



# BAB IV

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Pengumpulan Data

Data – data yang telah dikumpulkan pada perencanaan ini meliputi sebagai berikut:

##### 4.1.1 Data Lalu Lintas Harian Rata – Rata (LHR)

Proyek konstruksi jembatan Kalipang memiliki data LHR sebagai berikut :

*Table 4. 3 Data Lalu Lintas Harian Rata - Rata*

| No. | Ruas Jalan                                   | Jenis Kendaraan          | Kendaraan<br>(smp/jam) | Persentase |
|-----|--|--------------------------|------------------------|------------|
| 1.  | Jalan Raya Nasional 1<br>Arah Barat ke Timur | Sepeda Motor<br>(MC)     | 217,26                 | 43%        |
|     |  | Kendaraan Ringan<br>(LV) | 282,95                 | 53%        |
|     |  | Kendaraan Berat<br>(HV)  | 3,54                   | 0,7%       |
|     |  | Tak Bermotor<br>(UM)     | 1,5                    | 0,3%       |
| 2.  | Jalan Raya Nasional 1<br>Arah Timur ke Barat | Sepeda Motor<br>(MC)     | 157,27                 | 53%        |
|     |  | Kendaraan Ringan<br>(LV) | 133,533                | 45%        |

##### 4.1.2 Data Pengujian Tanah (*Soil Test*)

Terdapat beberapa jenis pengujian tanah yang dilakukan dalam proyek konstruksi jembatan Kalipang meliputi :

1. Pengujian CPT (Sondir), untuk mengetahui kedalaman tanah keras dari permukaan dan sifat daya lekat maupun daya dukung pada setiap kedalaman.

Table 4. 4 Hasil Uji Sondir

| Titik Sondir | Kedalaman Penyondiran (m) | Kedalaman Pada $q_c > 100 \text{ kg/cm}^2$ (m) | Nilai $t_f$ pada Nilai $q_c > 100 \text{ kg/cm}^2$ (kg/cm) | Nilai $q_c$ pada kedalaman 1.00 m (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|--------------|---------------------------|--|--|---|
| S1           | 8.20                      | 8.20   | 834  | 4   |
| S2           | 12.60                     | 12.40  | 1824   | 3   |

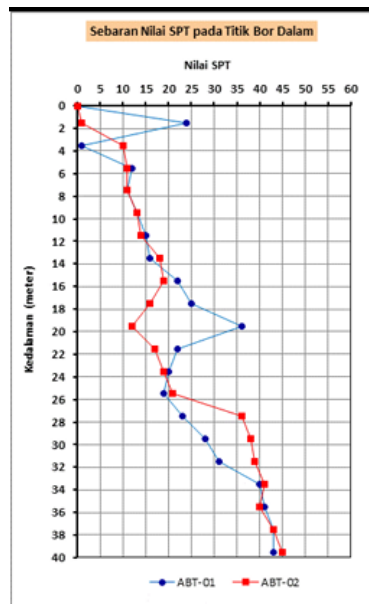
Sumber: Data Tanah Kalipang Oleh PT. BUKK

2. Pengujian Corring Drill, memberikan ilustrasi nilai N-SPT dan konsistensi lapisan tanah.

Table 4. 5 Nilai N-SPT Pada 2 Titik Bor

| Depth (m) | Sebaran Nilai N-SPT |        | Depth (m) | Sebaran Nilai N-SPT |        |
|-----------|---------------------|--------|-----------|---------------------|--------|
|           | ABT-01              | ABT-02 |           | ABT-01              | ABT-02 |
| 1,50      | 24                  | 1      | 21,50     | 22                  | 17     |
| 3,50      | 1                   | 10     | 23,50     | 20                  | 19     |
| 5,50      | 12                  | 11     | 25,50     | 19                  | 21     |
| 7,50      | 11                  | 11     | 27,50     | 23                  | 36     |
| 9,50      | 13                  | 13     | 29,50     | 28                  | 38     |
| 11,50     | 15                  | 14     | 31,50     | 31                  | 39     |
| 13,50     | 16                  | 18     | 33,50     | 40                  | 41     |
| 15,50     | 22                  | 19     | 35,50     | 41                  | 40     |
| 17,50     | 25                  | 16     | 37,50     | 43                  | 43     |
| 19,50     | 36                  | 12     | 39,50     | 43                  | 45     |

Sumber: Data Tanah Kalipang Oleh PT. BUKK



Gambar 4. 1 Sebaran Nilai SPT

Sumber: Data Tanah Kalipang Oleh PT. BUKK

| Titik Bore               | Depth (m)     | N-SPT       | Jenis Tanah (Soil Type)               | Keterangan   |
|--------------------------|---------------|-------------|---------------------------------------|--|
| <b>BH-1<br/>(ABT-01)</b> | 0,00 - 0,25   | N-SPT = 24  | Fill of material                      | <b>GWL berada<br/>pada<br/>kedalaman<br/>-3.00 m</b> |
|                          | 2,50 - 5,50   | N-SPT = 1   | Very soft sandy clay mix clamshell    |  |
|                          | 5,50 - 7,00   | N-SPT = 12  | Stiff sandy clay mix clamshell        |  |
|                          | 7,00 - 10,50  | 11<N-SPT≤13 | Stiff clay                            |  |
|                          | 10,50 - 19,50 | 15<N-SPT≤25 | Very stiff silty clay mix sand        |  |
|                          | 19,50 - 21,50 | N-SPT = 36  | Hard silty clay mix sand              |  |
|                          | 21,50 - 26,50 | 19<N-SPT≤22 | Very stiff silty clay mix sand        |  |
|                          | 26,50 - 30,00 | 23<N-SPT≤28 | Very stiff clay stone                 |  |
|                          | 30,00 - 40,45 | 31<N-SPT≤43 | Hard clay stone                       |  |
| <b>BH-2<br/>(ABT-02)</b> | 0,00 - 2,00   | N-SPT = 1   | Very soft sandy clay                  | <b>GWL berada<br/>pada<br/>kedalaman<br/>-1.50 m</b> |
|                          | 2,00 - 7,50   | 11<N-SPT≤14 | Stiff silty clay mix sand & clamshell |  |
|                          | 7,50 - 12,00  | 10<N-SPT≤14 | Stiff sandy clay                      |  |
|                          | 12,00 - 18,50 | 16<N-SPT≤19 | Very stiff clay stone                 |  |
|                          | 18,50 - 26,50 | 12<N-SPT≤21 | Stiff to very stiff clay              |  |
|                          | 26,50 - 40,45 | 36<N-SPT≤45 | Hard clay stone                       |  |

Sumber: Data Tanah Kalipang Oleh PT. BUKK

3. Pengujian laboratorium, untuk mengetahui nilai properties tanah pada tiap lapisan.

Table 4. 6 Soil Properties dari Hasil Tes Laboratorium BH-1 (UDS1 & UDS2)

| SOIL PARAMETER                       | TESTING                        | SYMBOL                    | Parameter of Value (m)      |                             |
|--------------------------------------|--------------------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
|                                      |                                |                           | 3.00–3.50                   | 9.00–9.50                   |
| INDEX PROPERTIES                     | WATER CONTENT                  | W (%)                     | 68                          | 29                          |
|                                      | UNIT WEIGHT                    | (ton/m <sup>3</sup> )     | 1,63                        | 1,92                        |
|                                      | VOID RATIO                     | e                         | 1,6                         | 0,68                        |
|                                      | SPECIFIC GRAVITY               | Gs                        | 2,53                        | 2,49                        |
|                                      | DEGREE OF SATURATION           | Sr (%)                    | 100,00                      | 100,00                      |
|                                      | ATTERBERG                      | LL (%)                    | 44,9                        | 77,2                        |
|                                      |                                | PI (%)                    | 23,6                        | 45,66                       |
|                                      | GRAND SIZE DISTRIBUTIONS & UCS | Gravel (%)                | 0                           | 2,48                        |
|                                      |                                | Sand (%)                  | 5,09                        | 12,3                        |
|                                      |                                | Silt (%)                  | 57,76                       | 34,31                       |
| Clay (%)                             |                                | 37,15                     | 50,91                       |                             |
| ENGINEERING PROPERTIES <sub>xx</sub> | TRIAXIAL UU                    | C (kg/cm <sup>2</sup> )   | 0,22                        | 0,82                        |
|                                      |                                | (°)                       | 1,39                        | 6,4                         |
|                                      | CONSOLIDATION                  | Cc                        | 0,712                       | 0,286                       |
|                                      |                                | Pc (kg/cm <sup>2</sup> )  | 1,16                        | 1,14                        |
|                                      |                                | Cv (cm <sup>2</sup> /sec) | 0,001104                    | 0,002364                    |
| UNIFIED CLASSIFICATION               |                                |                           | Clay of Low Plasticity (CL) | Clay of Low Plasticity (CL) |

Sumber: Data Tanah Kalipang Oleh PT. BUKK

Table 4. 7 Soil Properties dari Hasil Tes Laboratorium BH-1 (UDS3 & UDS4)

| SOIL PARAMETER   | TESTING                        | SYMBOL                | Parameter of Value (m) |             |
|------------------|--------------------------------|-----------------------|------------------------|-------------|
|                  |                                |                       | 17.00–17.50            | 25.00–25.50 |
| INDEX PROPERTIES | WATER CONTENT                  | W (%)                 | 29                     | 32          |
|                  | UNIT WEIGHT                    | (ton/m <sup>3</sup> ) | 1,99                   | 1,87        |
|                  | VOID RATIO                     | e                     | 0,69                   | 0,81        |
|                  | SPECIFIC GRAVITY               | Gs                    | 2,61                   | 2,56        |
|                  | DEGREE OF SATURATION           | Sr (%)                | 100,00                 | 100,00      |
|                  | ATTERBERG                      | LL (%)                | 38                     | 37,7        |
|                  |                                | PI (%)                | 14,91                  | 17,58       |
|                  | GRAND SIZE DISTRIBUTIONS & UCS | Gravel (%)            | 0                      | 0           |
| Sand (%)         |                                | 1,84                  | 10,23                  |             |

|                               |                      |                               |                                    |                                    |
|-------------------------------|----------------------|-------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
|                               |                      | Silt (%)                      | 84,01                              | 81,45                              |
|                               |                      | Clay (%)                      | 14,15                              | 8,32                               |
| <b>ENGINEERING PROPERTIES</b> | <b>TRIAXIAL UU</b>   | C (kg/cm <sup>2</sup> )       | 0,46                               | 0,56                               |
|                               |                      | (°)                           | 9,58                               | 12,49                              |
|                               |                      | Cc                            | 0,154                              | 0,187                              |
|                               | <b>CONSOLIDATION</b> | Pc (kg/cm <sup>2</sup> )      | 1                                  | 1,07                               |
|                               |                      | Cv (cm <sup>2</sup> /sec)     | 0,005727                           | 0,004604                           |
|                               |                      | <b>UNIFIED CLASSIFICATION</b> | <i>Clay of Low Plasticity (CL)</i> | <i>Clay of Low Plasticity (CL)</i> |

Sumber: Data Tanah Kalipang Oleh PT. BUKK

Table 4. 8 Soil Properties dari Hasil Tes Laboratorium BH-2 (UDS1 & UDS2)

| SOIL PARAMETER                | TESTING                         | SYMBOL                    | Parameter of Value (m)             |                                    |
|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
|                               |                                 |                           | 1.00–1.50                          | 8.00–8.50                          |
| <b>INDEX PROPERTIES</b>       | <b>WATER CONTENT</b>            | W (%)                     | 46                                 | 17                                 |
|                               | <b>UNIT WEIGHT</b>              | (ton/m <sup>3</sup> )     | 1,78                               | 2,11                               |
|                               | <b>VOID RATIO</b>               | e                         | 1,07                               | 0,44                               |
|                               | <b>SPECIFIC GRAVITY</b>         | Gs                        | 2,51                               | 2,59                               |
|                               | <b>DEGREE OF SATURATION</b>     | Sr (%)                    | 100,00                             | 100,00                             |
|                               | <b>ATTERBERG</b>                | LL (%)                    | 35,9                               | 32,5                               |
|                               |                                 | PI (%)                    | 18,82                              | 17,97                              |
|                               | <b>GRAND SIZE DISTRIBUTIONS</b> | Gravel (%)                | 1,09                               | 0,8                                |
|                               |                                 | Sand (%)                  | 27,66                              | 56,68                              |
|                               |                                 | Silt (%)                  | 49,24                              | 19,75                              |
| Clay (%)                      |                                 | 22,02                     | 22,77                              |                                    |
| <b>ENGINEERING PROPERTIES</b> | <b>TRIAXIAL UU</b>              | C (kg/cm <sup>2</sup> )   | 0,23                               | 0,78                               |
|                               |                                 | (°)                       | 0,76                               | 10,95                              |
|                               | <b>CONSOLIDATION</b>            | Cc                        | 0,456                              | 0,177                              |
|                               |                                 | Pc (kg/cm <sup>2</sup> )  | 0,72                               | 1                                  |
|                               |                                 | Cv (cm <sup>2</sup> /sec) | 0,000347                           | 0,004112                           |
| <b>UNIFIED CLASSIFICATION</b> |                                 |                           | <i>Clay of Low Plasticity (CL)</i> | <i>Clay of Low Plasticity (CL)</i> |

Sumber: Data Tanah Kalipang Oleh PT. BUKK

Table 4. 9 Soil Properties dari Hasil Tes Laboratorium BH-2 (UDS3 & UDS4)

| SOIL PARAMETER          | TESTING              | SYMBOL                | Parameter of Value (m) |             |
|-------------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|-------------|
|                         |                      |                       | 19.00–19.50            | 25.00–25.50 |
| <b>INDEX PROPERTIES</b> | <b>WATER CONTENT</b> | W (%)                 | 29                     | 32          |
|                         | <b>UNIT WEIGHT</b>   | (ton/m <sup>3</sup> ) | 1,97                   | 1,89        |

|                               |   |                           |                                    |                                    |
|-------------------------------|---|---------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
|                               | <b>VOID RATIO</b>                         | e                         | 0,70                               | 0,82                               |
|                               | <b>SPECIFIC GRAVITY</b>                   | Gs                        | 2,60                               | 2,60                               |
|                               | <b>DEGREE OF SATURATION</b>               | Sr (%)                    | 100,00                             | 100,00                             |
|                               | <b>ATTERBERG</b>                          | LL (%)                    | 45,20                              | 39,90                              |
|                               |   | PI (%)                    | 25,63                              | 18,29                              |
|                               | <b>GRAND SIZE DISTRIBUTIONS &amp; UCS</b> | Gravel (%)                | 0,00                               | 0,00                               |
|                               |   | Sand (%)                  | 1,56                               | 9,56                               |
|                               |   | Silt (%)                  | 83,23                              | 82,05                              |
|                               |   | Clay (%)                  | 15,21                              | 8,38                               |
|                               | <b>ENGINEERING PROPERTIES</b>             | <b>TRIAXIAL UU</b>        | C (kg/cm <sup>2</sup> )            | 0,63                               |
| (°)                           |   |                           | 10,05                              | 12,49                              |
| <b>CONSOLIDATION</b>          |   | Cc                        | 0,206                              | 0,199                              |
|                               |   | Pc (kg/cm <sup>2</sup> )  | 1,12                               | 1,24                               |
|                               |   | Cv (cm <sup>2</sup> /sec) | 0,001805                           | 0,004361                           |
| <b>UNIFIED CLASSIFICATION</b> |   |                           | <i>Clay of Low Plasticity (CL)</i> | <i>Clay of Low Plasticity (CL)</i> |

Sumber: Data Tanah Kalipang Oleh PT. BUKK

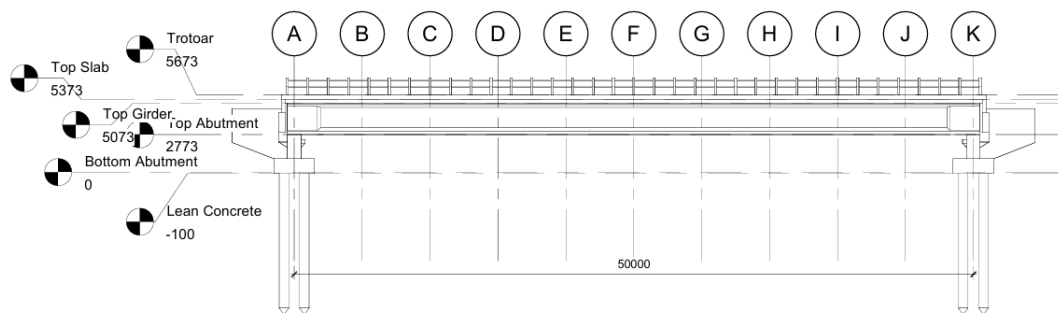
Dari data tabel di atas, direkomendasikan untuk menggunakan jenis pondasi tiang pancang *spun pile* dengan kedalaman 32,00 m – 34,00 m.

Table 4. 10 Rekomendasi Perkiraan Daya Dukung Izin Fondasi Tiang Pancang Spun Pile Berdasarkan Hasil Uji N-SPT

| Titik Bor | Depth (m) | Q all Axial, Load Square Pile (Ton) |         | Q all Pull Out, Spun Pile (Ton) |         | Remarks |
|-----------|-----------|-------------------------------------|---------|---------------------------------|---------|---------|
|           |           | Ø 40 cm                             | Ø 50 cm | Ø 40 cm                         | Ø 50 cm |         |
| BH - 1    | 34,00     | 151 ton                             | 151 ton | 151 ton                         | 151 ton |         |
| BH - 2    | 32,00     | 125 ton                             | 125 ton | 125 ton                         | 125 ton |         |

Sumber: Data Tanah Kalipang Oleh PT. BUKK

## 4.2. Data Desain Jembatan



Gambar 4. 2 Potongan Melintang Jembatan

### 4.2.1 Data Desain

Table 4. 11 Data Jalan

| Nama Jembatan       | Jembatan Kali Pang  |
|---------------------|---|
| Lokasi Jembatan     | 7JMR+W7G, Belitung, Kalipang, Kec. Sarang, Kabupaten Rembang, Jawa Tengah 59274 |
| Konstruksi Jembatan |   |
| Bentang Jembatan    | 50 Meter  |
| Lebar Jembatan      | 13 Meter  |

### 4.3. Sandaran

#### 4.3.1 Desain Pipa Sandaran

Mutu Baja = BJ-37 ( $\sigma$  ijin = 1600 kg/cm<sup>2</sup>)

qL = 100 Kg/m

Dimensi Pipa = Pipa Baja Galvanis Ø3"

Data Teknis Profil

- D = 7,63 cm
- W = 11,5 cm<sup>3</sup>
- G = 5,08 kg/m
- t = 43,7 cm<sup>4</sup>
- A = 6,465 cm<sup>2</sup>
- g = 9,8 m/det<sup>2</sup>

#### 4.3.2 Pembebanan Pipa Sandaran

Kombinasi Beban:

$$\begin{aligned} qU &= 1,2qD + 1,6 qL \\ &= 1,2 (5,08)(9,8) + 1,6 (100) \\ &= 219,741 \text{ N} \\ &= 0,220 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} RA = RB &= \frac{q \cdot l}{2} \\ &= \frac{0,220 \cdot 2}{2} \\ &= 0,220 \text{ kN } (\uparrow) \end{aligned}$$

Momen Ultimit

$$\begin{aligned} M_u &= \frac{1}{8} * q * L^2 \\ &= \frac{1}{8} * 0,220 * 1,8^2 \\ &= 0,088 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Geser Ultimit

$$\begin{aligned}
 V_u &= \frac{1}{2} * q * L \\
 &= \frac{1}{2} * 0,220 * 1,8 \\
 &= 0,200 \text{ kN} \\
 \sigma_{\text{ijin}} &= 1600 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= 160 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$E \text{ Baja} = 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

Terhadap Momen:

$$\begin{aligned}
 \sigma_u &< \sigma_{\text{ijin}}, \frac{Mu}{w} < \sigma_{\text{ijin}} \\
 &= \frac{6726,900}{11,5} < 1600 \text{ kg/cm} \\
 &= 584,9478 < 1600 \text{ kg/cm} \dots \text{OK}
 \end{aligned}$$

Kontrol Lendutan:

$$\begin{aligned}
 &= \frac{5qL^4}{384EI} < \frac{L}{300} \\
 q &= G + qL \\
 &= 5,08 + 100 \\
 &= 105,08 \text{ kg/m} \\
 &= 1,0508 \text{ kg/cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Maka, } &= \frac{5qL^4}{384EI} < \frac{L}{300} \\
 &= \frac{5 * 1,0508 * 200^4}{384 * 2,1 \times 10^6 * 43,7} < \frac{200}{300} \\
 &= 0,2385 < 0,6667 \dots \text{OK}
 \end{aligned}$$

Jadi, pipa galvanis Ø 3” dapat digunakan sebagai pipa sandaran.

### 4.3.3 Desain Parapet

Parameter Material Rencana

a) Kekuatan Material

Table 4. 12 Kekuatan Material Untuk Parapet

| No. | Parameter                | Notasi | Hasil | Satuan |
|-----|--------------------------|--------|-------|--------|
| 1.  | Kuat tekan beton rencana | f'c    | 25    | MPa    |

|    |                 |       |     |     |
|----|-----------------|-------|-----|-----|
| 1. | Kuat leleh baja | $f_y$ | 420 | MPa |
|----|-----------------|-------|-----|-----|

## b) Berat Jenis,

Berikut adalah parameter berat jenis terhadap material yang ada atau digunakan pada perencanaan parapet:

Table 4. 13 Berat Jenis Material Parapet

| No. | Berat Jenis Material  | Notasi                  | Hasil | Satuan          |
|-----|-----------------------|-------------------------|-------|-----------------|
| 1.  | Berat beton bertulang | $\gamma_{\text{beton}}$ | 25    | $\text{kN/m}^3$ |
| 2.  | Berat baja            | $\rho_{\text{baja}}$    | 78,5  | $\text{kN/m}^3$ |

## c) Ukuran Parapet

- Tinggi Parapet  $h = 700 \text{ mm}$
- Tebal Parapet  $d = 300 \text{ mm}$
- Lebar Tinjauan  $b = 1000 \text{ mm}$
- Tebal Selimut Beton  $c = 40 \text{ mm}$
- $\emptyset$  Tulangan Utama  $= 22 \text{ mm}$
- $\emptyset$  Tulangan Sengkang  $= 16 \text{ mm}$
- Tebal Efektif  $= 700 - 400 - \left(\frac{1}{2} * 16\right)$   
 $= 649 \text{ mm}$
- Beban Horizontal  $= 1 \text{ kN}$

#### 4.3.4 Pembebanan Parapet

## a) Berat Sendiri

$$\begin{aligned} \text{Muatan Horizontal (H}_{TP}\text{)} &= H \times L \\ &= 1 \times 2 \\ &= 2 \text{ kNm} \\ \text{Jarak Lengan, } y &= 90 + 20 \\ &= 1,1 \text{ m} \\ \text{Momen Parapet (M}_P\text{)} &= H_{TP} \times y \\ &= 2 \times 1,1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 2,2 \text{ kN.m} \\
 \text{Faktor Beban Ultimit, (K}_P\text{)} &= 1,8 \\
 \text{Momen Ultimit (M}_U\text{)} &= M_{TP} \times K_{TP} \\
 &= 2,2 \times 1,8 \\
 &= 3,96 \text{ kN.m} \\
 \text{Gaya Geser Ultimit (V}_u\text{)} &= H_{TP} \times K_{TP} \\
 &= 2 \times 1,8 \\
 &= 3,60 \text{ kN.m} \\
 \text{Momen Nominal (M}_N\text{)} &= \frac{M_u}{\phi} \\
 &= \frac{3,96}{0,8} \\
 &= 4,95 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

#### 4.3.5 Penulangan Tiang Sandaran

$$\begin{aligned}
 R_I &= 0,85 * f'c \\
 &= 0,85 * 25 \\
 &= 21,25 \text{ MPa} \\
 R_n &= \frac{M_n}{b*d^2} \\
 &= \frac{4950000}{200*147^2} \\
 &= 1,1453 \text{ MPa} \\
 \rho_b &= \frac{\beta * 0,85 * f'c}{f_y} * \frac{600}{600+f_y} \\
 &= \frac{0,85 * 0,85 * 25}{400} * \frac{600}{600+400} \\
 &= 0,027 \\
 \rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} \\
 &= \frac{1,4}{420} \\
 &= 0,0033 \\
 \rho_{max} &= 0,75 \times \rho_b
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,75 \times 0,027 \\
 &= 0,02 \\
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c} \\
 &= \frac{420}{0,85 \times 25} \\
 &= 19,765 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{\frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{19,765} \left( 1 - \sqrt{\frac{2 \times 19,765 \times 1,1453}{420}} \right) \\
 &= 0,034
 \end{aligned}$$

$\rho_{min} > \rho$ , maka dipakai  $\rho_{min}$

$$\begin{aligned}
 A_{s_{min}} \text{ Tul. Utama} &= \rho_{min} \times b \times d \\
 &= 0,0033 \times 1000 \times 649 \\
 &= 2141,7 \text{ mm}^2 \quad \rightarrow \text{Dipakai D22-150}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s_{min}} \text{ Tul. Bagi} &= \frac{1}{2} \times A_{s_{min}} \text{ Tul. Utama} \\
 &= \frac{1}{2} \times 2141,7 \\
 &= 1070,85 \text{ mm}^2 \quad \rightarrow \text{Dipakai D16-150}
 \end{aligned}$$

Tulangan geser

$$\phi V_c < V_u$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_c &= \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c} \times b \times d \\
 &= \frac{1}{6} \times \sqrt{25} \times 1000 \times 649 \\
 &= 540833,333 \text{ N} \\
 &= 540,833 \text{ kN} > V_u
 \end{aligned}$$

Sehingga, parapet tidak memerlukan tulangan geser tambahan

#### 4.3.6 Rekapitulasi Sandaran dan Parapet

##### Pipa Sandaran

Table 4. 14 Rekapitulasi Beban, Momen, dan Gaya Geser Pipa Sandaran

| No. | Analisa | Kode | Hasil | Satuan |
|-----|---------|------|-------|--------|
|-----|---------|------|-------|--------|

|    |               |    |       |      |
|----|---------------|----|-------|------|
| 1. | Berat Sendiri | MS | 0,220 | kN/m |
| 2. | Momen Ultimit | Mu | 0,088 | kN.m |
| 3. | Momen Nominal | Mn | 0,11  | kN.m |
| 4. | Geser Ultimit | Vu | 0,200 | kN   |

### Parapet

Table 4. 15 Rekapitulasi Beban, Momen, dan Gaya Geser Parapet

| No. | Analisa       | Kode | Hasil | Satuan |
|-----|---------------|------|-------|--------|
| 1.  | Berat Sendiri | MS   | 3,96  | kN/m   |
| 2.  | Momen Ultimit | Mu   | 3,40  | kN.m   |
| 3.  | Momen Nominal | Mn   | 4,95  | kN.m   |
| 4.  | Geser Ultimit | Vu   | 4,95  | kN     |

|                   |         |
|-------------------|---------|
| Tulangan Utama    | D22-150 |
| Tulangan Sengkang | D16-150 |

### 4.4. Trotoar

Mengacu pada PPPJR Bab III pasal 1.2.5.a halaman 10, pada perencanaan trotoar harus memperhitungkan beban hidup merata yang terjadi sebesar  $500 \text{ kg/m}^2$ .

Direncanakan:

- Lebar Trotoar = 100 cm
- Tebal Trotoar = 20 cm
- Diameter Tul. Utama = 12 mm
- Diameter Tul. Bagi = 10 mm
- Tebal Selimut Beton = 30 mm
- Kuat Tekan Beton = 25 MPa
- Tegangan Leleh Baja = 320 MPa
- Berat Isi Beton Bertulanga =  $25 \text{ kN/m}^3$
- Berat Isi Beton Tak Bertulang =  $24 \text{ kN/m}^3$

#### 4.4.1 Pembebanan Trotoar

## Beban Mati

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri, } q_1 &= b \times h_1 \times W'c \\ &= 1 \times 0,2 \times 25 \\ &= 5 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat pelat lantai, } q_2 &= b \times h_2 \times W'c \\ &= 1 \times 0,3 \times 25 \\ &= 7,5 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\text{Total Beban Mati, } q_D = 12,5 \text{ kN/m}$$

## Beban Hidup

$$\text{Beban pejalan kaki} = 5 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Beban Hidup, } q_L &= b \times q \\ &= 1 \times 5 \\ &= 5 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

## Analisa Struktur

$$\begin{aligned} M_D &= \frac{1}{8} \times q_D \times L^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 12,5 \times 1^2 \\ &= 1,563 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_L &= q_L \times L^2 \\ &= 5 \times 1^2 \\ &= 5 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_U &= 1,3M_D + 1,8M_L \\ &= (1,3 \times 1,562) + (1,8 \times 5) \\ &= 11,032 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

## 4.4.2 Penulangan Trotoar

$$\begin{aligned} d &= h - d' - \frac{1}{2} \text{Ø tul. utama} - \text{Ø tul. Bagi} \\ &= 200 - 30 - \frac{1}{2} \times 12 - 10 \\ &= 154 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{11,032}{0.8} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 13,789 \text{ kNm} \\
 &= 13789062,5 \text{ Nmm} \\
 R_n &= \frac{Mn}{b \cdot d^2} \\
 &= \frac{13789062,5}{1000 \times 154^2} \\
 &= 0,582 \text{ N/mm}^2 \\
 \rho_b &= \frac{\beta \times 0,85 \times f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\
 &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 25}{320} \times \frac{600}{600 + 320} \\
 &= 0,0368 \\
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\
 &= \frac{1,4}{320} \\
 &= 0,0044 \\
 \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\
 &= 0,75 \times 0,0368 \\
 &= 0,0276 \\
 m &= \frac{320}{0,85 \times 25} \\
 &= 15,06 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{\frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{15,06} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,06 \times 0,582}{320}} \right) \\
 &= 0,002
 \end{aligned}$$

Dikarenakan  $\rho \leq \rho_{\min}$ , maka digunakan  $\rho = 0,0044$

$$\begin{aligned}
 A_{S_{\min}} \text{ Tul. Utama} &= \rho_{\min} \times b \times d \\
 &= 0,0044 \times 1000 \times 154 \\
 &= 677,6 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Dipakai } \emptyset 12 - 150
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{S_{\max}} \text{ Tul. Bagi} &= \frac{1}{2} A_{S_{\min}} \text{ Tul. Utama} \\
 &= \frac{1}{2} \times 677,6 \\
 &= 338,8 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Dipakai } \emptyset 10 - 200
 \end{aligned}$$

### 4.4.3 Rekapitulasi Trotoar

#### Trotar

Table 4. 16 Rekapitulasi Analisa Trotoar

| No. | Analisa       | Kode  | Hasil  | Satuan |
|-----|---------------|-------|--------|--------|
| 1.  | Beban Mati    | $M_D$ | 5      | kN/m   |
| 2.  | Beban Hidup   | $M_L$ | 7,5    | kN/m   |
| 3.  | Momen Ultimit | $M_u$ | 11,032 | kN.m   |
| 4.  | Momen Nominal | $M_n$ | 13,79  | kN.m   |
| 5.  | Geser Ultimit | $V_u$ |        | kN     |

|                   |         |
|-------------------|---------|
| Tulangan Utama    | D12-150 |
| Tulangan Sengkang | D10-200 |

### 4.5. Kerb

Direncanakan:

- Tinggi Kerb = 25 cm
- Lebar Kerb = 20 cm
- Diameter Tul. Utama = 12 mm
- Diameter Tul. Bagi = 8 mm
- Tebal Selimut Beton = 30 mm
- Kuat Tekan Beton = 25 MPa
- Tegangan Leleh Baja = 420 MPa
- Berat Isi Beton Bertulangan = 25 kN/m<sup>3</sup>
- Berat Isi Beton Tak Bertulang = 24 kN/m<sup>3</sup>

#### 4.5.1 Pembebanan Kerb

- Beban Mati  
 Berat Sendiri (P) =  $h \times B J_{\text{beton}} \times \gamma$   
 =  $0,25 \times 25 \times 1,3$   
 = 8,125 kN/m

- Beban Hidup

$$\begin{aligned}\text{Beban Horizontal (P}_H\text{)} &= h \times q_p \\ &= 0,25 \times 5 \\ &= 1,25 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

Analisis Struktur

$$\begin{aligned}M_U &= P \times L \times \gamma \times y \\ &= 5 \times 1 \times 1,6 \times 0,25 \\ &= 2 \text{ kNm}\end{aligned}$$

#### 4.5.2 Penulangan Kerb

$$\begin{aligned}d &= h - d' - \frac{1}{2} \text{Ø tul. utama} - \text{Ø tul. Bagi} \\ &= 250 - 40 - \frac{1}{2} \times 12 - 10 \\ &= 194 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{2}{0,75} \\ &= 2,667 \text{ kNm} \\ &= 2666666,67 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} \\ &= \frac{2666666,67}{1000 \times 194^2} \\ &= 0,071 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0,85 \cdot f_{c'}'}{f_y} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0,85 \cdot f_{c'}'}}\right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 25}{420} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,071}{0,85 \cdot 25}}\right) \\ &= 0,0464\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} ; \frac{0,25 \sqrt{f_{c'}'}}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{420} ; \frac{0,25 \sqrt{25}}{420} \\ &= 0,0033 ; 0,0029 \quad \rightarrow \text{digunakan yang nilai terbesar, } 0,0033\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,75 \times 0,0464 \\ &= 0,0348\end{aligned}$$

Dikarenakan  $\rho_b > \rho_{\min}$ , maka digunakan  $\rho = 0,0464$

$$\begin{aligned}A_{S_{\min}} \text{ Tul. Utama} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0464 \times 1000 \times 194 \\ &= 677,6 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Dipakai } \varnothing 12 - 150\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{S_{\max}} \text{ Tul. Bagi} &= \frac{1}{2} A_{S_{\min}} \text{ Tul. Utama} \\ &= \frac{1}{2} \times 677,6 \\ &= 338,8 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Dipakai } \varnothing 10 - 200\end{aligned}$$

#### 4.6. Plat Lantai

Sesuai dengan **RSNI T-12-2004 Pasal 5.5.2.**, persyaratan tebal plat lantai dijelaskan dengan persamaan berikut:

$$200 \leq t_s \leq 100 + 0,04 L$$

$$200 \leq t_s \leq 100 + 0,04 \times 7400$$

$$200 \leq t_s \leq 396 \text{ mm}$$

Berdasarkan persamaan tersebut dapat disimpulkan, tebal plat yang direncanakan harus melebihi dari 200 mm dan kurang dari 396 mm.

Direncanakan:

|                    |                          |
|--------------------|--------------------------|
| Lebar Plat         | = 1300 mm                |
| Tebal Plat         | = 250 mm                 |
| Tebal Selimut      | = 30 mm                  |
| Tebal Efektif Plat | = 220 mm                 |
| Tebal Aspal        | = 100 mm                 |
| $f_c$              | = 25 MPa                 |
| $f_y$              | = 400 MPa                |
| BJ Beton           | = 2400 kg/m <sup>3</sup> |
| BJ Aspal           | = 2200 kg/m <sup>3</sup> |

##### 4.6.1 Pembebanan Plat Lantai

## a) Beban Mati Merata

$$\begin{aligned} \text{Beban Plat Lantai} &= h_{\text{PL}} \times B_{\text{BETON}} \times \gamma \\ &= 0,25 \times 25 \times 1,3 \\ &= 8,125 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban Aspal} &= h_{\text{ASPAL}} \times B_{\text{ASPAL}} \times \gamma \\ &= 0,02 \times 22 \times 2 \\ &= 2,2 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban Air Hujan} &= h_{\text{AIR}} \times B_{\text{AIR}} \times \gamma \\ &= 0,05 \times 9,8 \times 2 \\ &= 0,98 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\text{Total Beban} = 11,305 \text{ kN}$$

## b) Beban Truk

Mengacu pada SNI 1725 2016, beban truk dijabarkan sebagai berikut:

- Faktor Dinamis BGT (DLA) = 30 % (untuk perhitungan beban truk)
- Beban Kritis Roda Truk ( $P_{\text{TT}}$ ) = 112,5 kN
- Faktor Beban untuk jenis struktur gelagar beton = 1,8

$$\begin{aligned} P_{\text{U TRUK}} &= (1 + \text{DLA}) \times P_{\text{TT}} \times \text{Faktor Beban} \\ &= (1 + 0,3) \times 112,5 \times 1,8 \\ &= 263,25 \text{ kN} \end{aligned}$$

Selanjutnya hitung, keseluruhan beban yang akan ditopang oleh plat lantai jembatan, selanjutnya hitung kekuatan nominal plat lantai dalam menahan beban:

$$\begin{aligned} t_y &= 250 + (2 \times h_{\text{aspal}}) + h_{\text{plat}} \\ &= 200 + (2 \times 50) + 250 \\ &= 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_x &= 750 + (2 \times h_{\text{aspal}}) + h_{\text{plat}} \\ &= 500 + (2 \times 50) + 250 \\ &= 1100 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t' &= (2 \times t_x) + (2 \times t_y) \\ &= (2 \times 110) + (2 \times 600) \\ &= 3400 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$V_u = \phi \times 1/6 \times \sqrt{f_c'} \times t' \times t_y$$

$$= 0.8 \times 1/6 \times \sqrt{(25 \times 3400 \times 600)}$$

$$= 576.580 \text{ kN}$$

Periksa syarat kekuatan nominal plat lantai terhadap beban truck

$$V_u > P_{u_{\text{truck}}}$$

$$576.580 \text{ kN} > 263.25 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

Setelah plat lantai dipastikan sudah memenuhi persyaratan dalam menopang beban hidup dan mati, selanjutnya dilakukan perhitungan momen ultimitnya menggunakan tabel bittner:

- Momen Beban Mati

$$M_{qx} = \frac{1}{10} \times q_u \times L^2$$

$$= \frac{1}{10} \times 11,305 \times 13^2$$

$$= 191,055 \text{ kNm}$$

$$M_{qy} = \frac{1}{30} \times q_u \times L^2$$

$$= \frac{1}{30} \times 11,305 \times 13^2$$

$$= 63,685 \text{ kNm}$$

- Momen Beban Truk

$$L_x = 3,25 \text{ m}$$

$$L_y = 5 \text{ m}$$

$$t_x/L_x = 0,338 \rightarrow \text{dibulatkan menjadi } 0,4$$

$$t_y/L_x = 0,12 \rightarrow \text{dibulatkan menjadi } 0,2$$

$$f_{xm} = 0,1675$$

$$M_{hx} = f_{xm} \times P_u \times t_x \times t_y$$

$$= 0,1675 \times 263,25 \times 0,6 \times 1,1$$

$$= 29,103 \text{ kNm}$$

$$f_{ym} = 0,1186$$

$$M_{hy} = f_{ym} \times P_u \times t_x \times t_y$$

$$= 0,1186 \times 283,5 \times 0,6 \times 1,1$$

$$= 22,192 \text{ kNm}$$

- Momen Ultimit

$$\begin{aligned} M_{ux} &= 191,055 + 29,103 \\ &= 220,158 \text{ kNm kontrol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{uy} &= 63,685 + 22,192 \\ &= 85,877 \text{ kNm} \end{aligned}$$

#### 4.6.2 Pengaplikasian SAP2000 dan Pengkombinasian Pembebanan

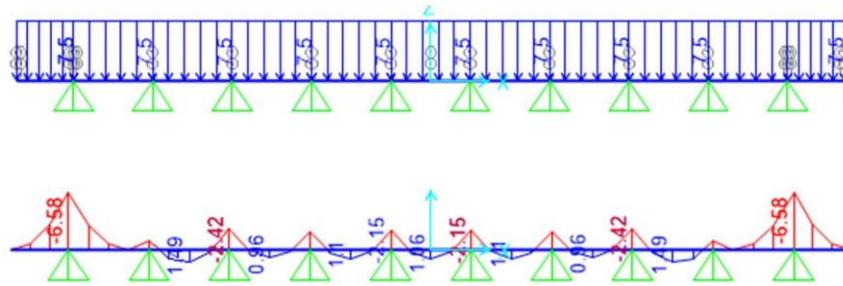
Berdasarkan analisa struktur yang dilakukan, berikut adalah rekapitulasi dari beban-beban yang diperhitungkan kedalam pelat lantai:

Table 4. 17 Rekapitulasi Komponen Beban Pada Pelat lantai

| No | Komponen Beban                   | Kode            | Arah Beban   | Hasil | Satuan |
|----|----------------------------------|-----------------|--------------|-------|--------|
| 1  | Beban mati sendiri pelat lantai  | MS              | Q (merata)   | 7,5   | kN/m   |
| 2  | Beban mati tambahan              |                 |              |       |        |
|    | Lapisan aspal                    | MA              | Q (merata)   | 1,1   | kN/m   |
|    | Air genangan                     | MA              | Q (merata)   | 0,49  | kN/m   |
|    | Parapet/dudukan PJU              | MA              | P (terpusat) | 6,75  | kN     |
|    | Tiang PJU + lampu                | MA              | P (terpusat) | 0,88  | kN     |
|    | Railing                          | MA              | P (terpusat) | 1,07  | kN     |
| 3  | Beban transien                   |                 |              |       |        |
|    | Beban lalulintas akibat truk "T" | TT              | P (terpusat) | 157,5 | kN     |
|    | Beban khusus akibat pejalan kaki | TP              | Q (merata)   | 5,5   | kN/m   |
|    | Beban angin pada kendaraan       | EW <sub>L</sub> | P (terpusat) | 18,4  | kN     |

Tahap berikutnya adalah proses pemodelan dan penempatan beban pada struktur menggunakan SAP2000. Setiap komponen beban yang telah direkap akan diinput dan diaplikasikan pada wilayah struktur yang relevan, baik secara merata pada area pelat maupun terpusat pada titik-titik tertentu, sesuai dengan karakteristik bebannya.

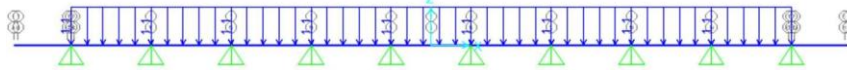
- i. Beban mati sendiri pelat lantai Pemodelan:



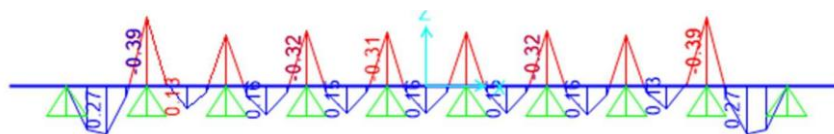
Momen tumpuan: 6,58 kNm

Momen lapangan: 1,49 kNm

- ii. Beban mati tambahan oleh lapisan aspal Pemodelan:



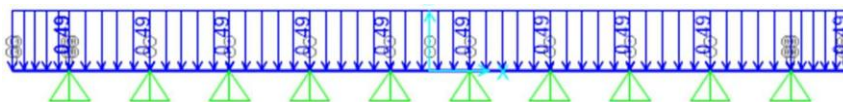
Hasil diagram momen:



Momen tumpuan: 0,39 kNm

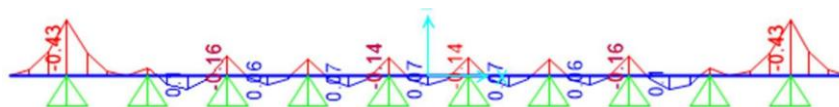
Momen lapangan: 0,27 kNm

- iii. Beban mati tambahan oleh air genangan Pemodelan:



Gambar 4. 3 Pemodelan SAP2000 Terhadap Beban Mati Tambahan Air Genangan

Hasil diagram momen:

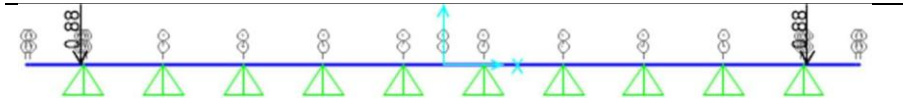


Gambar 4. 4 Hasil Pemodelan SAP2000 Terhadap Beban Mati Tambahan Air Genangan

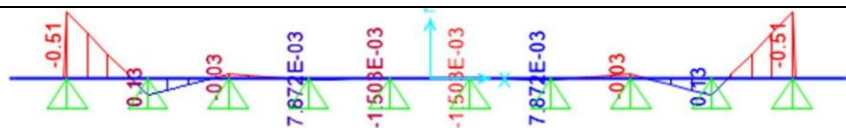
Momen tumpuan: 0,43 kNm

Momen lapangan: 0,10 kNm

iv. Beban mati tambahan oleh parapet Pemodelan:

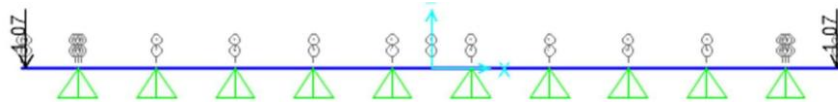


Hasil diagram momen:



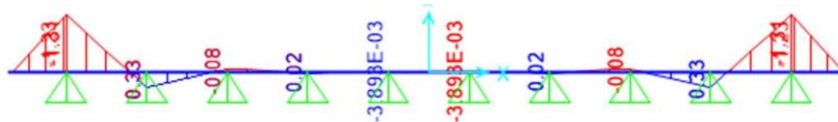
Momen lapangan: 0,13 kNm

v. Beban mati tambahan oleh railing Pemodelan:



Gambar 4. 5 Pemodelan SAP2000 Terhadap Beban Mati Tambahan Railing

Hasil diagram momen:



Gambar 4. 6 Hasil Pemodelan SAP2000 Terhadap Beban Mati Tambahan Railing

Momen tumpuan: 1,31 kNm

Momen lapangan: 0,33 kNm

vi. Beban lalu lintas akibat truk "T"

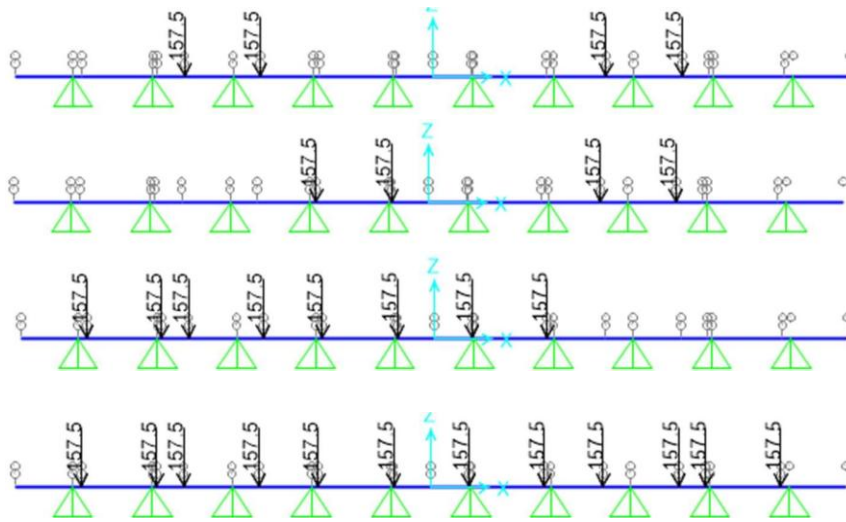
Pada pemodelan atau penempatan beban lalu lintas akibat truk dirancang sebanyak 4 (empat) model dengan penjelasan kondisi per-model sebagai berikut:

- Model I, penempatan 2 kendaraan dengan roda jauh dari support/girder.
- Model II, penempatan 2 kendaraan dengan pengkombinasian titik roda (jauh dari support/girder dan dekat dengan support/girder).
- Model III, penempatan kendaraan berdasarkan kondisi lalu lintas arah pergi lebih banyak daripada lalu lintas arah pulang.

- Model IV, penempatan kendaraan berdasarkan kondisi lalulintas kedua arah (pergi/pulang) terisi padat.

