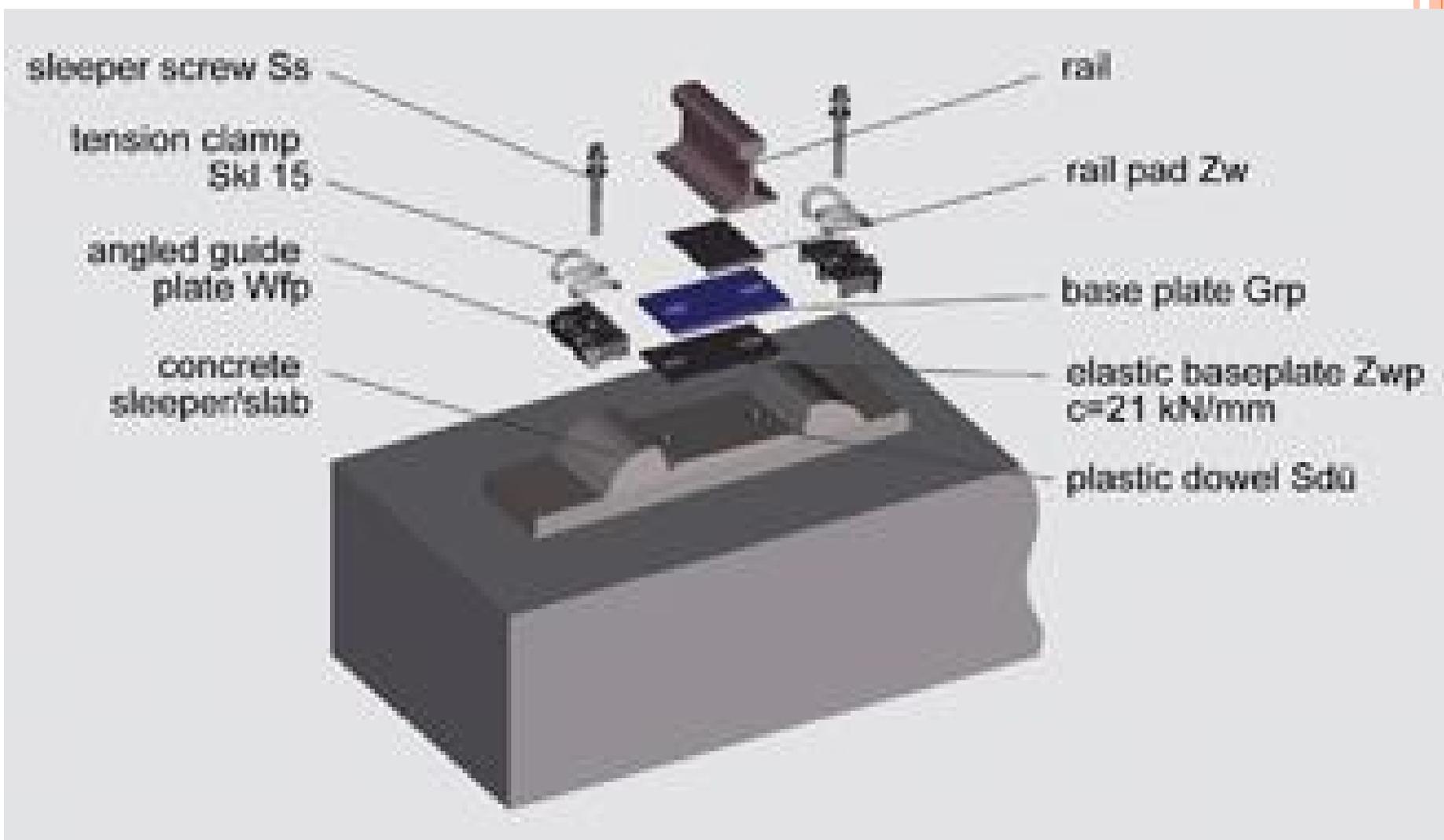


**Penambat DE
Clips**



**Penambat Pandrol
Fastclips**





screw spike

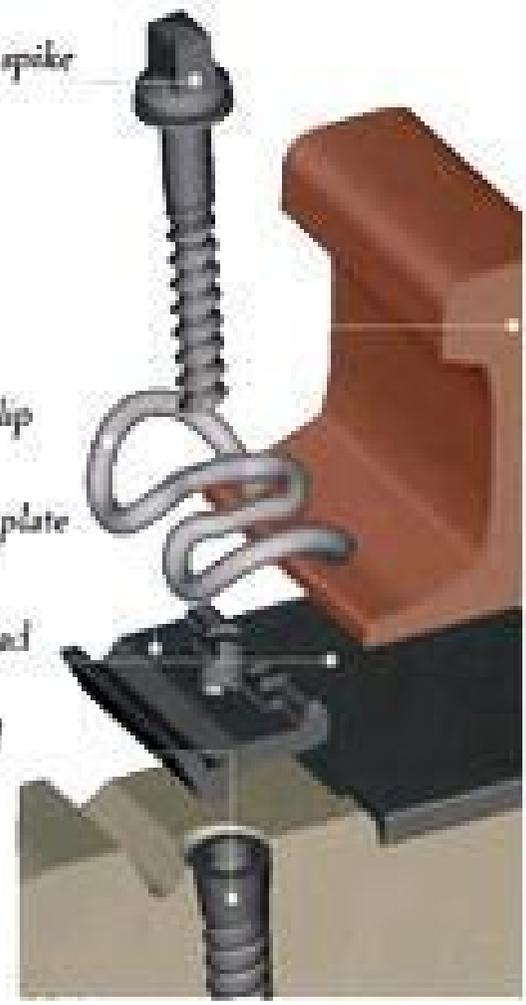
rail

rail clip

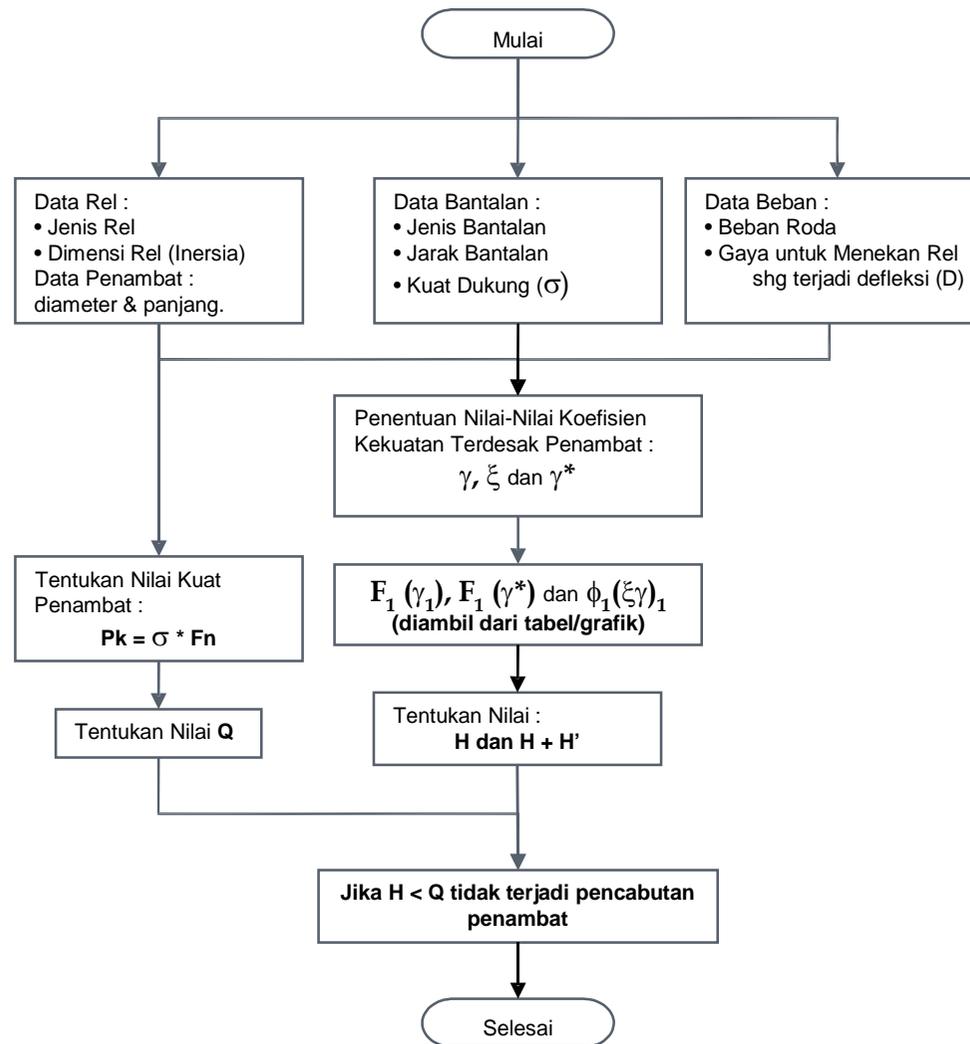
guide plate

rail pad

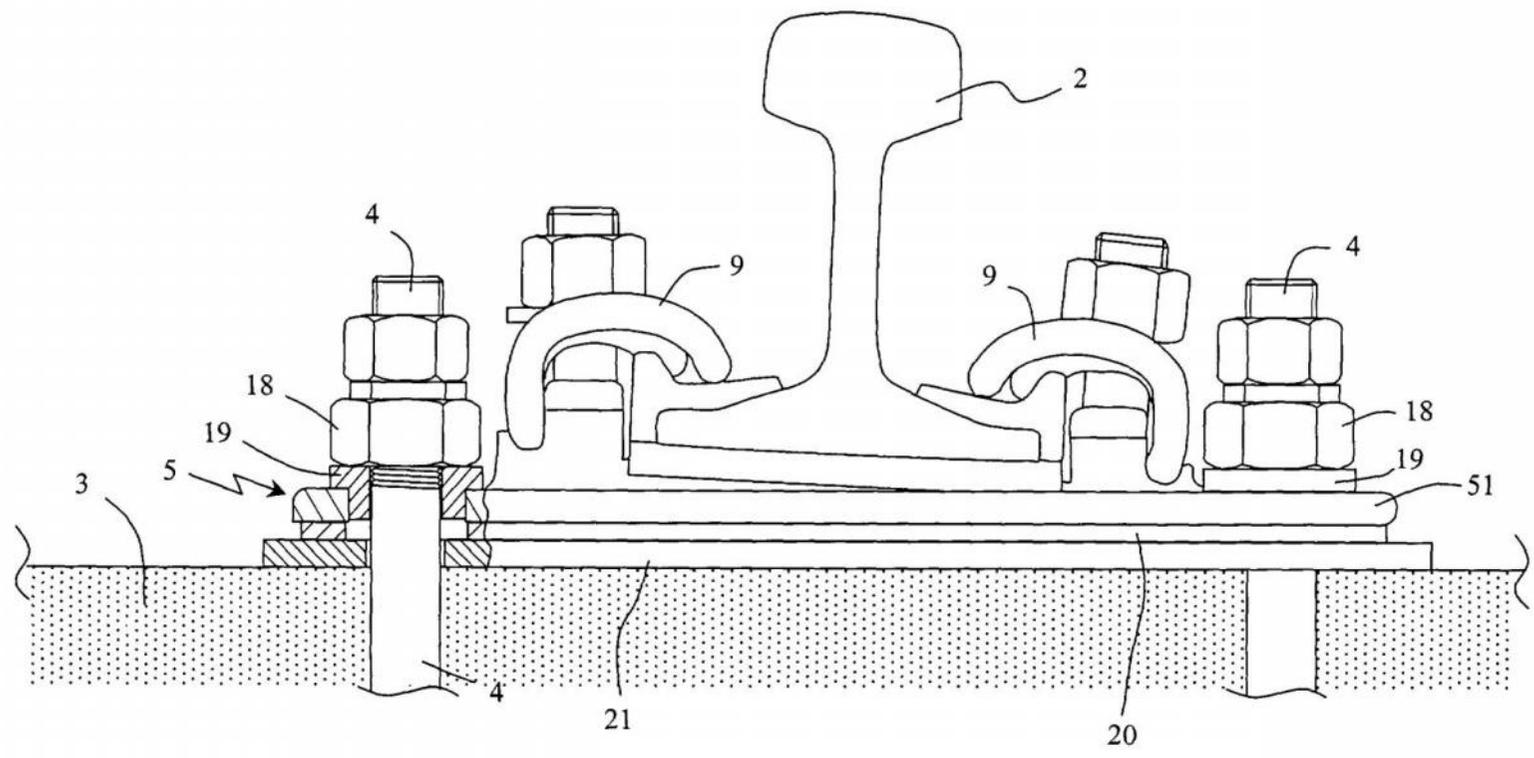
dowel

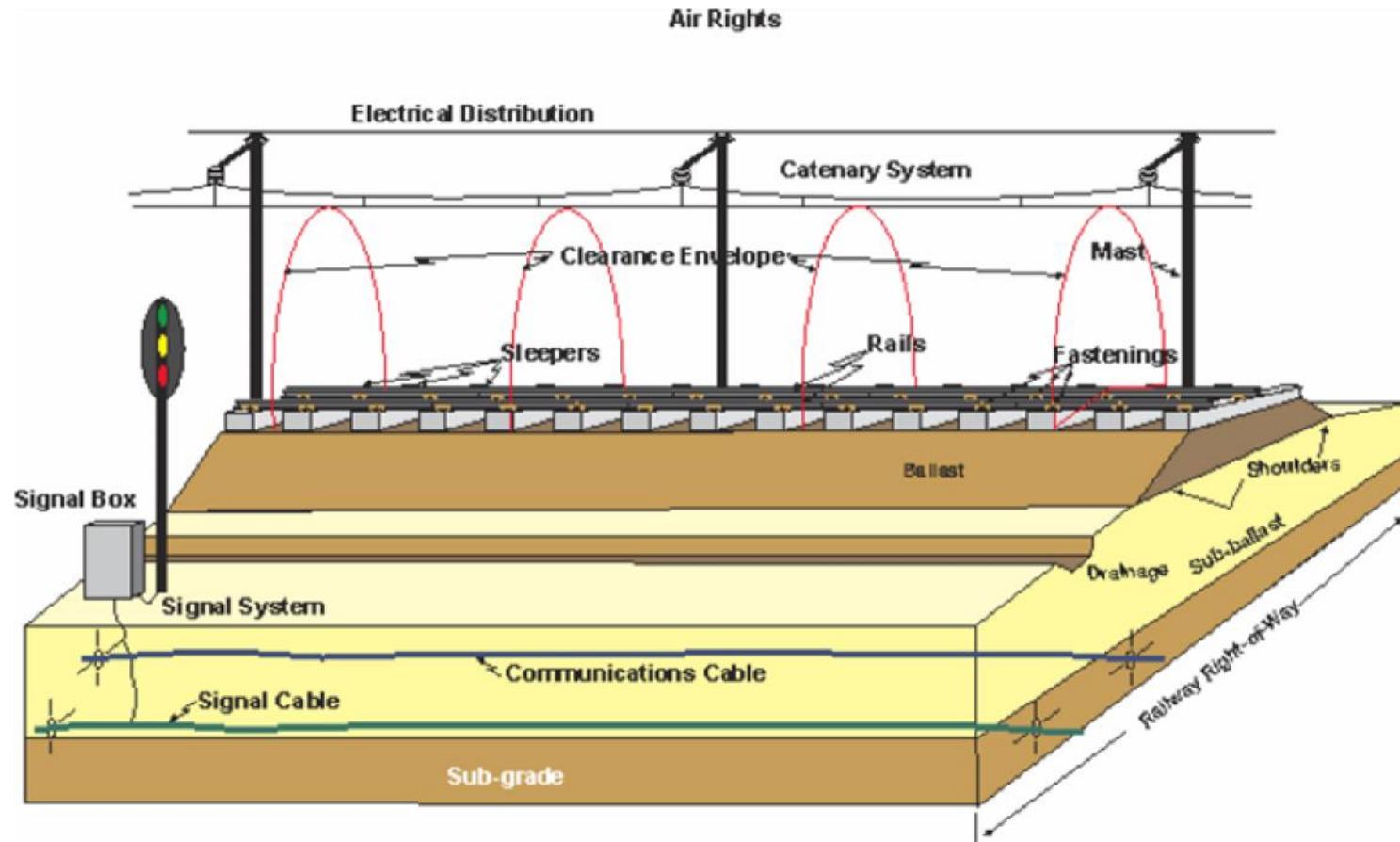


BAGAN ALIR PERHITUNGAN GAYA LATERAL PENAMBAT









http://www.ppiaf.org/sites/ppiaf.org/files/documents/toolkits/railways_toolkit/ch1_3.html



BANTALAN REL

Bantalan merupakan suatu struktur untuk mengikat rel (dengan penambat) sedemikian rupa sehingga kedudukan rel menjadi kokoh dan kuat. Bantalan juga membentuk sistem pembebanan dari kendaraan rel terdistribusi secara lebih ringan dan merata kepada struktur pondasi.

