

**SURAT EDARAN MENTERI PEKERJAAN UMUM
DAN PERUMAHAN RAKYAT
NOMOR : 13/SE/M/2015
TANGGAL 23 APRIL 2015**

TENTANG

**PEDOMAN PERANCANGAN JEMBATAN SEMI-INTEGRAL
TIPE BALOK BETON PRACETAK PRATEGANG**



**KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM
DAN PERUMAHAN RAKYAT**



**MENTERI PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
REPUBLIK INDONESIA**

Kepada Yth.:

Para Pejabat Eselon I di lingkungan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

**SURAT EDARAN
NOMOR : 13 /SE/M/2015**

TENTANG

**PEDOMAN PERANCANGAN JEMBATAN SEMI-INTEGRAL TIPE BALOK
BETON PRACETAK PRATEGANG**

A. Umum

Jembatan semi-integral merupakan jembatan tanpa siar muai. Karakteristik jembatan semi-integral ditunjukkan dengan sambungan yang monolit antar dek/lantai bentang yang satu dengan bentang lainnya. Penggunaan jembatan semi-integral dapat mengurangi permasalahan yang sering terjadi pada jembatan konvensional yaitu kerusakan pada siar muai.

B. Dasar Pembentukan

- 1) Peraturan Pemerintah Nomor 34 Tahun 2006 tentang Jalan (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2006 Nomor 86, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4655);
- 2) Peraturan Pemerintah Nomor 38 Tahun 2007 tentang Pembagian Urusan Pemerintahan antara Pemerintah, Pemerintahan Provinsi, Pemerintahan Daerah Kabupaten/Kota (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2007 Nomor 82, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4737);
- 3) Peraturan Presiden Nomor 7 Tahun 2015 tentang Organisasi Kementerian Negara;
- 4) Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 15 Tahun 2015 tentang Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2015 Nomor 16);
- 5) Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 121/P Tahun 2014 tentang Pembentukan Kementerian dan Pengangkatan Menteri Kabinet Kerja Periode Tahun 2014-2019;

- 6) Peraturan Menteri Pekerjaan Umum, Nomor 07/PRT/M/2012 tentang Penyelenggaraan Penelitian dan Pengembangan di Bidang Jalan.

C. Maksud dan Tujuan

Surat Edaran ini dimaksudkan sebagai acuan bagi Pejabat Eselon I di Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, perencana, pelaksana dan pengawas dalam perancangan jembatan semi-integral dengan menggunakan balok beton pracetak prategang dengan menggunakan sistem perletakan dan tanpa siar muai. Dengan jembatan semi-integral dapat mengurangi biaya pemeliharaan dan perawatan jembatan.

D. Ruang Lingkup

Pedoman ini menetapkan prosedur perancangan jembatan semi-integral balok beton pracetak prategang baik untuk bentang pendek dan tunggal maupun bentang banyak (menerus) dengan panjang bentang berkisar antara 6 m sampai dengan 40 m. Penampang balok menggunakan penampang berongga (*Prestress Concrete Plank (PCP)*) dan balok I (*I-girder*).

E. Penutup

Ketentuan lebih rinci mengenai Pedoman Perancangan Jembatan Semi-Integral Tipe Balok Beton Pracetak Prategang ini tercantum dalam Lampiran yang merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari Surat Edaran Menteri ini.

Demikian atas perhatian Saudara disampaikan terima kasih.

Ditetapkan di Jakarta
pada tanggal 23 April 2015

MENTERI PEKERJAAN UMUM
DAN PERUMAHAN RAKYAT,



M. BASUKI HADIMULJONO

Tembusan disampaikan kepada Yth.:

Plt. Sekretaris Jenderal, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Daftar isi

| | |
|---|-----|
| Daftar isi..... | i |
| Prakata | iii |
| Pendahuluan..... | iv |
| 1 Ruang lingkup..... | 1 |
| 2 Acuan normatif | 1 |
| 3 Istilah dan definisi | 1 |
| 4 Ketentuan | 1 |
| 4.1 Tipe kepala jembatan semiintegral | 2 |
| 4.2 Pergerakan longitudinal..... | 2 |
| 4.3 Faktor beban..... | 2 |
| 4.4 Pengaruh temperatur | 3 |
| 4.5 Sistem perletakan (<i>bearing</i>) | 3 |
| 4.6 Lantai beton prategang | 3 |
| 4.7 Tekanan tanah | 3 |
| 4.8 Pembebanan jembatan | 5 |
| 5 Konsep perancangan jembatan semiintegral | 10 |
| 5.1 Analisis pelat penghubung pada jembatan semiintegral | 11 |
| 5.2 Tahapan perancangan struktur jembatan semiintegral pracetak prategang..... | 16 |
| Lampiran A (informatif) Contoh perancangan jembatan semiintegral pada pekerjaan pembangunan jalan dan jembatan metropolitan Denpasar..... | 18 |
| Bibliografi | 44 |
| Gambar 1 - Tipe kepala jembatan semiintegral | 2 |
| Gambar 2 - Distribusi tekanan tanah pada kepala jembatan tipe portal dengan ketinggian penuh..... | 4 |
| Gambar 3 - Distribusi tekanan tanah pada kepala jembatan tipe dinding tertanam dengan ketinggian penuh..... | 5 |
| Gambar 4 - Bagan alir untuk perencanaan beban jembatan | 6 |
| Gambar 5 - Koefisien regangan susut beton pada jembatan semiintegral (k_1)..... | 8 |
| Gambar 6 - Koefisien rangkai beton pada jembatan semiintegral (k_2) | 9 |
| Gambar 7 - Detail pelat penghubung..... | 10 |
| Gambar 8 - Skema konstruksi lantai menerus (Model 1) | 11 |
| Gambar 9 - Pemasangan pelat penghubung (Model 2) | 11 |
| Gambar 10 - Detil pelat penghubung (Model 2)..... | 12 |
| Gambar 11 - Model pelat penghubung (Model 3)..... | 12 |
| Gambar 12 - Skema dua bentang balok dengan beban ditengah bentang untuk : (a) bentuk deformasi jembatan dan (b) Distribusi momen dan bentuk deformasi pelat penghubung | 13 |
| Gambar 13 - Penampang pelat penghubung yang utuh | 14 |
| Gambar 14 - Deformasi pelat penghubung akibat putaran sudut..... | 14 |
| Gambar 15 - Sketsa detil dari pelat penghubung pada jembatan semiintegral | 16 |
| Gambar 16 - Bentuk kekakuan pegas/ <i>spring</i> pada kepala jembatan semiintegral di atas tiang..... | 16 |
| Gambar 17 - Bentuk kekakuan pegas/ <i>spring</i> pada tiang pilar jembatan semiintegral | 17 |
| Gambar 18 - Model perletakan jembatan semiintegral | 17 |

| | |
|--|----|
| Gambar A.1 - Potongan melintang jembatan semiintegral dengan balok PCP bentang (9 s.d. 12) meter..... | 41 |
| Gambar A.2 - Potongan melintang jembatan semiintegral dengan balok PCP bentang (12 s.d. 15) meter..... | 42 |
| Gambar A.3 - Potongan melintang jembatan semiintegral dengan balok PCP bentang (15 s.d. 18) meter..... | 42 |
| Gambar A.4 - Potongan melintang jembatan semiintegral dengan balok PCP bentang (18 s.d. 21) meter..... | 43 |
| Tabel 1 - Temperatur jembatan rata-rata..... | 9 |
| Tabel A.1 - Dimensi balok berongga PCP | 41 |
| Tabel A.2 - Dimensi balok I'prategang | 43 |



Prakata

Pedoman ini memberikan ketentuan perancangan jembatan semiintegral tipe balok beton pracetak prategang. Tipe jembatan semiintegral ini masih menggunakan sistem perletakan dan tanpa siar muai.

Pedoman ini merupakan hasil penelitian yang dilakukan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan dan mengacu kepada BA 42/96 Amendment No. 1 Volume 1 Highway Structures Approval Procedures and General Design Section 3 General Design Part 12, *"The Design of Integral Bridges"*.

Pedoman ini dipersiapkan oleh Panitia Teknis 91-01 Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil pada Subpanitia Teknis 91-01/S2 Rekayasa Jalan dan Jembatan melalui Gugus Kerja Jembatan dan Bangunan Pelengkap Jalan, Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan.

Tata cara penulisan disusun mengikuti Pedoman Standardisasi Nasional (PSN) 08:2007 dan dibahas dalam forum rapat konsensus yang diselenggarakan pada tanggal 15 April 2014 di Bandung oleh Subpanitia Teknis, yang melibatkan para narasumber, pakar dan lembaga terkait.

Pendahuluan

Jembatan semiintegral didefinisikan sebagai jembatan tanpa siar muai. Karakteristik jembatan semiintegral ditunjukkan dengan sambungan yang monolit antar dek/lantai bentang yang satu dengan bentang lainnya. Penggunaan jembatan semiintegral dapat mengurangi permasalahan yang sering terjadi pada jembatan konvensional yaitu kerusakan pada siar muai. Kerusakan pada siar muai selain mengakibatkan faktor kejut pada lantai jembatan juga akan mengakibatkan masuknya aliran air/debu yang dapat merusak sistem perletakan dan bangunan bawah jembatan. Pemeliharaan dan penggantian siar muai merupakan masalah yang pelik dalam manajemen jalan dan jembatan dan membutuhkan biaya yang besar. Di samping dapat mengurangi biaya pemeliharaan, pembangunan jembatan dengan sistem semiintegral juga memiliki keuntungan lain, diantaranya:

- Desain jembatan sederhana dan efisien;
- Pelaksanaan konstruksi cepat;
- Memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan jembatan konvensional;
- Meningkatkan distribusi beban;
- Meningkatkan proteksi terhadap korosi balok baja (pada jembatan semiintegral tipe balok baja).

Dengan keuntungan-keuntungan tersebut, di beberapa negara (seperti Inggris, Australia, USA, Canada, dan Jepang) pembangunan jembatan telah banyak yang menggunakan sistem semiintegral. Di Indonesia, pembangunan jembatan dengan sistem semiintegral masih kurang mendapat perhatian. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya belum semua para perencana jembatan di Indonesia mengenal sistem semiintegral, masih kurangnya penelitian mengenai struktur semiintegral, dan kurangnya sosialisasi kepada para *stakeholder*.

Perancangan Jembatan semiintegral tipe balok beton pracetak prategang

1 Ruang lingkup

Pedoman ini menetapkan prosedur perancangan jembatan semiintegral balok beton pracetak prategang baik untuk bentang pendek dan tunggal maupun bentang banyak (menerus) dengan panjang bentang berkisar antara 6 m sampai dengan 40 m. Penampang balok menggunakan penampang berongga (*Prestress Concrete Plank (PCP)*) dan balok I (*I-girder*).

2 Acuan normatif

Dokumen referensi di bawah ini harus digunakan dan tidak dapat ditinggalkan untuk melaksanakan pedoman ini.

RSNI T-02-2005, *Pembebanan untuk jembatan*

SNI 2833, *Perancangan jembatan terhadap beban gempa*

3 Istilah dan definisi

Untuk tujuan penggunaan pedoman ini, istilah dan definisi berikut digunakan.

3.1

Jembatan semiintegral

jembatan tanpa siar muai tetapi masih memiliki sistem perletakan

3.2

Kepala jembatan semiintegral

kepala jembatan yang terhubung dengan struktur bangunan atas dan mampu mengakomodasi pergerakan memuai dan menyusut dalam arah memanjang jembatan

3.3

titik stasioner

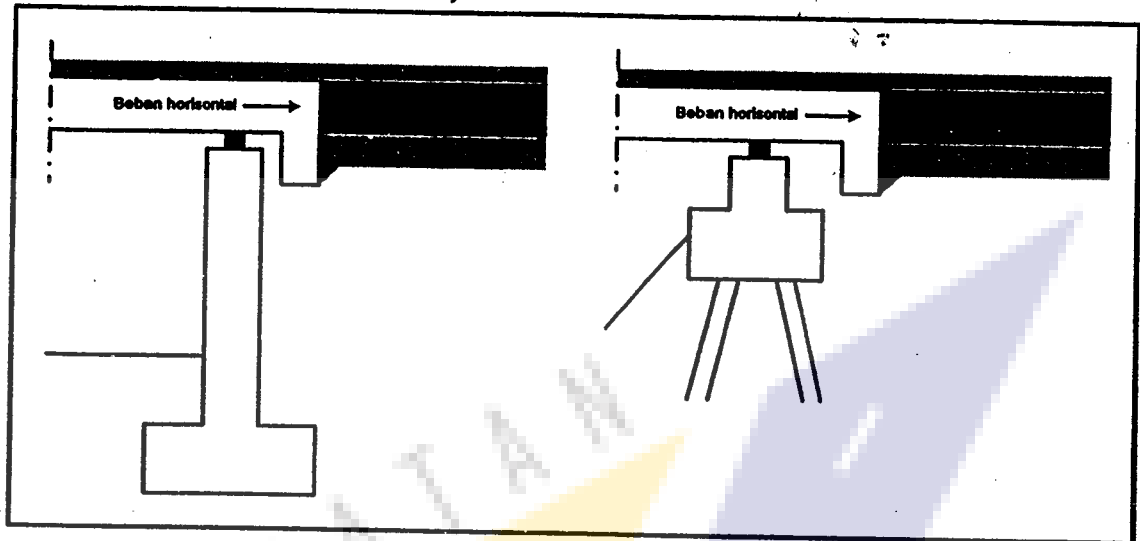
titik pada sebuah jembatan, yang berada dalam keadaan tetap (tidak berubah) ketika jembatan mengalami muai-susut akibat perubahan temperatur

4 Ketentuan

Jembatan semiintegral harus dapat memikul semua beban yang bekerja (beban hidup dan beban mati) dan mengakomodasi pergerakan muai-susut akibat efek perubahan temperatur tanpa terjadinya deformasi yang berlebih.

4.1 Tipe kepala jembatan semiintegral

Pada tipe kepala jembatan semiintegral, perletakan (*bearing*) diletakkan di bawah lantai dan beban horizontal pada lantai dipikulkan pada tanah timbunan di belakangnya (Gambar 1).



Gambar 1 –Tipe kepala jembatan semiintegral

4.2 Pergerakan longitudinal

- Jembatan harus dirancang untuk mengakomodasi pengaruh muai-susut akibat temperatur dan gaya-gaya aksial lain akibat tahanan struktur, tekanan tanah, friksi, dan geser;
- Jembatan semiintegral dengan bentang menerus (bentang banyak) tidak mempunyai siar muai pada setiap bentang. Jika memungkinkan, lantai jembatan harus dirancang secara menerus untuk mengakomodasi pengaruh gaya tekan dan gaya tarik;
- Pengaruh perbedaan temperatur, susut, dan rangkai harus diperhitungkan sesuai dengan 4.8.3 dan 4.8.4.

