

# STRUKTUR BAJA II

## MODUL 3

### Perencanaan Lantai Kendaraan

Materi Pembelajaran :

1. Pendahuluan.
  2. Sifat dan Karakteristik Material Beton Untuk Jembatan.
  3. Sifat dan Karakteristik Material Baja Tulangan Untuk Jembatan.
  4. Faktor beban dan faktor reduksi kekuatan.
  5. Korosi Pada Struktur Beton.
  6. Prinsip umum perencanaan.
  7. Perencanaan pelat lantai kendaraan terhadap lentur.
  8. Pemeriksaan Geser Pons pelat lantai kendaraan.
  9. Analisa Struktur Pelat lantai Jembatan.
- LAMPIRAN.

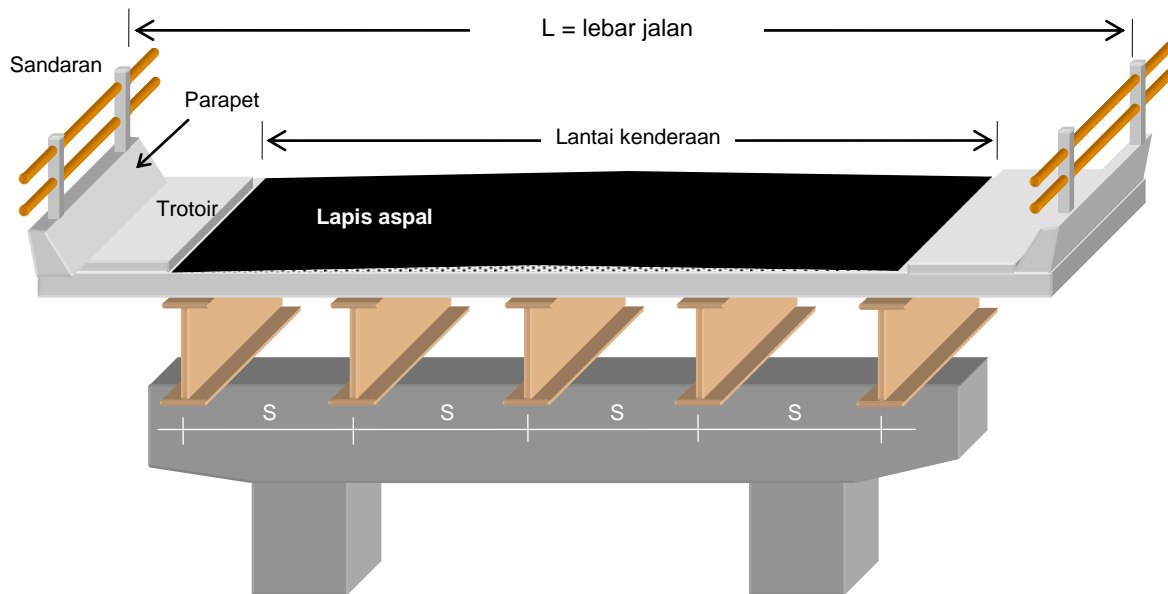
Tujuan Pembelajaran :

- *Mahasiswa mengetahui dan memahami perencanaan lantai kendaraan jembatan.*

#### DAFTAR PUSTAKA

- a) RSNi T-12-2004, *Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan*.
- b) RSNi T-02-2005 *Pembebanan Untuk Jembatan*.
- c) Soemono, Prof., Ir., *ILMU GAYA*, Penerbit Jembatan, Djakarta, 1971.

# Perencanaan Lantai Kendaraan



Gambar 1 : Bentuk lantai jembatan.

## 1. Pendahuluan.

Secara umum lantai jembatan tersusun dari pelat beton bertulang yang merupakan bagian struktural, lapis aspal sebagai penutup lantai, trotoar dari beton tumbuk bagian non-struktural, tiang sandaran dari beton bertulang yang duduk diatas parapet lantai, sandaran dari besi hollow, dan parapet sendiri dari beton tulang yang menyatu dengan pelat lantai kendaraan.

Pelat lantai beton bertulang dianggap lantai dengan *tulangan satu arah*, direncanakan dengan mengikuti kaidah struktur, yaitu menghitung momen lentur dengan mengikuti sifat balok dengan banyak perletakan. Pembebanan yang diperhitungkan adalah berat sendiri lantai beton bertulang (beban mati), berat aspal, beban “T”, beban angin melalui kendaraan dan akibat perubahan temperatur. Disamping akibat momen lentur, juga yang harus diperiksa adalah geser pons pada lantai akibat tekanan roda kendaraan.

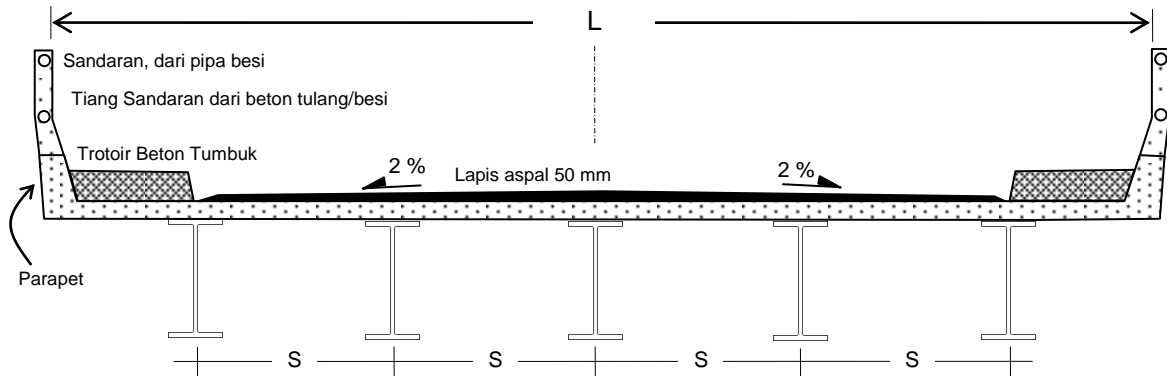
Standar yang dipergunakan dalam perencanaan struktur beton bertulang adalah RSNI T-12-2204, Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan, dan standar yang berkaitan dengan perencanaan struktur beton bertulang yaitu SK SNI 03 - xxxx – 2002, Tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung. Untuk pembebanan jembatan mengacu pada standar RSNI T-02-2005 Pembebanan Untuk Jembatan.

## 2. Sifat dan Karakteristik Material Beton Untuk Jembatan.

### a). Kekuatan Nominal.

1. Kuat tekan beton dengan uji silinder tidak boleh kurang dari 20 MPa. Kecuali untuk pembebanan yang tidak menuntut persyaratan kekuatan.
2. Kuat tarik langsung dari beton, “ $f_{ct}$ ” bisa diambil dari ketentuan,

- $0,33 \sqrt{f_c'}$  MPa pada umur 28 hari dengan perawatan standar.
  - Atau, dihitung dengan probabilitas statistik hasil pengujian.
3. Kuat tarik lentur  $f_{cl}$  bisa diambil sebesar,
- $0,60 \sqrt{f_c'}$  MPa pada umur 28 hari, dengan perawatan standar.
  - Atau, dihitung secara probabilitas statistik dari hasil pengujian.



Gambar 2 : Gambar penampang lintang jembatan.

**b). Tegangan Izin.**

1. Tegangan izin tekan pada kondisi batas layan.  
Tegangan tekan dalam penampang beton, akibat semua kombinasi beban tetap pada kondisi batas layan lentur dan / atau aksial tekan tidak boleh melampaui nilai  $0,45 f_c'$ , dimana  $f_c'$  adalah kuat tekan beton yang direncanakan pada umur 28 hari, dinyatakan dalam satuan MPa.
2. Tegangan izin tekan pada kondisi beban sementara.  
Untuk kondisi beban sementara, tegangan tekan dalam penampang beton tidak boleh melampaui nilai  $0,60 f_{ci}'$ , dimana  $f_{ci}'$  adalah kuat tekan beton yang direncanakan pada umur saat dibebani, dinyatakan dalam satuan MPa.
3. Tegangan izin tarik pada kondisi batas layan.  
Tegangan tarik yang diizinkan terjadi pada penampang beton boleh diambil untuk beton tanpa tulangan,  $0,15 \sqrt{f_c'}$  dan dinyatakan dalam satuan MPa.

**c). Massa Jenis ( $w_c$ ).**

Massa jenis beton,  $w_c$ , untuk beton dengan berat normal diambil tidak boleh kurang  $2400 \text{ kg/m}^3$ , atau dapat ditentukan dari hasil pengujian.

**d). Modulus Elastisitas ( $E_c$ ).**

Modulus elastisitas beton,  $E_c$ , nilainya tergantung pada mutu beton, yang terutama dipengaruhi oleh material dan proporsi campuran beton. Untuk analisis perencanaan struktur beton yang menggunakan beton normal dengan kuat tekan yang tidak melampaui 60 MPa, atau beton ringan dengan berat jenis yang tidak kurang dari  $2000 \text{ kg/m}^3$  dan kuat tekan yang tidak melampaui 40 MPa, nilai  $E_c$  bisa diambil sebagai berikut,

$$E_c = w_c^{1,5} (0,043 \sqrt{f_c'}) \quad \dots(1)$$

harga  $E_c$  ini bisa bervariasi  $\pm 20\%$ .  $E_c$  dinyatakan dalam satuan MPa. Untuk beton normal dengan massa jenis sekitar  $2400 \text{ kg/m}^3$ ,  $E_c$  boleh diambil sebesar  $4700 \sqrt{f_c'}$ .

$w_c$  = berat jenis beton dalam satuan  $\text{kg/m}^3$

$f_c'$  = kuat tekan beton dalam satuan MPa.

Harga  $E_c$  ini dapat juga ditentukan dari hasil pengujian.

e). **Angka Poisson ( $\mu$ ).**

Angka Poisson untuk beton,  $\mu$ , bisa diambil sebesar 0,2 atau dapat ditentukan dari hasil pengujian.

f). **Koefisien Muai Panas.**

Koefisien muai panjang beton akibat panas, bisa diambil sebesar  $10 \times 10^{-6}$  per  $^{\circ}\text{C}$ , dengan pertimbangan bisa bervariasi  $\pm 20\%$ , dapat ditentukan dari hasil pengujian.

### 3. Sifat dan Karakteristik Material Baja Tulangan Untuk Jembatan.

a). **Kekuatan Nominal.**

1. Kuat tarik putus ditentukan dari hasil pengujian.
2. Kuat tarik leleh,  $f_y$ , ditentukan dari hasil pengujian, tetapi perencanaan tulangan tidak boleh didasarkan pada kuat leleh  $f_y$  yang melebihi 550 MPa.

b). **Tegangan Izin.**

1. Tegangan izin pada pembebanan tetap.  
Tegangan ijin tarik pada tulangan non-prategang boleh diambil dari ketentuan di bawah ini :
  - Tulangan dengan  $f_y = 300$  MPa, tidak boleh diambil melebihi 140 MPa.
  - Tulangan dengan  $f_y = 400$  MPa, atau lebih, dan anyaman kawat las (polos atau ulir), tidak boleh diambil melebihi 170 MPa.
  - Untuk tulangan lentur pada pelat satu arah yang bentangnya tidak lebih dari 4 m, tidak boleh diambil melebihi  $0,50 f_y$  namun tidak lebih dari 200 MPa.
2. Tegangan izin pada pembebanan sementara.  
Boleh ditingkatkan 30 % dari nilai tegangan ijin pada pembebanan tetap.

c). **Modulus elastisitas.**

Modulus elastisitas baja tulangan,  $E_s$ , untuk semua harga tegangan yang tidak lebih besar dari kuat leleh  $f_y$ , bisa diambil sebesar :

- Diambil sama dengan 200.000 MPa.
- Atau, ditentukan dari hasil pengujian.

d). **Koefisien muai panas.**

Koefisien muai baja tulangan non-prategang akibat panas bisa diambil sebesar :

- Diambil sama dengan  $12 \times 10^{-6}$  per  $^{\circ}\text{C}$ .
- Atau, ditentukan dari hasil pengujian.

