

REKAYASA JALAN REL



Modul 2 : GERAK DINAMIK JALAN REL

OUTPUT :

- Mahasiswa dapat menjelaskan karakteristik pergerakan lokomotif
- Mahasiswa dapat menjelaskan keterkaitan gaya tarik lokomotif dengan kelaandaian rel kereta api
- Mahasiswa dapat menghitung jarak pengereman dan mengetahui tujuannya

GERAK DINAMIK JALAN REL

- Sarana perkeretapian dan jenisnya
- Komponen utama lokomotif diesel
- Karakteristik dan performance
- Sistem pengereman

SARANA PERKERETAPIAN

Menurut **Undang-undang RI No.23 tahun 2007 Tentang Perkeretapian**, sarana perkeretapian terdiri dari :

1. **Lokomotif**, kendaraan rel yang dapat bergerak sendiri dengan motor diesel sebagai sumber tenaga dan berfungsi untuk menarik atau mendorong rangkaian kereta atau gerbong
2. **Kereta**, kendaraan rel yang berfungsi untuk mengangkut penumpang lengkap dengan fasilitasnya
3. **Gerbong**, kendaraan rel yang berfungsi untuk mengangkut barang
4. **Peralatan khusus**



Gerbong peti kemas (PPCW)



Gerbong pengangkut BBM (KKW)



Gerbong bagasi



Gerbong pengangkut batubara(KKBW)

Tipe Lokomotif

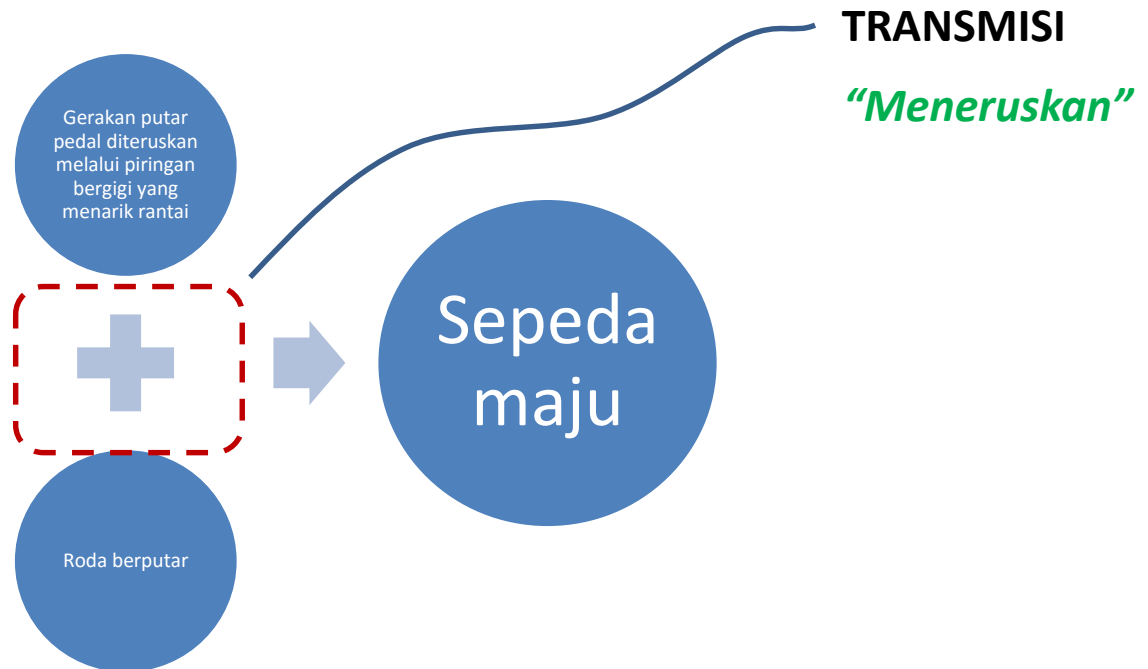
Berdasarkan mesin, lokomotif dibedakan menjadi :

- 1. Lokomotif uap**, merupakan cikal bakal mesin kereta api , umumnya bahan bakar berasal dari kayu atau batu bara
- 2. Lokomotif diesel**, menggunakan mesin diesel sebagai sumber tenaga. Dibedakan lagi menjadi :
 - Lokomotif diesel transmisi mekanis
 - Lokomotif diesel transmisi elektrik
 - Lokomotif diesel transmisi hidraulik
- 3. Lokomotif listrik**, prinsip kerja mirip lokomotif diesel elektrik, hanya listriknya berasal dari kabel transmisi di atas jalur kereta api

Tenaga penggerak dan Transmisi



Tenaga penggerak → OTOT



Tenaga penggerak dan Transmisi

Transmisi mekanik

Cara kerja mirip dengan mobil berkopling, yaitu momen putar dari motor diesel ke kopling gesek → roda gigi → gardan → poros/as → roda penggerak

Kelemahan :

- sering timbul hentakan (mempengaruhi kenyamanan rangkaian kereta atau gerbong yang ditarik)
- Tenaga kecil



1965



present

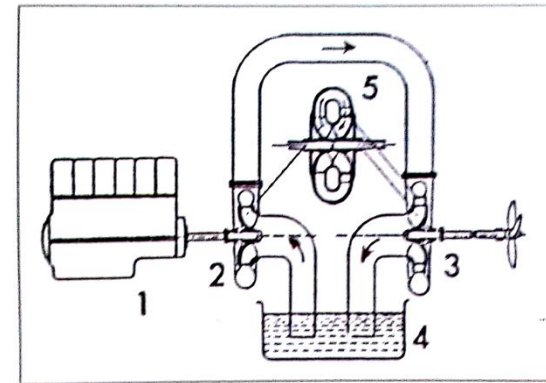
Tenaga penggerak dan Transmisi

Transmisi hidrolik

Menggunakan tenaga diesel untuk memompa oli dan selanjutnya disalurkan ke perangkat hidrolik untuk menggerakkan roda