Pemodelan:

Model I - IV



Gambar 4. 7 Pemodelan SAP2000 Terhadap Beban Lalu Lintas Akibat Truk

Model I-IV

Hasil diagram momen:

Model I

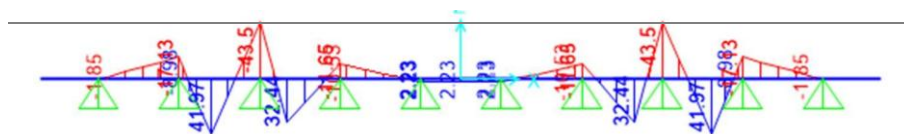


Table 4. 18 Hasil Pemodelan SAP2000 Terhadap Beban Lalu Lintas Akibat Truk Model I

Momen tumpuan: 43,50 kNm

Momen lapangan: 41,97 kNm

Model II

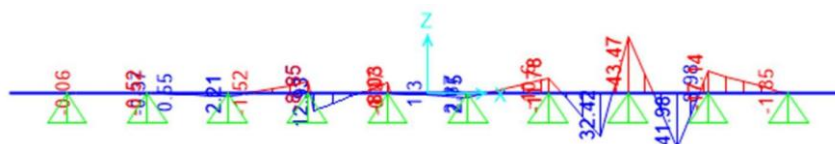
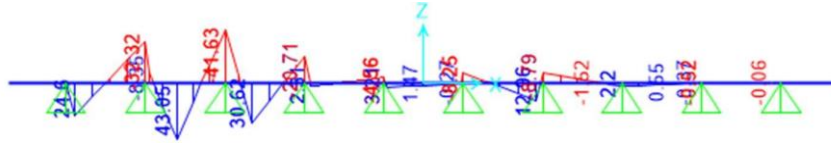


Table 4. 19 Hasil Pemodelan SAP2000 Terhadap Beban Lalu Lintas Akibat Truk Model II

Momen tumpuan: 43,47 kNm

Momen lapangan: 41,98 kNm

Model III

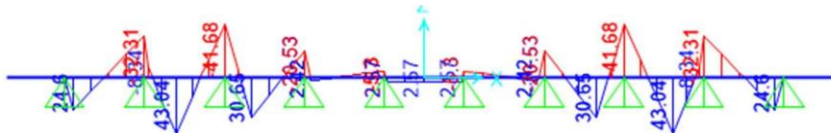


Gambar 4. 8 Hasil Pemodelan SAP2000 Terhadap Beban Lalu Lintas Akibat Truk Model III

Momen tumpuan: 41,63 kNm

Momen lapangan: 43,05 kNm

Model IV



Gambar 4. 9 Hasil Pemodelan SAP2000 Terhadap Beban Lalu Lintas Akibat Truk Model IV

Momen tumpuan: 41,68 kNm

Momen lapangan: 43,04 kNm

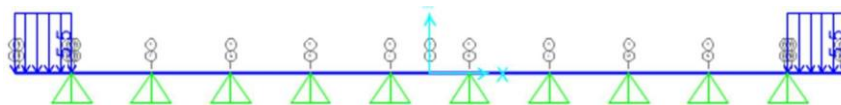
Berdasarkan tipe I hingga tipe IV, berikut didapatkan momen tumpuan dan lapangan terbesar:

Momen tumpuan  $_{MAX}$  = 43,50 kNm (Tipe I)

Momen lapangan  $_{MAX}$  = 43,05 kNm (Tipe III)

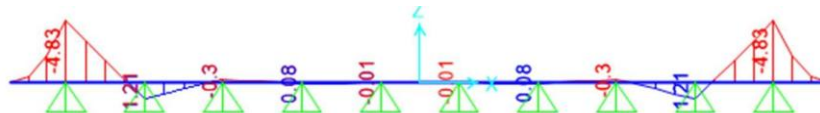
i. Beban khusus akibat pejalan kaki

Pemodelan:



Gambar 4. 10 Pemodelan SAP2000 Terhadap Beban Lalu Lintas Akibat Pejalan Kaki

Hasil diagram momen:



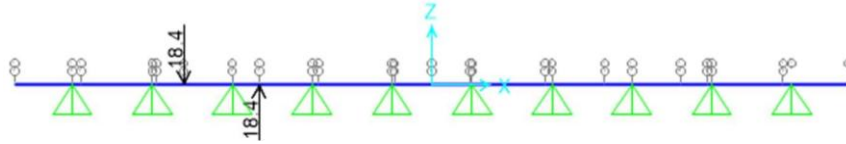
Gambar 4. 11 Hasil Pemodelan SAP2000 Terhadap Beban Lalu Lintas Akibat Pejalan Kaki

Momen tumpuan: 4,83 kNm

Momen lapangan: 1,21 kNm

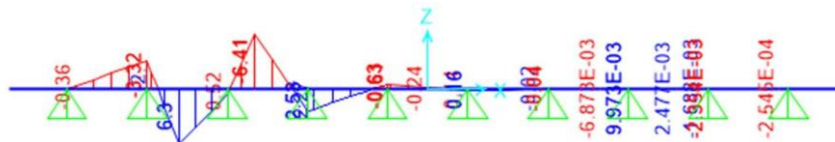
## ii. Beban angin pada kendaraan

Pemodelan:



Gambar 4. 12 Pemodelan SAP2000 Terhadap Beban Lingkungan Akibat Angin Kendaraan

Hasil diagram momen:



Gambar 4. 13 Hasil Pemodelan SAP2000 Terhadap Beban Lingkungan Akibat Angin Kendaraan

Momen tumpuan: 6,41 kNm

Momen lapangan: 6,30 kNm

Table 4. 20 Hasil Analisa Momen Melalui SAP2000 Pada Struktur Pelat lantai

| Komponen Beban                   | Kode | Q (kN) | P (kN) | Momen Tumpuan (kNm) | Momen Lapangan (kNm) |
|----------------------------------|------|--------|--------|---------------------|----------------------|
| Beban mati sendiri pelat lantai  | MS   | 7,50   |        | 6,58                | 1,49                 |
| Beban mati tambahan              |      |        |        |                     |                      |
| Lapisan aspal                    | MA   | 1,10   |        | 0,39                | 0,27                 |
| Air genangan                     | MA   | 0,49   |        | 0,43                | 0,10                 |
| Parapet                          | MA   |        | 6,75   | 0,51                | 0,13                 |
| Railing                          | MA   |        | 1,07   | 1,31                | 0,33                 |
| Beban transien                   |      |        |        |                     |                      |
| Beban lalulintas akibat truk "T" | TT   |        | 157,50 | 41,68               | 43,04                |

| Komponen Beban                   | Kode | Q (kN) | P (kN) | Momen Tumpuan (kNm) | Momen Lapangan (kNm) |
|----------------------------------|------|--------|--------|---------------------|----------------------|
| Beban khusus akibat pejalan kaki | TP   | 5,50   |        | 4,83                | 1,21                 |
| Beban angin pada kendaraan       | EWL  |        | 6,41   | 6,41                | 6,3                  |

### Pengkombinasian Momen Terhadap Faktor Pembebanan (Momen Ultimate)

Table 4. 21 Pengkombinasian Momen Terhadap Faktor Pembebanan Kuat I

| Kuat I                                       |      |                     |                      |     |                  |                   |
|--|------|---------------------|----------------------|-----|------------------|-------------------|
| Komponen Beban                               | Kode | Momen Tumpuan (kNm) | Momen Lapangan (kNm) | Fk  | Mu Tumpuan (kNm) | Mu Lapangan (kNm) |
| <input type="checkbox"/> Beban mati sendiri  |      |                     |                      |     |                  |                   |
| Pelat Lantai                                 | MS   | 6,58                | 1,49                 | 1,3 | 8,55             | 1,9               |
| <input type="checkbox"/> Beban mati tambahan |      |                     |                      |     |                  |                   |
| Lapisan aspal                                | MA   | 0,39                | 0,27                 | 2   | 0,78             | 0,54              |
| Air genangan                                 | MA   | 0,43                | 0,10                 | 2   | 0,86             | 0,20              |
| Parapet                                      | MA   | 0,51                | 0,13                 | 2   | 1,02             | 0,26              |
| PJU  | MA   | 0,07                | 0,02                 | 2   | 0,14             | 0,04              |
| Railing                                      | MA   | 1,31                | 0,33                 | 2   | 2,62             | 0,66              |
| <input type="checkbox"/> Beban transien      |      |                     |                      |     |                  |                   |
| Truk "T"                                     | TT   | 41,68               | 43,04                | 1,8 | 75,02            | 77,47             |
| Pejalan kaki                                 | TP   | 4,83                | 1,21                 | 1,8 | 8,69             | 2,18              |
| Angin Kendaraan                              | EWL  | 6,41                | 6,3                  | -   | 0,00             | 0,00              |
| Jumlah =                                     |      |                     |                      |     | 97,70            | 83,29             |

Table 4. 22 Pengkombinasian Momen Terhadap Faktor Pembebanan Kuat II

| Kuat II               |      |                           |                            |     |                        |                         |
|-----------------------|------|---------------------------|----------------------------|-----|------------------------|-------------------------|
| Komponen<br>Beban     | Kode | Momen<br>Tumpuan<br>(kNm) | Momen<br>Lapangan<br>(kNm) | Fk  | Mu<br>Tumpuan<br>(kNm) | Mu<br>Lapangan<br>(kNm) |
| □ Beban mati sendiri  |      |                           |                            |     |                        |                         |
| Pelat Lantai          | MS   | 6,58                      | 1,49                       | 1,3 | 8,55                   | 1,9                     |
| □ Beban mati tambahan |      |                           |                            |     |                        |                         |
| Lapisan aspal         | MA   | 0,39                      | 0,27                       | 2   | 0,78                   | 0,54                    |
| Air genangan          | MA   | 0,43                      | 0,10                       | 2   | 0,86                   | 0,20                    |
| Parapet               | MA   | 0,51                      | 0,13                       | 2   | 1,02                   | 0,26                    |
| PJU                   | MA   | 0,07                      | 0,02                       | 2   | 0,14                   | 0,04                    |
| Railing               | MA   | 1,31                      | 0,33                       | 2   | 2,62                   | 0,66                    |
| □ Beban transien      |      |                           |                            |     |                        |                         |
| Truk "T"              | TT   | 41,68                     | 43,04                      | 1,4 | 58,35                  | 60,26                   |
| Pejalan kaki          | TP   | 4,83                      | 1,21                       | 1,4 | 6,76                   | 1,69                    |
| Angin<br>Kendaraan    | EWL  | 6,41                      | 6,3                        | -   | 0,00                   | 0,00                    |
| Jumlah =              |      |                           |                            |     | 79,09                  | 65,59                   |

Pengkombinasian Momen Terhadap Faktor Pembebanan Daya Layan I

Table 4. 23 Pengkombinasian Momen Terhadap Faktor Pembebanan Kuat III

| Kuat III              |      |                           |                            |     |                        |                         |
|-----------------------|------|---------------------------|----------------------------|-----|------------------------|-------------------------|
| Komponen<br>Beban     | Kode | Momen<br>Tumpuan<br>(kNm) | Momen<br>Lapangan<br>(kNm) | Fk  | Mu<br>Tumpuan<br>(kNm) | Mu<br>Lapangan<br>(kNm) |
| Beban mati sendiri    |      |                           |                            |     |                        |                         |
| Pelat Lantai          | MS   | 6,58                      | 1,49                       |     |                        | 8,55                    |
|                       |      |                           | 1,9                        |     |                        |                         |
| Beban mati tambahan   |      |                           |                            |     |                        |                         |
| Lapisan aspal         | MA   | 0,39                      | 0,27                       | 2   | 0,78                   | 0,54                    |
| Air genangan          | MA   | 0,43                      | 0,10                       | 2   | 0,86                   | 0,20                    |
| Parapet               | MA   | 0,51                      | 0,13                       | 2   | 1,02                   | 0,26                    |
| Railing               | MA   | 1,31                      | 0,33                       | 2   | 2,62                   | 0,66                    |
| Beban transien        |      |                           |                            |     |                        |                         |
| Truk "T"              | TT   | 41,68                     | 43,04                      | -   | 0,00                   | 0,00                    |
| Pejalan kaki          | TP   | 4,83                      | 1,21                       | -   | 0,00                   | 0,00                    |
| Angin<br>Kendaraan    | EWL  | 6,41                      | 6,3                        | 1,4 | 8,97                   | 8,82                    |
| Jumlah =              |      |                           |                            |     | 22,95                  | 12,46                   |
| Daya Layan I          |      |                           |                            |     |                        |                         |
| • Beban mati sendiri  |      |                           |                            |     |                        |                         |
| Pelat Lantai          | MS   | 6,58                      | 1,49                       | 1   | 6,58                   | 1,49                    |
| • Beban mati tambahan |      |                           |                            |     |                        |                         |
| Lapisan aspal         | MA   | 0,39                      | 0,27                       | 1   | 0,39                   | 0,27                    |
| Air genangan          | MA   | 0,43                      | 0,10                       | 1   | 0,43                   | 0,10                    |
| Parapet               | MA   | 0,51                      | 0,13                       | 1   | 0,51                   | 0,13                    |
| Railing               | MA   | 1,31                      | 0,33                       | 1   | 1,31                   | 0,33                    |
| • Beban transien      |      |                           |                            |     |                        |                         |
| Truk "T"              | TT   | 41,68                     | 43,04                      | 1   | 41,68                  | 43,04                   |

| Kuat III           |      |                           |                            |     |                        |                         |
|--------------------|------|---------------------------|----------------------------|-----|------------------------|-------------------------|
| Komponen<br>Beban  | Kode | Momen<br>Tumpuan<br>(kNm) | Momen<br>Lapangan<br>(kNm) | Fk  | Mu<br>Tumpuan<br>(kNm) | Mu<br>Lapangan<br>(kNm) |
| Pejalan kaki       | TP   | 4,83                      | 1,21                       | 1   | 4,83                   | 1,21                    |
| Angin<br>Kendaraan | EWL  | 6,41                      | 6,3                        | 0.3 | 1,92                   | 1,89                    |
| Jumlah =           |      |                           |                            |     | 57,73                  | 48,48                   |

Table 4. 24 Pengkombinasian Momen Terhadap Faktor Pembebanan Daya Layan II

| Daya Layan II         |      |                           |                            |     |                        |                         |
|-----------------------|------|---------------------------|----------------------------|-----|------------------------|-------------------------|
| Komponen<br>Beban     | Kode | Momen<br>Tumpuan<br>(kNm) | Momen<br>Lapangan<br>(kNm) | Fk  | Mu<br>Tumpuan<br>(kNm) | Mu<br>Lapangan<br>(kNm) |
| □ Beban mati sendiri  |      |                           |                            |     |                        |                         |
| Pelat Lantai          | MS   |                           | 6,58                       |     | 1,49                   | 6,58                    |
|                       |      |                           | 1,49                       |     |                        |                         |
| □ Beban mati tambahan |      |                           |                            |     |                        |                         |
| Lapisan aspal         | MA   | 0,39                      | 0,27                       | 1   | 0,39                   | 0,27                    |
| Air genangan          | MA   | 0,43                      | 0,10                       | 1   | 0,43                   | 0,10                    |
| Parapet               | MA   | 0,51                      | 0,13                       | 1   | 0,51                   | 0,13                    |
| Tiang PJU +<br>lampu  | MA   | 0,07                      | 0,02                       | 1   | 0,07                   | 0,02                    |
| Railing               | MA   | 1,31                      | 0,33                       | 1   | 1,31                   | 0,33                    |
| □ Beban transien      |      |                           |                            |     |                        |                         |
| Truk "T"              | TT   | 41,68                     | 43,04                      | 1,3 | 54,18                  | 55,95                   |
| Pejalan kaki          | TP   | 4,83                      | 1,21                       | 1,3 | 6,28                   | 1,57                    |
| Angin<br>Kendaraan    | EWL  | 6,41                      | 6,3                        | -   | 0,00                   | 0,00                    |
| Jumlah =              |      |                           |                            |     | 69,76                  | 59,87                   |

Table 4. 25 Pengkombinasian Momen Terhadap Faktor Pembebanan Kuat II

| Fatik  |      |                     |                      |      |                  |                   |
|--|------|---------------------|----------------------|------|------------------|-------------------|
| Komponen Beban                               | Kode | Momen Tumpuan (kNm) | Momen Lapangan (kNm) | Fk   | Mu Tumpuan (kNm) | Mu Lapangan (kNm) |
| <input type="checkbox"/> Beban mati sendiri  |      |                     |                      |      |                  |                   |
| Pelat Lantai                                 | MS   | 6,58                | 1,49                 | -    | -                | -                 |
| <input type="checkbox"/> Beban mati tambahan |      |                     |                      |      |                  |                   |
| Lapisan aspal                                | MA   | 0,39                | 0,27                 | -    | -                | -                 |
| Air genangan                                 | MA   | 0,43                | 0,10                 | -    | -                | -                 |
| Parapet                                      | MA   | 0,51                | 0,13                 | -    | -                | -                 |
| PJU  | MA   | 0,07                | 0,02                 | -    | -                | -                 |
| Railing                                      | MA   | 1,31                | 0,33                 | -    | -                | -                 |
| <input type="checkbox"/> Beban transien      |      |                     |                      |      |                  |                   |
| Truk "T"                                     | TT   | 41,68               | 43,04                | 0,75 | 31,26            | 32,28             |
| Pejalan kaki                                 | TP   | 4,83                | 1,21                 | 0,75 | 3,62             | 0,91              |
| Angin Kendaraan                              | EWL  | 6,41                | 6,3                  | -    | -                | -                 |
| Jumlah =                                     |      |                     |                      |      | 34.89            | 33.19             |

Tabel berikut menyajikan rekapitulasi nilai momen ultimit pada tumpuan dan lapangan berdasarkan berbagai kombinasi keadaan batas pembebanan. Setiap kombinasi disusun untuk mengevaluasi aspek berbeda dari perilaku struktur, seperti kekuatan, layanan, serta kelelahan, guna memastikan kinerja pelat secara menyeluruh sesuai dengan ketentuan perencanaan jembatan.

Table 4. 26 Rekapitulasi Nilai Momen Ultimate Akibat Kombinasi

| No. | Keadaan Batas | Mu Tumpuan (kNm) | Mu Lapangan (kNm) | Keterangan                                   |
|-----|---------------|------------------|-------------------|--|
| 1   | Kuat I        | 97,70            | 83,29             | Akan digunakan untuk perencanaan penulangan. |
| 2   | Kuat II       | 79,09            | 65,59             |  |
| 3   | Kuat III      | 22,95            | 12,46             |  |
| 4   | Daya layan I  | 57,73            | 48,48             |  |
| 5   | Daya layan II | 69,76            | 59,87             | Akan digunakan untuk evaluasi defleksi.      |
| 6   | Fatik         | 34,89            | 33,19             |  |

Setelah diketahui momen ultimitnya, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk menentukan tulangan pada plat lantai.

Tulangan arah melintang x

$$\begin{aligned}
 Mn &= \frac{Mu}{\phi} \\
 &= \frac{220,198}{0,8} \\
 &= 275,248 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Rn &= \frac{Mn}{b \cdot d^2} \\
 &= \frac{275,248 \times 10^6}{1000 \times 220^2} \\
 &= 5,6893 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \frac{\beta \times 0,85 \times f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\
 &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 25}{320} \times \frac{600}{600 + 400} = 0,027
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,004$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,027 = 0,02$$

$$m = \frac{400}{0,85 \times 25} = 18,824$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{\frac{2 x m x Rn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{18,824} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 x 18,824 x 5,6893}{400}} \right) \\ &= 0,0017\end{aligned}$$

Dikarenakan  $\rho \leq \rho_{\min}$ , maka digunakan  $\rho = 0,0044$

$$\begin{aligned}A_{s_{\min}} \text{ Tul. Utama} &= \rho_{\min} x b x d \\ &= 0,0044 x 1000 x 220 \\ &= 1098,326 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Dipakai D19-200 (1418 mm}^2\text{)}\end{aligned}$$

Tulangan arah melintang y

$$\begin{aligned}Mn &= \frac{Mu}{\phi} \\ &= \frac{85,877}{0.8} \\ &= 107,346 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Rn &= \frac{Mn}{b.d^2} \\ &= \frac{107,346 x 10^6}{1000 x 220^2} \\ &= 2,2179 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{\beta x 0,85 x f_c'}{fy} x \frac{600}{600+fy} \\ &= \frac{0,85 x 0,85 x 25}{320} x \frac{600}{600+400} \\ &= 0,027\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= \frac{1,4}{fy} \\ &= \frac{1,4}{400} \\ &= 0,004\end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 x \rho_b = 0,75 x 0,027 = 0,02$$

$$\begin{aligned}m &= \frac{400}{0,85 x 25} \\ &= 18,824\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{\frac{2 x m x Rn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{18,824} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 x 18,824 x 2,2179}{400}} \right) \\ &= 0,0058\end{aligned}$$

Dikarenakan  $\rho \geq \rho_{\min}$ , maka digunakan  $\rho = 0,0058$

$$\begin{aligned}A_{s_{\min}} \text{ Tul. Utama} &= \rho_{\min} \times b \times d \\ &= 0,0058 \times 1000 \times 220 \\ &= 1291,167 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Dipakai}\end{aligned}$$

## 4.7. Diafragma

### 4.7.1 Parameter Material Rencana

#### a) Material Beton,

Digunakan mutu beton dengan kuat tekan rencana sebesar 25 MPa pada diafragma. Parameter lainnya yang digunakan adalah sebagai berikut:

Table 4. 27 Parameter Material Beton Untuk Diafragma

| No. | Parameter                          | Notasi | Rumus                     | Hasil          | Satuan      |
|-----|------------------------------------|--------|---------------------------|----------------|-------------|
| 1.  | Kuat tekan beton rencana           | $f'c$  |                           | 25             | MPa         |
| 2.  | Modulus elastis                    | $E_c$  | $4700 * \sqrt{f'c}$       | 23500          | MPa         |
| 3.  | Angka poisson                      | $u$    |                           | 0,20           | MPa         |
| 4.  | Modulus geser                      | $G$    | $\frac{E_c}{2 * (1 + u)}$ | 9791,67        | MPa         |
| 5.  | Koefisien muai panjang untuk beton | $a$    |                           | $10 * 10^{-6}$ | $^{\circ}C$ |

#### b) Material Baja,

Material baja yang khususnya digunakan pada perencanaan penulangan diafragma digunakan sepenuhnya kelas baja tulangan 420B dengan parameter lainnya sebagai berikut:

Table 4. 28 Parameter Material Baja Untuk Diafragma

| No. | Parameter | Notasi | Hasil | Satuan |
|-----|-----------|--------|-------|--------|
|-----|-----------|--------|-------|--------|

|    |  |           |             |     |
|----|--|-----------|-------------|-----|
| 1. | Kuat leleh baja                        | $f_y$     | 420         | MPa |
| 2. | Kuat tarik maksimum                    | $f_u$     | 540         | MPa |
| 3. | Perbandingan $f_u/f_y$                 | $f_u/f_y$ | 1,25        |     |
| 4. | Renggangan luluh ( <i>elongation</i> ) | G         | $\geq 10\%$ |     |
| 5. | Modulus elastisitas                    | E         | 200000      | MPa |

c) Berat Jenis,

Berikut adalah parameter berat jenis terhadap material yang ada atau digunakan pada perencanaan diafragma:

Table 4. 29 Parameter Berat Jenis Untuk Diafragma

| No. | Berat Jenis Material  | Notasi                  | Hasil | Satuan          |
|-----|-----------------------|-------------------------|-------|-----------------|
| 1.  | Berat beton bertulang | $\gamma_{\text{beton}}$ | 25    | $\text{kN/m}^3$ |
| 2.  | Beton aspal           | $\gamma_{\text{aspal}}$ | 22    | $\text{kN/m}^3$ |
| 3.  | Berat jenis air       | $\gamma_{\text{air}}$   | 9,8   | $\text{kN/m}^3$ |
| 4.  | Berat baja            | $\rho_{\text{baja}}$    | 78,5  | $\text{kN/m}^3$ |

#### 4.7.2 Pembebanan Diafragma

Pada diafragma, beban yang diperhitungkan hanya berasal dari berat sendiri elemen, karena elemen ini tidak secara langsung menerima beban lalu lintas maupun beban tambahan lainnya.

- a) Berat Sendiri Diafragma Tengah
- b) Berat Sendiri Diafragma Ujung
- c) Penulangan Diafragma

Perhitungan pembebanan diafragma hanya memperhitungkan beban diafragma itu sendiri, hal ini dikarenakan diafragma tidak memangku beban apapun. Sebelum menghitung pembebanan, terlebih dahulu direncanakan parameter – parameter perhitungannya sebagai berikut :

Direncanakan:

Tinggi Diafragma = 1,850 m

Lebar Diafragma = 1,650 m

Tebal Diafragma = 0,2 m

$$\begin{aligned}
 \text{Selimut Beton} &= 0,03 \text{ m} \\
 W_{\text{DIAFRAGMA}} &= b \times h \times t \times B J \\
 &= 1,850 \times 1,650 \times 0,2 \times 25 \\
 &= 15,2625 \text{ kN} \\
 M_u &= \frac{1}{12} \times W_{\text{DIAFRAGMA}} \times h^2 \\
 &= \frac{1}{12} \times 15,2625 \times 1,650^2 \\
 &= 2,426 \text{ kNm} \\
 V_u &= \frac{1}{2} \times Q_{\text{DIAFRAGMA}} \times h \\
 &= \frac{1}{2} \times 8,25 \times 1,850 \\
 &= 7,632 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

#### 4.7.3 Penulangan Diafragma-

Selanjutnya dilakukan perhitungan tulangan diafragma sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\
 &= \frac{2,426}{0,8} \\
 &= 3,0325 \text{ kN.m} \\
 R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} \\
 &= \frac{3,0325 \times 10^6}{1000 \times 1615^2} \\
 &= 1,8777 \text{ N/mm}^2 \\
 \rho_b &= \frac{\beta \times 0,85 \times f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600+f_y} \\
 &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 25}{320} \times \frac{600}{600+400} \\
 &= 0,027 \\
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\
 &= \frac{1,4}{400} \\
 &= 0,004
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,75 \times 0,027 \\ &= 0,02\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m &= \frac{400}{0,85 \times 25} \\ &= 18,824\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{\frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{18,824} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,824 \times 1,8777}{400}} \right) \\ &= 0,0065\end{aligned}$$

Dikarenakan  $\rho \geq \rho_{\min}$ , maka digunakan  $\rho = 0,0065$

$$\begin{aligned}A_{s_{\min}} \text{ Tul. Utama} &= \rho_{\min} \times b_{\text{eff}} \times d \\ &= 0,0065 \times 1586 \times 220 \\ &= 2268 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Dipakai D16 - 200}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{s_{\min}} \text{ Tul. Bagi} &= 0,5 \times A_{s_{\min}} \text{ Tul. Utama} \\ &= 0,5 \times 2268 \\ &= 1134 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Dipakai D13 - 250}\end{aligned}$$

$$\text{Tul. Praktis} = 2 \times 4D13$$

#### 4.7.4 Rekapitulasi Diafragma

Table 4. 30 Rekapitulasi Momen dan Gaya Diafragma

| No. | Analisa       | Kode | Hasil  | Satuan |
|-----|---------------|------|--------|--------|
| 1.  | Momen Ultimit | Mu   | 2,426  | kN.m   |
| 2.  | Momen Nominal | Mn   | 3,0325 | kN.m   |
| 3.  | Geser Ultimit | Vu   | 7,362  | kN     |

|                       |          |
|-----------------------|----------|
| Tulangan Utama arah x | D22-150  |
| Tulangan Utama arah y | D16-150  |
| Tulangan Praktis      | 2 x 4D13 |

## 4.8. Gelagar Memanjang (PCI-Girder)

### 4.8.1 Parameter PCI - Girder

Sebelum merencanakan PCI-Girder, terlebih dahulu direncanakan parameter awal, sebagai berikut :

Direncanakan:

|                    |   |  |
|--------------------|---|--|
| Lebar Jembatan,    | L | = 13 m   |
| Bentang Jembatan,  | P | = 50 m   |
| Tinggi Girder min, | h | = 0,045L(AASHTO 2012)<br>= 0,045 x 5000 cm<br>= 225 cm |
| Tinggi Girder,     | h | = 210 cm   |
| Jarak Girder,      | s | = 1850 mm  |

1. Parameter material balok beton prategang (PCI-Girder) yang digunakan sebagai dasar perencanaan sebagai berikut:

Table 4. 31 Parameter Material Beton Gelagar

| Parameter  | Notasi  | Rumus                | Nilai                                    |
|--|---------|----------------------|--|
| Kuat tekan beton,                                  | $f_c'$  |                      | = 50 MPa                                 |
| Modulus elastis beton,                             | $E_c$   | $4700\sqrt{f_c'}$    | = 33234 MPa                              |
| Angka poisson,                                     | s       |                      | = 0,15                                   |
| Modulus geser,                                     | G       | $\frac{E_c}{2(1+s)}$ | = 14449,6 MPa                            |
| Koefisien muai panjang untuk beton                 | $\beta$ |                      | = $1,10 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ |
| Kuat tekan beton pada keadaan awal (saat transfer) | $f_c''$ | $0,80f_c'$           | = 40 MPa                                 |

| Parameter                           | Notasi | Rumus             | Nilai       |
|-------------------------------------|--------|-------------------|-------------|
| Tegangan iji beton saat penarikan : |        |                   | = 30 MPa    |
| Tegangan ijin tekan,                |        | $0,60f_c'$        | = 3,54 MPa  |
| Tegangan ijin tarik,                |        | $0,50\sqrt{f_c'}$ |             |
| Tegangan beton pada keadaan akhir : |        |                   | = 22,50 MPa |
| Tegangan ijin tekan,                |        | $0,60f_c'$        | = 3,54 MPa  |
| Tegangan ijin tarik,                |        | $0,50\sqrt{f_c'}$ |             |

2. Parameter material pelat lantai berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, sebagai berikut:

Table 4. 32 Parameter Material Pelat Lantai

| Parameter                          | Notasi  | Rumus                | Nilai                                    |
|------------------------------------|---------|----------------------|--|
| Kuat tekan beton,                  | $f_c'$  |                      | = 25 MPa                                 |
| Modulus elastis beton,             | $E_c$   | $4700\sqrt{f_c'}$    | = 23500 MPa                              |
| Angka poisson,                     | $u$     |                      | = 0,2                                    |
| Modulus geser,                     | $G$     | $\frac{E_c}{2(1+u)}$ | = 9791,6 MPa                             |
| Koefisien muai panjang untuk beton | $\beta$ |                      | = $1,10 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ |

3. Parameter material baja strands yang digunakan untuk dasar perencanaan sebagai berikut:

Table 4. 33 Parameter Material Baja Strands

|                          |          |   |   |
|--------------------------|----------|---|---|
| Jenis Strands,           |          | = | Uncirated 7 wire strands ASTM A – 416 grade 270 |
| Tegangan leleh strand,   | $f_{py}$ | = | 1580 MPa  |
| Kuat tarik strand,       | $f_{pu}$ | = | 1860 MPa  |
| Diameter nominal strand, |          | = | 12,7 mm (1/2")                                  |
| Luas penampang 1 strand, | $A_{st}$ | = | 98,7 mm <sup>2</sup>                            |

|                                      |           |   |                        |
|--------------------------------------|-----------|---|------------------------|
| Beban putus minimal 1 strand,        | $P_{bst}$ | = | 183,6 kN (100% UTS)    |
| Jumlah kawat untaian (strand cable), |           | = | 18/tendon<br>22/tendon |
| Diameter selubung ideal,             |           | = | 90 mm                  |
| Luas penampang strands,              |           | = | 1875,3 mm <sup>2</sup> |
| Beban putus 1 tendon,                | $P_{b1}$  | = | 3559,1 kN (100% UTS)   |
| Modulus elastis strands,             | $E_s$     | = | 193000 MPa             |
| Tipe dongkrak                        |           | = | VSL 19                 |

4. Menentukan material baja tulangan dan berat jenis, untuk baja tulangan yang digunakan sebagai berikut:

- i. Untuk baja tulangan ulir  $D > 13$  mm, dengan tegangan leleh 420 MPa
- ii. Untuk baja tulangan polos  $D \leq 13$  mm, dengan tegangan leleh 240 MPa

Parameter berat jenis terhadap material yang direncanakan pada gelagar memanjang jembatan sebagai berikut:

Table 4. 34 Parameter Berat Jenis Baja

| Material         | Notasi           |   | Nilai                 |
|------------------|------------------|---|-----------------------|
| Beton bertulang, | $\gamma_{beton}$ | = | 25 kN/m <sup>3</sup>  |
| Aspal,           | $\gamma_{aspal}$ | = | 22 kN/m <sup>3</sup>  |
| Air,             | $\gamma_{air}$   | = | 9,8 kN/m <sup>3</sup> |
| Baja,            | $\gamma_{baja}$  | = | 77 kN/m <sup>3</sup>  |

5. Menentukan lebar efektif pelat lantai ( $B_{eff}$ ), dengan mengambil nilai terkecil di antara:

|  |                    |            |
|--|--------------------|------------|
| $\frac{L}{4}$                          | $= \frac{50}{4}$   | $= 12,5 m$ |
| Jarak antar balok prategang (s)        | $= 1,85 m$         |            |
| 12 x tebal pelat lantai ( $t_{plat}$ ) | $= 12 \times 0,25$ | $= 3 m$    |

Dari perhitungan di atas, diambil nilai terkecil yaitu 1,85 m. Antara pelat lantai dan girder memiliki modulus elastisitas yang berbeda yang berarti kekakuan materialnya juga berbeda. Agar dapat digabungkan sebagai beton komposit, makan luas atau lebar elemen yang lebih lemah (dalam hal ini pelat lantai) harus diubah menjadi luas ekuivalen sesuai modulus elastisitas girder. Untuk menghitungnya digunakan rumus prinsip transformasi luas dalam analisis penampang gabungan. Dijabarkan sebagai berikut:

| Uraian   | Notasi                | Rumus   | Nilai        |
|--|-----------------------|---|--------------|
| Kuat tekan beton pelat lantai,                     | $f'_{c\text{slab}}$   |   | 25 MPa       |
| Kuat tekan beton balok prategang,                  | $f'_{c\text{girder}}$ |   | 50 MPa       |
| Modulus elastisitas pelat lantai                   | $E_{c\text{slab}}$    | $4700\sqrt{f'_{c'}}$                          | 23500 MPa    |
| Modulus elastisitas balok prategang                | $E_{c\text{girder}}$  | $0,043Wc^{1,5}\sqrt{f'_{c'}}$                 | 35749,53 MPa |
| Nilai perbandingan modulus elastis pelat dan balok | N                     | $\frac{E_{c\text{slab}}}{E_{c\text{girder}}}$ | 0,66         |
| Lebar efektif akhir (dipakai)                      | $B_{\text{trans}}$    | $B_{\text{eff}} \times n$                     | 1,221 m      |

#### 4.8.2 Perhitungan Momen Struktur

1. Menghitung momen pada struktur PCI – Girder (non – komposit). Diperlukan data *section properties* balok prategang sebagai berikut:

Table 4. 35 Data Section Properties PC-I Girder Non - Komposit

| No.<br>Section | Dimensi  |          | A<br>(m <sup>2</sup> ) | y<br>(m) | Q<br>(m <sup>3</sup> ) | Io<br>(m <sup>4</sup> )                         | Ig <sub>trans</sub><br>(m <sup>4</sup> ) |
|----------------|----------|----------|------------------------|----------|------------------------|---|--|
|                | b<br>(m) | h<br>(m) | (b x h)                |          | (A x y)                | $\left(\frac{1}{12} \times b \times h^3\right)$ | (A x y <sup>2</sup> )                    |
|                | 0,64     | 0,07     | 0,0448                 | 2,065    | 0,092512               | 0,00002   | 0,19104                                  |
|                | 0,80     | 0,13     | 0,0104                 | 1,965    | 0,20436                | 0,00015   | 0,40157                                  |
|                | 0,30     | 0,12     | 0,0360                 | 1,860    | 0,06696                | 0,00004   | 0,12455                                  |
|                | 0,20     | 1,65     | 0,3300                 | 1,075    | 0,35475                | 0,07487   | 0,38136                                  |

| No.<br>Section | Dimensi  |          | A<br>(m <sup>2</sup> ) | y<br>(m) | Q<br>(m <sup>3</sup> ) | I <sub>o</sub><br>(m <sup>4</sup> )   | I <sub>gtrans</sub><br>(m <sup>4</sup> ) |
|----------------|----------|----------|------------------------|----------|------------------------|---------------------------------------|--|
|                | b<br>(m) | h<br>(m) | (b x h)                |          | (A x y)                | $\left(\frac{1}{12} x b x h^3\right)$ | (A x y <sup>2</sup> )                    |
|                | 0,25     | 0,25     | 0,0625                 | 0,333    | 0,02083                | 0,00033                               | 0,00694                                  |
|                | 0,70     | 0,25     | 0,1750                 | 0,125    | 0,02188                | 0,00091                               | 0,00273                                  |
| TOTAL          |          |          | 0,7523                 |          | 0,76129                | 0,07631                               | 1,10819                                  |

Rekapitulasi dan analisa lanjut momen pada kondisi struktur non – komposit.

|   |              |   |
|---|--------------|---|
| Tinggi balok prategang,                   | $h_{girder}$ | = 2,100 m   |
| Luas penampang balok prategang,           | A            | = 0,7523 m <sup>2</sup>                                       |
| Letak titik berat,                        | $y_b$        | = $\Sigma Q / \Sigma A$<br>= 1,012 m                          |
|   | $h_{slab}$   | = 0,25 m  |
|   | $B_{eff}$    | = 1,850 m   |
|   | $y_a$        | = $h_{girder} - y_b$<br>= 1,088 m                             |
| Momen inersia terhadap alas balok,        | $I_b$        | = $\Sigma I_{gtrans} + \Sigma I_o$<br>= 1,1845 m <sup>4</sup> |
| Momen inersia terhadap titik berat balok, | $I_x$        | = $I_b - (A \cdot y_b^2)$<br>= 0,4141 m <sup>4</sup>          |
| Modulus penampang gelagar sisi atas,      | $W_a$        | = $I_x / y_a$<br>= 0,3806 m <sup>3</sup>                      |
| Modulus penampang gelagar sisi bawah,     | $W_b$        | = $I_x / y_b$<br>= 0,4092 m <sup>3</sup>                      |

## 2. Menghitung momen pada struktur PCI – Girder (komposit).

Diperlukan data *section properties* balok prategang sebagai berikut:

Table 4. 36 Data Section Properties PC-I Girder Komposit

| No.<br>Section | Dimensi  |          | A<br>(m <sup>2</sup> ) | y<br>(m) | Q<br>(m <sup>3</sup> ) | Io<br>(m <sup>4</sup> )               | Ig <sub>trans</sub><br>(m <sup>4</sup> ) |
|----------------|----------|----------|------------------------|----------|------------------------|---------------------------------------|--|
|                | b<br>(m) | h<br>(m) | (b x h)                |          | (A x y)                | $\left(\frac{1}{12} x b x h^3\right)$ | (A x y <sup>2</sup> )                    |
|                | 1,221    | 0,25     | 0,3053                 | 2,225    | 0,679181               | 0,00159                               | 1,51117                                  |
|                | 0,64     | 0,07     | 0,0448                 | 2,065    | 0,092512               | 0,00002                               | 0,19104                                  |
|                | 0,80     | 0,13     | 0,0104                 | 1,965    | 0,20436                | 0,00015                               | 0,40157                                  |
|                | 0,30     | 0,12     | 0,0360                 | 1,860    | 0,06696                | 0,00004                               | 0,12455                                  |
|                | 0,20     | 1,65     | 0,3300                 | 1,075    | 0,35475                | 0,07487                               | 0,38136                                  |
|                | 0,25     | 0,25     | 0,0625                 | 0,333    | 0,02083                | 0,00033                               | 0,00694                                  |
|                | 0,70     | 0,25     | 0,1750                 | 0,125    | 0,02188                | 0,00091                               | 0,00273                                  |
| TOTAL          |          |          | 0,9640                 |          | 1,44047                | 0,07791                               | 2,61936                                  |

Rekapitulasi dan analisa lanjut momen pada kondisi struktur non – komposit.

Tinggi balok komposit,  $h_c = 2,350 \text{ m}$

Luas penampang balok komposit,  $A_c = 0,9640 \text{ m}^2$

Letak titik berat,  $y_{bc} = \Sigma Q / \Sigma A$   
 $= 1,494 \text{ m}$   
 $a_c = h_c - y_{bc}$   
 $= 0,856 \text{ m}$

Momen inersia terhadap alas balok,  $I_{bc} = \Sigma I_{c_{trans}} + \Sigma I_{c_0}$   
 $= 2,6973 \text{ m}^4$

Momen inersia terhadap titik berat balok,  $I_{xc} = I_{bc} - (A_c * y_{bc}^2)$   
 $= 0,5456 \text{ m}^4$

Modulus penampang gelagar sisi atas,  $S_{ac} = I_{xc} / y_{ac}$   
 $= 0,6374 \text{ m}^3$

Modulus penampang gelagar sisi bawah,  $S_{bc} = I_{xc} / y_{bc}$   
 $= 0,3652 \text{ m}^3$

### 4.8.3 Analisa Pembebanan

#### 1. Analisis pembebanan dan gaya akibat berat sendiri (MS)

Beban mati yang diterima girder terdiri dari beban dari girder itu sendiri, beban mati pelat lantai, beban mati pelat deck, dan beban mati diafragma. Perhitungannya sebagai berikut:

Berat PCI – Girder

Bentang balok,  $L = 50 \text{ m}$

Luas penampang,  $A = 0,753 \text{ m}^2$

Berat Jenis,  $BJ = 25 \text{ kN/m}^3$

$$\begin{aligned} W_{\text{balok}} &= A \times L \times BJ \\ &= 50 \times 0,753 \times 25 \\ &= 941,25 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{balok}} &= \frac{W_{\text{balok}}}{L} \\ &= \frac{941,25}{50} \\ &= 18,825 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Table 4. 37 Analisa Pembebanan Girder Akibat Beban Sendiri

| No.   | Beban           | b<br>(m) | h<br>(m) | A<br>(m <sup>2</sup> ) | BJ<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | QMS<br>(kN/m) | VMS<br>(kN)                                       | MMS<br>(kNm)  |
|-------|-----------------|----------|----------|------------------------|----------------------------|---------------|---|---|
|       |                 |          |          | (b x h)                |                            | (A x BJ)      | $\left(\frac{1}{2} \times Q_{MS} \times L\right)$ | $\left(\frac{1}{2} \times Q_{MS} \times L^2\right)$ |
| 1.    | Balok Prategang |          |          |                        |                            | 18,825        | 470,625   | 23531,25  |
| 2.    | Pelat Lantai    | 1,85     | 0,25     | 0,463                  | 25                         | 11,575        | 289,375   | 144468,75   |
| 3.    | Pelat Deck      | 1,21     | 0,07     | 0,085                  | 25                         | 2,125         | 53,125  | 2656,25   |
| 4.    | Diafragma       | 1,85     | 0,20     | 0,370                  | 25                         | 9,25          | 231,25  | 11562,5   |
| TOTAL |                 |          |          |                        |                            | 41,775        | 1044.375  | 182218.75   |

## 2. Analisa pembebanan dan gaya berat mati tambahan (MA)

Beban mati tambahan adalah beban yang ditimbulkan komponen non – struktural yang diterima struktur jembatan seperti lapisan aspal dan genangan air akibat curah hujan yang tidak terkelola dengan baik. Direncanakan beban mati tambahan sebagai berikut:

1. Lapisan aspal beton setebal 50 mm untuk pelapisan aspal kembali (*overlay*) di kemudian hari.
2. Genangan air hujan setinggi 50 mm apabila seluruh drainase tidak bekerja dengan baik.

Table 4. 38 Analisa pembebanan dan gaya berat mati tambahan

| No.   | Beban                   | b<br>(m) | h<br>(m) | BJ<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | Q <sub>MA</sub><br>(kN/m) | V <sub>MA</sub><br>(kN)                  | M <sub>MA</sub><br>(kNm)                   |
|-------|-------------------------|----------|----------|----------------------------|---------------------------|--|--|
|       |                         |          |          |                            | ( <i>b x h x BJ</i> )     | ( $\frac{1}{2} \times Q_{MS} \times L$ ) | ( $\frac{1}{8} \times Q_{MS} \times L^2$ ) |
| 1.    | Lap. Aspal<br>+ Overlay | 1,85     | 0,05     | 22,00                      | 2,035                     | 50,875                                   | 635,938                                    |
| 2.    | Air Hujan               | 1,85     | 0,05     | 9,80                       | 0,9065                    | 22,663                                   | 283,282                                    |
| TOTAL |                         |          |          |                            | 2,9415                    | 73,538                                   | 919,22                                     |

## 3. Analisa Pembebanan dan Gaya Akibat Beban Lalu Lintas

### Beban Lajur “D” (TD)

Berdasarkan pengklasifikasian pembebanan pada bab tiga, telah dipilih batas – batas berdasarkan kriteria bentang jembatan, sebagai berikut:

- Untuk  $L > 30$  m,  $q = 9 \times \left(0,5 + \frac{15}{L}\right)$
- Intensitas BGT,  $p = 49 \text{ kN/m}$
- DLA  $= 0,4 - 0,0025(L - 50)$

Diketahui,

Panjang balok,  $L = 50$  m

Jarak antar balok prategang,  $s = 1,85$  m

Maka beban merata dan terpusat pada balok dapat diketahui sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Beban merata,} \quad q &= 9 \times \left(0,5 + \frac{15}{L}\right) \\
 &= 9 \times \left(0,5 + \frac{15}{50}\right) \\
 &= 7,2 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beban merata pada balok,} \quad q_{TD} &= q \times s \\
 &= 7,2 \times 1,85 \\
 &= 13,32 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\text{Beban pada garis,} \quad P = 49 \text{ kN/m}$$

$$\text{Faktor beban dinamis,} \quad DLA = 0,4$$

Beban terpusat pada balok

$$\begin{aligned}
 \text{PTD} &= (1 + DLA) \times P \times s \\
 &= (1 + 0,4) \times 49 \times 1,85 \\
 &= 126,91 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Gaya geser dan momen maksimum pada balok akibat beban lajur “D”

i. Gaya geser maksimum,

$$\begin{aligned}
 \text{VTD} &= \frac{1}{2} \times [(QTD \times L) + PTD] \\
 &= \frac{1}{2} \times [(13,32 \times 50) + 126,91] \\
 &= 396,455 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

ii. Momen maksimum pada balok

$$\begin{aligned}
 \text{MTD} &= \frac{1}{8} \times QTD \times L^2 + \frac{1}{4} \times PTD \times L \\
 &= \frac{1}{8} \times 13,31 \times 50^2 + \frac{1}{4} \times 126,91 \times 50 \\
 &= 5745,75 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Beban Rem (TB)

Berdasarkan pengklasifikasian pembebanan pada bab tiga, gaya rem ( $H_{TB}$ ) yang digunakan adalah 250 kN, dan gaya rem yang terjadi pada PCI-Girder dipilih nilai yang terbesar diantara:

$$\begin{aligned}
 3. \quad T_{TB1} &= \frac{H_{TB}}{n \text{ balok}} \\
 &= \frac{250}{10} \\
 &= 25 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 4. \quad T_{TB2} &= 5\% \text{ beban lajur "D" tanpa beban faktor dinamis} \\
 &= 0,05 \times (QTD \times L + PTD)
 \end{aligned}$$

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 QTD &= q * s \\
 &= 7,2 * 1,85 \\
 &= 13,32 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 PTD &= p * s \\
 &= 49 * 1,85 \\
 &= 90,85 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Sehingga, disubstitusikan menjadi:

$$\begin{aligned}
 &= 0,05 * (13,32 * 50 + 90,85) \\
 &= 37,843 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Maka, diambil nilai gaya rem terbesar diantara  $T_{TB1}$  dan  $T_{TB2}$  yaitu sebesar 37,843 kN, maka besar beban momen dan gaya geser yang dihasilkan sebagai berikut:

i. Lengan terhadap titik berat balok

$$\begin{aligned}
 y &= 1,80 + h_o + h_a + y_{ac} \\
 &= 3,1 \text{ m}
 \end{aligned}$$

ii. Beban momen akibat gaya rem

$$\begin{aligned}
 M_{TB} &= T_{TB} * y \\
 &= 37,843 * 3,1 \\
 &= 117,313 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

iii. Gaya geser dan momen maksimum pada balok akibat gaya rem:

$$\begin{aligned}
 V_{TB} &= \frac{M}{L} \\
 &= \frac{117,313}{50} \\
 &= 2,346 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{TB} &= \frac{1}{2} * M \\
 &= \frac{1}{2} * 117,313 \\
 &= 58,657 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

#### 4. Analisa Pembebanan dan Gaya Akibat Beban Lingkungan

##### Beban Angin Kendaraan (EW)

Berdasarkan klasifikasi pembebanan pada bab tiga, beban angin kendaraan ( $T_{EWL}$ ) yang terjadi sebesar 1,46 kN/m dengan tinggi bidang kendaraan ( $h$ ) sebesar 1,8 m dan jarak antar roda ( $x$ ) 1,75 m, sehingga menghasilkan:

Transfer beban angin ke lantai jembatan,

$$\begin{aligned} Q_{EW} &= \frac{1}{2} * (h * x) * T_{EW} \\ &= \frac{1}{2} * (1,8 * 1,75) * 1,46 \\ &= 0,751 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya geser dan momen maksimum akibat beban angin:

##### i. Gaya geser maksimum,

$$\begin{aligned} V_{EW} &= \frac{1}{2} * Q_{EW} * L \\ &= \frac{1}{2} * 0,751 * 50 \\ &= 18,775 \text{ kN} \end{aligned}$$

##### ii. Gaya momen maksimum,

$$\begin{aligned} V_{EW} &= \frac{1}{8} * Q_{EW} * L^2 \\ &= \frac{1}{8} * 0,751 * 50^2 \\ &= 234,687 \text{ kNm} \end{aligned}$$

##### Beban Gempa (EQ)

Gaya gempa vertikal (*vertical earthquake force*) pada balok prategang dihitung dengan menggunakan percepatan vertikal (*vertical acceleration*) ke bawah minimum sebesar  $0,10 * g$  ( $g$  = percepatan gravitasi/*gravity acceleration*) atau dapat diambil sebesar 50% dari koefisien gempa horizontal statik ekuivalen (*equivalent static horizontal seismic coefficient*):

$$K_h = C * S \text{ (m/det}^2\text{)}$$

$$C = A_s + (SDS - A_s) * T/T_0, \text{ jika } T < T_0$$

$$C = SDS, \text{ jika } T_0 < T < T_s$$

Keterangan,

Kh : koefisien beban gempa horizontal

C : Koefisien respons gempa elastis spektrum desain

S : faktor tipe struktur yang berhubungan dengan kapasitas penyerapan energi gempa (daktilitas) dari struktur

A<sub>s</sub> : Koefisien percepatan spektrum minimum

SDS : Spektral percepatan desain untuk periode pendek

T : Waktu getar struktur

T<sub>0</sub> : Batas awal spektrum menurun

Waktu getar struktur dihitung dengan rumus:

$$T = 2 * \pi * \sqrt{\frac{W_t}{g * K_p}}$$

Keterangan,

W<sub>t</sub> : berat total yang berupa berat sendiri dan beban mati tambahan

K<sub>p</sub> : kekakuan struktur yang merupakan gaya horizontal yang diperlukan untuk menimbulkan satu satuan lendutan

g : percepatan gravitasi, sebesar 9,81 m/det<sup>2</sup>

Diketahui dari perhitungan poin sebelumnya,

- Berat sendiri, QMS = 11,02 kNm
- Momen inersia balok prategang, I<sub>xc</sub> = 0,8135 m<sup>4</sup>
- Modulus elastis, E<sub>c</sub> = 3,92 x 10<sup>7</sup> kPa
- Panjang bentang balok, L = 50 m
- Grafik respon spektra (hasil dari justifikasi pembebanan pada bab tiga):
  - A<sub>s</sub> = 0,347
  - SDS = 0,724
  - T<sub>s</sub> = 1,865
  - T<sub>0</sub> = 0,373

Sehingga,

Beban struktur total (beban sendiri + beban mati tambahan),

$$\begin{aligned} Wt &= (QMS + QMA) * L \\ &= (41,775 + 2,4915) * 50 \\ &= 2213,325 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kekakuan balok prategang,

$$\begin{aligned} Kp &= 48 * Ec * \frac{Ixc}{L^3} \\ &= 48 * 3,92 \times 10^7 * \frac{0,8135}{50^3} \\ &= 12245,453 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Waktu getar,

$$\begin{aligned} T &= 2 * \pi * \sqrt{\frac{Wt}{g * Kp}} \\ &= 2 * \pi * \sqrt{\frac{2213,325}{9,81 * 12245,453}} \\ &= 0,85 \text{ s} > T_0, \text{ maka } C = \text{SDS} \end{aligned}$$

Koefisien geser datar,

$$\begin{aligned} C &= \text{SDS} \\ &= 0,724 \end{aligned}$$

Untuk struktur jembatan dengan daerah sendi plastis (*plastic hinge region*) pada beton prategang penuh (*fully prestressed concrete*), maka nilai S ditetapkan sebesar 1,3F. Nilai F dihitung dengan rumus  $F = 1,25 - 0,025n$ . Hasil perhitungan F harus digunakan apabila nilainya lebih dari 1.