### 4. Faktor beban dan faktor reduksi kekuatan.

a). **Faktor beban dan kombinasi pembebanan.**

Untuk besaran beban dan kombinasi pembebanan, diambil mengacu kepada Standar Pembebanan untuk Jembatan Jalan Raya.

b). **Faktor reduksi kekuatan.**

Faktor reduksi kekuatan diambil dari nilai-nilai berikut :

- Lentur ..... 0,80
- Geser dan Torsi ..... 0,70

- Aksial tekan
  - \* dengan tulangan spiral ..... 0,70
  - \* dengan sengkang biasa ..... 0,65
- Tumpuan beton ..... 0,70

## 5. Korosi Pada Struktur Beton.

### a). Perencanaan untuk keawetan jangka panjang.

Persyaratan untuk struktur dan komponen beton bertulang dengan umur rencana 50 tahun atau lebih, diberlakukan sehubungan dengan kondisi dan klasifikasi lingkungan. Klasifikasi lingkungan yang berpengaruh terhadap struktur beton adalah seperti diberikan pada tabel berikut.

Tabel 1 : Klasifikasi Lingkungan

Keadaan permukaan dan lingkungan	Klasifikasi lingkungan
1. Komponen struktur yang berhubungan langsung dengan tanah : (a) Bagian komponen yang dilindungi lapisan tahan lembab atau kedap air. (b) Bagian komponen lainnya di dalam tanah yang tidak agresif. (c) Bagian komponen di dalam tanah yang agresif (tanah permeable dengan $pH < 4$ , atau dengan air tanah yang mengandung ion sulfat $> 1$ g per liter)	A A U
2. Komponen struktur di dalam ruangan tertutup di dalam bangunan, kecuali untuk keperluan pelaksanaan dalam waktu yang singkat.	A
3. Komponen struktur di atas permukaan tanah dalam lingkungan terbuka : (a) Daerah di pedalaman ( $> 50$ km dari pantai) di mana lingkungan adalah, (i) bukan daerah industri dan berada dalam iklim yang sejuk. (ii) bukan daerah industri namun beriklim tropis. (iii) daerah industri dalam iklim sembarang. (b) Daerah dekat pantai (1 km sampai 50 km dari garis pantai), iklim Sembarang. (c) Daerah pantai ( $< 1$ km dari garis pantai tetapi tidak dalam daerah pasang surut), iklim sembarang.	A B1 B1 B1 B2
4. Komponen struktur di dalam air : (a) Air tawar. (b) Air laut : (i) terendam secara permanen. (ii) berada di daerah pasang surut. (c) Air yang mengalir.	B1 B2 C U
5. Komponen struktur di dalam lingkungan lainnya yang tidak terlindung dan tidak termasuk dalam kategori yang disebutkan di atas.	U

Sumber : RSNI T-12-2004-Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan

Khusus untuk klasifikasi lingkungan “U”, mutu dan karakteristik beton harus ditentukan secara khusus agar dapat menjamin keawetan jangka panjang komponen struktur dalam lingkungan tidak terlindung yang khusus.

### b). Persyaratan kekuatan beton untuk abrasi

Untuk bagian beton yang diperkirakan akan mengalami abrasi (keausan) akibat lalu lintas disyaratkan harus memiliki kekuatan tekan  $f_c'$  yang tidak kurang dari nilai yang sebagaimana disyaratkan dalam tabel berikut.

Tabel 2 : Persyaratan Kekuatan Beton Untuk Abrasi.

Bagian bangunan dan/atau jenis lalu lintas	Kuat tekan minimum $f_c'$ (MPa).
Jalan untuk pejalan kaki dan sepeda	20
Perkerasan dan lantai jembatan yang berhubungan dengan :	
1. Lalu lintas ringan yang menggunakan ban hidup (karet berisi udara), untuk kendaraan yang mempunyai berat sampai 3 ton.	20
2. Lalu lintas menengah atau berat (kendaraan yang mempunyai berat lebih besar dari 3 ton).	25
3. Lalu lintas yang tidak menggunakan ban hidup.	35
4. Lalu lintas dengan roda baja.	Harus diperkirakan, tetapi tidak kurang dari 35

Sumber : RSNI T-12-2004-Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan

### c). Persyaratan selimut beton

Tebal selimut beton untuk tulangan harus diambil nilai tebal selimut beton yang terbesar sesuai dengan ketentuan yang disyaratkan untuk keperluan pengecoran dan untuk perlindungan terhadap karat. Tebal selimut beton untuk keperluan pengecoran tidak boleh kurang dari nilai yang terbesar dari ketentuan berikut :

1. 1,5 kali ukuran agregat terbesar.
2. Setebal diameter tulangan yang dilindungi atau 2 kali diameter tulangan terbesar bila dipakai berkas tulangan.

Untuk perlindungan terhadap karat harus diambil tebal selimut beton sebagai berikut :

1. Bila beton dicor di dalam acuan sesuai dengan spesifikasi yang berwenang dan dipadatkan sesuai standar, selimut beton harus diambil tidak kurang dari ketentuan yang diberikan pada Tabel 3. untuk klasifikasi tidak terlindung.
2. Bila beton dicor di dalam tanah, tebal selimut ke permukaan yang berhubungan dengan tanah diambil seperti yang disyaratkan dalam Tabel 3., namun harganya dinaikkan 30 mm atau 10 mm jika permukaan beton dilindungi lapisan yang kedap terhadap kelembaban.
3. Bila beton dicor di dalam acuan kaku dan pematatannya intensif, seperti yang dicapai dari hasil meja getar, digunakan selimut beton minimum seperti disyaratkan pada Tabel 4.
4. Bila komponen struktur beton dibuat dengan cara diputar, dengan rasio air-semen kurang dari 0,35 dan tidak ada toleransi negatif pada pemasangan tulangnya, selimut ditentukan sesuai Tabel 5.

Tabel 3 : Selimut beton untuk acuan dan pematatan (mm).

Klasifikasi lingkungan	Tebal selimut beton nominal [mm] untuk beton dengan kuat tekan $f_c'$ yang tidak kurang dari				
	20 MPa	25 MPa	30 MPa	35 MPa	40 MPa
A	35	30	25	25	25
B1	(65)	45	40	35	25
B2	-	(75)	55	45	35
C	-	-	(90)	70	60

Sumber : RSNI T-12-2004-Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan

Tabel 4 : Selimut beton untuk acuan kaku dan pemadatan intensif.

Klasifikasi lingkungan	Selimut nominal [mm] untuk beton dengan kuat tekan $f_c'$ yang tidak kurang dari				
	20 MPa	25 MPa	30 MPa	35 MPa	40 MPa
A	25	25	25	25	25
B1	(50)	35	30	25	25
B2	-	(60)	45	35	25
C	-	-	(65)	50	40

Sumber : RSNI T-12-2004-Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan

Tabel 5 : Selimut beton untuk komponen yang dibuat dengan cara diputar.

Klasifikasi lingkungan	Kuat tekan beton $f_c'$ [MPa]	Selimut beton [mm]
A, B1	35	20
B2	40 50	25 20
C	40	35

Sumber : RSNI T-12-2004-Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan

## 6. Prinsip umum perencanaan

Perencanaan harus berdasarkan pada suatu prosedur yang memberikan jaminan keamanan pada tingkat yang wajar, berupa kemungkinan yang dapat diterima untuk mencapai suatu keadaan batas selama umur rencana jembatan.

Perencanaan kekuatan balok, pelat, kolom beton bertulang sebagai komponen struktur jembatan yang diperhitungkan terhadap lentur, geser, lentur dan aksial, geser dan puntir, harus didasarkan pada cara *Perencanaan berdasarkan Beban dan Kekuatan Terfaktor* (PBKT) atau cara ultimit.

Untuk perencanaan komponen struktur jembatan yang mengutamakan suatu pembatasan tegangan kerja, seperti untuk perencanaan terhadap lentur dari komponen struktur sesuai kebutuhan perilaku deformasinya, atau sebagai cara perhitungan alternatif, dapat digunakan cara *Perencanaan berdasarkan Batas Layan* (PBL).

Di samping itu, perencanaan harus memperhatikan faktor integriti komponen-komponen struktur maupun keseluruhan jembatan, dengan mempertimbangkan faktor-faktor berikut :

- Kontinuitas dan redundansi.
- Semua komponen struktur jembatan harus mempunyai ketahanan yang terjamin terhadap kerusakan dan instabilitas sesuai umur jembatan yang direncanakan.
- Aspek perlindungan eksternal terhadap kemungkinan adanya beban yang tidak direncanakan atau beban berlebih.

## 7. Perencanaan pelat lantai kendaraan terhadap lentur

### a). Asumsi perencanaan.

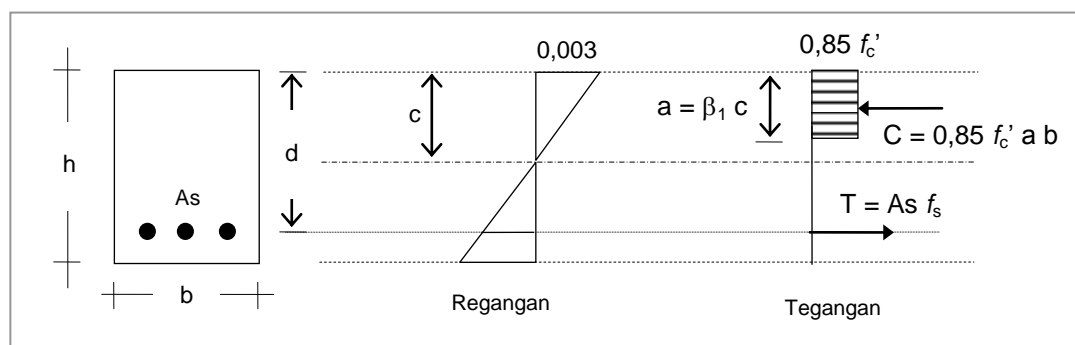
Perhitungan kekuatan dari suatu penampang yang terlentur harus memperhitungkan keseimbangan dari tegangan dan kompatibilitas regangan, serta konsisten dengan anggapan :

- Bidang rata yang tegak lurus sumbu tetap rata setelah mengalami lentur.
- Beton tidak diperhitungkan dalam memikul tegangan tarik.
- Distribusi tegangan tekan ditentukan dari hubungan tegangan-regangan beton.
- Regangan batas beton yang tertekan diambil sebesar 0,003.

Hubungan antara distribusi tegangan tekan beton dan regangan dapat berbentuk persegi, trapesium, parabola atau bentuk lainnya yang menghasilkan perkiraan kekuatan yang cukup baik terhadap hasil pengujian yang lebih menyeluruh.

Walaupun demikian, hubungan distribusi tegangan tekan beton dan regangan dapat dianggap dipenuhi oleh distribusi tegangan beton persegi ekuivalen, yang diasumsikan bahwa tegangan beton  $= 0,85 f_c'$  terdistribusi merata pada daerah tekan ekuivalen yang dibatasi oleh tepi tertekan terluar dari penampang dan suatu garis yang sejajar dengan sumbu netral sejauh  $a = \beta_1 c$  dari tepi tertekan terluar tersebut.

Jarak  $c$  dari tepi dengan regangan tekan maksimum ke sumbu netral harus diukur dalam arah tegak lurus sumbu tersebut.



Gambar 3 : Tegangan dan Regangan pada penampang beton bertulang.

Faktor  $\beta_1$  harus diambil sebesar :

$\beta_1 = 0,85$  untuk  $f_c' < 30$  MPa.

$\beta_1 = 0,85 - 0,008 (f_c' - 30)$  untuk  $f_c' > 30$  MPa.