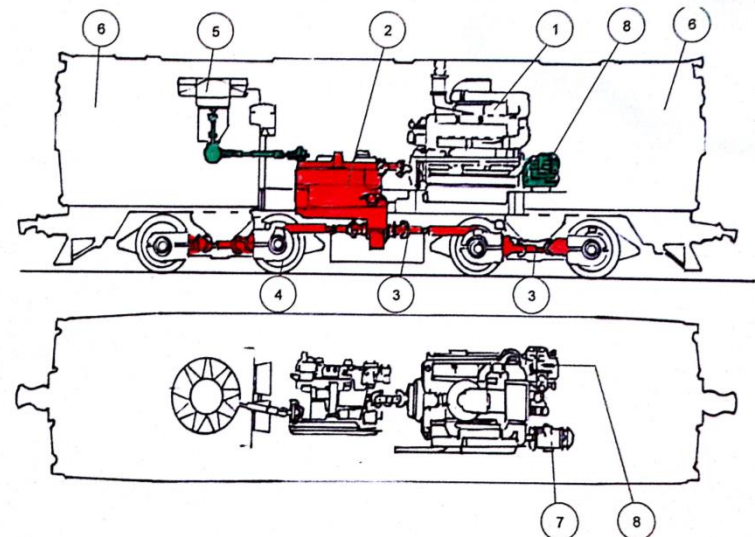
Kelemahan :

- Perawatan rumit dan resiko kerusakan fatal



Keterangan:
1 = Motor diesel
2 = Pompa putar
3 = Turbin radial
4 = Reservoir olie
5 = Torque converter

- | | |
|-----------------------|--------------------------|
| 1. Motor Diesel | 5. Fan Radiator |
| 2. Transmisi Hidrolik | 6. Kabin Masinis 1 dan 2 |
| 3. Gardan | 7. Generator Bantu |
| 4. Roda Penggerak | 8. Kompresor |





Lokomotif seri BB 304 (buatan Fried Krupp Jerman)

DATA TEKNIK LOKOMOTIF BB.303**A. DIMENSI**

1. Lebar Sepur (<i>track gauge</i>)	1067 mm
2. Panjang <i>Body</i>	11200 mm
3. Jarak antara alat perangkai	12320 mm
4. Lebar badan (<i>body</i>)	2800 mm
5. Tinggi Maksimum	3690 mm
6. Jarak gandar	2200 mm
7. Jarak antar pivot	5800 mm
8. Diameter roda penggerak	904 mm
9. Diameter roda <i>idle</i>	---
10. Tinggi alat perangkai	760 mm (+15, - 10 mm)

B. BERAT

1. Berat Kosong	39,6 ton
2. Berat Siap	42,8 ton
3. Berat Adhesi	42,8 ton

C. MOTOR DIESEL

1. Tipe	MTU 12 V 493 TW 10 *) (No. 01 – 42)
2. Jenis	4 langkah, <i>turbocharger</i>
3. Daya Mesin	1010 HP
4. Daya ke <i>Generator/Converter</i>	940 HP

D. MOTOR TRAKSI/CONVERTER

1. Jumlah	1
2. Tipe	Voith L 520 r u 2

E. PERFORMANSI

1. Kecepatan Maksimum	90 Km/jam
2. Gaya Tarik Maksimum (adhesi)	8998 Kgf
3. V min Kontinyu	14 Km/jam
4. Jari-jari Lengkung Terkecil	80 m