4.3 Faktor beban

- Perhitungan beban pada perancangan jembatan semiintegral harus menggunakan faktor beban sebagaimana ditentukan dalam RSNi T-02-2005
- Gaya tekanan tanah pasif pada kepala jembatan harus diperhitungkan dan diperlakukan sebagai pengaruh beban tetap dengan faktor beban, γ_{fl} , yaitu:
 $\gamma_{fl} = 1,5$ untuk keadaan batas ultimit (ULS), dan
 $\gamma_{fl} = 1,0$ untuk keadaan batas daya layan (SLS)
- Koefisien tekanan tanah pada kepala jembatan harus dikalikan dengan faktor keamanan dari material, γ_m , dengan ketentuan sebagai berikut :
 $\gamma_m = 1,0$ untuk gaya yang merugikan dari tanah timbunan (*backfill*)
 $\gamma_m = 0,5$ untuk gaya yang menguntungkan dari tanah timbunan (*backfill*) saat menahan efek beban sekunder (misalnya gaya rem)

4.4 Pengaruh temperatur

- a. Regangan karakteristik akibat temperatur (muai-susut) dapat ditentukan berdasarkan beberapa asumsi, yaitu:
 - (i) Balok jembatan dan kepala jembatan dibuat sebagai satu kesatuan dengan perbedaan temperatur $\pm 10^{\circ}\text{C}$ antara temperatur minimum dan temperatur maksimum ;
 - (ii) Untuk beton dan lantai komposit, koefisien muai temperatur diasumsikan sebesar $0,000012^{\circ}\text{C}$;
- b. Beton agregat ringan dan jenis material lain mempunyai koefisien muai temperatur lebih kecil dari $0,000012^{\circ}\text{C}$ dan secara proporsional akan mengalami muai susut dengan regangan lebih kecil dari 0,0006 untuk baja, 0,0005 untuk baja dengan lantai beton, serta 0,0004 untuk beton;
- c. Hal khusus harus diberikan untuk mencegah terjadinya retak susut pada temperatur awal akibat pergerakan longitudinal lantai jembatan pada kepala jembatan semiintegral. Misalnya pada saat pelaksanaan pengecoran lantai jembatan sebaiknya dilakukan secara bertahap, yaitu dimulai pada pertengahan pilar kemudian setelah (2 s.d. 3) hari, pengecoran dilanjutkan pada kedua sisi kepala jembatan. Hal khusus ini dimaksudkan agar beton tidak mengalami retak susut;
- d. Jembatan pelengkung atau asimetris mengalami perubahan relatif terhadap titik stasioner akibat temperatur. Letak titik stasioner dapat ditentukan dari analisis kekakuan yang menggunakan kekakuan horizontal pada perletakan dan kepala jembatan.

4.5 Sistem perletakan (*bearing*)

Sistem perletakan pada jembatan semiintegral dirancang untuk mengakomodasi gerakan dalam arah horizontal antara bangunan atas dengan bangunan bawah jembatan. Jembatan semiintegral yang menggunakan sistem perletakan harus dirancang untuk mengantisipasi penggantian sistem perletakan tersebut. Oleh karena penggantian perletakan sangat sulit dilaksanakan sebaiknya sistem perletakan dirancang sesuai umur rencana jembatan.

4.6 Lantai beton prategang

Pada kepala jembatan semiintegral dengan sistem lantai menerus, balok pracetak prategang dapat dirancang sebagai beton bertulang yang mengakomodir tegangan sisa dari gaya prategang.

4.7 Tekanan tanah

Distribusi tekanan tanah berbeda pada beberapa tipe kepala jembatan semiintegral, seperti dijelaskan berikut ini.

4.7.1 Tekanan tanah untuk kepala jembatan tipe telapak dan tipe terpisah dengan ketinggian rendah

Besarnya koefisien tekanan tanah lateral (K^*) untuk kepala jembatan semiintegral tipe ini adalah sebagai berikut :

$$K^* = K_0 + \left\{ \frac{d}{0,025H} \right\}^{0,4} K_p \quad (1)$$

Keterangan :

K^* adalah koefisien tekanan tanah lateral

K_0 adalah koefisien tekanan tanah dalam kondisi diam

d adalah besarnya pergerakan bagian atas kepala jembatan (m)

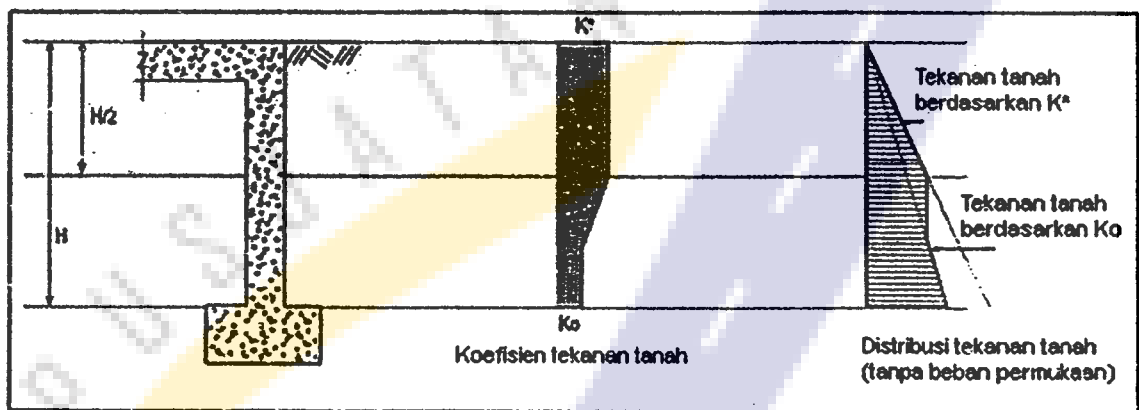
H adalah tinggi kepala jembatan (m)

K_p adalah koefisien tekanan tanah pasif yang besarnya ditentukan oleh persamaan:

$$K_p = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \tan^2 \left\{ 45 - \frac{\phi}{2} \right\}; \phi \text{ adalah sudut geser tanah } (^\circ)$$

4.7.2 Tekanan tanah untuk kepala jembatan tipe portal dengan ketinggian penuh (*full height frame abutments*)

Distribusi tekanan tanah untuk kepala jembatan tipe portal dengan ketinggian penuh dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2-Distribusi tekanan tanah pada kepala jembatan tipe portal dengan ketinggian penuh

Besarnya koefisien tekanan lateral untuk kepala jembatan tipe seperti ini dapat dihitung dengan persamaan :

$$K^* = \left\{ \frac{d}{0,05H} \right\}^{0,4} K_p \quad (2)$$

Perlu diperhatikan bahwa nilai K^* harus lebih besar dari koefisien tekanan tanah pada kondisi diam K_0 dan $\frac{K_p}{3}$ dengan:

$$K_0 = \{1 - \sin(\phi)\} \quad (3)$$

Akibat tekanan horisontal maka pada sisi atas kepala jembatan akan mengalami pergerakan (d) yang besarnya dihitung dengan persamaan :

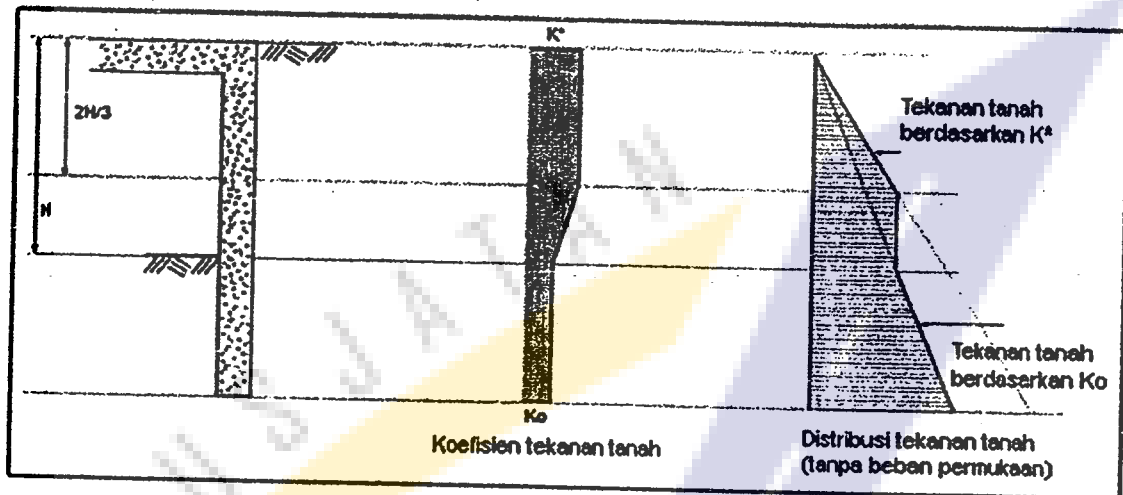
$$d = \alpha \Delta T L \quad (4)$$

Keterangan:

- L adalah panjang bentang (m)
- α adalah koefisien muai temperatur (misal untuk beton = $12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$)
- ΔT adalah perubahan temperatur ($^\circ\text{C}$)

4.7.3 Tekanan tanah untuk kepala jembatan tipe dinding tertanam dengan ketinggian penuh (*full height embedded wall abutments*)

Distribusi tekanan tanah pada kepala jembatan tipe dinding tertanam dengan ketinggian penuh dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 -Distribusi tekanan tanah pada kepala jembatan tipe dinding tertanam dengan ketinggian penuh

Besarnya koefisien tekanan lateral untuk kepala jembatan tipe seperti ini dapat dihitung dengan persamaan :

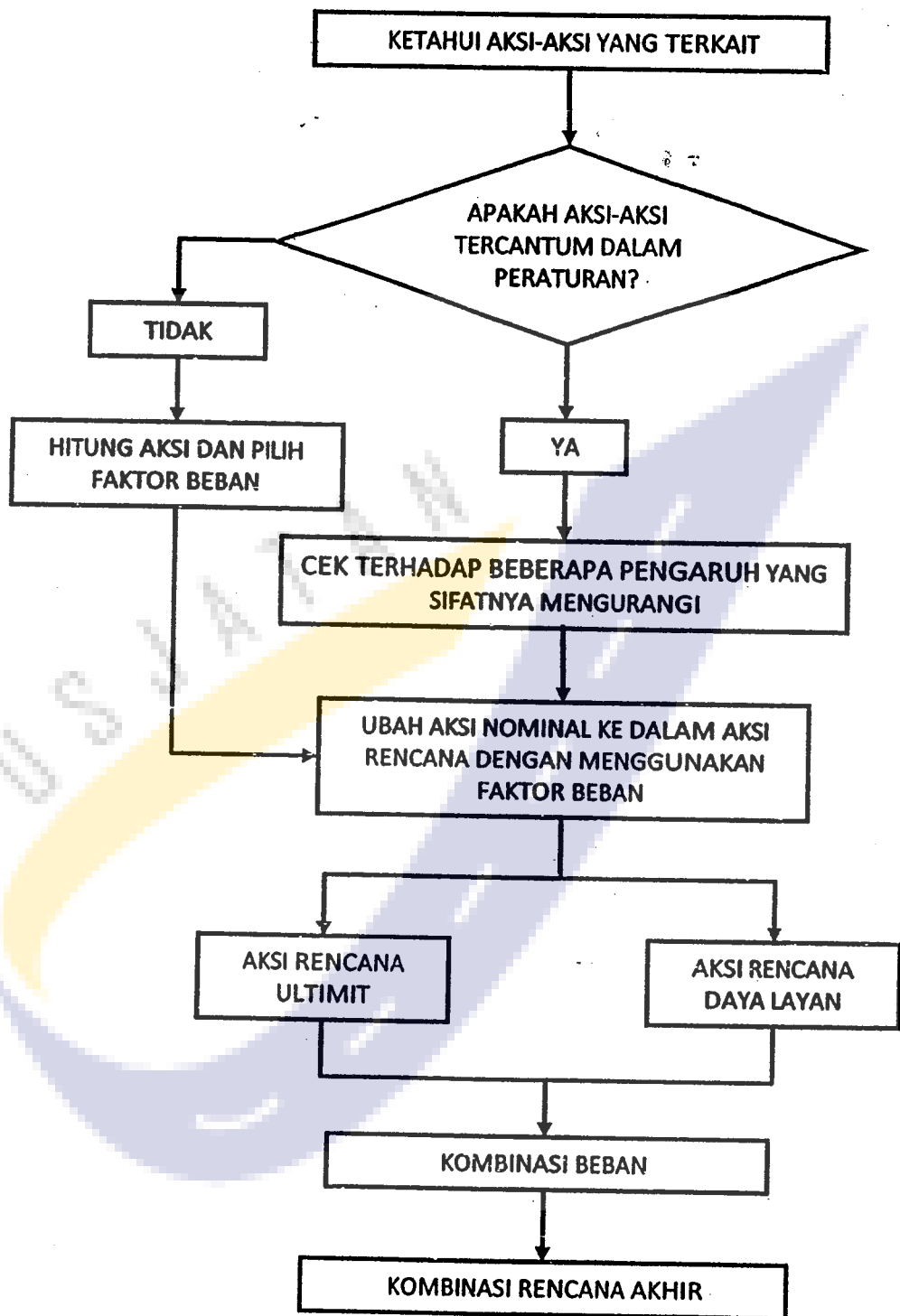
$$K^* = K_0 + \left\{ \frac{d}{0,03H} \right\}^{0,6} K_p \quad (5)$$

Nilai K^* dihitung sampai $2/3$ dari tinggi kepala jembatan dengan tekanan tanah lateral konstan. Beban hidup tambahan pada tanah timbunan (*backfill*) harus diabaikan ketika menghitung tekanan tanah pasif yang diakibatkan oleh pemuaian dari lantai jembatan akibat temperatur. Tekanan tanah aktif pada kepala jembatan selama terjadinya pemuaian lantai akibat temperatur sangat kecil dibandingkan tekanan tanah pasif sehingga dapat diabaikan.

4.8 Pembebanan jembatan

4.8.1 Pembebanan untuk struktur atas

Prosedur perencanaan beban untuk jembatan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4- Bagan alir untuk perencanaan beban jembatan

Penjelasan prosedur perencanaan beban untuk jembatan semiintegral identik dengan perencanaan jembatan konvensional. Perencanaan beban secara detail mengacu kepada RSNi T-02-2005, *Pembebanan untuk jembatan*.

4.8.2 Pembebanan akibat gempa

Beban gempa ditentukan berdasarkan koefisien respons elastis (C), berat struktur jembatan, dan faktor modifikasi respon. Gaya gempa rencana ditentukan dengan persamaan berikut :

$$E_q = \frac{C}{R} \times W_t \quad (6)$$

Keterangan :

E_q adalah gaya gempa horizontal statis (kN)

C adalah koefisien respons elastis

R adalah faktor modifikasi respons

W_t adalah berat total struktur yang terdiri dari beban mati dan beban hidup (kN)

Secara detil, beban gempa mengacu pada SNI 2833.