Keterangan,

F : faktor perangkaan

n : jumlah sendi plastis yang menahan deformasi arah lateral

Untuk jembatan dengan bearing elastomer, maka tidak punya sendi plastis pada girder, sehingga  $n = 0$ , maka:

$$F = 1,25 - 0,025n$$

$$= 1,25 - 0,025 * 0$$

$$= 1,25$$

Faktor tipe struktur,

$$S = 1,3 * F$$

$$= 1,3 * 1,25$$

$$= 1,625$$

Koefisien beban gempa horizontal,

$$K_h = C * S$$

$$= 0,724 * 1,625$$

$$= 1,177$$

Koefisien beban gempa vertical,

$$K_v = 50\% * K_h$$

$$= 50\% * 1,177$$

$$= 0,588$$

Gaya gempa vertical,

$$T_{EQ} = K_v * W_t$$

$$= 0,588 * 2213,325$$

$$= 1301,435 \text{ kN}$$

Beban gempa vertical,

$$Q_{EQ} = \frac{T_{EQ}}{L}$$

$$= \frac{1301,435}{50}$$

$$= 26,03 \text{ kN/m}$$

Gaya geser dan momen maksimum akibat beban angin:

i. Gaya geser maksimum

$$V_{EQ} = \frac{1}{2} * Q_{EQ} * L$$

$$= \frac{1}{2} * 26,03 * 50$$

$$= 650,717 \text{ kN}$$

ii. Gaya momen maksimum

$$M_{EQ} = \frac{1}{8} * Q_{EQ} * L^2$$

$$= \frac{1}{8} * 26,03 * 50^2$$

$$= 8133,969 \text{ kNm}$$

#### 4.8.4 Rekapitulasi Momen dan Gaya Geser pada Balok Prategang

Table 4. 39 Rekapitulasi Momen dan Gaya Geser pada Balok Prategang

| No. | Jenis Beban     | Kode Beban | Q      | P      | M       | Keterangan                                   |
|-----|-----------------|------------|--------|--------|---------|--|
|     |                 |            | (kN/m) | (kN)   | (kNm)   |  |
| 1.  | Balok Prategang | Balok      | 18,825 |        |         | Berat merata, $Q_{balok}$                    |
| 2.  | Berat Pelat     | Pelat      | 11,575 |        |         | Berat merata, $Q_{pelat}$                    |
| 3.  | Berat Sendiri   | MS         | 41,775 |        |         | Berat merata, $Q_{MS}$                       |
| 4.  | Mati Tambahan   | MA         | 2,9415 |        |         | Berat merata, $Q_{MA}$                       |
| 5.  | Lajur "D"       | TD         | 13,32  | 126,91 |         | Berat merata, $Q_{MA}$ dan terpusat $P_{TD}$ |
| 6.  | Gaya Rem        | TB         |        |        | 117,313 | Berat merata, $M_{TB}$                       |
| 7.  | Angin           | EW         | 0,751  |        |         | Berat merata $Q_{EW}$                        |
| 8.  | Gempa           | WQ         | 26,03  |        |         | Berat merata $Q_{EQ}$                        |

Rumus persamaan momen dan gaya geser semua beban yang berada pada balok prategang per-meter panjang dihitung sebagai berikut:

Table 4. 40 Rumus persamaan momen dan gaya geser

| No. | Jenis Beban        | Persamaan Momen  | Persamaan Gaya Geser                             |
|-----|--------------------|--|--|
| 1.  | Berat Balok        | $Mx = \frac{1}{2} * Q_{balok} * (L * x - x^2)$                         | $Vx = Q_{balok} * (L/2 - x)$                     |
| 2.  | Berat Sendiri (MS) | $Mx = \frac{1}{2} * Q_{MS} * (L * x - x^2)$                            | $Vx = Q_{MS} * (L/2 - x)$                        |
| 3.  | Mati Tambahan (MA) | $Mx = \frac{1}{2} * Q_{MA} * (L * x - x^2)$                            | $Vx = Q_{MA} * (L/2 - x)$                        |
| 4.  | Lajur "D" (TD)     | $Mx = \frac{1}{2} * Q_{TD} * (L * x - x^2) + \frac{1}{2} * P_{TD} * x$ | $Vx = Q_{TD} * (L/2 - x) + \frac{1}{2} * P_{TD}$ |
| 5.  | Gaya Rem (TB)      | $Mx = \left(\frac{x}{L}\right) * M_{TB}$                               | $Vx = \frac{M_{TB}}{L}$                          |
| 6.  | Angin (EW)         | $Mx = \frac{1}{2} * Q_{EW} * (L * x - x^2)$                            | $Vx = Q_{EW} * (L/2 - x)$                        |
| 7.  | Gempa (EQ)         | $Mx = \frac{1}{2} * Q_{EQ} * (L * x - x^2)$                            | $Vx = Q_{EQ} * (L/2 - x)$                        |

## 1. Momen Balok Prategang Tak Terkombinasi Pembebanan Per-meter Panjang

Table 4. 41 Momen Balok Prategang Tak Terkombinasi Pembebanan Per-meter Panjang

| Jarak | Berat Balok | Berat Sendiri | Mati Tambahan | Lajur "D" | Rem   | Angin  | Gempa   |
|-------|-------------|---------------|---------------|-----------|-------|--------|---------|
|       |             | MS            | MA            | TD        | TB    | EW     | EQ      |
| (m)   | (kNm)       | (kNm)         | (kNm)         | (kNm)     | (kNm) | (kNm)  | (kNm)   |
| 0     | 0,00        | 0,00          | 0,00          | 0,00      | 0,00  | 0,00   | 0,00    |
| 1     | 461,21      | 1023,49       | 72,07         | 389,80    | 2,35  | 18,40  | 637,74  |
| 2     | 903,60      | 2005,20       | 141,19        | 766,27    | 4,69  | 36,05  | 1249,44 |
| 3     | 1327,16     | 2945,14       | 207,38        | 1129,43   | 7,04  | 52,95  | 1835,12 |
| 4     | 1731,90     | 3843,30       | 270,62        | 1479,26   | 9,39  | 69,09  | 2394,76 |
| 5     | 2117,81     | 4699,69       | 330,92        | 1815,78   | 11,73 | 84,49  | 2928,38 |
| 6     | 2484,90     | 5514,30       | 388,28        | 2138,97   | 14,08 | 99,13  | 3435,96 |
| 7     | 2833,16     | 6287,14       | 442,70        | 2448,85   | 16,42 | 113,03 | 3917,52 |
| 8     | 3162,60     | 7018,20       | 494,17        | 2745,40   | 18,77 | 126,17 | 4373,04 |
| 9     | 3473,21     | 7707,49       | 542,71        | 3028,64   | 21,12 | 138,56 | 4802,54 |
| 10    | 3765,00     | 8355,00       | 588,30        | 3298,55   | 23,46 | 150,20 | 5206,00 |
| 11    | 4037,96     | 8960,74       | 630,95        | 3555,15   | 25,81 | 161,09 | 5583,44 |
| 12    | 4292,10     | 9524,70       | 670,66        | 3798,42   | 28,16 | 171,23 | 5934,84 |
| 13    | 4527,41     | 10046,89      | 707,43        | 4028,38   | 30,50 | 180,62 | 6260,22 |
| 14    | 4743,90     | 10527,30      | 741,26        | 4245,01   | 32,85 | 189,25 | 6559,56 |
| 15    | 4941,56     | 10965,94      | 772,14        | 4448,33   | 35,19 | 197,14 | 6832,88 |
| 16    | 5120,40     | 11362,80      | 800,09        | 4638,32   | 37,54 | 204,27 | 7080,16 |
| 17    | 5280,41     | 11717,89      | 825,09        | 4815,00   | 39,89 | 210,66 | 7301,42 |
| 18    | 5421,60     | 12031,20      | 847,15        | 4978,35   | 42,23 | 216,29 | 7496,64 |
| 19    | 5543,96     | 12302,74      | 866,27        | 5128,39   | 44,58 | 221,17 | 7665,84 |
| 20    | 5647,50     | 12532,50      | 882,45        | 5265,10   | 46,93 | 225,30 | 7809,00 |
| 21    | 5732,21     | 12720,49      | 895,69        | 5388,50   | 49,27 | 228,68 | 7926,14 |
| 22    | 5798,10     | 12866,70      | 905,98        | 5498,57   | 51,62 | 231,31 | 8017,24 |
| 23    | 5845,16     | 12971,14      | 913,34        | 5595,33   | 53,96 | 233,19 | 8082,32 |
| 24    | 5873,40     | 13033,80      | 917,75        | 5678,76   | 56,31 | 234,31 | 8121,36 |
| 25    | 5882,81     | 13054,69      | 919,22        | 5748,88   | 58,66 | 234,69 | 8134,38 |
| 26    | 5873,40     | 13033,80      | 917,75        | 5805,67   | 61,00 | 234,31 | 8121,36 |
| 27    | 5845,16     | 12971,14      | 913,34        | 5849,15   | 63,35 | 233,19 | 8082,32 |

| Jarak | Berat Balok | Berat Sendiri | Mati Tambahan | Lajur "D" | Rem    | Angin  | Gempa   |
|-------|-------------|---------------|---------------|-----------|--------|--------|---------|
|       |             | MS            | MA            | TD        | TB     | EW     | EQ      |
| 28    | 5798,10     | 12866,70      | 905,98        | 5879,30   | 65,70  | 231,31 | 8017,24 |
| 29    | 5732,21     | 12720,49      | 895,69        | 5896,14   | 68,04  | 228,68 | 7926,14 |
| 30    | 5647,50     | 12532,50      | 882,45        | 5899,65   | 70,39  | 225,30 | 7809,00 |
| 31    | 5543,96     | 12302,74      | 866,27        | 5889,85   | 72,73  | 221,17 | 7665,84 |
| 32    | 5421,60     | 12031,20      | 847,15        | 5866,72   | 75,08  | 216,29 | 7496,64 |
| 33    | 5280,41     | 11717,89      | 825,09        | 5830,28   | 77,43  | 210,66 | 7301,42 |
| 34    | 5120,40     | 11362,80      | 800,09        | 5780,51   | 79,77  | 204,27 | 7080,16 |
| 35    | 4941,56     | 10965,94      | 772,14        | 5717,43   | 82,12  | 197,14 | 6832,88 |
| 36    | 4743,90     | 10527,30      | 741,26        | 5641,02   | 84,47  | 189,25 | 6559,56 |
| 37    | 4527,41     | 10046,89      | 707,43        | 5551,30   | 86,81  | 180,62 | 6260,22 |
| 38    | 4292,10     | 9524,70       | 670,66        | 5448,25   | 89,16  | 171,23 | 5934,84 |
| 39    | 4037,96     | 8960,74       | 630,95        | 5331,89   | 91,50  | 161,09 | 5583,44 |
| 40    | 3765,00     | 8355,00       | 588,30        | 5202,20   | 93,85  | 150,20 | 5206,00 |
| 41    | 3473,21     | 7707,49       | 542,71        | 5059,20   | 96,20  | 138,56 | 4802,54 |
| 42    | 3162,60     | 7018,20       | 494,17        | 4902,87   | 98,54  | 126,17 | 4373,04 |
| 43    | 2833,16     | 6287,14       | 442,70        | 4733,23   | 100,89 | 113,03 | 3917,52 |
| 44    | 2484,90     | 5514,30       | 388,28        | 4550,26   | 103,24 | 99,13  | 3435,96 |
| 45    | 2117,81     | 4699,69       | 330,92        | 4353,98   | 105,58 | 84,49  | 2928,38 |
| 46    | 1731,90     | 3843,30       | 270,62        | 4144,37   | 107,93 | 69,09  | 2394,76 |
| 47    | 1327,16     | 2945,14       | 207,38        | 3921,45   | 110,27 | 52,95  | 1835,12 |
| 48    | 903,60      | 2005,20       | 141,19        | 3685,20   | 112,62 | 36,05  | 1249,44 |
| 49    | 461,21      | 1023,49       | 72,07         | 3435,64   | 114,97 | 18,40  | 637,74  |
| 50    | 0,00        | 0,00          | 0,00          | 3172,75   | 117,31 | 0,00   | 0,00    |

## 2. Momen Balok Prategang Terkombinasi Pembebanan

- Kombinasi Kuat I =  $1,3 * MS + 2 * MA + 1,8 * TD + 1,8 * TB$
- Kombinasi Ekstrem I =  $1,3 * MS + 2 * MA + 1 * TD + 1 * TB + 1 * EQ$
- Kombinasi Layan I =  $1 * MS + 1 * MA + 1 * TD + 1 * TB + 0,3 * EW$
- Kombinasi Layan III =  $1 * MS + 1 * MA + 0,8 * TD + 0,8 * TB$

Hasil Momen Terkombinasi Pembebanan Pada Balok Prategang Per-meter Panjang

Table 4. 42 Hasil Momen Terkombinasi Pembebanan Pada Balok Prategang Per-meter Panjang

| Jarak | Kombinasi Kuat I | Kombinasi Layan I | Kombinasi Layan III | Kombinasi Ekstrim I |
|-------|------------------|-------------------|---------------------|---------------------|
| (m)   | (kNm)            | (kNm)             | (kNm)               | (kNm)               |
| 0     | 0,00             | 0,00              | 0,00                | 0,00                |
| 1     | 2180,52          | 1493,22           | 1409,27             | 2504,54             |
| 2     | 4276,88          | 2928,17           | 2763,16             | 4909,55             |
| 3     | 6289,07          | 4304,86           | 4061,68             | 7215,01             |
| 4     | 8217,09          | 5623,29           | 5304,83             | 9420,93             |
| 5     | 10060,94         | 6883,46           | 6492,61             | 11527,31            |
| 6     | 11820,63         | 8085,37           | 7625,02             | 13534,15            |
| 7     | 13496,15         | 9229,01           | 8702,05             | 15441,45            |
| 8     | 15087,51         | 10314,39          | 9723,71             | 17249,21            |
| 9     | 16594,70         | 11341,51          | 10690,00            | 18957,43            |
| 10    | 18017,72         | 12310,37          | 11600,91            | 20566,11            |
| 11    | 19356,58         | 13220,97          | 12456,45            | 22075,25            |
| 12    | 20611,27         | 14073,31          | 13256,62            | 23484,85            |
| 13    | 21781,79         | 14867,38          | 14001,42            | 24794,91            |
| 14    | 22868,15         | 15603,19          | 14690,84            | 26005,42            |
| 15    | 23870,34         | 16280,74          | 15324,90            | 27116,40            |
| 16    | 24788,36         | 16900,03          | 15903,58            | 28127,84            |
| 17    | 25622,22         | 17461,06          | 16426,88            | 29039,73            |
| 18    | 26371,91         | 17963,82          | 16894,82            | 29852,09            |
| 19    | 27037,44         | 18408,32          | 17307,38            | 30564,90            |
| 20    | 27618,80         | 18794,57          | 17664,57            | 31178,18            |
| 21    | 28115,99         | 19122,54          | 17966,39            | 31691,91            |
| 22    | 28529,01         | 19392,26          | 18212,83            | 32106,10            |
| 23    | 28857,87         | 19603,72          | 18403,90            | 32420,75            |
| 24    | 29102,56         | 19756,91          | 18539,60            | 32635,87            |
| 25    | 29263,09         | 19851,84          | 18619,93            | 32751,44            |
| 26    | 29339,45         | 19888,51          | 18644,89            | 32767,47            |

| Jarak | Kombinasi<br>Kuat I | Kombinasi<br>Layan I | Kombinasi<br>Layan III | Kombinasi<br>Ekstrim I |
|-------|---------------------|----------------------|------------------------|------------------------|
| 27    | 29331,64            | 19866,92             | 18614,47               | 32683,96               |
| 28    | 29239,67            | 19787,07             | 18528,68               | 32500,91               |
| 29    | 29063,53            | 19648,95             | 18387,52               | 32218,32               |
| 30    | 28803,22            | 19452,58             | 18190,98               | 31836,19               |
| 31    | 28458,74            | 19197,94             | 17939,07               | 31354,52               |
| 32    | 28030,10            | 18885,04             | 17631,79               | 30773,30               |
| 33    | 27517,30            | 18513,88             | 17269,14               | 30092,55               |
| 34    | 26920,33            | 18084,45             | 16851,11               | 29312,26               |
| 35    | 26239,19            | 17596,77             | 16377,72               | 28432,43               |
| 36    | 25473,88            | 17050,82             | 15848,95               | 27453,05               |
| 37    | 24624,41            | 16446,61             | 15264,80               | 26374,14               |
| 38    | 23690,77            | 15784,14             | 14625,29               | 25195,68               |
| 39    | 22672,96            | 15063,41             | 13930,40               | 23917,69               |
| 40    | 21570,99            | 14284,41             | 13180,14               | 22540,15               |
| 41    | 20384,85            | 13447,15             | 12374,51               | 21063,07               |
| 42    | 19114,55            | 12551,64             | 11513,50               | 19486,46               |
| 43    | 17760,08            | 11597,86             | 10597,12               | 17810,30               |
| 44    | 16321,44            | 10585,81             | 9625,37                | 16034,60               |
| 45    | 14798,63            | 9515,51              | 8598,25                | 14159,36               |
| 46    | 13191,66            | 8386,94              | 7515,76                | 12184,58               |
| 47    | 11500,52            | 7200,12              | 6377,89                | 10110,26               |
| 48    | 9725,22             | 5955,03              | 5184,65                | 7936,40                |
| 49    | 7865,75             | 4651,68              | 3936,04                | 5663,00                |
| 50    | 5922,11             | 3290,06              | 2632,05                | 3290,06                |

## 3. Gaya Geser Balok Prategang Tak Terkombinasi Per-meter Panjang

Table 4. 43 Gaya Geser Balok Prategang Tak Terkombinasi Per-meter Panjang

| Jarak | Berat Balok | Berat Sendiri | Mati Tambahan | Lajur "D" | Rem   | Angin | Gempa  |
|-------|-------------|---------------|---------------|-----------|-------|-------|--------|
|       |             | MS            | MA            | TD        | TB    | EW    | EQ     |
| (m)   | (kNm)       | (kNm)         | (kNm)         | (kNm)     | (kNm) | (kNm) | (kNm)  |
| 0     | 470,63      | 1044,38       | 73,54         | 396,46    | 2,35  | 18,78 | 650,75 |
| 1     | 451,80      | 1002,60       | 70,60         | 383,14    | 2,35  | 18,02 | 624,72 |
| 2     | 432,98      | 960,83        | 67,65         | 369,82    | 2,35  | 17,27 | 598,69 |
| 3     | 414,15      | 919,05        | 64,71         | 356,50    | 2,35  | 16,52 | 572,66 |
| 4     | 395,33      | 877,28        | 61,77         | 343,18    | 2,35  | 15,77 | 546,63 |
| 5     | 376,50      | 835,50        | 58,83         | 329,86    | 2,35  | 15,02 | 520,60 |
| 6     | 357,68      | 793,73        | 55,89         | 316,54    | 2,35  | 14,27 | 494,57 |
| 7     | 338,85      | 751,95        | 52,95         | 303,22    | 2,35  | 13,52 | 468,54 |
| 8     | 320,03      | 710,18        | 50,01         | 289,90    | 2,35  | 12,77 | 442,51 |
| 9     | 301,20      | 668,40        | 47,06         | 276,58    | 2,35  | 12,02 | 416,48 |
| 10    | 282,38      | 626,63        | 44,12         | 263,26    | 2,35  | 11,27 | 390,45 |
| 11    | 263,55      | 584,85        | 41,18         | 249,94    | 2,35  | 10,51 | 364,42 |
| 12    | 244,73      | 543,08        | 38,24         | 236,62    | 2,35  | 9,76  | 338,39 |
| 13    | 225,90      | 501,30        | 35,30         | 223,30    | 2,35  | 9,01  | 312,36 |
| 14    | 207,08      | 459,53        | 32,36         | 209,98    | 2,35  | 8,26  | 286,33 |
| 15    | 188,25      | 417,75        | 29,42         | 196,66    | 2,35  | 7,51  | 260,30 |
| 16    | 169,43      | 375,98        | 26,47         | 183,34    | 2,35  | 6,76  | 234,27 |
| 17    | 150,60      | 334,20        | 23,53         | 170,02    | 2,35  | 6,01  | 208,24 |
| 18    | 131,78      | 292,43        | 20,59         | 156,70    | 2,35  | 5,26  | 182,21 |
| 19    | 112,95      | 250,65        | 17,65         | 143,38    | 2,35  | 4,51  | 156,18 |
| 20    | 94,13       | 208,88        | 14,71         | 130,06    | 2,35  | 3,76  | 130,15 |
| 21    | 75,30       | 167,10        | 11,77         | 116,74    | 2,35  | 3,00  | 104,12 |
| 22    | 56,48       | 125,33        | 8,82          | 103,42    | 2,35  | 2,25  | 78,09  |
| 23    | 37,65       | 83,55         | 5,88          | 90,10     | 2,35  | 1,50  | 52,06  |
| 24    | 18,83       | 41,78         | 2,94          | 76,78     | 2,35  | 0,75  | 26,03  |
| 25    | 0,00        | 0,00          | 0,00          | 63,46     | 2,35  | 0,00  | 0,00   |
| 26    | -18,83      | -41,78        | -2,94         | 50,14     | 2,35  | -0,75 | -26,03 |

| Jarak | Berat Balok | Berat Sendiri | Mati Tambahan | Lajur "D" | Rem   | Angin  | Gempa   |
|-------|-------------|---------------|---------------|-----------|-------|--------|---------|
|       |             | MS            | MA            | TD        | TB    | EW     | EQ      |
| (m)   | (kNm)       | (kNm)         | (kNm)         | (kNm)     | (kNm) | (kNm)  | (kNm)   |
| 27    | -37,65      | -83,55        | -5,88         | 36,82     | 2,35  | -1,50  | -52,06  |
| 28    | -56,48      | -125,33       | -8,82         | 23,50     | 2,35  | -2,25  | -78,09  |
| 29    | -75,30      | -167,10       | -11,77        | 10,18     | 2,35  | -3,00  | -104,12 |
| 30    | -94,13      | -208,88       | -14,71        | -3,15     | 2,35  | -3,76  | -130,15 |
| 31    | -112,95     | -250,65       | -17,65        | -16,47    | 2,35  | -4,51  | -156,18 |
| 32    | -131,78     | -292,43       | -20,59        | -29,79    | 2,35  | -5,26  | -182,21 |
| 33    | -150,60     | -334,20       | -23,53        | -43,11    | 2,35  | -6,01  | -208,24 |
| 34    | -169,43     | -375,98       | -26,47        | -56,43    | 2,35  | -6,76  | -234,27 |
| 35    | -188,25     | -417,75       | -29,42        | -69,75    | 2,35  | -7,51  | -260,30 |
| 36    | -207,08     | -459,53       | -32,36        | -83,07    | 2,35  | -8,26  | -286,33 |
| 37    | -225,90     | -501,30       | -35,30        | -96,39    | 2,35  | -9,01  | -312,36 |
| 38    | -244,73     | -543,08       | -38,24        | -109,71   | 2,35  | -9,76  | -338,39 |
| 39    | -263,55     | -584,85       | -41,18        | -123,03   | 2,35  | -10,51 | -364,42 |
| 40    | -282,38     | -626,63       | -44,12        | -136,35   | 2,35  | -11,27 | -390,45 |
| 41    | -301,20     | -668,40       | -47,06        | -149,67   | 2,35  | -12,02 | -416,48 |
| 42    | -320,03     | -710,18       | -50,01        | -162,99   | 2,35  | -12,77 | -442,51 |
| 43    | -338,85     | -751,95       | -52,95        | -176,31   | 2,35  | -13,52 | -468,54 |
| 44    | -357,68     | -793,73       | -55,89        | -189,63   | 2,35  | -14,27 | -494,57 |
| 45    | -376,50     | -835,50       | -58,83        | -202,95   | 2,35  | -15,02 | -520,60 |
| 46    | -395,33     | -877,28       | -61,77        | -216,27   | 2,35  | -15,77 | -546,63 |
| 47    | -414,15     | -919,05       | -64,71        | -229,59   | 2,35  | -16,52 | -572,66 |
| 48    | -432,98     | -960,83       | -67,65        | -242,91   | 2,35  | -17,27 | -598,69 |
| 49    | -451,80     | -1002,60      | -70,60        | -256,23   | 2,35  | -18,02 | -624,72 |
| 50    | -470,63     | -1044,38      | -73,54        | -269,55   | 2,35  | -18,78 | -650,75 |

#### 4. Gaya Geser Balok Prategang Terkombinasi Pembebanan

- Kombinasi Kuat  $I = 1,3 * MS + 2 * MA + 1,8 * TD + 1,8 * TB$
- Kombinasi Ekstrem  $I = 1,3 * MS + 2 * MA + 1 * TD + 1 * TB + 1 * EQ$

- Kombinasi Layan I = 1 \* MS + 1 \* MA + 1 \* TD + 1 \* TB + 0,3 \* EW
- Kombinasi Layan III = 1 \* MS + 1 \* MA + 0,8 \* TD + 0,8 \* TB

Hasil Gaya Geser Balok Prategang Terkombinasi Pembebanan Per-meter Panjang

Table 4. 44 Hasil Gaya Geser Balok Prategang Terkombinasi Pembebanan Per-meter Panjang

| Jarak | Kombinasi Kuat I | Kombinasi Layan I | Kombinasi Layan III | Kombinasi Ekstrim I |
|-------|------------------|-------------------|---------------------|---------------------|
| (m)   | (kNm)            | (kNm)             | (kNm)               | (kNm)               |
| 0     | 2222,60          | 1522,35           | 1436,95             | 2554,31             |
| 1     | 2138,44          | 1464,08           | 1381,58             | 2454,77             |
| 2     | 2054,27          | 1405,82           | 1326,21             | 2355,23             |
| 3     | 1970,11          | 1347,56           | 1270,84             | 2255,69             |
| 4     | 1885,94          | 1289,30           | 1215,46             | 2156,15             |
| 5     | 1801,77          | 1231,04           | 1160,09             | 2056,61             |
| 6     | 1717,61          | 1172,78           | 1104,72             | 1957,07             |
| 7     | 1633,44          | 1114,51           | 1049,35             | 1857,53             |
| 8     | 1549,27          | 1056,25           | 993,97              | 1757,99             |
| 9     | 1465,11          | 997,99            | 938,60              | 1658,45             |
| 10    | 1380,94          | 939,73            | 883,23              | 1558,91             |
| 11    | 1296,77          | 881,47            | 827,86              | 1459,37             |
| 12    | 1212,61          | 823,20            | 772,48              | 1359,83             |
| 13    | 1128,44          | 764,94            | 717,11              | 1260,29             |
| 14    | 1044,27          | 706,68            | 661,74              | 1160,75             |
| 15    | 960,11           | 648,42            | 606,37              | 1061,21             |
| 16    | 875,94           | 590,16            | 550,99              | 961,67              |
| 17    | 791,77           | 531,90            | 495,62              | 862,13              |
| 18    | 707,61           | 473,63            | 440,25              | 762,58              |
| 19    | 623,44           | 415,37            | 384,88              | 663,04              |
| 20    | 539,27           | 357,11            | 329,50              | 563,50              |
| 21    | 455,11           | 298,85            | 274,13              | 463,96              |
| 22    | 370,94           | 240,59            | 218,76              | 364,42              |
| 23    | 286,78           | 182,32            | 163,39              | 264,88              |

| Jarak | Kombinasi<br>Kuat I | Kombinasi<br>Layan I | Kombinasi<br>Layan III | Kombinasi<br>Ekstrim I |
|-------|---------------------|----------------------|------------------------|------------------------|
| (m)   | (kNm)               | (kNm)                | (kNm)                  | (kNm)                  |
| 24    | 202,61              | 124,06               | 108,01                 | 165,34                 |
| 25    | 118,44              | 65,80                | 52,64                  | 65,80                  |
| 26    | 34,28               | 7,54                 | -2,73                  | -33,74                 |
| 27    | -49,89              | -50,72               | -58,10                 | -133,28                |
| 28    | -134,06             | -108,98              | -113,48                | -232,82                |
| 29    | -218,22             | -167,25              | -168,85                | -332,36                |
| 30    | -302,39             | -225,51              | -224,22                | -431,90                |
| 31    | -386,56             | -283,77              | -279,59                | -531,44                |
| 32    | -470,72             | -342,03              | -334,97                | -630,98                |
| 33    | -554,89             | -400,29              | -390,34                | -730,52                |
| 34    | -639,06             | -458,55              | -445,71                | -830,06                |
| 35    | -723,22             | -516,82              | -501,08                | -929,60                |
| 36    | -807,39             | -575,08              | -556,46                | -1029,14               |
| 37    | -891,56             | -633,34              | -611,83                | -1128,68               |
| 38    | -975,72             | -691,60              | -667,20                | -1228,23               |
| 39    | -1059,89            | -749,86              | -722,57                | -1327,77               |
| 40    | -1144,06            | -808,13              | -777,95                | -1427,31               |
| 41    | -1228,22            | -866,39              | -833,32                | -1526,85               |
| 42    | -1312,39            | -924,65              | -888,69                | -1626,39               |
| 43    | -1396,55            | -982,91              | -944,06                | -1725,93               |
| 44    | -1480,72            | -1041,17             | -999,44                | -1825,47               |
| 45    | -1564,89            | -1099,43             | -1054,81               | -1925,01               |
| 46    | -1649,05            | -1157,70             | -1110,18               | -2024,55               |
| 47    | -1733,22            | -1215,96             | -1165,55               | -2124,09               |
| 48    | -1817,39            | -1274,22             | -1220,93               | -2223,63               |
| 49    | -1901,55            | -1332,48             | -1276,30               | -2323,17               |
| 50    | -1985,72            | -1390,74             | -1331,67               | -2422,71               |

### 4.8.5 Prategang

#### 1. Gaya Prategang

|   |                                |   |                              |
|---|--------------------------------|---|------------------------------|
| Kuat tekan beton,   | $f_c'$                         | = | 50 MPa                       |
| Kuat tekan beton pada kondisi awal<br>(saat transfer),      | $f_{ci}'$<br>( $0,80 * f_c'$ ) | = | 40 MPa                       |
| Section properties,   | $W_a$                          | = | $0,3806 \text{ m}^3$         |
|   | $W_b$                          | = | $0,40922 \text{ m}^3$        |
|   | $A$                            | = | $0,7523 \text{ m}^2$         |
| Ditetapkan jarak titik berat tendon<br>terhadap alas balok, | $z_0$                          | = | 0,25 m                       |
| Eksentrisitas tendon,                                       | $es = y_b - z_0$               | = | $1,012 - 0,250$<br>= 0,762 m |
| Momen akibat berat sendiri balok,                           | $M_{balok}$                    | = | 5882,81 kNm                  |

Gaya prategang kondisi awal (transfer)

Tengan di serat atas,

$$-\frac{Pt}{A} + \frac{Pt * Es}{W_a} - \frac{M_{balok}}{W_a} = 0 \quad \dots\dots \text{persamaan (1)}$$

$$-\frac{Pt}{A} + \frac{Pt * Es}{W_b} - \frac{M_{balok}}{W_b} = 0,6 * f_{ci}' \quad \dots\dots \text{persamaan (2)}$$

Besarnya gaya prategang awal,

$$\begin{aligned} \text{Dari persamaan (1): } Pt &= \frac{M_{balok}}{\left(es - \frac{W_a}{A}\right)} \\ &= \frac{5882,81}{\left(0,762 - \frac{0,3806}{0,7523}\right)} \\ &= 22972,12 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Dari persamaan (2): } Pt &= \frac{(0,6 * f_{ci}' * W_b) + M_{balok}}{\frac{W_b}{A} + Es} \\ &= \frac{(0,6 * 40000 * 0,40922) + 5882,81}{\frac{0,40922}{0,7523} + 0,762} \\ &= 12024,96 \text{ kN} \end{aligned}$$

Diambil gaya prategang terkecil yaitu sebesar,  $Pt = 12024,95 \text{ kN}$

Gaya prategang kondisi akhir

Digunakan kabel yang terdiri dari beberapa kawat baja untaian "*Strands cable*" standar VSL, dengan data tersaji pada poin 2c atau tabel 4. Gaya prategang jacking:

$$P_j = \frac{Pt_1}{0,85} \quad \dots \text{persamaan (1)}$$

$$P_j = 0,80 * P_{b1} * nt \quad \dots \text{persamaan (2)}$$

Dari persamaan (1) dan (2) diperoleh jumlah tendon yang diperlukan:

$$\begin{aligned} nt &= \frac{Pt}{(0,85 * 0,80 * P_{b1})} \\ &= \frac{12024,95}{0,85 * 0,80 * 3559,1} \\ &= 4,87 \approx 5 \text{ tendon} \end{aligned}$$

Jumlah kawat untaian (*strands cable*) yang diperlukan:

$$\begin{aligned} N_s &= \frac{Pt}{(0,85 * 0,80 * P_{bs})} \\ &= \frac{12024,96}{0,85 * 0,80 * 183,6} \\ &= 96,32 \approx 98 \text{ strands} \end{aligned}$$

Rencana Awal Pembagian Strands Pada Tendon

Table 4. 45 Rencana Awal Pembagian Strands Pada Tendon

| Jumlah Tendon |     | Jumlah Strands    |              |
|---------------|-----|-------------------|--------------|
| $nt_1$        | = 3 | 18 strands/tendon | = 54 strands |
| $nt_2$        | = 1 | 22 strands/tendon | = 22 strands |
| $nt_3$        | = 1 | 22 strands/tendon | = 22 strands |
| $nt_{total}$  | = 5 |                   | = 98 strands |

Persentase tegangan leleh yang timbul pada baja (*% Jacking Force*):

$$\begin{aligned} p_o &= \frac{Pt}{(0,85 * N_s * P_{bs})} \\ &= \frac{12024,96}{0,85 * 98 * 183,6} \\ &= 0,7863 \quad = 78,63\% < 80\% \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Gaya prategang yang terjadi akibat *jacking*:

$$\begin{aligned}
 P_j &= p_o * N_s * P_{bs} \\
 &= 0,7863 * 98 * 183,6 \\
 &= 14147,74 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Diperkirakan kehilangan prategang (*loss of prestress*) = 15%

Gaya prategang akhir setelah kehilangan prategang (*loss of prestress*) sebesar 15%:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{eff}} &= 85\% * P_j \\
 &= 85\% * 14147,738 \\
 &= 12025,58 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

## 2. Pembesian Balok Prategang

a) Tulangan arah memanjang digunakan besi diameter 13 mm,

$$\begin{aligned}
 A_s &= \frac{\pi}{4} * D^2 \\
 &= \frac{\pi}{4} * 13^2 = 132,732 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

b) Pembesian bagian bawah

$$\text{Luas penampang bagian bawah, } (A_{\text{bawah}}) = 287500 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas tulangan bagian bawah, } (A_{s_{\text{bawah}}}) &= 0,5\% * A_{\text{bawah}} \\
 &= 0,5\% * 287500 \\
 &= 1437,5 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah tulangan} &= \frac{A_{s_{\text{bawah}}}}{\frac{\pi}{4} * D^2} \\
 &= \frac{1437,5}{\frac{\pi}{4} * 13^2} \\
 &= 10,83 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

maka, digunakan tulangan 12D13

c) Pembesian bagian atas

$$\text{Luas penampang bagian atas } (A_{\text{atas}}) = 208800 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas tulangan bagian atas, } (A_{s_{\text{atas}}}) &= 0,5\% * A_{\text{atas}} \\
 &= 0,5\% * 208800 \\
 &= 1044 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah tulangan} = = \frac{A_{s_{\text{atas}}}}{\frac{\pi}{4} * D^2}$$

$$= \frac{1044}{\frac{\pi}{4} * 13^2}$$

$$= 7,86 \text{ buah}$$

maka, digunakan tulangan 8D13

d) Pembesian bagian badan

$$\text{Luas penampang bagian atas } (A_{\text{badan}}) = 330000 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan bagian atas, } (A_{S_{\text{badan}}}) &= 0,5\% * A_{\text{badan}} \\ &= 0,5\% * 330000 \\ &= 1650 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan} &= \frac{A_{S_{\text{badan}}}}{\frac{\pi}{4} * D^2} \\ &= \frac{1650}{\frac{\pi}{4} * 13^2} \\ &= 12,43 \text{ buah} \end{aligned}$$

maka, digunakan tulangan 14D13

3. Posisi Tendon dan Eksentrisitas

a) Posisi tendon di tengah bentang

Diambil jarak dari alas balok ke as tendon baris ke – 1,  $a = 0,1 \text{ m}$

- Jumlah tendon baris ke – 1,  $n_{t1} = 3$  tendon 18 strands = 54 strands
- Jumlah tendon baris ke – 2,  $n_{t2} = 1$  tendon 22 strands = 22 strands
- Jumlah tendon baris ke – 3,  $n_{t3} = 1$  tendon 22 strands = 22 strands

b) Eksentrisitas

$$\begin{aligned} es &= 0,762 \\ z_o &= yb - es \\ &= 1,012 - 0,762 \\ &= 0,25 \text{ m} \end{aligned}$$

c) Momen statis tendon terhadap alas

$$\begin{aligned} ns * z_o &= n_1 * a + n_2(a + yd) + n_3 * (a + 2 * yd) \\ yd &= \frac{ns * (z_o - a)}{n_2 + (2 * n_3)} \end{aligned}$$

$$= \frac{98 \cdot (0,25 - 0,1)}{22 + (2 \cdot 22)}$$

$$= 0,223 \text{ m} \quad (\text{dipakai } y_d = 0,150 \text{ m})$$

Keterangan,

$y_d$  : jarak vertikal antara as ke as tendon

d) Diameter selubung tendon

$$d_1 = 0,090 \text{ m}$$

$$d_2 = 0,090 \text{ m}$$

Sehingga,

$$d_t = \frac{1}{2} \cdot (d_1 + d_2)$$

$$= 0,090 \text{ m}$$

Jarak bersih vertikal antara selubung tendon,

$$y_d - d_t = 0,06 \text{ m} > 0,025 \text{ m (OK)}$$

e) Posisi tendon di tumpuan

Diambil jarak dari alas balok ke as baris tendon ke - 4,  $a' = 0,35 \text{ m}$

- Jumlah tendon baris ke -1,  $n_{t1}$  = 1 tendon, 18 strands = 18 strands
- Jumlah tendon baris ke -2,  $n_{t2}$  = 1 tendon, 18 strands = 18 strands
- Jumlah tendon baris ke -3,  $n_{t3}$  = 1 tendon, 18 strands = 18 strands
- Jumlah tendon baris ke -4,  $n_{t4}$  = 1 tendon, 22 strands = 22 strands
- Jumlah tendon baris ke -5,  $n_{t5}$  = 1 tendon, 22 strands = 22 strands

$$y_e = y_b - a'$$

keterangan,

$y_e$  : Letak titik berat tendon terhadap pusat tendon terbawah

$y_b$  : Letak titik berat penampang balok terhadap alas,  $y_b = 1,012 \text{ m}$

f) Momen statis tendon terhadap pusat tendon terbawah

Perhitungan momen statis tendon terhadap pusat tendon terbawah

Table 4. 46 Jarak tendon terhadap pusat tendon terbawah

| Baris ke- | $n_i$ | $y_{d'}$         | $n_i \cdot y_{d'}$ |
|-----------|-------|------------------|--------------------|
| 1         | 18    | 0                | 0                  |
| 2         | 18    | $1 \cdot y_{d'}$ | 18                 |

|    |    |                               |     |
|----|----|-------------------------------|-----|
| 3  | 18 | $2 * yd'$                     | 36  |
| 4  | 22 | $3 * yd'$                     | 66  |
| 5  | 22 | $4 * yd'$                     | 88  |
| ns | 98 | $\frac{\Sigma ni * yd'}{yd'}$ | 208 |

$$\Sigma ni * yd' = ns * ye$$

$$ye / yd' = \frac{[\Sigma ni * yd']}{ns}$$

$$= \frac{208}{98}$$

$$= 2,122 \text{ m}$$

$$ye = yb - a'$$

$$= 1,012 - 0,35$$

$$= 0,662 \text{ m}$$

$$yd' = \frac{ye}{[\frac{ye}{yd'}]}$$

$$= \frac{0,662}{2,122}$$

$$= 0,312 \text{ m}$$

$$Zo = a' + ye = yb$$

$$= 0,35 + 0,662$$

$$= 1,012 \text{ m}$$

g) Eksentrisitas masing – masing tendon

Table 4. 47 Eksentrisitas masing – masing tendon

| Nomor Tendon | Posisi Tendon di Tumpuan<br>$x = 0,00 \text{ m}$ | $z_i'$ | Nomor Tendon | Posisi Tendon di Tengah Bentang<br>$x = 25,00 \text{ m}$ | $z_i$ | $f_i$<br>$= z_i' - z_i$ |
|--------------|--|--------|--------------|--|-------|-------------------------|
| <b>1.</b>    | $z_1' = a' + 4 * yd'$                            | 1,348  | <b>1.</b>    | $z_1' = a' + 2 * yd'$                                    | 0,724 | 0,624                   |
| <b>2.</b>    | $z_2' = a' + 3 * yd'$                            | 1,036  | <b>2.</b>    | $z_2' = a' * yd'$  | 0,412 | 0,624                   |
| <b>3.</b>    | $z_3' = a' + 2 * yd'$                            | 0,724  | <b>3.</b>    | $z_3' = a'$  | 0,10  | 0,624                   |
| <b>4.</b>    | $z_4' = a' + yd'$                                | 0,412  | <b>4.</b>    | $z_4' = a'$  | 0,10  | 0,312                   |
| <b>5.</b>    | $z_5' = a'$                                      | 0,350  | <b>5.</b>    | $z_5' = a'$  | 0,10  | 0,250                   |

h) Lintasan

- Panjang Balok,  $L = 50 \text{ m}$
- Eksentrisitas,  $es = 0,762$

i) Persamaan c

$$Y = 4 * f * x / L^2 * (L - X), \quad \text{dengan } f = es$$

Table 4. 48 Eksentrisitas masing – masing tendon

| X     | Y     | X   | Y     |
|-------|-------|-----|-------|
| (m)   | (m)   | (m) | (m)   |
| -0,25 | 0,015 |     |       |
| d0    | 0,000 |     |       |
| 1     | 0,060 | 26  | 0,761 |
| 2     | 0,117 | 27  | 0,757 |
| 3     | 0,172 | 28  | 0,751 |
| 4     | 0,224 | 29  | 0,742 |
| 5     | 0,274 | 30  | 0,732 |
| 6     | 0,322 | 31  | 0,718 |
| 7     | 0,367 | 32  | 0,702 |
| 8     | 0,410 | 33  | 0,684 |
| 9     | 0,450 | 34  | 0,663 |
| 10    | 0,488 | 35  | 0,640 |
| 11    | 0,523 | 36  | 0,614 |
| 12    | 0,556 | 37  | 0,586 |
| 13    | 0,586 | 38  | 0,556 |
| 14    | 0,614 | 39  | 0,523 |
| 15    | 0,640 | 40  | 0,488 |
| 16    | 0,663 | 41  | 0,450 |
| 17    | 0,684 | 42  | 0,410 |
| 18    | 0,702 | 43  | 0,367 |
| 19    | 0,718 | 44  | 0,322 |
| 20    | 0,732 | 45  | 0,274 |
| 21    | 0,742 | 46  | 0,224 |

| X   | Y     | X     | Y      |
|-----|-------|-------|--------|
| (m) | (m)   | (m)   | (m)    |
| 22  | 0,751 | 47    | 0,172  |
| 23  | 0,757 | 48    | 0,117  |
| 24  | 0,761 | 49    | 0,060  |
| 25  | 0,762 | 50    | 0,000  |
|     |       | +0,25 | -0,015 |

$$x_o = 0,25 \text{ m}$$

$$L/2 + x_o = 25,25 \text{ m}$$

$$e_o = 0,015 \text{ m}$$

$$es + e_o = 0,777 \text{ m}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} \alpha_{AB} &= 2 * \frac{(es+e_o)}{\frac{L}{2}+x_o} \\ &= 2 * \frac{0,777}{25,25} \\ &= 0,0615 \text{ rad} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha_{BC} &= 2 * \frac{(es+e_o)}{\frac{L}{2}+x_o} \\ &= 2 * \frac{0,777}{25,25} \\ &= 0,0615 \text{ rad} \end{aligned}$$

j) Sudut angkur

Persamaan lintasan,

$$Y = 4 * f * \frac{x}{L^2} * (L - X)$$

Untuk  $X = 0$  (posisi angkur di tumpuan), maka:

$$dY/dX = 4 * \frac{f}{L}$$

Persamaan sudut angkur,

$$\alpha = \text{Tan}^{-1} \left( \frac{dY}{dX} \right)$$

Table 4. 49 Sudut angkur

| d | Jumlah Strand | Diameter Selubung | es = fi (m) | dY/dX   | Sudut Angkur                                   |
|---|---------------|-------------------|-------------|---------|--|
| 1 | 18            |                   | 0,893       | 0,07141 | $\alpha_1 = 0,07129 \text{ rad} = 4,084^\circ$ |
| 2 | 18            | 48                | 0,792       | 0,06336 | $\alpha_2 = 0,06327 \text{ rad} = 3,625^\circ$ |
| 3 | 18            | 48                | 0,691       | 0,05530 | $\alpha_3 = 0,05525 \text{ rad} = 3,165^\circ$ |
| 4 | 22            | 48                | 0,471       | 0,03765 | $\alpha_4 = 0,03765 \text{ rad} = 2,156^\circ$ |
| 5 | 22            | 48                | 0,025       | 0,02000 | $\alpha_5 = 0,02000 \text{ rad} = 1,146^\circ$ |

k) Tata letak dan trace kabel strand

- $L = 50 \text{ m}$
- $f_o = e_s = 0,709 \text{ m}$
- $y_b = 1,012 \text{ m}$

Posisi masing – masing kabel (Z) dicari dengan rumus berikut:

$$Z_i = Z_i' - 4 * d_i * X / L^2 (L - X)$$

Dihasilkan:

$$Z_1' = 1,23 \text{ m}$$

$$Z_2' = 1,01 \text{ m}$$

$$Z_3' = 0,79 \text{ m}$$

$$Z_4' = 0,57 \text{ m}$$

$$Z_5' = 0,35 \text{ m}$$

$$\text{Trace } Z_o = y_b - 4 * f_o * \frac{X}{L} (L - X)$$

#### 4. Kehilangan Tegangan Pada Cable

a) Kehilangan Tegangan Akibat Gesekan Angkur

$$\text{Gaya prategang akibat jacking, } P_j = 14147,74 \text{ kN}$$

b) Kehilangan gaya akibat gesekan angkur diperhitungkan sebesar 3% dari gaya prategang akibat jacking,  $P_o = 97\%P_j = 13723,31 \text{ kN}$

Kehilangan Tegangan Akibat Gesekan Cable (Jack Friction) Sudut lintasan tendon tengah :

$$\alpha_{AB} = 0,0224 \text{ rad}$$

$$\alpha_{BC} = 0,0224 \text{ rad}$$

$$\text{Total} = 0,0448 \text{ rad}$$

Berdasarkan table koefisien wobble dan kelengkungan (Nawy, 2001)

$$\mu = 0,2 \text{ dan } \beta = 0,003$$

Gaya prategang akibat jacking setelah memperhitungkan kehilangan prategang akibat gesekan ankur, dengan  $P_o = 13723,31 \text{ kN}$ . Kehilangan prategang akibat gesekan kabel dihitung dengan rumus berikut:

$$P_x = P_o * e^{-\mu * (\alpha + \beta * L_x)}, e = 2,7183 \text{ (bilangan natural)}$$

$$P_x = 14062,48 \text{ kN,} \quad \text{dengan } L_x = 25,25 \text{ m}$$

$$P_x = 13849,79 \text{ kN,} \quad \text{dengan } L_x = 50,50 \text{ m}$$

c) Kehilangan tegangan akibat pemendekan elastis

Table 4. 50 Kehilangan tegangan akibat pemendekan elastis

|  |                    |               |                              |
|--|--------------------|---------------|------------------------------|
| Jarak titik berat tendon baja terhadap titik berat penampang balok | es                 |               | = 0,762 m                    |
| Momen inersi penampang balok                                       | I <sub>x</sub>     |               | = 0,41411 m <sup>4</sup>     |
| Luas penampang balok   | A                  |               | = 0,7523 m <sup>2</sup>      |
| Modulus elastis balok  | E <sub>balok</sub> |               | = 3,92 x 10 <sup>7</sup> kPa |
| Modulus elastis baja prategang                                     | E <sub>s</sub>     |               | = 1,93 x 10 <sup>7</sup> kPa |
| Jumlah total strands   | ns                 |               | = 98 buah                    |
| Luas penampang 1 strand  | A <sub>st</sub>    |               | = 98,7 mm <sup>2</sup>       |
| Beban putus satu strand  | P <sub>bs</sub>    |               | = 182,28 kN                  |
| Momen akibat berat sendiri balok girder                            | M <sub>balok</sub> |               | = 5882,81 kNm                |
| Luas penampang tendon baja prategang                               | A <sub>t</sub>     | $ns * A_{st}$ | = 0,009673 mm <sup>2</sup>   |
| Modulus rasio antara baja prategang dengan balok girder            | n                  |               | = 0,493                      |

|   |                      |  |                      |
|---|----------------------|--|----------------------|
| Jari – jari inersia penampang balok beton   | $i$                  | $\sqrt{Ix/A}$  | = 0,742 m            |
| Koefisien eksentrisitas   | $Ke$                 | $At/A * \left(1 + \frac{es^2}{i^2}\right)$                 | = 0,0128             |
| Tegangan baja prategang sebelum kehilangan prategang (tengah bentang)                             | $\sigma_{pi}$        | $ns * \frac{Pbs}{At}$                                      | = $1,79 \times 10^6$ |
| Kehilangan tegangan pada baja oleh regangan elastik dengan memperhitungkan pengaruh berat sendiri | $\Delta\sigma_{pe}'$ | $\sigma_{pi} * n * \frac{Ke}{1 + n * Ke}$                  | = 11,298 MPa         |
| Tegangan beton pada level baja oleh pengaruh gaya prategang Pt                                    | $\Delta\sigma_{pt}$  | $\frac{\Delta\sigma_{pe}'}{n} - M_{balok} * \frac{es}{Ix}$ | = 12,092 MPa         |
| Kehilangan tegangan pada baja oleh regangan elastik tanpa pengaruh berat sendiri                  | $\Delta\sigma_{pe}$  | $\frac{1}{2} * n * \Delta\sigma_{pt}$                      | = 2,98 kPa           |
| Kehilangan tegangan akibat pemendekan elastis   | $\Delta p_e$         | $\Delta\sigma_{pe} * At$                                   | = 28,825 kN          |

## d) Kehilangan tegangan akibat pengangkutan

Table 4. 51 Kehilangan tegangan akibat pengangkutan

| Uraian Perhitungan  |            | Rumus | Hasil                     |
|---|------------|-------|---------------------------|
| Panjang tarik masuk (berikisar antara 2 - 7 mm), diambil 5 mm | $\Delta L$ |       | = 0,005 m                 |
| Modulus elastisitas baja prategang                            | $E_s$      |       | = $1,93 \times 10^7$ kPa  |
| Luas penampang tendon baja prategang                          | $A_t$      |       | = 0,009673 m <sup>2</sup> |

|  |                   |  |               |
|--|-------------------|--|---------------|
| Kehilangan tegangan akibat gesekan ankur               | P <sub>o</sub>    |  | = 14406,96 kN |
| Kehilangan tegangan akibat gesekan kabel               | P <sub>x</sub>    |  | = 14062,48 kN |
| Jarak dari ujung sampai tengah bentang balok prategang | L <sub>x</sub>    |  | = 25,40 m     |
| Kemiringan diagram gaya                                | a                 | $\tan \omega = \frac{P_o - P_x}{L_x}$                | = 13,56 kNm   |
| Jarak pengaruh kritis slip ankur dari ujung            | L <sub>max</sub>  | $\sqrt{\left(\Delta L * E_s * \frac{A_t}{m}\right)}$ | = 8,76 m      |
| Kehilangan tegangan akibat ankur                       | ΔP                | $2 * L_{max} * \tan \omega$                          | = 237,56 kN   |
|  | P' <sub>max</sub> | $P_o - \Delta P / 2$                                 | = 14288 kN    |
|  | P <sub>max</sub>  | $P'_{max} - \Delta p_e$                              | = 14180 kN    |

e) Kehilangan tegangan akibat *relaxation of tendon*

i. Pengaruh Susut (*Shrinkage*)

$$\Delta \epsilon_{su} = \epsilon_b * k_b * k_e * k_p$$

dengan,

ε<sub>b</sub> : Regangan dasar susut (*basic shrinkage strain*), untuk kondisi kering udara dengan kelembaban <50%.

k<sub>b</sub> : koefisien yang tergantung pada pemakaian air semen (*water cement ratio*)

k<sub>e</sub> : koefisien yang tergantung pada tebal teoritis (em)

Berdasarkan *NAASRA Bridge Design Specification*

$$\epsilon_b = 0,0006$$

$$k_b = 0,91$$

$$k_e = 0,73$$

$$k_p = \frac{100}{(100+20*p)}, \quad p = 0,5\%$$

$$= 0,999$$

Substitusi ke perhitungan  $\Delta\epsilon_{su}$ ,

$$\Delta\epsilon_{su} = 0,0004$$

$$E_s \text{ baja prategang} = 19300000 \text{ kPa}$$

Tegangan susut,

$$\Sigma sh = \Delta\epsilon_{su} * E_s$$

$$= 7684,56 \text{ kPa}$$

ii. Pengaruh Rayapan (*Creep*)

P initial (keadaan saat transfer) di tengah bentang:

$$P_i = P_x - \Delta p_e$$

$$= 13954 \text{ kN}$$

$$\frac{P_i}{(n_s * P_{bs})} = 69,59\% \text{ UTS}$$

Berdasarkan data sebelumnya:

$$E_{girder} = 39152881,36$$

$$e_s = 0,71 \text{ m}$$

$$A = 0,75 \text{ m}^2$$

$$M_{girder} = 5994,89 \text{ kNm}$$

$$W_a = 0,38060 \text{ m}$$

$$W_b = 0,40922 \text{ m}$$

Maka tegangan beton di serat atas,

$$\Sigma_{atas} = -\frac{P_i}{A} + \frac{P_i * e_s}{W_a} - \frac{M_{balok}}{W_a}$$

$$= -8311,06 \text{ kPa}$$

Dan tegangan beton serat bawah,

$$\sigma_{bawah} = -\frac{P_i}{A} + \frac{P_i * e_s}{W_b} - \frac{M_{balok}}{W_b}$$

$$= -28070,57 \text{ kPa}$$

Regangan akibat creep,

$$\epsilon_{cr} = \left( \frac{\sigma_c}{E_{balok}} \right) * k_b * k_c * k_d * k_e * k_{tn}$$

Keterangan,

kc : koefisien yang tergantung pada kelembaban udara, untuk perhitungan diambil kondisi dengan kelembaban <50% Berdasarkan Tabel (*NAASRA Bridge Design Spesification*) diambil kc = 3,00

kd : koefisien yang tergantung pada derajat pengerasan beton saat dibebani dan pada suhu rata-rata di sekelilingnya selama pengerasan beton. Suhu rata-rata di Indonesia umumnya >20°C, maka perlu koreksi waktu pengerasan beton sebagai berikut:

- Jumlah hari terjadi pengerasan pada suhu rata-rata T,

$$t = 28 \text{ hari}$$

- Temperatur udara rata-rata,

$$T = 27,5^\circ\text{C}$$

- Umur pengerasan beton terkoreksi saat dibebani,

$$t' = t * \frac{T+10}{30}$$

$$= 35 \text{ hari}$$

Sehingga, berdasarkan Kurva (*NAASRA Bridge Design Spesification*)

$$\text{diambil kd} = 0,938$$

ktn : koefisien yang tergantung pada waktu (t) dimana pengerasan terjadi dan tebal teoritis (em). Direncanakan t = 28 hari, em = 0,2640 m.