F. KAPASITAS

1. Bahan Bakar (HSD)	1700 lt
2. Minyak Pelumas	170 lt
3. Air Pendingin	---
4. Pasir	285 lt
5. Minyak Transmisi	260 lt

G. LAIN-LAIN

1. Sistem Rem	Udara tekan, rem parkir
2. Tipe Kompresor	Knorr VV 450/150

Terkait dengan ruang bebas jalan rel, layout emplasemen stasiun

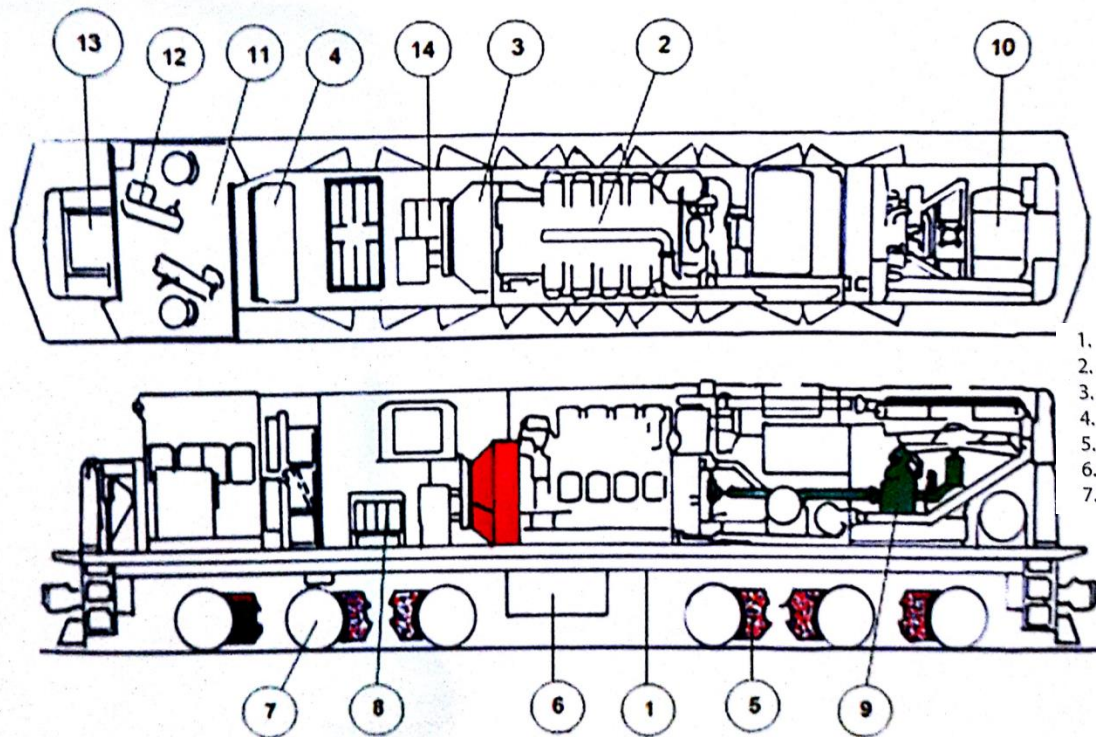
Menentukan passing tonnase → siklus perawatan jalan rel

Menentukan kelandaian maksimum suatu lintas

Tenaga penggerak dan Transmisi

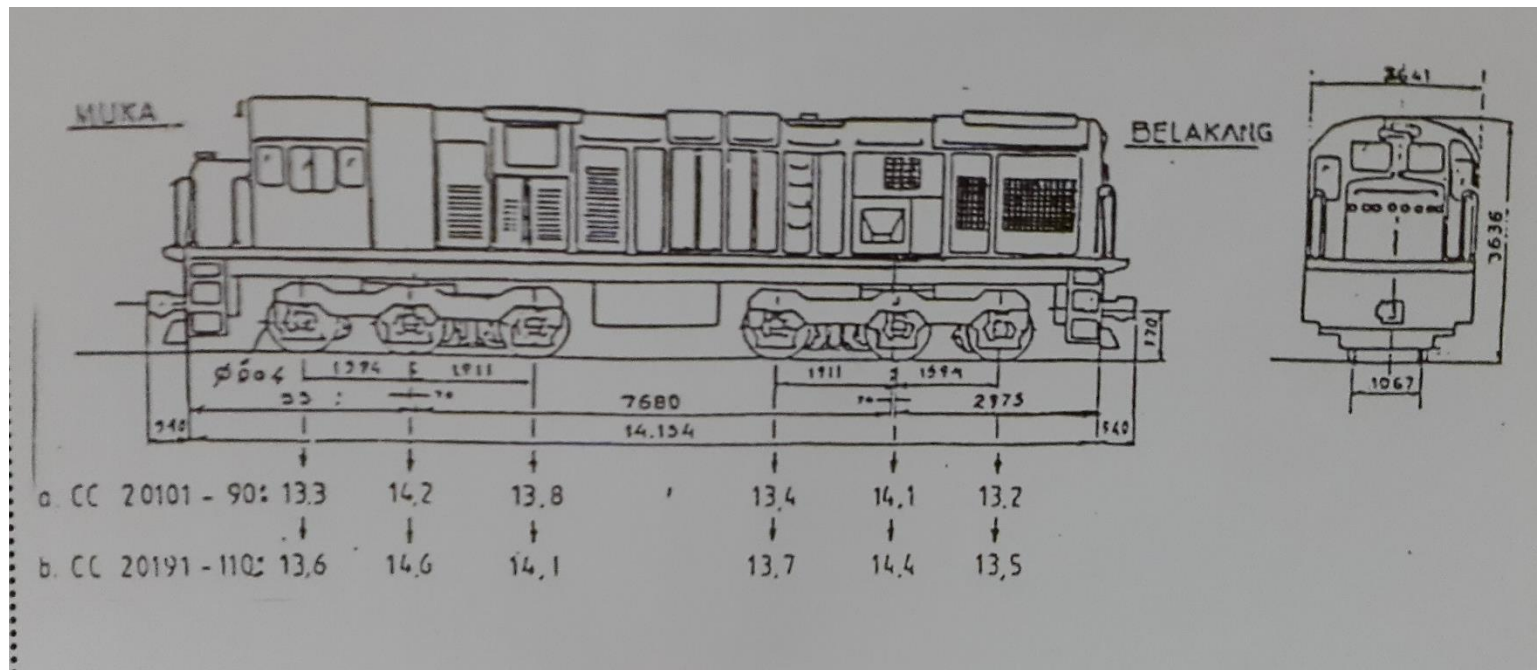
Transmisi elektrik

Momen putar poros output akan langsung menggerakkan suatu generator yang menghasilkan arus listrik yang diatur oleh motor traksi. Berdasarkan generatornya dibedakan menjadi DC dan AC