4.8.3 Pengaruh rangkai-susut beton

Susut (Shrinkage)

Beban susut beton pada keadaan lingkungan terbuka, daerah tropis, dan dekat pantai adalah berupa regangan susut sebesar 0,00036. Secara umum, nilai regangan susut beton untuk jembatan semiintegral dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\epsilon_{cs} = k_1 \epsilon_{csb} \quad (7)$$

Keterangan :

ϵ_{cs} adalah regangan susut beton

k_1 adalah koefisien regangan susut (Gambar 5)

ϵ_{csb} adalah regangan susut dasar misalnya 700×10^{-6}

Faktor koefisien regangan susut beton tergantung pada ketebalan lantai, yang besarnya dapat dihitung dengan persamaan:

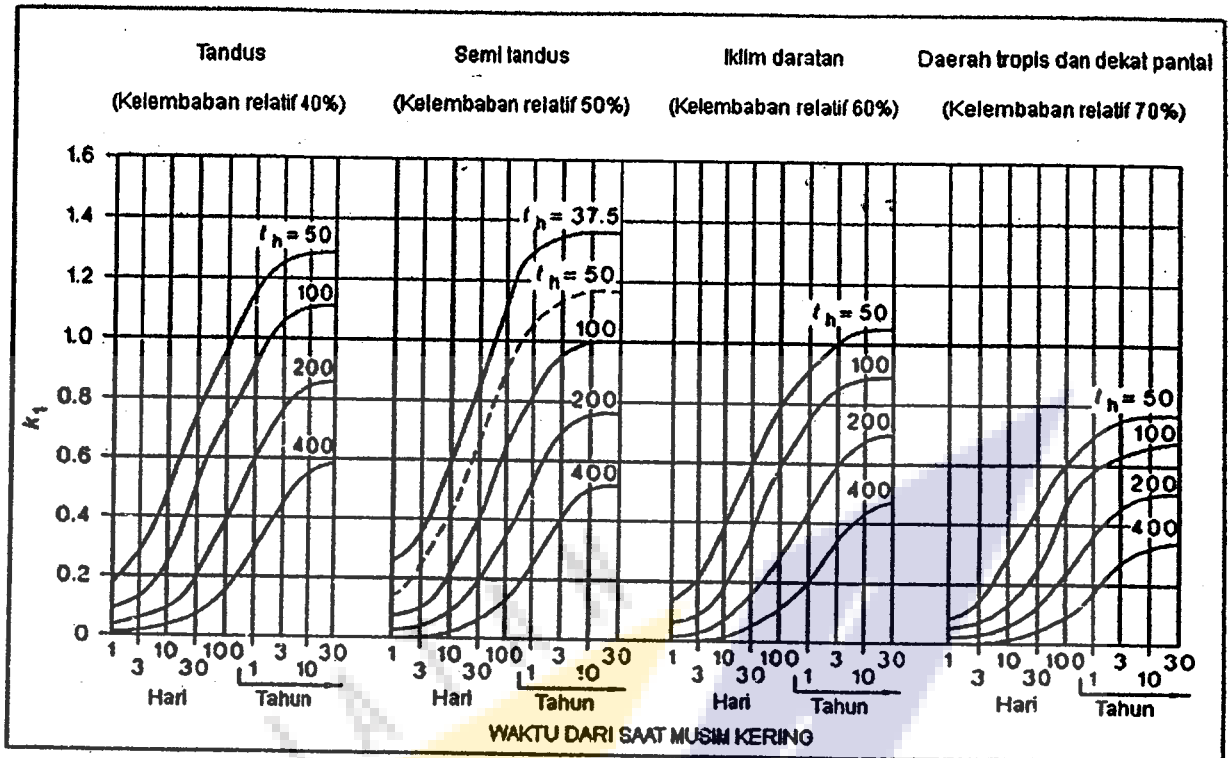
$$t_h = \frac{2A_g}{u_e} \quad (8)$$

Keterangan :

t_h adalah koefisien regangan susut beton

A_g adalah luas penampang melintang

u_e adalah parameter eksternal + 50% parameter rongga = 200 mm



Gambar 5 - Koefisien regangan susut beton pada jembatan semiintegral (k_1)

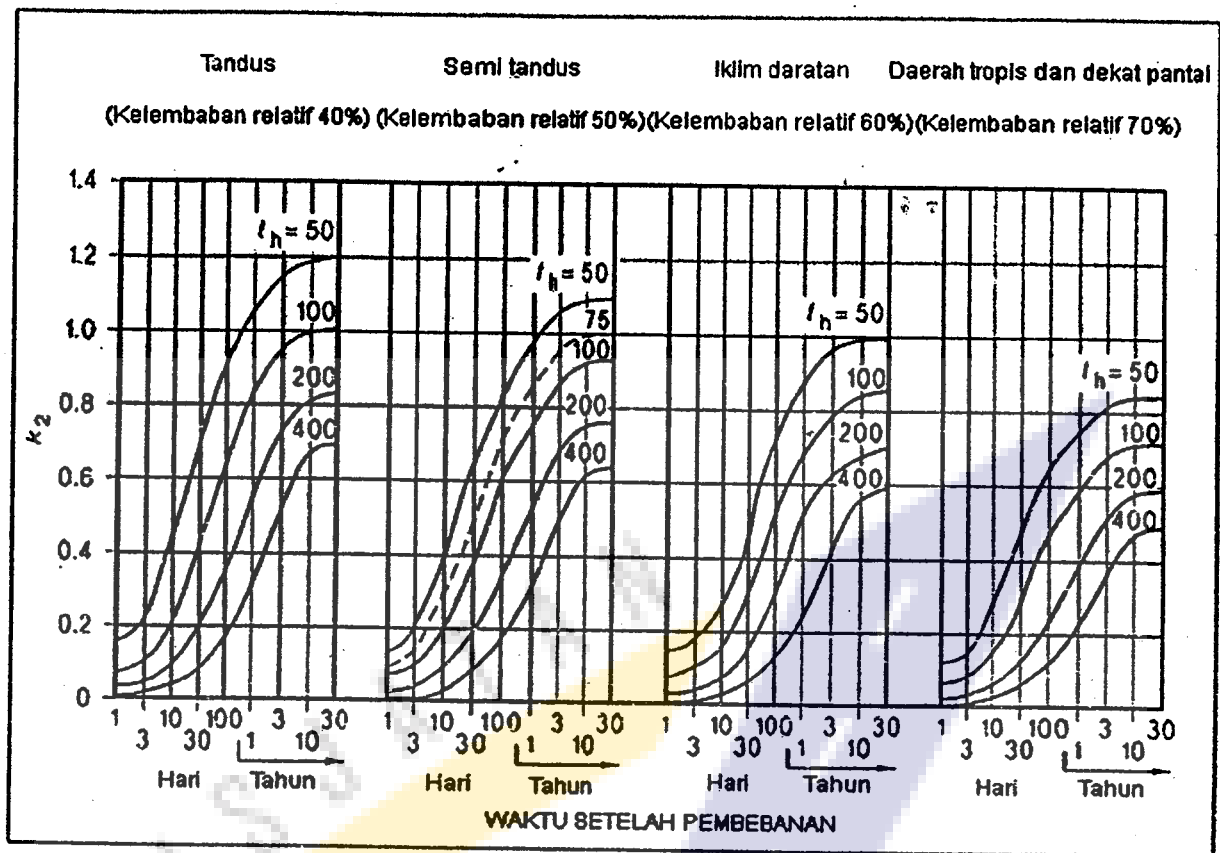
Rangkak (creep)

Rangkak beton yang terjadi pada jembatan semiintegral dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut :

$$\varepsilon_{cc} = \frac{k_2 k_3 \varphi_{ccb} f_d}{E_c} \quad (9)$$

Keterangan:

- ε_{cc} adalah regangan rangkak beton
- k_2 adalah koefisien rangkak (Gambar 6)
- k_3 adalah koefisien kematangan (*maturity*)
- φ_{ccb} adalah koefisien rangkak dasar, yaitu sebesar 2 MPa sampai dengan 5 MPa untuk beton
- f_d adalah tegangan beton rata-rata (MPa)
- E_c adalah modulus elastisitas beton (MPa)



Gambar 6 - Koefisien rangkai beton pada jembatan semiintegral (k_2)

4.8.4 Temperatur jembatan

Beban akibat temperatur pada lantai jembatan sebesar ΔT , yaitu perbedaan temperatur maksimum dan temperatur minimum. Besarnya temperatur maksimum dan minimum dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1- Temperatur jembatan rata-rata

| Tipe bangunan atas | Temperatur jembatan rata-rata minimum (1) | Temperatur jembatan rata-rata maksimum |
|---|---|--|
| Lantai beton di atas gelagar atau boks beton. | 15°C | 40°C |
| Lantai beton di atas gelagar, boks atau rangka baja. | 15°C | 40°C |
| Lantai pelat baja di atas gelagar, boks atau rangka baja. | 15°C | 45°C |

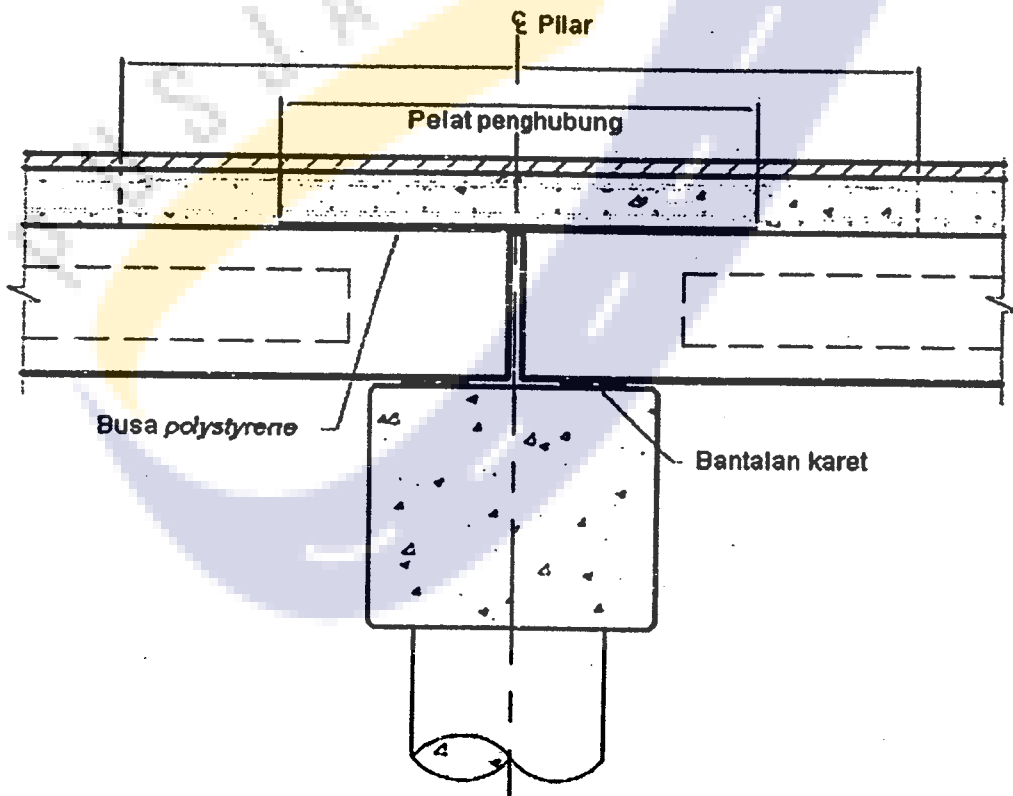
¹⁾ Temperatur jembatan rata-rata minimum bisa dikurangi 5°C untuk lokasi yang terletak pada ketinggian lebih besar dari 500 m di atas permukaan laut.

5 Konsep perancangan jembatan semiintegral

Perancangan jembatan semiintegral difokuskan pada desain jembatan dalam memikul gaya-gaya aksial horisontal dan momen lentur yang terjadi pada kepala jembatan di atas tiang yang menyatu dengan struktur bangunan atas jembatan. Tiang tidak hanya didesain untuk memikul gaya vertikal tetapi juga harus mampu menahan momen lentur dan integritas pergerakan jembatan. Pada jembatan dengan bentang kurang dari 20 m, pergerakan akibat muai-susut cukup kecil.

Balok pracetak dirancang sebagai balok sederhana untuk memikul pelat lantai dan beban-beban lainnya secara bersama-sama oleh kepala jembatan di atas tiang. Gaya portal yang dihasilkan berupa momen negatif pada ujung lantai yang akan mereduksi besarnya momen lapangan. Beban hidup berupa rem kendaraan dan beban longitudinal berupa gempa ditahan oleh gaya tekanan tanah pasif pada dinding kepala jembatan dan momen lentur akan terjadi pada tiang beton prategang.

Pada umumnya, jembatan konvensional dengan banyak bentang dibuat berdasarkan konsep tumpuan balok sederhana dan dipasang siar muai pada lantai jembatannya. Sedangkan pada jembatan semiintegral, pelat lantai jembatan di atas pilar dibuat secara menerus dengan menggunakan pelat penghubung (Gambar 7).

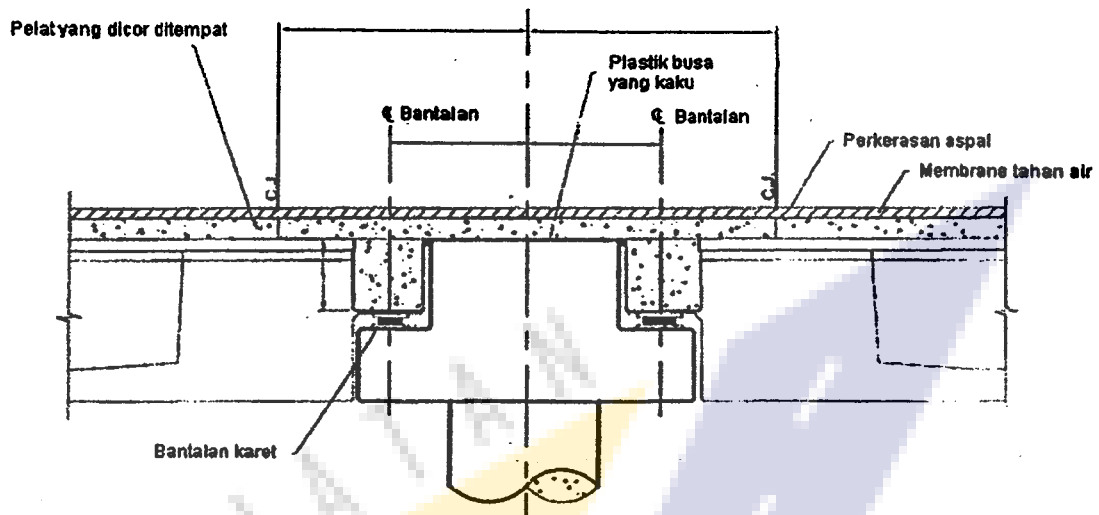


Gambar 7 - Detail pelat penghubung

Pada umumnya pelat penghubung digunakan pada jembatan dengan bentang banyak yang menggunakan konsep balok di atas tumpuan sederhana. Penggunaan pelat penghubung dimaksudkan untuk menghilangkan siar muai, sehingga hubungan antar lantai pada jembatan dengan beberapa bentang bersifat menerus.

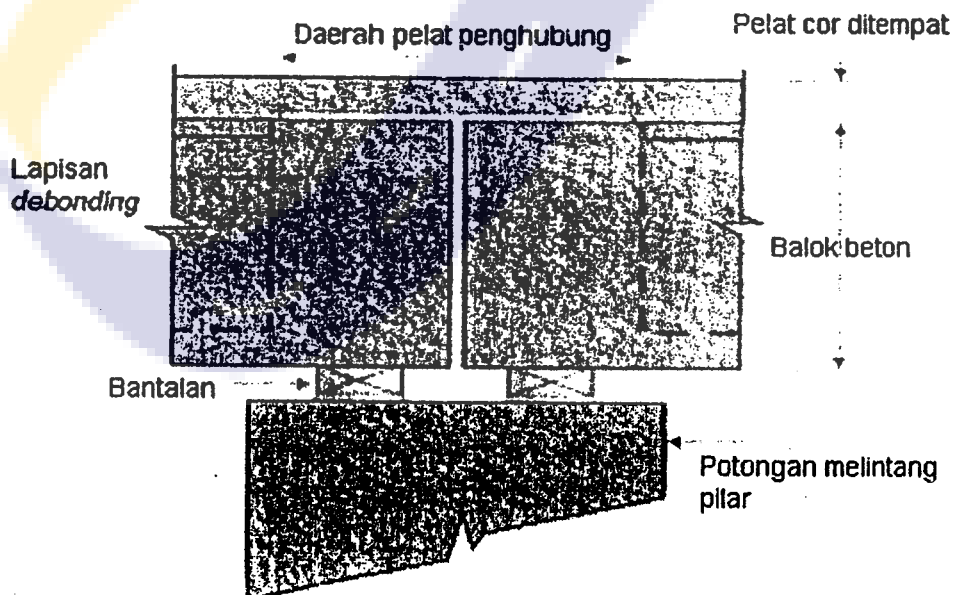
5.1 Analisis pelat penghubung pada jembatan semiintegral

Desain pelat penghubung dapat dilihat dari pemodelan beberapa jembatan di beberapa negara dan di Indonesia (jembatan Janti). Bentuk skema untuk konstruksi lantai menerus dapat dilihat seperti berikut ini :