$\beta_1$  pada persamaan tidak boleh diambil kurang dari 0,65.

Perencanaan kekuatan pada penampang terhadap momen lentur harus berdasarkan kekuatan nominal yang dikalikan dengan suatu faktor reduksi kekuatan  $\phi$ .

### b). Tebal minimum pelat lantai.

Pelat lantai yang berfungsi sebagai lantai kendaraan pada jembatan harus mempunyai tebal minimum  $t_s$  memenuhi kedua ketentuan :

$$t_s > 200 \text{ (mm)}.$$

$$t_s > (100 + 40 s) \text{ (mm)}.$$

Dimana,

$s$  = bentang pelat diukur dari pusat ke pusat tumpuan (dalam meter)



c). **Tulangan Minimum.**

Tulangan minimum harus dipasang untuk menahan tegangan tarik utama sebagai berikut :

- Pelat lantai yang ditumpu kolom,

$$\frac{A_s}{b d} = \frac{1,25}{f_y} \quad \text{.....(1)}$$

- Pelat lantai yang ditumpu balok atau dinding,

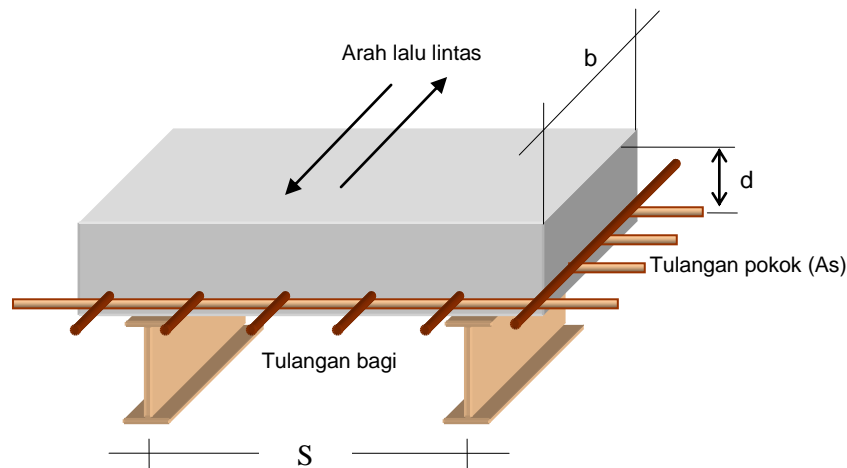
$$\frac{A_s}{b d} = \frac{1,0}{f_y} \quad \text{.....(2)}$$

d). **Penyebaran tulangan untuk pelat lantai.**

Tulangan harus dipasang (tulangan bagi) pada bagian bawah dengan arah menyilang terhadap tulangan pokok. Apabila tulangan pokok tegak lurus arah lalu lintas, maka

$$\text{Persentase} = \frac{110}{\sqrt{s}} \quad \text{.....(3)}$$

Maksimum 67% dan minimum 30% dari tulangan pokok.



Gambar 4 : Letak tulangan pokok dan tulangan bagi.

e). **Langkah-langkah perencanaan tulangan lentur pelat lantai jembatan.**

1. Hitung momen terfaktor dengan analisis struktur,  $M_u$ .
2. Hitung momen nominal,  $M_n = M_u / \phi$ , dimana  $\phi$  = faktor reduksi kekuatan = 0,80.
3. Hitung  $R_n$ ,

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} \quad \text{.....(4)}$$

4. Hitung  $R_{maks}$ ,

$$\rho_b = \beta_1 \cdot 0,85 \cdot \frac{f_c'}{f_y} \cdot \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \quad \text{.....(5)}$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \rho_b \quad \text{.....(6)}$$

$$R_{maks} = \rho_{maks} \cdot f_y \cdot \left( 1 - \frac{1/2 \rho_{maks} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c'} \right) \quad \text{.....(7)}$$

5. Harus dipenuhi,  $Rn < R_{maks}$  .....(8)

6. Rasio tulangan yang diperlukan,

$$\rho = \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot Rn}{0,85 \cdot f_c'}} \right) \quad \text{.....(9)}$$

7. Rasio tulangan minimum,

$$\rho_{\min} = \frac{1,0}{f_y} \quad \text{.....(10)}$$

8. Luas tulangan yang diperlukan,

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \quad \text{.....(11)}$$

9. Diameter tulangan perlu, dengan jarak antara tulangan  $s = 200$  mm,  $b = 1000$  mm,

$$d_t = \sqrt{\frac{4 \cdot A_s \cdot s}{\pi \cdot b}} \quad \text{.....(12)}$$

dimana,  $d_t$  = diameter tulangan perlu.

10. Tulangan bagi pada arah memanjang jembatan diambil,

$$A_{bg} = 50\% A_s \quad \text{.....(13)}$$

## 8. Pemeriksaan Kekuatan Lentur Ultimit.

Kekuatan lentur ultimit penampang (*moment capacity*),

$$M_u = \phi \cdot f_y \cdot \rho \cdot b \cdot d^2 \cdot \left( 1 - \frac{1}{2} \frac{\rho \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c'} \right) > M_u \text{ (beban kerja)}$$

Dimana,

Faktor reduksi kekuatan lentur  $\phi = 0,80$

Luas tulangan terpasang,

$$A_s = \frac{1/4 \pi d_t^2 \cdot b}{s} \text{ (mm}^2\text{)}.$$

$b$  = lebar tinjauan = 1000 mm.

$d_t$  = ukuran diameter tulangan terpasang.

$s$  = jarak antara tulangan rencana, minimal 200 mm, maksimum, 3 x tebal pelat lantai atau 500 mm (SNI 2002).

Ratio tulangan terpasang,

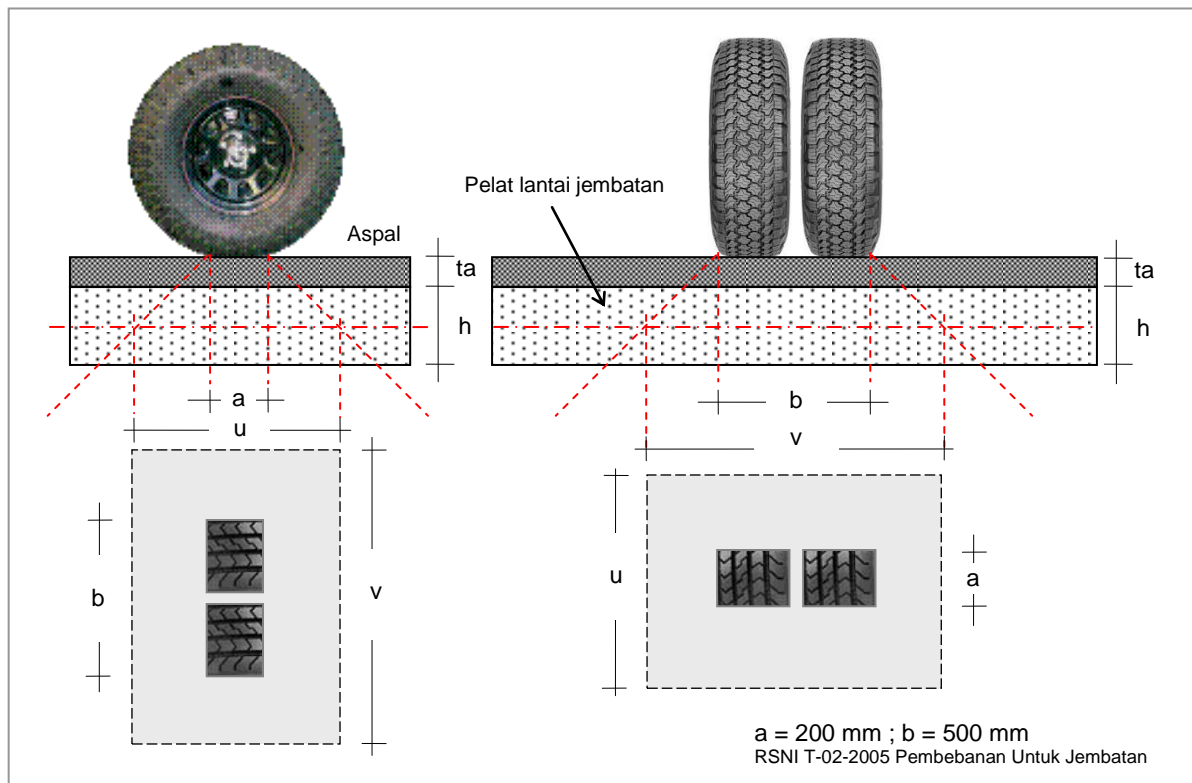
$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d}$$

$d$  = tinggi efektif lantai (mm)

$b = 1000$  (mm).

$A_s$  = luas tulangan terpasang (mm<sup>2</sup>).

## 9. Pemeriksaan Geser Pons pelat lantai kendaraan



Gambar 5 : Bidang penyebaran tekanan roda berdasarkan RSNI T-02-2005.

Kekuatan pelat lantai terhadap geser untuk pelat beton bertulang tanpa tulangan geser, nilai minimum,

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c} \cdot b' \cdot d \quad \text{.....(14)}$$

Dimana,

$$u = a + ta + ta + 1/2h + 1/2h = a + 2 ta + h$$

$$v = b + ta + ta + 1/2h + 1/2h = b + 2 ta + h$$

$$a = 200 \text{ mm}$$

$$b = 500 \text{ mm}$$

$$b' = 2 u + 2 v$$

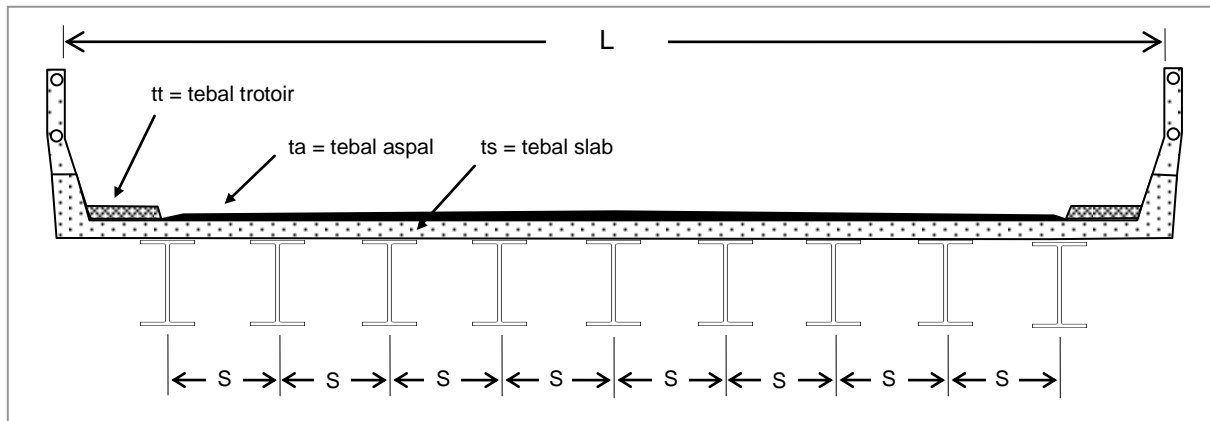
$$h = ts = \text{tebal pelat beton (slab)}$$

$$d = \text{tebal efektif lantai} = h - \text{selimut beton.}$$

$$ta = \text{tebal lapis aspal.}$$

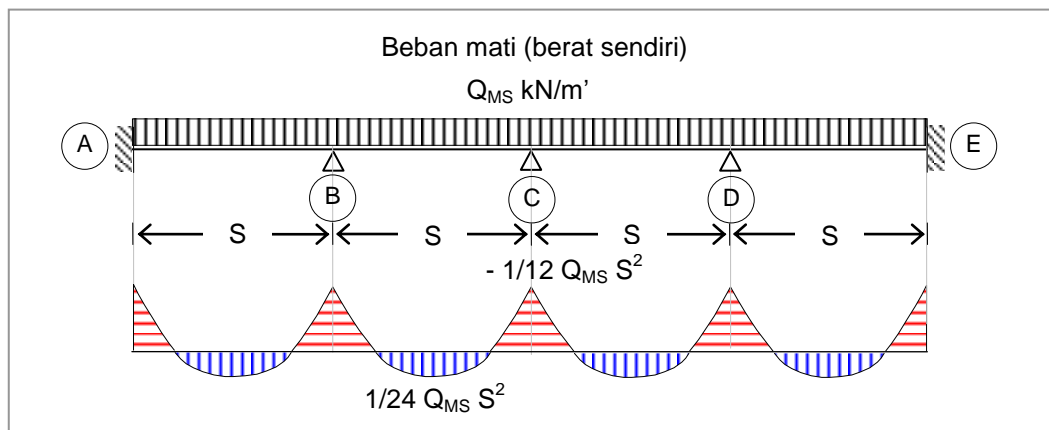
## 10. Analisa Struktur Pelat lantai Jembatan

Pelat dianggap seperti balok yang terletak diatas banyak perletakan, dimana bagian tepi lantai jembatan, dianggap terkekang. Analisa struktur dilakukan dengan metode *Persamaan Tiga Momen*. Jumlah medan yang banyak dapat disederhanakan menjadi hanya 4 (empat) medan saja yang ditinjau.