Lokomotif diesel elektrik CC 201



Tampak ssamping Lokomotif diesel elektrik CC 201

Sistem penomoran lokomotif

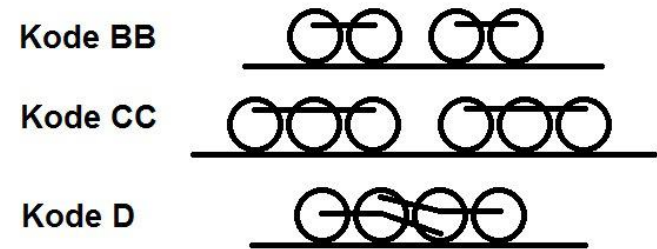
Secara umum penomoran lokomotif adalah : **XX XXX XX**

Digit 1 dan 2 : huruf besar yang menyatakan penggerak

B = dua gandar penggerak

C = tiga gandar penggerak

D = empat gandar penggerak



Digit 3: jenis transmisi daya

- 1 = diesel mekanik
- 2 = diesel elektrik
- 3 = diesel hidrolik

Digit 4 dan 5: tipe atau kelompok produksi lokomotif dengan daya tertentu

- 00 = tipe pertama
- 01 = tipe kedua
- 02 = tipe ketiga

Sistem penomoran lokomotif

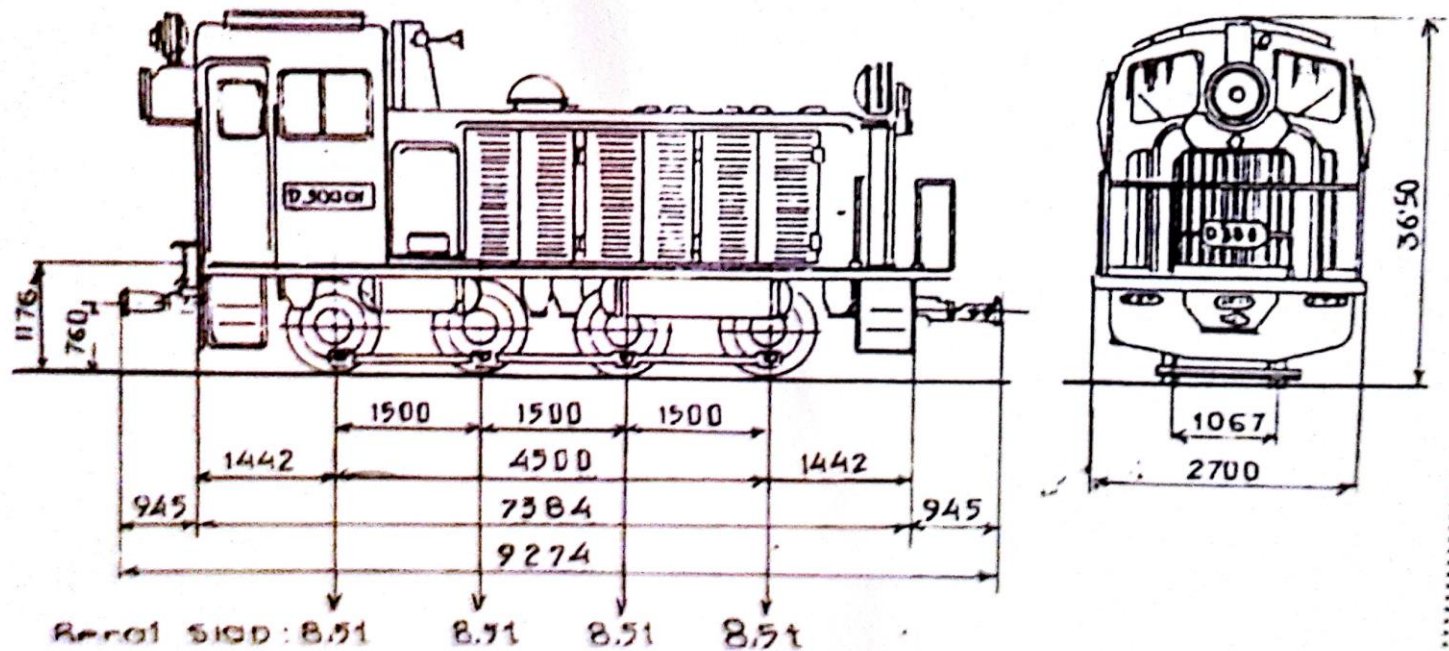
Secara umum penomoran lokomotif adalah : **XX XXX XX**

Digit 6 dan 7 : menunjukkan no urut setiap individu lokomotif

Contoh :

BB 200 06 artinya lokomotif dengan 2 + 2 gandar penggerak , diesel elektrik tipe pertama dengan no urut 06

Bagaimana dengan **CC 202 30** ?



Tampak samping Lokomotif D 300

Lokomotif diesel Elektrik

Keselamatan operasi lokomotif ditentukan dari kondisi :

☐

☐ Bogie

☐ Sistem rem

☐ Alat tolak tarik

☐ Sistem kelengkapan

Komponen utama yang menuntut kehandalan lokomotif :

☐

☐ Motor diesel

☐ Generator utama

☐ Motor traksi

☐ kompressor

☐ Sistem kelistrikan

Motor diesel

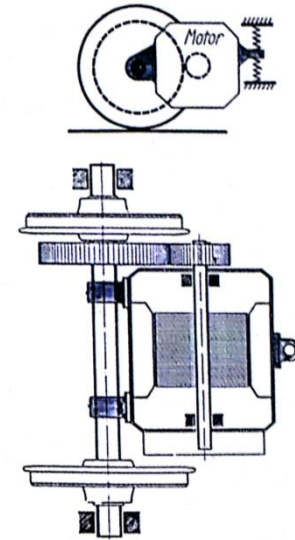
- Motor diesel adalah mesin penggerak utama lokomotif
- Besar daya bervariasi dari 100 HP sampai 2250 HP
- Di Indonesia, berdasarkan cara kerjanya dibedakan menjadi :
 - Motor diesel 2 langkah
 - Motor diesel 4 langkah