Jenis bantalan menurut bahan dan karakteristik penyusunnya :

1. Bantalan kayu (*Wooden Sleeper*)
2. Bantalan besi (*Steel sleeper*)
3. Bantalan beton (*Concrete Sleeper*)
4. Bantalan slab-track (*Slab Track*)



KONSEP MOMEN PADA BANTALAN

Persamaan momen :

$$M_{(x)} = \frac{P}{4\lambda} \times e^{-\lambda x} (\cos \lambda x - \sin \lambda x)$$

- Jika : $\cos x_1 - \sin x_1 = 0$, maka momen = 0

Jika : Momen = 0, maka :

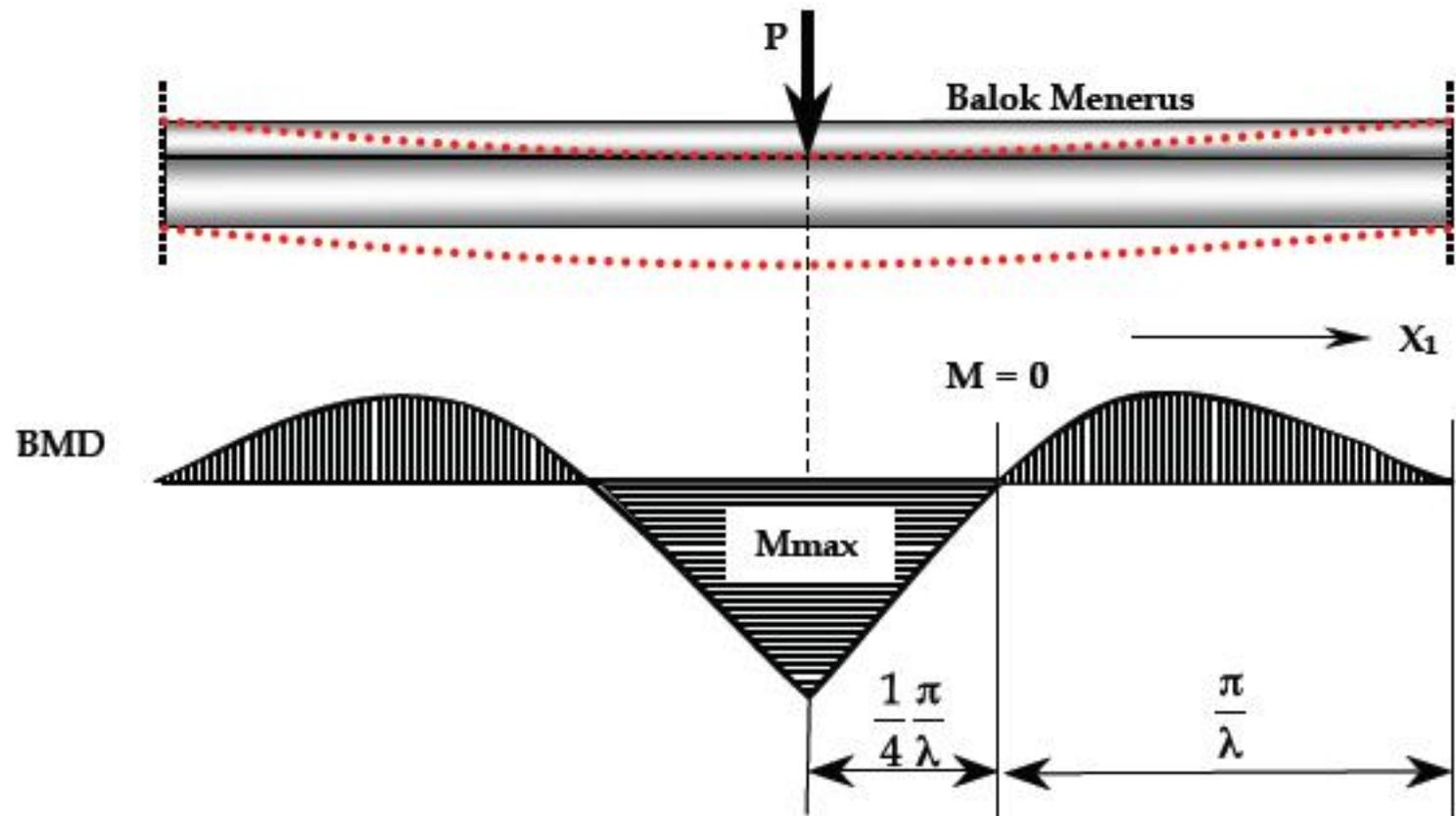
$$x_1 = \frac{1}{4} \times \frac{\pi}{\lambda} = \frac{\pi}{4} \sqrt[4]{\frac{4EI}{k}} \quad \text{dan} \quad \lambda = \frac{\pi}{4x_1}$$