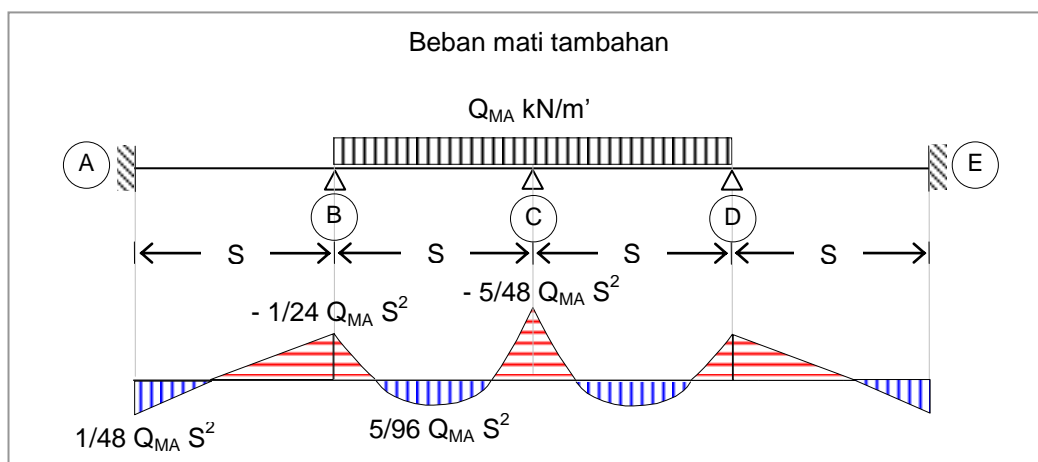
Gambar 6 : Penampang jembatan dengan delapan medan.

Hasil analisa struktur untuk berbagai beban adalah sebagai berikut,  
a). Akibat berat sendiri pelat lantai, momen tumpuan maksimum pada (C), dan momen lapangan maksimum pada lapangan (B) – (C).



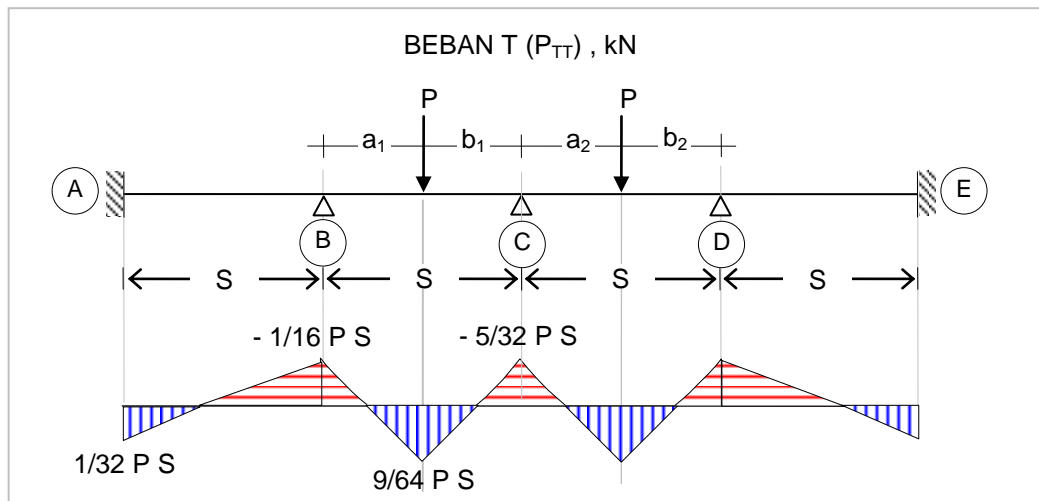
Gambar 7 : Hasil analisa struktur akibat berat sendiri pelat lantai.

b). Akibat beban mati tambahan yang berasal dari berat lapis aspal dan air hujan, momen tumpuan maksimum pada (C), dan momen lapangan maksimum pada lapangan (B) – (C).



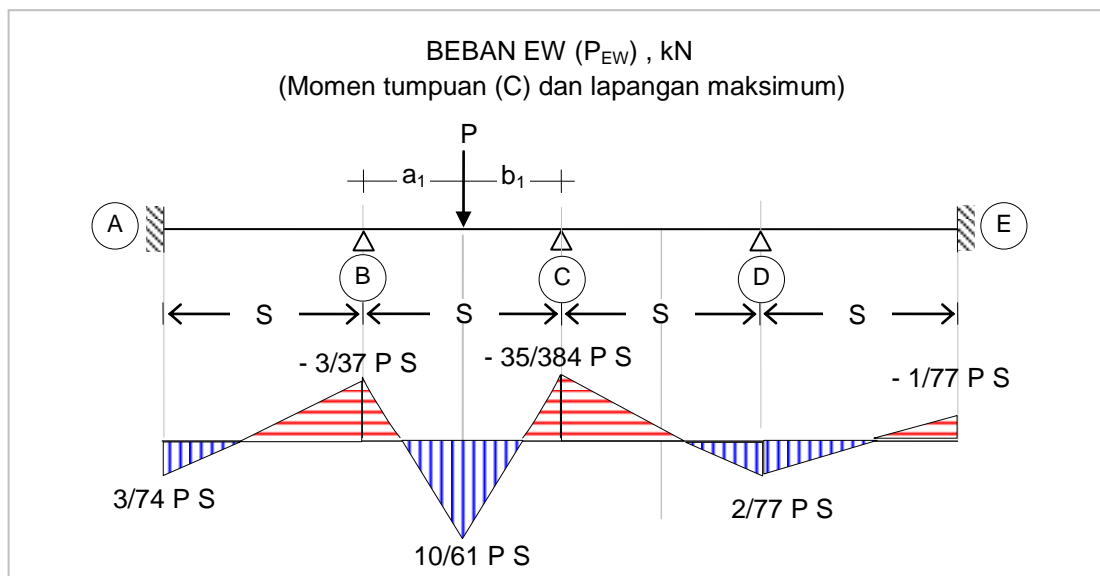
Gambar 8 : Hasil analisa struktur akibat berat lapis aspal.

c). Akibat beban truk ( $P_{TT}$ ), momen tumpuan maksimum pada (C), dan momen lapangan maksimum pada lapangan (B) – (C).



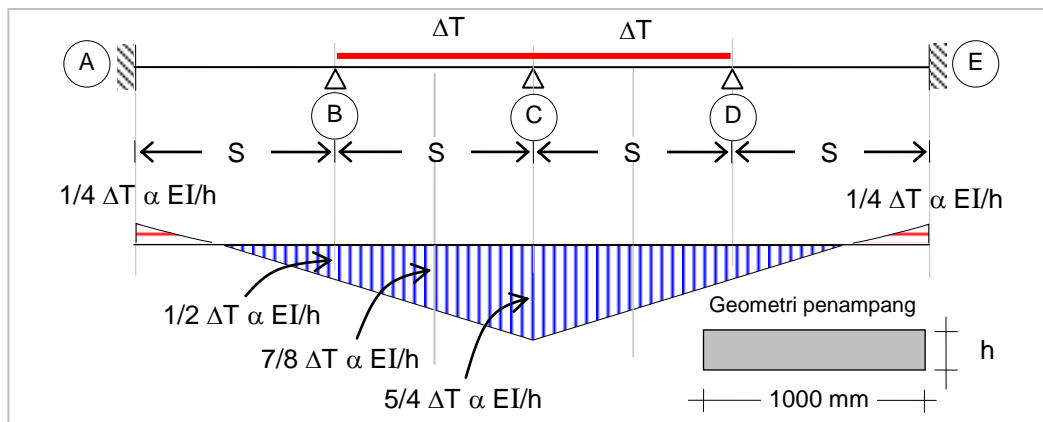
Gambar 9 : Hasil analisa struktur akibat beban truk.

d). Akibat beban angin ( $P_{EW}$ ), momen tumpuan maksimum pada (C), dan momen lapangan maksimum pada lapangan (B) – (C).



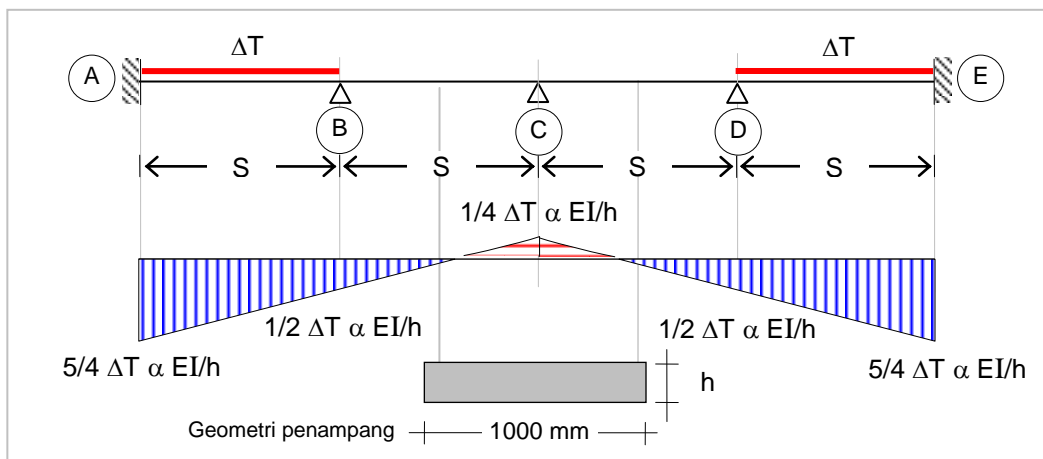
Gambar 10 : Hasil analisa struktur akibat beban angin.

e). Akibat perubahan temperatur, momen lapangan maksimum pada lapangan (B) – (C).



Gambar 11 : Hasil analisa struktur akibat perubahan temperatur.