Generator Utama

- Dihubungkan langsung dengan motor diesel (diputar langsung oleh motor diesel)
- Energi yang diterima 92 % akan digunakan untuk memutar roda lokomotif dan sisa digunakan untuk pendingin udara dll
- Dibedakan menjadi arus searah dan bolak balik

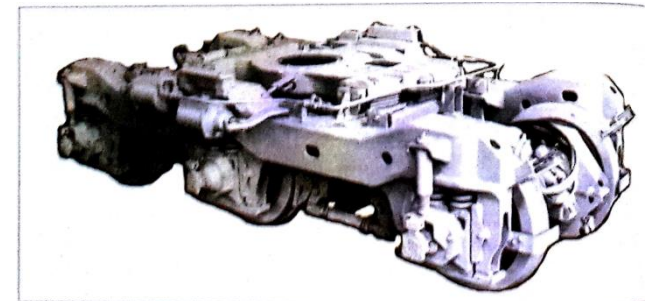
Motor traksi

- Berfungsi untuk membangkitkan momen putar yang akan diteruskan ke roda gigi untuk memutar roda, sehingga akan menimbulkan gaya tarik atau gaya traksi lokomotif
- Umumnya di Indonesia digunakan jenis arus daya searah (DC traction motor)



Bogie

- Berfungsi untuk mendukung rangka dasar badan lokomotif beserta mesin dan peralatannya



Sistem rem

Sistem rem pada lokomotif dapat dibedakan menurut fungsinya adalah

- **Sistem rem untuk lokomotif**

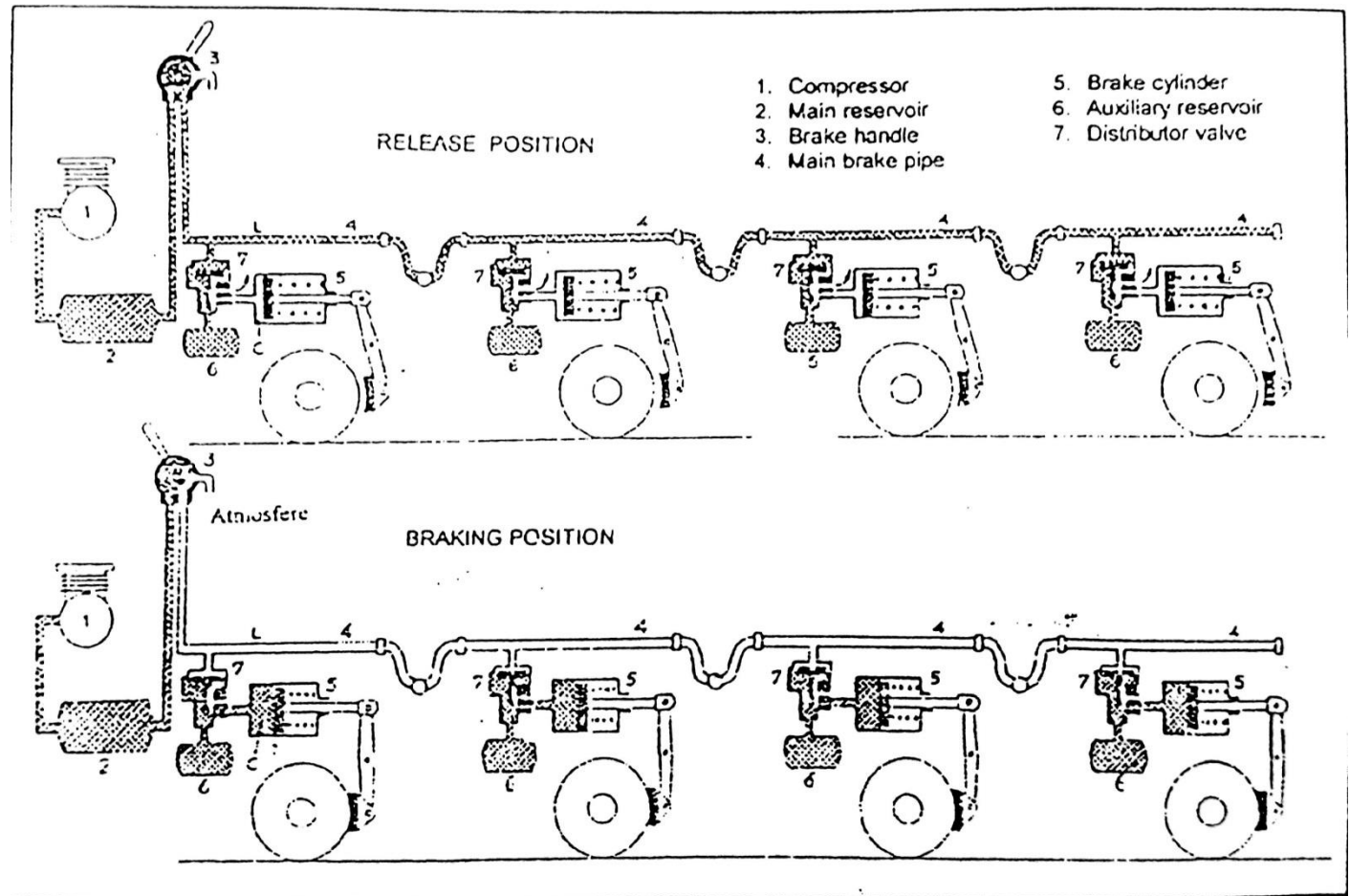
Sistem rem ini disebut juga *independent brake*, yaitu sistem rem yang dapat dioperasikan oleh masinis sehingga hanya rem pada lokomotif saja yang bekerja. Dapat dibedakan menjadi *pneumatic* atau *air brake*