Sehingga, berdasarkan Kurva (*NAASRA Bridge Design Spesification*)

untuk pengkategorian semen nominal tipe I, ktn = 0,20

Maka substitusi ke perhitungan regangan akibat *creep*:

$$\varepsilon_{cr} = \left( \frac{\sigma_c}{E_{girder}} \right) * kb * kc * kd * ke * ktn$$

$$= 0,00027$$

$$\sigma_{cr} = \varepsilon_{cr} * Es$$

$$= 5173,01 \text{ kPa}$$

$$\Delta\sigma_{sc} = \sigma_{cr} + \sigma_{sh}$$

$$= 12857,58 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{pi} = \frac{Pi}{At}$$

$$= 1294461,03 \text{ kPa}$$

$$X = 0, \quad \sigma_{pi} < 50\% \text{ UTS}$$

$$X = 1, \quad \sigma_{pi} = 50\% \text{ UTS}$$

$$X = 2, \quad \sigma_{pi} = 75\% \text{ UTS}$$

Karena didapatkan besar tegangan sebesar 69,59% UTS maka untuk mendapatkan nilai X dibutuhkan interpolasi linear:

$$X = X_1 + \frac{(Y - Y_1)}{(Y_2 - Y_1)} * (X_2 - X_1) \text{ dengan,}$$

$$Y = 69,59\%$$

$$Y_1 = 50 \text{ (saat } X = 1)$$

$$Y_2 = 75 \text{ (saat } X = 2)$$

$$X_1 = 1$$

$$X_2 = 2$$

Didapatkan nilai X dari perhitungan interpolasi diatas 1,78

Relaksasi setelah 1000 jam pada 70% beban putus (UTS):  $c = 2,5\%$  Maka, kehilangan gaya prategang total dapat diketahui dengan uraian perhitungan pada tabel berikut:

| No. | Uraian Perhitungan  | Hasil           |
|-----|---|-----------------|
| 1.  | $\sigma_r = X * c * (\sigma_{pi} - \Delta\sigma_{sc})$                | = 12816,035 kPa |
| 2.  | Kehilangan Tegangan Jangka Panjang = $\Delta\sigma_{sc} + \sigma_r$   | = 25673,61 kPa  |
| 3.  | $\Delta P = (\Delta\sigma_{sc} + \sigma_r) * A_t$                     | = 276,76 kN     |
| 4.  | Gaya efektif di tengah bentang balok, $P_{eff} = P_i - \Delta P$      | = 13677,53 kN   |
| 5.  | Kehilangan gaya prategang total = $(\frac{P_j P_{eff}}{P_j}) * 100\%$ | = 11,12%        |

Hasil menunjukkan kehilangan gaya prategang total berada di bawah perkiraan sebesar 15% yang sebelumnya telah ditentukan. Dengan ini, perhitungan memenuhi.

Kontrol tegangan pada tendon baja pasca tarik segera setelah penyaluran gaya prategang:

i. Tegangan ijin tendon pasca tarik,

$$= 0,70 * f_{pu}$$

$$= 1395000 \text{ kPa}$$

ii. Tegangan yang terjadi pada tendon baja pasca tarik,

$$\begin{aligned} \sigma_p &= \frac{P_{eff}}{A_t} \\ &= 1268787 \text{ kPa (OK < 70\%fpu)} \end{aligned}$$

#### 5. Rekapitulasi Terhadap Kehilangan Prategang yang Terjadi

Table 4. 52 Rekapitulasi Terhadap Kehilangan Prategang yang Terjadi

| Gaya | Besaran<br>(kN) | Penyebab Kehilangan                    | %UTS            |
|------|-----------------|--|-----------------|
| Pj   | 14852,54        | Anchorage Friction                     | 74,07%          |
| Po   | 14406,96        | Jack Friction                          | 71,85%          |
| Px   | 14062,48        | Elastic Shortening                     | 70,13%          |
| Pi   | 13954,29        | Relaxation of Tendon                   | 69,59%          |
| Peff | 13677,53        |  | 68,21%          |
|      |                 | Kehilangan Prategang Total Terjadi =   | 11,12%          |
|      |                 | Kehilangan Prategang Total Perkiraan = | 15%             |
|      |                 | Hasil =                                | <b>Memenuhi</b> |

#### 6. Tegangan pada Penampang Balok

Menurut Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan (*Bridge Design Code*), tegangan beton sesaat setelah penyaluran gaya prategang (sebelum terjadi kehilangan tegangan sebagai fungsi waktu) tidak boleh melampaui nilai berikut:

- Tegangan serat tekan terluar harus  $\leq 0.60 * f_{ci}'$ ; dengan  $f_{ci}' = 0.80 f_c'$
- Tegangan serat tarik terluar harus  $\leq 0.50 * \sqrt{f_{ci}'}$ ; dengan  $f_{ci}' = 0.80 f_c'$

Tegangan beton pada kondisi beban layan (setelah memperhitungkan semua kehilangan tegangan) tidak boleh melebihi nilai sebagai berikut:

- Tegangan serat tekan terluar akibat pengaruh prategang, beban mati, dan beban hidup  $\leq 0.45 * f_c'$
- Tegangan serat tarik terluar yang pada awalnya mengalami tekan,  $\leq 0.50 * \sqrt{f_c}'$

##### a) Keadaan Awal (Transfer)

Berdasarkan data sebelumnya:

|   |                         |
|---|-------------------------|
| Kuat tekan beton, $f_c'$                    | = 50 MPa                |
| Kuat tekan saat transfer, $f_{ci}'$         | = 40 MPa                |
| Tegangan ijin tekan, $0,6 * f_{ci}'$        | = 24 MPa                |
| Tegangan ijin Tarik, $0,5 * \sqrt{f_{ci}'}$ | = 0,1 MPa               |
| Pt  | = 12624,66 kN           |
| $M_{balok}$                                 | = 5994,89 kNm           |
| A   | = 0,7523 m <sup>2</sup> |
| es  | = 0,70884 m             |
| Wa  | = 0,38059 m             |
| Wb  | = 0,40922 m             |

Tegangan serat atas,

$$\begin{aligned}\sigma_a &= -\frac{Pt}{A} + \frac{Pt*es}{Wa} - \frac{M_{balok}}{Wa} \\ &= -\frac{12624,66}{0,7523} + \frac{12624,66*0,70884}{0,38059} - \frac{5994,89}{0,38059} \\ &= -9019,99 \text{ kN}\end{aligned}$$

Tegangan serat bawah,

$$\begin{aligned}\sigma_b &= -\frac{Pt}{A} + \frac{Pt*es}{Wb} - \frac{M_{balok}}{Wb} \\ &= -\frac{12624,66}{0,7523} + \frac{12624,66*0,70884}{0,40922} - \frac{5994,89}{0,40922} \\ &= 24000 \text{ kN}\end{aligned}$$

b) Keadaan setelah Kehilangan Prategang

Berdasarkan data sebelumnya:

|  |                         |
|--|-------------------------|
| Kuat tekan beton, $f_c'$                 | = 50000 KPa             |
| Tegangan ijin tekan, $0,45 * f_c'$       | = 22500 KPa             |
| Tegangan ijin Tarik, $0,5 * \sqrt{f_c'}$ | = 111,80 KPa            |
| $P_{eff}$                                | = 13677,53 kN           |
| $M_{balok}$                              | = 5994,89 kNm           |
| A  | = 0,7523 m <sup>2</sup> |
| es                                       | = 0,70884 m             |

$$W_a = 0,38059 \text{ m}$$

$$W_b = 0,40922 \text{ m}$$

Tegangan serat atas,

$$\begin{aligned} \sigma_a &= -\frac{P_{eff}}{A} + \frac{P_{eff} \cdot e_s}{W_a} - \frac{M_{balok}}{W_a} \\ &= -\frac{13677,53}{0,7523} + \frac{13677,53 \cdot 0,70884}{0,38059} - \frac{5994,89}{0,38059} \\ &= -8458,62 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Tegangan serat bawah,

$$\begin{aligned} \sigma_b &= -\frac{P_{eff}}{A} + \frac{P_{eff} \cdot e_s}{W_b} - \frac{M_{balok}}{W_b} \\ &= -\frac{13677,53}{0,7523} + \frac{13677,53 \cdot 0,70884}{0,40922} - \frac{5994,89}{0,40922} \\ &= 9138,61 \text{ kPa} \end{aligned}$$

c) Keadaan Setelah Pelat Selesai Dilakukan Pengecoran (Beton Muda)

Berdasarkan data sebelumnya:

$$\text{Kuat tekan beton, } f_c' = 50000 \text{ KPa}$$

$$\text{Tegangan ijin tekan, } 0,45 \cdot f_c' = 22500 \text{ KPa}$$

$$\text{Tegangan ijin Tarik, } 0,5 \cdot \sqrt{f_c'} = 111,80 \text{ KPa}$$

$$P_{eff} = 13677,53 \text{ kN}$$

$$M_{balok} = 5994,89 \text{ kNm}$$

$$A = 0,7523 \text{ m}^2$$

$$e_s = 0,70884 \text{ m}$$

$$W_a = 0,38059 \text{ m}$$

$$W_b = 0,40922$$

$$M_{plat} = 4335,94 \text{ kNm}$$

$$M_{balok} + M_{plat} = 10330,83 \text{ kNm}$$

Tegangan serat atas,

$$\begin{aligned} \sigma_a &= -\frac{P_{eff}}{A} + \frac{P_{eff} \cdot e_s}{W_a} - \frac{M_{balok} + M_{plat}}{W_a} \\ &= -\frac{13677,53}{0,7523} + \frac{13677,53 \cdot 0,70884}{0,38059} - \frac{10330,83}{0,38059} \\ &= -19851,02 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Tegangan serat bawah,

$$\begin{aligned}\sigma_b &= -\frac{P_{eff}}{A} + \frac{P_{eff} \cdot e_s}{W_b} - \frac{M_{balok} + M_{pelat}}{W_b} \\ &= -\frac{13677,53}{0,7523} + \frac{13677,53 \cdot 0,70884}{0,40922} - \frac{10330,83}{0,40922} \\ &= 19734,21 \text{ kPa}\end{aligned}$$

d) Keadaan Setelah Plat dan Balok Menjadi Komposit

Berdasarkan data sebelumnya:

|  |                          |
|--|--------------------------|
| Kuat tekan beton, $f_c'$                 | = 50000 KPa              |
| Kuat tekan plat, $f_c'$                  | = 35000 KPa              |
| Tegangan ijin beton balok, $0,45 * f_c'$ | = 22500 KPa              |
| Tegangan ijin beton plat, $0,45 * f_c'$  | = 15,75 KPa              |
| Tegangan ijin tarik, $0,5 * \sqrt{f_c'}$ | = 111,80 KPa             |
| $P_{eff}$                                | = 13677,53 kN            |
| $M_{balok}$                              | = 5994,89 kNm            |
| $A_c$                                    | = 1,14645 m <sup>2</sup> |
| $e's$                                    | = 1,13448 m              |
| $W_{ac}$                                 | = 0,84538 m              |
| $W'_{ac}$                                | = 1,27607 m              |
| $W_b$                                    | = 0,56588 m <sup>3</sup> |
| $M_{plat}$                               | = 4335,94 kNm            |
| $M_{balok} + M_{plat}$                   | = 10330,83 kNm           |

Tegangan serat atas plat,

$$\begin{aligned}\sigma_{ac} &= -\frac{P_{eff}}{A_c} + \frac{P_{eff} \cdot e's}{W_{ac}} - \frac{M_{balok} + M_{pelat}}{W_{ac}} \\ &= -\frac{13677,53}{1,14645} + \frac{13677,53 \cdot 1,13448}{0,84538} - \frac{10330,83}{0,84538} \\ &= -5794,87 \text{ kPa}\end{aligned}$$

Tegangan serat atas balok

$$\begin{aligned}\sigma'_{ac} &= -\frac{P_{eff}}{A_c} + \frac{P_{eff} \cdot e's}{W'_{ac}} - \frac{M_{balok} + M_{pelat}}{W'_{ac}} \\ &= -\frac{13677,53}{1,14645} + \frac{13677,53 \cdot 1,13448}{1,27607} - \frac{10330,83}{1,27607}\end{aligned}$$

$$= - 7866,22 \text{ kPa}$$

Tegangan serat bawah komposit,

$$\begin{aligned} \sigma_{bc} &= - \frac{P_{eff}}{Ac} + \frac{P_{eff} \cdot e'_{IS}}{Wb} - \frac{M_{balok} + M_{pelat}}{Wb} \\ &= - \frac{13677,53}{1,14645} + \frac{13677,53 \cdot 1,13448}{0,56588} - \frac{10330,83}{0,56588} \\ &= 21095,01 \text{ kPa} \end{aligned}$$

## 7. Tegangan yang Terjadi pada Balok Komposit

### a) Tegangan akibat berat sendiri (MS)

Berdasarkan data sebelumnya:

$$\text{Momen akibat berat sendiri, } M_{MS} = 12091,45 \text{ kNm}$$

$$Ac = 1,14645 \text{ m}^2$$

$$W_{ac} = 0,84528 \text{ m}^3$$

$$W'_{ac} = 1,27607 \text{ m}^3$$

$$W_{bc} = 0,56588 \text{ m}^3$$

Tegangan serat atas plat,

$$\begin{aligned} \sigma_{ac} &= - \frac{M_{MS}}{W_{ac}} \\ &= -12090,60 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Tegangan serat atas balok,

$$\begin{aligned} \sigma'_{ac} &= - \frac{M_{MS}}{W'_{ac}} \\ &= 12090,17 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Tegangan serat bawah balok,

$$\begin{aligned} \sigma_{bc} &= + \frac{M_{MS}}{W_{bc}} \\ &= 21367,55 \text{ kPa} \end{aligned}$$

### b) Tegangan akibat beban mati tambahan (MA)

Berdasarkan data sebelumnya:

$$M_{MA} = 919,219 \text{ kNm}$$

$$Ac = 1,14645 \text{ m}^2$$

$$W_{ac} = 0,84528 \text{ m}^3$$

$$W'_{ac} = 1,27607 \text{ m}^3$$

$$W_{bc} = 0,56588 \text{ m}^3$$

Tegangan serat atas plat,

$$\begin{aligned} \sigma_{ac} &= -\frac{M_{MA}}{W_{ac}} \\ &= -1087,47 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Tegangan serat atas balok,

$$\begin{aligned} \sigma'_{ac} &= -\frac{M_{MA}}{W'_{ac}} \\ &= -720,35 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Tegangan serat bawah balok,

$$\begin{aligned} \sigma_{bc} &= -\frac{M_{MA}}{W_{bc}} \\ &= 1624,41 \text{ kPa} \end{aligned}$$

## 8. Tegangan Akibat Susut dan Rangkak (SR)

### a) Tegangan Akibat Susut Beton (Shrinkage)

Gaya internal yang timbul akibat susut (menurut *NAASRA Bridge Design Specification*) dinyatakan dengan:

$$P_s = A_{plat} * E_{balok} * \Delta \epsilon_{su} * n * \frac{1 - e^{-cf}}{cf}$$

Dari data sebelumnya:

$$\begin{aligned} A_{Plat} &= B_{eff} * h_o \\ &= 0,39415 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$E_{Balok} = 3,92 \times 10^7 \text{ kPa}$$

$$e = 2,7183$$

$$\begin{aligned} n &= E_{pelat}/E_{balok} \\ &= 0,7102 \end{aligned}$$

$$k_b = 0,905$$

$$k_c = 3,00$$

$$k_d = 0,938$$

$$k_{tn} = 0,734$$

$$\begin{aligned}
 A_c &= 0,20 \\
 W_{ac} &= 0,84528 \text{ m}^3 \\
 W'_{ac} &= 1,27607 \text{ m}^3 \\
 W_{bc} &= 0,56588 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Eksentrisitas tendon

$$\begin{aligned}
 e &= y_{ac} - h_o/2 \\
 &= 0,812 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Gaya internal yang timbul akibat susut

$$\begin{aligned}
 \Delta \varepsilon_{su} &= \varepsilon_b * k_b * k_e * k_p \\
 &= 0,0004 \\
 c_f &= k_b * k_c * k_d * k_e * (1 - k_{tn}) \\
 &= 1,495 \\
 P_s &= A_{plat} * E_{balok} * \Delta \varepsilon_{su} * n * \frac{1 - e^{-c_f}}{c_f} \\
 &= 3709,59 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Tegangan akibat susut yang terjadi:

i. Tegangan beton serat atas pelat,

$$\begin{aligned}
 \sigma_{ac} &= \frac{P_s}{A_{pelat}} - \frac{P_s}{A_c} - \frac{P_s * e}{W_{ac}} \\
 &= 2610,58 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

ii. Tegangan beton serat bawah pelat,

$$\begin{aligned}
 \sigma'_{ac} &= \frac{P_s}{A_{pelat}} - \frac{P_s}{A_c} - \frac{P_s * e}{W'_{ac}} \\
 &= 3814,21 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

iii. Tegangan beton serat atas balok,

$$\begin{aligned}
 \sigma'_{ac} &= \frac{P_s}{A_c} - \frac{P_s * e}{W'_{ac}} \\
 &= -5597,42 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

iv. Tegangan beton serat bawah balok,

$$\begin{aligned}
 \Sigma_{bc} &= \frac{P_s}{A_c} - \frac{P_s * e}{W_{bc}} \\
 &= 2089,98 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

## b) Tegangan Akibat Rangka Beton (Creep)

Dari data sebelumnya:

|                        |                          |
|------------------------|--------------------------|
| $P_{eff}$              | = 11139,40 kN            |
| $M_{balok}$            | = 5994,89 kNm            |
| $M_{plat}$             | = 4335,94 kNm            |
| $M_{balok} + M_{plat}$ | = 10330,83 kNm           |
| $A_c$                  | = 1,14645 m <sup>2</sup> |
| $W_{ac}$               | = 0,84528 m <sup>3</sup> |
| $W'_{ac}$              | = 1,27607 m <sup>3</sup> |
| $W_{bc}$               | = 0,56588 m <sup>3</sup> |
| $e's$                  | = 1,13448 m              |

Residual creep (menurut NAASRA Bridge Design Specification) dinyatakan dengan persamaan :

$$\sigma_{cr} = (1 - e - cf) * (\sigma_2 - \sigma_1)$$

dengan,

- $\sigma_1$  : Tegangan pada girder setelah pelat lantai selesai dicor (beton muda)
- $\sigma_2$  : Tegangan pada girder setelah pelat lantai dan balok menjadi komposit
- $cf$  : The residual creep factor,  $cf = 1,4954$
- $e$  : Bilangan natural,  $e = 2,7183$

Table 4. 53 Tegangan Beton

| Tegangan Beton                   |                            | $\sigma_2$<br>(kPa) | $\sigma_1$<br>(kPa) | $\sigma_{cr}$<br>(kPa) |
|----------------------------------|----------------------------|---------------------|---------------------|------------------------|
| Tegangan beton serat atas plat   | $\Sigma_{ac}$              | -6987,58            |                     | -5940                  |
| Tegangan beton serat bawah plat  | $\sigma'_{ac}$             | -7908,82            |                     | -6723                  |
| Tegangan beton serat atas balok  | $\sigma''_{ac} ; \sigma_a$ | -7908,82            | -21204,29           | 11303                  |
| Tegangan beton serat bawah balok | $\sigma_{bc} ; \sigma_b$   | -13792,65           | -8857,40            | -4195                  |

Table 4. 54 Tegangan Beton

| Tegangan Beton                   |                 | Susut<br>(kPa) | Rangkak<br>(kPa) | Susut dan<br>Rangkak<br>(kPa) |
|----------------------------------|-----------------|----------------|------------------|-------------------------------|
| Tegangan beton serat atas plat   | $\sigma_{ac}$   | 2610,58        | -5940,16         | -3330                         |
| Tegangan beton serat bawah plat  | $\sigma'_{ac}$  | 3814,212       | -6723,31         | -2909                         |
| Tegangan beton serat atas balok  | $\sigma''_{ac}$ | -5597,42       | 11302,50         | 5705                          |
| Tegangan beton serat bawah balok | $\sigma_{bc}$   | 2089,98        | -4195,47         | -2105                         |

## 9. Tegangan Akibat Prategang (PR)

$$\begin{aligned}
 P_{eff} &= 11139,40 \text{ kN} \\
 M_{balok} &= 5994,89 \text{ kNm} \\
 M_{plat} &= 4335,94 \text{ kNm} \\
 M_{balok} + M_{plat} &= 10330,83 \text{ kNm} \\
 A_c &= 1,14645 \text{ m}^2 \\
 W_{ac} &= 0,84528 \text{ m}^3 \\
 W'_{ac} &= 1,27607 \text{ m}^3 \\
 W_{bc} &= 0,56588 \text{ m}^3 \\
 e's &= 1,13448 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Sehingga tegangan akibat prategang:

a. Tegangan beton serat atas pelat,

$$\begin{aligned}
 \sigma_{ac} &= -\frac{P_{eff}}{A_c} + \frac{P_{eff} \cdot e's}{W_{ac}} \\
 &= 5234,21 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

b. Tegangan beton serat atas balok,

$$\begin{aligned}
 \sigma'_{ac} &= -\frac{P_{eff}}{A_c} + \frac{P_{eff} \cdot e's}{W'_{ac}} \\
 &= 186,99 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

c. Tegangan beton serat bawah balok,

$$\sigma_{bc} = -\frac{P_{eff}}{A_c} + \frac{P_{eff} \cdot e's}{W_{bc}}$$

$$= -32048,89 \text{ kPa}$$

#### 10. Tegangan Akibat Beban Lalu Lintas

##### a) Tegangan Akibat Beban Lajur "D" (TD)

Dari data sebelumnya,

$$M_{TD} = 4717,50 \text{ kNm}$$

$$W_{ac} = 0,84528 \text{ m}^3$$

$$W'_{ac} = 1,27607 \text{ m}^3$$

$$W_{bc} = 0,56588 \text{ m}^3$$

Sehingga tegangan akibat beban lajur "D":

##### i. Tegangan beton serat atas pelat,

$$\begin{aligned} \Sigma_{ac} &= -M_{TD}/W_{ac} \\ &= 5581 \text{ kPa} \end{aligned}$$

##### ii. Tegangan beton serat atas balok,

$$\begin{aligned} \sigma'_{ac} &= -M_{TD}/W'_{ac} \\ &= -3696,90 \text{ kPa} \end{aligned}$$

##### iii. Tegangan beton serat bawah balok,

$$\begin{aligned} \sigma_{bc} &= M_{TD}/W_{bc} \\ &= 8336,59 \text{ kPa} \end{aligned}$$

##### b) Tegangan Akibat Gaya Rem (TB)

Dari data sebelumnya,

$$M_{TB} = 38,91 \text{ kNm}$$

$$W_{ac} = 0,84528 \text{ m}^3$$

$$W'_{ac} = 1,27607 \text{ m}^3$$

$$W_{bc} = 0,56588 \text{ m}^3$$

##### i. Tegangan beton serat atas pelat,

$$\begin{aligned} \Sigma_{ac} &= -M_{TB}/W_{ac} \\ &= -46,03 \text{ kPa} \end{aligned}$$

##### ii. Tegangan beton serat atas balok,

$$\begin{aligned} \sigma'_{ac} &= -M_{TB}/W'_{ac} \\ &= -30,49 \text{ kPa} \end{aligned}$$

iii. Tegangan beton serat bawah balok,

$$\begin{aligned}\sigma_{bc} &= MTB/W_{bc} \\ &= 68,75 \text{ kPa}\end{aligned}$$

11. Tegangan Akibat Beban Lingkungan

a) Tegangan Akibat Beban Angin (EW)

Dari data sebelumnya,

$$\begin{aligned}M_{EW} &= 315,00 \text{ kNm} \\ W_{ac} &= 0,84528 \text{ m}^3 \\ W'_{ac} &= 1,27607 \text{ m}^3 \\ W_{bc} &= 0,56588 \text{ m}^3\end{aligned}$$

i. Tegangan serat atas pelat,

$$\begin{aligned}\sigma_{ac} &= -M_{EW}/W_{ac} \\ &= -372,66 \text{ kPa}\end{aligned}$$

ii. Tegangan serat atas balok,

$$\begin{aligned}\sigma'_{ac} &= -M_{EW}/W'_{ac} \\ &= -246,85 \text{ kPa}\end{aligned}$$

iii. Tegangan serat bawah balok,

$$\begin{aligned}\sigma_{bc} &= +M_{EW}/W_{bc} \\ &= 556,66 \text{ kPa}\end{aligned}$$

b) Tegangan Akibat Beban Gempa (EQ)

Dari data sebelumnya,

$$\begin{aligned}M_{EQ} &= 2566,9 \text{ kNm} \\ W_{ac} &= 0,84528 \text{ m}^3 \\ W'_{ac} &= 1,27607 \text{ m}^3 \\ W_{bc} &= 0,56588 \text{ m}^3\end{aligned}$$

i. Tegangan serat atas pelat,

$$\begin{aligned}\sigma_{ac} &= -M_{EQ}/W_{ac} \\ &= -3036,74 \text{ kPa}\end{aligned}$$

ii. Tegangan serat atas balok,

$$\begin{aligned}\sigma'_{ac} &= -M_{EQ}/W'_{ac} \\ &= -2011,57 \text{ kPa}\end{aligned}$$

iii. Tegangan serat bawah balok,

$$\begin{aligned}\sigma_{bc} &= +MEQ/Wbc \\ &= 4536,12 \text{ kPa}\end{aligned}$$

c) Tegangan Akibat Pengaruh Temperatur (ET)

Gaya internal akibat perbedaan temperatur:

$$Pt = At * Ebalok * (\Delta ta + \Delta Tb)/2$$

Dari data sebelumnya,

$$\begin{aligned}\Delta T &= 15^{\circ}\text{C} \\ Ebalok &= 3,9 \times 10^7 \text{ kPa} \\ \beta &= 1,1 \times 10^{-5} /^{\circ}\text{C} \\ A_c &= 1,14645 \text{ m}^2 \\ y_{ac} &= 0,9624 \text{ m} \\ y_{bc} &= 1,4376 \text{ m} \\ W_{ac} &= 0,84528 \text{ m}^3 \\ W'_{ac} &= 1,27607 \text{ m}^3 \\ W_{bc} &= 0,56588 \text{ m}^3 \\ B_{eff} &= 1,31 \text{ m} \\ h_c &= 2,40 \text{ m} \\ h'4 &= 0,85 \text{ m}\end{aligned}$$

Keterangan,

$$\begin{aligned}b &: \text{Lebar (m)} \\ h &: \text{Tinggi (m)} \\ A &: \text{Luas Penampang (m}^2\text{)} \\ \Delta T &: \text{Rata – Rata Suhu (}^{\circ}\text{C)} \\ z_i &: \text{Panjang lengan (m)}\end{aligned}$$

Eksentrisitas

$$\begin{aligned}e_p &= \sum MPt / \sum Pt \\ &= 0,68 \text{ m}\end{aligned}$$

i. Tegangan serat atas pelat,

$$\begin{aligned}\sigma_{ac} &= - (E_{girders} * \beta * \Delta T1) - (\sum Pt / Ac) + (\sum Pt * ep / Wac) \\ &= -4222,45 \text{ kPa}\end{aligned}$$

ii. Tegangan serat atas balok,

$$\begin{aligned}\sigma'_{ac} &= - (E_{girders} * \beta * \Delta T2) - (\sum Pt / Ac) + (\sum Pt * ep / W'ac) \\ &= -2011,57 \text{ kPa}\end{aligned}$$

iii. Tegangan serat bawah balok,

$$\begin{aligned}\sigma_{bc} &= (\sum Pt / Ac) - (\sum Pt * ep / Wbc) \\ &= -1012,14 \text{ kPa}\end{aligned}$$

## 12. Kontrol Tegangan terhadap Kombinasi Pembebanan

- Kuat tekan balok,  $f_c'$  = 50000 kPa
- Kuat ijin tekan,  $-0,45 * f_c'$  = 22500 kPa
- Kuat ijin tarik,  $0,50 * \sqrt{f_c'}$  = 111,80 kPa

| Aksi/Beban                | Simbol    | Kombinasi Pembebanan |   |   |   |   |
|---------------------------|-----------|----------------------|---|---|---|---|
|                           |           | 1                    | 2 | 3 | 4 | 5 |
| <b>A. Aksi Tetap</b>      |           |                      |   |   |   |   |
| Berat Sendiri             | <b>MS</b> | ✓                    | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Beban Mati Tambahan       | <b>MA</b> | ✓                    | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Susut dan Rangkak         | <b>SR</b> | ✓                    | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Prategang                 | <b>PR</b> | ✓                    | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| <b>B. Aksi Transien</b>   |           |                      |   |   |   |   |
| Beban Lajur "D"           | <b>TD</b> | ✓                    | ✓ | ✓ | ✓ |   |
| Gaya Rem                  | <b>TB</b> | ✓                    | ✓ | ✓ | ✓ |   |
| <b>C. Aksi Lingkungan</b> |           |                      |   |   |   |   |
| Pengaruh Temperatur       | <b>ET</b> |                      | ✓ |   | ✓ |   |
| Beban Angin               | <b>EW</b> |                      |   | ✓ | ✓ |   |
| Beban Gempa               | <b>EW</b> |                      |   |   |   | ✓ |

**Kontrol Tegangan terhadap Kombinasi 1**

| <b>Teg</b>      | <b>MS</b> | <b>MA</b> | <b>SR</b> | <b>PR</b> | <b>TD</b> | <b>TB</b> | <b>ET</b> | <b>EW</b> | <b>EQ</b> | <b>Tegangan Kombinasi</b> | <b>Tegangan Izin</b> |    |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------------------|----------------------|----|
| $\sigma_{ac}$   | -12090,60 | -1087,47  | -3330     | 5234,21   | -5581,00  | -46,03    |           |           |           | -16900                    | -22500               | OK |
| $\sigma'_{ac}$  | -12090,17 | -720,35   | -2909     | 186,99    | -3696,90  | -30,49    |           |           |           | -19260                    | -22500               | OK |
| $\sigma''_{ac}$ | -12090,17 | -720,35   | 5705      | 186,99    | -3696,90  | -30,49    |           |           |           | -10646                    | -22500               | OK |
| $\sigma_{bc}$   | 21367,55  | 1624,41   | -2105     | -32048,89 | 8336,59   | 68,75     |           |           |           | -2757                     | -22500               | OK |

**Kontrol Tegangan terhadap Kombinasi 2**

| <b>Teg</b>      | <b>MS</b> | <b>MA</b> | <b>SR</b> | <b>PR</b> | <b>TD</b> | <b>TB</b> | <b>ET</b> | <b>EW</b> | <b>EQ</b> | <b>Tegangan Kombinasi</b> | <b>Tegangan Izin</b> |    |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------------------|----------------------|----|
| $\sigma_{ac}$   | -12090,60 | -1087,47  | -3330     | 5234,21   | -5581,00  | -46,03    | -4222,45  |           |           | -21123                    | -22500               | OK |
| $\sigma'_{ac}$  | -12090,17 | -720,35   | -2909     | 186,99    | -3696,90  | -30,49    | 910,44    |           |           | -18350                    | -22500               | OK |
| $\sigma''_{ac}$ | -12090,17 | -720,35   | 5705      | 186,99    | -3696,90  | -30,49    | 910,44    |           |           | -9735                     | -22500               | OK |
| $\sigma_{bc}$   | 21367,55  | 1624,41   | -2105     | -32048,89 | 8336,59   | 68,75     | -1012,14  |           |           | -3769                     | -22500               | OK |

**Kontrol Tegangan terhadap Kombinasi 3**

| <b>Teg</b>      | <b>MS</b> | <b>MA</b> | <b>SR</b> | <b>PR</b> | <b>TD</b> | <b>TB</b> | <b>ET</b> | <b>EW</b> | <b>EQ</b> | <b>Tegangan Kombinasi</b> | <b>Tegangan Izin</b> |    |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------------------|----------------------|----|
| $\sigma_{ac}$   | -12090,60 | -1087,47  | -3330     | 5234,21   | -5581,00  | -46,03    |           | -372,66   |           | -17273                    | -22500               | OK |
| $\sigma'_{ac}$  | -12090,17 | -720,35   | -2909     | 186,99    | -3696,90  | -30,49    |           | -246,85   |           | -19507                    | -22500               | OK |
| $\sigma''_{ac}$ | -12090,17 | -720,35   | 5705      | 186,99    | -3696,90  | -30,49    |           | -246,85   |           | -10893                    | -22500               | OK |
| $\sigma_{bc}$   | 21367,55  | 1624,41   | -2105     | -32048,89 | 8336,59   | 68,75     |           | 556,66    |           | -2200                     | -22500               | OK |

**Kontrol Tegangan terhadap Kombinasi 4**

| Teg             | MS        | MA       | SR    | PR        | TD       | TB     | ET       | EW      | EQ | Tegangan Kombinasi | Tegangan Izin |    |
|-----------------|-----------|----------|-------|-----------|----------|--------|----------|---------|----|--------------------|---------------|----|
| $\sigma_{ac}$   | -12090,60 | -1087,47 | -3330 | 5234,21   | -5581,00 | -46,03 | -4222,45 | -372,66 |    | -21496             | -22500        | OK |
| $\sigma'_{ac}$  | -12090,17 | -720,35  | -2909 | 186,99    | -3696,90 | -30,49 | 910,44   | -246,85 |    | -18596             | -22500        | OK |
| $\sigma''_{ac}$ | -12090,17 | -720,35  | 5705  | 186,99    | -3696,90 | -30,49 | 910,44   | -246,85 |    | -9982              | -22500        | OK |
| $\sigma_{bc}$   | 21367,55  | 1624,41  | -2105 | -32048,89 | 8336,59  | 68,75  | -1012,14 | 556,66  |    | -3212              | -22500        | OK |

**Kontrol Tegangan terhadap Kombinasi 5**

| Teg             | MS        | MA       | SR    | PR        | TD | TB | ET | EW | EQ       | Tegangan Kombinasi | Tegangan Izin |    |
|-----------------|-----------|----------|-------|-----------|----|----|----|----|----------|--------------------|---------------|----|
| $\sigma_{ac}$   | -12090,60 | -1087,47 | -3330 | 5234,21   |    |    |    |    | -3036,74 | -11274             | -22500        | OK |
| $\sigma'_{ac}$  | -12090,17 | -720,35  | -2909 | 186,99    |    |    |    |    | -2011,57 | -15533             | -22500        | OK |
| $\sigma''_{ac}$ | -12090,17 | -720,35  | 5705  | 186,99    |    |    |    |    | -2011,57 | -6919              | -22500        | OK |
| $\sigma_{bc}$   | 21367,55  | 1624,41  | -2105 | -32048,89 |    |    |    |    | -4536,12 | -11162             | -22500        | OK |

## 13. Pembesian End Block

Gaya prategang akibat *jacking* pada masing-masing kabel:

$$P_j = p_o * n_s * P_{bs}$$

| No. | Angkur Hidup |      | Angkur Mati |      | ns | Pbs    | po  | Pj      | Sudut |
|-----|--------------|------|-------------|------|----|--------|-----|---------|-------|
|     | VSL          |      | VSL         |      |    |        |     |         |       |
|     | Sc           | Dim  | P           | Dim  |    |        |     |         |       |
|     | (ton)        | (mm) | (ton)       | (mm) |    | (kN)   |     | (kN)    | (°)   |
| 1   | 22           | 265  | 19          | 250  | 22 | 182,28 | 75% | 3007,62 | 4,084 |
| 2   | 22           | 265  | 19          | 250  | 22 | 182,28 | 75% | 3007,62 | 3,625 |
| 3   | 22           | 265  | 19          | 250  | 22 | 182,28 | 75% | 3007,62 | 3,165 |
| 4   | 22           | 265  | 19          | 250  | 22 | 182,28 | 75% | 3007,62 | 2,156 |
| 5   | 22           | 265  | 19          | 250  | 22 | 182,28 | 75% | 3007,62 | 1,146 |

## a) Momen Statis Penampang Balok

Letak titik berat:

- $y_a = 1,088$  m
- $y_b = 1,012$  m

Momen Statis Luasan Bagian Atas (Sxa)

| No. | Lebar | Tinggi | Bangunan | Luas              | Lengan | Momen             |
|-----|-------|--------|----------|-------------------|--------|-------------------|
|     | b     | h      |          | A                 | y      | A*y               |
|     | (m)   | (m)    |          | (m <sup>2</sup> ) | (m)    | (m <sup>3</sup> ) |
| 1   | 0,64  | 0,07   | 1        | 0,045             | 1,053  | 0,0472            |
| 2   | 0,80  | 0,13   | 1        | 0,104             | 0,953  | 0,0991            |
| 3   | 0,30  | 0,12   | 1        | 0,036             | 0,848  | 0,0305            |
| 4   | 0,20  | 0,89   | 1        | 0,178             | 0,443  | 0,0789            |
|     |       |        |          |                   | Sxa    | 0,2557            |

Momen Statis Luasan Bagian Bawah (Sxb)

| No. | Lebar | Tinggi | Bangunan | Luas              | Lengan | Momen             |
|-----|-------|--------|----------|-------------------|--------|-------------------|
|     | b     | h      |          | A                 | y      | A*y               |
|     | (m)   | (m)    |          | (m <sup>2</sup> ) | (m)    | (m <sup>3</sup> ) |
| 4'  | 0,20  | 0,76   | 1        | 0,152             | 0,632  | 0,0961            |

| No. | Lebar | Tinggi | Bangunan | Luas  | Lengan | Momen  |
|-----|-------|--------|----------|-------|--------|--------|
| 5   | 0,25  | 0,25   | 1        | 0,063 | 0,887  | 0,0554 |
| 6   | 0,70  | 0,25   | 1        | 0,175 | 0,127  | 0,0222 |
|     |       |        |          |       | Sxb    | 0,1737 |

b) Perhitungan Sengkang untuk Busting Force

Berdasarkan data sebelumnya:

$$P_j = 3007,62 \text{ kN}$$

Rasio perbandingan lebar plat angkur untuk sengkang arah vertikal,

$$r_a = a_1/a$$

Rasio perbandingan lebar plat angkur untuk sengkang arah horizontal,

$$r_b = b_1/b$$

Bursting force untuk sengkang arah vertikal,

$$P_{bta} = 0,30 \cdot (1 - r_a) \cdot P_j$$

Bursting force untuk sengkang arah horizontal,

$$P_{btb} = 0,30 \cdot (1 - r_b) \cdot P_j$$

Luas tulangan sengkang arah vertikal yang diperlukan,

$$A_{ra} = P_{bta} / (0,85 \cdot f_s)$$

Luas tulangan sengkang arah horizontal yang diperlukan,

$$A_{rb} = P_{btb} / (0,85 \cdot f_s)$$

Tegangan leleh baja sengkang,

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$= 420000 \text{ kPa}$$

Tegangan ijin baja sengkang,

$$f_s = 0,578 \cdot f_y$$

$$= 242760 \text{ kPa}$$

Digunakan sengkang tertutup berdiameter: 2 D13

i. Luas penampang sengkang:

$$A_s = 2 \cdot \pi / 4 \cdot D^2$$

$$= 256,46 \text{ mm}^2$$

$$= 0,000265 \text{ m}^2$$

ii. Jumlah sengkang vertikal yang diperlukan:

$$n = \text{Ara/As}$$

iii. Jumlah sengkang horizontal yang diperlukan:

$$n = \text{Arb/As}$$

c) Perhitungan sengkang arah vertikal

| No. | Angkur Hidup VSL |          | Angkur Mati VSL |          | Pj (kN) | a1 (mm) | a (mm) | ra (kN) | Pbta (kN) | Ara (m <sup>2</sup> ) | Jumlah sengkang |
|-----|------------------|----------|-----------------|----------|---------|---------|--------|---------|-----------|-----------------------|-----------------|
|     | Sc (ton)         | Dim (mm) | P (ton)         | Dim (mm) |         |         |        |         |           |                       |                 |
| 1   | 19               | 265      | 19              | 265      | 3007,62 | 250     | 340    | 0,735   | 238,8     | 0,001                 | 4               |
| 2   | 19               | 265      | 19              | 265      | 3007,62 | 250     | 340    | 0,735   | 238,8     | 0,002                 | 4               |
| 3   | 19               | 265      | 19              | 265      | 3007,62 | 250     | 340    | 0,735   | 238,8     | 0,002                 | 4               |
| 4   | 19               | 265      | 19              | 265      | 3007,62 | 250     | 340    | 0,735   | 238,8     | 0,002                 | 4               |
| 5   | 19               | 265      | 19              | 265      | 3007,62 | 250     | 340    | 0,735   | 238,8     | 0,002                 | 4               |

d) Perhitungan sengkang arah horizontal

| No. | Angkur Hidup VSL |          | Angkur Mati VSL |          | Pj (kN) | b1 (mm) | b (mm) | rb (kN) | Pbtb (kN) | Arb (m <sup>2</sup> ) | Jumlah sengkang |
|-----|------------------|----------|-----------------|----------|---------|---------|--------|---------|-----------|-----------------------|-----------------|
|     | Sc (ton)         | Dim (mm) | P (ton)         | Dim (mm) |         |         |        |         |           |                       |                 |
| 1   | 19               | 265      | 19              | 265      | 3007,62 | 250     | 340    | 0,735   | 238,8     | 0,001                 | 4               |
| 2   | 19               | 265      | 19              | 265      | 3007,62 | 250     | 340    | 0,735   | 238,8     | 0,002                 | 4               |
| 3   | 19               | 265      | 19              | 265      | 3007,62 | 250     | 340    | 0,735   | 238,8     | 0,002                 | 4               |
| 4   | 19               | 265      | 19              | 265      | 3007,62 | 250     | 340    | 0,735   | 238,8     | 0,002                 | 4               |
| 5   | 19               | 265      | 19              | 265      | 3007,62 | 250     | 340    | 0,735   | 238,8     | 0,002                 | 4               |

e) Jumlah sengkang yang digunakan untuk *busting force*

| No. | Angkur Hidup VSL |          | Angkur Mati VSL |          | Jumlah sengkang |
|-----|------------------|----------|-----------------|----------|-----------------|
|     | Sc (ton)         | Dim (mm) | P (ton)         | Dim (mm) |                 |
| 1   | 19               | 265      | 19              | 265      | 6               |
| 2   | 19               | 265      | 19              | 265      | 6               |

| No. | Angkur Hidup VSL |      | Angkur Mati VSL |      | Jumlah sengkang |
|-----|------------------|------|-----------------|------|-----------------|
|     | Sc               | Dim  | P               | Dim  |                 |
|     | (ton)            | (mm) | (ton)           | (mm) |                 |
| 3   | 19               | 265  | 19              | 265  | 6               |
| 4   | 19               | 265  | 19              | 265  | 6               |
| 5   | 19               | 265  | 19              | 265  | 6               |

#### 14. Tinjauan terhadap Geser

Komponen yang diperlukan antara lain:

- $V$  = Gaya geser akibat beban
- $M$  = Momen akibat beban
- Eksentrisitas tendon ( $e$ ) =  $Y = 4 * f * (X / L2) * (L - X)$
- Sudut kemiringan tendon ( $\alpha$ ) =  $ATAN [4 * f * (L-2 * X) / L2]$
- Komponen gaya arah x ( $P_x$ ) =  $P_{eff} * \cos \alpha$
- Komponen gaya arah y ( $P_y$ ) =  $P_{eff} * \sin \alpha$
- Resultan gaya geser ( $V_r$ ) =  $V - P_y$
- Tegangan geser terjadi ( $\sigma_v$ ) =  $V_r * S_x / (b * I_x)$

Dari data sebelumnya:

|           |                          |
|-----------|--------------------------|
| $f$       | = 0,7088 m               |
| $L$       | = 50 m                   |
| $P_{eff}$ | = 11139,40 kN            |
| $b$       | = 0,30 m                 |
| $A$       | = 0,75230 m <sup>2</sup> |
| $I_x$     | = 0,41411 m <sup>4</sup> |
| $S_x$     | = 0,21470 m <sup>3</sup> |
| $W_a$     | = 0,38060 m <sup>3</sup> |
| $W_b$     | = 0,40922 m <sup>3</sup> |

Untuk tinjauan geser di atas garis netral, beberapa data ditentukan dengan cara pada tabel berikut:

| Data  | Notasi           | Rumus   |
|---|------------------|---|
| Tegangan beton di serat atas                    | $\sigma_a$       | $= - P_x/A + P_x \cdot e / W_a - M/W_a$                       |
| Sudut bidang geser serat atas                   | $\gamma_{atas}$  | $= 1/2 \cdot \text{ATAN}(2 \cdot \sigma_v / \sigma_a)$        |
| Jarak sengkang yang diperlukan pada serat atas  | $a_{atas}$       | $= \sigma_a \cdot A_t / (\sigma_v \cdot b \cdot \tan \gamma)$ |
| Tegangan beton di serat bawah                   | $\sigma_b$       | $= - P_x/A + P_x \cdot e / W_b - M/W$                         |
| Sudut bidang geser serat bawah                  | $\gamma_{bawah}$ | $= 1/2 \cdot \text{ATAN}(2 \cdot \sigma_v / \sigma_b)$        |
| Jarak sengkang yang diperlukan pada serat bawah | $a_{bawah}$      | $= \sigma_b \cdot A_t / (\sigma_v \cdot b \cdot \tan \gamma)$ |

Untuk tulangan geser digunakan sengkang berdiameter  $D = 13 \text{ mm}$ , maka luas tulangan geser,

$$A_t = \pi/4 \cdot D^2 = 132,73 \text{ mm}^2$$

#### Resume Persamaan Tinjauan Geser

| Persamaan         | Rumus   |
|-------------------|---|
| Persamaan 1       | $e = Y = 4 \cdot f \cdot (X/L^2) \cdot (L-X)$                     |
| Persamaan 2       | $\alpha = \text{ATAN} [4 \cdot f \cdot (L-2 \cdot X)/L^2]$        |
| Persamaan 3       | $P_x = P_{eff} \cdot \cos \alpha$                                 |
| Persamaan 4       | $P_y = P_{eff} \cdot \sin \alpha$                                 |
| Persamaan 5       | $V_r = V - P_y$   |
| Persamaan 6       | $\sigma_v = V_r \cdot S_x / (b \cdot I_x)$                        |
| Untuk Serat Atas  |   |
| Persamaan 7       | $\sigma_a = - P_x/A + P_x \cdot e / W_b - M/b$                    |
| Persamaan 8       | $\gamma = 1/2 \cdot \text{ATAN}(2 \cdot \sigma_v / \sigma_b)$     |
| Persamaan 9       | $a_s = \sigma_a \cdot A_t / (\sigma_v \cdot b \cdot \tan \gamma)$ |
| Untuk Serat Bawah |   |
| Persamaan 7'      | $\sigma_b = - P_x/A + P_x \cdot e / W_a - M/W_a$                  |
| Persamaan 8'      | $\gamma = 1/2 \cdot \text{ATAN}(2 \cdot \sigma_v / \sigma_a)$     |
| Persamaan 9'      | $a_b = \sigma_b \cdot A_t / (\sigma_v \cdot b \cdot \tan \gamma)$ |

- a) Tinjauan Geser di atas Garis Netral
- b) Tinjauan Geser di bawah Garis Netral

c) Jarak Sengkang yang digunakan

#### 15. Perhitungan Shear Connector

Tegangan geser horizontal akibat gaya lintang pada penampang yang ditinjau dihitung dengan rumus :

$$f_v = V_i * S_x / (b_v * I_{xc})$$

dengan,

- $V_i$  : Gaya lintang pada penampang yang ditinjau
- $S_x$  : Momen statis luasan plat terhadap titik berat penampang komposit
- $S_x$  :  $b_{eff} * h_o * (y_{ac} - h_o / 2)$
- $b_v$  : Lebar bidang gesek (lebar bidang kontak antara pelat dan balok)
- $b_{eff}$  : Lebar efektif pelat
- $h_o$  : Tebal pelat
- $I_{xc}$  : Inersia penampang balok komposit

Luas total shear connector,

$$A_{st} = n_s * A_s$$

dengan,

- $n_s$  : Jumlah shear connector
- $A_s$  : Luas satu shear connector

Jarak antara shear connector,

$$A_s = f_s * A_{st} * k_t / (f_v * b_v)$$

dengan,

- $k_f$  : Koefisien gesek pada bidang kontak (1 – 1,14)
- $f_s$  : Tegangan ijin baja shear connector,  $f_s = 0,578 * f_y$
- $f_{ci}$  : Tegangan ijin beton komposit

Jika  $f_v > 0,2 * f_{ci}$ , maka penampang harus diperbesar.