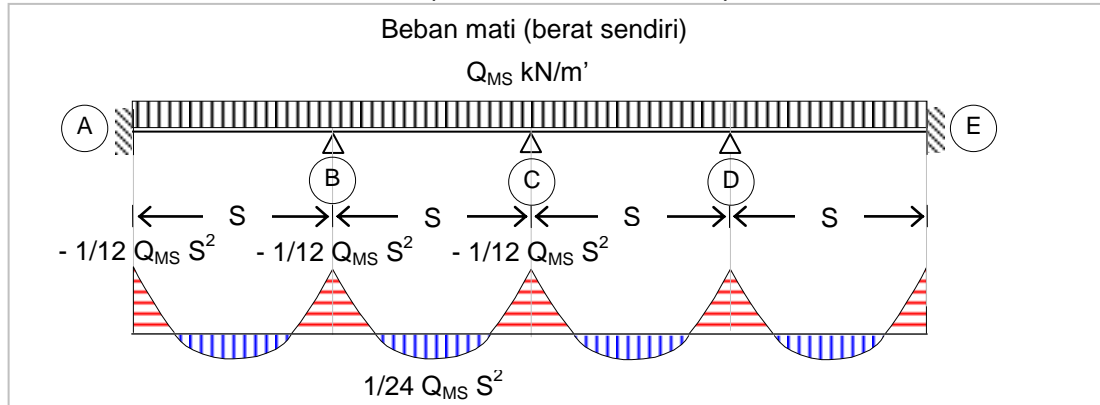
f). Akibat perubahan temperatur, momen tumpuan maksimum pada (C).



Gambar 12 : Hasil analisa struktur akibat perubahan temperatur.

# LAMPIRAN A

## BEBAN MATI (BERAT SENDIRI), $Q_{MS}$ kN/m'



Gambar 13 : Analisa struktur akibat berat sendiri pelat lantai.

Persamaan Tiga Momen,

$$\begin{aligned} \frac{M_A \cdot S}{3EI} + \frac{M_B \cdot S}{6EI} &= \frac{Q \cdot S^3}{24EI} \\ \frac{1}{3} M_A + \frac{1}{6} M_B &= \frac{1}{24} Q \cdot S^2 \\ M_A &= \frac{1}{8} Q \cdot S^2 - \frac{1}{2} M_B \end{aligned} \quad \text{.....(1)}$$

$$\begin{aligned} \frac{M_A \cdot S}{6EI} + \frac{M_B \cdot S}{3EI} + \frac{M_B \cdot S}{3EI} + \frac{M_C \cdot S}{6EI} &= \frac{Q \cdot S^3}{24EI} + \frac{Q \cdot S^3}{24EI} \\ \frac{1}{6} M_A + \frac{2}{3} M_B + \frac{1}{6} M_C &= \frac{1}{12} Q \cdot S^2 \end{aligned} \quad \text{.....(2)}$$

$$\begin{aligned} \frac{M_B \cdot S}{6EI} + \frac{M_C \cdot S}{3EI} + \frac{M_C \cdot S}{3EI} + \frac{M_D \cdot S}{6EI} &= \frac{Q \cdot S^3}{24EI} + \frac{Q \cdot S^3}{24EI} \\ \frac{1}{6} M_B + \frac{2}{3} M_C + \frac{1}{6} M_D &= \frac{1}{12} Q \cdot S^2 \end{aligned} \quad \text{.....(3)}$$

$$M_A = M_E ; M_B = M_D \quad \text{.....(4)}$$

Substitusikan pers.(1) kedalam pers.(2), diperoleh,

$$\begin{aligned} \frac{1}{6} \left( \frac{1}{8} Q \cdot S^2 - \frac{1}{2} M_B \right) + \frac{2}{3} M_B + \frac{1}{6} M_C &= \frac{1}{12} Q \cdot S^2 \\ \frac{7}{12} M_B + \frac{1}{6} M_C &= \frac{1}{16} Q \cdot S^2 \end{aligned} \quad \text{.....(5)}$$

Substitusikan pers.(4) kedalam pers.(3), diperoleh,

$$\frac{1}{6} M_B + \frac{2}{3} M_C + \frac{1}{6} M_B = \frac{1}{12} Q \cdot S^2$$

$$\frac{1}{3} M_B + \frac{2}{3} M_C = \frac{1}{12} Q \cdot S^2 \quad \text{.....(6)}$$

Dari pers.(5) dan pers.(6),

$$\begin{array}{rcl} \frac{7}{12} M_B + \frac{1}{6} M_C & = & \frac{1}{16} Q \cdot S^2 \quad \times | 6/1 | \\ \frac{1}{3} M_B + \frac{2}{3} M_C & = & \frac{1}{12} Q \cdot S^2 \quad \times | 3/2 | \\ \hline \frac{42}{12} M_B + M_C & = & \frac{6}{16} Q \cdot S^2 \\ \frac{1}{2} M_B + M_C & = & \frac{1}{8} Q \cdot S^2 \\ \hline 3 M_B & = & \frac{1}{4} Q \cdot S^2 \end{array} \quad \text{---}$$

$$M_B = \frac{1}{12} Q \cdot S^2 \text{ (momen tumpuan negatip)} \quad \text{.....(7)}$$

Substitusikan pers.(7) kedalam pers.(5) atau pers.(6), diperoleh,

$$\begin{array}{l} \frac{7}{12} (\frac{1}{12} Q \cdot S^2) + \frac{1}{6} M_C = \frac{1}{16} Q \cdot S^2 \\ \frac{1}{6} M_C = \frac{1}{72} Q \cdot S^2 \end{array}$$

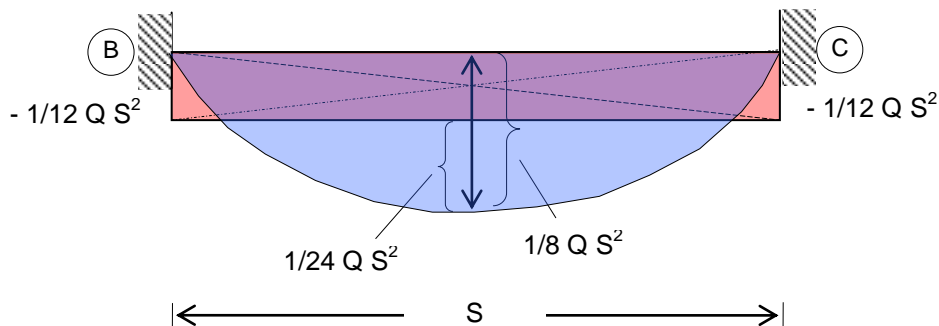
$$M_C = \frac{1}{12} Q \cdot S^2 \text{ (momen tumpuan negatip)} \quad \text{.....(8)}$$

Substitusikan pers.(7) kedalam pers.(1), diperoleh,

$$M_A = \frac{1}{8} Q \cdot S^2 - \frac{1}{2} (\frac{1}{12} Q \cdot S^2)$$

$$M_A = \frac{1}{12} Q \cdot S^2 \text{ (momen tumpuan negatip)} \quad \text{.....(9)}$$

Momen lapangan (B – C),



Gambar 14 : Momen lapangan B – C maksimum.

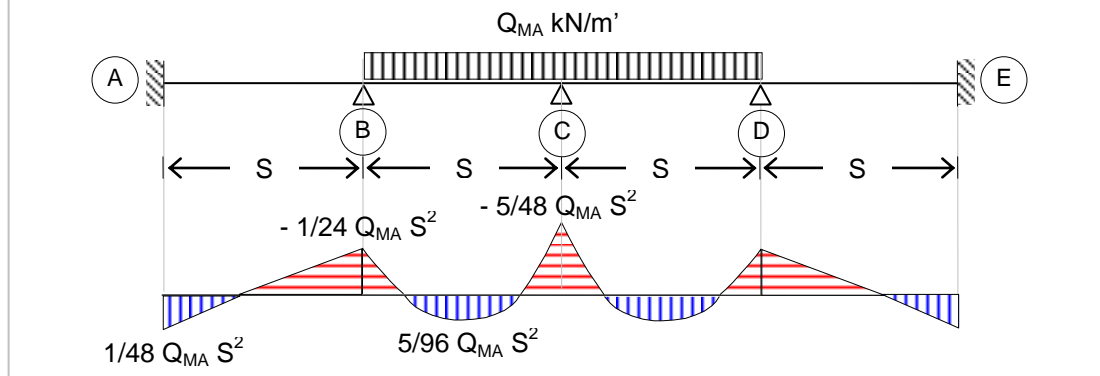
$$M_{(B-C)} = \frac{1}{8} Q \cdot S^2 - \frac{1}{12} Q \cdot S^2 = \frac{1}{24} Q \cdot S^2 \text{ (positip)} \quad \text{.....(10)}$$



## LAMPIRAN B

### BEBAN MATI TAMBAHAN, $Q_{MA}$ kN/m'

(Momen tumpuan (C) dan lapangan maksimum)



Gambar 15 : Analisa struktur akibat berat aspal dan air hujan.

Persamaan tiga momen,

$$\frac{M_A \cdot S}{3EI} + \frac{M_B \cdot S}{6EI} = 0$$

$$\frac{1}{3} M_A + \frac{1}{6} M_B = 0$$

$$M_A = -\frac{1}{2} M_B \quad \text{.....(1)}$$

$$\frac{M_A \cdot S}{6EI} + \frac{M_B \cdot S}{3EI} + \frac{M_B \cdot S}{3EI} + \frac{M_C \cdot S}{6EI} = \frac{Q \cdot S^3}{24EI}$$

$$\frac{1}{6} M_A + \frac{2}{3} M_B + \frac{1}{6} M_C = \frac{1}{24} Q \cdot S^2 \quad \text{.....(2)}$$

$$\frac{M_B \cdot S}{6EI} + \frac{M_C \cdot S}{3EI} + \frac{M_C \cdot S}{3EI} + \frac{M_D \cdot S}{6EI} = \frac{Q \cdot S^3}{24EI} + \frac{Q \cdot S^3}{24EI}$$

$$\frac{1}{6} M_B + \frac{2}{3} M_C + \frac{1}{6} M_D = \frac{1}{12} Q \cdot S^2 \quad \text{.....(3)}$$

$$M_A = M_E ; M_B = M_D \quad \text{.....(4)}$$

Substitusikan pers.(1) kedalam pers.(2), diperoleh,

$$\frac{1}{6} \left(-\frac{1}{2} M_B\right) + \frac{2}{3} M_B + \frac{1}{6} M_C = \frac{1}{24} Q \cdot S^2$$

$$\frac{7}{12} M_B + \frac{1}{6} M_C = \frac{1}{24} Q \cdot S^2 \quad \text{.....(5)}$$

Substitusikan pers.(4) kedalam pers.(3), diperoleh,

$$\begin{aligned}\frac{1}{6} M_B + \frac{2}{3} M_C + \frac{1}{6} M_B &= \frac{1}{12} Q \cdot S^2 \\ \frac{1}{3} M_B + \frac{2}{3} M_C &= \frac{1}{12} Q \cdot S^2\end{aligned}\quad \text{.....(6)}$$

Dari pers.(5) dan pers.(6),

$$\begin{array}{rcl}\frac{7}{12} M_B + \frac{1}{6} M_C &= \frac{1}{24} Q \cdot S^2 & \times | 6/1 | \\ \frac{1}{3} M_B + \frac{2}{3} M_C &= \frac{1}{12} Q \cdot S^2 & \times | 3/2 | \\ \hline \frac{42}{12} M_B + M_C &= \frac{1}{4} Q \cdot S^2 & \\ \frac{1}{2} M_B + M_C &= \frac{1}{8} Q \cdot S^2 & \\ \hline 3 M_B &= \frac{1}{8} Q \cdot S^2 & \end{array}$$

$$M_B = \frac{1}{24} Q \cdot S^2 \text{ (momen tumpuan negatip)} \quad \text{.....(7)}$$

Substitusikan pers.(7) kedalam pers.(5) atau pers.(6), diperoleh,

$$\begin{aligned}\frac{7}{12} \left( \frac{1}{24} Q \cdot S^2 \right) + \frac{1}{6} M_C &= \frac{1}{24} Q \cdot S^2 \\ \frac{1}{6} M_C &= \frac{1}{58} Q \cdot S^2\end{aligned}$$