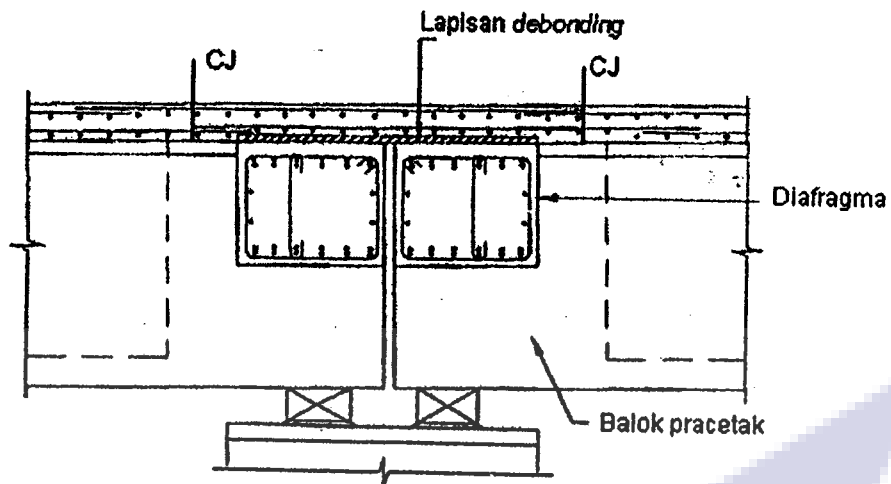


Gambar 8-Skema konstruksi lantai menerus (Model 1)

Skema konstruksi lantai menerus di atas menunjukkan bahwa di bagian bawah pelat penghubung diberikan suatu lapisan plastik busa yang kaku setebal 10 mm. Model ini dapat dibandingkan dengan model yang diterapkan di Australia (model 2) yaitu seperti berikut ini :

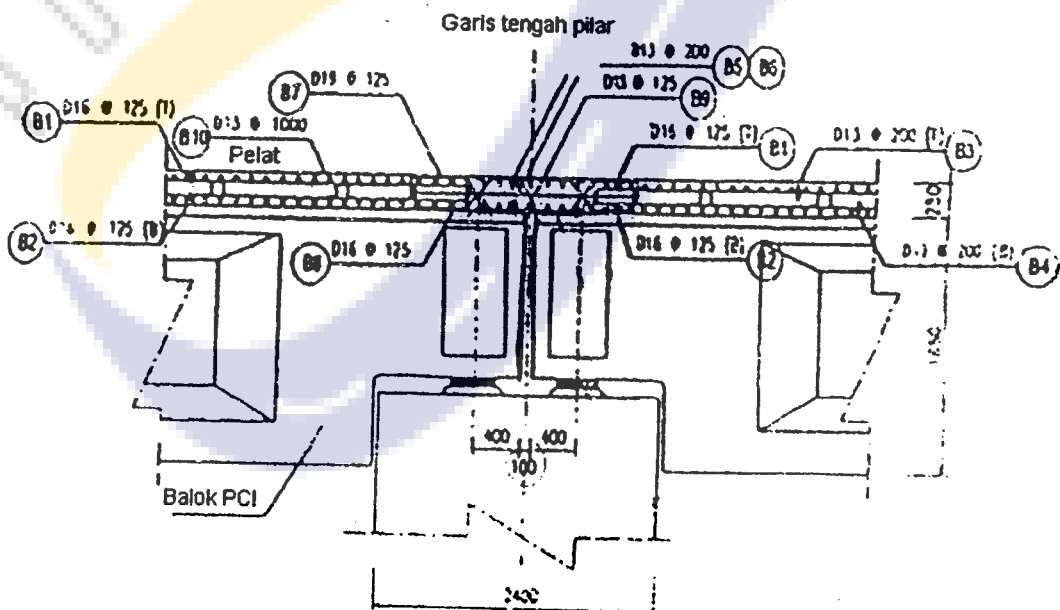


Gambar 9-Pemasangan pelat penghubung (Model 2)



Gambar 10-Detil pelat penghubung (Model 2)
(Sumber : Connal, *Integral Abutment Bridges – Australian and US Practice*)

Pada model 2 terdapat lapisan *debonding* yang lapisannya diteruskan melewati perletakan yang ada. Hal ini dimaksudkan agar pelat menjadi tidak terlalu kaku sehingga energi yang diserap menjadi lebih kecil. Untuk model selanjutnya adalah model yang ada di Indonesia (jembatan Janti) seperti berikut :

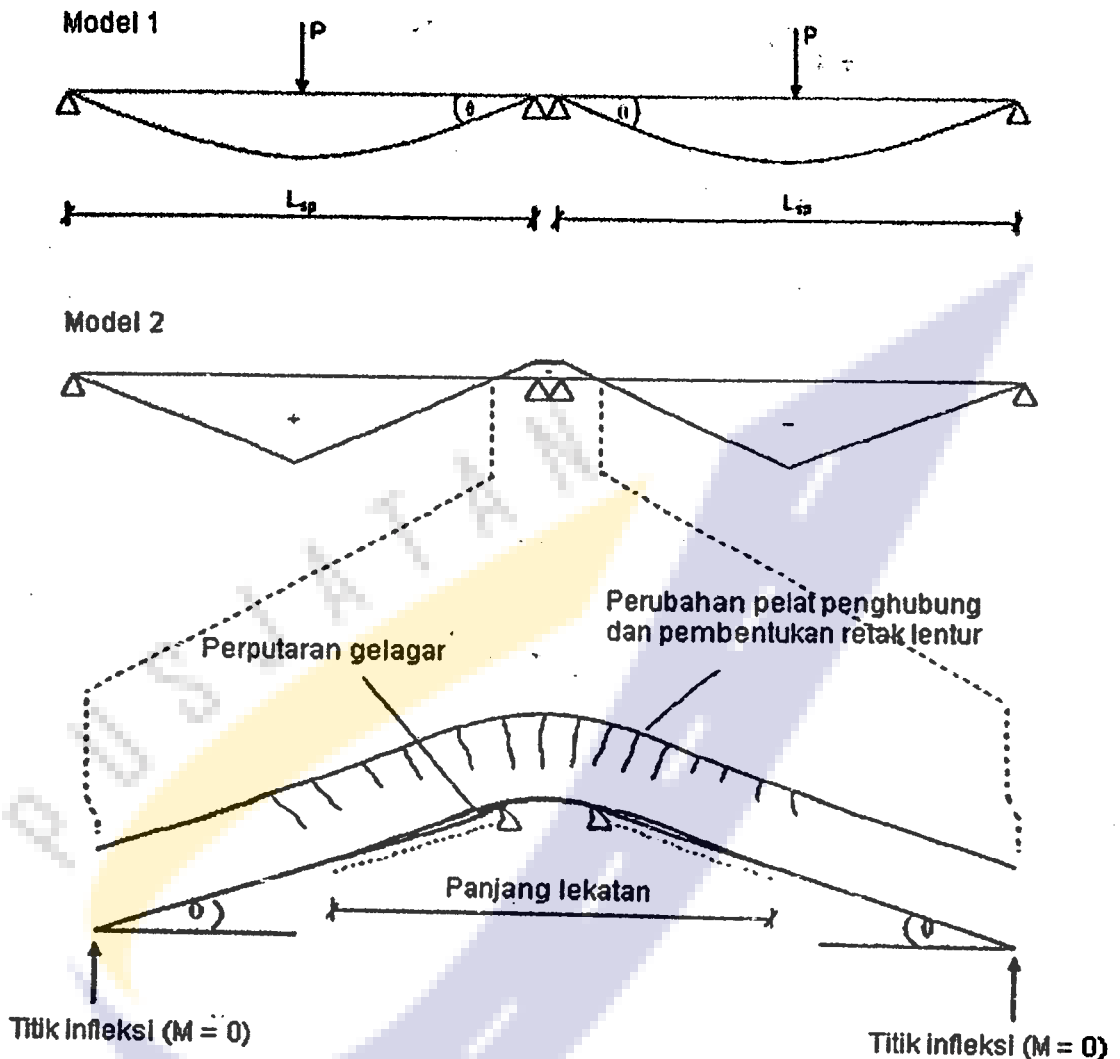


Gambar 11-Model pelat penghubung (Model 3)

Pada model ini agak berbeda yaitu pada lapisan bawah tidak diberikan lapisan *debonding*. Penyerapan energi dirancang dengan merencanakan detail penulangan pada pelat penghubung dengan menggunakan sendi sehingga pelat penghubung diharapkan mampu berotasi.

Analisis pelat penghubung dengan metode klasik dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan Caner dan Zia (1998). Dengan menggunakan metode energi maka dapat ditentukan besarnya momen yang dipikul oleh pelat. Model yang sesuai untuk analisis

dengan menggunakan persamaan Caner dan Zia adalah model 2. Adapun penurunan persamaan untuk menghitung besarnya momen di slab dapat diperoleh seperti berikut ini :



Gambar 12-Skema dua bentang balok dengan beban di tengah bentang untuk : bentuk deformasi jembatan (Model 1) dan distribusi momen dan bentuk deformasi pelat penghubung (Model 2)

Berdasarkan Gambar 12, beban hidup P mengakibatkan putaran sudut θ pada pelat penghubung. Putaran sudut θ adalah fungsi dari geometri penampang, bentang, bahan dan beban. Dengan asumsi sistem struktur sederhana di atas dua tumpuan, besarnya putaran sudut θ adalah :

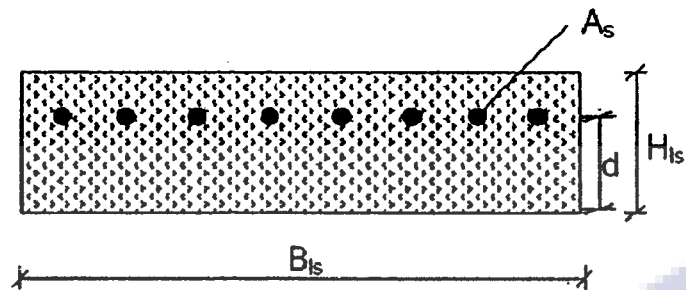
$$\theta = \frac{PL_{sp}^2}{16E_C I_{sp}} \quad (10)$$

Keterangan :

θ adalah putaran sudut (radian)
 P adalah beban hidup (N)

- L_{sp} adalah panjang bentang (m)
 E_c adalah modulus elastisitas beton (N/m^2)
 I_{sp} adalah momen inersia penampang beton (m^4)

Penampang melintang pelat penghubung sebelum terjadi keretakan diperlihatkan pada Gambar 13.



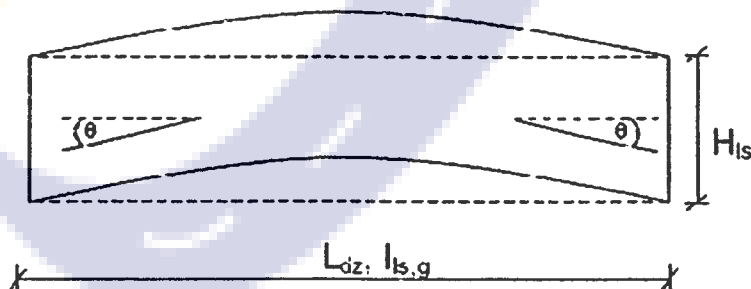
Gambar 13-Penampang pelat penghubung yang utuh

Momen inersia pelat penghubung pada kondisi sebelum retak tergantung pada geometri penampang dan tidak bergantung kepada angka rasio tulangan ρ . Momen inersia penampang dinyatakan dalam:

$$I_{is} = \frac{b_{is} h_{is}^3}{12} \quad (11)$$

Keterangan:

- I_{is} adalah momen inersia pelat penghubung (m^4)
 b_{is} adalah lebar penampang pelat penghubung (m)
 h_{is} adalah tinggi penampang pelat penghubung (m)



Gambar 14-Deformasi pelat penghubung akibat putaran sudut

Berdasarkan Gambar 14, momen lentur M_a yang terjadi akibat rotasi θ adalah fungsi dari bahan dan geometri penampang. Besar momen lentur ini sebanding dengan putaran sudut θ . Berdasarkan metoda energi, besar momen ini adalah:

$$M_a = \frac{2E_c I_{is}}{L_{dz}} \theta \quad (12)$$

Keterangan:

- M_a adalah momen lentur (N.m)
 I_{is} adalah momen inersia pelat penghubung (m^4)
 L_{dz} adalah panjang pelat penghubung (m)
 E_c adalah modulus elastisitas beton (N/m^2)
 I_{sp} adalah momen inersia penampang beton (m^4)

Momen retak M_{cr} adalah fungsi dari kuat tarik retak pertama material, untuk penampang seperti gambar tersebut, momen retak yang terjadi adalah:

$$M_{cr} = \sigma_{cr} \frac{B_{ls} H_{ls}^2}{6} \quad (13)$$

Keterangan :

- M_{cr} adalah momen retak (N.m)
- σ_{cr} adalah tegangan retak (N/m²)
- B_{ls} adalah lebar penampang pelat penghubung (m)
- H_{ls} adalah tinggi penampang pelat penghubung (m)

Momen inersia penampang retak dihasilkan dari penampang yang tidak mengalami retak di bawah garis netral dan eksentrisitas dari tulangan terhadap garis netral tersebut. Tegangan izin pada tulangan diasumsikan $0,4\sigma_y$ dibandingkan dengan tegangan tulangan pada arah longitudinal σ_s yang dinyatakan dalam persamaan (Caner dan Zia, 1998) berikut :

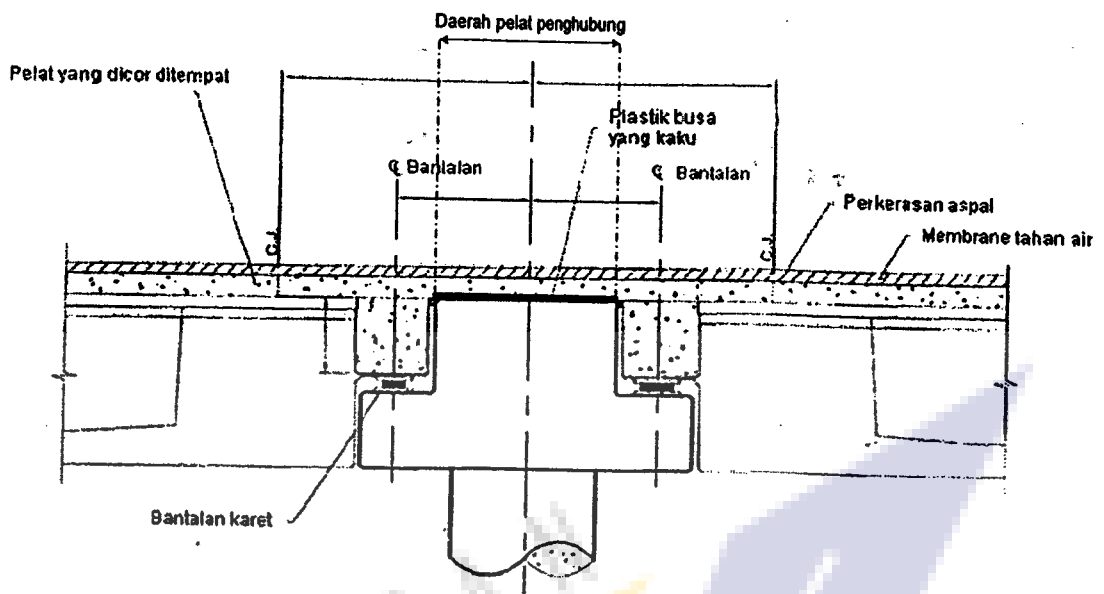
$$\sigma_s = \frac{M_a}{A_s \left\{ d - \frac{1}{3} kd \right\}} = \frac{\frac{2E_c I_{ls}}{L_{dz}} \theta}{A_s \left\{ d - \frac{1}{3} kd \right\}} \leq 0,4 \sigma_y \quad (14)$$

Untuk kondisi yang diizinkan ($\sigma_s < 0,4\sigma_y$), luas total tulangan (dalam hal ini dinyatakan dalam angka tulangan ρ).