Berdasarkan data sebelumnya:

- $b_{eff}$  = 1,31 m
- $h_o$  = 0,3 m
- $b_v$  = 0,64 m

$$\begin{aligned}
 y_{ac} &= 0,9624 \text{ m} \\
 I_{xc} &= 0,81359 \text{ m}^4 \\
 f_{c'} &= 50000 \text{ kPa} \\
 f_{ci} &= 0,30 * f_{c'} \\
 &= 15000 \text{ kPa} \\
 f_{vi} &= 0,20 * f_{c'} \\
 &= 10000 \text{ kPa} \\
 f_y &= 320000 \text{ kPa} \\
 f_s &= 0,578 * f_y \\
 &= 184960 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

Untuk shear connector digunakan tulangan D13, dengan jumlah besi tulangan  $n_s =$

2. Sehingga:

$$A_s = \pi/4 * D^2 = 132,665 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} = n_s * A_s = 0,00027 \text{ m}^2$$

$$S_x = b_{eff} * h_o * (y_{ac} - h_o/2) = 0,32021 \text{ m}^3$$

## 16. Rekapitulasi Struktur Atas

### a) Plat Lantai

|                |               |
|----------------|---------------|
| h              | = 250 mm      |
| f <sub>c</sub> | = 25 MPa      |
| f <sub>y</sub> | = 400 MPa     |
| M <sub>u</sub> | = 220,158 kNm |
| M <sub>n</sub> | = 275,248 kNm |
| Tulangan       | = D19-200     |

### b) Diafragma

|                |           |
|----------------|-----------|
| f <sub>c</sub> | = 25 MPa  |
| f <sub>y</sub> | = 400 MPa |
| Ketebalan      | = 20 cm   |
| Tulangan       | = D16-150 |

## c) Gelagar

|                |   |
|----------------|---|
| Jenis Gelagar  | = PCI-Girder  |
| Ukuran Gelagar | = H-210   |
| Jumlah Tendon  | = 5   |
| Jumlah Strands | = 98 strands<br><ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>n_1 = 18</math> strands</li> <li>• <math>n_2 = 18</math> strands</li> <li>• <math>n_3 = 18</math> strands</li> <li>• <math>n_4 = 22</math> strands</li> <li>• <math>n_5 = 22</math> strands</li> </ul> |
| Ukuran Strands | = 12,7 mm (1/2")  |
| $f_c$          | = 50 MPa  |
| $f_y$          | = 400 MPa   |
| Tulangan       | = D13   |
| $\mu$          | =   |
| $M_n$          | =   |

## 4.9. Elastomer Bearing Pad

Perencanaan meliputi analisa pembebanan yang bekerja pada bearing pad yang dibagi menjadi beban vertikal dan horizontal.

a) Beban vertikal yang bekerja pada *bearing pad* yakni sebagai berikut:

| Beban          | Rumus  | q (kN)   |
|----------------|--|----------|
| Tiang Sandaran | $V_{\text{TIANG SANDARAN}} * B_{\text{BETON}}^{1/2} L$ | 191,5225 |
| Plat Lantai    | $H_{\text{PLAT}} * 0,75 * B_{\text{BETON}}^{1/2} L$    | 97,266   |
| Diafragma      | $q_{\text{DIA}} * n_{\text{DIA}}$                      | 59,220   |
| Gelagar        | $q_{\text{GELAGAR}} * B_{\text{BETON}}^{1/2} L$        | 505,444  |
| Aspal          | $H_{\text{ASPAL}} * 0,75 * B_{\text{ASPAL}}^{1/2} L$   | 17,119   |
| Air Hujan      | $H_{\text{HUJAN}} * 0,75 * B_{\text{HUJAN}}^{1/2} L$   | 7,626    |
| Lalu Lintas    | $\Sigma q_{\text{LL}}^{1/2} L$                         | 161,017  |
| Total          |  | 1056,333 |

b) Beban horizontal yang bekerja pada *bearing pad* yakni sebagai berikut:

| Beban |                         | q (kN) |
|-------|-------------------------|--------|
| Rem   | $q_{REM} * n_{GELAGAR}$ | 62,5   |
| Total |                         | 62,5   |

Direncanakan dimensi elastomer bearing pad yang digunakan sesuai dengan spesifikasi pada BMS BDM yaitu

Table 4. 55. Tabel Spesifikasi BMS BDM

| Plan Size 480 mm x 380 mm<br>Steel Plate Thickness 5 |                      |  |                                     |                                    |                                 |  |                                |   |  |
|--|----------------------|--|-------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|--|--------------------------------|---|--|
| Side Cover Thickness 10                              |                      |  |                                     |                                    |                                 |  |                                |   |  |
| Top and Bottom Cover Thickness 6                     |                      |  |                                     |                                    |                                 |  |                                |   |  |
| Number of Internal Rubber Layers                     | Height Overall<br>mm | Calc Comp Stiffness at Zero Shear<br>$10^3$ kN/m | Mean Shear Stiffness<br>$10^3$ kN/m | Calc Rotation Stiffness<br>kNm/rad | Shear Deflection Capacity<br>mm | Rated Load at Zero Rotation at Max Shear<br>kN | Rated Load at Zero Shear<br>kN | Rated Load at Max Rotation at Max Shear<br>kN | Rated Load at Max Rotation at Zero Shear<br>kN |
| <b>Internal Rubber Thickness 9</b>                   |                      |  |                                     |                                    |                                 |  |                                |   |  |
| 4  | 73                   | 1358   | 2.62                                | 5371                               | 33.6                            | 2484   | 2484                           | 1166  | 1562   |
| 6  | 101                  | 1005   | 1.91                                | 3967                               | 42.5                            | 2484   | 2484                           | 1192  | 1578   |
| 8  | 129                  | 798  | 1.50                                | 3145                               | 48.2                            | 2484   | 2484                           | 1223  | 1588   |
| 10   | 157                  | 661  | 1.23                                | 2605                               | 51.3                            | 2484   | 2484                           | 1255  | 1594   |
| <b>Internal Rubber Thickness 12</b>                  |                      |  |                                     |                                    |                                 |  |                                |   |  |
| 3  | 68                   | 976  | 2.62                                | 3620                               | 33.6                            | 2133   | 2484                           | 1004  | 1353   |
| 5  | 102                  | 641  | 1.75                                | 2358                               | 44.6                            | 2129   | 2484                           | 1012  | 1341   |
| 7  | 136                  | 477  | 1.31                                | 1748                               | 50.6                            | 2066   | 2404                           | 1036  | 1335   |
| 10   | 187                  | 344  | 0.95                                | 1260                               | 66.0                            | 1428   | 1748                           | 1018  | 1331   |
| <b>Internal Rubber Thickness 15</b>                  |                      |  |                                     |                                    |                                 |  |                                |   |  |
| 3  | 77                   | 593  | 2.21                                | 2113                               | 38.7                            | 1702   | 2434                           | 857   | 1157   |
| 5  | 117                  | 376  | 1.45                                | 1329                               | 48.9                            | 1726   | 2122                           | 869   | 1136   |
| 7  | 157                  | 275  | 1.08                                | 969                                | 58.5                            | 1321   | 1578                           | 868   | 1126   |
| 9  | 197                  | 217  | 0.86                                | 763                                | 72.0                            | 1005   | 1256                           | 848   | 1120   |

Data spesifikasi

| Parameter              | Simbol           | Rumus      | Nilai      |
|------------------------|------------------|------------|------------|
| Kekerasan karet        | IHRD             |            | = 53       |
| Modulus Geser          | G                |            | = 0,69 MPa |
| p bearing pad          | B                |            | = 2000 mm  |
| l bearing pad          | b                |            | = 480 mm   |
| h bearing pad          | d                |            | = 380 mm   |
| h selimut sisi         | hc               |            | = 10 mm    |
| h selimut sisi efektif | hc <sub>ef</sub> | $1,4 * hc$ | = 14 mm    |
| h selimut atas bawah   | htb              |            | = 6 mm     |
| n Karet                | nr               |            | = 3 buah   |
| h lapis dalam karet    | hi               |            | = 36 mm    |

| Parameter                   | Simbol   | Rumus   | Nilai                    |
|-----------------------------|----------|---------|--------------------------|
| h lapis dalam karet efektif | $h_{ef}$ |         | = 36 mm                  |
| h plat baja                 | hp       |         | = 5 mm                   |
| n plat baja                 | np       |         | = 4 buah                 |
| h total                     | h        |         | = 68 mm                  |
| Luas total                  | A        | $b * d$ | = 182400 mm <sup>2</sup> |

Pemeriksaan dimensi elastomer bearing pad yang dipilih terhadap pemeriksaan kontrol yang telah ditetapkan pada BMS BDM pasal 7.1.1 sebagai berikut:

a) Pemeriksaan *Elastomeric Bearing Pad* terhadap Luas Efektif Maksimum

$$\begin{aligned}\delta &= \frac{qH * h}{A * G} \\ &= \frac{62500 * 68}{182400 * 0,69} \\ &= 0,034\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{eff} &= A * \left(1 - \frac{\delta}{b} - \frac{\delta}{d}\right) \\ &= 182400 * \left(1 - \frac{0,034}{0,48} - \frac{0,034}{0,38}\right) \\ &= 182370,959\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{A_{eff}}{0,8A} &\geq 1 \\ \frac{182370,959}{0,8 * 182400} &\geq 1 \\ 1,250 &\geq 1\end{aligned}$$

b) Pemeriksaan *Elastomeric Bearing Pad* terhadap Bentuk

$$\begin{aligned}S &= \frac{b * d}{2 * (b + d) * h_{cef}} \\ &= \frac{480 * 380}{2 * (480 + 380) * 14} \\ &= 7,575\end{aligned}$$

Syarat  $4 \leq S \leq 12$ , maka nilai  $S = 7,575$  memenuhi syarat

c) Pemeriksaan *Elastomeric Bearing Pad* terhadap Regangan Total Maksimum

Tabel Syarat Ketebalan Maksimum dan Minimum (SNI 3976 2013)

| Uraian                              | Dimensi (mm) |
|-------------------------------------|--------------|
| Dimensi vertikal keseluruhan:       |              |
| Tebal 32 mm atau kurang             | -0, +3       |
| Tebal lebih dari 32 mm              | -0, +6       |
| Dimensi horizontal keseluruhan:     |              |
| Untuk pengukuran 914 mm atau kurang | -0, +6       |
| Untuk pengukuran lebih dari 914 mm  | -0, +12      |

$$\alpha = \frac{H_{max} - H_{min}}{b}$$

$$= \frac{6 - 0}{480}$$

$$= 0,013 \text{ rad}$$

$$\epsilon_{SR} = \frac{(\alpha * b^2) + (\alpha * d^2)}{2 * h_i * h}$$

$$= \frac{(0,013 * 480^2) + (0,013 * 380^2)}{2 * 36 * 68}$$

$$= 0,957$$

$$\epsilon_{SC} = \frac{6 * S * V}{3 * A_{eff} * G * (1 + 2S^2)}$$

$$= \frac{6 * 7,575 * 1056332,782}{3 * 182370,959 * 0,69 * (1 + 2 * 7,575^2)}$$

$$= 1,099$$

$$\epsilon_{SH} = \frac{2 * A_{eff}}{A} - 1,1 \text{ (untuk } A > A_{eff} > 0,8A \text{ menurut BMS BDM)}$$

$$= \frac{2 * 1822370,959}{182400} - 1,1$$

$$= 0,9$$

$$\epsilon_{\text{total}} = \epsilon_{SR} + \epsilon_{SC} + \epsilon_{SH}$$

$$= 0,957 + 1,099 + 0,9$$

$$= 2,955$$

$$\epsilon_{\text{total}} \leq 2,6\sqrt{G}$$

$$2,955 \leq 2,6\sqrt{0,69}$$

$$2,955 \leq 3,130 \text{ (OK)}$$

d) Pemeriksaan Elastomeric Bearing Pad terhadap Batas Leleh

$$V = 1056,333 \text{ kN}$$

$$V_{LL} = 161,017 \text{ kN}$$

$$\frac{1,4*V}{\epsilon_{SC}*V_{LL}} * \sqrt{\frac{0,69}{G}} \geq 1$$

$$\frac{1,4*1056,333}{1,099*161,017} * \sqrt{\frac{0,69}{G}} \geq 1$$

$$8,360 \geq 1 \quad (\text{OK})$$

e) Pemeriksaan Elastomeric Bearing Pad terhadap Tegangan Maksimum Rata Rata

$$\frac{15*A}{V} \geq 1$$

$$\frac{15*182400}{1056332,782} \geq 1$$

$$2,590 \geq 1 \quad (\text{OK})$$

f) Pemeriksaan Elastomeric Bearing Pad terhadap Perputaran Maksimum

$$\begin{aligned} EH &= A * G * \frac{1}{\frac{b}{d} + \frac{d}{b}} \\ &= 182400 * 0,69 * \frac{1}{\frac{480}{380} + \frac{380}{480}} \\ &= 99359,551 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C &= 4 + \frac{b}{d} * 6 * \frac{3,3*b}{d} \\ &= 4 + \frac{480}{380} * 6 * \frac{3,3*480}{380} \\ &= 35,592 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E &= EH + \frac{C*G*S^2}{1 + \frac{C*G*S^2}{0,75d}} \\ &= 99359,551 + \frac{35,592*0,69*7,575^2}{1 + \frac{35,592*0,69*7,575^2}{0,75*380}} \\ &= 125855,515 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dc &= hief * \frac{V*10^3}{E*A} \\ &= 36 * \frac{1056332,782*10^3}{125855,51*1882400} \\ &= 1,657 \end{aligned}$$

Cek Syarat:

$$\frac{(\alpha*b)+(\alpha*d)}{4*dc} \geq 1$$

$$\frac{(0,013*480)+(0,013*380)}{4*1,657} \geq 1$$

$$1,622 \geq 1$$

g) Pemeriksaan Elastomeric Bearing Pad terhadap Stabilitas Tekan

$$\frac{2*d*G*S*Aeff}{1000*V} \geq 1$$

$$\frac{2*380*0,69*7,575*182370,959}{1000*1056332,782} \geq 1$$

$$818,718 \geq 1 \quad (\text{OK})$$

h) Pemeriksaan Elastomeric Bearing Pad terhadap Tebal Plat Baja Minimum

$$\frac{hp}{3} \geq 1$$

$$\frac{5}{3} \geq 1$$

$$1,667 \geq 1 \quad (\text{OK})$$

$$\frac{hp*A*fy \text{ plat baja}}{3000*V*hi} \geq 1$$

$$\frac{5*182400*950}{3000*1056332,782*36} \geq 1$$

$$7,594 \geq 1 \quad (\text{OK})$$

i) Pemeriksaan Tahanan Gesek Elastomeric Bearing Pad terhadap Geseran

$$\frac{0,1*V+(3000+Aeff)}{H} \geq 1$$

$$\frac{0,1*1056332,782+(3000+182370,959)}{62500} \geq 1$$

$$8756,89 \geq 1 \quad (\text{OK})$$

## 4.10. Abutment

### 4.10.1 Parameter

Diperhitungkan:

Table 4. 56 Preliminary Abutment

|                            |                     |   |       |   |
|----------------------------|---------------------|---|-------|---|
| 1. Lebar area lalu lintas, | $b_{\text{lalin}}$  | = | 13,00 | m |
| 2. Lebar area pedestrian,  | $b_{\text{pedest}}$ | = | 1,20  | m |

|   |                     |   |       |   |
|---|---------------------|---|-------|---|
| 3. Lebar total jembatan,                      | b                   | = | 10,60 | m |
| 4. Lebar pelat lantai jembatan,               | t <sub>slab</sub>   | = | 0,25  | m |
| 5. Tebal lapisan aspal dan overlay,           | t <sub>a</sub>      | = | 0,05  | m |
| 6. Tinggi genangan air rencana,               | h <sub>w</sub>      | = | 0,05  | m |
| 7. Tinggi balok prategang,                    | h <sub>girder</sub> | = | 2,10  | m |
| 8. Tinggi bidang struktur samping,            | h <sub>a</sub>      | = |       | m |
| 9. Jarak antara balok prategang,              | s                   | = | 1,85  | m |
| 10. Panjang bentang jembatan tumpuan-tumpuan, | L                   | = | 50,00 | m |
| 11. Panjang bentang balok prategang aktual,   | L <sub>a</sub>      | = |       | m |
| 12. Panjang bentang pelat lantai aktual,      | L <sub>slab</sub>   | = |       | m |

### 1. Parameter Material Rencana

#### a) Material Beton,

Digunakan mutu beton dengan kuat tekan rencana sebesar 35 MPa pada pelat abutment. Parameter lainnya yang digunakan adalah sebagai berikut:

Table 4. 57 Parameter Material Beton Abutment

| No. | Parameter                          | Notasi | Rumus                    | Hasil          | Satuan |
|-----|------------------------------------|--------|--------------------------|----------------|--------|
| 1.  | Kuat tekan beton rencana           | f'c    |                          | 35             | MPa    |
| 2.  | Modulus elastis                    | Ec     | $4700 * \sqrt{f'c}$      | 27805,6        | MPa    |
| 3.  | Angka poisson                      | u      |                          | 0,20           | MPa    |
| 4.  | Modulus geser                      | G      | $\frac{Ec}{2 * (1 + u)}$ | 12089,4        | MPa    |
| 5.  | Koefisien muai panjang untuk beton | a      |                          | $10 * 10^{-6}$ | /°C    |

#### b) Material Baja,

Material baja yang khususnya digunakan pada perencanaan penulangan abutment digunakan sepenuhnya kelas baja tulangan 420B dengan parameter lainnya sebagai berikut:

Table 4. 58 Parameter Material Baja Abutment

| No. | Parameter                              | Notasi    | Hasil       | Satuan |
|-----|--|-----------|-------------|--------|
| 1.  | Kuat leleh baja                        | $f_y$     | 420         | MPa    |
| 2.  | Kuat tarik maksimum                    | $f_u$     | 540         | MPa    |
| 3.  | Perbandingan $f_u/f_y$                 | $f_u/f_y$ | 1,25        |        |
| 4.  | Renggangan luluh ( <i>elongation</i> ) | G         | $\geq 10\%$ |        |
| 5.  | Modulus elastisitas                    | E         | 200000      | MPa    |

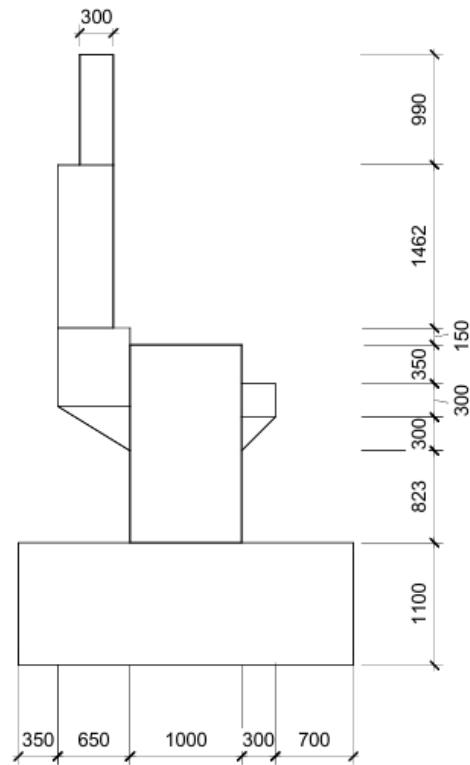
## c) Berat Jenis,

Berikut adalah parameter berat jenis terhadap material yang ada atau digunakan pada perencanaan abutment:

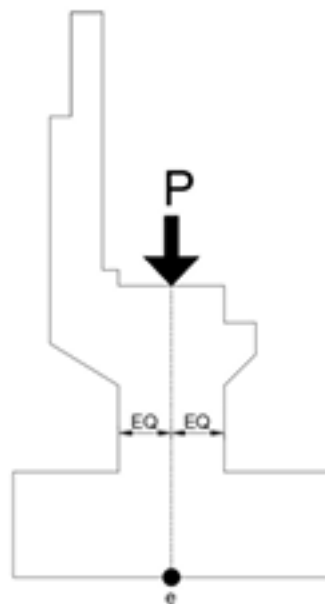
Table 4. 59 Parameter Berat Jenis Material Abutment

| No. | Berat Jenis Material  | Notasi                  | Hasil | Satuan          |
|-----|-----------------------|-------------------------|-------|-----------------|
| 1.  | Berat beton bertulang | $\gamma_{\text{beton}}$ | 25    | $\text{kN/m}^3$ |
| 2.  | Beton aspal           | $\gamma_{\text{aspal}}$ | 22    | $\text{kN/m}^3$ |
| 3.  | Berat jenis air       | $\gamma_{\text{air}}$   | 9,8   | $\text{kN/m}^3$ |
| 4.  | Berat baja            | $\rho_{\text{baja}}$    | 78,5  | $\text{kN/m}^3$ |
| 5.  | Berat isi tanah       | $\gamma_{\text{tanah}}$ | 17    | $\text{kN/m}^3$ |

2. Detail Data *Preliminary Design* dan Dimensi *Abutment*

a) *Footing dan Badan Abutment,*

Gambar 4. 14 Desain Abutment

b) *Wing Wall Abutment dan Material Pengisi/ Backfill pada Abutment,*3. Design Eksentrisitas *Abutment*

Gambar 4. 15 Eksentrisitas Abutment

#### 4.10.2 Analisa Pembebanan Berat Sendiri

4. Analisa Beban Kerja Berat Sendiri (MS) pada *Abutment*

a) Berat sendiri struktur atas,

Table 4. 60 Analisa Berat Sendiri *Abutment*

| No.   | Jenis             |                | Volume |       |        |    | Berat Jenis           | Berat    |
|---|-------------------|----------------|--------|-------|--------|----|-----------------------|----------|
|   |                   |                | b (m)  | t (m) | La (m) | n  | (kN/m <sup>3</sup> )  | (kN)     |
| 1.  | Pelat Lantai      | (cast in situ) | 13,00  | 0,25  | 50,00  | 1  | 24                    | 3900,000 |
| 2.  | Deck Slab         | (cast in situ) | 1,21   | 0,07  | 50,00  | 9  | 24                    | 914,760  |
| 3.  | Girder            | (precast)      |        |       | 50,00  | 7  | 19,19                 | 6716,500 |
| 4.  | Diafragma Tumpuan | (cast in situ) | 1,25   |       |        | 18 | 19,00                 | 427,500  |
| 5.  | Diafragma Bentang | (cast in situ) | 1,25   |       |        | 63 | 8,25                  | 649,688  |
| Total berat sendiri struktur atas <i>precast</i>      |                   |                |        |       |        |    | $W_{MS PRECAST}$      | 6716,500 |
| Total berat sendiri struktur atas <i>cast in situ</i> |                   |                |        |       |        |    | $W_{MS CAST IN SITU}$ | 5891,448 |

b) Beban yang diterima 1 *Abutment*,

$$P_{MS PRECAST} = \frac{W_{MS PRECAST}}{2}$$

$$= 3358,250 \text{ kN}$$

$$P_{MS CAST IN SITU} = \frac{W_{MS CAST IN SITU}}{2}$$

$$= 2945,724 \text{ kN}$$

c) Eksentrisitas tumpuan terhadap pondasi,

$$e = 0,00 \text{ m}$$

d) Momen yang timbul pada pondasi akibat berat sendiri struktur atas,

$$M_{MS PRECAST} = P_{MS PRECAST} * e$$

$$= 0,00 \text{ kNm}$$

$$M_{MS SITU} = P_{MS SITU} * e$$

$$= 0,00 \text{ kNm}$$

5. Analisa Beban Berat Sendiri (MS) Struktur Bawah

a) *Abutment (cast in situ)*,

Table 4. 61 Analisa Berat Sendiri Abutment

| No.                                 | Parameter Bagian |          |       |       | Berat                               | Lengan | Momen   |
|-------------------------------------|------------------|----------|-------|-------|-------------------------------------|--------|---------|
|                                     | b<br>(m)         | t<br>(m) | Shape | Direc | (kN)                                | (m)    | (kNm)   |
| 1.                                  | 0,30             | 0,99     | 1     | -1,00 | 143,30                              | 0,800  | -114,64 |
| 2.                                  | 0,50             | 1,46     | 1     | -1,00 | 352,71                              | 0,900  | -317,44 |
| 3.                                  | 0,65             | 0,70     | 1     | -1,00 | 219,54                              | 0,825  | -181,12 |
| 4.                                  | 0,65             | 0,40     | 0,5   | -1,00 | 62,73                               | 0,717  | -44,95  |
| 5.                                  | 0,30             | 0,30     | 1     | 1,00  | 43,43                               | 0,650  | 28,23   |
| 6.                                  | 0,30             | 0,30     | 0,5   | 1,00  | 21,71                               | 0,600  | 13,13   |
| 7.                                  | 1,00             | 2,77     | 1     | -1,00 | 1337,97                             | 0,000  | 0,00    |
| 8.                                  | 1,00             | 1,00     | 1     | -1,00 | 482,50                              | 1,000  | -482,50 |
| 9.                                  | 1,00             | 1,00     | 1     | 1,00  | 482,50                              | 1,000  | 482,50  |
| 10.                                 | 1,00             | 0,35     | 1     | -1,00 | 168,88                              | 0,000  |         |
| $P_{MS \text{ abutment}} = 3315,26$ |                  |          |       |       | $M_{MS \text{ abutment}} = -616,90$ |        |         |

Hasil:

$$P_{MS \text{ pada Abutment}} = 3315,26 \text{ kN}$$

$$M_{MS \text{ pada Abutment}} = -616,90 \text{ kNm}$$

b) *Wing Wall (cast in situ)*,

Table 4. 62 Analisa Berat Sendiri Wing Wall

| No. | Parameter Bagian |          |       |       | Berat  | Lengan | Momen    |
|-----|------------------|----------|-------|-------|--------|--------|----------|
|     | b<br>(m)         | t<br>(m) | Shape | Direc | (kN)   | (m)    | (kNm)    |
| 11. | 5,10             | 0,693    | 1,00  | -1,00 | 105,95 | 3,500  | -530,15  |
| 12. | 4,90             | 2,562    | 1,00  | -1,00 | 376,61 | 3,600  | -1355,81 |
| 13. | 0,65             | 0,300    | 0,50  | -1,00 | 5,85   | 0,933  | -5,46    |

|     |      |       |      |                      |        |                      |          |
|-----|------|-------|------|----------------------|--------|----------------------|----------|
| 14. | 4,55 | 0,823 | 0,50 | -1,00                | 112,34 | 4,533                | -509,27  |
| 15. | 1,00 | 0,823 | 1,00 | -1,00                | 24,69  | 1,000                | -24,69   |
|     |      |       |      | P <sub>MS</sub> Wall | 670,97 | M <sub>MS</sub> Wall | -2425,40 |

Hasil:

P<sub>MS</sub> pada *Wingwall* = 670,97 kN

M<sub>MS</sub> pada *Wingwall* = -2425,40 kNm

c) Tanah Pengisi *Abutment/Backfill*,

Table 4. 63 Analisa Berat Sendiri Back Wall

| No. | Parameter Bagian |          |       |                            | Berat<br>(kN) | Lengan<br>(m)              | Momen<br>(kNm) |
|-----|------------------|----------|-------|----------------------------|---------------|----------------------------|----------------|
|     | b<br>(m)         | t<br>(m) | Shape | Direc                      |               |                            |                |
| 16. | 0,55             | 0,990    | 1     | -1,00                      | 167,54        | 1,225                      | -205,24        |
| 17. | 0,35             | 3,385    | 1     | -1,00                      | 364,55        | 1,325                      | -483,03        |
| 18. | 0,65             | 0,400    | 0,5   | -1,00                      | 40,00         | 0,933                      | -37,33         |
| 19. | 0,65             | 0,823    | 1     | -1,00                      | 164,60        | 0,825                      | -165,80        |
|     |                  |          |       | P <sub>MS</sub><br>Tanah = | 736,70        | M <sub>MS</sub><br>Tanah = | -861,40        |

Hasil:

P<sub>MS</sub> pada *Backfill* = 736,70 kN

M<sub>MS</sub> pada *Backfill* = -861,40 kNm

Rekapitulasi Beban Akibat Beban Sendiri (MS) Struktur Atas dan Struktur Bawah

Table 4. 64 Rekapitulasi Analisa Beban Akibat Berat Sendiri Abutment

| No. | Berat Sendiri  | P <sub>MS</sub> (kN) | M <sub>MS</sub> (kN) |
|-----|----------------|----------------------|----------------------|
| 1   | Struktur Atas  |                      |                      |
|     | - Precast      | 4874,26              | 0,00                 |
|     | - Cast In Situ | 4816,57              | 0,00                 |
| 2   | Struktur Bawah |                      |                      |
|     | - Abutment     | 3315,26              | -616,90              |
|     | - Wingwall     | 670,97               | -2425,40             |

|  |                      |         |          |
|--|----------------------|---------|----------|
|  | - Backfill           | 736,70  | -861,40  |
|  | Total precast =      | 4874,26 | 0,00     |
|  | Total cast in situ = | 9539,50 | -3903,70 |

#### 4.10.3 Analisa Beban Mati Tambahan (MA) pada *Abutment*

Table 4. 65 Analisa Beban Mati Tambahan *Abutment*

| Jenis                   | Parameter Volume |       |       |   | Berat | Satuan            | Berat (kN) |
|-------------------------|------------------|-------|-------|---|-------|-------------------|------------|
|                         | b (m)            | t (m) | L (m) | n |       |                   |            |
| Lapis Aspal dan Overlay | 10,50            | 0,05  | 50,00 | 1 | 22,00 | kN/m <sup>3</sup> | 577,50     |
| Genangan Air Hujan      | 13,00            | 0,05  | 50,00 | 1 | 9,80  | kN/m              | 318,50     |
| Parapet                 |                  |       | 50,00 | 2 | 6,75  | kN/m              | 675,00     |
| Railing                 |                  |       | 50,00 | 2 | 0,86  | kN/m              | 86,00      |
|                         |                  |       |       |   |       | $W_{MA} =$        | 1657,00    |

a) Beban yang diterima pada 1 *abutment*,

$$\begin{aligned}
 P_{MA} &= W_{MA}/2 \\
 &= 1657/2 \\
 &= 828,50 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

b) Eksentrisitas tumpuan terhadap pondasi,

$$e = 0,00 \text{ m}$$

c) Momen yang timbul pada pondasi akibat beban mati tambahan,

$$\begin{aligned}
 M_{MA} &= P_{MA} * e \\
 &= 828,50 * 0 \\
 &= 0 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Analisa Tekanan Tanah pada *Abutment*, Evaluasi Penggunaan Tanah Eksisting Sebagai *Backfill Abutment*

Table 4. 66 Analisa Tekanan Tanah Pada Abutment

| Komponen Tekanan          | Notasi            | Rumus                         | Titik Kerja Momen |
|---------------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------|
| Berat Sendiri Tanah       | (T <sub>r</sub> ) | $\frac{\gamma}{2} * H^2 * Ka$ | $\frac{H}{3}$     |
| Kohesi Tanah              | (T <sub>c</sub> ) | $-2 * c * \sqrt{Ka * H}$      | $\frac{H}{2}$     |
| Beban Luar Dari Permukaan | (T <sub>q</sub> ) | $q * Ka * H$                  | $\frac{H}{2}$     |

## a) Parameter/data tanah eksisting

Berat volume ( $\gamma_s$  eksisting) = 18,00 kN/m<sup>3</sup>

Sudut geser ( $\phi$ ) = 18,00°

Kohesi (c) = 50,00 kPa

## b) Perencanaan desain

Tinggi Abutment (H) = 5,375 m

Tinggi *Bottom Level* Pelat Injak ke Perkerasan (H<sub>q</sub>) = 4,26 m

c) Detail perencanaan desain *bottom level* pelat injak ke perkerasan

Lebar Bidang Kontak Roda Truk (B<sub>KR</sub>) = 500 mm

Tebal Lapis AC-WC = 40 mm

Tebal AC-BC = 60 mm

Tebal AC Base = 170 mm

Tebal Agregat Kelas A = 172,5 mm

Total Tebal Lapis Atas Pelat Injak = 442,5 mm

Tebal Pelat Injak = 300 mm

Sehingga, lebar bidang kontak roda truk (b')

=  $b_{kr} + 442,5$

= 942,5 mm

## d) Analisa beban dan gaya

Lebar kendaraan truk (SNI 1725:2016) = 9 hingga 14 m

= diasumsikan 12 m

Berdasarkan perhitungan pelat lantai sebelumnya, ban truk total (terfaktor FBD)

= 157,5 kN

Sehingga, koefisien Tekanan Aktif *Rankine* (K<sub>a</sub>):

$$K_a = \tan^2 \left( 45 - \frac{\theta}{2} \right)$$

$$= 0,53 \text{ rad}$$

- i. Tekanan akibat berat tanah

$$T_\gamma = \frac{1}{2} * \gamma * H^2 * K_a$$

$$= 137,81 \text{ kN/m}$$

- ii. Tekanan akibat kohesi tanah

$$T_c = -2 * c * \sqrt{K_a} * H$$

$$= -391,31 \text{ kN/m}$$

- iii. Tekanan akibat beban luar (truk)

$$T_q = q * K_a * H_q$$

dengan,

$$q = \frac{\text{Beban truk total}}{A}$$

$$= \frac{\text{Beban truk total}}{B_{kr} * b'}$$

$$= 13,125 \text{ kPa}$$

Seubstitusi q ke rumus tekanan akibat beban luar

$$T_q = 29,633 \text{ kN/m}$$

- e) Perhitungan dan akumulasi tekanan

Dengan:

Panjang bersih ruang backfill *abutment*,  $B_a = 18,10 \text{ m}$

Tekanan aktif tanah sepanjang *abutment* (TTA) =  $T * B_a$

Table 4. 67 Akumulasi Tekanan

| No. | Uraian Tekanan              | Notasi     | T (kN/m) | TTA (kN) | Titik Kerja Momen | y   | MTA (kNm)        |
|-----|-----------------------------|------------|----------|----------|-------------------|-----|------------------|
| 1.  | Tekanan akibat berat tanah  | $T_\gamma$ | 137,8    | 2494,3   | $y = \frac{H}{2}$ | 2,7 | 6703,5           |
| 2.  | Tekanan akibat kohesi tanah | $T_c$      | 391,3    | 7082,6   | $y = \frac{H}{3}$ | 1,8 | -<br>12689,7     |
| 3.  | Tekanan beban luar (truk)   | $T_q$      | 29,6     | 429,1    | $y = \frac{H}{4}$ | 1,8 | 768,8            |
|     |                             |            | Total =  | - 4159,2 |                   |     | Total = - 5217,4 |

|                 |        |                |
|-----------------|--------|----------------|
| <b>Direct</b> = | -1,00  |                |
| Total =         | 4159,2 | Total = 5217,4 |

Analisa Tekanan Tanah pada Abutment dengan Penggunaan Tanah Timbunan  
Sebagai *Backfill*

|   |   |
|---|---|
| Tinggi abutment (H)   | = 5,38 m                                |
| Tinggi <i>back wall</i> atas                                  | = h1                                    |
| Tinggi <i>back wall</i> bawah                                 | = h2                                    |
| Tinggi <i>breast wall</i>                                     | = h7                                    |
| Tinggi <i>pilecap</i>   | = h8                                    |
| Lebar timbunan tanah (By')                                    | = 11,80 m                               |
| Berat volume tanah ( $\gamma_s$ <i>granular</i> )             | = 17,00 kN/m <sup>3</sup>               |
| Sudut gesek dalam ( $\varphi$ )                               | = 35,00°                                |
| Sudut gesek antara urugan dan dinding ( $\delta$ )            | = 25,00°                                |
| Sudut pada urugan ( $\beta$ )                                 | = 0,00°                                 |
| Sudut <i>back wall</i> terhadap garis horizontal ( $\theta$ ) | = 90,00°                                |
| Faktor pengurangan kekuatan ( $K\varphi R$ )                  | = 0,7                                   |
| Sudut gesek efektif tanah,                                    |   |
| $\varphi'f$   | = $\tan^{-1}(K\varphi R * \tan\varphi)$ |
|   | = $\tan^{-1}(0,7 * \tan 35^\circ)$      |
|   | = 26,11°                                |

Koefiesin tekanan tanah aktif metode Mononobe Okabe,

$$K_{AE} = \frac{\sin^2(\theta + \varphi'f)}{\Gamma \sin^2 \theta \sin(\theta + \delta)}$$

dengan,

$$\begin{aligned} \Gamma &= \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi'f + \delta) \sin(\varphi'f - \beta)}{\sin(\theta - \delta) \sin(\theta + \beta)}} \right] \\ &= \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(26,11^\circ + 25^\circ) \sin(26,11^\circ - 0^\circ)}{\sin(90^\circ - 25^\circ) \sin(90^\circ + 0^\circ)}} \right] \\ &= 1,61 \end{aligned}$$

$$K_a = \frac{\sin^2(\theta + \varphi'f)}{\Gamma \sin^2 \theta \sin(\theta + \delta)}$$

$$= \frac{\sin^2(90^\circ + 26,11^\circ)}{\Gamma \sin^2 90^\circ \sin(90^\circ + 0^\circ)}$$

$$= 0,553$$

a) Analisa Gaya Tekanan Tanah yang Terjadi:

i. Gaya tekanan tanah aktif akibat beban tambahan ( $T_{TA1}$ )

$$T_{TA1} = 0,7 * \gamma_s \text{ gran} * K_a * B y' * H$$

$$= 0,7 * 17 * 0,553 * 12,80 * H$$

$$= 84,233 * H$$

ii. Gaya tekanan tanah aktif akibat timbunan tanah ( $T_{TA2}$ )

$$T_{TA2} = 0,5 * \gamma_s \text{ gran} * K_a * B y' * H$$

$$= 0,5 * 17 * 0,553 * 12,80 * H$$

$$= 60,166 * H$$

b) Analisa Gaya Tekanan Tanah yang Terjadi Pada *Pilecap*

dengan

$$H'_{pilecap} = H$$

$$= 5,375 \text{ m}$$

| No.               | Uraian Tekanan                      | TTA<br>(kN) | Titik Kerja Momen/ y<br>(m)         | MTA<br>(kNm) |
|-------------------|-------------------------------------|-------------|-------------------------------------|--------------|
| 1.                | $T_{TA1} = 84,233 * H'_{pilecap}$   | 452,752     | $y = \frac{H'_{pilecap}}{2} = 2,69$ | 1217,903     |
| 2.                | $T_{TA2} = 60,166 * H'_{pilecap}^2$ | 1738,233    | $y = \frac{H'_{pilecap}}{3} = 1,79$ | 578,872      |
| $TTA_{pilecap} =$ |                                     | 2190,985    | $MTA_{pilecap} =$                   | 1796,775     |

c) Analisa Gaya Tekanan Tanah yang Terjadi Pada *Breast Wall*

dengan

$$H'_{breast} = H - H_8$$

$$= 4,375 \text{ m}$$

| No. | Uraian Tekanan                  | TTA<br>(kN) | Titik Kerja Momen/ y<br>(m)        | MTA<br>(kNm) |
|-----|---------------------------------|-------------|------------------------------------|--------------|
| 1.  | $T_{TA1} = 85,08 * H'_{breast}$ | 372,22      | $y = \frac{H'_{breast}}{2} = 2,19$ | 814,23       |

| No.                      | Uraian Tekanan                      | TTA<br>(kN) | Titik Kerja Momen/ y<br>(m)        | MTA<br>(kNm) |
|--------------------------|-------------------------------------|-------------|------------------------------------|--------------|
| 2.                       | $T_{TA2} = 85,08 * H'_{breast}{}^2$ | 1628,47     | $y = \frac{H'_{breast}}{3} = 1,46$ | 2374,85      |
| TTA <i>breast wall</i> = |                                     | 2000,69     | MTA <i>breast wall</i> =           | 3189,08      |

- d) Analisa Gaya Tekanan Tanah yang Terjadi Pada *Back Wall* Bawah dengan

$$H'_{back\ wall\ bawah} = H_1 + H_2$$

$$= 2,452\ m$$

| No.                          | Uraian Tekanan                   | TTA<br>(kN) | Titik Kerja Momen/ y<br>(m)     | MTA<br>(kNm) |
|------------------------------|----------------------------------|-------------|---------------------------------|--------------|
| 1.                           | $T_{TA1} = 85,08 * H'_{bwb}$     | 208,61      | $y = \frac{H'_{bwb}}{2} = 1,23$ | 255,76       |
| 2.                           | $T_{TA2} = 85,08 * H'_{bwb}{}^2$ | 511,52      | $y = \frac{H'_{bwb}}{3} = 0,82$ | 418,08       |
| TTA <i>back wall bawah</i> = |                                  | 720,13      | MTA <i>back wall bawah</i> =    | 673,84       |

- e) Analisa Gaya Tekanan Tanah yang Terjadi Pada *Back Wall* Atas dengan

$$H'_{back\ wall\ atas} = H_1$$

$$= 0,99\ m$$

| No.                         | Uraian Tekanan                   | TTA<br>(kN) | Titik Kerja Momen/ y<br>(m)     | MTA<br>(kNm) |
|-----------------------------|----------------------------------|-------------|---------------------------------|--------------|
| 1.                          | $T_{TA1} = 85,08 * H'_{bwa}$     | 84,23       | $y = \frac{H'_{bwa}}{2} = 0,50$ | 41,69        |
| 2.                          | $T_{TA2} = 85,08 * H'_{bwa}{}^2$ | 83,39       | $y = \frac{H'_{bwa}}{3} = 0,33$ | 27,52        |
| TTA <i>back wall atas</i> = |                                  | 167,61      | MTA <i>back wall atas</i> =     | 69,21        |

6. Analisa Beban Lalu Lintas pada *Abutment*

- a) Beban Terpusat Lajur "D"

Berdasarkan klasifikasi pembebanan pada bab tiga, telah dipilih batas-batas berdasarkan kriteria panjang bentang jembatan, sebagai berikut:

- Untuk  $L > 30$  m,  $q = 9 * \left(\frac{0,5+15}{L}\right)$
- Intensitas BGT,  $p = 49 \text{ kN/m}$
- DLA  $= 0,4 - 0,0025 * (L - 50)$

diketahui, Panjang balok,  $L = 50$  m

Lebar area lalu lintas  $= 16,50$  m

Maka beban beban terpusat lajur 'D',

$$WTD = (q * b_{lalin} * L * Fb) + (p * b_{lalin} * Fb * (1 + FBD))$$

- i. Jumlah beban yang ditahan 1 abutment,  $P_{TD} = \frac{1}{2} * WTD$
- ii. Momen yang terjadi pada 1 abutment,  $M_{TD} = P_{TD} * e$   
Jarak eksentrisitas beban dari pusat fondasi,  $e = 0,00$  m

| Uraian                      | Notasi   | Identitas Beban | Hasil   | Satuan |
|-----------------------------|----------|-----------------|---------|--------|
| Beban terpusat lajur<br>"D" | $P_{TD}$ | Beban Vertikal  | 3535,95 | kN     |
|                             | $M_{TD}$ | Momen           | 0       | kNm    |

b) Beban Pejalan Kaki

- Bentang jembatan (tumpuan-tumpuan),  $L = 50$  m
- Lebar area pejalan kaki,  $b_{ped} = 1,00$  m
- Jumlah area pedestrian,  $n = 2$  area

Luas bidang pedestrian,

$$A = L * b_{ped} * n$$

$$= 50 * 1,4 * 2$$

$$= 140,00 \text{ m}^2 > 100 \text{ m}^2, \text{ sehingga } q = 2,00 \text{ kPa} = 2,00 \text{ kN/m}^2$$

- i. Jumlah beban yang ditahan 1 abutment,  $P_{TP} = \frac{1}{2} * A * q$
- ii. Momen yang terjadi pada 1 abutment,  $M_{TP} = P_{TD} * e$   
Jarak eksentrisitas beban dari pusat fondasi,  $e = 0,00$  m

| Uraian                  | Notasi   | Identitas Beban | Arah     | Hasil | Satuan |
|-------------------------|----------|-----------------|----------|-------|--------|
| Beban Pejalan Kaki (TP) | $P_{TP}$ | Beban Vertikal  | ↓ atau + | 140   | kN     |
|                         | $M_{TP}$ | Momen           | ⊙ atau + | 0     | kNm    |

c) Gaya Rem (TB)

Berdasarkan klasifikasi pembebanan pada bab tiga, gaya rem ( $H_{TB}$ ) yang digunakan adalah 250 kN, dianggap bekerja horizontal pada ketinggian 1,8 m ( $y_{TB} = 1,8$  m) di atas permukaan jalan.