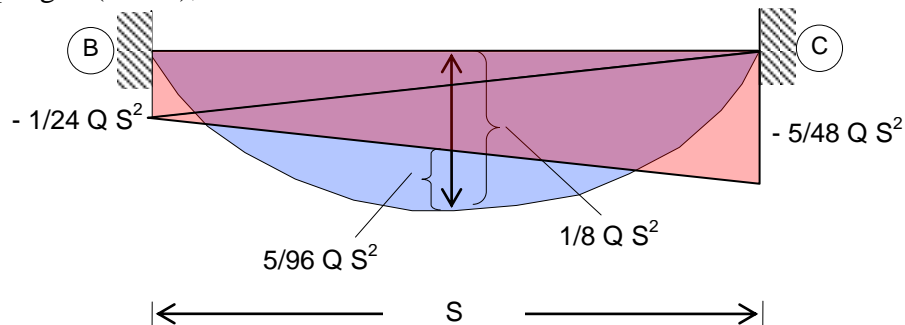
$$M_C = \frac{5}{48} Q \cdot S^2 \text{ (momen tumpuan negatip)} \quad \text{.....(8)}$$

Substitusikan pers.(7) kedalam pers.(1), diperoleh,

$$M_A = - \frac{1}{2} \left( - \frac{1}{24} Q \cdot S^2 \right)$$

$$M_A = \frac{1}{48} Q \cdot S^2 \text{ (momen tumpuan positif)} \quad \text{.....(9)}$$

Momen lapangan (B – C),



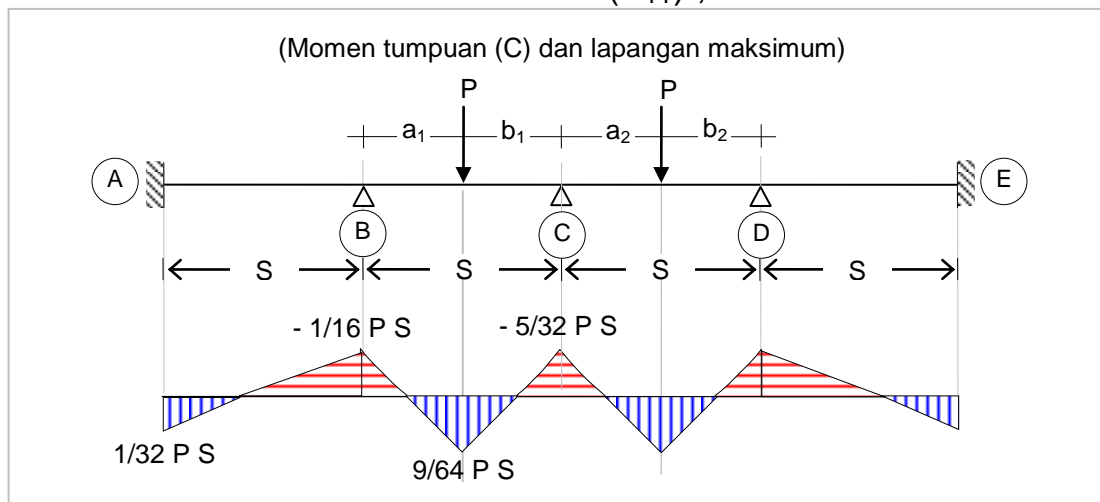
Gambar 16 : Momen lapangan B – C maksimum.

$$M_{(B-C)} = \frac{1}{8} Q \cdot S^2 - \frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{24} Q \cdot S^2 + \frac{5}{48} Q \cdot S^2 \right\}$$

$$M_{(B-C)} = \frac{5}{96} Q \cdot S^2 \text{ (positip)} \quad \text{.....(10)}$$

## LAMPIRAN C

### BEBAN Truk T ( $P_{TT}$ ) , kN



Gambar 17 : Analisa struktur akibat beban truk.

Persamaan tiga momen,

$$\frac{M_A \cdot S}{3EI} + \frac{M_B \cdot S}{6EI} = 0$$

$$\frac{1}{3} M_A + \frac{1}{6} M_B = 0$$

$$M_A = -\frac{1}{2} M_B \quad \text{.....(1)}$$

$$\frac{M_A \cdot S}{6EI} + \frac{M_B \cdot S}{3EI} + \frac{M_B \cdot S}{3EI} + \frac{M_C \cdot S}{6EI} = \frac{1}{6} \frac{P \cdot a_1 \cdot b_1 \cdot (S + b_1)}{S \cdot EI}$$

$$\frac{1}{6} M_A + \frac{2}{3} M_B + \frac{1}{6} M_C = \frac{1}{6} \frac{P \cdot a_1 \cdot b_1 \cdot (S + b_1)}{S^2} \quad \text{.....(2)}$$

$$\frac{M_B \cdot S}{6EI} + \frac{M_C \cdot S}{3EI} + \frac{M_C \cdot S}{3EI} + \frac{M_D \cdot S}{6EI} = \frac{1}{6} \frac{P \cdot a_1 \cdot b_1 \cdot (S + a_1)}{S \cdot EI} + \frac{1}{6} \frac{P \cdot a_2 \cdot b_2 \cdot (S + b_2)}{S \cdot EI}$$

$$\frac{1}{6} M_B + \frac{2}{3} M_C + \frac{1}{6} M_D = \frac{1}{6} \frac{P \cdot a_1 \cdot b_1 \cdot (S + a_1)}{S^2} + \frac{1}{6} \frac{P \cdot a_2 \cdot b_2 \cdot (S + b_2)}{S^2}$$

$$\frac{1}{6} M_B + \frac{2}{3} M_C + \frac{1}{6} M_D = \frac{P}{6S^2} \{a_1 \cdot b_1 \cdot (S + a_1) + a_2 \cdot b_2 \cdot (S + b_2)\} \quad \text{.....(3)}$$

$$M_A = M_E ; M_B = M_D \quad \text{.....(4)}$$

Substitusikan pers.(1) kedalam pers.(2), diperoleh,

$$\begin{aligned} \frac{1}{6} (-\frac{1}{2} M_B) + \frac{2}{3} M_B + \frac{1}{6} M_C &= \frac{1}{6} \frac{P \cdot a_1 \cdot b_1 \cdot (S + b_1)}{S^2} \\ \frac{7}{12} M_B + \frac{1}{6} M_C &= \frac{1}{6} \frac{P \cdot a_1 \cdot b_1 \cdot (S + b_1)}{S^2} \end{aligned} \quad \text{.....(5)}$$

Substitusikan pers.(4) kedalam pers.(3), diperoleh,

$$\begin{aligned} \frac{1}{6} M_B + \frac{2}{3} M_C + \frac{1}{6} M_B &= \frac{P}{6S^2} \{a_1 \cdot b_1 \cdot (S + a_1) + a_2 \cdot b_2 \cdot (S + b_2)\} \\ \frac{1}{3} M_B + \frac{2}{3} M_C &= \frac{P}{6S^2} \{a_1 \cdot b_1 \cdot (S + a_1) + a_2 \cdot b_2 \cdot (S + b_2)\} \end{aligned} \quad \text{.....(6)}$$

Dari pers.(5) dan pers.(6),

$$\begin{aligned} \frac{7}{12} M_B + \frac{1}{6} M_C &= \frac{1}{6} \frac{P \cdot a_1 \cdot b_1 \cdot (S + b_1)}{S^2} & \times | 6/1 | \\ \frac{1}{3} M_B + \frac{2}{3} M_C &= \frac{P}{6S^2} \{a_1 \cdot b_1 \cdot (S + a_1) + a_2 \cdot b_2 \cdot (S + b_2)\} & \times | 3/2 | \\ \hline \frac{42}{12} M_B + M_C &= \frac{P \cdot a_1 \cdot b_1 \cdot (S + b_1)}{S^2} \\ \frac{1}{2} M_B + M_C &= \frac{P}{4S^2} \{a_1 \cdot b_1 \cdot (S + a_1) + a_2 \cdot b_2 \cdot (S + b_2)\} \\ \hline 3 M_B &= \frac{P}{S^2} \left\{ a_1 \cdot b_1 \cdot (S + b_1) - \frac{1}{4} a_1 \cdot b_1 \cdot (S + a_1) - \frac{1}{4} a_2 \cdot b_2 \cdot (S + b_2) \right\} \\ M_B &= \frac{P}{3 S^2} \left\{ a_1 \cdot b_1 \cdot \left[ (S + b_1) - \frac{1}{4} \cdot (S + a_1) \right] - \frac{1}{4} a_2 \cdot b_2 \cdot (S + b_2) \right\} \end{aligned} \quad \text{.....(7)}$$

(momen tumpuan negatif)

Kejadian khusus,

$$\begin{aligned} a_1 &= a_2 = b_1 = b_2 = \frac{1}{2} S \\ M_B &= \frac{1}{16} P \cdot S \text{ (momen tumpuan B, bertanda negatif)} \end{aligned} \quad \text{.....(8)}$$

Substitusikan pers.(7) kedalam pers.(6), diperoleh,

$$\begin{aligned} \frac{P}{9 S^2} \left\{ a_1 \cdot b_1 \cdot \left[ (S + b_1) - \frac{1}{4} (S + a_1) \right] - \frac{1}{4} a_2 \cdot b_2 \cdot (S + b_2) \right\} + \frac{2}{3} M_C &= \\ \frac{P}{6 S^2} \{a_1 \cdot b_1 \cdot (S + a_1) + a_2 \cdot b_2 \cdot (S + b_2)\} \\ M_C &= \frac{P}{S^2} \left\{ a_1 \cdot b_1 \cdot \left[ \frac{7}{24} (S + a_1) - \frac{1}{6} \cdot (S + a_1) \right] + \frac{7}{24} a_2 \cdot b_2 \cdot (S + b_2) \right\} \end{aligned} \quad \text{.....(9)}$$

Kejadian khusus,

$$\begin{aligned} a_1 &= a_2 = b_1 = b_2 = \frac{1}{2} S \\ M_C &= \frac{5}{32} P \cdot S \text{ (momen tumpuan C, bertanda negatif)} \end{aligned} \quad \text{....(10)}$$

Substitusikan pers.(7) kedalam pers.(1), diperoleh,

$$M_A = \frac{P}{6 S^2} \left\{ a_1 \cdot b_1 \cdot \left[ (S + b_1) - \frac{1}{4} \cdot (S + a_1) \right] - \frac{1}{4} a_2 \cdot b_2 \cdot (S + b_2) \right\} \quad \dots(11)$$

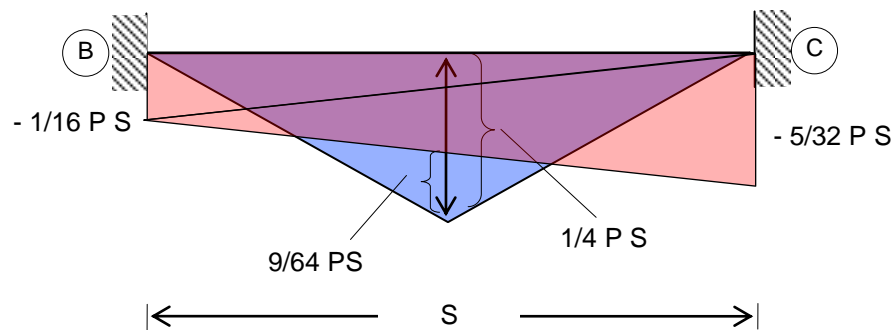
(momen tumpuan positif)

Kejadian khusus,

$$a_1 = a_2 = b_1 = b_2 = \frac{1}{2} S$$

$$M_A = \frac{1}{32} P \cdot S \quad (\text{momen tumpuan A, bertanda positif}) \quad \dots(12)$$