- Jika : $\cos x_1 - \sin x_1 = 1$, maka momen = Maksimum

$$M_m = \frac{P_d}{4} = \frac{P \times x_1}{\pi} = 0.318P \times x_1$$



DISTRIBUSI MOMEN



KONSEP DEFLEKSI PADA BANTALAN

Persamaan defleksi :

$$y_{(x)} = \frac{P\lambda}{2k} \times e^{-\lambda x} (\cos \lambda x + \sin \lambda x) \quad \text{dan} \quad \lambda = \left(\frac{k}{4EI} \right)^{\frac{1}{4}}$$

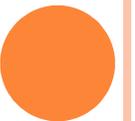
- Jika : $\cos x_2 + \sin x_2 = 0$, maka defleksi = 0

Jika : $Y = 0$, maka :

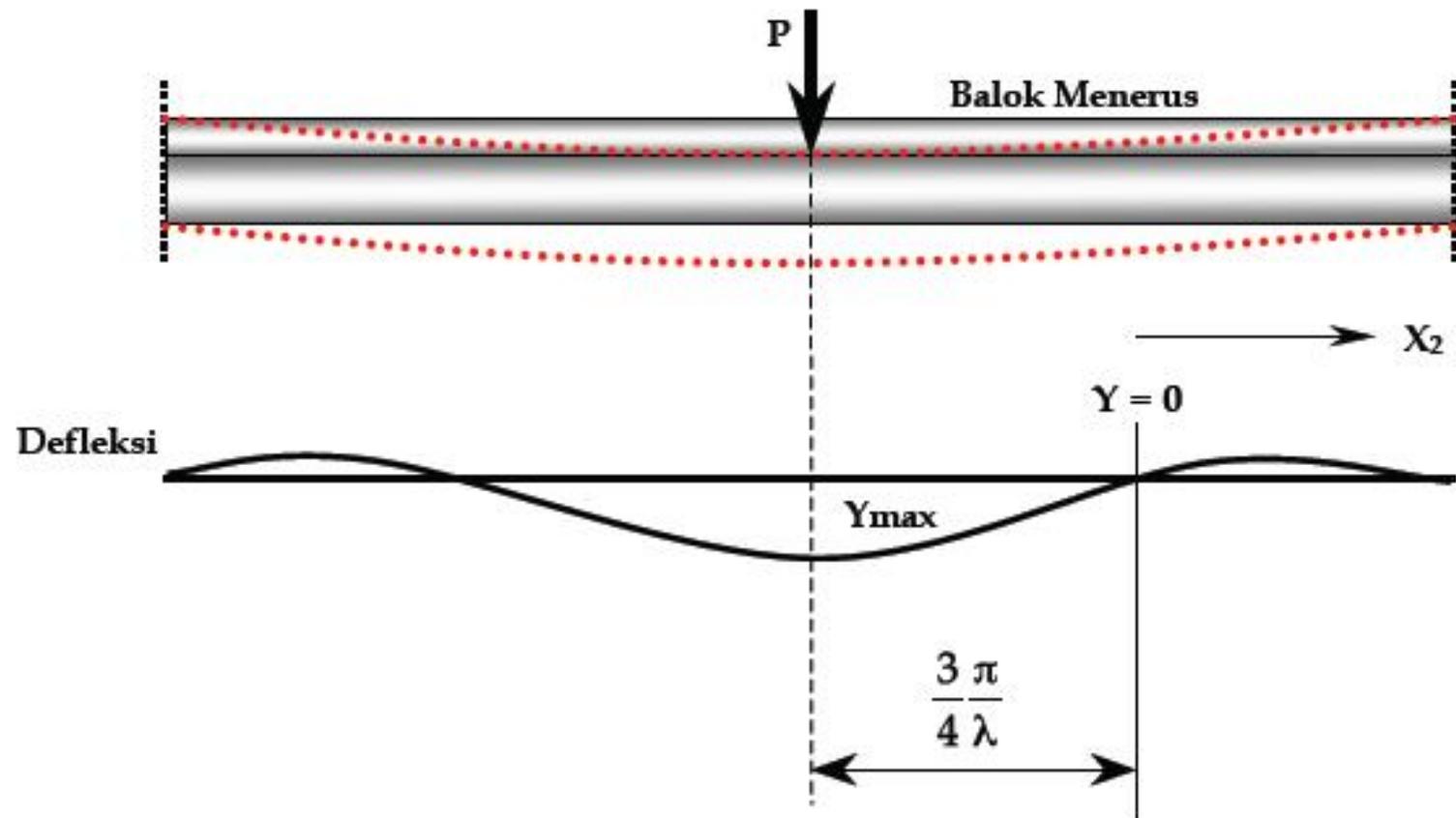
$$x_2 = \frac{3}{4} \times \frac{\pi}{\lambda} = \frac{3\pi}{4} \sqrt[4]{\frac{4EI}{k}} = 3x_1$$

- Jika : $\cos x_2 + \sin x_2 = 1$, maka defleksi = Maksimum

$$y_m = \frac{P_d \lambda}{2k}$$



DISTRIBUSI DEFLEKSI



BANTALAN KAYU

Menurut Peraturan Dinas No. 10 1986, ukuran bantalan kayu dibedakan berdasarkan lokasi pemasangan, yaitu :

- a) Bantalan kayu pada jalan lurus : 200 x 22 x 13 (PJKa)
210 x 20 x 14 (JNR)
- b) Bantalan kayu pada jembatan : 180 x 22 x 20 (PJKa)
180 x 22 x 24 (JNR)

Untuk syarat tegangan ijin yang diperbolehkan adalah :

Jenis Tegangan Ijin	Kelas Kuat	
	I	II
Lentur (σ_{lt} dalam kg/cm^2)	125	83
Geser (τ dalam kg/cm^2)	17	10



ANALISIS BANTALAN KAYU

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

Dimana :

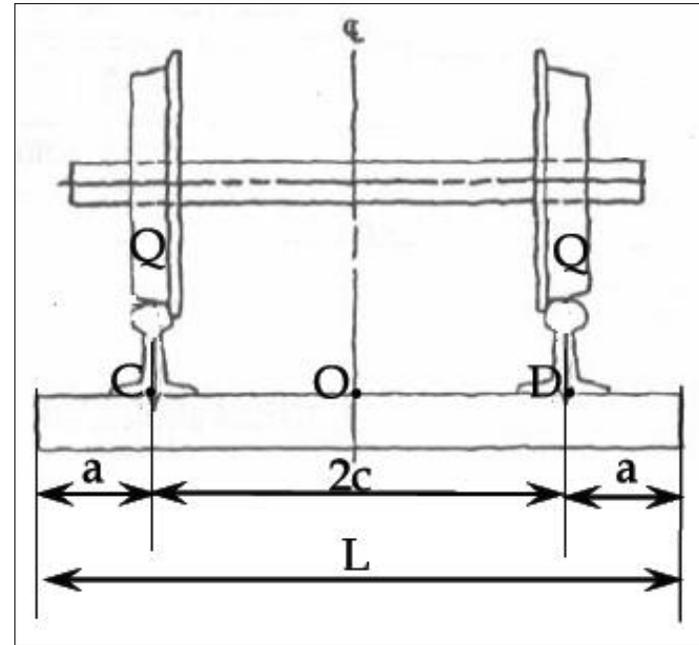
= faktor dumping (cm^{-1})

E = Modulus elastisitas bantalan = 1.25×10^5 (kg/cm^2)

I_x = Momen inersia rel terhadap sumbu x-x (cm^4)

a = Jarak titik tengah rel ke tepi bantalan (cm)

c = Jarak titik tengah rel ke tengah bantalan (cm)



Perhitungan momen di titik C dan D, tepat dibawah kaki rel :

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

Perhitungan momen di titik O, tepat di tengah bantalan :

$$M_o = - \frac{Q}{2\lambda} \frac{1}{\sin \lambda L + \sinh \lambda L} \left[\begin{array}{l} \sinh \lambda c (\sin \lambda c + \sin \lambda (L - c)) + \\ \sin \lambda c (\sinh \lambda c + \sinh \lambda (L - c)) + \\ \cosh \lambda c \cos \lambda (L - c) - \\ \cos \lambda c \cosh \lambda (L - c) \end{array} \right]$$

$$M_i = \bar{\sigma}_{lt} \times W$$

Dimana :

M = Momen pada bantalan (kg-cm)

$\bar{\sigma}_{lt}$ = Tegangan lentur ijin ((kg/cm²))

W = Momen tahanan (cm³)

$$M_{C/D} = M_i$$

$$Q_i > Q_a$$

Dimana :

Q_i = Beban akibat tegangan lentur ijin ((kg))

Q_a = Beban akibat tegangan roda rel ((kg))



BANTALAN BETON

Menurut metode produksinya, proses konstruksi bantalan beton dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu :

a) *Longline Production*

Kabel-kabel pratekan sepanjang 600 m ditegangkan dalam cetakan, kemudian dilakukan pengecoran dan beton dipotong setiap 2 meteran.

b) *Thosti Operation*

Perbedaan terletak dari panjang cetakan, pada metode ini beton dicetak dalam cetakan 2 meteran yang terdiri dari 2 buah bantalan.