Keterangan :

- A_s adalah luas total penampang pelat penghubung (m²)
- I_{ls} adalah momen inersia pelat penghubung (utuh tidak retak) (m⁴)
- L_{dz} adalah panjang zona *debond* = 2 x (5% panjang bentang) (m²)
- L_{sp} adalah panjang bentang (m)
- σ_s adalah tegangan tulangan pada arah longitudinal (N/m²)
- σ_y adalah tegangan leleh baja (N/m²)
- d adalah jarak sumbu netral terhadap serat tekan beton (m)
- M_a adalah momen lentur (N.m)
- k adalah koefisien daerah tekan beton

Contoh gambar detail untuk pelat penghubung pada jembatan semiintegral dapat dilihat pada Gambar 15 berikut:

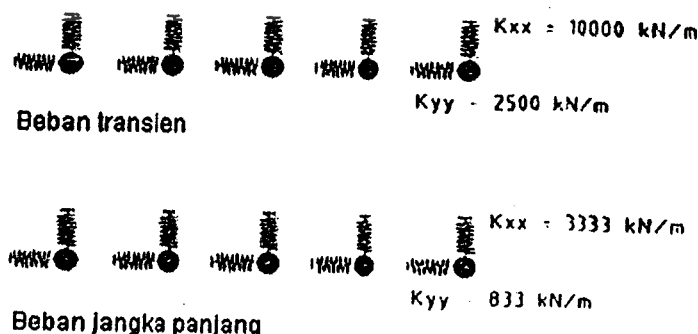


Gambar 15-Sketsa detil dari pelat penghubung pada jembatan semiintegral

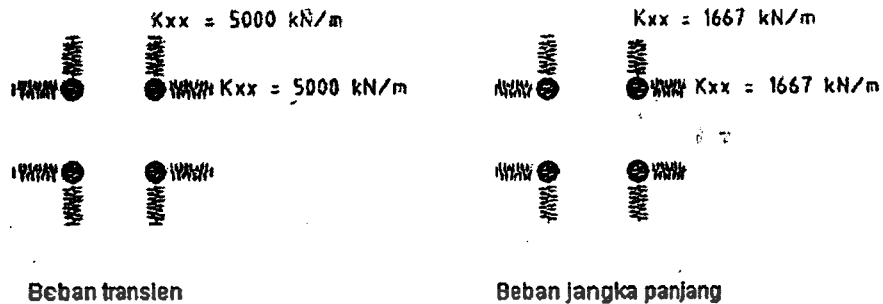
5.2 Tahapan perancangan struktur jembatan semiintegral pracetak prategang

Jembatan semiintegral dibuat tanpa adanya pergerakan antar bentang (*spans*) atau antara bentang dengan kepala jembatan. Permukaan jalan dibuat kontinu dari timbunan oprit yang satu dengan timbunan oprit yang lainnya. Tantangan dalam jembatan semiintegral adalah perhitungan distribusi dari beban, karena bangunan atas jembatan, pilar, kepala jembatan, timbunan dan fondasi harus diperhitungkan sebagai satu kesatuan. Tidak hanya beban yang harus diperhatikan, tetapi keseragaman dari material yang harus diperhatikan. Penggunaan alat bantu untuk distribusi pembebanan akan sangat membantu dalam melakukan analisis. Performa dari jembatan semiintegral dan keberhasilannya akan sangat dipengaruhi oleh performa dalam pelaksanaan. Tahapan perancangan struktur jembatan semiintegral dengan menggunakan balok pracetak prategang adalah sebagai berikut:

1. Membuat pemodelan jembatan dengan menggunakan statika tak tentu, perletakan dimodelkan sebagai pegas (*spring*). Contoh dapat dilihat pada Gambar 16 dan Gambar 17 berikut.



Gambar 16-Bentuk kekakuan pegas/*spring* pada kepala jembatan semiintegral di atas tiang

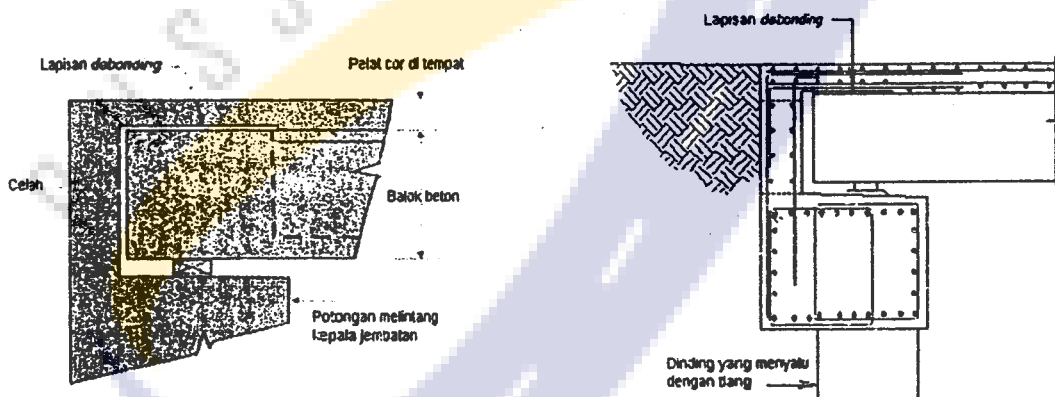


Gambar 17-Bentuk kekakuan pegas/spring pada tiang pilar jembatan semiintegral

Pemodelan perletakan pegas (*spring*) sangat dipengaruhi oleh kondisi tanah.

2. Menentukan sistem perletakan (*bearing pad*)

Model sistem perletakan dapat mengacu pada bentuk yang dikeluarkan Connal, *Integral Abutment Bridges – Australian and US Practice* seperti berikut ini :



Gambar 18-Model perletakan jembatan semiintegral

(Sumber : Connal, *Integral Abutment Bridges – Australian and US Practice*)

- Menentukan besarnya beban yang bekerja pada jembatan. Perhitungan beban mengacu pada RSNI T-02-2005.
- Merancang sistem sambungan tulangan antara elemen bangunan atas dengan elemen bangunan bawah yang dapat mengakomodir pergerakan arah memanjang jembatan.
- Merancang sistem penulangan pelat penghubung.
- Merancang sistem fondasi yang menyatu dengan bangunan bawah (ujung kepala jembatan). Fondasi harus dirancang lebih fleksibel untuk mengantisipasi pergerakan muai susut jembatan.

Lampiran A (informatif)

Contoh perancangan jembatan semiintegral pada pekerjaan pembangunan jalan dan jembatan metropolitan Denpasar

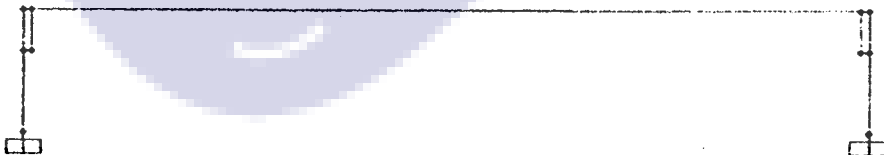
DESAIN JEMBATAN INTEGRAL BALOK PRESTRESS BENTANG 22 M

I. DATA-DATA PERENCANAAN

| | | |
|--------------------|---|-----------------------|
| Tipe balok | = | Balok beton prestress |
| Bentang | = | 22 m |
| Jarak antar balok | = | 1.8 m |
| Lebar jembatan | = | 9 m |
| Tebal pelat | = | 0.2 m |
| Tinggi pilar | = | 4 m |
| Tebal pilar | = | 0.5 m |
| γ beton | = | 24 kN/m ³ |
| γ prestress | = | 25 kN/m ³ |
| f'_c | = | 25 MPa |
| f'_o prestress | = | 40 MPa |
| f_y (tulangan) | = | 320 MPa |
| f_s (sengkang) | = | 240 MPa |
| α | = | 1.00E-05 /°C |
| E beton | = | 25000 MPa |
| E prestress | = | 34000 MPa |
| E baja | = | 200000 MPa |
| Tebal aspal | = | 0.1 m |
| γ aspal | = | 22 kN/m ³ |
| γ tanah | = | 18 kN/m ³ |

II. MODEL

1. Struktur dimodelkan mempunyai perletakan jepit-jepit



Hasil analisa struktur dengan pemodelan jepit-jepit digunakan untuk merencanakan dimensi telapak pondasi, dimana dimensi telapak pondasi ini akan digunakan untuk memodelkan properti springs.

2. Struktur dimodelkan mempunyai perletakan springs

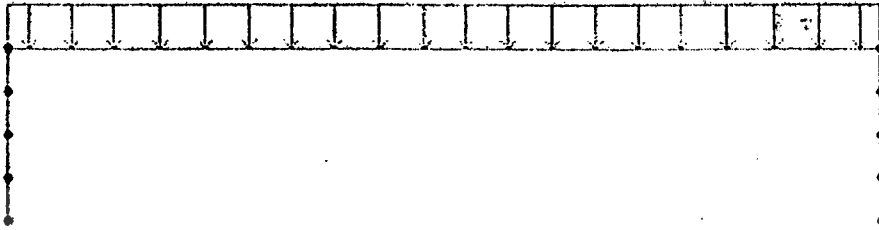


Hasil analisa struktur dengan pemodelan springs digunakan untuk merencanakan dimensi abutment dan mengontrol dimensi balok.

III. BEBAN

1. Berat Sendiri

- Berat sendiri balok



$$\text{Bentang} = 22 \text{ m}$$

$$\text{Luas penampang balok} = 0.46 \text{ m}^2$$

$$q = \text{Luas penampang balok} \times \gamma \text{ prestress}$$

$$= 0.46 \times 25$$

$$= 11.50 \text{ kN/m'}$$

- Berat sendiri abutment

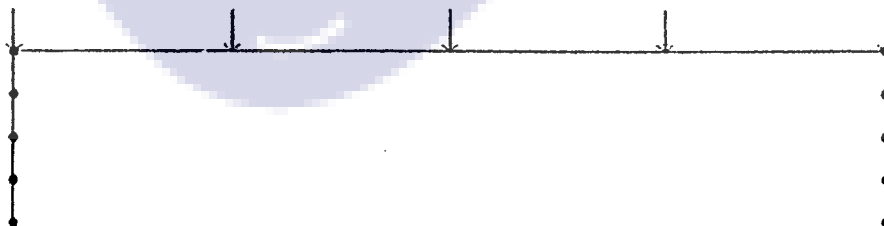


$$p = \text{Jarak antar balok} \times \text{Tinggi} \times \text{Tebal} \times \gamma \text{ beton}$$

$$= 1.8 \times 4 \times 0.5 \times 24$$

$$= 86.4 \text{ kN}$$

- Berat sendiri diafragma



$$\text{Bentang} = 22 \text{ m}$$

$$\text{Luas penampang diafragma} = 0.15 \text{ m}^2$$

$$p = \text{Jarak antar balok} \times \text{luas penampang diafragma} \times \gamma \text{ beton}$$

$$= 1.8 \times 0.15 \times 24$$

$$= 6.48 \text{ kN}$$

2. Beban Mati Tambahan

- Aspal

$$\begin{aligned} q_{\text{aspal}} &= \text{Jarak antar balok} \times \text{Tebal aspal} \times \gamma_{\text{aspal}} \\ &= 1.8 \times 0.1 \times 22 \\ &= 3.96 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

- Pelat

$$\begin{aligned} q_{\text{pelat}} &= \text{Jarak antar balok} \times \text{Tebal pelat} \times \gamma_{\text{pelat}} \\ &= 1.8 \times 0.2 \times 24 \\ &= 8.64 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

3. Susut

Beban susut berupa regangan beton pratekan yang digabung dengan rangli

4. Rangkak

Beban rangkak berupa regangan beton pratekan diambil sebesar: 2.90E-03

5. Tekanan Tanah

Beberapa jenis tanah dan propertinya yang dipakai adalah:

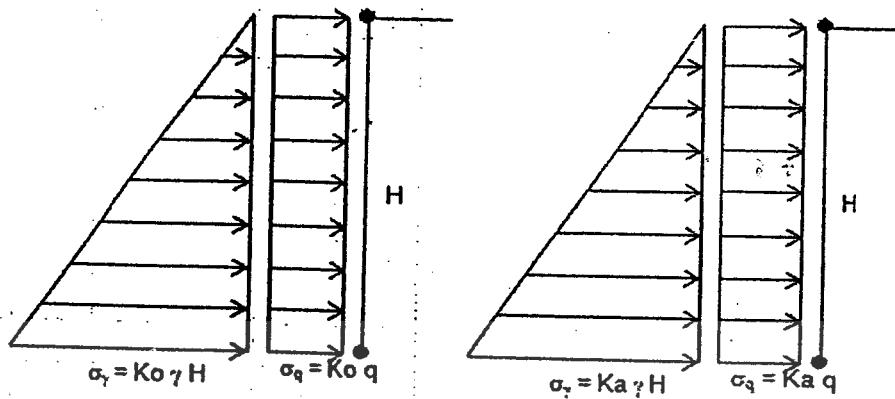
| Jenis tanah | ϕ° | E Mpa | Ko | Ka | Nc | $N\gamma$ | Nq |
|--------------|--------------|-------|------|------|------|-----------|------|
| Loose sand | 30 | 40 | 0.5 | 0.33 | 30 | 18.1 | 18.4 |
| Medium sand | 35 | 80 | 0.43 | 0.27 | 46 | 41.1 | 33.3 |
| Dense sand | 40 | 160 | 0.36 | 0.22 | 75.3 | 100 | 64.2 |
| Dense gravel | 45 | 320 | 0.29 | 0.17 | 134 | 254 | 135 |

$$K_o = 1 - \sin \phi$$

$$K_a = \tan^2(45 - \phi/2)$$

Beban tekanan tanah dimodelkan menjadi 3 model, yaitu:

1. Keadaan diam/at rest (K_o) pada kedua abutment
2. Keadaan aktif (K_a) pada kedua abutment
3. Keadaan diam/at rest (K_o) pada satu abutment dan keadaan aktif (K_a) pada abutment yang lain



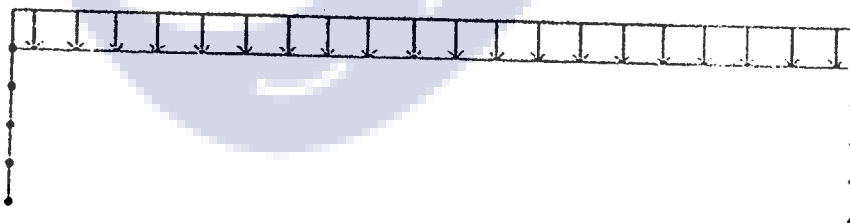
q adalah beban timbunan (surcharge) sebesar beban aspal dan beban hidup UDL:

$$\begin{aligned}
 q &= (\text{tebal aspal} \times \gamma \text{ aspal}) + (\text{UDL}) \\
 &= (0.1 \times 22) + (9) \\
 &= 11.2 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

| Jenis tanah | Diam/At rest | | Aktif | |
|---|--|--------------------------------------|---|--------------------------------------|
| | $\sigma_{\text{tot}} \text{ (kN/m}^2\text{)}$ | $\sigma_{\text{tot}} \text{ (kN/m)}$ | $\sigma_{\text{tot}} \text{ (kN/m}^2\text{)}$ | $\sigma_{\text{tot}} \text{ (kN/m)}$ |
| Loose sand | 41.60 | 74.88 | 27.73 | 49.92 |
| Medium sand | 35.48 | 63.86 | 22.55 | 40.58 |
| Dense sand | 29.72 | 53.50 | 18.09 | 32.56 |
| Dense grave | 24.37 | 43.86 | 14.27 | 25.69 |
| $\sigma_{\text{tot}} \text{ (kN/m}^2\text{)}$ | $= (K_o \gamma H) + (K_o q)$ | | (At rest) | |
| $\sigma_{\text{tot}} \text{ (kN/m)}$ | $= (K_o \gamma H + K_o q) \times \text{Jarak antar balok}$ | | (At rest) | |
| $\sigma_{\text{tot}} \text{ (kN/m}^2\text{)}$ | $= (K_a \gamma H) + (K_a q)$ | | (Aktif) | |
| $\sigma_{\text{tot}} \text{ (kN/m)}$ | $= (K_a \gamma H + K_a q) \times \text{Jarak antar balok}$ | | (Aktif) | |

6. Beban Hidup

- Uniformly Distributed Load (UDL)



$$\begin{aligned}
 q \text{ UDL} &= 9 \text{ kN/m}^2 \\
 q &= \text{Jarak antar balok} \times q \text{ UDL} \\
 &= 1.8 \times 9 \\
 &= 16.2 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

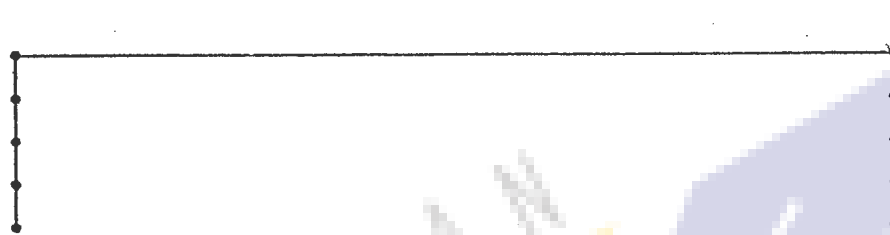
- Knife Edge Load (KEL)

Beban KEL dimodelkan menjadi dua model untuk memperoleh pengaruh terbesar.