Momen lapangan (B – C),



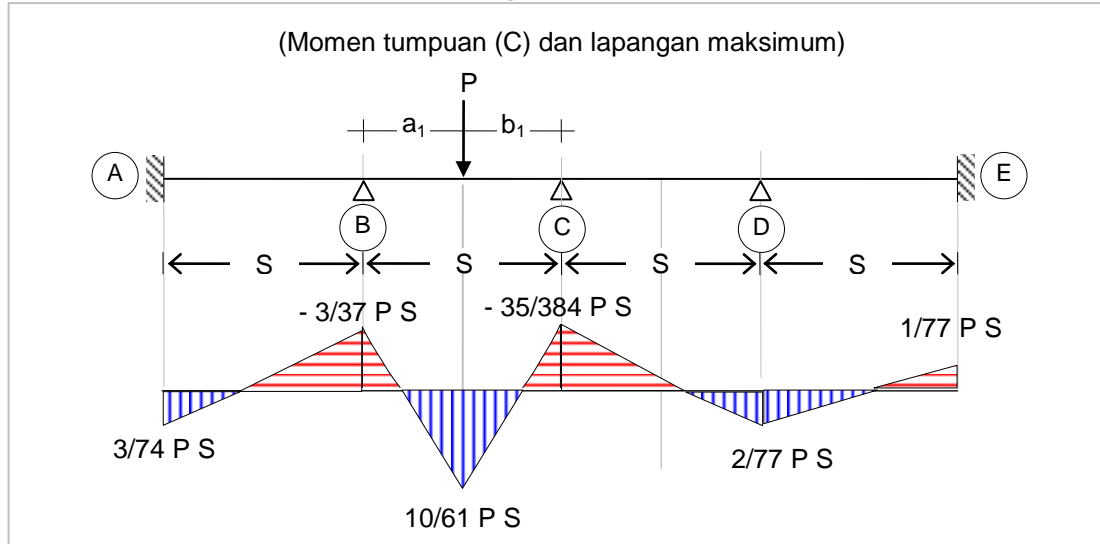
Gambar 18 : Momen lapangan B – C maksimum.

$$M_{(B-C)} = \frac{1}{4} P \cdot S - \frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{16} P \cdot S + \frac{5}{32} P \cdot S \right\}$$

$$M_{(B-C)} = \frac{9}{64} P \cdot S \quad (\text{positif}) \quad \dots(10)$$

## LAMPIRAN D

### BEBAN Angin EW ( $P_{EW}$ ) , kN



Gambar 19 : Analisa struktur akibat beban angin.

Persamaan tiga momen,

$$\frac{M_A \cdot S}{3EI} + \frac{M_B \cdot S}{6EI} = 0$$

$$\frac{1}{3} M_A + \frac{1}{6} M_B = 0$$

$$M_A = -\frac{1}{2} M_B \quad \text{.....(1)}$$

$$\frac{M_A \cdot S}{6EI} + \frac{M_B \cdot S}{3EI} + \frac{M_B \cdot S}{3EI} + \frac{M_C \cdot S}{6EI} = \frac{1}{6} \frac{P \cdot a_1 \cdot b_1 \cdot (S + b_1)}{S \cdot EI}$$

$$\frac{1}{6} M_A + \frac{2}{3} M_B + \frac{1}{6} M_C = \frac{1}{6} \frac{P \cdot a_1 \cdot b_1 \cdot (S + b_1)}{S^2} \quad \text{.....(2)}$$

$$\frac{M_B \cdot S}{6EI} + \frac{M_C \cdot S}{3EI} + \frac{M_C \cdot S}{3EI} + \frac{M_D \cdot S}{6EI} = \frac{1}{6} \frac{P \cdot a_1 \cdot b_1 \cdot (S + a_1)}{S \cdot EI}$$

$$\frac{1}{6} M_B + \frac{2}{3} M_C + \frac{1}{6} M_D = \frac{1}{6} \frac{P \cdot a_1 \cdot b_1 \cdot (S + a_1)}{S^2} \quad \text{.....(3)}$$

$$\frac{M_C \cdot S}{6EI} + \frac{M_D \cdot S}{3EI} + \frac{M_D \cdot S}{3EI} + \frac{M_E \cdot S}{6EI} = 0$$

$$\frac{1}{6} M_C + \frac{2}{3} M_D + \frac{1}{6} M_E = 0 \quad \text{.....(4)}$$

$$\begin{aligned}\frac{M_E \cdot S}{3EI} + \frac{M_D \cdot S}{6EI} &= 0 \\ \frac{1}{3} M_E + \frac{1}{6} M_D &= 0 \\ M_E &= -\frac{1}{2} M_D\end{aligned}\quad \text{.....(5)}$$

Substitusikan pers.(1) kedalam pers.(2), diperoleh,

$$\begin{aligned}\frac{1}{6} (-\frac{1}{2} M_D) + \frac{2}{3} M_D + \frac{1}{6} M_C &= \frac{1}{6} \frac{P \cdot a_1 \cdot b_1 \cdot (S + b_1)}{S^2} \\ \frac{7}{12} M_D + \frac{1}{6} M_C &= \frac{1}{6} \frac{P \cdot a_1 \cdot b_1 \cdot (S + b_1)}{S^2}\end{aligned}\quad \text{.....(6)}$$

Substitusikan pers.(5) kedalam pers.(4), diperoleh,

$$\begin{aligned}\frac{1}{6} M_C + \frac{2}{3} M_D + \frac{1}{6} (-\frac{1}{2} M_D) &= 0 \\ \frac{1}{6} M_C + \frac{7}{12} M_D &= 0\end{aligned}\quad \text{.....(7)}$$

Dari pers.(3) dan pers.(6), diperoleh,

$$\begin{aligned}\frac{1}{6} M_D + \frac{2}{3} M_C + \frac{1}{6} M_D &= \frac{1}{6} \frac{P \cdot a_1 \cdot b_1 \cdot (S + a_1)}{S^2} & \text{x | 6/1 |} \\ \frac{7}{12} M_D + \frac{1}{6} M_C &= \frac{1}{6} \frac{P \cdot a_1 \cdot b_1 \cdot (S + b_1)}{S^2} & \text{x | 12/7 |}\end{aligned}$$


---

$$\begin{aligned}\frac{12}{3} M_C - \frac{2}{7} M_C + M_D &= \frac{P \cdot a_1 \cdot b_1 \cdot (S + a_1)}{S^2} - \frac{1}{6} \frac{P \cdot a_1 \cdot b_1 \cdot (S + b_1)}{S^2} \\ \frac{26}{7} M_C + M_D &= \frac{P \cdot a_1 \cdot b_1}{S^2} \left\{ (S + a_1) - \frac{1}{6} (S + b_1) \right\}\end{aligned}\quad \text{.....(8)}$$

Dari pers.(7) dan pers.(8), diperoleh,

$$\begin{aligned}\frac{1}{6} M_C + \frac{7}{12} M_D &= 0 & \text{x | 12/7 |} \\ \frac{26}{7} M_C + M_D &= \frac{P \cdot a_1 \cdot b_1}{S^2} \left\{ (S + a_1) - \frac{1}{6} (S + b_1) \right\}\end{aligned}$$


---

$$\begin{aligned}\frac{2}{7} M_C - \frac{26}{7} M_C &= - \frac{P \cdot a_1 \cdot b_1}{S^2} \left\{ (S + a_1) - \frac{1}{6} (S + b_1) \right\} \\ M_C &= \frac{7}{24} \frac{P \cdot a_1 \cdot b_1}{S^2} \left\{ (S + a_1) - \frac{1}{6} (S + b_1) \right\}\end{aligned}\quad \text{.....(9)}$$

Kejadian khusus,

$$\begin{aligned}a_1 &= b_1 = \frac{1}{2} S \\ M_C &= \frac{35}{384} P \cdot S \quad (\text{momen tumpuan C, bertanda negatif})\end{aligned}\quad \text{.....(10)}$$

Substitusikan pers.(10) kedalam pers.(7), diperoleh,

$$\frac{1}{6} \left( \frac{35}{384} P.S \right) + \frac{7}{12} M_D = 0$$

$$M_D = -\frac{2}{77} P.S \text{ (momen tumpuan D, bertanda positif)} \quad \text{.....(11)}$$

Substitusikan pers.(10) kedalam pers.(6), diperoleh,

$$\frac{7}{12} M_B + \frac{1}{6} \left( \frac{35}{384} P.S \right) = \frac{1}{6} \frac{P.a_1.b_1.(S+b_1)}{S^2}$$

Kejadian khusus,

$$a_1 = b_1 = \frac{1}{2} S$$

$$M_B = \frac{3}{37} P.S \text{ (momen tumpuan B, bertanda negatif)} \quad \text{.....(12)}$$

Substitusikan pers.(12) kedalam pers.(1), diperoleh,

$$M_A = -\frac{1}{2} \left( \frac{3}{37} P.S \right)$$

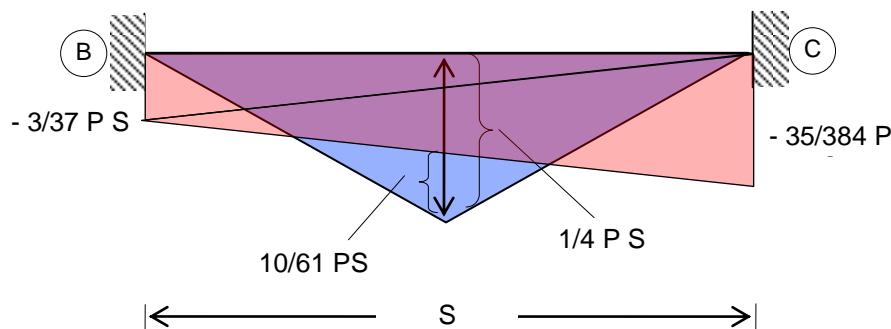
$$M_A = -\frac{3}{74} P.S \text{ (momen tumpuan A, bertanda positif)} \quad \text{.....(13)}$$

Substitusikan pers.(11) kedalam pers.(5), diperoleh,

$$M_E = -\frac{1}{2} \left( -\frac{2}{77} P.S \right)$$

$$M_E = \frac{1}{77} P.S \text{ (momen tumpuan E, bertanda negatif)} \quad \text{.....(14)}$$

Momen lapangan (B – C),



Gambar 20 : Momen lapangan B – C maksimum.

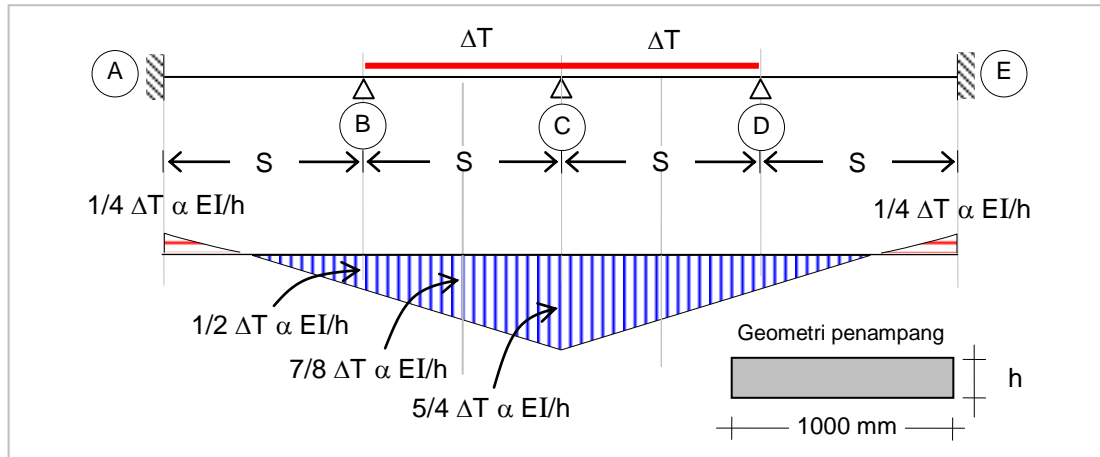
$$M_{(B-C)} = \frac{1}{4} P.S - \frac{1}{2} \left\{ \frac{3}{37} P.S + \frac{35}{384} P.S \right\}$$

$$M_{(B-C)} = \frac{10}{61} P.S \text{ (positip)} \quad \text{.....(15)}$$



## LAMPIRAN E

### BEBAN Temperatur ET ( $P_{ET}$ )



Gambar 21 : Analisa struktur akibat perubahan temperatur, momen lapangan maksimum.