Untuk syarat tegangan ijin yang diperbolehkan adalah :

Mutu Beton	Tegangan Ijin Tekan (kg/cm ²)	Tegangan Ijin Tarik (kg/cm ²)
K-350	120	17.5
K-500	200	35



ANALISIS BANTALAN BETON

$$\lambda = 4 \sqrt{\frac{k}{4EI}}$$

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

Dimana :

= faktor dumping (cm^{-1})

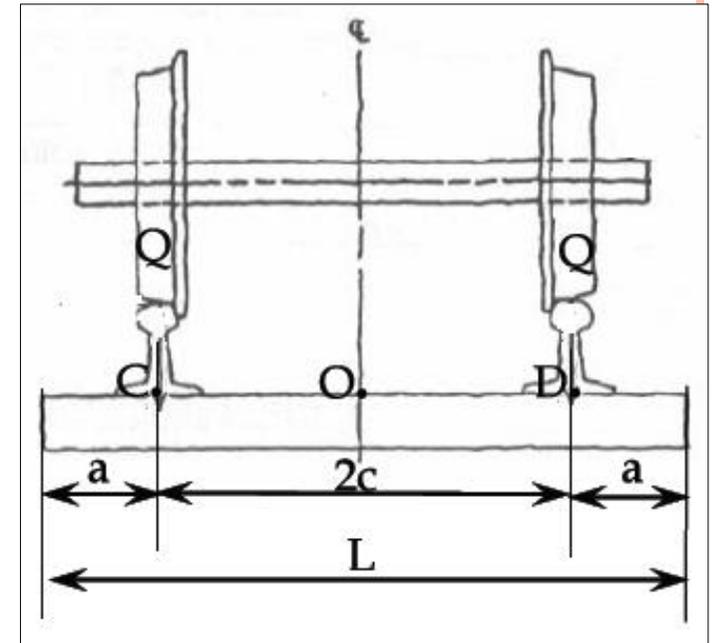
E = Modulus elastisitas bantalan (kg/cm^2)

f_{cu} = Mutu beton (kg/cm^2)

I_x = Momen inersia rel terhadap sumbu x-x (cm^4)

a = Jarak titik tengah rel ke tepi bantalan (cm)

c = Jarak titik tengah rel ke tengah bantalan (cm)



Perhitungan momen di titik C dan D, tepat dibawah kaki rel :

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

Perhitungan momen di titik O, tepat di tengah bantalan :

$$M_o = - \frac{Q}{2\lambda} \frac{1}{\sin \lambda L + \sinh \lambda L} \left[\begin{array}{l} \sinh \lambda c (\sin \lambda c + \sin \lambda (L - c)) + \\ \sin \lambda c (\sinh \lambda c + \sinh \lambda (L - c)) + \\ \cosh \lambda c \cos \lambda (L - c) - \\ \cos \lambda c \cosh \lambda (L - c) \end{array} \right]$$

Analisis tegangan tahap pratekan awal :

$$\sigma = \frac{P_{initial}}{A} - \frac{P_{initial} \times e}{W}$$

Sisi atas bagian bantalan bawah rel

$$\sigma = \frac{P_{initial}}{A} + \frac{P_{initial} \times e}{W}$$

Sisi bawah bagian bantalan bawah rel

$$\sigma = \frac{P_{initial}}{A} + \frac{P_{initial} \times e}{W}$$

Sisi atas bagian tengah bantalan

$$\sigma = \frac{P_{initial}}{A} - \frac{P_{initial} \times e}{W}$$

Sisi bawah bagian tengah bantalan



Analisis tegangan tahap pratekan efektif :

$$\sigma = \frac{P_{efektif}}{A} - \frac{P_{efektif} \times e}{W} + \frac{M}{W}$$

Sisi atas bagian bantalan bawah rel

$$\sigma = \frac{P_{efektif}}{A} + \frac{P_{efektif} \times e}{W} - \frac{M}{W}$$

Sisi bawah bagian bantalan bawah rel

$$\sigma = \frac{P_{efektif}}{A} + \frac{P_{efektif} \times e}{W} - \frac{M}{W}$$

Sisi atas bagian tengah bantalan

$$\sigma = \frac{P_{efektif}}{A} - \frac{P_{efektif} \times e}{W} + \frac{M}{W}$$

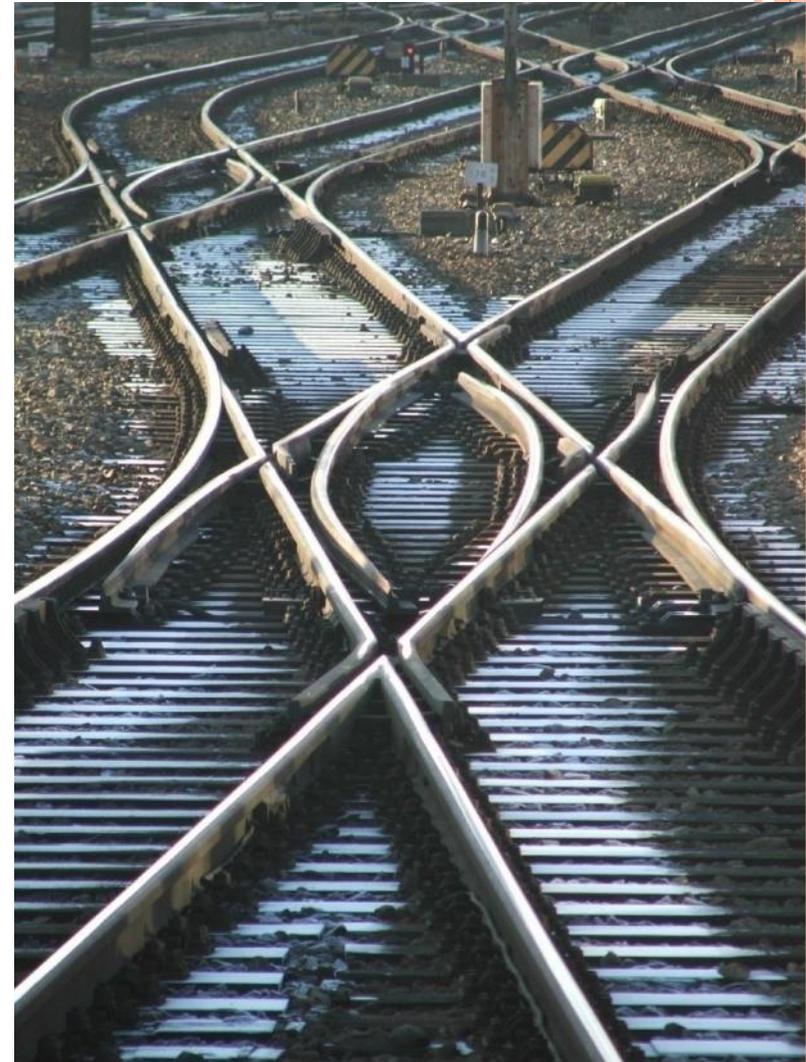
Sisi bawah bagian tengah bantalan

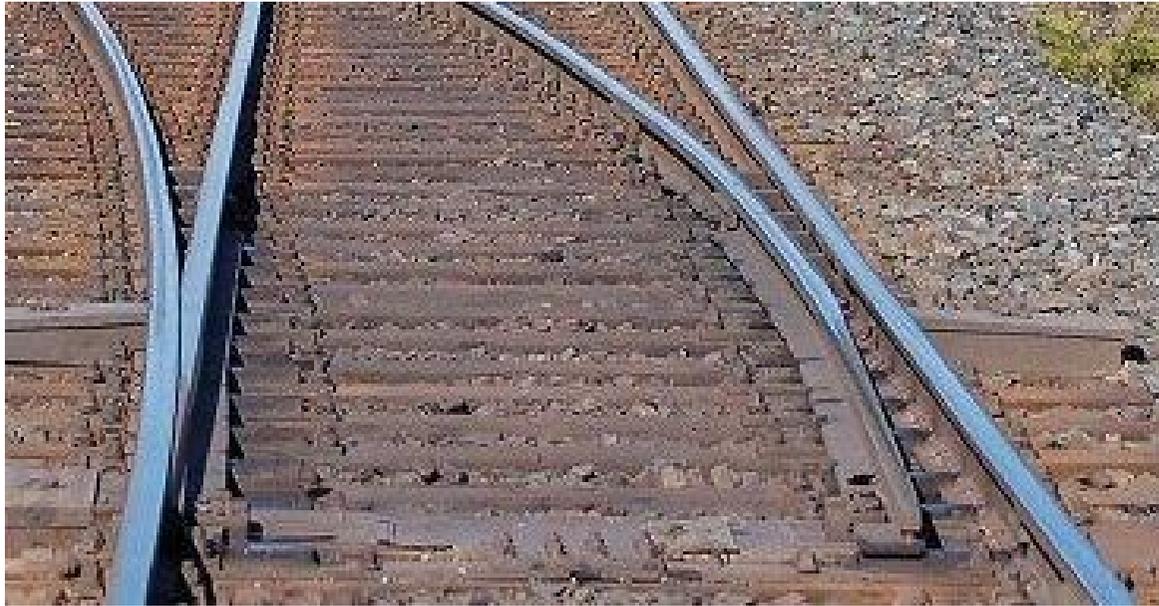


PENGERTIAN WESEL

- **Wesel** adalah konstruksi rel kereta api yang bercabang (bersimpangan) tempat memindahkan jurusan jalan kereta api.
- Wesel terdiri dari sepasang rel yang ujungnya diruncingkan sehingga dapat melancarkan perpindahan kereta api dari jalur yang satu ke jalur yang lain dengan menggeser bagian rel yang runcing.



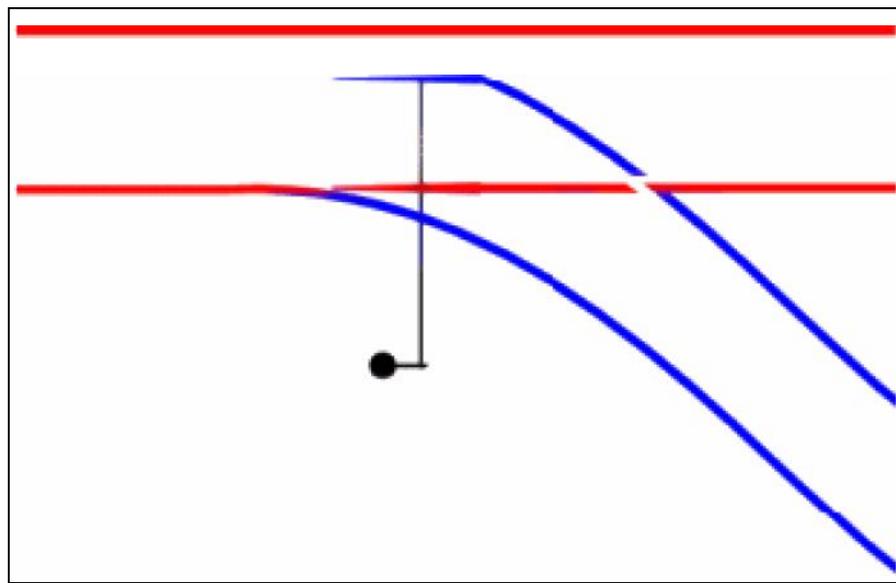
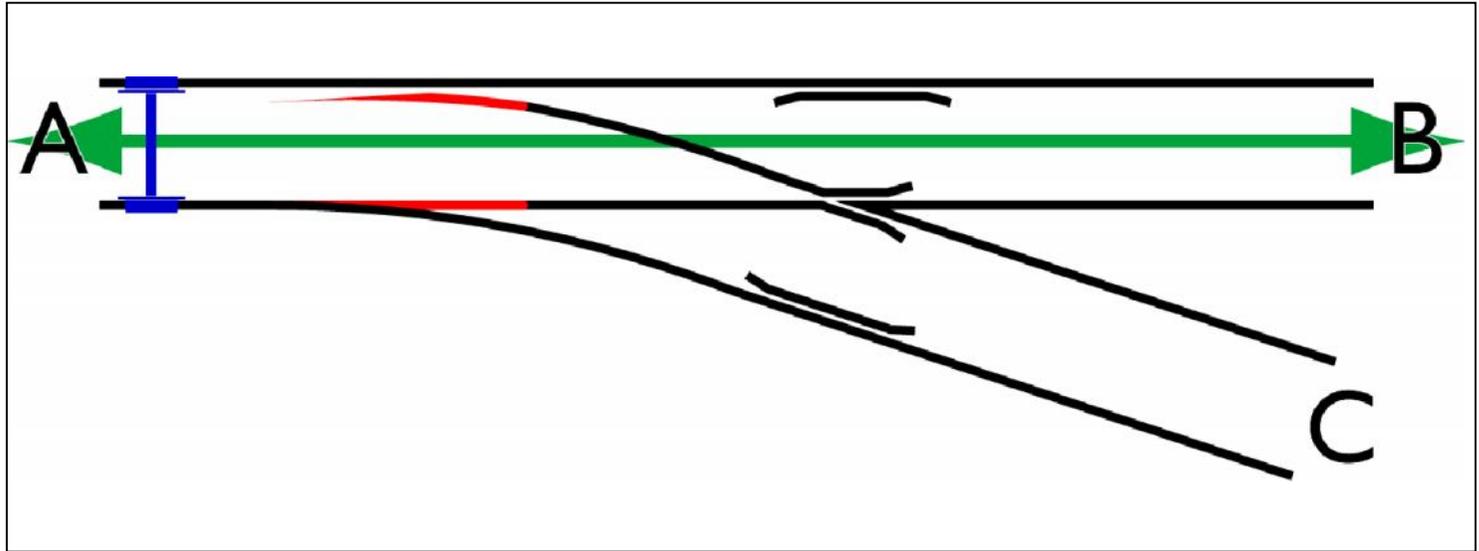