- **Sistem rem untuk rangkaian**

Dioperasikan oleh masinis untuk mengerjakan rem di seluruh rangkaian kereta atau gerbong dengan cara menarik handle rem. Cara kerjanya adalah :

- 1) Rem lepas
- 2) Rem bekerja

SISTEM PENGGEREMAN



Karakteristik dan performance

- Ukuran dimensi lokomotif (panjang, lebar dan tinggi) umumnya dibuat hampir sama , yaitu sesuai batas syarat ruang sarana kendaraan. Variasi ukuran hanya untuk panjangnya.
- Klasifikasi lokomotif diesel di Indonesia berdasarkan daya motornya adalah :
 - a) **Lokomotif diesel besar** (daya > 800 HP), contohnya BB200,BB201,CC200,CC201, CC202,CC203
 - b) **Lokomotif diesel sedang** (daya sekitar 600 HP), contohnya BB300
 - c) **Lokomotif diesel kecil** (daya sekitar 300 HP), contohnya C300,D300 dan D301



CC201



BB300



C300

Gaya tarik

- Setiap lokomotif memiliki karakteristik diagram gaya tarik yang dikeluarkan oleh pabrik pembuat lokomotif.
- Diagram tersebut menunjukkan besarnya gaya tarik yang dapat dibangkitkan pada alat perangkat lokomotif (dalam kgf atau kN) sebagai fungsi kecepatan
- Dalam perhitungan desain lokomotif atau perencanaan operasional kereta api, digunakan gaya tarik yang dihitung secara matematis, demikian juga grafik tahanan atau perlawanan kereta api (train resistance)

$$N = \frac{Z \times V}{270} (HP)$$

N= daya (HP)

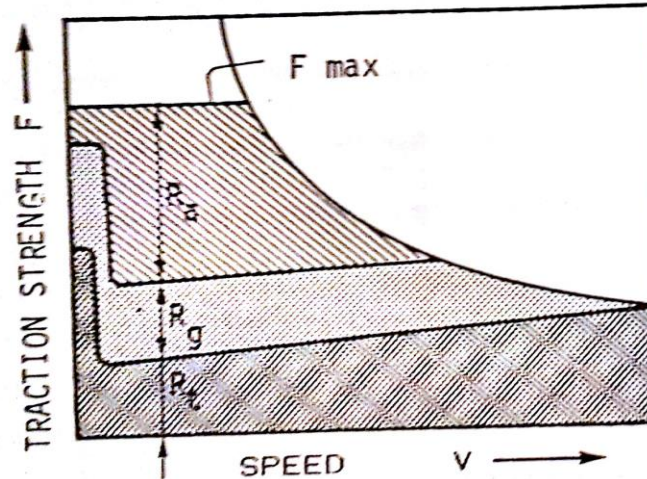
Z = gaya tarik (kgf)

V = kecepatan (km/j)

Gaya tarik netto = gaya tarik roda penggerak – hambatan atau perlawanan gelinding lokomotif, sehingga :

$$Zr = \frac{270 \times N}{V} \times \eta (kgf)$$

η = faktor efisiensi



F_{max} = maximum traction strength/force

R_a = acceleration resistance

R_g = gradient/upgrades resistance

R_t = train resistance (at plain run)

Makin tinggi kecepatan , makin kecil kekuatannya

Gaya tarik adhesi

- Pada waktu lokomotif mulai bergerak untuk menarik rangkaian KA, momen putar pada roda penggerak akan menghasilkan gaya tarik lokomotif yang dibatasi oleh koefisien gesek antara roda dan rel, disebut koefisien adhesi dan gaya tarik yang dihasilkan disebut **gaya tarik adhesi**

$$Za = f \times Ga = \mu \times Ga$$

Za = gaya tarik adhesi

$F = \mu$ = koefisien adhesi yang besarnya dipengaruhi kondisi roda dan rel.

- Pada kondisi basah $\rightarrow f = 0,00 - 0,15$
- Pada kondisi kering $\rightarrow f = 0,30$

Ga = berat adhesi , yaitu berat lokomotif yang didukung oleh roda penggerak

Hambatan kereta api (Train resistance)

1) Perlawanan gelinding (rolling resistance)

$$WL = GL \times wL \text{ (kg)}$$

wL = perlawanan lokomotif spesifik (kg/ton)

GL = berat lokomotif (ton)

- **perlawanan lokomotif diesel spesifik adalah :**

$$wL = P + Q \frac{F}{GL} \left(\frac{V + Va}{10} \right) \text{ kg/ton}$$

F = luas penampang lokomotif (m²)

V = kecepatan (km/jam)

P = faktor konstanta yang tergantung pada mekanisme dan susunan gandar

Q = faktor konstanta yang tergantung pada bentuk badan lokomotif dan bentuk kabin

Va = kecepatan angin dari arah samping (km/jam)