- Jumlah beban yang ditahan 1 abutment,  $P_{TB} = \frac{1}{2} * TB$
- Momen yang terjadi pada 1 abutment,  $M_{TB} = P_{TB} * y$   
Jarak eksentrisitas beban dari pusat fondasi,  $e = 0,00$  m
- Tinggi titik kerja momen yang terjadi.

$$y' = y_{TB} + Ht'_x = 1,8 + Ht'_x$$

Diketahui:

$$Ht'_{pilecap} = 5,375 \text{ m}$$

$$Ht'_{breastwall} = 4,375 \text{ m}$$

| No.      | Gaya Rem                      | $P_{TB}$<br>(kN/m) | Arah     | $y'$<br>(m)                            | MTA<br>(kNm)     |
|----------|-------------------------------|--------------------|----------|--|------------------|
| <b>a</b> | <b>b</b>                      | $c = \frac{b}{2}$  | <b>d</b> | <b>e</b>                               | <b>f = c * e</b> |
| 1.       | TB <i>pilecap</i> = 250 kN    | 125,00             | ⊙ atau + | $y = y_{TB} + Ht'_{pilecap} = 7,18$    | 896,88           |
| 2.       | TB <i>breastwall</i> = 250 kN |                    | ⊙ atau + | $y = y_{TB} + Ht'_{breastwall} = 6,18$ | 771,88           |

7. Analisa Beban Akibat Lingkungan pada *Abutment*

a) Temperatur (ET)

Berdasarkan justifikasi pembebanan pada bab tiga, gaya temperatur digunakan/dipilih:

- $T_{max} = 40,00$
- $T_{min} = 15,00$

Data lain yang diperlukan:

- Koefisien muai panjang untuk beton,  $\alpha = 0,00001^\circ\text{C}$

- Kekakuan geser elastomer bearing pad,  $k = 17300 \text{ kN/m}$
- Panjang total girder,  $L_{\text{balok}} = 50 \text{ meter}$
- Banyak girder,  $n_{\text{balok}} = 7 \text{ buah}$

Perbedaan temperatur,  $\Delta T$

Beban temperatur,  $ET$

- Jumlah beban yang ditahan 1 abutment,  $TET = \frac{1}{2} * ET$
- Momen yang terjadi,  $MET = TET * yET$
- Tinggi titik kerja momen yang terjadi,  $y' = yET = Ht'_x$

Diketahui,

*Pilecap*,  $Ht'_{\text{pilecap}} = 5,375 \text{ m}$

*Breast wall*,  $Ht'_{\text{breastwall}} = 4,375 \text{ m}$

| No. | Gaya Temperatur                               | $TET$<br>(kN)     | $y'$<br>(m) | $MET$<br>(kNm) |
|-----|---|-------------------|-------------|----------------|
| a   | b   | $c = \frac{b}{2}$ | e           | $f = c * e$    |
| 1.  | $ET_{\text{pilecap}} = 1208,41 \text{ kN}$    | 604,20            | 5,375       | 671,88         |
| 2.  | $ET_{\text{breastwall}} = 1208,41 \text{ kN}$ |                   | 4,375       | 546,88         |

b) Beban Angin Struktur (EW)

Berdasarkan justifikasi pembebanan pada bab tiga, gaya temperatur digunakan/dipilih:

- Koefisien seret,  $C_w = 1,20$
- Kecepatan angin rencana,  $V_w = 35,00 \text{ m/s}$
- Titik kerja beban angin struktur terhitung dari titik tertinggi bidang samping jembatan

$y_{EW_{\text{str}}} = h_a$

Data lain yang diperlukan:

- Panjang bentang jembatan,  $L = 50,00 \text{ m}$
- Tinggi bidang samping struktur,  $h_a = h_{\text{balok}} + t_{\text{slab}} + t_{\text{railing}} = 4,00 \text{ m}$

Luas bidang samping,

$$Ab = L * ha$$

$$= 200,00 \text{ m}^2$$

Beban angin struktur,

$$EW_{str} = 0,006 * Cw * (Vw)^2 * Ab$$

$$= 176,40 \text{ kN}$$

- i. Jumlah beban yang ditahan 1 abutment,  $TEW_{str} = \frac{1}{2} * EW_{str}$
- ii. Momen yang terjadi,  $MEW_{str} = TEW_{str} * yEW_{str}$
- iii. Tinggi titik kerja momen yang terjadi,  $y' = yEW_{str} = Ht'$

Diketahui,

$$Pilecap, \quad Ht'_{pilecap} = 5,375 \text{ m}$$

$$Breast wall, \quad Ht'_{breast wall} = 4,375 \text{ m}$$

| No. | Beban Angin Struktur                              | $TEW_{str}$<br>(kN) | $y'$<br>(m) | $MEW_{str}$<br>(kNm) |
|-----|---|---------------------|-------------|----------------------|
| a   | b   | $c = \frac{b}{2}$   | e           | $f = c * e$          |
| 1.  | $EW_{str} \text{ pilecap} = 176,40 \text{ kN}$    | 88,20               | 9,375       | 1171,88              |
| 2.  | $EW_{str} \text{ breastwall} = 176,40 \text{ kN}$ |                     | 8,375       | 1046,88              |

c) Beban Angin Kendaraan ( $EW_K$ )

Berdasarkan analisa awal terkait beban angin struktur (pada sub 4.1) digunakan/dipilih:

- Koefisien seret,  $Cw = 1,20$
- Kecepatan angin rencana,  $Vw = 35,00 \text{ m/s}$
- Titik kerja beban angin struktur terhitung dari titik tertinggi bidang samping jembatan,  $yEW_k = hb$

Data lain yang diperlukan:

- Panjang bentang jembatan,  $L = 50,00 \text{ m}$
- Tinggi bidang samping kendaraan,  $hb = h_{balok} + t_{slab} + t_a$   
 $= 2,45 \text{ m}$

Beban angin kendaraan,

$$EW_k = 0,0012 * Cw * (Vw)^2 * \frac{L}{2}$$

$$= 44,10 \text{ kN}$$

- i. Jumlah beban yang ditahan 1 abutment,  $TEW_k = \frac{1}{2} * EW_k$
- ii. Momen yang terjadi,  $MEW_k = TEW_k * yEW_k$
- iii. Tinggi titik kerja momen yang terjadi,  $y' = yEW_k = Ht'_x$

Diketahui,

$$Pilecap, \quad Ht'_{pilecap} = 5,375 \text{ m}$$

$$Breast wall, \quad Ht'_{breast wall} = 4,375 \text{ m}$$

| No. | Beban Angin Kendaraan                        | $TEW_k$<br>(kN)   | $y'$<br>(m) | $MEW_k$<br>(kNm) |
|-----|--|-------------------|-------------|------------------|
| a   | b  | $c = \frac{b}{2}$ | e           | f = c * e        |
| 1.  | $EW_k \text{ pilecap} = 44,10 \text{ kN}$    | 22,05             | 7,83        | 172,54           |
| 2.  | $EW_k \text{ breastwall} = 44,10 \text{ kN}$ |                   | 6,83        | 150,49           |

d) Beban Vertikal Angin Akibat Transfer ke Pelat Lantai

Berdasarkan analisa awal terkait beban angin vertikal (pada sub 4.1) digunakan/dipilih:

- Koefisien seret,  $Cw = 1,20$
- Kecepatan angin rencana,  $Vw = 35,00 \text{ m/s}$
- Bidang vertikal yang ditiup angin merupakan bidang samping kendaraan dengan tinggi 2.00 m di atas lantai
- Jarak antara roda kendaraan,  $x_{roda} = 1,75 \text{ m}$

Data lain yang diperlukan

- Panjang bentang jembatan,  $L = 50,00 \text{ m}$
- Beban angin struktur,  $EW_{str} = 88,20 \text{ kN}$

Beban angin vertikal,

$$EW = \left( \frac{h}{x_{roda}} * T * EW_{str} \right) * \frac{L}{2}$$

$$= 154,25 \text{ kN}$$

- i. Jumlah beban yang ditahan 1 abutment,  $TEW = \frac{1}{2} * EW$

- ii. Momen yang terjadi,  $MEW = TEW * e$   
 iii. Jarak eksentris beban dari pusat pondasi,  $e = 0,00 m$

Diketahui,

$$Pilecap, \quad Ht'_{pilecap} = 5,375 m$$

$$Breast wall, \quad Ht'_{breast wall} = 4,375 m$$

| No.      | Beban Angin Kendaraan  | $TEW_k$<br>(kN)   |
|----------|------------------------|-------------------|
| <b>a</b> | <b>b</b>               | $c = \frac{b}{2}$ |
| 1.       | $EW_{pilecap} = kN$    |                   |
| 2.       | $EW_{breastwall} = kN$ |                   |

- e) Beban Gempa Vertikal ( $EQ_v$ )

Berdasarkan SNI 2833 (2016) gempa vertikal dihitung dari 10% reaksi beban permanen, dimana beban permanen merupakan beban mati sendiri dan beban mati tambahan. Dari perhitungan sebelumnya diperoleh data sebagai berikut:

- Reaksi perletakan beban mati struktur atas,  $PMS_{atas} = 9690,83 kN$
- Reaksi perletakan beban mati tambahan,  $PMA = 1076,18 kN$

Adapun perhitungan gempa vertikal adalah sebagai berikut:

$$P_{EQ_v} = 10\% * (PMS_{atas} + PMA)$$

$$= 1076,70 kN$$

Jarak eksentrisitas beban dari pusat pondasi:

$$e = 0,00$$

Sehingga momen akibat gempa vertikal:

$$M_{EQ_v} = P_{EQ_v} * e$$

$$= 0 kNm$$

- f) Beban Gempa Horizontal Arah X ( $EQ_x$ ) dan Arah Y ( $EQ_y$ )

- i. Beban Gempa Horizontal Arah X ( $EQ_x$ )

$$\text{Tinggi } breast wall, \quad L_{brwall} = h7 - \text{tebal pilecap}$$

$$= 1,77 m$$

$$\text{Ukuran } breast wall, \quad b = 13,00 m$$

$$h = 1,00 \text{ m}$$

$$\text{Inersia } breast \text{ wall, } I_{c_{brwall}} = \frac{1}{12} * b * h^3 = 1,61 \text{ m}^4$$

$$\text{Kuat tekan beton rencana, } f_c' = 35 \text{ MPa}$$

$$\text{Modulus elastisitas beton, } E_c = 4700\sqrt{f_c'} = 27805,57 \text{ MPa}$$

$$\text{Nilai kekakuan, } K_{p_x} = 3 * E_c * I_c / L_{bwall}^3 = 24071490,97 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Tetapan besaran gravitasi, } g = 9,80 \text{ m/det}$$

Rekapitulasi perhitungan berat struktur:

| No. | Jenis Beban                        | Notasi                | Besaran (kN) |
|-----|------------------------------------|-----------------------|--------------|
| 1.  | Total beban sendiri struktur atas  | P MS <sub>atas</sub>  | 9690,83 kN   |
| 2.  | Total beban sendiri struktur bawah | P MS <sub>bawah</sub> | 4722,93 kN   |
| 3.  | Beban mati tambahan                | P MA                  | 1076,18 kN   |
| 4.  | Beban lajur                        | P TD                  | 3535,95 kN   |

Berat total yang berupa berat sendiri dan beban mati tambahan

$$W_t = P MS_{atas} + \frac{1}{2} * P MS_{bawah}$$

$$= 12052,30 \text{ kN}$$

Waktu getar alami struktur kondisi arah x

$$T_x = 2 * \pi * \left( \frac{\sqrt{W_t}}{g * K_{p_x}} \right)$$

$$= 0,04 \text{ detik}$$

Koefisien respon gempa elastis spektrum desain

$$C = A_s + (SDS - A_s) * \frac{T_x}{T_0}$$

$$= 0,39$$

Faktor modifikasi gempa

$$R = 2,0$$

Tekanan akibat gaya gempa

$$TEQ_x = \frac{C}{R} * (PMS_{atas} + PMA + (0,3 * PTD))$$

$$= 2321,507 \text{ kN}$$

Momen akibat tekanan gaya gempa

$$MEQ_x = TEQ_x * y_3$$

| <b>Gaya Gempa Horizontal Arah X<br/>(EQhx)</b> | <b>TEQhx<br/>(kN)</b> | <b><math>y = Ht'_x</math><br/>(m)</b> | <b>MEQhx<br/>(kNm)</b> |
|--|-----------------------|---------------------------------------|------------------------|
| <b>a</b>                                       | <b>b</b>              | <b>c</b>                              | <b>d = b x c</b>       |
| Pada <i>breast wall</i>                        | 2321,51               | 1,77                                  | 4116,03                |

ii. Beban Gempa Horizontal Arah Y (EQy)

Inersia *breast wall*,  $I_{cbrwall}$

Nilai kekakuan,  $K_{py}$

Waktu getar alami struktur kondisi arah y

$$T_y = 2 * \pi * \left( \frac{\sqrt{Wt}}{g * K_{py}} \right)$$

$$= 0,002 \text{ detik}$$

Koefisien respon gempa elastis spektrum desain

$$C = A_s + (SDS - A_s) * \frac{T_y}{T_0}$$

$$= 0,35$$

Faktor modifikasi gempa

$$R = 2,0$$

Tekanan akibat gaya gempa

$$TEQ_y = \frac{C}{R} * (PMS_{atas} + PMA + (0,3 * PTD))$$

Momen akibat tekanan gaya gempa

$$MEQ_y = TEQ_y * y$$

| <b>Gaya Gempa Horizontal Arah Y<br/>(EQhy)</b> | <b>TEQhy<br/>(kN)</b> | <b><math>y = Ht'_y</math><br/>(m)</b> | <b>MEQhy<br/>(kNm)</b> |
|--|-----------------------|---------------------------------------|------------------------|
| <b>a</b>                                       | <b>b</b>              | <b>c</b>                              | <b>d = b x c</b>       |
| Pada <i>breast wall</i>                        | 2321,51               | 1,77                                  | 4116,03                |

g) Tekanan Tanah Dinamis Akibat Gempa

Dari perhitungan tekanan gaya gempa arah x dan perhitungan tekanan tanah pada sebelumnya didapatkan:

- Koefisien respon gempa elastis,  $C = 0,39$

Berdasarkan data sebelumnya:

- Tinggi struktur abutment,  $H = 5,375 \text{ m}$
- Tinggi tanah rencana/tinjauan:
  - $H'_{back \text{ wall atas}} = h1 = 0,990 \text{ m}$
  - $H'_{back \text{ wall bawah}} = h1 + h2 = 2,452 \text{ m}$
  - $H'_{breast \text{ wall}} = H - h8 = 4,375 \text{ m}$
  - $H'_{pilecap} = H = 5,375 \text{ m}$
- Lebar timbunan tanah,  $B_{y'} = By - 2 * h_{ww} = 11,80$
- Berat volume tanah timbunan,  $ws = 17,00 \text{ kN/m}^3$
- Sudut gesek dalam tanah timbunan,  $\varphi = 35,00^\circ$
- Sudut gesek antara urugan dan dinding,  $\delta = 25^\circ$
- Sudut kemiringan timbunan,  $i = 0^\circ$
- Koefisien percepatan vertikal,  $k_v = 0^\circ$
- Kemiringan dinding abutment,  $\beta_a = 0^\circ$

Besar sudut tekanan gempa ( $\theta$ ) akibat koefisien respon gempa elastis

$$\begin{aligned}\theta &= \tan^{-1}(C_{smsx}) \\ &= 21,43^\circ\end{aligned}$$

Koefisien tekanan aktif seismik dihitung dengan,

$$\begin{aligned}KAE &= \frac{\cos^2(\varphi - \theta - \beta_a)}{\cos\theta \cos^2\beta_a \cos(\delta + \theta + \beta_a)} * \left( 1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi) \sin(\varphi - \theta - i)}{\cos(\delta + \theta + \beta_a) \cos(i - \beta_a)}} \right) \\ &= 0,619 \\ B' &= \frac{(\gamma_s * H * (1 - k) * KAE) * (h_2 - h_1)}{h_2} \\ &= \frac{(17 * 5,375 * 0,619) * (5,375 - H'_{tinjauan})}{5,375}\end{aligned}$$

Untuk:

$$B' \text{ tekanan aktif seismik pada } back \text{ wall atas,} \quad B'_{bwa} = 46,122 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned}
 B' \text{ tekanan aktif seismik pada } \textit{back wall bawah}, & \quad B'_{bwb} = 30,744 \text{ kN/m}^2 \\
 B' \text{ tekanan aktif seismik pada } \textit{breast wall}, & \quad B'_{brwall} = 10,518 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Perhitungan tekanan tanah dinamis akibat gempa sebagai berikut:

- i.  $TEQ_1$  (*pilecap, breast wall, back wall atas, back wall bawah*)
 
$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{2} * (ws * H' \textit{tinjauan} * (1 - kv) * KAE) * H' \textit{tinjauan} * By \\
 &= 95,32 * (H' \textit{tinjauan})^2
 \end{aligned}$$
- ii.  $TEQ_2$  (*breast wall, back wall atas, back wall bawah*)
 
$$\begin{aligned}
 &= B' \textit{tinjauan} * H' \textit{tinjauan} * By \\
 &= 11,8 * B' \textit{tinjauan} * H' \textit{tinjauan}
 \end{aligned}$$

Table 4. 68 Tinjauan Tekanan Tanah Dinamis Pada Struktur

| Tinjauan Tekanan Tanah Dinamis Pada Pilecap |                                |                          |                                   |          |                          |
|---|--------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|----------|--------------------------|
| No.   | Tekanan Tanah Dinamis          | T <sub>TEQ</sub><br>(kN) | Titik Kerja Momen                 | y<br>(m) | M <sub>TA</sub><br>(kNm) |
| a   | b                              | c                        | d                                 | e        | f = c x e                |
| 1.  | $TEQ_1 = 95,32 * H'_{pilecap}$ | 2750,96                  | $y = 2 * \frac{H'_{abutment}}{3}$ | 3,58     | 9855,56                  |
|   | TTEQ <sub>pilecap</sub> =      | 2750,39                  | MTEQ <sub>pilecap</sub> =         |          | 9855,56                  |

| Tinjauan Tekanan Tanah Dinamis Pada Breast Wall |  |                          |                                   |          |                          |
|---|--|--------------------------|-----------------------------------|----------|--------------------------|
| No.   | Tekanan Tanah Dinamis                      | T <sub>TEQ</sub><br>(kN) | Titik Kerja Momen                 | y<br>(m) | M <sub>TA</sub><br>(kNm) |
| a   | b  | c                        | d                                 | e        | f = c x e                |
| 1.  | $TEQ_1 = 95,32 * H'_{breast}$              | 1822,19                  | $y = \frac{H'_{breast\ wall}}{2}$ | 2,19     | 3986,04                  |
| 2.  | $TEQ_2 = 18,1 * B'_{breast} * H'_{breast}$ | 832,91                   | $y = \frac{H'_{breast\ wall}}{3}$ | 1,46     | 1214,67                  |
|   | TTEQ <sub>breast</sub> =                   | 2655,10                  | MTEQ <sub>breast</sub> =          |          | 5200,70                  |

| Tinjauan Tekanan Tanah Dinamis Pada <i>Back Wall</i> Bawah |   |                          |   |                    |                          |
|--|---|--------------------------|---|--------------------|--------------------------|
| No.  | Tekanan Tanah Dinamis                           | T <sub>TEQ</sub><br>(kN) | Titik Kerja Momen                         | y<br>(m)           | M <sub>TA</sub><br>(kNm) |
| a  | b   | c                        | d   | e                  | f = c x e                |
| 1.   | TEQ1 = 95,32 x H' bwall bawah                   | 572,37                   | $y = \frac{H' \text{back wall bawah}}{2}$ | 1,23               | 701,73                   |
| 2.   | TEQ2 = 18,1 x B' bwall bawah x H' bwall bawah = | 1364,49                  | $y = \frac{H' \text{back wall bawah}}{3}$ | 0,82               | 1115,25                  |
|  | TTEQ bwall bawah =                              | 1936,86                  |   | MTEQ bwall bawah = | 1816,97                  |

| Tinjauan Tekanan Tanah Dinamis Pada <i>Back Wall</i> Atas |   |                          |  |                   |                          |
|---|---|--------------------------|--|-------------------|--------------------------|
| No.   | Tekanan Tanah Dinamis                         | T <sub>TEQ</sub><br>(kN) | Titik Kerja Momen                        | y<br>(m)          | M <sub>TA</sub><br>(kNm) |
| a   | b   | c                        | d  | e                 | f = c x e                |
| 1.  | TEQ1 = 95,32 x H' bwall atas                  | 93,31                    | $y = \frac{H' \text{back wall atas}}{2}$ | 0,50              | 46,19                    |
| 2.  | TEQ2 = 18,1 x B' bwall atas x H' bwall atas = | 826,47                   | $y = \frac{H' \text{back wall atas}}{3}$ | 0,33              | 272,73                   |
|   | TTEQ bwall atas =                             | 919,77                   |  | MTEQ bwall atas = | 318,92                   |

## 6. Analisa Beban Akibat Aksi Lainnya, Gesekan Pada Perletakan (FB)

Direncanakan elastomer berdimensi 600 x 450 x 120 mm, dengan berdasarkan lembar pengujian pada Lampiran x. didapatkan kekakuan geser sebesar 17300 kN/m, kelengkapan profil antara lain sebagai berikut:

- Tebal pelat baja = 5 mm
- Tebal lapisan karet = 12 mm
- Jumlah lapisan karet = 5 buah

Data lain yang dibutuhkan:

- Koefisien muai panjang beton pada pelat lantai,  $\alpha$  = 0,000011
- Panjang bentang jembatan, L = 50,00 m
- Suhu maksimum desain,  $T_{max}$  = 40
- Suhu minimum desain,  $T_{min}$  = 15

Nilai kekakuan geser (K)

$$K = \text{kekakuan geser} \times \text{jumlah lapis} \\ = 86500 \text{ kN/m}^3$$

Muai jembatan akibat temperatur ( $\Delta T$ )

$$\Delta T = \alpha \times L \times (T_{max} - T_{min}) \\ = 0,01$$

a) Gaya gesek pada perletakan (TFB)

$$\text{TFB} = \Delta T \times K \\ = 1189,38 \text{ kN}$$

Lengan terhadap fondasi ( $YFB_{pcap}$ )

$$YFB_{pcap} = h_7 + \text{tebal elastomer} \\ = 2,88 \text{ m}$$

Lengan terhadap breast wall ( $YFB_{breast}$ )

$$YFB_{breast} = YFB_{pcap} - \text{tebal } h_8$$

$$= 1,88 \text{ m}$$

b) Momen yang terjadi:

$$MFB_i = TFB \times YFB_i$$

$$\text{Momen pada fondasi, } MFB_{pcap} = 3428,97 \text{ kN}$$

$$\text{Momen pada breast wall, } MFB_{breast} = 2239,59 \text{ kN}$$

### 7. Rekapitulasi beban pada abutment

Table 4. 69 Rekapitulasi Beban Pada Abutment

| No  | Beban                        | Kode | Vertikal | Horisontal |         | Momen    |          |
|-----|------------------------------|------|----------|------------|---------|----------|----------|
|     |                              |      | P (kN)   | Tx (kN)    | Ty (kN) | Mx (kNm) | My (kNm) |
| A   | Akibat Tetap                 |      |          |            |         |          |          |
| 1   | Berat Sendiri Struktur Atas  | MS   |          |            |         |          |          |
| 1.a | Beton pracetak               |      | 4874,26  |            |         | 0,00     |          |
| 1.b | Beton cor di tempat          |      | 4816,57  |            |         | 0,00     |          |
| 2   | Berat Sendiri Struktur Bawah | MS   |          |            |         |          |          |
| 2.a | Beton pracetak               |      | 0,00     |            |         | 0,00     |          |
| 2.b | Beton cor di tempat          |      | 4722,93  |            |         | -3903,70 |          |
| 3   | Beban Mati Tambahan          | MA   | 1076,18  |            |         | 0,00     |          |
| 4   | Tekanan Tanah                | TA   |          | 2915,29    |         | 3189,08  |          |
| B   | Akibat Beban Lalu Lintas     |      |          |            |         |          |          |
| 5   | Beban Lajur                  | TD   | 3535,95  |            |         | 0,00     |          |
| 6   | Beban Pedestrian             | TP   | 140,00   |            |         | 0,00     |          |
| 7   | Gaya Rem                     | TB   |          | 125,00     |         | 896,88   |          |
| C   | Akibat Lingkungan            |      |          |            |         |          |          |
| 8   | Temperatur                   | TG   |          | 604,20     |         | 671,88   |          |

| No | Beban                       | Kode | Vertikal | Horisontal |         | Momen    |          |
|----|-----------------------------|------|----------|------------|---------|----------|----------|
|    |                             |      | P (kN)   | Tx (kN)    | Ty (kN) | Mx (kNm) | My (kNm) |
| 9  | Beban Angin pada Struktur   | EWS  | 77,18    |            | 88,20   | 0,00     | 1171,88  |
| 10 | Beban Angin pada Kendaraan  | EWL  |          |            | 22,05   |          | 172,54   |
| 11 | Beban Gempa Arah Vertikal   | EQv  | 1076,70  |            |         | 0,00     |          |
| 12 | Beban Gempa Arah Horizontal | EQh  |          | 2321,51    | 2067,20 | 4116,03  | 3665,15  |
| 13 | Tekanan Tanah Dinamis       | TTEQ |          | 2750,39    |         | 9855,56  |          |
| D  | Akibat Lainnya              |      |          |            |         |          |          |
| 14 | Gesekan Perletakan          | BF   |          | 1189,38    |         | 3428,97  |          |

## 8. Kombinasi Pembebanan Tak Terfaktor

Table 4. 70 Rekapitulasi Pembebanan Tak Terfaktor Kombinasi Kuat I

| No  | Beban                        | Kode | KUAT I   |            |         |              |          |
|-----|------------------------------|------|----------|------------|---------|--------------|----------|
|     |                              |      | Vertikal | Horisontal |         | Momen        |          |
|     |                              |      | P (kN)   | Tx (kN)    | Ty (kN) | Mx (kNm)     | My (kNm) |
| A   | Akibat Tetap                 |      |          |            |         |              |          |
| 1   | Berat Sendiri Struktur Atas  | MS   |          |            |         |              |          |
| 1.a | Beton pracetak               |      | 4874,26  |            |         | 0,00         |          |
| 1.b | Beton cor di tempat          |      | 4816,57  |            |         | 0,00         |          |
| 2   | Berat Sendiri Struktur Bawah | MS   |          |            |         |              |          |
| 2.a | Beton pracetak               |      | 0,00     |            |         | 0,00         |          |
| 2.b | Beton cor di tempat          |      | 4722,93  |            |         | -<br>3903,70 |          |

| No | Beban                       | Kode | KUAT I   |            |         |          |          |
|----|-----------------------------|------|----------|------------|---------|----------|----------|
|    |                             |      | Vertikal | Horisontal |         | Momen    |          |
|    |                             |      | P (kN)   | Tx (kN)    | Ty (kN) | Mx (kNm) | My (kNm) |
| 3  | Beban Mati Tambahan         | MA   | 1076,18  |            |         | 0,00     |          |
| 4  | Tekanan Tanah               | TA   |          | 2915,29    |         | 3189,08  |          |
| B  | Akibat Beban Lalu Lintas    |      |          |            |         |          |          |
| 5  | Beban Lajur                 | TD   | 3535,95  |            |         | 0,00     |          |
| 6  | Beban Pedestrian            | TP   | 140,00   |            |         | 0,00     |          |
| 7  | Gaya Rem                    | TB   |          | 125,00     |         | 896,88   |          |
| C  | Akibat Lingkungan           |      |          |            |         |          |          |
| 8  | Temperatur                  | TG   |          | 604,20     |         | 671,88   |          |
| 9  | Beban Angin pada Struktur   | EWS  |          |            |         |          |          |
| 10 | Beban Angin pada Kendaraan  | EWL  |          |            |         |          |          |
| 11 | Beban Gempa Arah Vertikal   | EQv  |          |            |         |          |          |
| 12 | Beban Gempa Arah Horizontal | EQh  |          |            |         |          |          |
| 13 | Tekanan Tanah Dinamis       | TTEQ |          |            |         |          |          |
| D  | Akibat Lainnya              |      |          |            |         |          |          |
| 14 | Gesekan Perletakan          | BF   |          | 1189,38    |         | 3428,97  |          |
|    |                             |      | 19165,89 | 4833,86    | 0,00    | 4283,10  | 0,00     |

Table 4. 71 Rekapitulasi Pembebanan Tak Terfaktor Kombinasi Kuat II

| No  | Beban                        | Kode | KUAT II  |            |         |          |        |
|-----|------------------------------|------|----------|------------|---------|----------|--------|
|     |                              |      | Vertikal | Horisontal |         | Momen    |        |
|     |                              |      | P (kN)   | Tx (kN)    | Ty (kN) | Mx (kNm) | P (kN) |
| A   | Akibat Tetap                 |      |          |            |         |          |        |
| 1   | Berat Sendiri Struktur Atas  | MS   |          |            |         |          |        |
| 1.a | Beton pracetak               |      | 4874,26  |            |         | 0,00     |        |
| 1.b | Beton cor di tempat          |      | 4816,57  |            |         | 0,00     |        |
| 2   | Berat Sendiri Struktur Bawah | MS   |          |            |         |          |        |
| 2.a | Beton pracetak               |      | 0,00     |            |         | 0,00     |        |
| 2.b | Beton cor di tempat          |      | 4722,93  |            |         | -3903,70 |        |
| 3   | Beban Mati Tambahan          | MA   | 1076,18  |            |         | 0,00     |        |
| 4   | Tekanan Tanah                | TA   |          | 2915,29    |         | 3189,08  |        |
| B   | Akibat Beban Lalu Lintas     |      |          |            |         |          |        |
| 5   | Beban Lajur                  | TD   | 3535,95  |            |         | 0,00     |        |
| 6   | Beban Pedestrian             | TP   | 140,00   |            |         | 0,00     |        |
| 7   | Gaya Rem                     | TB   |          | 125,00     |         | 896,88   |        |
| C   | Akibat Lingkungan            |      |          |            |         |          |        |
| 8   | Temperatur                   | TG   |          | 604,20     |         | 671,88   |        |
| 9   | Beban Angin pada Struktur    | EWS  |          |            |         |          |        |
| 10  | Beban Angin pada Kendaraan   | EWL  |          |            |         |          |        |
| 11  | Beban Gempa Arah Vertikal    | EQv  |          |            |         |          |        |
| 12  | Beban Gempa Arah Horizontal  | EQh  |          |            |         |          |        |
| 13  | Tekanan Tanah Dinamis        | TTEQ |          |            |         |          |        |



|    |                             |      |          |         |       |         |         |
|----|-----------------------------|------|----------|---------|-------|---------|---------|
| 10 | Beban Angin pada Kendaraan  | EWL  |          |         |       |         |         |
| 11 | Beban Gempa Arah Vertikal   | EQv  |          |         |       |         |         |
| 12 | Beban Gempa Arah Horizontal | EQh  |          |         |       |         |         |
| 13 | Tekanan Tanah Dinamis       | TTEQ |          |         |       |         |         |
| D  | Akibat Lainnya              |      |          |         |       |         |         |
| 14 | Gesekan Perletakan          | BF   |          | 1189,38 |       | 3428,97 |         |
|    |                             |      | 15567,11 | 4708,86 | 88,20 | 3386,22 | 1171,88 |

Table 4. 73 Rekapitulasi Pembebanan Tak Terfaktor Kombinasi Kuat IV

| No  | Beban                        | Kode | KUAT IV  |            |         |          |          |
|-----|------------------------------|------|----------|------------|---------|----------|----------|
|     |                              |      | Vertikal | Horisontal |         | Momen    |          |
|     |                              |      | P (kN)   | Tx (kN)    | Ty (kN) | Mx (kNm) | My (kNm) |
| A   | Akibat Tetap                 |      |          |            |         |          |          |
| 1   | Berat Sendiri Struktur Atas  | MS   |          |            |         |          |          |
| 1.a | Beton pracetak               |      | 4874,26  |            |         | 0,00     |          |
| 1.b | Beton cor di tempat          |      | 4816,57  |            |         | 0,00     |          |
| 2   | Berat Sendiri Struktur Bawah | MS   |          |            |         |          |          |
| 2.a | Beton pracetak               |      | 0,00     |            |         | 0,00     |          |
| 2.b | Beton cor di tempat          |      | 4722,93  |            |         | -3903,70 |          |
| 3   | Beban Mati Tambahan          | MA   | 1076,18  |            |         | 0,00     |          |
| 4   | Tekanan Tanah                | TA   |          | 2915,29    |         | 3189,08  |          |
| B   | Akibat Beban Lalu Lintas     |      |          |            |         |          |          |
| 5   | Beban Lajur                  | TD   |          |            |         |          |          |
| 6   | Beban Pedestrian             | TP   |          |            |         |          |          |
| 7   | Gaya Rem                     | TB   |          |            |         |          |          |

|    |                             |      |          |         |      |         |      |
|----|-----------------------------|------|----------|---------|------|---------|------|
| C  | Akibat Lingkungan           |      |          |         |      |         |      |
| 8  | Temperatur                  | TG   |          | 604,20  |      | 671,88  |      |
| 9  | Beban Angin pada Struktur   | EWS  |          |         |      |         |      |
| 10 | Beban Angin pada Kendaraan  | EWL  |          |         |      |         |      |
| 11 | Beban Gempa Arah Vertikal   | EQv  |          |         |      |         |      |
| 12 | Beban Gempa Arah Horizontal | EQh  |          |         |      |         |      |
| 13 | Tekanan Tanah Dinamis       | TTEQ |          |         |      |         |      |
| D  | Akibat Lainnya              |      |          |         |      |         |      |
| 14 | Gesekan Perletakan          | BF   |          | 1189,38 |      | 3428,97 |      |
|    |                             |      | 15489,94 | 4708,86 | 0,00 | 3386,22 | 0,00 |

Table 4. 74 Rekapitulasi Pembebanan Tak Terfaktor Kombinasi Kuat V

| No  | Beban                        | Kode | KUAT V   |            |         |          |          |
|-----|------------------------------|------|----------|------------|---------|----------|----------|
|     |                              |      | Vertikal | Horisontal |         | Momen    |          |
|     |                              |      | P (kN)   | Tx (kN)    | Ty (kN) | Mx (kNm) | My (kNm) |
| A   | Akibat Tetap                 |      |          |            |         |          |          |
| 1   | Berat Sendiri Struktur Atas  | MS   |          |            |         |          |          |
| 1.a | Beton pracetak               |      | 4874,26  |            |         | 0,00     |          |
| 1.b | Beton cor di tempat          |      | 4816,57  |            |         | 0,00     |          |
| 2   | Berat Sendiri Struktur Bawah | MS   |          |            |         |          |          |
| 2.a | Beton pracetak               |      | 0,00     |            |         | 0,00     |          |
| 2.b | Beton cor di tempat          |      | 4722,93  |            |         | -3903,70 |          |
| 3   | Beban Mati Tambahan          | MA   | 1076,18  |            |         | 0,00     |          |
| 4   | Tekanan Tanah                | TA   |          | 2915,29    |         | 3189,08  |          |

|    |                             |      |          |         |        |         |         |
|----|-----------------------------|------|----------|---------|--------|---------|---------|
| B  | Akibat Beban Lalu Lintas    |      |          |         |        |         |         |
| 5  | Beban Lajur                 | TD   |          |         |        |         |         |
| 6  | Beban Pedestrian            | TP   |          |         |        |         |         |
| 7  | Gaya Rem                    | TB   |          |         |        |         |         |
| C  | Akibat Lingkungan           |      |          |         |        |         |         |
| 8  | Temperatur                  | TG   |          | 604,20  |        | 671,88  |         |
| 9  | Beban Angin pada Struktur   | EWS  | 77,18    |         | 88,20  |         | 1171,88 |
| 10 | Beban Angin pada Kendaraan  | EWL  |          |         | 22,05  |         | 172,54  |
| 11 | Beban Gempa Arah Vertikal   | EQv  |          |         |        |         |         |
| 12 | Beban Gempa Arah Horizontal | EQh  |          |         |        |         |         |
| 13 | Tekanan Tanah Dinamis       | TTEQ |          |         |        |         |         |
| D  | Akibat Lainnya              |      |          |         |        |         |         |
| 14 | Gesekan Perletakan          | BF   |          | 1189,38 |        | 3428,97 |         |
|    |                             |      | 15567,11 | 4708,86 | 110,25 | 3386,22 | 1344,42 |

Table 4. 75 Rekapitulasi Pembebanan Tak Terfaktor Kombinasi Ekstrem I

| No  | Beban                        | Kode | EKSTREM I |            |         |          |          |
|-----|------------------------------|------|-----------|------------|---------|----------|----------|
|     |                              |      | Vertikal  | Horisontal |         | Momen    |          |
|     |                              |      | P (kN)    | Tx (kN)    | Ty (kN) | Mx (kNm) | My (kNm) |
| A   | Akibat Tetap                 |      |           |            |         |          |          |
| 1   | Berat Sendiri Struktur Atas  | MS   |           |            |         |          |          |
| 1.a | Beton pracetak               |      | 4874,26   |            |         | 0,00     |          |
| 1.b | Beton cor di tempat          |      | 4816,57   |            |         | 0,00     |          |
| 2   | Berat Sendiri Struktur Bawah | MS   |           |            |         |          |          |

|     |                             |      |          |         |         |          |         |
|-----|-----------------------------|------|----------|---------|---------|----------|---------|
| 2.a | Beton pracetak              |      | 0,00     |         |         | 0,00     |         |
| 2.b | Beton cor di tempat         |      | 4722,93  |         |         | -3903,70 |         |
| 3   | Beban Mati Tambahan         | MA   | 1076,18  |         |         | 0,00     |         |
| 4   | Tekanan Tanah               | TA   |          | 2915,29 |         | 3189,08  |         |
| B   | Akibat Beban Lalu Lintas    |      |          |         |         |          |         |
| 5   | Beban Lajur                 | TD   | 3535,95  |         |         | 0,00     |         |
| 6   | Beban Pedestrian            | TP   | 140,00   |         |         | 0,00     |         |
| 7   | Gaya Rem                    | TB   |          | 125,00  |         | 896,88   |         |
| C   | Akibat Lingkungan           |      |          |         |         |          |         |
| 8   | Temperatur                  | TG   |          |         |         |          |         |
| 9   | Beban Angin pada Struktur   | EWS  |          |         |         |          |         |
| 10  | Beban Angin pada Kendaraan  | EWL  |          |         |         |          |         |
| 11  | Beban Gempa Arah Vertikal   | EQv  | 1076,70  |         |         | 0,00     |         |
| 12  | Beban Gempa Arah Horizontal | EQh  |          | 2321,51 | 2067,20 | 4116,03  | 3665,15 |
| 13  | Tekanan Tanah Dinamis       | TTEQ |          | 2750,39 |         | 9855,56  |         |
| D   | Akibat Lainnya              |      |          |         |         |          |         |
| 14  | Gesekan Perletakan          | BF   |          | 1189,38 |         | 3428,97  |         |
|     |                             |      | 20242,59 | 9301,56 | 2067,20 | 17582,81 | 3665,15 |

Table 4. 76 Rekapitulasi Pembebanan Tak Terfaktor Kombinasi Layan I

| No  | Beban                        | Kode | LAYAN I  |            |         |          |          |
|-----|------------------------------|------|----------|------------|---------|----------|----------|
|     |                              |      | Vertikal | Horisontal |         | Momen    |          |
|     |                              |      | P (kN)   | Tx (kN)    | Ty (kN) | Mx (kNm) | My (kNm) |
| A   | Akibat Tetap                 |      |          |            |         |          |          |
| 1   | Berat Sendiri Struktur Atas  | MS   |          |            |         |          |          |
| 1.a | Beton pracetak               |      | 4874,26  |            |         | 0,00     |          |
| 1.b | Beton cor di tempat          |      | 4816,57  |            |         | 0,00     |          |
| 2   | Berat Sendiri Struktur Bawah | MS   |          |            |         |          |          |
| 2.a | Beton pracetak               |      | 0,00     |            |         | 0,00     |          |
| 2.b | Beton cor di tempat          |      | 4722,93  |            |         | -3903,70 |          |
| 3   | Beban Mati Tambahan          | MA   | 1076,18  |            |         | 0,00     |          |
| 4   | Tekanan Tanah                | TA   |          | 2915,29    |         | 3189,08  |          |
| B   | Akibat Beban Lalu Lintas     |      |          |            |         |          |          |
| 5   | Beban Lajur                  | TD   | 3535,95  |            |         | 0,00     |          |
| 6   | Beban Pedestrian             | TP   | 140,00   |            |         | 0,00     |          |
| 7   | Gaya Rem                     | TB   |          | 125,00     |         | 896,88   |          |
| C   | Akibat Lingkungan            |      |          |            |         |          |          |
| 8   | Temperatur                   | TG   |          | 604,20     |         | 671,88   |          |
| 9   | Beban Angin pada Struktur    | EWS  | 77,18    |            | 88,20   |          | 1171,88  |
| 10  | Beban Angin pada Kendaraan   | EWL  |          |            | 22,05   |          | 172,54   |
| 11  | Beban Gempa Arah Vertikal    | EQv  |          |            |         |          |          |

|    |                             |      |          |         |        |         |         |
|----|-----------------------------|------|----------|---------|--------|---------|---------|
| 12 | Beban Gempa Arah Horizontal | EQh  |          |         |        |         |         |
| 13 | Tekanan Tanah Dinamis       | TTEQ |          |         |        |         |         |
| D  | Akibat Lainnya              |      |          |         |        |         |         |
| 14 | Gesekan Perletakan          | BF   |          | 1189,38 |        | 3428,97 |         |
|    |                             |      | 19243,06 | 4833,86 | 110,25 | 4283,10 | 1344,42 |

Table 4. 77 Rekapitulasi Pembebanan Tak Terfaktor Kombinasi Layan II

| No  | Beban                        | Kode | LAYAN II |            |         |          |          |
|-----|------------------------------|------|----------|------------|---------|----------|----------|
|     |                              |      | Vertikal | Horisontal |         | Momen    |          |
|     |                              |      | P (kN)   | Tx (kN)    | Ty (kN) | Mx (kNm) | My (kNm) |
| A   | Akibat Tetap                 |      |          |            |         |          |          |
| 1   | Berat Sendiri Struktur Atas  | MS   |          |            |         |          |          |
| 1.a | Beton pracetak               |      | 4874,26  |            |         | 0,00     |          |
| 1.b | Beton cor di tempat          |      | 4816,57  |            |         | 0,00     |          |
| 2   | Berat Sendiri Struktur Bawah | MS   |          |            |         |          |          |
| 2.a | Beton pracetak               |      | 0,00     |            |         | 0,00     |          |
| 2.b | Beton cor di tempat          |      | 4722,93  |            |         | -3903,70 |          |
| 3   | Beban Mati Tambahan          | MA   | 1076,18  |            |         | 0,00     |          |
| 4   | Tekanan Tanah                | TA   |          | 2915,29    |         | 3189,08  |          |
| B   | Akibat Beban Lalu Lintas     |      |          |            |         |          |          |
| 5   | Beban Lajur                  | TD   | 3535,95  |            |         | 0,00     |          |
| 6   | Beban Pedestrian             | TP   | 140,00   |            |         | 0,00     |          |
| 7   | Gaya Rem                     | TB   |          | 125,00     |         | 896,88   |          |
| C   | Akibat Lingkungan            |      |          |            |         |          |          |
| 8   | Temperatur                   | TG   |          |            |         |          |          |

|    |                             |      |          |         |      |         |      |
|----|-----------------------------|------|----------|---------|------|---------|------|
| 9  | Beban Angin pada Struktur   | EWS  |          |         |      |         |      |
| 10 | Beban Angin pada Kendaraan  | EWL  |          |         |      |         |      |
| 11 | Beban Gempa Arah Vertikal   | EQv  |          |         |      |         |      |
| 12 | Beban Gempa Arah Horizontal | EQh  |          |         |      |         |      |
| 13 | Tekanan Tanah Dinamis       | TTEQ |          |         |      |         |      |
| D  | Akibat Lainnya              |      |          |         |      |         |      |
| 14 | Gesekan Perletakan          | BF   |          | 1189,38 |      | 3428,97 |      |
|    |                             |      | 19165,89 | 4229,66 | 0,00 | 3611,22 | 0,00 |

Table 4. 78 Rekapitulasi Pembebanan Tak Terfaktor Kombinasi Layan III

| No  | Beban                        | Kode | LAYAN III |            |         |          |          |
|-----|------------------------------|------|-----------|------------|---------|----------|----------|
|     |                              |      | Vertikal  | Horisontal |         | Momen    |          |
|     |                              |      | P (kN)    | Tx (kN)    | Ty (kN) | Mx (kNm) | My (kNm) |
| A   | Akibat Tetap                 |      |           |            |         |          |          |
| 1   | Berat Sendiri Struktur Atas  | MS   |           |            |         |          |          |
| 1.a | Beton pracetak               |      | 4874,26   |            |         | 0,00     |          |
| 1.b | Beton cor di tempat          |      | 4816,57   |            |         | 0,00     |          |
| 2   | Berat Sendiri Struktur Bawah | MS   |           |            |         |          |          |
| 2.a | Beton pracetak               |      | 0,00      |            |         | 0,00     |          |
| 2.b | Beton cor di tempat          |      | 4722,93   |            |         | -3903,70 |          |
| 3   | Beban Mati Tambahan          | MA   | 1076,18   |            |         | 0,00     |          |
| 4   | Tekanan Tanah                | TA   |           | 2915,29    |         | 3189,08  |          |
| B   | Akibat Beban Lalu Lintas     |      |           |            |         |          |          |
| 5   | Beban Lajur                  | TD   | 3535,95   |            |         | 0,00     |          |

|    |                             |      |          |         |      |         |      |
|----|-----------------------------|------|----------|---------|------|---------|------|
| 6  | Beban Pedestrian            | TP   | 140,00   |         |      | 0,00    |      |
| 7  | Gaya Rem                    | TB   |          | 125,00  |      | 896,88  |      |
| C  | Akibat Lingkungan           |      |          |         |      |         |      |
| 8  | Temperatur                  | TG   |          | 604,20  |      | 671,88  |      |
| 9  | Beban Angin pada Struktur   | EWS  |          |         |      |         |      |
| 10 | Beban Angin pada Kendaraan  | EWL  |          |         |      |         |      |
| 11 | Beban Gempa Arah Vertikal   | EQv  |          |         |      |         |      |
| 12 | Beban Gempa Arah Horizontal | EQh  |          |         |      |         |      |
| 13 | Tekanan Tanah Dinamis       | TTEQ |          |         |      |         |      |
| D  | Akibat Lainnya              |      |          |         |      |         |      |
| 14 | Gesekan Perletakan          | BF   |          | 1189,38 |      | 3428,97 |      |
|    |                             |      | 19165,89 | 4833,86 | 0,00 | 4283,10 | 0,00 |

Table 4. 79 Rekapitulasi Pembebanan Tak Terfaktor Kombinasi Layan IV

| No  | Beban                        | Kode | LAYAN IV |            |         |          |          |
|-----|------------------------------|------|----------|------------|---------|----------|----------|
|     |                              |      | Vertikal | Horisontal |         | Momen    |          |
|     |                              |      | P (kN)   | Tx (kN)    | Ty (kN) | Mx (kNm) | My (kNm) |
| A   | Akibat Tetap                 |      |          |            |         |          |          |
| 1   | Berat Sendiri Struktur Atas  | MS   |          |            |         |          |          |
| 1.a | Beton pracetak               |      | 4874,26  |            |         | 0,00     |          |
| 1.b | Beton cor di tempat          |      | 4816,57  |            |         | 0,00     |          |
| 2   | Berat Sendiri Struktur Bawah | MS   |          |            |         |          |          |
| 2.a | Beton pracetak               |      | 0,00     |            |         | 0,00     |          |
| 2.b | Beton cor di tempat          |      | 4722,93  |            |         | -3903,70 |          |

|    |                             |      |          |         |       |         |         |
|----|-----------------------------|------|----------|---------|-------|---------|---------|
| 3  | Beban Mati Tambahan         | MA   | 1076,18  |         |       | 0,00    |         |
| 4  | Tekanan Tanah               | TA   |          | 2915,29 |       | 3189,08 |         |
| B  | Akibat Beban Lalu Lintas    |      |          |         |       |         |         |
| 5  | Beban Lajur                 | TD   |          |         |       |         |         |
| 6  | Beban Pedestrian            | TP   |          |         |       |         |         |
| 7  | Gaya Rem                    | TB   |          |         |       |         |         |
| C  | Akibat Lingkungan           |      |          |         |       |         |         |
| 8  | Temperatur                  | TG   |          | 604,20  |       | 671,88  |         |
| 9  | Beban Angin pada Struktur   | EWS  | 77,18    |         | 88,20 |         | 1171,88 |
| 10 | Beban Angin pada Kendaraan  | EWL  |          |         |       |         |         |
| 11 | Beban Gempa Arah Vertikal   | EQv  |          |         |       |         |         |
| 12 | Beban Gempa Arah Horizontal | EQh  |          |         |       |         |         |
| 13 | Tekanan Tanah Dinamis       | TTEQ |          |         |       |         |         |
| D  | Akibat Lainnya              |      |          |         |       |         |         |
| 14 | Gesekan Perletakan          | BF   |          | 1189,38 |       | 3428,97 |         |
|    |                             |      | 15567,11 | 4708,86 | 88,20 | 3386,22 | 1171,88 |