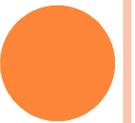
CARA KERJA WESEL

- Kereta api berjalan mengikuti rel, sehingga kalau relnya digeser maka kereta api juga mengikutinya. Untuk memindahkan rel, digunakan weasel yang digerakkan secara manual ataupun dengan menggunakan motor listrik.
- Pada kereta api kecepatan tinggi dibutuhkan transisi yang lebih panjang sehingga dibutuhkan pisau yang lebih panjang dari pada lintasan untuk kereta api kecepatan rendah.



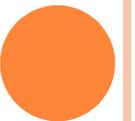


MOTOR WESEL



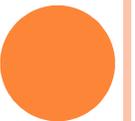
JENIS WESEL

- Wesel Biasa
- Wesel dalam Lengkung
- Wesel Tiga Jalan
- Wesel Inggris

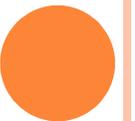
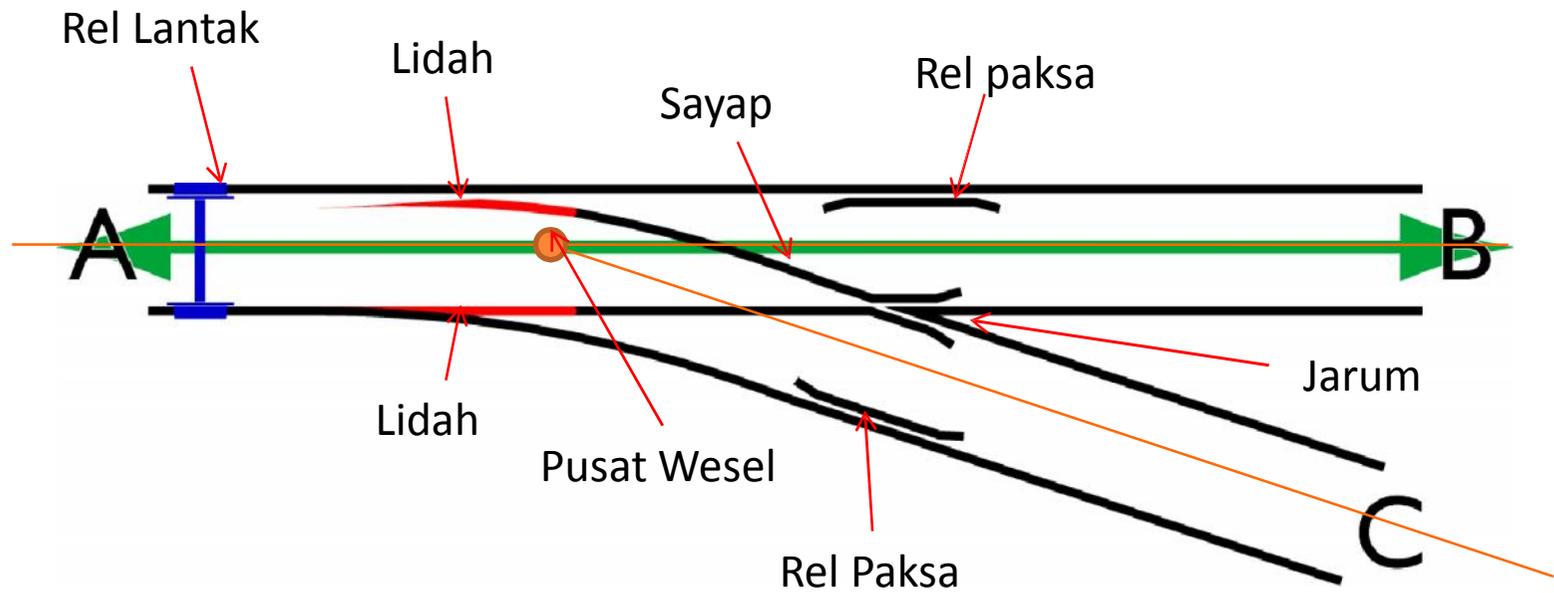


KOMPONEN WESEL

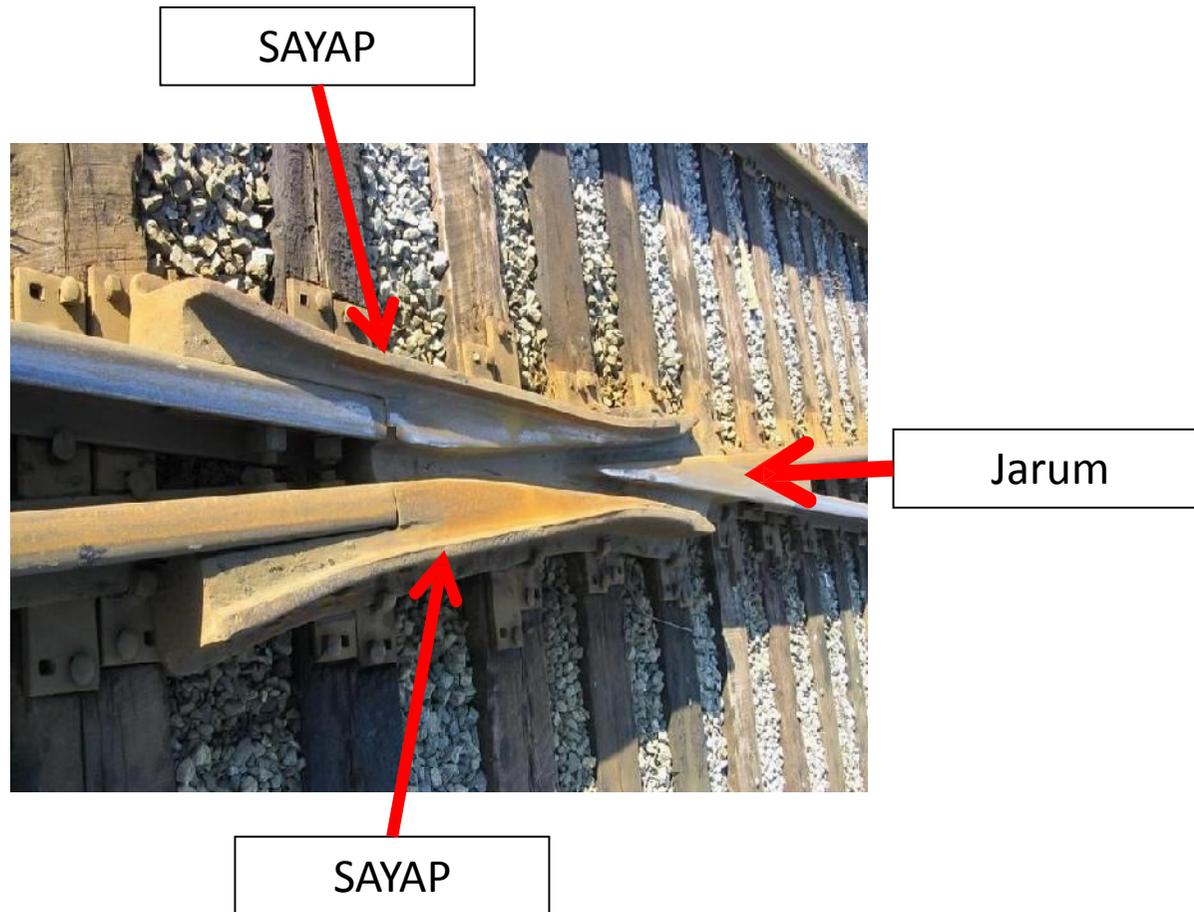
- Lidah
- Jarum beserta Sayap
- Rel Lantak
- Rel Paksa
- Penggerak Wesel



KOMPONEN WESEL



JARUM BESERTA SAYAP WESEL



KECEPATAN IJIN DAN SUDUT SIMPANGAN ARAH WESEL

Tg. α	1 : 8	1 : 10	1 : 12	1 : 14	1 : 16	1 : 18
Nomor Wesel	v_{v_8}	$v_{v_{10}}$	$v_{v_{12}}$	$v_{v_{14}}$	$v_{v_{16}}$	$v_{v_{18}}$
Kecepatan Ijin (km/jam)	25	35	45	50	60	70

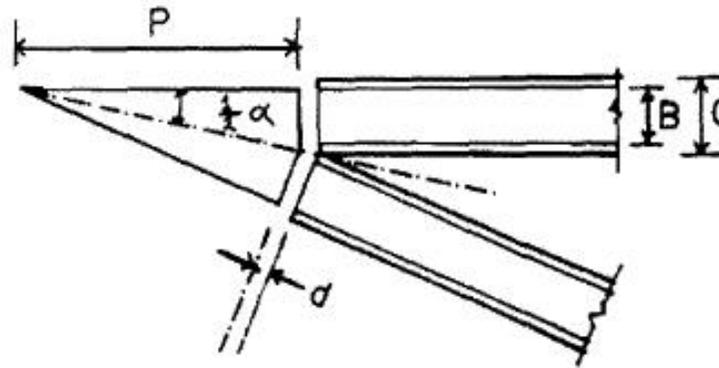


PERANCANGAN WESEL

- Faktor yang menentukan perancangan wesel adalah :
 - Kecepatan kereta api, sudut tumpu (β), dan sudut simpang arah (α)
 - Panjang Jarum
 - Panjang Lidah
 - Jari-jari Lengkung



PERHITUNGAN PANJANG JARUM



$$P = \frac{(B + C)}{2 \operatorname{tg}(\alpha/2)} - d$$

Gambar 8.13 Panjang jarum

dengan :

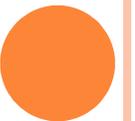
P : panjang jarum,

B : lebar kepala rel.