Gaya tarik efektif pada alat perangkai lokomotif yang tersedia untuk menarik kereta penumpang atau gerbong barang adalah :

$$Ze = Z - WL \text{ (kg)}$$

- **perlawanan gelinding kereta dan gerbong**

$$WW = wW \times GW \text{ (kg)}$$

wW = perlawanan kereta/gerbong spesifik (kg/ton)

GW = berat kereta/gerbong (ton)

Secara umum, hambatan spesifik wW adalah :

$$wW = 2,5 + \left(\frac{V + \Delta V}{K} \right) \text{ kg/ton}$$

K = faktor konstanta yang tergantung pada jenis kereta atau gerbong

V = kecepatan (km/jam)

ΔV = tambahan kecepatan angin disamping

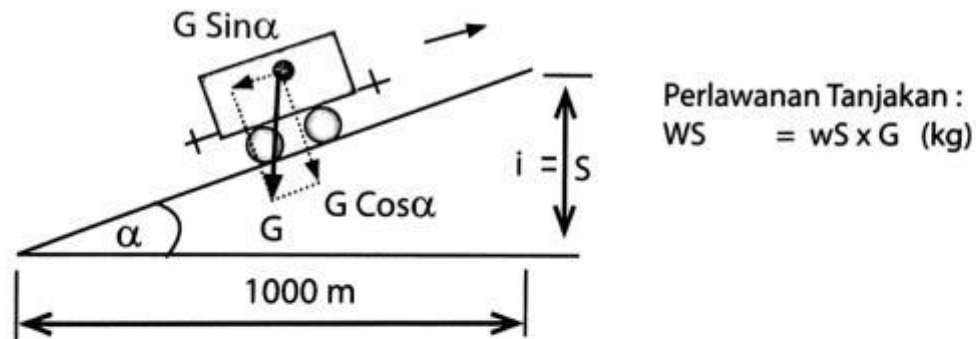
GW = berat rangkaian kereta atau gerbong

No	Tipe Lok	Daya (HP)	GL (ton)	F (m2)	P	Q
1.	CC.200	1750	96	10	2,0	0,52
2.	CC.201/CC 204	1950	84	10	2,86	0,69
3.	CC.203	2150	84	10	2,86	0,55
4.	BB.200	875	72	10	2,65	0,54
5.	BB.201	1425	74	10	2,65	0,54
6.	BB.202	1000	76	10	2,65	0,54
7.	BB.300	680	36	9	3,5	0,55
8.	BB.301/304	1500	52	10	3,5	0,55
9.	D.300/301	340	32	8	3,5	0,45

Nilai konstanta untuk perhitungan hambatan kereta

2) Perlawanan tanjakan

Saat kereta melaju pada tanjakan, gaya tarik lokomotif akan digunakan pula untuk melawan gaya gravitasi, yaitu komponen gaya berat kereta api $G \sin \alpha$



Perlawanan Tanjakan :
 $WS = wS \times G \text{ (kg)}$

wS = perlawanan tanjakan spesifik (kg/ton)
 G = berat Kereta Api (ton)
= $GL + GW$ = berat lokomotif ditambah berat kereta atau gerbong yang ditarik
 $wS = S = i$ (kg/ton)
 $S = i$ = tanjakan jalan rel (‰)

$$\sin \alpha \approx \tan \alpha = \frac{S \text{ m}}{1000 \text{ m}} = S \text{ ‰}$$

3) Perlawanan tikungan

Pada waktu kereta api melalui jalan rel tikungan akan menambah gesekan antara roda dan rel karena roda dipaksa berbelok oleh rel .

Perlawanan tikungan dinyatakan :

$$WK = wK \times G \text{ (kg)}$$

$$G = GL + GW \text{ (ton)} = \text{berat lokomotif} + \text{berat rangkaian}$$

wK = perlawanan tikungan spesifik (kg/ton)

$$wK = \frac{400}{R - 20} \left(\frac{\text{kg}}{\text{ton}} \right) \text{ untuk lebar sepur } 1067 \text{ mm}$$

R = jari-jari tikungan (m)

4) Perlawanan karena percepatan

- Pada waktu kereta api mulai bergerak atau start, gaya tarik yang dibangkitkan oleh lokomotif > seluruh hambatan kereta api. Margin gaya tarik – hambatan akan digunakan untuk percepatan.
- Besarnya percepatan ini tergantung pada daya lokomotif, rangkaian yang ditarik dan lintasan jalan rel yang dilalui.

Hambatan percepatan WB :

$$WB = wB \times G \text{ (kg)}$$

$$G = GL + GW = \text{berat kereta api (ton)}$$

$$wB = \frac{1000}{9,81} \cdot b(1 + c) \quad \left(\frac{\text{kg}}{\text{ton}}\right)$$