(KEL ditengah)

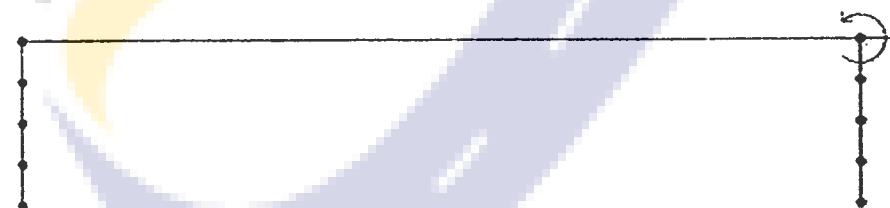


(KEL ditepi)



$$\begin{aligned}
 DLA &= 40\% \\
 p_{\text{KEL}} &= 49 \text{ kN/m} \\
 p &= \text{Jarak antar balok} \times p_{\text{KEL}} \times (1 + DLA) \\
 &= 1.8 \times 49 \times (1 + 40\%) \\
 &= 123 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

7. Rem



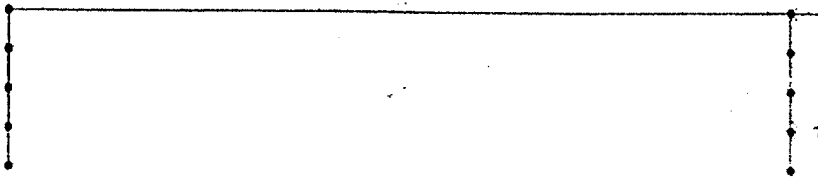
$$\begin{aligned}
 \text{Gaya rem} &= 50 \text{ kN} \quad (\text{per lajur } 2.75 \text{ m}) \\
 p_{\text{Rem}} &= \text{Jarak antar balok} \times (\text{Gaya rem} / \text{Lebar lajur}) \\
 &= 1.8 \times (50 / 2.75) \\
 &= 32.73 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Gaya rem bekerja pada titik tangkap setinggi 1.80 m dari lantai kendaraan sehingga menimbulkan momen dan aksial pada frame.

Momen rem bekerja pada frame:

$$\text{Momen Rem} = 32.73 \times 1.8 = 58.9 \text{ kN-m}$$

8. Gempa



Beban rencana gempa minimum diperoleh dari rumus berikut:

$$T_{EO}^* = K_h I W_T$$

dimana:

$$K_h = C S$$

C = Koefisien geser dasar berdasarkan waktu dasar getaran jembatan (T)

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W_{TP}}{g K_p}}$$

W_{TP} = berat total nominal bangunan atas termasuk beban mati tambahan ditambah setengah berat dari pilar

= Berat balok + Berat diafragma + Berat aspal + 0.5 Berat abutment

$$= 253 \text{ kN} + 32.4 \text{ kN} + 87.1 \text{ kN} + 86.4 \text{ kN}$$

$$= 458.92 \text{ kN}$$

K_p = kekakuan gabungan sebagai gaya horisontal yang diperlukan untuk menimbulkan satu satuan lendutan pada bagian atas pilar (kN/m)

$$= \frac{3 E I}{L}$$

$$= \frac{3 \cdot 25000 \cdot 0.01875}{4}$$

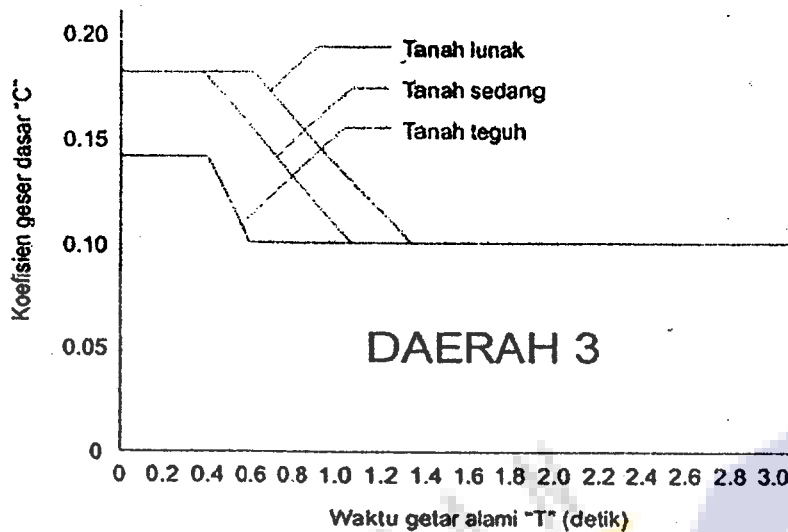
$$= 351562.5 \text{ kN/m}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W_{TP}}{g K_p}}$$

$$= 2\pi \sqrt{\frac{458.92}{9.8 \cdot 351562.5}}$$

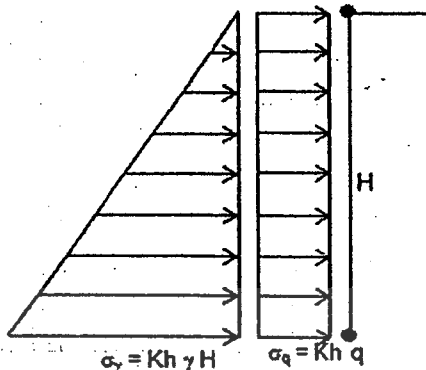
$$= 0.07 \text{ detik}$$

Zona Gempa = 3
 Jenis Tanah = Teguh



$C = 0.14$ (Koefisien geser dasar)
 $S =$ Faktor tipe bangunan yang berkaitan dengan kapasitas penyerapan energi (kekenyalan) dari jembatan
 Tipe = A (Bangunan atas bersatu dengan bangunan bawah)
 $S = 1.0 F$ (Jembatan dengan daerah sendi beton bertulang atau baja)
 $F = 1.25 - 0.025 n$; $F \geq 1.00$
 $n = 4$ (jumlah sendi plastis yang menahan deformasi arah lateral)
 $F = 1.25 - 0.025 n$; $F \geq 1.00$
 $= 1.25 - 0.025 \cdot 4$
 $= 1.15$
 $S = 1.0 F$
 $= 1.15$
 $Kh = C S$
 $= 0.14 \cdot 1.15$
 $= 0.16$
 $I =$ Faktor Kepentingan
 $= 1$ (Seluruh jembatan permanen dimana rute alternatif tersedia, tidak termasuk jembatan yang direncanakan untuk pembebanan lalu lintas yang dikurangi)
 $W_T =$ Berat total nominal bangunan yang mempengaruhi percepatan gempa, diambil sebagai beban mati ditambah beban mati tambahan
 $=$ Berat balok + Berat diafragma + Berat aspal
 $= 253 \text{ kN} + 32.4 \text{ kN} + 87.1 \text{ kN}$
 $= 373 \text{ kN}$
 $T_{EQ} = Kh I W_T$
 $= 0.16 \cdot 1.00 \cdot 373$
 $= 60 \text{ kN}$

- Tekanan tanah lateral akibat gempa



$$\begin{aligned}
 K_h &= C S \\
 &= 0.14 \quad 1 \\
 &= 0.14 \\
 (S \text{ untuk perencanaan gempa diambil } 1.00) \\
 I &= 1 \\
 \gamma H &= 18 \quad 4 \\
 &= 72 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{\text{tot}} &= (K_h I \gamma H + K_h q) \times \text{Jarak antar balok} \\
 &= (0.14 \quad 1 \quad 72 + 0.14 \quad 11.2) \times 1.8 \\
 &= 21 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

9. Rekapitulasi Beban dan Faktor Beban (LF)

| Jenis Beban | LF | | Intensitas | Unit |
|---------------------------|-------|------------|-------------|------|
| | Biasa | Terkurangi | | |
| 1. Berat Sendiri | | | | |
| - Balok | 1.3 | 0.75 | 11.50 kN/m' | |
| - Abutment | 1.3 | 0.75 | 86.4 kN | |
| - Diafragma | 1.3 | 0.75 | 6.48 kN | |
| 2. Superimposed | 2 | 0.7 | 12.6 kN/m' | |
| 3. Susut (ϵ) | 1 | - | 0.00E+00 | |
| 4. Rangkak (ϵ) | 1 | - | 2.90E-03 | |
| 5. Tekanan Tanah | | | | |
| (At Rest-At Rest) | | | | |
| - Loose sand | 1.25 | 0.8 | 5.6 kN/m' | |
| | | | 74.88 kN/m' | |
| - Medium sand | 1.25 | 0.8 | 4.78 kN/m' | |
| | | | 63.86 kN/m' | |
| - Dense sand | 1.25 | 0.8 | 4 kN/m' | |
| | | | 53.50 kN/m' | |
| - Dense gravel | 1.25 | 0.8 | 3.28 kN/m' | |
| | | | 43.86 kN/m' | |
| (Aktif-Aktif) | | | | |
| - Loose sand | 1.25 | 0.8 | 3.73 kN/m' | |
| | | | 49.92 kN/m' | |
| - Medium sand | 1.25 | 0.8 | 3.04 kN/m' | |
| | | | 40.58 kN/m' | |
| - Dense sand | 1.25 | 0.8 | 2.44 kN/m' | |
| | | | 32.56 kN/m' | |
| - Dense gravel | 1.25 | 0.8 | 1.92 kN/m' | |
| | | | 25.69 kN/m' | |

| | | | | |
|------------------------|----------|----------|-------|--------------|
| (At Rest-Aktif) | | | | |
| - Loose sand | 1.25 | 0.8 | 5.6 | 3.73 kN/m' |
| | | | 74.88 | 49.92 kN/m' |
| - Medium sand | 1.25 | 0.8 | 4.78 | 3.04 kN/m' |
| | | | 63.86 | 40.58 kN/m' |
| - Dense sand | 1.25 | 0.8 | 4 | 2.44 kN/m' |
| | | | 53.50 | 32.56 kN/m' |
| - Dense gravel | 1.25 | 0.8 | 3.28 | 1.92 kN/m' |
| | | | 43.86 | 25.69 kN/m' |
| (Gempa) | 1.25 | 0.8 | | 1.57 kN/m' |
| | | | | 20.97 kN/m' |
| 6. Beban Hidup | | | | |
| - UDL | 1.8 | - | | 16.2 kN/m' |
| - KEL | | | | |
| (KEL ditengah) | 1.8 | - | | 123 kN |
| (KEL ditepi) | 1.8 | - | | 123 kN |
| 7. Rem | | | | |
| - Momen | 1.8 | - | | 58.91 kN-m |
| - Aksial | 1.8 | - | | 32.73 kN |
| 8. Gempa | 1 | - | | 60 kN |

10. Kombinasi Beban

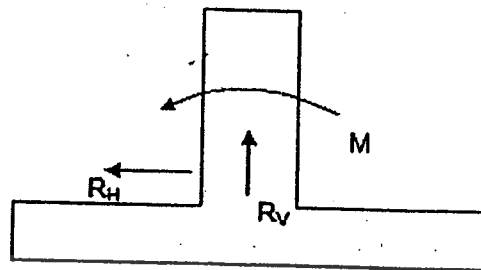
| Jenis Beban | Kombinasi 1 | Kombinasi 2 |
|---------------------------|-------------|-------------|
| 1. Berat Sendiri | x | x |
| 2. Superimposed | x | x |
| 3. Susut (ϵ) | x | x |
| 4. Rangkak (ϵ) | x | x |
| 5. Tekanan Tanah | x | x |
| 6. Beban Hidup | x | |
| 7. Rem | x | |
| 8. Gempa | | x |

Beban dengan "x" dimasukkan dengan faktor beban ultimate

Beban dengan "o" dimasukkan dengan faktor beban daya layan

IV. DESAIN TELAPAK PONDASI

A. Analisa Pembebanan



| Jenis Beban | R_V (kN) | R_H (kN) | M (kN-m) |
|-------------------------------------|------------|------------|------------|
| 1. Berat Sendiri | | | |
| - Balok | 124.2 | -37.772 | -39.6728 |
| - Abutment | 86.4 | -1.009 | -0.6169 |
| - Diafragma | 16.2 | -3.934 | -4.1111 |
| 2. Superimposed | 138.6 | -41.483 | -43.56 |
| 3. Susut (ϵ) | | | |
| 4. Rangkak (ϵ) | 0 | 958.034 | 2362.2015 |
| 5. Tekanan Tanah (At Rest-Aktif) | | | |
| - Loose sand | -0.827 | -127.271 | -95.3385 |
| (Gempa) | 0 | 33.756 | 22.2394 |
| 6. Beban Hidup | | | |
| - UDL | 178.2 | -53.336 | -56.0057 |
| - KEL | | | |
| (KEL ditengah) | 61.5 | -26.237 | -27.72 |
| (KEL ditepi) | 123.122 | -0.718 | 1.7837 |
| 7. Rem | | | |
| - Momen | 1.82 | -8.673 | 19.9094 |
| - Aksial | 2.468 | 16.596 | 38.8819 |
| 8. Gempa | 4.524 | 30.424 | 71.2775 |

10. Kombinasi Beban

- Kombinasi 1

| Jenis Beban | LF | R_v ult | R_H ult | M ult |
|---------------------------|------|-----------|------------|------------|
| 1. Berat Sendiri | 1.3 | 294.84 | -55.5295 | -57.72104 |
| 2. Superimposed | 2 | 277.2 | -82.966 | -87.12 |
| 3. Susut (ϵ) | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 4. Rangkak (ϵ) | 1 | 0 | 958.034 | 2362.2015 |
| 5. Tekanan Tanah | | | | |
| - Loose sand | 1.25 | -1.03375 | -159.08875 | -119.17313 |
| - Medium sand | 1.25 | 0 | 0 | 0 |
| - Dense sand | 1.25 | 0 | 0 | 0 |
| - Dense gravel | 1.25 | 0 | 0 | 0 |
| 6. Beban Hidup | 1.8 | 542.3796 | -97.2972 | -150.70626 |
| 7. Rem | 1.8 | 7.7184 | 14.2614 | 105.82434 |

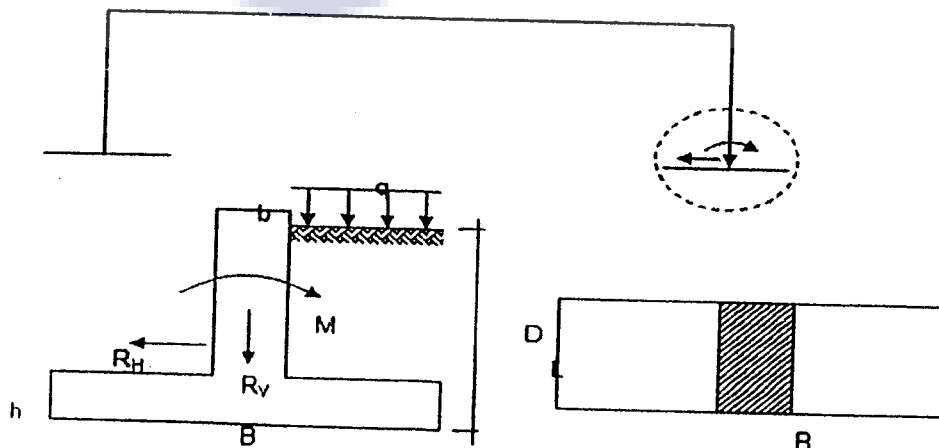
Kombinasi 1 menurut jenis tanah:

| Jenis Tanah | R_v | R_H | M |
|-------------|------------|-----------|------------|
| Loose sand | 1121.10425 | 577.41395 | 2053.30542 |