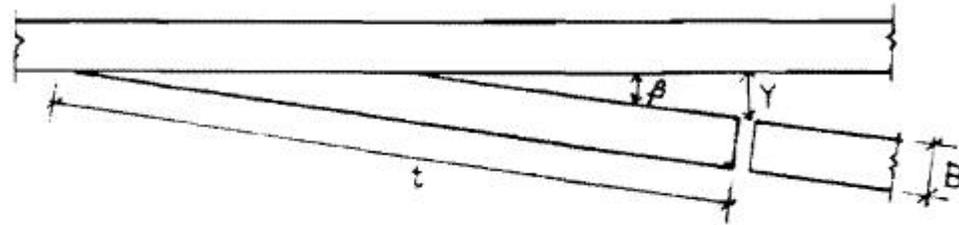
C : lebar kaki rel,

α : sudut simpang arah.

d : celah antara jarum dan ujung rel (celah jarum).



PERHITUNGAN PANJANG LIDAH BERPUTAR



$$t > \frac{B + Y}{\sin \beta} \quad (8.2)$$

Gambar 8.14 Panjang lidah pada lidah berputar

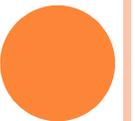
Keterangan Gambar 8.14:

t : panjang lidah.

B : lebar kepala rel.

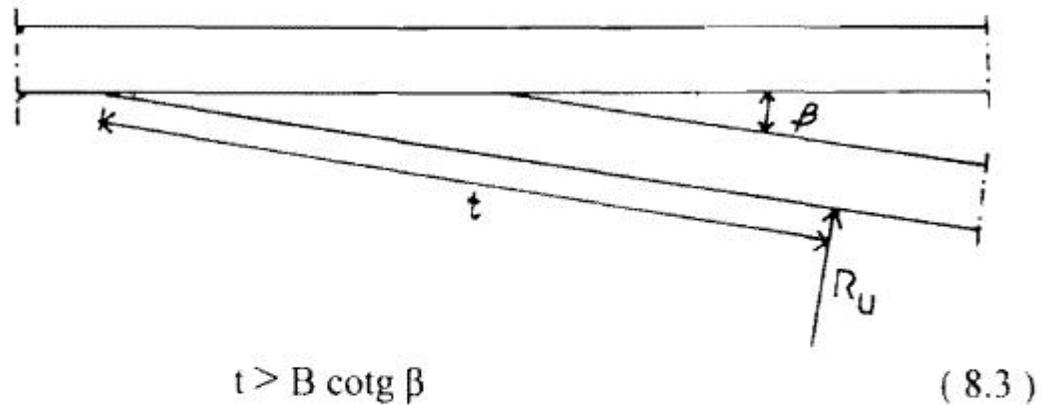
Y : jarak antara akar lidah dan rel lantak,

β : sudut tumpu.



PANJANG LIDAH BERPEGAS

Panjang lidah pada lidah berpegas dapat ditentukan dengan persamaan 8.3 berikut ini:



Gambar 8.15 Panjang lidah pada lidah berpegas

Keterangan Gambar 8.15:

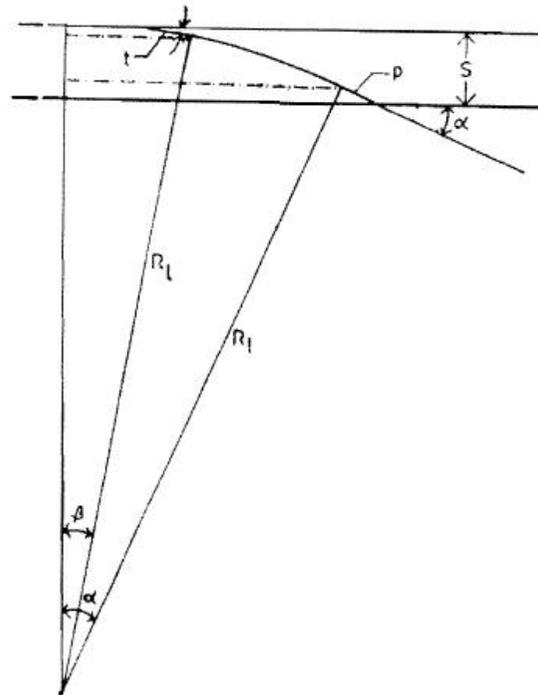
t : panjang lidah

B : lebar kepala rel,

β : sudut tumpu



JARI-JARI LENGKUNG LUAR



Dengan batasan bahwa besarnya jari-jari lengkung luar tidak boleh lebih dari besarnya jari-jari yang dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$R = \frac{V^2}{7.8} \quad (8.5)$$

dengan:

R : jari-jari lengkung luar,

V : kecepatan ijin pada wesel (dalam km/jam)

Besarnya jari-jari lengkung dalam (R_d) ditentukan berdasarkan atas jari-jari lengkung luar (R_l) dengan memperhitungkan perlunya pelebaran sepur.

$$R_1 = \frac{S - t \sin \beta - P \sin \alpha}{\cos \beta - \cos \alpha}$$

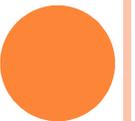
Gambar 8.16 Jari-jari lengkung luar

DRAINASE JALAN REL

Didefinisikan sebagai sistem pengaliran/pembuangan air di suatu daerah jalan rel, baik secara gravitasi maupun dengan menggunakan pompa, agar tidak sampai terjadi genangan air.

Terdapat 3 (tiga) jenis drainase jalan rel yaitu:

- a. Drainase permukaan (*surface drainage*)
- b. Drainase bawah permukaan (*sub-surface drainage*)
- c. Drainase lereng (*slope drainage*)



DRAINASE PERMUKAAN

Drainase permukaan bertujuan untuk mengalirkan atau membuang air yang ada dipermukaan tanah. Perencanaan dan perancangan drainase permukaan dipengaruhi oleh keadaan topografi.

Terdapat 2 (dua) jenis drainase permukaan, yaitu:

- a. Drainase memanjang (*side-ditch*)
- b. Drainase melintang (*cross-drainage*)



Kemiringan saluran drainase dan kecepatan aliran pembuangan air yang terjadi harus tidak menimbulkan kerusakan saluran dan tidak menyebabkan endapan di saluran drainase.

Bahan Saluran	Kecepatan perancangan (m/s)
Beton	0.6 – 3.0
Aspal	0.6 – 1.5
Pasangan Batubata	0.6 – 1.8
Kerikil	0.6 – 1.0
Pasir kasar	0.3 – 0.6
Lempung	0.2 – 0.3
Tanah Lanau	0.1 – 0.2



Kemiringan saluran drainase dan kecepatan aliran pembuangan air yang terjadi harus tidak menimbulkan kerusakan saluran dan tidak menyebabkan endapan di saluran drainase.

Bahan Saluran	Permukaan Saluran	Koefisien Kekasaran
Tidak diperkuat	Tanah	0.02 – 0.025
	Pasir dan kerikil	0.025 – 0.04
	Cadas	0.025 – 0.035
Cor di tempat	Plesteran semen	0.01 – 0.013
	Beton	0.013 – 0.018
Pra-cetak	Pipa beton bertulang	0.01 – 0.014
	Pipa gelombang	0.016 – 0.025



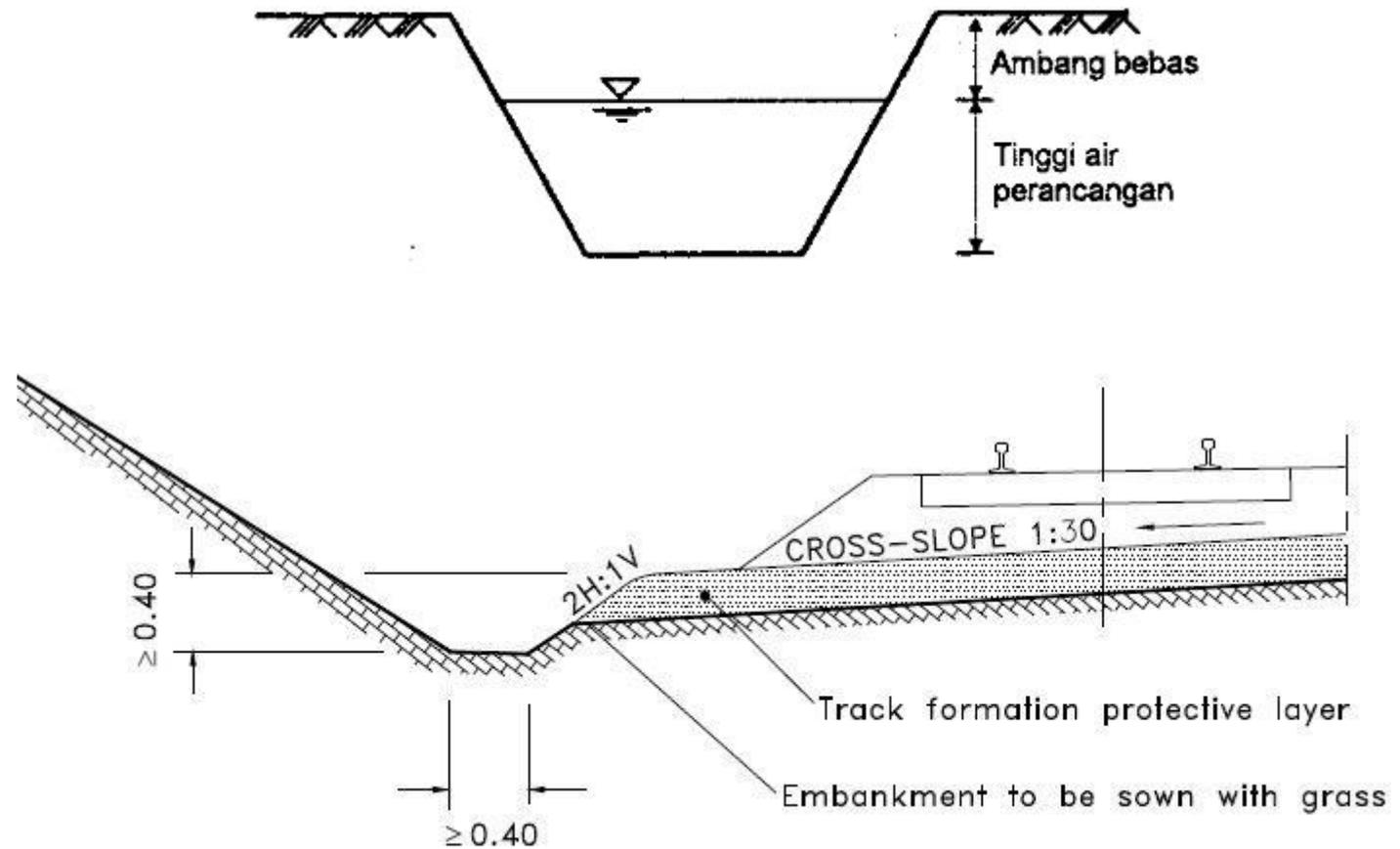


Fig. 5 : Open Longitudinal Drain at Toe of Formation.