Persamaan tiga momen,

$$\begin{aligned} \frac{M_A \cdot S}{3EI} + \frac{M_B \cdot S}{6EI} &= 0 \\ \frac{1}{3} M_A + \frac{1}{6} M_B &= 0 \\ M_A &= -\frac{1}{2} M_B \end{aligned} \quad \text{.....(1)}$$

$$\begin{aligned} \frac{M_A \cdot S}{6EI} + \frac{M_B \cdot S}{3EI} + \frac{M_B \cdot S}{3EI} + \frac{M_C \cdot S}{6EI} &= \frac{1}{2} \Delta T \cdot \alpha \cdot \frac{S}{h} \\ \frac{1}{6} M_A + \frac{2}{3} M_B + \frac{1}{6} M_C &= \frac{1}{2} \Delta T \cdot \alpha \cdot \frac{E \cdot I}{h} \end{aligned} \quad \text{.....(2)}$$

$$\begin{aligned} \frac{M_B \cdot S}{6EI} + \frac{M_C \cdot S}{3EI} + \frac{M_C \cdot S}{3EI} + \frac{M_D \cdot S}{6EI} &= \frac{1}{2} \Delta T \cdot \alpha \cdot \frac{S}{h} + \frac{1}{2} \Delta T \cdot \alpha \cdot \frac{S}{h} \\ \frac{1}{6} M_B + \frac{2}{3} M_C + \frac{1}{6} M_D &= \Delta T \cdot \alpha \cdot \frac{E \cdot I}{h} \end{aligned} \quad \text{.....(3)}$$

$$M_A = M_E ; M_B = M_D \quad \text{.....(4)}$$

Substitusikan pers.(1) kedalam pers.(2), diperoleh,

$$\begin{aligned} \frac{1}{6} (-\frac{1}{2} M_B) + \frac{2}{3} M_B + \frac{1}{6} M_C &= \frac{1}{2} \Delta T \cdot \alpha \cdot \frac{E \cdot I}{h} \\ \frac{7}{12} M_B + \frac{1}{6} M_C &= \frac{1}{2} \Delta T \cdot \alpha \cdot \frac{E \cdot I}{h} \end{aligned} \quad \text{.....(5)}$$

Substitusikan pers.(4) kedalam pers.(3), diperoleh,

$$\begin{aligned} \frac{1}{6} M_B + \frac{2}{3} M_C + \frac{1}{6} M_B &= \Delta T \cdot \alpha \cdot \frac{E.I}{h} \\ \frac{1}{3} M_B + \frac{2}{3} M_C &= \Delta T \cdot \alpha \cdot \frac{E.I}{h} \end{aligned} \quad \text{.....(6)}$$

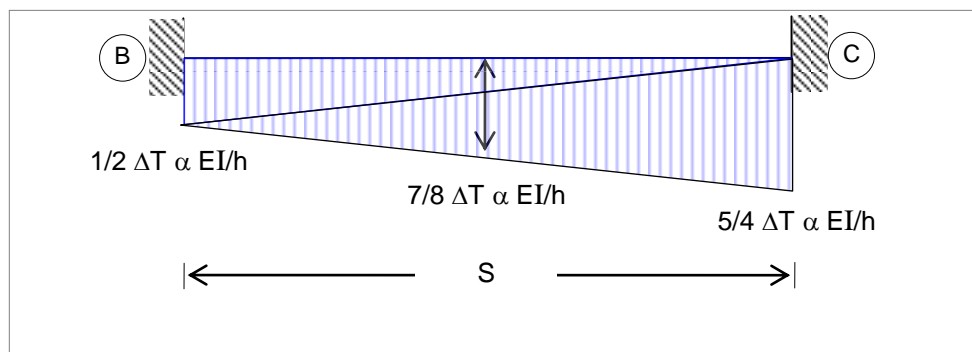
Dari pers.(5) dan pers.(6),

$$\begin{aligned} \frac{7}{12} M_B + \frac{1}{6} M_C &= \frac{1}{2} \Delta T \cdot \alpha \cdot \frac{E.I}{h} & \times | 6/1 | \\ \frac{1}{3} M_B + \frac{2}{3} M_C &= \Delta T \cdot \alpha \cdot \frac{E.I}{h} & \times | 3/2 | \\ \hline \frac{42}{12} M_B + M_C &= 3 \Delta T \cdot \alpha \cdot \frac{E.I}{h} \\ \frac{1}{2} M_B + M_C &= \frac{3}{2} \Delta T \cdot \alpha \cdot \frac{E.I}{h} \\ \hline 3 M_B &= \frac{3}{2} \Delta T \cdot \alpha \cdot \frac{E.I}{h} \\ M_B &= \frac{1}{2} \Delta T \cdot \alpha \cdot \frac{E.I}{h} \text{ (momen positif)} \end{aligned} \quad \text{.....(7)}$$

Substitusikan pers.(7) kedalam pers.(6), diperoleh,

$$\begin{aligned} \frac{1}{3} \left( \frac{1}{2} \Delta T \cdot \alpha \cdot \frac{E.I}{h} \right) + \frac{2}{3} M_C &= \Delta T \cdot \alpha \cdot \frac{E.I}{h} \\ M_C &= \frac{5}{4} \Delta T \cdot \alpha \cdot \frac{E.I}{h} \text{ (momen positif)} \end{aligned} \quad \text{.....(8)}$$

Momen lapangan (B – C),



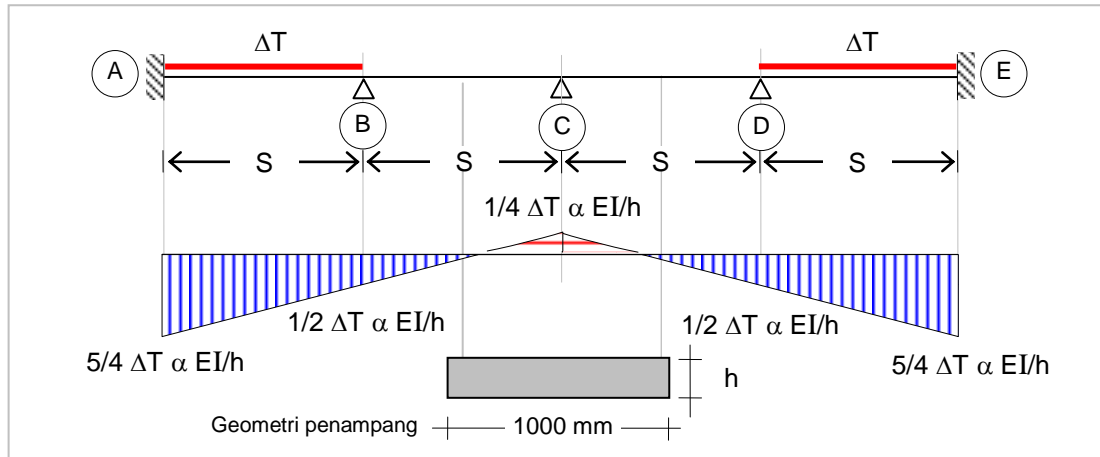
Gambar 22 : Momen lapangan B – C maksimum.

Substitusikan pers.(7) kedalam pers.(1), diperoleh,

$$\begin{aligned} M_A &= -\frac{1}{2} \left( \frac{1}{2} \Delta T \cdot \alpha \cdot \frac{E.I}{h} \right) \\ M_A &= -\frac{1}{4} \Delta T \cdot \alpha \cdot \frac{E.I}{h} \text{ (momen negatif)} \end{aligned} \quad \text{.....(9)}$$

## LAMPIRAN F

### BEBAN Temperatur ET ( $P_{ET}$ )



Gambar 23 : Analisa struktur akibat perubahan temperatur, momen tumpuan C maksimum.

Persamaan tiga momen,

$$\begin{aligned} \frac{M_A \cdot S}{3EI} + \frac{M_B \cdot S}{6EI} &= \frac{1}{2} \Delta T \cdot \alpha \cdot \frac{S}{h} \\ \frac{1}{3} M_A + \frac{1}{6} M_B &= \frac{1}{2} \Delta T \cdot \alpha \cdot \frac{E \cdot I}{h} \\ M_A &= \frac{3}{2} \Delta T \cdot \alpha \cdot \frac{E \cdot I}{h} - \frac{1}{2} M_B \end{aligned} \quad \text{.....(1)}$$

$$\begin{aligned} \frac{M_A \cdot S}{6EI} + \frac{M_B \cdot S}{3EI} + \frac{M_B \cdot S}{3EI} + \frac{M_C \cdot S}{6EI} &= \frac{1}{2} \Delta T \cdot \alpha \cdot \frac{S}{h} \\ \frac{1}{6} M_A + \frac{2}{3} M_B + \frac{1}{6} M_C &= \frac{1}{2} \Delta T \cdot \alpha \cdot \frac{E \cdot I}{h} \end{aligned} \quad \text{.....(2)}$$

$$\begin{aligned} \frac{M_B \cdot S}{6EI} + \frac{M_C \cdot S}{3EI} + \frac{M_C \cdot S}{3EI} + \frac{M_D \cdot S}{6EI} &= 0 \\ \frac{1}{6} M_B + \frac{2}{3} M_C + \frac{1}{6} M_D &= 0 \end{aligned} \quad \text{.....(3)}$$

$$M_A = M_E ; M_B = M_D \quad \text{.....(4)}$$

Substitusikan pers.(1) kedalam pers.(2), diperoleh,

$$\begin{aligned} \frac{1}{6} \left( \frac{3}{2} \Delta T \cdot \alpha \cdot \frac{E \cdot I}{h} - \frac{1}{2} M_B \right) + \frac{2}{3} M_B + \frac{1}{6} M_C &= \frac{1}{2} \Delta T \cdot \alpha \cdot \frac{E \cdot I}{h} \\ \frac{7}{12} M_B + \frac{1}{6} M_C &= \frac{1}{4} \Delta T \cdot \alpha \cdot \frac{E \cdot I}{h} \end{aligned} \quad \text{.....(5)}$$

Substitusikan pers.(4) kedalam pers.(3), diperoleh,

$$\begin{aligned}\frac{1}{6} M_B + \frac{2}{3} M_C + \frac{1}{6} M_B &= 0 \\ \frac{1}{3} M_B + \frac{2}{3} M_C &= 0 \\ M_B &= -2 M_C\end{aligned}\quad \text{.....(6)}$$

Substitusikan pers.(6) kedalam pers.(5), diperoleh,

$$\begin{aligned}\frac{7}{12} (-2 M_C) + \frac{1}{6} M_C &= \frac{1}{4} \Delta T \cdot \alpha \cdot \frac{E \cdot I}{h} \\ M_C &= -\frac{1}{4} \Delta T \cdot \alpha \cdot \frac{E \cdot I}{h} \\ \text{(momen tumpuan C negatif)}\end{aligned}\quad \text{.....(7)}$$

Substitusikan pers.(7) kedalam pers.(6), diperoleh,

$$\begin{aligned}M_B &= \frac{1}{2} \Delta T \cdot \alpha \cdot \frac{E \cdot I}{h} \\ \text{(momen tumpuan B positif)}\end{aligned}\quad \text{.....(8)}$$

Substitusikan pers.(8) kedalam pers.(1), diperoleh,

$$\begin{aligned}M_A &= \frac{3}{2} \Delta T \cdot \alpha \cdot \frac{E \cdot I}{h} - \frac{1}{2} \left( \frac{1}{2} \Delta T \cdot \alpha \cdot \frac{E \cdot I}{h} \right) \\ M_A &= \frac{5}{4} \Delta T \cdot \alpha \cdot \frac{E \cdot I}{h} \quad \text{(momen positif)}\end{aligned}\quad \text{.....(9)}$$