Table 4. 80 Rekapitulasi Pembebanan Tak Terfaktor Kombinasi Fatik

| No | Beban                       | Kode | FATIK    |            |         |          |
|----|-----------------------------|------|----------|------------|---------|----------|
|    |                             |      | Vertikal | Horisontal |         | Momen    |
|    |                             |      | P (kN)   | Tx (kN)    | Ty (kN) | Mx (kNm) |
| A  | Akibat Tetap                |      |          |            |         |          |
| 1  | Berat Sendiri Struktur Atas | MS   |          |            |         |          |

|     |                              |      |         |        |  |        |  |
|-----|------------------------------|------|---------|--------|--|--------|--|
| 1.a | Beton pracetak               |      |         |        |  |        |  |
| 1.b | Beton cor di tempat          |      |         |        |  |        |  |
| 2   | Berat Sendiri Struktur Bawah | MS   |         |        |  |        |  |
| 2.a | Beton pracetak               |      |         |        |  |        |  |
| 2.b | Beton cor di tempat          |      |         |        |  |        |  |
| 3   | Beban Mati Tambahan          | MA   |         |        |  |        |  |
| 4   | Tekanan Tanah                | TA   |         |        |  |        |  |
| B   | Akibat Beban Lalu Lintas     |      |         |        |  |        |  |
| 5   | Beban Lajur                  | TD   | 3535,95 |        |  | 0,00   |  |
| 6   | Beban Pedestrian             | TP   | 140,00  |        |  | 0,00   |  |
| 7   | Gaya Rem                     | TB   |         | 125,00 |  | 896,88 |  |
| C   | Akibat Lingkungan            |      |         |        |  |        |  |
| 8   | Temperatur                   | TG   |         |        |  |        |  |
| 9   | Beban Angin pada Struktur    | EWS  |         |        |  |        |  |
| 10  | Beban Angin pada Kendaraan   | EWL  |         |        |  |        |  |
| 11  | Beban Gempa Arah Vertikal    | EQv  |         |        |  |        |  |
| 12  | Beban Gempa Arah Horizontal  | EQh  |         |        |  |        |  |
| 13  | Tekanan Tanah Dinamis        | TTEQ |         |        |  |        |  |
| D   | Akibat Lainnya               |      |         |        |  |        |  |
| 14  | Gesekan Perletakan           | BF   |         |        |  |        |  |
|     |                              |      |         |        |  |        |  |

## 9. Rekapitulasi Kombinasi Pembebanan Tak Terfaktor Pada Pilecap

Tabel 4. 105 Rekapitulasi Kombinasi Pembebanan Tak Terfaktor Pada Pilecap

| No. | Keadaan Batas  | Vertikal | Horisontal |         | Momen    |          |
|-----|----------------|----------|------------|---------|----------|----------|
|     |                | P (kN)   | Tx (kN)    | Ty (kN) | Mx (kNm) | My (kNm) |
| 1   | Kuat I         | 19165,89 | 4833,86    | 0,00    | 4283,10  | 0,00     |
| 2   | Kuat II        | 19165,89 | 4833,86    | 0,00    | 4283,10  | 0,00     |
| 3   | Kuat III       | 15567,11 | 4708,86    | 88,20   | 3386,22  | 1171,88  |
| 4   | Kuat IV        | 15489,94 | 4708,86    | 0,00    | 3386,22  | 0,00     |
| 5   | Kuat V         | 15567,11 | 4708,86    | 110,25  | 3386,22  | 1344,42  |
| 6   | Ekstrem I      | 20242,59 | 9301,56    | 2067,20 | 17582,81 | 3665,15  |
| 8   | Daya Layan I   | 19243,06 | 4833,86    | 110,25  | 4283,10  | 1344,42  |
| 9   | Daya Layan II  | 19165,89 | 4229,66    | 0,00    | 3611,22  | 0,00     |
| 10  | Daya Layan III | 19165,89 | 4833,86    | 0,00    | 4283,10  | 0,00     |
| 11  | Daya Layan IV  | 15567,11 | 4708,86    | 88,20   | 3386,22  | 1171,88  |
| 12  | Fatik          | 3675,95  | 125,00     | 0,00    | 896,88   | 0,00     |

## 10. Perhitungan Kapasitas Struktur Penahan (Sebagai Kontrol Stabilitas

Abutment)

Eksentrisitas beban terhadap fondasi,  $e = m$

|       |
|-------|
| -1,50 |
|-------|

Badan Abutment

Table 4. 81 Analisa Perhitungan Berat Sendiri Abutment sebagai Kapasitas Penahan

| No.                 | Parameter Berat Bagian |      |       |       | Berat (kN) | Lengan (m)          | Momen (kNm) |
|---------------------|------------------------|------|-------|-------|------------|---------------------|-------------|
|                     | b                      | h    | Shape | Direc |            |                     |             |
| 1                   | 0,30                   | 0,99 | 1,00  | -1,00 | 143,30     | 2,30                | -329,60     |
| 2                   | 0,50                   | 1,46 | 1,00  | -1,00 | 352,71     | 2,40                | -846,50     |
| 3                   | 0,65                   | 0,70 | 1,00  | -1,00 | 219,54     | 2,32                | -510,42     |
| 4                   | 0,65                   | 0,40 | 0,50  | -1,00 | 62,73      | 2,22                | -139,04     |
| 5                   | 0,30                   | 0,30 | 1,00  | 1,00  | 43,43      | 2,15                | 93,36       |
| 6                   | 0,30                   | 0,30 | 0,50  | 1,00  | 21,71      | 2,10                | 45,60       |
| 7                   | 1,00                   | 2,77 | 1,00  | -1,00 | 1337,97    | 1,50                | -2006,96    |
| 8                   | 1,00                   | 1,00 | 1,00  | -1,00 | 482,50     | 2,50                | -1206,25    |
| 9                   | 1,00                   | 1,00 | 1,00  | 1,00  | 482,50     | 2,50                | 1206,25     |
| 10                  | 1,00                   | 0,35 | 1,00  | -1,00 | 168,88     | 1,50                | -253,31     |
| P MS <sub>1</sub> = |                        |      |       |       | 3315,26    | M MS <sub>1</sub> = | -3946,88    |

Wing Wall

Table 4. 82 Analisa Perhitungan Berat Sendiri Wing Wall sebagai Kapasitas Penahan

| NO                   | Parameter Berat Bagian |      |       |       | Berat (kN) | Lengan (m)           | Momen (kNm) |
|----------------------|------------------------|------|-------|-------|------------|----------------------|-------------|
|                      | b                      | h    | Shape | Direc |            |                      |             |
| 16                   | 0,55                   | 0,99 | 1,00  | -1,00 | 167,54     | 5,000                | -837,71     |
| 17                   | 0,35                   | 3,39 | 1,00  | -1,00 | 364,55     | 5,100                | -1859,19    |
| 18                   | 0,65                   | 0,40 | 0,50  | -1,00 | 40,00      | 2,433                | -97,34      |
| 19                   | 0,65                   | 0,82 | 1,00  | -1,00 | 164,60     | 6,033                | -993,11     |
| PMS <sub>ww1</sub> = |                        |      |       |       | 736,70     | MMS <sub>ww1</sub> = | -3787,36    |

$$\Sigma PMS = 4051,96$$

$$\Sigma MMS = -7734,24$$

## 11. Rekapitulasi Beban Vertikal Dengan Lengan Gaya Pada Ujung Pilecap Untuk Kontrol Stabilitas

Table 4. 83 Rekapitulasi Beban Vertikal Akibat Lengan Gaya Pada Ujung Pilecap

| No  | Beban                        | Kode         | P/Vertikal (kN) | Lengan O (m) | Momen (kNm) |
|-----|------------------------------|--------------|-----------------|--------------|-------------|
| A   | Akibat Tetap                 |              |                 |              |             |
| 1   | Berat Sendiri Struktur Atas  | MS           |                 |              |             |
| 1.a | Beton pracetak               |              | 4874,26         | -1,50        | -7311,39    |
| 1.b | Beton cor di tempat          |              | 4816,57         | -1,50        | -7224,86    |
| 2   | Berat Sendiri Struktur Bawah | MS           |                 |              |             |
| 2.a | Beton pracetak               |              | 0,00            | Varies       | 0,00        |
| 2.b | Beton cor di tempat          |              | 4051,96         | Varies       | -7734,24    |
| 3   | Beban Mati Tambahan          | MA           | 1076,18         | -1,50        | -1614,26    |
| 4   | Tekanan Tanah                | TA           |                 |              |             |
| B   | Akibat Beban Lalu Lintas     |              |                 |              |             |
| 5   | Beban Lajur                  | TD           | 3535,95         | -1,50        | -5303,93    |
| 6   | Beban Pedestrian             | TP           | 140,00          | -1,50        | -210,00     |
| 7   | Gaya Rem                     | TB           |                 |              |             |
| C   | Akibat Lingkungan            |              |                 |              |             |
| 8   | Temperatur                   | TG           |                 |              |             |
| 9   | Beban Angin pada Struktur    | EWS          |                 |              |             |
| 10  | Beban Angin pada Kendaraan   | EWL          |                 |              |             |
| 11  | Beban Gempa Arah Vertikal    | EQv          | 1076,70         | -1,50        | -1615,05    |
| 12  | Beban Gempa Arah Horizontal  | EQh          |                 |              |             |
| 13  | Tekanan Tanah Dinamis        | TTEQ         |                 |              |             |
| D   | Akibat Lainnya               |              |                 |              |             |
| 14  | Gesekan Perletakan           | BF           |                 |              |             |
|     |                              | $\Sigma P =$ | 19571,62        | $\Sigma M =$ | -31013,73   |

Table 4. 84 Faktor Pembebanan SNI 1725:2016

| No | Aksi / Beban                 | Kode | FAKTOR PEMBEBANAN SNI 1725:2016 |      |       |      |      |      |      |      |       |      |      |  |
|----|------------------------------|------|---------------------------------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|------|------|--|
|    |                              |      | K.I                             | K.II | K.III | K.IV | K.V  | E.I  | L.I  | L.II | L.III | L.IV | F    |  |
| A  | Aksi Tetap                   |      |                                 |      |       |      |      |      |      |      |       |      |      |  |
| 1  | Berat Sendiri Struktur Atas  | MS   |                                 |      |       |      |      |      |      |      |       |      |      |  |
| 1a | Beton pracetak               |      | 1,20                            | 1,20 | 1,20  | 1,20 | 1,20 | 1,20 | 1,00 | 1,00 | 1,00  | 1,00 | -    |  |
| 1b | Beton cor di tempat          |      | 1,30                            | 1,30 | 1,30  | 1,30 | 1,30 | 1,30 | 1,00 | 1,00 | 1,00  | 1,00 | -    |  |
| 2  | Berat Sendiri Struktur Bawah | MS   |                                 |      |       |      |      |      |      |      |       |      |      |  |
| 2a | Beton pracetak               |      | 1,20                            | 1,20 | 1,20  | 1,20 | 1,20 | 1,20 | 1,00 | 1,00 | 1,00  | 1,00 | -    |  |
| 2b | Beton cor di tempat          |      | 1,30                            | 1,30 | 1,30  | 1,30 | 1,30 | 1,30 | 1,00 | 1,00 | 1,00  | 1,00 | -    |  |
| 3  | Beban Mati Tambahan          | MA   | 1,80                            | 1,80 | 1,80  | 1,80 | 1,80 | 1,80 | 1,00 | 1,00 | 1,00  | 1,00 | -    |  |
| 4  | Tekanan Tanah                | TA   | 1,20                            | 1,20 | 1,20  | 1,20 | 1,20 | 1,20 | 1,00 | 1,00 | 1,00  | 1,00 | -    |  |
| B  | Beban Lalu-lintas            |      |                                 |      |       |      |      |      |      |      |       |      |      |  |
| 5  | Beban Lajur                  | TD   | 1,80                            | 1,40 | -     | -    | -    | 0,30 | 1,00 | 1,30 | 0,80  | -    | 0,75 |  |
| 6  | Beban Pedestrian             | TP   | 1,80                            | 1,40 | -     | -    | -    | 0,30 | 1,00 | 1,30 | 0,80  | -    | 0,75 |  |
| 7  | Gaya Rem                     | TB   | 1,80                            | 1,40 | -     | -    | -    | 0,30 | 1,00 | 1,30 | 0,80  | -    | 0,75 |  |
| C  | Aksi Lingkungan              |      |                                 |      |       |      |      |      |      |      |       |      |      |  |
| 8  | Temperatur                   | TG   | 0,00                            | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | -    | 0,50 | -    | 0,50  | 1,00 | -    |  |
| 9  | Beban Angin pada Struktur    | EWS  | -                               | -    | 1,40  | -    | 0,40 | -    | 0,30 | -    | -     | 0,70 | -    |  |
| 10 | Beban Angin pada Kendaraan   | EWL  | -                               | -    | -     | -    | 1,00 | -    | 1,00 | -    | -     | -    | -    |  |
| 11 | Beban Gempa Arah Vertikal    | EQv  | -                               | -    | -     | -    | -    | 1,00 | -    | -    | -     | -    | -    |  |
| 12 | Beban Gempa Arah Horizontal  | EQh  | -                               | -    | -     | -    | -    | 1,00 | -    | -    | -     | -    | -    |  |
| 13 | Tekanan Tanah Dinamis        | TTEQ | -                               | -    | -     | -    | -    | 1,00 | -    | -    | -     | -    | -    |  |

|    |              |    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |   |
|----|--------------|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---|
| D  | Aksi Lainnya |    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |   |
| 14 | Gesekan      | BF | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | - |

218

## 12. Faktor Pembebanan Untuk Struktur Penahan (Beban Vertikal Dengan Lengan Eksentris $\frac{1}{2}$ Bx)

Table 4. 85 Kombinasi dan Faktor Pembebanan Terhadap Struktur Penahan Dengan Lengan Eksentris  $\frac{1}{2}$  Bx

| No | Kode       | TAK TERFAKTOR |           | K.I       | K.II      | K.III     | K.IV      | K.V       | E.I       | L.I       | L.II      | L.III     | L.IV      | F        |
|----|------------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
|    |            | P (kN)        | M (kNm)   | Mu (kNm)  | Mu (kNm)  | Mu (kNm)  | Mu (kNm)  | Mu (kNm)  | Mu (kNm)  | Mu (kNm)  | Mu (kNm)  | Mu (kNm)  | Mu (kNm)  | Mu (kNm) |
| A  |            |               |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |          |
| 1  | MS         |               |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |          |
| 1a |            | 4874,26       | -7311,39  | -8773,67  | -8773,67  | -8773,67  | -8773,67  | -8773,67  | -8773,67  | -7311,39  | -7311,39  | -7311,39  | -7311,39  | -        |
| 1b |            | 4816,57       | -7224,86  | -9392,31  | -9392,31  | -9392,31  | -9392,31  | -9392,31  | -9392,31  | -7224,86  | -7224,86  | -7224,86  | -7224,86  | -        |
| 2  | MS         |               |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |          |
| 2a |            | 0,00          | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      |          |
| 2b |            | 4051,96       | -7734,24  | -10054,51 | -10054,51 | -10054,51 | -10054,51 | -10054,51 | -10054,51 | -7734,24  | -7734,24  | -7734,24  | -7734,24  | -        |
| 3  | MA         | 1076,18       | -1614,26  | -2905,67  | -2905,67  | -2905,67  | -2905,67  | -2905,67  | -2905,67  | -1614,26  | -1614,26  | -1614,26  | -1614,26  | -        |
| 4  | TA         |               |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |          |
| B  |            |               |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |          |
| 5  | TD         | 3535,95       | -5303,93  | -9547,07  | -7425,50  | -         | -         | -         | -1591,18  | -5303,93  | -6895,10  | -4243,14  | -         | -3977,94 |
| 6  | TP         | 140,00        | -210,00   | -378,00   | -294,00   | -         | -         | -         | -63,00    | -210,00   | -273,00   | -168,00   | -         | -157,50  |
| 7  | TB         |               |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |          |
| C  |            |               |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |          |
| 8  | TG         |               |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |          |
| 9  | EWS        |               |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |          |
| 10 | EWL        |               |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |          |
| 11 | EQv        | 1076,70       | -1615,05  | -         | -         | -         | -         | 1076,70   | -1615,05  | -         | -         | -         | -         | -        |
| 12 | EQh        |               |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |          |
| 13 | TTEQ       |               |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |          |
| D  |            |               |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |          |
| 14 | BF         |               |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |          |
|    | $\Sigma =$ | 19571,62      | -31013,73 | -41051,23 | -38845,66 | -31126,17 | -31126,17 | -30049,47 | -34395,39 | -29398,67 | -31052,85 | -28295,89 | -23884,75 | -4135,44 |

## 17. Kontrol Stabilitas Guling Abutment Arah Memanjang Jembatan

Table 4. 86 Kontrol Stabilitas Guling Abutment Arah Memanjang Jembatan

| No. | Keadaan Batas  | Penahan             | Pengguling          | SF      | Keterangan   |
|-----|----------------|---------------------|---------------------|---------|--------------|
|     |                | $\Sigma M_w$ (kN.m) | $\Sigma M_x$ (kN.m) |         |              |
| a   | b              | c                   | d                   | e = c/d | f            |
| 1   | Kuat I         | -41051,23           | 4283,10             | 9,584   | OK, SF > 1,5 |
| 2   | Kuat II        | -38845,66           | 4283,10             | 9,070   | OK, SF > 1,5 |
| 3   | Kuat III       | -31126,17           | 3386,22             | 9,192   | OK, SF > 1,5 |
| 4   | Kuat IV        | -31126,17           | 3386,22             | 9,192   | OK, SF > 1,5 |
| 5   | Kuat V         | -30049,47           | 3386,22             | 8,874   | OK, SF > 1,5 |
| 6   | Ekstrem I      | -34395,39           | 17582,81            | 1,956   | OK, SF > 1,5 |
| 7   | Daya Layan I   | -29398,67           | 4283,10             | 6,86    | OK, SF > 1,5 |
| 8   | Daya Layan II  | -31052,85           | 3611,22             | 8,60    | OK, SF > 1,5 |
| 9   | Daya Layan III | -28295,89           | 4283,10             | 6,61    | OK, SF > 1,5 |
| 10  | Daya Layan IV  | -23884,75           | 3386,22             | 7,05    | OK, SF > 1,5 |
| 111 | Fatik          | -4135,44            | 896,88              | 4,61    | OK, SF > 1,5 |

18. Stabilitas Guling Abutment Arah Melintang Jembatan

Table 4. 87 Rekapitulasi Beban Vertikal Akibat Lengan Gaya Pada 1/2 By Abutment

| No | Aksi / Beban                 | Kode | Gaya P/Vertikal (kN) | Lengan O (m) = 1/2 By | Momen (kNm) |
|----|------------------------------|------|----------------------|-----------------------|-------------|
| A  | Aksi Tetap                   |      |                      |                       |             |
| 1  | Berat Sendiri Struktur Atas  | MS   |                      |                       |             |
| 1a | Beton pracetak               |      | 4874,26              | -9,65                 | -47036,61   |
| 1b | Beton cor di tempat          |      | 4816,57              | -9,65                 | -46479,91   |
| 2  | Berat Sendiri Struktur Bawah | MS   |                      |                       |             |
| 2a | Beton pracetak               |      | 0,00                 | -9,65                 | 0,00        |
| 2b | Beton cor di tempat          |      | 4051,96              | -9,65                 | -7734,24    |
| 3  | Beban Mati Tambahan          | MA   | 1076,18              | -9,65                 | -10385,09   |
| 4  | Tekanan Tanah                | TA   |                      |                       |             |
| B  | Beban Lalu-lintas            |      |                      |                       |             |
| 5  | Beban Lajur                  | TD   | 3535,95              | -9,65                 | -34121,92   |
| 6  | Beban Pedestrian             | TP   | 140,00               | -9,65                 | -1351,00    |
| 7  | Gaya Rem                     | TB   |                      |                       |             |
| C  | Aksi Lingkungan              |      |                      |                       |             |
| 8  | Temperatur                   | TG   |                      |                       |             |
| 9  | Beban Angin pada Struktur    | EWS  |                      |                       |             |
| 10 | Beban Angin pada Kendaraan   | EWL  |                      |                       |             |
| 11 | Beban Gempa Arah Vertikal    | EQv  | 1076,70              | -9,65                 | -10390,16   |
| 12 | Beban Gempa Arah Horizontal  | EQh  |                      |                       |             |
| 13 | Tekanan Tanah Dinamis        | TTEQ |                      |                       |             |
| D  | Aksi Lainnya                 |      |                      |                       |             |
| 14 | Gesekan                      | BF   |                      |                       |             |
|    |                              | Σ =  | 19571,62             |                       | -157498,93  |

Table 4. 88 Kombinasi dan Faktor Pembebanan Terhadap Struktur Penahan Dengan Lengan Eksentris ½ By

| No | Kode | TAK TERFAKTOR |            | K.I        | K.II       | K.III      | K.IV       | K.V        | E.I        | L.I        | L.II       | L.III      | L.IV       | F         |
|----|------|---------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|
|    |      | P (kN)        | M (kNm)    | Mu (kNm)   | Mu (kNm)   | Mu (kNm)   | Mu (kNm)   | Mu (kNm)   | Mu (kNm)   | Mu (kNm)   | Mu (kNm)   | Mu (kNm)   | Mu (kNm)   | Mu (kNm)  |
| A  |      |               |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |           |
| 1  | MS   |               |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |           |
| 1a |      | 4874,26       | -47036,61  | -56443,93  | -56443,93  | -56443,93  | -56443,93  | -56443,93  | -56443,93  | -47036,61  | -47036,61  | -47036,61  | -47036,61  | -         |
| 1b |      | 4816,57       | -46479,91  | -60423,89  | -60423,89  | -60423,89  | -60423,89  | -60423,89  | -60423,89  | -46479,91  | -46479,91  | -46479,91  | -46479,91  | -         |
| 2  | MS   |               |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |           |
| 2a |      | 0,00          | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | -         |
| 2b |      | 4051,96       | -7734,24   | -10054,51  | -10054,51  | -10054,51  | -10054,51  | -10054,51  | -10054,51  | -7734,24   | -7734,24   | -7734,24   | -7734,24   | -         |
| 3  | MA   | 1076,18       | -10385,09  | -18693,16  | -18693,16  | -18693,16  | -18693,16  | -18693,16  | -18693,16  | -10385,09  | -10385,09  | -10385,09  | -10385,09  | -         |
| 4  | TA   |               |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |           |
| B  |      |               |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |           |
| 5  | TD   | 3535,95       | -34121,92  | -61419,45  | -47770,68  | -          | -          | -          | -10236,58  | -34121,92  | -44358,49  | -27297,53  | -          | -25591,44 |
| 6  | TP   | 140,00        | -1351,00   | -2431,80   | -1891,40   | -          | -          | -          | -405,30    | -1351,00   | -1756,30   | -1080,80   | -          | -1013,25  |
| 7  | TB   |               |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |           |
| C  |      |               |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |           |
| 8  | TG   |               |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |           |
| 9  | EWS  |               |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |           |
| 10 | EWL  |               |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |           |
| 11 | EQv  | 1076,70       | -10390,16  | -          | -          | -          | -          | -          | -10390,16  | -          | -          | -          | -          | -         |
| 12 | EQh  |               |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |           |
| 13 | TTEQ |               |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |           |
| D  |      |               |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |           |
| 14 | BF   |               |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |           |
|    | Σ =  | 19571,62      | -157498,93 | -209466,74 | -195277,57 | -145615,49 | -145615,49 | -145615,49 | -166647,53 | -147108,77 | -157750,64 | -140014,18 | -111635,85 | -26604,69 |

Table 4. 89 Kontrol Stabilitas Guling Abutment Arah Melintang Jembatan

| No. | Keadaan Batas  | Penahan             | Pengguling          | SF      | Keterangan   |
|-----|----------------|---------------------|---------------------|---------|--------------|
|     |                | $\Sigma M_w$ (kN.m) | $\Sigma M_x$ (kN.m) |         |              |
| a   | B              | c                   | d                   | e = c/d | f            |
| 1   | Kuat I         | 209466,74           | -                   | -       | My = 0       |
| 2   | Kuat II        | 195277,57           | -                   | -       | My = 0       |
| 3   | Kuat III       | 145615,49           | 1171,88             | 124,26  | OK, SF > 1,5 |
| 4   | Kuat IV        | 145615,49           | -                   | -       | My = 0       |
| 5   | Kuat V         | 145615,49           | 1344,42             | 108,31  | OK, SF > 1,5 |
| 6   | Ekstrem I      | 166647,53           | 3665,15             | 45,47   | OK, SF > 1,5 |
| 7   | Daya Layan I   | 147108,77           | 1344,42             | 109,42  | OK, SF > 1,5 |
| 8   | Daya Layan II  | 157750,64           | -                   | -       | My = 0       |
| 9   | Daya Layan III | 140014,18           | -                   | -       | My = 0       |
| 10  | Daya Layan IV  | 111635,85           | 1171,88             | 95,26   | OK, SF > 1,5 |
| 11  | Fatik          | 26604,69            | -                   | -       | My = 0       |

## 19. Stabilitas Abutment Terhadap Geser

### a) Stabilitas Geser Memanjang Abutment

$$B_x = 3,00 \text{ m}$$

$$B_y = 19,30 \text{ m}$$

Profil tanah backfill:

- Kohesi, c = 0,00
- Sudut gesek dalam,  $\Phi$  = 35
- Tan  $\Phi$  = 0,70

Tabel 4. 115 Kontrol Stabilitas Geser Abutment Arah Memanjang Jembatan

| No. | Keadaan Batas  | Beban Tak Terfaktor |  |                   | SF (tanah eksisting) | Keterangan   |
|-----|----------------|---------------------|--|-------------------|----------------------|--------------|
|     |                | $\Sigma P$ (kN)     | Gaya penahan geser<br>$\Sigma H_P$<br>(kN) | $\Sigma T_x$ (kN) |                      |              |
| a   | b              | c                   | $d = c * B_x * B_y + \Sigma P * \tan \Phi$ | e                 | $f = d/e$            | g            |
| 1   | Kuat I         | 19165,89            | 13420,10                                   | 4833,86           | 2,78                 | OK, SF > 1,5 |
| 2   | Kuat II        | 19165,89            | 13420,10                                   | 4833,86           | 2,78                 | OK, SF > 1,5 |
| 3   | Kuat III       | 15567,11            | 10900,21                                   | 4708,86           | 2,31                 | OK, SF > 1,5 |
| 4   | Kuat IV        | 15489,94            | 10846,17                                   | 4708,86           | 2,30                 | OK, SF > 1,5 |
| 5   | Kuat V         | 15567,11            | 10900,21                                   | 4708,86           | 2,31                 | OK, SF > 1,5 |
| 6   | Ekstrem I      | 20242,59            | 14174,01                                   | 9301,56           | 1,52                 | OK, SF > 1,5 |
| 8   | Daya Layan I   | 19243,06            | 13474,14                                   | 4833,86           | 2,79                 | OK, SF > 1,5 |
| 9   | Daya Layan II  | 19165,89            | 13420,10                                   | 4229,66           | 3,17                 | OK, SF > 1,5 |
| 10  | Daya Layan III | 19165,89            | 13420,10                                   | 4833,86           | 2,78                 | OK, SF > 1,5 |
| 11  | Daya Layan IV  | 15567,11            | 10900,21                                   | 4708,86           | 2,31                 | OK, SF > 1,5 |
| 12  | Fatik          | 3675,95             | 2573,93                                    | 125,00            | 20,59                | OK, SF > 1,5 |

Tabel 4. 116 Kontrol Stabilitas Geser Abutment Arah Melintang Jembatan

| No. | Keadaan Batas  | Beban Tak Terfaktor |  |                   | SF (tanah eksisting) | Keterangan   |
|-----|----------------|---------------------|--|-------------------|----------------------|--------------|
|     |                | $\Sigma P$<br>(kN)  | Gaya penahan geser<br>$\Sigma HP$<br>(kN)  | $\Sigma T_x$ (kN) |                      |              |
| a   | b              | c                   | $d = c * B_x * B_y + \Sigma P * \tan \Phi$ | e                 | $f = d/e$            | g            |
| 1   | Kuat I         | 19165,89            | 13420,10                                   | -                 | -                    | $T_y = 0$    |
| 2   | Kuat II        | 19165,89            | 13420,10                                   | -                 | -                    | $T_y = 0$    |
| 3   | Kuat III       | 15567,11            | 10900,21                                   | 123,48            | 88,28                | OK, SF > 1,5 |
| 4   | Kuat IV        | 15489,94            | 10846,17                                   | -                 | -                    | $T_y = 0$    |
| 5   | Kuat V         | 15567,11            | 10900,21                                   | 57,33             | 190,13               | OK, SF > 1,5 |
| 6   | Ekstrem I      | 20242,59            | 14174,01                                   | 2067,20           | 6,86                 | OK, SF > 1,5 |
| 8   | Daya Layan I   | 19243,06            | 13474,14                                   | 48,51             | 277,76               | OK, SF > 1,5 |
| 9   | Daya Layan II  | 19165,89            | 13420,10                                   | -                 | -                    | $T_y = 0$    |
| 10  | Daya Layan III | 19165,89            | 13420,10                                   | -                 | -                    | $T_y = 0$    |
| 11  | Daya Layan IV  | 15567,11            | 10900,21                                   | 61,74             | 176,55               | OK, SF > 1,5 |
| 12  | Fatik          | 3675,95             | 2573,93                                    | -                 | -                    | $T_y = 0$    |

## 20. Breast Wall

### a) Berat sendiri breast wall

- $B_y = 19,30 \text{ m}$
- $\gamma_{\text{beton}} = 25,00 \text{ kN/m}^3$

Table 4. 90 Analisa Berat Sendiri Breast Wall

| No.               | Parameter |       | Berat (kN) |
|-------------------|-----------|-------|------------|
|                   | b         | h     |            |
| 1                 | 0,30      | 0,990 | 143,30     |
| 2                 | 0,50      | 1,462 | 352,71     |
| 3                 | 0,65      | 0,700 | 219,54     |
| 4                 | 0,65      | 0,400 | 125,45     |
| 5                 | 0,30      | 0,300 | 43,43      |
| 6                 | 0,30      | 0,300 | 43,43      |
| 7                 | 1,00      | 2,773 | 1337,97    |
| P MS =            |           |       | 2265,82    |
| e =               |           |       | 0,00       |
| M MS = e x P MS = |           |       | 0,00       |

### b) Rekapitulasi beban yang bekerja pada breast wall (tak terfaktor)

Table 4. 91 Rekapitulasi Beban Bekerja Pada Breast Wall

| No | Aksi / Beban                             | Kode                 | Vertikal | Horisontal |    | Momen   |    |
|----|--|----------------------|----------|------------|----|---------|----|
|    |  |                      | P (kN)   | Tx         | Ty | Mx      | My |
| A  | Aksi Tetap                               |                      |          |            |    |         |    |
| 1  | Berat Sendiri Breast Wall (cast in situ) | MS <sub>breast</sub> | 2265,82  |            |    | 0,00    |    |
| 2  | Berat Sendiri Struktur Atas              | MS <sub>atas</sub>   |          |            |    |         |    |
| 2a | Beton pracetak                           |                      | 4874,26  |            |    |         |    |
| 2b | Beton cor di                             |                      | 4816,57  |            |    |         |    |
| 3  | Beban Mati                               | MA                   | 1076,18  |            |    |         |    |
| 4  | Tekanan Tanah                            | TA                   |          | 2000,69    |    | 3189,08 |    |
| B  | Beban Lalu-lintas                        |                      |          |            |    |         |    |
| 5  | Beban Lajur                              | TD                   | 3535,95  |            |    |         |    |
| 6  | Beban                                    | TP                   | 140,00   |            |    |         |    |
| 7  | Gaya Rem                                 | TB                   |          | 125,00     |    | 771,88  |    |

|    |                             |       |         |         |         |         |         |
|----|-----------------------------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|
| C  | Aksi Lingkungan             |       |         |         |         |         |         |
| 8  | Temperatur                  | TG    |         | 604,20  |         | 671,88  |         |
| 9  | Beban Angin pada Struktur   | EWS   | 77,18   |         | 88,20   |         | 1046,88 |
| 10 | Beban Angin pada Kendaraan  | EWL   |         |         | 22,05   |         | 150,49  |
| 11 | Beban Gempa Arah Vertikal   | EQv   | 1076,70 |         |         | 0,00    |         |
| 12 | Beban Gempa Arah Horizontal | EQh   |         | 2321,51 | 2067,20 | 4116,03 | 3665,15 |
| 13 | Tekanan Tanah Dinamis       | T TEQ |         | 2655,10 |         | 5200,70 |         |
| D  | Aksi Lainnya                |       |         |         |         |         |         |
| 14 | Gesekan                     | BF    |         | 1189,38 |         | 2239,59 |         |

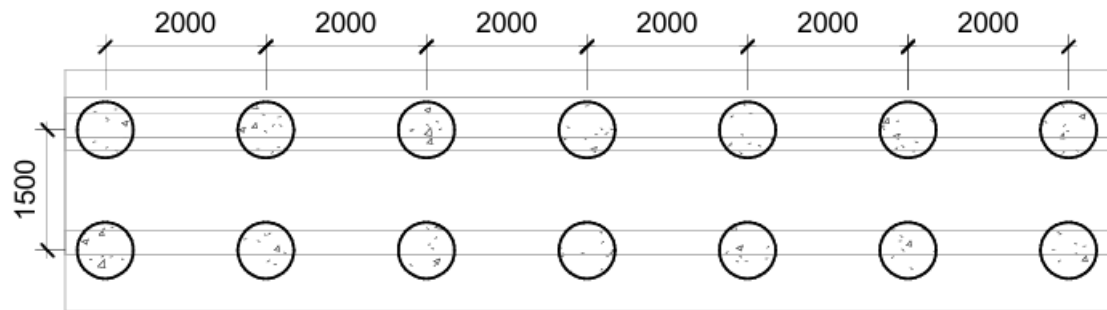


Table 4. 92 Rekapitulasi Faktor Pembebanan K

ombinasi Kuat I Pada Breast Wall

| Kuat I              |  |                      |        |         |          |          |           |           |
|---------------------|--|----------------------|--------|---------|----------|----------|-----------|-----------|
| No                  | Aksi / Beban                             | Kode                 | Faktor | Pu (kN) | Vux (kN) | Vuy (kN) | Mux (kNm) | Muy (kNm) |
| A Aksi Tetap        |  |                      |        |         |          |          |           |           |
| 1                   | Berat Sendiri Breast Wall (cast in situ) | MS <sub>breast</sub> | 1,30   | 2945,57 |          |          | 0,00      |           |
| 2                   | Berat Sendiri Struktur Atas              | MS <sub>atas</sub>   |        |         |          |          |           |           |
| 2a                  | Beton pracetak                           |                      | 1,20   | 5849,11 |          |          |           |           |
| 2b                  | Beton cor di tempat                      |                      | 1,30   | 6261,54 |          |          |           |           |
| 3                   | Beban Mati Tambahan                      | MA                   | 1,80   | 1937,12 |          |          |           |           |
| 4                   | Tekanan Tanah                            | TA                   | 1,20   |         | 2400,82  |          | 3826,90   |           |
| B Beban Lalu-lintas |  |                      |        |         |          |          |           |           |
| 5                   | Beban Lajur                              | TD                   | 1,80   | 6364,71 |          |          |           |           |
| 6                   | Beban Pedestrian                         | TP                   | 1,80   | 252,00  |          |          |           |           |

|       |                             |       |      |  |          |         |         |         |      |
|-------|-----------------------------|-------|------|--|----------|---------|---------|---------|------|
| 7     | Gaya Rem                    | TB    | 1,80 |  | 225,00   |         | 1389,38 |         |      |
| C     | Aksi Lingkungan             |       |      |  |          |         |         |         |      |
| 8     | Temperatur                  | TG    | 0,00 |  | 0,00     |         | 0,00    |         |      |
| 9     | Beban Angin pada Struktur   | EWS   | -    |  |          |         |         |         |      |
| 10    | Beban Angin pada Kendaraan  | EWL   | -    |  |          |         |         |         |      |
| 11    | Beban Gempa Arah Vertikal   | EQv   | -    |  |          |         |         |         |      |
| 12    | Beban Gempa Arah Horizontal | EQh   | -    |  |          |         |         |         |      |
| 13    | Tekanan Tanah Dinamis       | T TEQ | -    |  |          |         |         |         |      |
| D     | Aksi Lainnya                |       |      |  |          |         |         |         |      |
| 14    | Gesekan                     | BF    | 1,00 |  | 1189,38  |         | 2239,59 |         |      |
| Total |                             |       |      |  | 23610,05 | 3815,20 | 0,00    | 7455,86 | 0,00 |

Table 4. 93 Rekapitulasi Faktor Pembebanan Kombinasi Kuat II Pada

| Kuat II |  |                      |        |         |          |          |           |           |
|---------|--|----------------------|--------|---------|----------|----------|-----------|-----------|
| No      | Aksi / Beban                             | Kode                 | Faktor | Pu (kN) | Vux (kN) | Vuy (kN) | Mux (kNm) | Muy (kNm) |
| A       | Aksi Tetap                               |                      |        |         |          |          |           |           |
| 1       | Berat Sendiri Breast Wall (cast in situ) | MS <sub>breast</sub> | 1,30   | 2945,57 |          |          | 0,00      |           |
| 2       | Berat Sendiri Struktur Atas              | MS <sub>atas</sub>   |        |         |          |          |           |           |
| 2a      | Beton pracetak                           |                      | 1,20   | 5849,11 |          |          |           |           |
| 2b      | Beton cor di tempat                      |                      | 1,30   | 6261,54 |          |          |           |           |
| 3       | Beban Mati Tambahan                      | MA                   | 1,80   | 1937,12 |          |          |           |           |
| 4       | Tekanan Tanah                            | TA                   | 1,20   |         | 2400,82  |          | 3826,90   |           |

|       |                             |       |      |          |         |      |         |      |
|-------|-----------------------------|-------|------|----------|---------|------|---------|------|
| B     | Beban Lalu-lintas           |       |      |          |         |      |         |      |
| 5     | Beban Lajur                 | TD    | 1,40 | 4950,33  |         |      |         |      |
| 6     | Beban Pedestrian            | TP    | 1,40 | 196,00   |         |      |         |      |
| 7     | Gaya Rem                    | TB    | 1,40 |          | 175,00  |      | 1080,63 |      |
| C     | Aksi Lingkungan             |       |      |          |         |      |         |      |
| 8     | Temperatur                  | TG    | 0,00 |          | 0,00    |      | 0,00    |      |
| 9     | Beban Angin pada Struktur   | EWS   | -    |          |         |      |         |      |
| 10    | Beban Angin pada Kendaraan  | EWL   | -    |          |         |      |         |      |
| 11    | Beban Gempa Arah Vertikal   | EQv   | -    |          |         |      |         |      |
| 12    | Beban Gempa Arah Horizontal | EQh   | -    |          |         |      |         |      |
| 13    | Tekanan Tanah Dinamis       | T TEQ | -    |          |         |      |         |      |
| D     | Aksi Lainnya                |       |      |          |         |      |         |      |
| 14    | Gesekan                     | BF    | 1,00 |          | 1189,38 |      | 2239,59 |      |
| Total |                             |       |      | 19194,10 | 3765,20 | 0,00 | 7147,11 | 0,00 |

Table 4. 94 Rekapitulasi Faktor Pembebanan Kombinasi Kuat III Pada

| Kuat III |  |                      |        |         |          |          |           |           |
|----------|--|----------------------|--------|---------|----------|----------|-----------|-----------|
| No       | Aksi / Beban                             | Kode                 | Faktor | Pu (kN) | Vux (kN) | Vuy (kN) | Mux (kNm) | Muy (kNm) |
| A        | Aksi Tetap                               |                      |        |         |          |          |           |           |
| 1        | Berat Sendiri Breast Wall (cast in situ) | MS <sub>breast</sub> | 1,30   | 2945,57 |          |          | 0,00      |           |
| 2        | Berat Sendiri Struktur Atas              | MS <sub>atas</sub>   |        |         |          |          |           |           |

|       |                             |       |      |          |         |        |         |         |
|-------|-----------------------------|-------|------|----------|---------|--------|---------|---------|
| 2a    | Beton pracetak              |       | 1,20 | 5849,11  |         |        |         |         |
| 2b    | Beton cor di tempat         |       | 1,30 | 6261,54  |         |        |         |         |
| 3     | Beban Mati Tambahan         | MA    | 1,80 | 1937,12  |         |        |         |         |
| 4     | Tekanan Tanah               | TA    | 1,20 |          | 2400,82 |        | 3826,90 |         |
| B     | Beban Lalu-lintas           |       |      |          |         |        |         |         |
| 5     | Beban Lajur                 | TD    | -    |          |         |        |         |         |
| 6     | Beban Pedestrian            | TP    | -    |          |         |        |         |         |
| 7     | Gaya Rem                    | TB    | -    |          |         |        |         |         |
| C     | Aksi Lingkungan             |       |      |          |         |        |         |         |
| 8     | Temperatur                  | TG    | 0,00 |          | 0,00    |        | 0,00    |         |
| 9     | Beban Angin pada Struktur   | EWS   | 1,40 | 108,05   |         | 123,48 |         | 1465,63 |
| 10    | Beban Angin pada Kendaraan  | EWL   | -    |          |         |        |         |         |
| 11    | Beban Gempa Arah Vertikal   | EQv   | -    |          |         |        |         |         |
| 12    | Beban Gempa Arah Horizontal | EQh   | -    |          |         |        |         |         |
| 13    | Tekanan Tanah Dinamis       | T TEQ | -    |          |         |        |         |         |
| D     | Aksi Lainnya                |       |      |          |         |        |         |         |
| 14    | Gesekan                     | BF    | 1,00 |          | 1189,38 |        | 2239,59 |         |
| Total |                             |       |      | 14155,81 | 3590,20 | 123,48 | 6066,49 | 1465,63 |

Table 4. 95 Rekapitulasi Faktor Pembebanan Kombinasi Kuat IV Pada

| Kuat IV |              |      |        |         |          |          |           |           |
|---------|--------------|------|--------|---------|----------|----------|-----------|-----------|
| No      | Aksi / Beban | Kode | Faktor | Pu (kN) | Vux (kN) | Vuy (kN) | Mux (kNm) | Muy (kNm) |
| A       | Aksi Tetap   |      |        |         |          |          |           |           |

|       |  |                      |      |         |          |         |         |         |      |
|-------|--|----------------------|------|---------|----------|---------|---------|---------|------|
| 1     | Berat Sendiri Breast Wall (cast in situ) | MS <sub>breast</sub> | 1,30 | 2945,57 |          |         | 0,00    |         |      |
| 2     | Berat Sendiri Struktur Atas              | MS <sub>atas</sub>   |      |         |          |         |         |         |      |
| 2a    | Beton pracetak                           |                      | 1,20 | 5849,11 |          |         |         |         |      |
| 2b    | Beton cor di tempat                      |                      | 1,30 | 6261,54 |          |         |         |         |      |
| 3     | Beban Mati Tambahan                      | MA                   | 1,80 | 1937,12 |          |         |         |         |      |
| 4     | Tekanan Tanah                            | TA                   | 1,20 |         | 2400,82  |         | 3826,90 |         |      |
| B     | Beban Lalu-lintas                        |                      |      |         |          |         |         |         |      |
| 5     | Beban Lajur                              | TD                   | -    |         |          |         |         |         |      |
| 6     | Beban Pedestrian                         | TP                   | -    |         |          |         |         |         |      |
| 7     | Gaya Rem                                 | TB                   | -    |         |          |         |         |         |      |
| C     | Aksi Lingkungan                          |                      |      |         |          |         |         |         |      |
| 8     | Temperatur                               | TG                   | 0,00 |         | 0,00     |         | 0,00    |         |      |
| 9     | Beban Angin pada Struktur                | EWS                  | -    |         |          |         |         |         |      |
| 10    | Beban Angin pada Kendaraan               | EWL                  | -    |         |          |         |         |         |      |
| 11    | Beban Gempa Arah Vertikal                | EQv                  | -    |         |          |         |         |         |      |
| 12    | Beban Gempa Arah Horizontal              | EQh                  | -    |         |          |         |         |         |      |
| 13    | Tekanan Tanah Dinamis                    | T TEQ                | -    |         |          |         |         |         |      |
| D     | Aksi Lainnya                             |                      |      |         |          |         |         |         |      |
| 14    | Gesekan                                  | BF                   | 1,00 |         | 1189,38  |         | 2239,59 |         |      |
| Total |  |                      |      |         | 14047,77 | 3590,20 | 0,00    | 6066,49 | 0,00 |

Table 4. 96 Rekapitulasi Faktor Pembebanan Kombinasi Kuat V Pada

|        |
|--------|
| Kuat V |
|--------|

| No    | Aksi / Beban                             | Kode                 | Faktor | Pu (kN)  | Vux (kN) | Vuy (kN) | Mux (kNm) | Muy (kNm) |
|-------|--|----------------------|--------|----------|----------|----------|-----------|-----------|
| A     | Aksi Tetap                               |                      |        |          |          |          |           |           |
| 1     | Berat Sendiri Breast Wall (cast in situ) | MS <sub>breast</sub> | 1,30   | 2945,57  |          |          | 0,00      |           |
| 2     | Berat Sendiri Struktur Atas              | MS <sub>atas</sub>   |        |          |          |          |           |           |
| 2a    | Beton pracetak                           |                      | 1,20   | 5849,11  |          |          |           |           |
| 2b    | Beton cor di tempat                      |                      | 1,30   | 6261,54  |          |          |           |           |
| 3     | Beban Mati Tambahan                      | MA                   | 1,80   | 1937,12  |          |          |           |           |
| 4     | Tekanan Tanah                            | TA                   | 1,20   |          | 2400,82  |          | 3826,90   |           |
| B     | Beban Lalu-lintas                        |                      |        |          |          |          |           |           |
| 5     | Beban Lajur                              | TD                   | -      |          |          |          |           |           |
| 6     | Beban Pedestrian                         | TP                   | -      |          |          |          |           |           |
| 7     | Gaya Rem                                 | TB                   | -      |          |          |          |           |           |
| C     | Aksi Lingkungan                          |                      |        |          |          |          |           |           |
| 8     | Temperatur                               | TG                   | 0,00   |          | 0,00     |          | 0,00      |           |
| 9     | Beban Angin pada Struktur                | EWS                  | 0,40   | 30,87    |          | 35,28    |           | 418,75    |
| 10    | Beban Angin pada Kendaraan               | EWL                  | 1,00   |          |          | 22,05    |           | 150,49    |
| 11    | Beban Gempa Arah Vertikal                | EQv                  | -      |          |          |          |           |           |
| 12    | Beban Gempa Arah Horizontal              | EQh                  | -      |          |          |          |           |           |
| 13    | Tekanan Tanah Dinamis                    | T TEQ                | -      |          |          |          |           |           |
| D     | Aksi Lainnya                             |                      |        |          |          |          |           |           |
| 14    | Gesekan                                  | BF                   | 1,00   |          | 1189,38  |          | 2239,59   |           |
| Total |  |                      |        | 17024,21 | 3590,20  | 57,33    | 6066,49   | 569,24    |

Table 4. 97 Rekapitulasi Faktor Pembebanan Kombinasi Ekstrem I Pada Breast Wall

| Ekstrem I |  |                      |        |          |          |          |           |           |
|-----------|--|----------------------|--------|----------|----------|----------|-----------|-----------|
| No        | Aksi / Beban                             | Kode                 | Faktor | Pu (kN)  | Vux (kN) | Vuy (kN) | Mux (kNm) | Muy (kNm) |
| A         | Aksi Tetap                               |                      |        |          |          |          |           |           |
| 1         | Berat Sendiri Breast Wall (cast in situ) | MS <sub>breast</sub> | 1,30   | 2945,57  |          |          | 0,00      |           |
| 2         | Berat Sendiri Struktur Atas              | MS <sub>atas</sub>   |        |          |          |          |           |           |
| 2a        | Beton pracetak                           |                      | 1,20   | 5849,11  |          |          |           |           |
| 2b        | Beton cor di tempat                      |                      | 1,30   | 6261,54  |          |          |           |           |
| 3         | Beban Mati Tambahan                      | MA                   | 1,80   | 1937,12  |          |          |           |           |
| 4         | Tekanan Tanah                            | TA                   | 1,20   |          | 2400,82  |          | 3826,90   |           |
| B         | Beban Lalu-lintas                        |                      |        |          |          |          |           |           |
| 5         | Beban Lajur                              | TD                   | 0,30   | 1060,79  |          |          |           |           |
| 6         | Beban Pedestrian                         | TP                   | 0,30   | 42,00    |          |          |           |           |
| 7         | Gaya Rem                                 | TB                   | 0,30   |          | 37,50    |          | 231,56    |           |
| C         | Aksi Lingkungan                          |                      |        |          |          |          |           |           |
| 8         | Temperatur                               | TG                   | -      |          |          |          |           |           |
| 9         | Beban Angin pada Struktur                | EWS                  | -      |          |          |          |           |           |
| 10        | Beban Angin pada Kendaraan               | EWL                  | -      |          |          |          |           |           |
| 11        | Beban Gempa Arah Vertikal                | EQv                  | 1,00   | 1076,70  |          |          | 0,00      |           |
| 12        | Beban Gempa Arah Horizontal              | EQh                  | 1,00   |          | 2321,51  | 2067,20  | 4116,03   | 3665,15   |
| 13        | Tekanan Tanah Dinamis                    | T TEQ                | 1,00   |          | 2655,10  |          | 5200,70   |           |
| D         | Aksi Lainnya                             |                      |        |          |          |          |           |           |
| 14        | Gesekan                                  | BF                   | 1,00   |          | 1189,38  |          | 2239,59   |           |
| Total     |  |                      |        | 16227,26 | 8604,31  | 2067,20  | 15614,78  | 3665,15   |