Besarnya debit air yang harus dibuang dengan sistem drainase permukaan bergantung pada :

- a) Luas daerah yang aliran airnya akan menuju jalan rel**
- b) Intensitas hujan daerah setempat**
- c) Koefisien pengaliran daerah setempat**

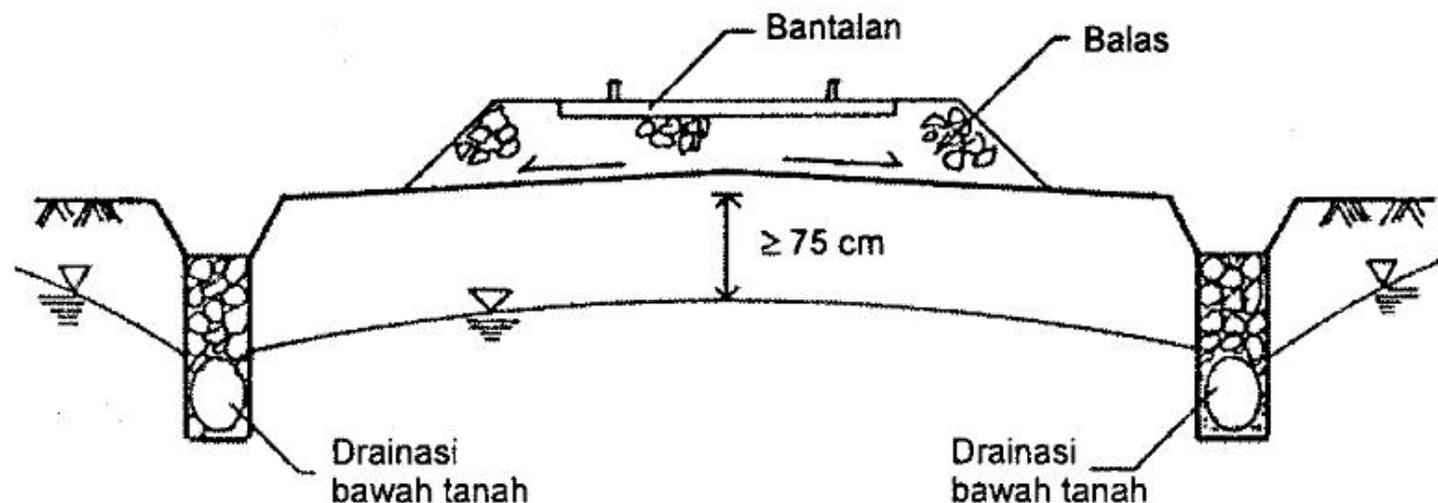
Untuk perancangan saluran melintang dan gorong-gorong pada jalan rel perlu memperhatikan persyaratan sebagai berikut :

- a) Pertemuan antara saluran melintang dan memanjang harus dipasang bak penampung tanah (sand trap)**
- b) Agar mudah dalam pemeliharaan, minimum ukuran diameter atau alas saluran adalah 60 cm**
- c) Tidak boleh terjadi kebocoran atau rembesan air, karena dapat melemahkan badan jalan rel dibawah saluran.**

DRAINASE BAWAH PERMUKAAN

Drainase bawah permukaan bertujuan untuk menjaga elevasi air tanah agar tidak mendekati permukaan tanah tempat badan jalan rel berada.

Sesuai dengan maksud dan tujuannya, pada badan jalan rel berupa permukaan asli dan galian, ketebalan bagian jalan rel setebal minimum 75 cm dari dasar balas harus selalu dalam keadaan kering.



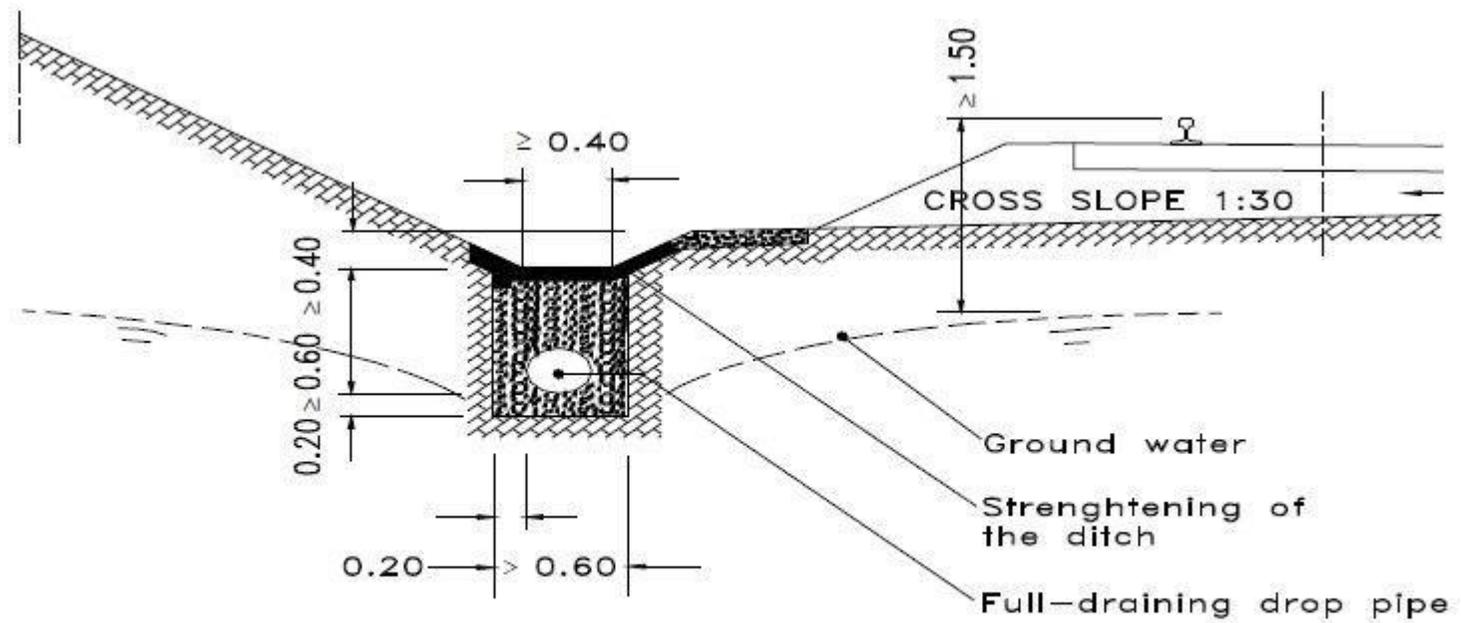


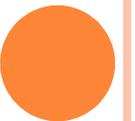
Fig. 6 : Sub-soil Longitudinal Drainage System.



Konstruksi drainase bawah permukaan biasanya berupa pipa berlubang yang diletakkan diatas lapisan pasir setebal 10 cm, kemudian secara berurutan diatasnya dihamparkan kerikil dengan ketebalan 15 cm, diatas lapisan kerikil tersebut dihamparkan bahan kedap air

Beberapa data yang diperlukan untuk perencanaan dan perancangan drainase bawah permukaan adalah :

- a) Elevasi muka air tanah pada saat musim penghujang**
- b) Koefisien permeabilitas tanah setempat**
- c) Elevasi dan kemiringan lapisan kedap air yang ada**



DRAINASE LERENG

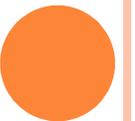
Drainase lereng jalan rel dibuat dengan maksud dan tujuan berikut :

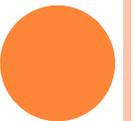
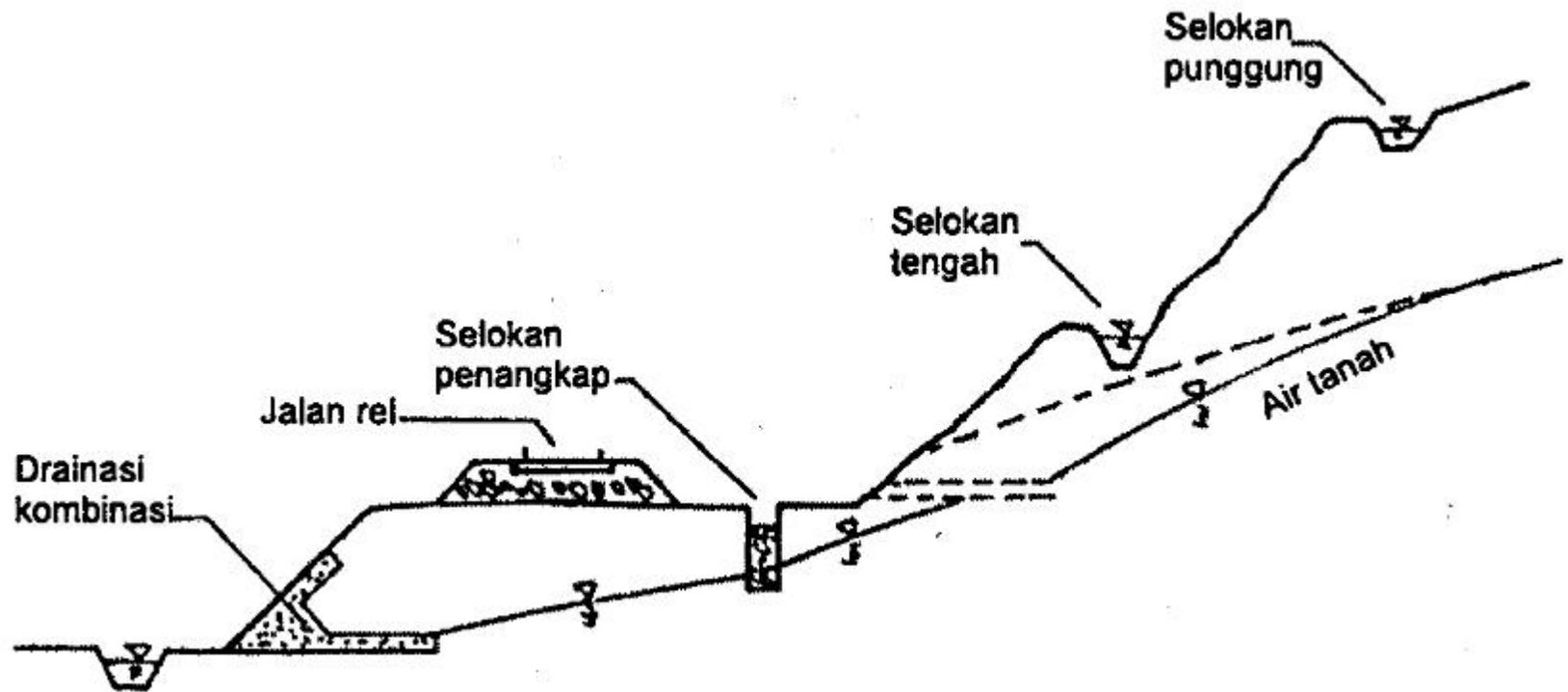
- a) Sebagai upaya untuk mencegah agar air permukaan yang berasal dari punggung lereng tidak mengalir secara deras, karena aliran deras mengakibatkan gerusan pada permukaan dan kaki lereng**
- b) Mencegah terjadinya rembesan air dari permukaan lereng kedalam badan jalan rel, karena rembesan yang terjadi dapat menyebabkan lereng longsor secara mendadak dan atau memperlemah badan jalan rel**