- Kombinasi 2

| Jenis Beban | LF | R_v ult | R_H ult | M ult |
|---------------------------|------|-----------|-----------|------------|
| 1. Berat Sendiri | 1.3 | 294.84 | -55.5295 | -57.72104 |
| 2. Superimposed | 2 | 277.2 | -82.966 | -87.12 |
| 3. Susut (ϵ) | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 4. Rangkak (ϵ) | 1 | 0 | 958.034 | 2362.2015 |
| 5. Tekanan Tanah | | | | |
| - Gempa | 1.25 | 0 | 42.195 | 27.79925 |
| 6. Beban Hidup | 1 | | | |
| 7. Gempa | 1 | 4.524 | 30.424 | 71.2775 |
| Kombinasi 2 | | 576.564 | 892.1575 | 2316.43721 |

B. Telapak Pondasi



-Loose sand

$$\begin{aligned} L &= 1.8 \text{ m} \\ D &= 4 \text{ m} \\ B &= 4.4 \text{ m} \\ SF &= 3 \\ q &= 11.2 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Pembebanan:

$$\begin{aligned} R_v &= 1121.10425 \text{ kN} \\ R_h &= 892.1575 \text{ kN} \\ M &= 2316.43721 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

Daya dukung tanah nominal:

$$\begin{aligned} q_{nom} &= 0.5 \gamma B N_\gamma + C N_c + (\gamma D + q) N_q \\ &= (0.5 \cdot 18 \cdot 4.4 \cdot 18.1) + (0 \cdot 30) \\ &\quad + ((18 \cdot 4 + 11.2) \cdot 18.4) \\ &= 2247.64 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Daya dukung ijin tanah:

$$\begin{aligned} q_{ijin} &= q_{nom} / SF \\ &= 2247.64 / 3 \\ &= 749.21 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Tegangan tanah di bawah pondasi:

(Belum termasuk berat tapak pondasi dan momen akibat gaya horisontal)

$$\begin{aligned} A &= B \times L \\ &= 4.4 \times 1.8 \\ &= 7.92 \text{ m}^2 \\ W &= 1/6 \times L \times B^2 \\ &= 1/6 \times 1.8 \times 4.4^2 \\ &= 5.81 \text{ m}^3 \\ q_{tot} &= (R_v / A) + (M / W) \\ &= 1121.10 / 7.92 \\ &\quad + 2316.44 / 5.81 \\ &= 540.389175 \text{ kN/m}^2 \\ q_{tot} &< q_{ijin} \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

Ketebalan tapak pondasi:

$$\begin{aligned} h_{min} &= \frac{B - b}{4} + 0.05 \text{ m} \\ &= \frac{4.4 - 0.5}{4} \\ &\quad + 0.05 \text{ m} \\ &= 1.03 \text{ m} \\ \text{Pakai } h &= 1.10 \text{ m} \end{aligned}$$

Cek tegangan tanah di bawah pondasi:

(Termasuk berat tapak pondasi dan momen akibat gaya horisontal)

Berat tapak pondasi:

$$\begin{aligned} W_{TP} &= \gamma_{\text{beton}} \times A \times h \\ &= 24 \times 7.92 \times 1.10 \\ &= 209.088 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_{\text{tot}} &= ((R_v + W_{\text{tapak pondasi}}) / A) + (R_h \times h / W) + (M / W) \\ &= (1121.10 + 209.088) / 7.92 \\ &\quad + 892.16 \times 1.10 / 5.808 \\ &\quad + 2316.44 / 5.808 \\ &= 735.758398 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$q_{\text{tot}} < q_{\text{ijin}} \rightarrow \text{OK}$$



C. Rekapitulasi

| Jenis tanah | B | h |
|-------------|-----|-----|
| | m | m |
| Loose sand | 4.4 | 1.1 |

V. FEMODELAN MENGGUNAKAN SPRINGS

- Loose sand

Kekakuan springs:

$$\begin{aligned} K_z &= 1.5 \times E_{\text{tanah}} \times A_{\text{pondasi}}^{0.5} \\ &= 1.5 \times 40 \times 7.92^{0.5} \\ &= 169 \text{ MN/m} \end{aligned}$$

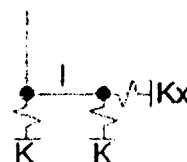
$$\begin{aligned} K_x &= E_{\text{tanah}} \times A_{\text{pondasi}}^{0.5} \\ &= 40 \times 7.92^{0.5} \\ &= 113 \text{ MN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_m &= 1.5 \times E_{\text{tanah}} \times W_{\text{pondasi}} \\ &= 1.5 \times 40 \times 5.81 \\ &= 348 \text{ MNm} \end{aligned}$$

Kekakuan vertikal (K_z) dan kekakuan putar (K_m) diwakili oleh dua springs dengan kekakuan K dengan jarak l.

$$\begin{aligned} K &= 0.5 \times K_z \\ &= 0.5 \times 168.854967 \\ &= 84.4 \text{ MN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} l &= 0.82 \times \text{Jarak antar balok}^{0.25} \times B^{0.75} \\ &= 0.82 \times 1.8^{0.25} \times 4.4^{0.75} \\ &= 2.89 \text{ m} \end{aligned}$$



VI. HASIL ANALISA DENGAN SPRINGS

- Rekapitulasi

Loose sand

| Jenis Beban | V l.slab kN | M l.slab kN-m | R _v pilar kN | V pilar kN | M pilar kN-m |
|------------------|----------------|------------------|----------------------------|---------------|-----------------|
| 1. Berat Sendiri | | | | | |
| - Balok | | | -124.2 | 46.516 | -34.6083 |
| - Abutment | | | -86.4 | 13.918 | -2.48 |
| - Diafragma | | | -16.2 | 5.344 | -3.6354 |
| 2. Superimposed | 258.291 | -89.4602 | -138.6 | 51.422 | -38.0539 |
| 3. Susut (ε) | | | | | |
| 4. Rangkak (ε) | -3161.37 | 1072.2525 | 0 | -558.359 | 439.979 |
| 5. Tekanan Tanah | | | | | |
| (At Rest-Aktif) | -135.094 | -56.9483 | 1.283 | 56.498 | -29.9295 |
| (Gempa) | 28.674 | -14.4813 | 0 | 18.99 | -8.7465 |
| 6. Beban Hidup | | | | | |
| - UDL | 332.089 | -115.0202 | -178.2 | 66.114 | -48.9265 |
| - KEL | | | | | |
| (KEL ditengah) | 179.749 | -59.7589 | -61.5 | 28.529 | -23.809 |
| (KEL ditepi) | 69.752 | -22.739 | -1.528 | 9.907 | 8.7887 |
| 7. Rem | | | | | |
| - Momen | 37.152 | 30.4269 | 1.926 | 6.203 | -28.4831 |
| - Aksial | 98.212 | 32.9893 | 3.031 | -16.5 | 13.347 |
| 8. Gempa | 180.04 | 60.4754 | 5.556 | -30.247 | 24.4674 |

VII. DISAIN PENULANGAN ABUTMENT

A. Data perencanaan:

| | | | |
|-------------|---|--------|-----|
| f_c beton | = | 25 | MPa |
| f_y | = | 320 | MPa |
| f_s | = | 240 | MPa |
| Cover | = | 40 | mm |
| Panjang | = | 1.8 | m |
| Lebar | = | 0.5 | m |
| E_c | = | 25000 | MPa |
| E_s | = | 200000 | MPa |
| Ø tulangan | = | 25 | mm |
| Ø sengkang | = | 12 | mm |

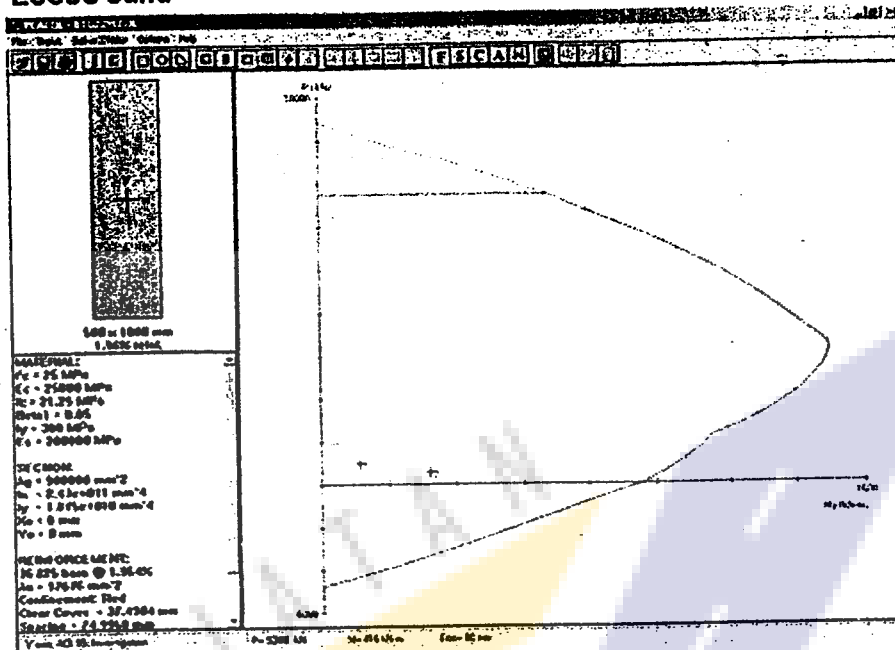
B. Pembebanan

Loose sand

| Jenis Beban | LF | | Kombinasi 1 | | Kombinasi 2 | |
|---------------------------|------|------|-----------------|-------------------|-----------------|----------------|
| | | | R_v | M | R_v | M |
| 1. Berat Sendiri | 1.3 | 0.75 | -294.84 | -52.94081 | -294.84 | -52.9408 |
| 2. Superimposed | 2 | 0.7 | -277.2 | -76.1078 | -277.2 | -76.1078 |
| 3. Susut (ϵ) | 1 | - | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4. Rangkak (ϵ) | 1 | - | 0 | 439.9785 | 0 | 439.979 |
| 5. Tekanan Tanah | 1.25 | 0.8 | 1.0264 | -37.411875 | | |
| (Gempa) | 1.25 | 0.8 | | | 0 | -10.9331 |
| 6. Beban Hidup | 1.8 | - | -431.46 | -130.9239 | | |
| 7. Rem | 1.8 | - | 8.9226 | -27.24498 | | |
| 8. Gempa | 1 | - | | | 5.556 | 24.4674 |
| Total | | | -993.551 | 115.349135 | -566.484 | 324.464 |

C. Hasil analisa

Loose sand



Untuk perencanaan digunakan:

$$D = 25 - 100$$

$$A_s = 17663 \text{ mm}^2$$

$$\rho = 1.963\%$$

D. Desain tulangan geser

Loose sand

| Jenis Beban | LF | Komb 1 | | Komb 2 | |
|------------------|------|--------|-----------|-----------|--|
| | | V | | V | |
| 1. Berat Sendiri | 1.3 | 0.75 | 85.5114 | 85.5114 | |
| 2. Superimposed | 2 | 0.7 | 102.844 | 102.844 | |
| 3. Susut (ε) | 1 | - | 0 | 0 | |
| 4. Rangkak (ε) | 1 | - | -558.359 | -558.359 | |
| 5. Tekanan Tanah | 1.25 | 0.8 | 70.6225 | | |
| (Gempa) | 1.25 | 0.8 | | 23.7375 | |
| 6. Beban Hidup | 1.8 | - | 170.3574 | | |
| 7. Rem | 1.8 | - | -18.5346 | | |
| 8. Gempa | 1 | - | | -30.247 | |
| Total | | | -147.5583 | -376.5131 | |

Rekapitulasi

| Jenis Tanah | Komb 1 | Komb 2 |
|-------------|--------|--------|
| | V | V |
| Loose sand | 147.6 | 376.5 |

$$\emptyset \text{ sengkang} = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah penampang geser} = 4$$

$$A_g = \text{Tebal pilar} \times \text{Jarak antar balok}$$

$$= 0.5 \times 1.8$$

$$= 0.90 \text{ m}^2$$

$$A_s = \text{Jumlah penampang geser} \times (0.25 \times 3.14 \times \emptyset \text{ sengkang}^2)$$

$$= 4 \times (0.25 \times 3.14 \times 12^2)$$

$$= 452.16 \text{ mm}^2$$

$$A_{ch} = (\text{Tebal pilar} - 2\text{Cover}) \times \text{Jarak antar balok}$$

$$= 0.42 \times 1.8$$

$$= 0.756 \text{ m}^2 \text{ (Luas dari sisi luar ke sisi luar tulangan sengkang)}$$

$$d = \text{Tebal pilar} - \text{Cover} - \emptyset \text{ sengkang} - 1/2 \emptyset \text{ tulangan}$$

$$= 500 - 40 - 12 - 12.5$$

$$= 435.5 \text{ mm}$$

$$h_c = \text{Tebal pilar} - \text{Cover} - \emptyset \text{ sengkang}$$

$$= 500 - 40 - 12$$

$$= 448.0 \text{ mm} \text{ (Tebal dari sumbu ke sumbu tulangan sengkang)}$$

Ujung-ujung kolom abutment sepanjang l_o harus dikekang dengan spasi

sejarak s oleh tulangan transversal A_{sh}

$$l_o \geq h = 500 \text{ mm} \text{ (tebal penampang komponen HBK)}$$

$$\geq 1/6 l_n = 1/6 \times 2900 \text{ (1/6 bentang bersih)}$$

$$= 483 \text{ mm}$$

$$\geq 500 \text{ mm}$$

$$\text{Pakai } l_o = 500 \text{ mm}$$

$$s \leq 1/4 h = 1/4 \times 500$$

$$= 125 \text{ mm}$$

$$\leq 6 \times \emptyset \text{ tul} = 6 \times 25$$

$$= 150 \text{ mm}$$

$$\leq 150 \text{ mm}$$

$$s_{max} = d / 2 \text{ (} s_{min} < 600 \text{ mm)}$$

$$= 435.5 / 2$$

$$= 218 \text{ mm}$$

$$\text{Pakai } s = 100 \text{ mm}$$

A_{sh} diambil yang terbesar dari:

$$\begin{aligned} A_{sh} &= 0.3 (s \times hc \times f_c / f_s) \times (A_g / A_{ch} - 1) \\ &= 0.3 (100 \times 448 \times 25 / 240) \\ &\quad \times (0.90 / 0.76 - 1) \\ &= 266.67 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{sh} &= 0.09 (s \times hc \times f_c / f_s) \\ &= 0.09 (100 \times 448 \times 25 / 240) \\ &= 420.00 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Pakai $A_{sh} = 420.00 \text{ mm}^2$

$A_s = 452.16 \text{ mm}^2$

$A_s > A_{sh} \rightarrow \text{OK}$

$$\begin{aligned} V_s &= A_s \times f_s \times d / s \\ &= 452 \times 240 \times 435.5 / 100 \\ &= 472.60 \text{ kN} \end{aligned}$$

Struktur memikul geser, lentur dan aksial:

$$V_c = \left(\sqrt{f_c} + 120 \rho_w \frac{V_u d}{M_m} \right) \frac{b_w d}{7}$$

dimana:

$$\begin{aligned} M_m &= M_u - (N_u \frac{(4h - d)}{8}) \\ &= 324.46 - \left(993.55 \frac{4 \times 0.5 - 0.4355}{8} \right) \\ &= 130.16 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_w &= A_s / (b_w d) \\ &= 17663 / (1800 \times 435.5) \\ &= 2.253\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \left(\sqrt{25} + 120 \times 2.253\% \frac{376.51 \times 0.436}{130.16} \right) \\ &= \frac{1800 \times 435.5}{7} \\ &= 941.36 \text{ kN} \end{aligned}$$