Table 4. 98 Rekapitulasi Faktor Pembebanan Kombinasi Daya Layan I Pada

| Daya Layan I |  |                      |        |          |          |          |           |           |
|--------------|--|----------------------|--------|----------|----------|----------|-----------|-----------|
| No           | Aksi / Beban                             | Kode                 | Faktor | Pu (kN)  | Vux (kN) | Vuy (kN) | Mux (kNm) | Muy (kNm) |
| A            | Aksi Tetap                               |                      |        |          |          |          |           |           |
| 1            | Berat Sendiri Breast Wall (cast in situ) | MS <sub>breast</sub> | 1,00   | 2265,82  |          |          | 0,00      |           |
| 2            | Berat Sendiri Struktur Atas              | MS <sub>atas</sub>   |        |          |          |          |           |           |
| 2a           | Beton pracetak                           |                      | 1,00   | 4874,26  |          |          |           |           |
| 2b           | Beton cor di tempat                      |                      | 1,00   | 4816,57  |          |          |           |           |
| 3            | Beban Mati Tambahan                      | MA                   | 1,00   | 1076,18  |          |          |           |           |
| 4            | Tekanan Tanah                            | TA                   | 1,00   |          | 2000,69  |          | 3189,08   |           |
| B            | Beban Lalu-lintas                        |                      |        |          |          |          |           |           |
| 5            | Beban Lajur                              | TD                   | 1,00   | 3535,95  |          |          |           |           |
| 6            | Beban Pedestrian                         | TP                   | 1,00   | 140,00   |          |          |           |           |
| 7            | Gaya Rem                                 | TB                   | 1,00   |          | 125,00   |          | 771,88    |           |
| C            | Aksi Lingkungan                          |                      |        |          |          |          |           |           |
| 8            | Temperatur                               | TG                   | 0,50   |          | 302,10   |          | 335,94    |           |
| 9            | Beban Angin pada Struktur                | EWS                  | 0,30   | 23,15    |          | 26,46    |           | 314,06    |
| 10           | Beban Angin pada Kendaraan               | EWL                  | 1,00   |          |          | 22,05    |           | 150,49    |
| 11           | Beban Gempa Arah Vertikal                | EQv                  | -      |          |          |          |           |           |
| 12           | Beban Gempa Arah Horizontal              | EQh                  | -      |          |          |          |           |           |
| 13           | Tekanan Tanah Dinamis                    | T TEQ                | -      |          |          |          |           |           |
| D            | Aksi Lainnya                             |                      |        |          |          |          |           |           |
| 14           | Gesekan                                  | BF                   | 1,00   |          | 1189,38  |          | 2239,59   |           |
| Total        |  |                      |        | 14466,11 | 3617,16  | 48,51    | 6536,49   | 464,55    |

Table 4. 99 Rekapitulasi Faktor Pembebanan Kombinasi Daya Layan II Pada

| Daya Layan II       |  |                      |        |          |          |          |           |           |
|---------------------|--|----------------------|--------|----------|----------|----------|-----------|-----------|
| No                  | Aksi / Beban                             | Kode                 | Faktor | Pu (kN)  | Vux (kN) | Vuy (kN) | Mux (kNm) | Muy (kNm) |
| A Aksi Tetap        |  |                      |        |          |          |          |           |           |
| 1                   | Berat Sendiri Breast Wall (cast in situ) | MS <sub>breast</sub> | 1,00   | 2265,82  |          |          | 0,00      |           |
| 2                   | Berat Sendiri Struktur Atas              | MS <sub>atas</sub>   |        |          |          |          |           |           |
| 2a                  | Beton pracetak                           |                      | 1,00   | 4874,26  |          |          |           |           |
| 2b                  | Beton cor di tempat                      |                      | 1,00   | 4816,57  |          |          |           |           |
| 3                   | Beban Mati Tambahan                      | MA                   | 1,00   | 1076,18  |          |          |           |           |
| 4                   | Tekanan Tanah                            | TA                   | 1,00   |          | 2000,69  |          | 3189,08   |           |
| B Beban Lalu-lintas |  |                      |        |          |          |          |           |           |
| 5                   | Beban Lajur                              | TD                   | 1,30   | 4596,74  |          |          |           |           |
| 6                   | Beban Pedestrian                         | TP                   | 1,30   | 182,00   |          |          |           |           |
| 7                   | Gaya Rem                                 | TB                   | 1,30   |          | 162,50   |          | 1003,44   |           |
| C Aksi Lingkungan   |  |                      |        |          |          |          |           |           |
| 8                   | Temperatur                               | TG                   | -      |          |          |          |           |           |
| 9                   | Beban Angin pada Struktur                | EWS                  | -      |          |          |          |           |           |
| 10                  | Beban Angin pada Kendaraan               | EWL                  | -      |          |          |          |           |           |
| 11                  | Beban Gempa Arah Vertikal                | EQv                  | -      |          |          |          |           |           |
| 12                  | Beban Gempa Arah Horizontal              | EQh                  | -      |          |          |          |           |           |
| 13                  | Tekanan Tanah Dinamis                    | T TEQ                | -      |          |          |          |           |           |
| D Aksi Lainnya      |  |                      |        |          |          |          |           |           |
| 14                  | Gesekan                                  | BF                   | 1,00   |          | 1189,38  |          | 2239,59   |           |
| Total               |  |                      |        | 15545,74 | 3352,56  | 0,00     | 6432,11   | 0,00      |

Table 4. 100 Rekapitulasi Faktor Pembebanan Kombinasi Daya Layan III Pada

|                |
|----------------|
| Daya Layan III |
|----------------|

| No    | Aksi / Beban                             | Kode                 | Faktor | Pu (kN)  | Vux (kN) | Vuy (kN) | Mux (kNm) | Muy (kNm) |
|-------|--|----------------------|--------|----------|----------|----------|-----------|-----------|
| A     | Aksi Tetap                               |                      |        |          |          |          |           |           |
| 1     | Berat Sendiri Breast Wall (cast in situ) | MS <sub>breast</sub> | 1,00   | 2265,82  |          |          | 0,00      |           |
| 2     | Berat Sendiri Struktur Atas              | MS <sub>atas</sub>   |        |          |          |          |           |           |
| 2a    | Beton pracetak                           |                      | 1,00   | 4874,26  |          |          |           |           |
| 2b    | Beton cor di tempat                      |                      | 1,00   | 4816,57  |          |          |           |           |
| 3     | Beban Mati Tambahan                      | MA                   | 1,00   | 1076,18  |          |          |           |           |
| 4     | Tekanan Tanah                            | TA                   | 1,00   |          | 2000,69  |          | 3189,08   |           |
| B     | Beban Lalu-lintas                        |                      |        |          |          |          |           |           |
| 5     | Beban Lajur                              | TD                   | 0,80   | 2828,76  |          |          |           |           |
| 6     | Beban Pedestrian                         | TP                   | 0,80   | 112,00   |          |          |           |           |
| 7     | Gaya Rem                                 | TB                   | 0,80   |          | 100,00   |          | 617,50    |           |
| C     | Aksi Lingkungan                          |                      |        |          |          |          |           |           |
| 8     | Temperatur                               | TG                   | 0,50   |          | 302,10   |          | 335,94    |           |
| 9     | Beban Angin pada Struktur                | EWS                  | -      |          |          |          |           |           |
| 10    | Beban Angin pada Kendaraan               | EWL                  | -      |          |          |          |           |           |
| 11    | Beban Gempa Arah Vertikal                | EQv                  | -      |          |          |          |           |           |
| 12    | Beban Gempa Arah Horizontal              | EQh                  | -      |          |          |          |           |           |
| 13    | Tekanan Tanah Dinamis                    | T TEQ                | -      |          |          |          |           |           |
| D     | Aksi Lainnya                             |                      |        |          |          |          |           |           |
| 14    | Gesekan                                  | BF                   | 1,00   |          | 1189,38  |          | 2239,59   |           |
| Total |  |                      |        | 13707,77 | 3592,16  | 0,00     | 6382,11   | 0,00      |

Table 4. 101 Rekapitulasi Faktor Pembebanan Kombinasi Daya Layan IV Pada

| Daya Layan IV |              |      |        |         |          |          |           |           |
|---------------|--------------|------|--------|---------|----------|----------|-----------|-----------|
| No            | Aksi / Beban | Kode | Faktor | Pu (kN) | Vux (kN) | Vuy (kN) | Mux (kNm) | Muy (kNm) |

|       |  |                      |      |          |         |       |         |        |
|-------|--|----------------------|------|----------|---------|-------|---------|--------|
| A     | Aksi Tetap                               |                      |      |          |         |       |         |        |
| 1     | Berat Sendiri Breast Wall (cast in situ) | MS <sub>breast</sub> | 1,00 | 2265,82  |         |       | 0,00    |        |
| 2     | Berat Sendiri Struktur Atas              | MS <sub>atas</sub>   |      |          |         |       |         |        |
| 2a    | Beton pracetak                           |                      | 1,00 | 4874,26  |         |       |         |        |
| 2b    | Beton cor di tempat                      |                      | 1,00 | 4816,57  |         |       |         |        |
| 3     | Beban Mati Tambahan                      | MA                   | 1,00 | 1076,18  |         |       |         |        |
| 4     | Tekanan Tanah                            | TA                   | 1,00 |          | 2000,69 |       | 3189,08 |        |
| B     | Beban Lalu-lintas                        |                      |      |          |         |       |         |        |
| 5     | Beban Lajur                              | TD                   | -    |          |         |       |         |        |
| 6     | Beban Pedestrian                         | TP                   | -    |          |         |       |         |        |
| 7     | Gaya Rem                                 | TB                   | -    |          |         |       |         |        |
| C     | Aksi Lingkungan                          |                      |      |          |         |       |         |        |
| 8     | Temperatur                               | TG                   | 1,00 |          | 604,20  |       | 671,88  |        |
| 9     | Beban Angin pada Struktur                | EWS                  | 0,70 | 54,02    |         | 61,74 |         | 732,81 |
| 10    | Beban Angin pada Kendaraan               | EWL                  | -    |          |         |       |         |        |
| 11    | Beban Gempa Arah Vertikal                | EQv                  | -    |          |         |       |         |        |
| 12    | Beban Gempa Arah Horizontal              | EQh                  | -    |          |         |       |         |        |
| 13    | Tekanan Tanah Dinamis                    | T TEQ                | -    |          |         |       |         |        |
| D     | Aksi Lainnya                             |                      |      |          |         |       |         |        |
| 14    | Gesekan                                  | BF                   | 1,00 |          | 1189,38 |       | 2239,59 |        |
| Total |  |                      |      | 10821,03 | 3794,26 | 61,74 | 6100,55 | 732,81 |

Table 4. 102 Rekapitulasi Faktor Pembebanan Kombinasi Fatik Pada Breast Wall

| Fatik               |  |                      |        |         |          |          |           |           |
|---------------------|--|----------------------|--------|---------|----------|----------|-----------|-----------|
| No                  | Aksi / Beban                             | Kode                 | Faktor | Pu (kN) | Vux (kN) | Vuy (kN) | Mux (kNm) | Muy (kNm) |
| A Aksi Tetap        |  |                      |        |         |          |          |           |           |
| 1                   | Berat Sendiri Breast Wall (cast in situ) | MS <sub>breast</sub> | -      |         |          |          |           |           |
| 2                   | Berat Sendiri Struktur Atas              | MS <sub>atas</sub>   |        |         |          |          |           |           |
| 2a                  | Beton pracetak                           |                      | -      |         |          |          |           |           |
| 2b                  | Beton cor di tempat                      |                      | -      |         |          |          |           |           |
| 3                   | Beban Mati Tambahan                      | MA                   | -      |         |          |          |           |           |
| 4                   | Tekanan Tanah                            | TA                   | -      |         |          |          |           |           |
| B Beban Lalu-lintas |  |                      |        |         |          |          |           |           |
| 5                   | Beban Lajur                              | TD                   | 0,75   | 2651,96 |          |          |           |           |
| 6                   | Beban Pedestrian                         | TP                   | 0,75   | 105,00  |          |          |           |           |
| 7                   | Gaya Rem                                 | TB                   | 0,75   |         | 93,75    |          | 578,91    |           |
| C Aksi Lingkungan   |  |                      |        |         |          |          |           |           |
| 8                   | Temperatur                               | TG                   | -      |         |          |          |           |           |
| 9                   | Beban Angin pada Struktur                | EWS                  | -      |         |          |          |           |           |
| 10                  | Beban Angin pada Kendaraan               | EWL                  | -      |         |          |          |           |           |
| 11                  | Beban Gempa Arah Vertikal                | EQv                  | -      |         |          |          |           |           |
| 12                  | Beban Gempa Arah Horizontal              | EQh                  | -      |         |          |          |           |           |
| 13                  | Tekanan Tanah Dinamis                    | T TEQ                | -      |         |          |          |           |           |
| D Aksi Lainnya      |  |                      |        |         |          |          |           |           |
| 14                  | Gesekan                                  | BF                   | -      |         |          |          |           |           |
| Total               |  |                      |        | 2756,96 | 93,75    | 0,00     | 578,91    | 0,00      |

Table 4. 103 Rekapitulasi Beban Ultimit Akibat Kombinasi Pembebanan Pada Breast Wall

| No. | Keadaan Batas  | Vertikal | Horisontal |         | Momen    |          |
|-----|----------------|----------|------------|---------|----------|----------|
|     |                | P (kN)   | Tx (kN)    | Ty (kN) | Mx (kNm) | My (kNm) |
| 1   | Kuat I         | 23610,05 | 3815,20    | 0,00    | 7455,86  | 0,00     |
| 2   | Kuat II        | 19194,10 | 3765,20    | 0,00    | 7147,11  | 0,00     |
| 3   | Kuat III       | 14155,81 | 3590,20    | 123,48  | 6066,49  | 1465,63  |
| 4   | Kuat IV        | 14047,77 | 3590,20    | 0,00    | 6066,49  | 0,00     |
| 5   | Kuat V         | 17024,21 | 3590,20    | 57,33   | 6066,49  | 569,24   |
| 6   | Ekstrem I      | 16227,26 | 8604,31    | 2067,20 | 15614,78 | 3665,15  |
| 8   | Daya Layan I   | 14466,11 | 3617,16    | 48,51   | 6536,49  | 464,55   |
| 9   | Daya Layan II  | 15545,74 | 3352,56    | 0,00    | 6432,11  | 0,00     |
| 10  | Daya Layan III | 13707,77 | 3592,16    | 0,00    | 6382,11  | 0,00     |
| 11  | Daya Layan IV  | 10821,03 | 3794,26    | 61,74   | 6100,55  | 732,81   |
| 12  | Fatik          | 2756,96  | 93,75      | 0,00    | 578,91   | 0,00     |

#### 21. Back Wall Bawah

- Tekanan Tanah, TTA = 720,13 kN
- Momen Tekanan Tanah, MTTA = 6673,84 kN
- Tekanan Tanah Dinamis Akibat Gempa, TTEQ = 1936,86 kN
- Momen Tekanan Tanah Dinamis Akibat Gempa, MTEQ = 1816,97 kN

Beban ultimate back wall bawah,

Table 4. 104 Analisa Beban Ultimate Akibat Kombinasi Pembebanan Pada Back Wall Bawah

| No                        | Kode | F    | T (kN)  | M (kN)  | Vu (kN) | Mu (kNm) |
|---------------------------|------|------|---------|---------|---------|----------|
| 1                         | TA   | 1,25 | 720,13  | 673,84  | 900,17  | 842,30   |
| 2                         | EQ   | 1,00 | 1936,86 | 1816,97 | 1936,86 | 1816,97  |
| Beban ultimit back wall = |      |      |         |         | 2837,03 | 2659,28  |

#### 22. Back Wall Atas

- Tekanan Tanah, TTA = 167,61 kN
- Momen Tekanan Tanah, MTTA = 69,21 kN
- Tekanan Tanah Dinamis Akibat Gempa, TTEQ = 919,77 kN

- Momen Tekanan Tanah Dinamis Akibat Gempa,  $MTEQ = 318,92$  kN

Beban ultimate back wall atas,

Table 4. 105 Analisa Beban Ultimate Akibat Kombinasi Pembebanan Pada Back Wall Bawah

| No                       | Kode | F    | T (kN) | M (kN) | Vu (kN) | Mu (kNm) |
|--------------------------|------|------|--------|--------|---------|----------|
| 1                        | TA   | 1,25 | 167,61 | 69,21  | 209,52  | 86,51    |
| 2                        | EQ   | 1,00 | 318,92 | 318,92 | 318,92  | 318,92   |
| Beban ultimit backwall = |      |      |        |        | 528,44  | 405,43   |

### 23. Corbel

- P MS Corbel = 65,14 kN
- Eksentrisitas (e) =  $b/2 = 0,15$  m

Beban ultimate corbel,

Tabel 4. 133 Analisa Beban Ultimate Akibat Kombinasi Pembebanan Pada Corbel

| No      | Aksi / Beban                | Kode | F    | P (kN)  | Vu (kN)  | e (kN) | Mu (kNm) |
|---------|-----------------------------|------|------|---------|----------|--------|----------|
| 1       | Berat sendiri struktur atas | MS   | 1,30 | 9690,83 | 12598,08 | 0,15   | 1889,71  |
| 2       | Beban mati sendiri corbel   | MS   | 1,30 | 65,14   | 84,68    | 0,15   | 12,70    |
| 3       | Beban mati tambahan         | MA   | 1,80 | 1076,18 | 1937,12  | 0,15   | 290,57   |
| Total = |                             |      |      |         | 14619,87 |        | 2192,98  |

### 24. Wing Wall Dimensi:

- $H_{wwy} = h1 + h2 + h3 + h4 + c = 4,08$  m
- $H_{wwx} = 5,55$  m
- $t_{ww} = 0,60$  m

Analisa tekanan tanah pada wing wall,

Tabel 4. 134 Analisa Tekanan Tanah Terjadi Pada Wing Wall

| No.            | Tekanan Tanah  | TTA (kN) | Titik Kerja Momen      | y (m) | MTA (kNm) |
|----------------|--|----------|------------------------|-------|-----------|
| a              | b  | c        | e                      | f     | g = c x f |
| 1              | Akibat beban tambahan (TTA1)<br>= 85,08 x Hx wingwall              | 472,19   | y = Hx<br>wingwall / 2 | 2,78  | 1310,34   |
| 2              | Akibat beban tambahan (TTA2)<br>= 85,08 x Hx wingwall <sup>2</sup> | 472,19   | y = Hx<br>wingwall / 3 | 1,85  | 873,56    |
| TTA wingwall = |  | 944,39   | MTA wingwall =         |       | 2183,90   |

Tabel 4. 135 Analisa Tekanan Tanah Dinamis Terjadi Pada Wing Wall

| vNo.           | Tekanan Tanah Dinamis                      | TTA (kN) | Titik Kerja Momen      | y (m) | MTA (kNm) |
|----------------|--|----------|------------------------|-------|-----------|
| a              | b  | c        | e                      | f     | g = c x f |
| 1              | TEQ1 = 149,14 x H'<br>abutment             | 1822,19  | y = H'<br>abutment / 2 | 2,19  | 3986,04   |
| 2              | TEQ2 = 18,1 x B'<br>abutment x H' abutment | 832,91   | y = H'<br>abutment / 3 | 1,46  | 1214,67   |
| TTEQ pilecap = |  | 2655,10  | MTEQ pilecap =         |       | 5200,70   |

Beban ultimate wing wall,

Tabel 4. 136 Analixz Beban Ultimate Akibat Kombinasi Pembebanan Pada Corbel

| No.     | Aksi / Beban                | Kode | F    | T (kN)  | My (kNm) | Vu (kNm) | Muy (kNm) |
|---------|-----------------------------|------|------|---------|----------|----------|-----------|
| 1       | Tekanan tanah               | TA   | 1,25 | 944,39  | 2183,90  | 1180,49  | 2729,87   |
| 3       | Gempa tekanan tanah dinamis | EQ   | 1,00 | 2655,10 | 5200,70  | 2655,10  | 5200,70   |
| Total = |                             |      |      |         |          | 3835,59  | 7930,57   |

#### 4.10.4 Penulangan Abutment

##### 1. Penulangan Pilecap

- Kuat tekan beton rencana ( $f_c'$ ) = 35 MPa
- Kelas baja tulangan 420B,

- Tegangan leleh ( $f_y$ ) = 420 MPa
- Modulus elastisitas beton ( $E_c$ ) = 27805,75 MPa  
= 27805575 kPa
- Modulus elastitas baja ( $E$ ) = 200000 MPa
- Selimut beton ( $c$ ) = 50 cm
- Faktor distribusi tegangan ( $\beta_1$ ) = 0,81, karena  $f_c' > 28$  MPa.

Detail pada bab tiga

- Faktor reduksi ( $\phi$ ) kuat lentur = 0,9
- Faktor reduksi ( $\phi$ ) kuat geser = 0,75

Rasio penulangan ( $\rho$ ) minimum dan maksimum, berdasarkan perhitungan sebelumnya akibat kesamaan mutu beton dan baja tulangan yang digunakan:

- $\rho_{min}$  = 0,00352
- $\rho_b$  = 0,00387
- $\rho_{max}$  = 0,02540 ( $0,75 * \rho_b$ )
- Rasio maks =  $0,75 * \rho_b * f_y * [1 - \frac{1}{2} * 0,75 * \rho_b * f_y / (0,85 * f_c' )]$   
= 8,76

a) Pilecap arah x Dimensi:

$$\begin{aligned} \text{Tebal} &= h_8 = 1 \text{ m} \\ \text{Lebar} &= B_y = 19,30 \text{ m} \\ \text{Panjang} &= B_x = 3,00 \text{ m} \\ \\ \text{Mu arah x} &= 16581,16 \text{ kNm} \\ \text{Vu} &= P_u = 22367,06 \text{ kN} \end{aligned}$$

Tegangan yang muncul pada pilecap

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{pilecap}_x} &= V_u / (B_y + B_x) + M_{u_x} (1/6 * B_y * B_x^2) \\ &= 1575,8 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Untuk penulangan, momen dihitung per 1 meternya, sehingga:

$$\begin{aligned} Q_u &= \sigma_{\text{pilecap}_x} * 1 \\ &= 1578,76 * 1 \\ &= 1575,8 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{u_{\text{pakai}}} &= \frac{1}{2} * Q_u * \text{tebal} \\ &= 787,88 \text{ kNm/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen nominal (Mn)} &= M_{u_{\text{pakai}}} / \phi_{\text{lentur}} \\ &= 787,88 / 0,9 \\ &= 875,42 \text{ kNm/m} \\ &= 875,42 * 10^6 \end{aligned}$$

Nmm/m

$$\begin{aligned} \text{Tebal beton (h)} &= 1000 \text{ mm} \\ \text{Tebal efektif (d)} &= h - \text{selimut beton (c)} \\ &= 950 \text{ mm} \end{aligned}$$

Rasio penulangan yang diperlukan ( $\rho_{\text{butuh}}$ )

(digunakan  $\rho_{\text{min}}$ )

i. Tulangan lentur:

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan (As) diperlukan} &= \rho_{\text{min}} * b * d \\ &= 0,00352 * 1000 * 950 \\ &= 3345,40 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Diameter tulangan rencana (D)} = D29 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak tulangan (s) rencana} = \pi / 4 * D^2 * b / A_s$$

$$= 197,52 \text{ mm Jarak tulangan (s') aktual} = 150 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan aktual (As')} &= \pi / 4 * D^2 * b / s \\ &= 4405,24 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

ii. Tulangan susut:

Luas tulangan susut ( $A_{s_s}$ ) diperlukan

$$= 0,0018 * b * h$$

$$= 1800 \text{ mm}^2$$

$$\text{Diameter tulangan direncanakan (D)} = D19$$

mm

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan susut} \\ (s_s) \text{ rencana} &= \pi / 4 * D^2 * b / A_{s_s} \\ &= 157,6 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan susut} \\ (s_s') \text{ aktual} &= 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luas tulangan susut aktual ( $A_{s_s}'$ ) = 1890,95 mm<sup>2</sup> iii. Tulangan geser:

$$\text{Geser rencana } (V_u) = 1575760 \text{ N}$$

$$\text{Kapasitas geser } (V_c) = 1/6 * \sqrt{f_c'} * b * d$$

$$= 936712,63 \text{ N}$$

$$\text{Kapasitas geser terfaktor reduksi } (\phi V_c) \phi V_c = 936712,63 * 0,75$$

$$= 702534,47 \text{ N} < V_u$$

(memerlukan tulangan geser)

Kebutuhan tulangan geser ( $V_s$ )

$$V_s = (V_u - \phi V_c) / \phi$$

$$= (1575760 - 702534,47) / 0,75 = 1164299,22 \text{ N}$$

Diameter tulangan direncanakan ( $D$ ) = D25

$$\text{Luas tulangan geser rencana } (A_v) = \pi / 4 * D^2 = 491,07 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak tulangan geser rencana } (s_v) = A_v * f_y * d / V_s = 168,29$$

$$\text{Jarak tulangan geser aktual } (s_v) = 150 \text{ mm}$$

iv. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, penulangan pilecap arah x berupa:

- Tulangan lentur = D29 – 150 mm □ Tulangan susut = D19 – 150 mm
- Tulangan geser = D25 – 150 mm

b) Pilecap arah Y Dimensi:

$$\text{Tebal} = h = 1 \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = B_y = 19,30 \text{ m}$$

$$\text{Panjang} = B_x = 3,00 \text{ m} =$$

$$\text{Mu arah y} = 3665,15 \text{ kNm}$$

$$V_u = P_u = 22367,06 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan yang muncul pada pilecap } \sigma_{\text{pilecap}_x} &= V_u / (B_y + B_x) + \\ & M_{u,y} / (1/6 * B_y * B_x^2) \\ &= 1129,61 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Untuk penulangan, momen dihitung per 1 meternya, sehingga:

$$\begin{aligned} Q_u &= \sigma_{\text{pilecap}_x} * 1 \\ &= 1129,61 * 1 \\ &= 1129,61 \text{ kN/m} \\ M_{u_{\text{pakai}}} &= 1/2 * Q_u * \text{tebal} \\ &= 564,81 \text{ kNm/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen nominal (Mn)} &= M_{u_{\text{pakai}}} / \phi_{\text{lentur}} \\ &= 564,81 / 0,9 \\ &= 627,56 \text{ kNm/m} \\ &= 627,56 * 10^6 \text{ Nmm/m} \end{aligned}$$

$$\text{Tebal beton (h)} = 1000 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal efektif (d)} = h - c = 950 \text{ mm}$$

Rasio penulangan yang diperlukan ( $\rho_{\text{butuh}}$ )

$$\begin{aligned} \rho_{\text{butuh}} &= \frac{M_n}{b * d^2 * R_n} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{R_n}} \right), \text{ dengan } R_n = \frac{M_n}{b * d^2} \\ R_n &= \frac{627,56 * 10^6}{1000 * 950^2} \\ &= 0,695 < R_{\text{max}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{butuh}} &= \frac{0,85 * 35}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * 0,695}{0,85 * 35}} \right) \\ &= 0,00168 < \rho_{\text{min}} \text{ (digunakan } \rho_{\text{min}}) \end{aligned}$$

i. Tulangan lentur:

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan (A_s) diperlukan} &= \rho_{\text{min}} * b * d \\ &= 0,00352 * 1000 * \\ & 950 \\ &= 3345,40 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Diameter tulangan rencana (D)} = D29 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan (s) rencana} &= \pi / 4 * D^2 * b / A_s \\ &= 197,52 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Jarak tulangan (s') aktual} = 150 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan aktual (A_s')} &= \pi / 4 * D^2 * b / s \\ &= 4405,24 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

ii. Tulangan susut:

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan susut (A}_{s_s}\text{) diperlukan} &= 0,0018 * b * h \\ &= 1800 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Diameter tulangan direncanakan (D)} = D19 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan susut (s}_s\text{) rencana} &= \pi / 4 * D^2 * b / A_{s_s} \\ &= 157,6 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Jarak tulangan susut (s}_s'\text{) aktual} = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Luas tulangan susut aktual (A}_{s_s}') = 1890,95 \text{ mm}^2 \quad \text{iii. Tulangan geser:}$$

$$\text{Geser rencana (V}_u\text{)} = 1129610,4 \text{ N}$$

$$\text{Kapabilitas geser (V}_c\text{)} = 1/6 * \sqrt{f_c'} * b * d$$

$$\begin{aligned} &= 936712,63 \text{ N} \quad \text{Kapabilitas geser terfaktor reduksi } (\phi V_c) \quad \phi V_c = 936712,63 * \\ &0,75 \end{aligned}$$

$$= 702534,47 \text{ N} < V_u \text{ (memerlukan tulangan geser)}$$

Kebutuhan tulangan geser (V<sub>s</sub>)

$$\begin{aligned} V_s &= (V_u - \phi V_c) / \phi \\ &= (1129610,4 - 702534,47) / 0,75 \\ &= 569434,09 \text{ N} \end{aligned}$$

Diameter tulangan direncanakan (D) = D19

$$\text{Luas tulangan geser rencana (A}_v\text{)} = \pi / 4 * D^2 = 283,64 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak tulangan geser rencana (s}_v\text{)} = A_v * f_y * d / V_s = 198,75$$

Jarak tulangan geser aktual (s<sub>v</sub>) = 150 mm iv. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, penulangan pilecap arah x berupa:

□ Tulangan lentur = D29 – 150 mm □ Tulangan susut = D19 – 150 mm □ Tulangan geser = D19 – 150 mm

2. Penulangan Breast Wall  
Rekapitulasi kombinasi beban pada breast wall

Tabel 4. 137 Rekapitulasi Kombinasi Beban Ultimate Pada Breast Wall

| No. | Keadaan Batas  | Lebar = 19,3 m |            |               |
|-----|----------------|----------------|------------|---------------|
|     |                | Vertikal       | Horisontal | Momen Sumbu X |
|     |                | P (kN)         | Tx (kN)    | Mx (kNm)      |
| 1   | Kuat I         | 23610,05       | 3815,20    | 7455,86       |
| 2   | Kuat II        | 19194,10       | 3765,20    | 7147,11       |
| 3   | Kuat III       | 14155,81       | 3590,20    | 6066,49       |
| 4   | Kuat IV        | 14047,77       | 3590,20    | 6066,49       |
| 5   | Kuat V         | 17024,21       | 3590,20    | 6066,49       |
| 6   | Ekstrem I      | 16227,26       | 8604,31    | 15614,78      |
| 8   | Daya Layan I   | 14466,11       | 3617,16    | 6536,49       |
| 9   | Daya Layan II  | 15545,74       | 3352,56    | 6432,11       |
| 10  | Daya Layan III | 13707,77       | 3592,16    | 6382,11       |
| 11  | Daya Layan IV  | 10821,03       | 3794,26    | 6100,55       |
| 12  | Fatik          | 2756,96        | 93,75      | 578,91        |

Tabel 4. 138 Beban Ultimate Pada Breast Wall Per-1 Meter

| No. | Keadaan Batas  | Lebar = 1 m |            |               |
|-----|----------------|-------------|------------|---------------|
|     |                | Vertikal    | Horisontal | Momen Sumbu X |
|     |                | P (kN)      | Tx (kN)    | Mx (kNm)      |
| 1   | Kuat I         | 1223,32     | 197,68     | 386,31        |
| 2   | Kuat II        | 994,51      | 195,09     | 370,32        |
| 3   | Kuat III       | 733,46      | 186,02     | 314,33        |
| 4   | Kuat IV        | 727,86      | 186,02     | 314,33        |
| 5   | Kuat V         | 882,08      | 186,02     | 314,33        |
| 6   | Ekstrem I      | 840,79      | 445,82     | 809,06        |
| 8   | Daya Layan I   | 749,54      | 187,42     | 338,68        |
| 9   | Daya Layan II  | 805,48      | 173,71     | 333,27        |
| 10  | Daya Layan III | 710,25      | 186,12     | 330,68        |
| 11  | Daya Layan IV  | 560,68      | 196,59     | 316,09        |
| 12  | Fatik          | 142,85      | 4,86       | 30,00         |

Nilai momen terbesar terjadi pada breast wall ketika dalam keadaan batas ekstrem I, yaitu sebesar:

- Pu = 840,79 kN
- Tu = 445,82 kN
- = 809,06
- Mx kNm

a) Analisa penampang breast wall

$$\sqrt{\frac{I_c}{A_c}} \quad , I_c = \text{momen inersia (m}^4\text{)}$$

Dimensi breast wall,

$$\text{Lebar arah x} = b_7 = 1,00 \text{ m}$$

$$\text{Lebar arah y} = B_y = 19,30 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi} = 1,77 \text{ m}$$

Luas penampang ( $A_c$ )

$$= b_7 \times B_y$$

$$= 1 \times 19,30$$

$$= 19,30 \text{ m}^2$$

$$\text{Jari-jari girasi (rc)} = \sqrt{\frac{I_c}{A_c}} \quad , I_c = \text{momen inersia (m}^4\text{)}$$

$$= \sqrt{\frac{\frac{1}{12} \times B_y \times b_7^3}{19,30}}$$

$$= \sqrt{\frac{1,608 \text{ m}^4}{19,30}}$$













$$= 0,289 \text{ m}$$

Dalam penentuan kelangsingan elemen breastwall/abutment, faktor panjang efektif kkk dipilih berdasarkan kondisi pembebanan dan kondisi penahanan ujung-ujung elemen sesuai pedoman (lihat gambar pola tekuk dan nilai k pada Gambar 4.x).

Untuk breastwall pada kondisi perancangan ini, kedua ujung kolom/dinding diperlakukan sebagai ujung yang relatif tidak terjepit terhadap rotasi karena:

- Bagian atas breastwall bersinggungan dengan tanah timbunan/backfill yang tidak memberikan momen end restraint signifikan terhadap rotasi ujung
- Basis fondasi meskipun translasi dibatasi, tidak selalu memberikan kekangan momen yang sempurna terhadap ujung bawah pada kondisi pemuatan tertentu. Oleh karena itu konfigurasi pembebanan dan penahanan lebih menyerupai kasus “kolom bergoyang” dengan rotasi bebas.

Pada perencanaan ini, breastwall dianggap sebagai kolom bergoyang dengan kekangan rotasi yang lemah. Oleh karena itu, faktor panjang efektif dipilih sebesar  $k = 2,2$  sesuai pada Gambar 4.. Nilai ini kemudian digunakan dalam perhitungan kelangsingan.

|                                    | Kolom Tak Bergoyang   |  |  | Kolom Bergoyang   |  |   |
|------------------------------------|---|--|--|---|--|---|
| Bentuk tekuk                       |                                        |                                     |                                     |                                  |                                    |                                |
| Faktor panjang efektif (k)         | 0.70  | 0.85   | 1.00   | 1.2   | 2.2  | 2.2   |
| Simbol untuk keadaan penahan ujung |  = Rotasi terjepit, translasi terjepit |  = Rotasi bebas, translasi terjepit |  = Rotasi terjepit, translasi bebas |  = Rotasi bebas, translasi bebas |  = Rotasi terjepit, translasi bebas |  = Rotasi bebas, translasi bebas |

#### 4.11. Pondasi Tiang Pancang

Gambar spesifikasi teknis spun pile katalog

| Spun Pile Specification Adhibeton |                     |       |                                     |                    |            |                |                  |                          |
|-----------------------------------|---------------------|-------|-------------------------------------|--------------------|------------|----------------|------------------|--------------------------|
| Outside Diameter (mm)             | Wall Thickness (mm) | Class | Concrete Section (cm <sup>2</sup> ) | Unit Weight (Kg/m) | Length (m) | Bending Moment |                  | Allowed Axial Load (ton) |
|                                   |                     |       |                                     |                    |            | crack (ton.m)  | ultimate (ton.m) |                          |
| 300                               | 60                  | A2    | 452                                 | 113                | 6-13       | 2,50           | 3,75             | 72,60                    |
|                                   |                     | A3    |                                     |                    |            | 3,00           | 4,50             | 70,75                    |
|                                   |                     | B     |                                     |                    |            | 3,50           | 6,30             | 67,50                    |
|                                   |                     | C     |                                     |                    |            | 4,00           | 8,00             | 65,40                    |
| 350                               | 65                  | A1    | 582                                 | 145                | 6-15       | 3,50           | 5,25             | 93,10                    |
|                                   |                     | A3    |                                     |                    |            | 4,20           | 6,30             | 89,50                    |
|                                   |                     | B     |                                     |                    |            | 5,00           | 9,00             | 86,40                    |
|                                   |                     | C     |                                     |                    |            | 6,00           | 12,00            | 85,00                    |
| 400                               | 75                  | A2    | 765                                 | 191                | 6-16       | 5,50           | 8,25             | 121,10                   |
|                                   |                     | A3    |                                     |                    |            | 6,50           | 9,75             | 117,60                   |
|                                   |                     | B     |                                     |                    |            | 7,50           | 13,50            | 114,40                   |
|                                   |                     | C     |                                     |                    |            | 9,00           | 18,00            | 111,50                   |
| 450                               | 80                  | A1    | 930                                 | 232                | 6-16       | 7,50           | 11,25            | 149,50                   |
|                                   |                     | A2    |                                     |                    |            | 8,50           | 12,75            | 145,80                   |
|                                   |                     | A3    |                                     |                    |            | 10,00          | 15,00            | 143,80                   |
|                                   |                     | B     |                                     |                    |            | 11,00          | 19,80            | 139,10                   |
| 500                               | 90                  | A1    | 1159                                | 290                | 6-16       | 12,50          | 25,00            | 134,90                   |
|                                   |                     | A2    |                                     |                    |            | 10,50          | 15,75            | 185,30                   |
|                                   |                     | A3    |                                     |                    |            | 12,50          | 18,75            | 181,70                   |
|                                   |                     | B     |                                     |                    |            | 14,00          | 21,00            | 178,02                   |
| 600                               | 100                 | A1    | 1570                                | 393                | 6-16       | 15,00          | 27,00            | 174,90                   |
|                                   |                     | A2    |                                     |                    |            | 17,00          | 34,00            | 169,00                   |
|                                   |                     | A3    |                                     |                    |            | 17,00          | 25,50            | 252,70                   |
|                                   |                     | B     |                                     |                    |            | 19,00          | 28,50            | 249,00                   |
| 800                               | 120                 | A1    | 2564                                | 641                | 6-18       | 22,00          | 33,00            | 243,20                   |
|                                   |                     | A2    |                                     |                    |            | 25,00          | 45,00            | 238,30                   |
|                                   |                     | A3    |                                     |                    |            | 29,00          | 58,00            | 229,50                   |
|                                   |                     | B     |                                     |                    |            | 40,13          | 60,20            | 409,17                   |
| 1000                              | 140                 | A1    | 3782                                | 945                | 6-20       | 46,56          | 69,84            | 400,12                   |
|                                   |                     | A2    |                                     |                    |            | 52,11          | 78,16            | 390,58                   |
|                                   |                     | A3    |                                     |                    |            | 60,51          | 108,92           | 384,35                   |
|                                   |                     | B     |                                     |                    |            | 71,25          | 128,25           | 367,76                   |
| 1200                              | 150                 | A1    | 4948                                | 1236               | 6-24       | 74,10          | 111,15           | 605,00                   |
|                                   |                     | A2    |                                     |                    |            | 85,05          | 127,57           | 593,00                   |
|                                   |                     | A3    |                                     |                    |            | 97,67          | 145,05           | 578,00                   |
|                                   |                     | B     |                                     |                    |            | 112,75         | 202,95           | 568,00                   |
|                                   |                     | C     |                                     |                    |            | 131,09         | 235,96           | 547,00                   |
|                                   |                     | A1    |                                     |                    |            | 124,10         | 186,00           | 794,70                   |
|                                   |                     | A2    |                                     |                    |            | 139,58         | 208,50           | 777,80                   |
|                                   |                     | A3    |                                     |                    |            | 149,99         | 223,50           | 766,70                   |
|                                   |                     | B     |                                     |                    |            | 183,23         | 329,40           | 732,30                   |
|                                   |                     | C     |                                     |                    |            | 208,00         | 414,00           | 708,20                   |

Gambar 4. 16 Spesifikasi Spun Pile

#### i. Rekapitulasi Beban Ultimit Pilecap (Terfaktor)

| No. | Keadaan Batas | P (kN)   | Tx (kN) | Ty (kN) | Mx (kNm) | My (kNm) |
|-----|---------------|----------|---------|---------|----------|----------|
| 1   | Kuat I        | 26084,29 | 5058,48 |         | 3954,88  |          |
| 2   | Kuat II       | 25333,91 | 5008,48 |         | 3596,13  |          |
| 3   | Kuat III      | 20295,62 | 4833,48 | 123,48  | 2340,51  | 1640,63  |
| 4   | Kuat IV       | 20187,58 | 4833,48 |         | 2340,51  |          |
| 5   | Kuat V        | 20218,45 | 4833,48 | 57,33   | 2340,51  | 641,29   |
| 6   | Ekstrem I     | 22367,06 | 9942,88 | 2067,2  | 16581,16 | 3665,15  |

|    |                |          |         |       |         |        |
|----|----------------|----------|---------|-------|---------|--------|
| 8  | Daya Layan I   | 19189,04 | 4531,76 | 48,51 | 3947,16 | 524,1  |
| 9  | Daya Layan II  | 20268,67 | 4267,16 |       | 3880,29 |        |
| 10 | Daya Layan III | 18430,7  | 4506,76 |       | 3767,79 |        |
| 11 | Daya Layan IV  | 15543,96 | 4708,86 | 61,74 | 3386,22 | 820,31 |
| 12 | Fatik          | 2756,96  | 93,75   |       | 672,66  |        |

ii. Pemilihan Spesifikasi *Spun Pile*

Diameter,  $D = 0,6 \text{ m}$

Kelas,  $c = C$

Daya dukung izin,  $Qp' = 229,5 \text{ ton}$

Momen ultimit tiang,  $Mu = 58 \text{ ton}$

Kedalaman tiang,  $L = 34 \text{ m}$

Keliling selimut tiang,  $p = \pi * D$   
 $= 1,886 \text{ m}$

Luas tiang,  $Ap = \frac{1}{4} * \pi * D^2$   
 $= 0,283 \text{ m}^2$

Berat per-meter tiang,  $= 393 \text{ kg/m}$

Berat tiang,  $Wp = \text{berat per meter} * L$   
 $= 115,6 \text{ kN}$

iii. Kapasitas Ujung Tiang

Nilai N di bawah ujung tiang,

2.  $N1 \text{ A1} = 39$

3.  $N1 \text{ A2} = 38$

Nilai N di atas ujung tiang,

4.  $N2 \text{ A1} = 36$

5.  $N2 \text{ A2} = 27$

Rata – rata nilai N ( $Nb$ ):

6.  $A1 = 57$

7.  $A2 = 51,5$

Daya dukung ujung tiang,  $= 400 * Ap * Nb$   
 $= 6449,14 \text{ kN}$

$$= 658,08 \text{ ton}$$

Luas selimut dinding tiang,  $= p * L$

$$= 56,57 \text{ m}^2$$

Daya dukung friksi tiang,  $Q_s = \frac{A_s * N_b}{50}$

$$= 694,19 \text{ ton}$$

$$= 6809,96 \text{ kN}$$

iv. Kapasitas Tahanan Iizin Tiang

Daya dukung ultimate tiang,

$$Q_u = Q_p + Q_s - W_p$$

$$= 7532,8 \text{ kN}$$

Safety factor = 3

Daya dukung iizin tiang,

$$Q_{all}' = \frac{Q_u}{SF}$$

$$= 2450,79 \text{ kN}$$

Daya dukung iizin tiang fabrikator,

$$= Q_p * 9,81$$

$$= 2251,395 \text{ kN}$$

v. Penentuan Jumlah Tiang Minimal

Jumlah beban pada pondasi ( $P_u'$ ) =  $P_u$  kombinasi +  $T_x$  kombinasi

Table 4. 106 Penentuan Jumlah Minimum Tiang Pancang

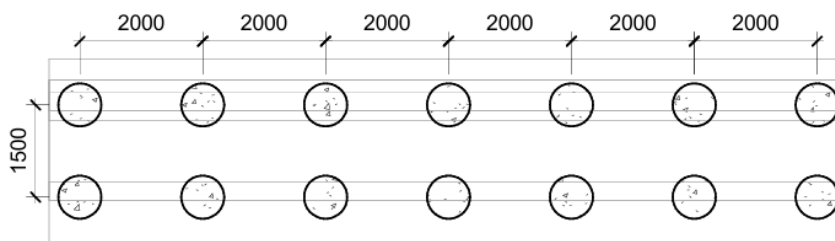
| No. | Keadaan Batas | P (kN)   | T <sub>x</sub> (kN) | P <sub>u</sub> + T <sub>x</sub> (kN) | M <sub>x</sub> (kNm) | M <sub>y</sub> (kNm) |
|-----|---------------|----------|---------------------|--------------------------------------|----------------------|----------------------|
| 1   | Kuat I        | 26084,29 | 5058,48             |                                      | 3954,88              |                      |
| 2   | Kuat II       | 25333,91 | 5008,48             |                                      | 3596,13              |                      |
| 3   | Kuat III      | 20295,62 | 4833,48             | 123,48                               | 2340,51              | 1640,63              |
| 4   | Kuat IV       | 20187,58 | 4833,48             |                                      | 2340,51              |                      |
| 5   | Kuat V        | 20218,45 | 4833,48             | 57,33                                | 2340,51              | 641,29               |
| 6   | Ekstrem I     | 22367,06 | 9942,88             | 2067,2                               | 16581,16             | 3665,15              |
| 8   | Daya Layan I  | 19189,04 | 4531,76             | 48,51                                | 3947,16              | 524,1                |
| 9   | Daya Layan II | 20268,67 | 4267,16             |                                      | 3880,29              |                      |

|    |                |          |         |       |         |        |
|----|----------------|----------|---------|-------|---------|--------|
| 10 | Daya Layan III | 18430,7  | 4506,76 |       | 3767,79 |        |
| 11 | Daya Layan IV  | 15543,96 | 4708,86 | 61,74 | 3386,22 | 820,31 |
| 12 | Fatik          | 2756,96  | 93,75   |       | 672,66  |        |

Kebutuhan tiang terbanyak yakni pada kondisi ekstrem sebesar 14, 351 buah atau digenapkan menjadi 16 buah.

vi. Percobaan Konfigurasi Awal

Dicoba konfigurasi tiang pancang dengan konfigurasi 2 baris dengan perbaris sebanyak tiang, sehingga total tiang (n) sebanyak 14 buah.



Gambar 4. 17 Peletakan Tiang Pancang

vii. Kontrol Gaya Pada *Spun Pile*

Syarat dikatakan memenuhi apabila reaksi beban pada masing-masing tiang lebih kecil dari daya dukung izin tiang yang digunakan ( $Q_{allow}$ ). Atau dirumuskan sebagai berikut:

$$P_{\text{tiang } x} = \frac{P_{\text{kondisi}}}{n} + M_x \left( \frac{x_i}{\sum x_i^2} \right) + M_y \left( \frac{y_i}{\sum y_i^2} \right)$$

dengan,

$P_{\text{kondisi}}$  : Total gaya aksial pada suatu kondisi beban (beban tetap/penuh)

$n$  : Total tiang

$M_x \left( \frac{x_i}{\sum x_i^2} \right)$  : Tambahan beban akibat momen arah-x ( $M_x$ )

$M_y \left( \frac{y_i}{\sum y_i^2} \right)$  : Tambahan beban akibat momen arah-y ( $M_y$ )

h) Ketika kondisi beban tetap (Kondisi Kuat I)

Gaya tekan ultimit,  $P_{\text{Kuat I}} = 2804,29 \text{ kN}$

Momen ultimit,  $M_{x \text{ Kuat I}} = 3954,88 \text{ kN}$

$M_{y \text{ Kuat I}} = 0,00 \text{ kN}$

|  |                   |               |
|--|-------------------|---------------|
| Daya dukung izin tiang digunakan,              | $Q_{izin}$        | = 2251,40 kN  |
| Ketika kondisi beban penuh (Kondisi Ekstrem I) |                   |               |
| Gaya tekan ultimit,                            | $P_{Ekstrem 1}$   | = 22367,06 kN |
| Momen ultimit,                                 | $M_{x Ekstrem 1}$ | = 16581,16 kN |
|  | $M_{y Ekstrem 1}$ | = 3665,15 kN  |
| Daya dukung izin tiang digunakan,              | $Q_{izin}$        | = 2251,40 kN  |

viii. Kontrol Terhadap Kelompok *Spun Pile*

Kontrol kelompok tiang dapat diuraikan sebagai berikut: $\theta$

|                                 |      |                   |
|---------------------------------|------|-------------------|
| Jarak as ke as tiang (terjauh), | $S$  | = 2,2 m           |
| Jumlah baris grup tiang,        | $m$  | = 2 baris         |
| Jumlah tiang per-baris,         | $n'$ | = 9 buah          |
| Jumlah tiang total,             | $n$  | = 2 x 9 = 18 buah |
| Diameter tiang,                 | $D$  | = 0,6 m           |

a) Efisiensi grup tiang,

$$\eta = 1 - \theta \left( \frac{(n'-1)m + (m-1)n'}{90 * m * n'} \right)$$

dengan,

$$\theta = \tan^{-1} \frac{D}{S}$$

$$= 15,26^\circ$$

maka,

$$\eta = 1 - \theta \left( \frac{(n'-1)m + (m-1)n'}{90 * m * n'} \right)$$

$$= 0,765 < 1 \text{ (OK)}$$

b) Daya dukung grup tiang,

$$Q_{grup} = Q_{izin} * n * \eta$$

$$= 30984,75 \text{ kN}$$

Kontrol terhadap aksial beban tetap dan penuh, tidak perlu pembagian kembali terhadap safety factor (SF) dikarenakan penggunaan data daya dukung izin berasal dari katalog fabrikator dimana telah dikenai SF.

$$P_u \text{ KUAT 1} = 26804,29 \text{ kN} < Q_{group} \text{ (OK)}$$

$$P_u \text{ EKSTREM 1} = 22367,06 \text{ kN} < Q_{group} \text{ (OK)}$$

c) Kontrol gaya lateral

|                           |            |   |
|---------------------------|------------|---|
| Gaya geser terbesar,      | $V_u$      | $= T_x$<br>$= 9942,88 \text{ kN}$               |
| Gaya lateral 1 tiang,     |            | $= \frac{V_u}{n}$<br>$= 552,38 \text{ kN}$      |
| Momen ultimate 1 tiang,   | $M$        | $= 568,98 \text{ kNm}$                          |
| Nilai N rata – rata,      | $N_b$      | $= 57 > 30$ sehingga $c_u = 200 \text{ kN/m}^2$ |
| Kapasitas momen ultimate, |            | $= \frac{M}{C_u * D^3}$<br>$= 13,17$            |
| Gaya lateral ultimate,    | $H_u$      | $= C_u * D^2$<br>$= 864 \text{ kN}$             |
| <i>Safety Factor,</i>     | SF         | $= 1,5$   |
| Daya dukung lateral izin, | $H_{izin}$ | $= \frac{H_u}{SF}$<br>$= 576 \text{ kN}$        |