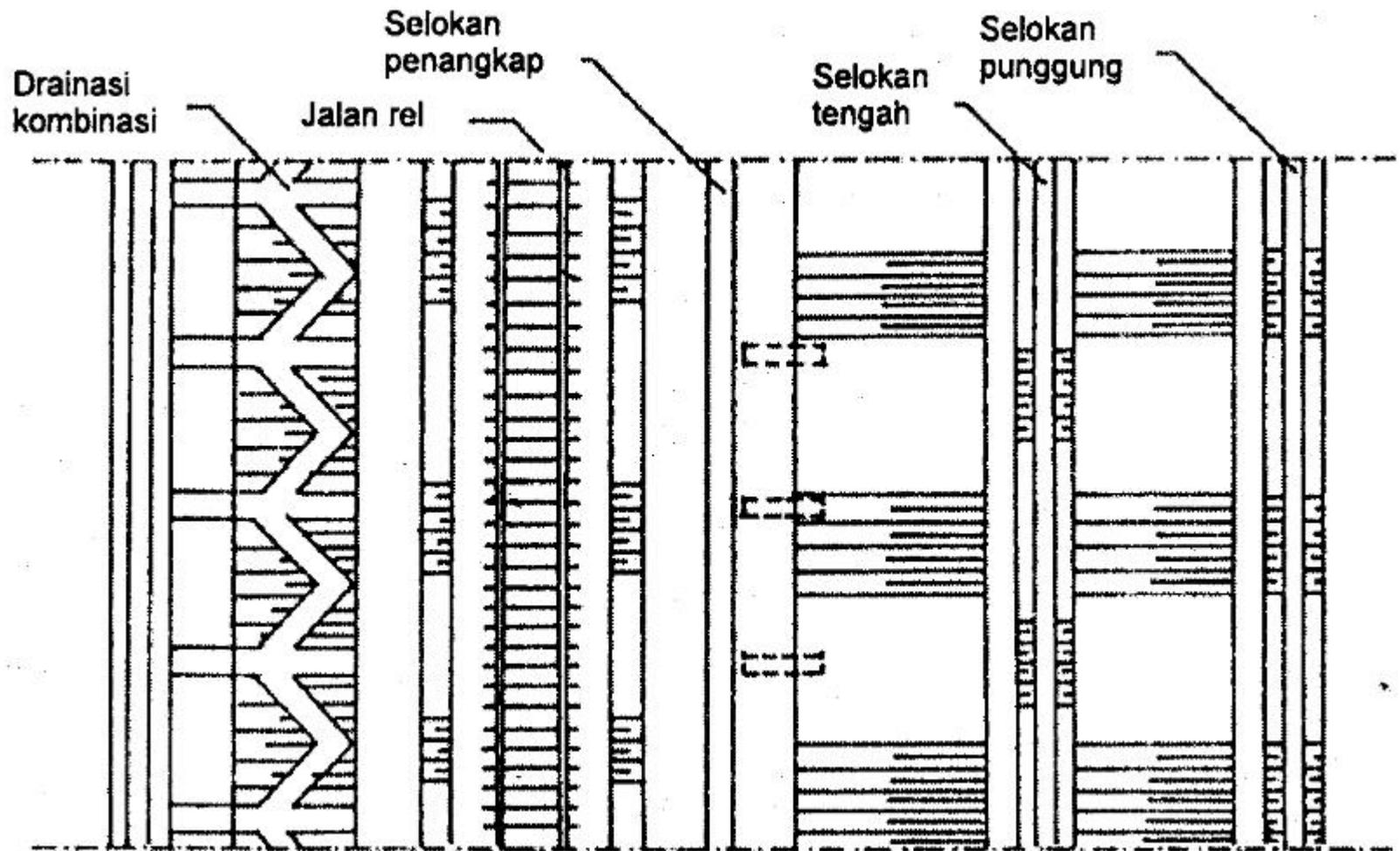


Terdapat 4 (empat) jenis drainase lereng, yaitu :

- a) Selokan punggung, berupa saluran terbuka yang memanjang di punggung lereng**
- b) Selokan tengah, berupa saluran terbuka yang memanjang di tengah lereng**
- c) Selokan penangkap, berupa saluran terbuka yang memanjang di kaki lereng, dan**
- d) Drainase kombinasi, yaitu kombinasi antara drainase tegak lurus dan drainase miring.**

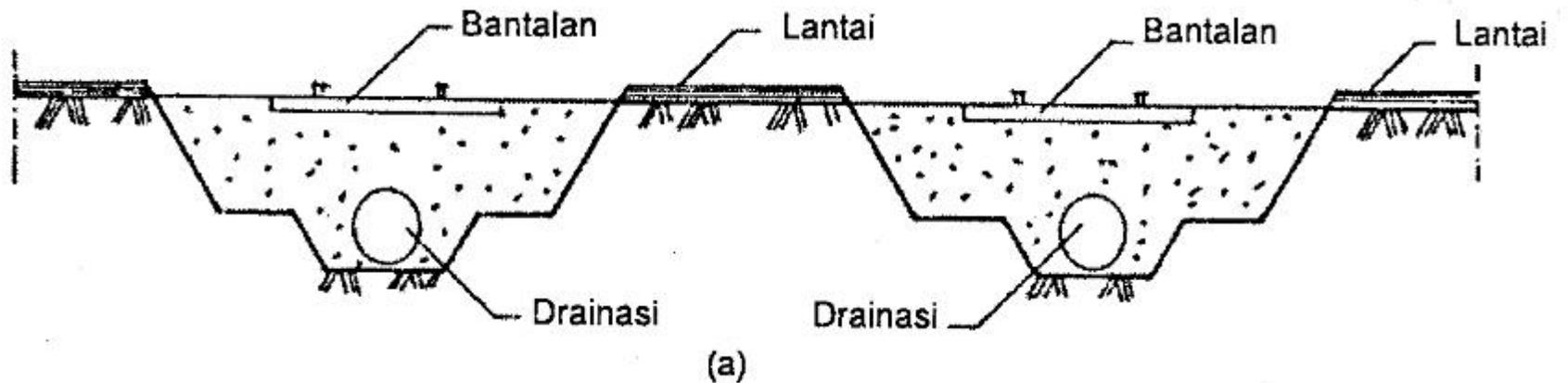




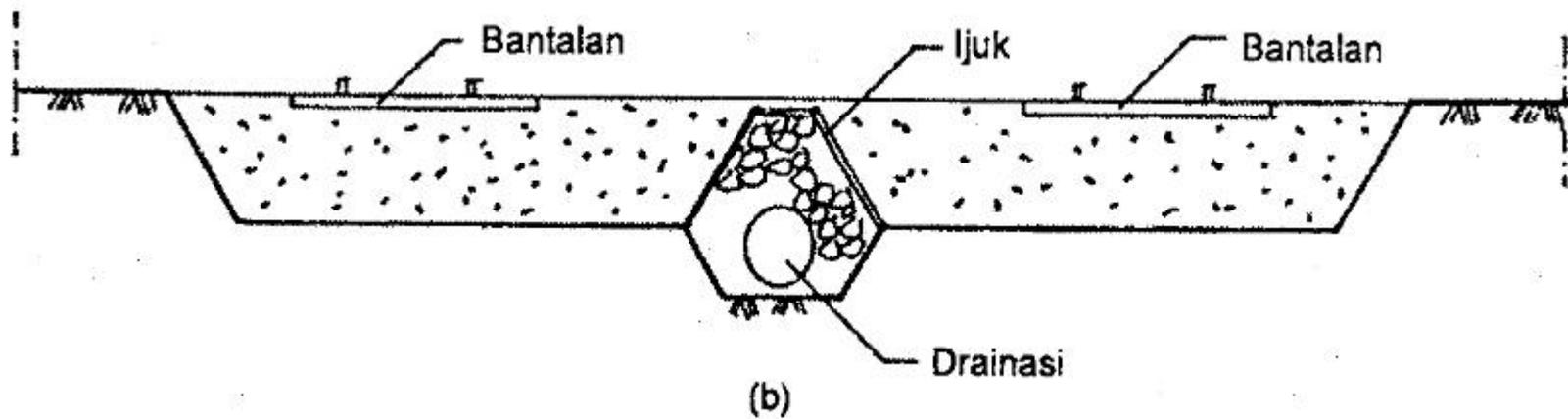


DRAINASE EMPLASEMEN

Kondisi spesifik terjadi di emplasemen, yaitu terdapat banyak jalur (*track*) yang berdampingan. Untuk mendapatkan pembuangan air yang baik dapat dibuat saluran terbuat dari pipa dengan dinding berlubang-lubang. Pada gambar dibawah ini tiap-tiap *track* di bawahnya dipasang saluran drainase.



Sedangkan untuk penggunaan satu saluran drainase untuk fasilitas drainase 2 (dua) buah *track* yang berdampingan dapat dilihat pada gambar berikut :



TERIMA KASIH