Diagram gaya tarik

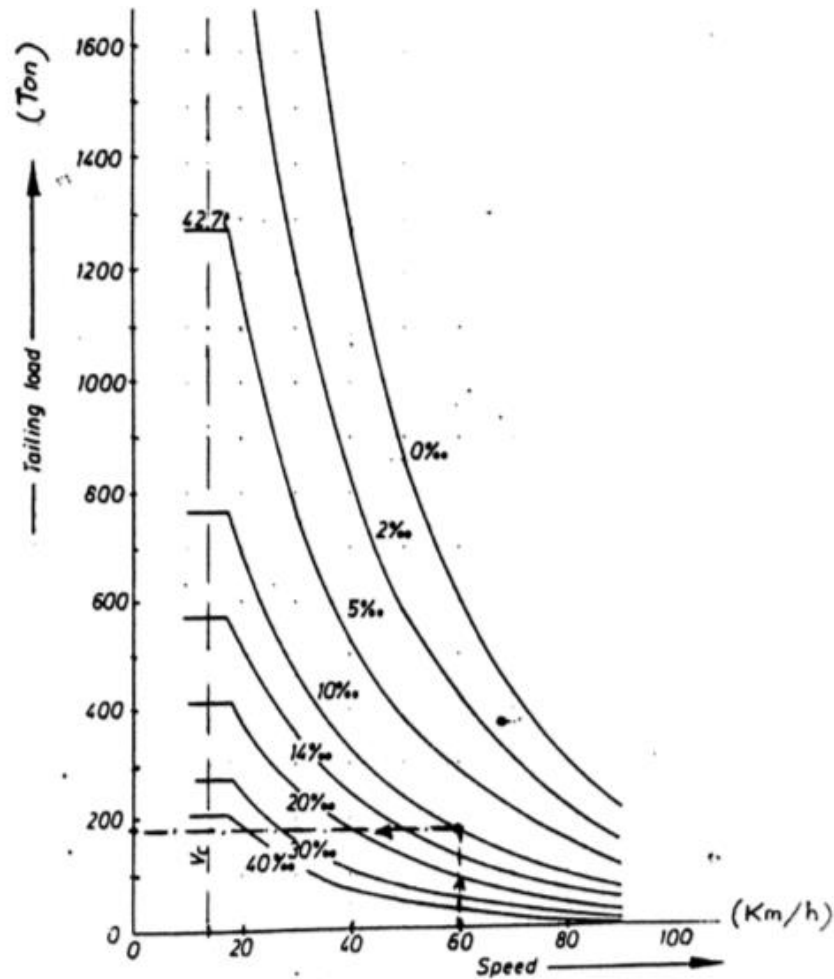


Diagram beban
Tarik lokomotif
BB 303

PERSENTASE PENGGEREMAN

Kemampuan kendaraan rel melakukan pengereman ditentukan oleh gaya rem yang terjadi pada roda, berat kendaraan, kecepatan awal dan karakteristik katup yang digunakan.

Persentase gaya pengereman β dari suatu kendaraan rel :

$$\beta = \frac{P}{G} \times 100\%$$

P = gaya rem dan G adalah berat kendaraan

Dengan memperhatikan karakteristik katup pengatur pada kereta penumpang dan gerbong barang, maka besaran persentase pengereman λ , yaitu :

$$\lambda = \frac{B}{G} \times 100\%$$

B = berat pengereman

Besaran berat pengereman B dapat dihitung sebagai berikut :

- **Pada kereta penumpang**

$$B = P \times K$$

P = gaya rem

K = faktor empiris dari kereta penumpang percobaan dengan berat 50 ton, gaya rem pada roda 40 ton , waktu pengisian silinder rem 5 detik dan blok rem tunggal dengan panjang tali busur 400 mm

Gaya rem (kg)	750	1000	1500	2000	2500	3000	3500
K	1.58	1.5	1.37	1.27	1.19	1.13	1.10

Jarak Pengereman

Suatu rangkaian kereta yang terdiri dari sejumlah kereta penumpang atau gerbong barang yang ditarik lokomotif memiliki nilai persentase pengereman λ tertentu. Bila rangkaian kereta di rem dengan suatu kecepatan tertentu maka akan berhenti pada suatu jarak tertentu sepanjang L meter.

Rumus Minden

Untuk rem R/P

$$L = \frac{3,85 \cdot V^2}{6,1 \cdot \psi \left(1 + \frac{\lambda_r}{10}\right) \pm i_r} \quad (m)$$

Untuk rem G

$$L = \frac{3,85 \cdot V^2}{5,1 \cdot \psi \sqrt{\lambda_r - 5} \pm i_r} \quad (m)$$

V = kecepatan dalam km/jam

ψ = koefisien yang tergantung dari kecepatan dan jenis katup pengatur

λ_r = persentase pengereman ekivalen

$\lambda_r = C_1 \cdot \lambda$

C_1 = koefisien yang tergantung dari tipe rem dan jumlah gandar dalam kereta

i_r = lereng ekivalen

$i_r = C_i \cdot i$

C_i = koefisien yang tergantung dari tipe rem dan kecepatan.

Kecepatan V (Km/jam)	Rem posisi R atau P	Rem posisi G
10	0,45	0,41
20	0,64	0,61
30	0,76	0,75
40	0,84	0,85
50	0,90	0,92
60	0,94	0,97
70	0,96	1,0
80	0,99	1,0
90	1,0	1,0
100	1,0	-
110	1,0	-
120	-	-

Tabel nilai Ψ

Tabel Nilai C_1

Rem posisi R/P	Jumlah Gandar	≤ 24	$24 < n$ ≤ 48	$48 < n$ ≤ 60	$60 < n$ ≤ 80	$80 < n$ ≤ 100
	C_1	1,10	1,05	1,0	0,97	0,92
Rem posisi G	Jumlah Gandar	≤ 40	$40 < n$ ≤ 80	$80 < n$ ≤ 100	$100 < n$ ≤ 120	$120 < n$ ≤ 150
	C_1	1,12	1,06	1,0	0,95	0,9

Tabel Nilai C_2

Kecepatan V (Km/jam)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Rem posisi R/P	0,6	0,66	0,72	0,77	0,81	0,84	0,87	0,89	0,9	0,9
Rem posisi G	0,6	0,62	0,64	0,66	0,68	0,7	0,72	0,74	0,75	-



SEE U NEXT CHAPTER.....