V_c tidak boleh lebih besar dari:

$$V_c = 0.3 \sqrt{f_c} b_w d \sqrt{1 + \frac{0.3 N_u}{A_g}} \quad * N_u / A_g \text{ dalam MPa}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0.3 \sqrt{25} \times 1800 \times 435.5 \sqrt{1 + \frac{0.3 \times 993551}{0.90}} \\ &= 676885.755 \text{ kN} \end{aligned}$$

Pakai $V_c = 941.36 \text{ kN}$

$$\phi(V_c + V_s) = 0.75 \times (941.36 + 472.60) = 1060.47 \text{ kN}$$

$V_u = 376.51 \text{ kN}$

$V_u < \phi(V_c + V_s) \rightarrow \text{OK}$

Desain untuk Medium sand, Dense sand, dan Dense gravel ditabelkan sebagai berikut:

| Jenis tanah | Io | s | Mm | Vc | Vs | $\phi(Vc+Vs)$ | Vu | Ket |
|-------------|-----|-----|------|------------|-----|---------------|-----|-----|
| | mm | mm | kN-m | kN | kN | kN | kN | |
| Loose sand | 500 | 100 | 130 | 941.360102 | 473 | 1060 | 377 | OK |

VIII. CEK MOMEN KAPASITAS LINK SLAB

A. Data Perencanaan

| | | | |
|--------------|---|--------|-----|
| Bentang | = | 22 | m |
| f'_c beton | = | 25 | MPa |
| f_y | = | 320 | MPa |
| f_s | = | 240 | MPa |
| E_c | = | 25000 | MPa |
| E_s | = | 200000 | MPa |
| Ø tulangan | = | 28 | mm |
| Ø sengkang | = | 12 | mm |
| b_w | = | 1.80 | m |
| h link slab | = | 0.40 | m |
| Cover | = | 40 | mm |

B. Pembebanan

Loose sand

| Jenis Beban | LF | Komb 1 | | Komb 2 | |
|---------------------------|------|--------|-------------------|-------------------|---|
| | | | M | | M |
| 1. Berat Sendiri | 1.3 | 0.75 | 0 | 0 | |
| 2. Superimposed | 2 | 0.7 | -178.9204 | -178.9204 | |
| 3. Susut (ϵ) | 1 | - | 0 | 0 | |
| 4. Rangkak (ϵ) | 1 | - | 1072.2525 | 1072.2525 | |
| 5. Tekanan Tanah | 1.25 | 0.8 | -71.185375 | | |
| (Gempa) | 1.25 | 0.8 | | -18.101625 | |
| 6. Beban Hidup | 1.8 | - | -314.60238 | | |
| 7. Rem | 1.8 | - | 114.14916 | | |
| 8. Gempa | 1 | - | | 60.4754 | |
| Total | | | 621.693505 | 935.705875 | |

Rekapitulasi

| Jenis Tanah | Komb 1 | | Komb 2 | |
|-------------|--------|-------|--------|-------|
| | | M | | M |
| Loose sand | | 621.7 | | 935.7 |

B. Cek Tulangan Lentur

Direncanakan tulangan lentur 22 Ø 28 - 80

$$A_s = 22 (0.25 \times 3.14 \times 28^2)$$

$$= 13539.68 \text{ mm}^2$$

$$\rho = A_s / A_g$$

$$= 13539.68 / (1800 \times 400)$$

$$= 1.88\%$$

$$d = \text{Tebal pelat} - \text{Cover} - \text{Øsengkang} - 0.5\text{Øtulangan}$$

$$= 400 - 40 - 12 - 14$$

$$= 334 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0.85 - 8 \frac{(f'_c - 30)}{1000}$$

$$= 0.85 - 8 \frac{(25 - 30)}{1000}$$

$$= 0.85$$

$$\rho_b = \frac{0.85 \beta_1 f'_c}{f_y} \frac{600}{(600 + f_y)}$$

$$= \frac{0.85 \cdot 0.85 \cdot 25}{320} \frac{600}{(600 + 320)}$$

$$= 3.88\%$$

$$\rho_{\max} = 0.75 \rho_b$$

$$= 0.75 \cdot 3.88\%$$

$$= 2.76\%$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y}$$

$$= \frac{1.4}{320}$$

$$= 0.44\%$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0.85 f'_c b w}$$

$$= \frac{13540 \times 320}{0.85 \cdot 25 \cdot 1800}$$

$$= 113 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s f_y (d - a/2)$$

$$= 13540 \times 320 \left(334 - \frac{113}{2} \right)$$

$$= 1201.73 \text{ kN-m}$$

$$\phi M_n = 0.80 \times 1201.73$$

$$= 961.39 \text{ kN-m}$$

| Jenis tanah | Mu | ϕM_n | Ket |
|-------------|-------|------------|-----|
| Loose sand | 935.7 | 961.39 | OK |

C. Cek Tulangan Geser Pelat Link Slab

Loose sand

| Jenis Beban | LF | | Komb 1 | Komb 2 |
|------------------|------|------|-------------------|-------------------|
| | | | V | V |
| 1. Berat Sendiri | 1.3 | 0.75 | 0 | 0 |
| 2. Superimposed | 2 | 0.7 | 516.582 | 516.582 |
| 3. Susut (ε) | 1 | - | 0 | 0 |
| 4. Rangkak (ε) | 1 | - | -3161.37 | -3161.37 |
| 5. Tekanan Tanah | 1.25 | 0.8 | -108.0752 | |
| (Gempa) | 1.25 | 0.8 | | 35.8425 |
| 6. Beban Hidup | 1.8 | - | 921.3084 | |
| 7. Rem | 1.8 | - | 243.6552 | |
| 8. Gempa | 1 | - | | 180.04 |
| Total | | | -1587.8996 | -2428.9055 |

Rekapitulasi

| Jenis Tanah | Komb 1 | Komb 2 |
|-------------|--------|--------|
| | V | V |
| Loose sand | 1587.9 | 2428.9 |

Komponen struktur dibebani oleh momen lentur dan geser.

$$\begin{aligned}
 d &= \text{Tebal pelat} - \text{Cover} - \varnothing \text{sengkang} - 0.5 \varnothing \text{tulangan} \\
 &= 400 - 40 - 12 - 14 \\
 &= 334 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b_w d \\
 &= \frac{1}{6} \sqrt{25} \cdot 1800 \cdot 334 \\
 &= 501.00 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$V_o = \left(\sqrt{f'_c} + 120 \rho_w \frac{V_u d}{M_u} \right) \frac{b_w d}{7} \leq 0.3 \sqrt{f'_c} b_w d$$

$$\rho_w = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{13540}{1800 \cdot 334} = 2.252\%$$

$$\frac{V_u d}{M_u} = \frac{2428.9 \times 0.33}{935.7} = 0.87 < 1$$

$$V_c = \left(\sqrt{25} + 120 \cdot 2.252\% \cdot 0.87 \right) \times \frac{1800 \cdot 334}{7}$$

$$= 630.67 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 0.3 \sqrt{f'_c} b_w d &= 0.3 \sqrt{25} \cdot 1800 \cdot 334 \\
 &= 902 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Pakai } V_c &= 631 \text{ kN} \\
 A_s &= 24 \times 0.25 \pi \phi_{\text{senggang}}^2 \\
 &= 24 \times 0.25 \times 3.14 \times 12^2 \\
 &= 2713 \text{ mm}^2 \\
 V_s &= A_s \times f_s \times d / s \\
 &= 2713 \times 240 \times 334 / 80 \\
 &= 2718 \text{ kN} \\
 \phi(V_c + V_s) &= 0.75 \times (631 + 2718) \\
 &= 2512 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

| Jenis tanah | Vu | ϕV_n | Ket |
|-------------|--------|------------|-----|
| Loose sand | 2428.9 | 2511.79 | OK |

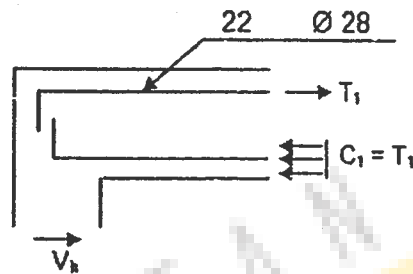
IX. DESAIN HUBUNGAN BALOK KOLOM

A. Data Perencanaan

| | | | |
|-----------------|---|--------|-----|
| Bentang | = | 22 | m |
| f_c beton | = | 25 | MPa |
| f_y | = | 320 | MPa |
| f_s | = | 240 | MPa |
| E_c | = | 25000 | MPa |
| E_s | = | 200000 | MPa |
| ϕ tulangan | = | 28 | mm |
| ϕ senggang | = | 12 | mm |
| b_w | = | 1.80 | m |
| h | = | 0.40 | m |
| Cover | = | 40 | mm |

B. Desain HBK

$$\begin{aligned}
 A_f &= \text{Tebal pilar} \times b_w \quad (\text{luas efektif HBK}) \\
 &= 500 \times 1800 \\
 &= 900000 \text{ mm}^2 \\
 \phi V_c &= 0.75 \times 1.0 A_f \sqrt{f'_c} \\
 &= 0.75 \times 1.0 \times 900000 \times \sqrt{25} \\
 &= 3375.0 \text{ kN}
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 T_1 &= A_{s1} \times 1.25 f_y \quad (22 \text{ } \varnothing 28) \\
 &= 13539.68 \times 1.25 \times 320 \\
 &= 5415.87 \text{ kN} \\
 V_h &= 2428.91 \text{ kN} \\
 V_l &= T_1 - V_h \\
 &= 5415.87 - 2428.91 \\
 &= 2986.97 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\phi V_c > V_l \rightarrow \text{OK}$$

| Jenis tanah | ϕV_c | V_l | Ket |
|-------------|------------|---------|-----|
| Loose sand | 3375.0 | 2986.97 | OK |

Panjang penyaluran tulangan tarik dengan kait standard 90° diambil:

$$\begin{aligned}
 \lambda_{dh} &\geq 8 \times \varnothing \text{tulangan lentur} \\
 &\geq 8 \times 28 \\
 &\geq 224 \text{ mm} \\
 \lambda_{dh} &\geq 150 \text{ mm} \\
 \lambda_{dh} &\geq f_y \varnothing \text{tulangan lentur} / (5.4 \sqrt{f'_c}) \\
 &\geq 320 \times 28 / (5.4 \sqrt{25}) \\
 &\geq 332 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

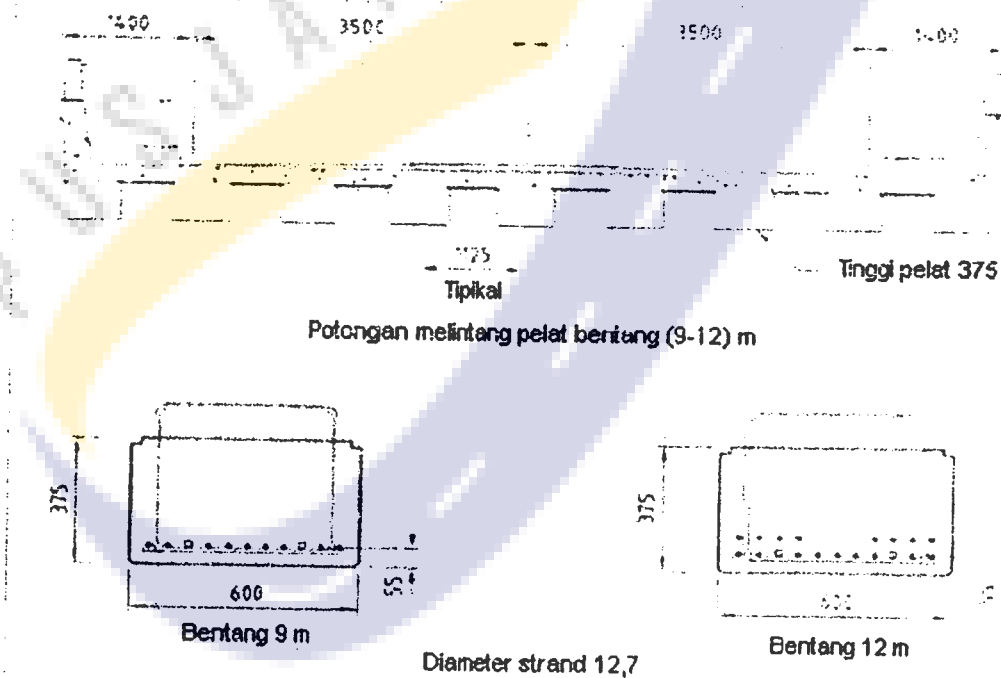
Pakai panjang penyaluran 340 mm

Berdasarkan perhitungan tersebut di atas dapat ditentukan beberapa dimensi balok berongga (PCP) maupun balok I untuk variasi panjang bentang tertentu (Tabel A.1).

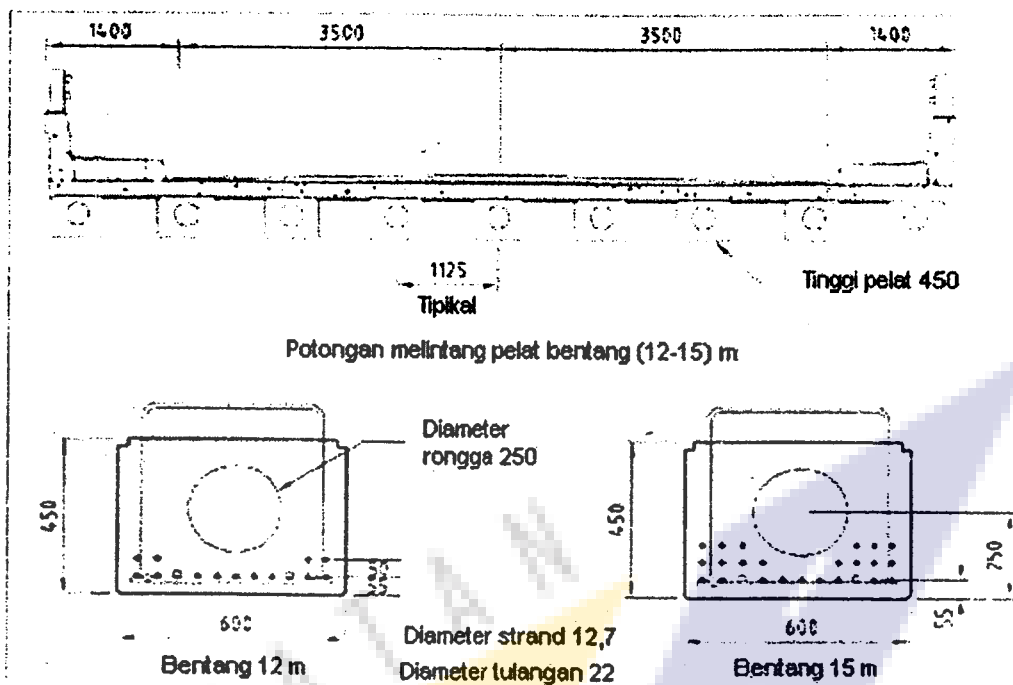
Tabel A.1 - Dimensi balok berongga PCP

| Bentang L (meter) | Tinggi Balok PCP (mm) | Ukuran <i>strand</i> 12.7 ϕ | Diameter Tulangan (mm) | Lendutan izin |
|----------------------|--------------------------|-------------------------------------|---------------------------|-----------------|
| 5 - 9 | 300 | 13 | 2 - ϕ 22 | L/3700 – L/1260 |
| 9 - 12 | 375 | 17 | 2 - ϕ 22 | L/1950 – L/990 |
| 12 - 15 | 450 | 23 | 2 - ϕ 22 | L/1000 – L/780 |
| 15 - 18 | 525 | 25 | 4 - ϕ 22 | L/1180 – L/800 |
| 18 - 20 | 600 | 30 | 4 - ϕ 25 | L/1080 – L/780 |

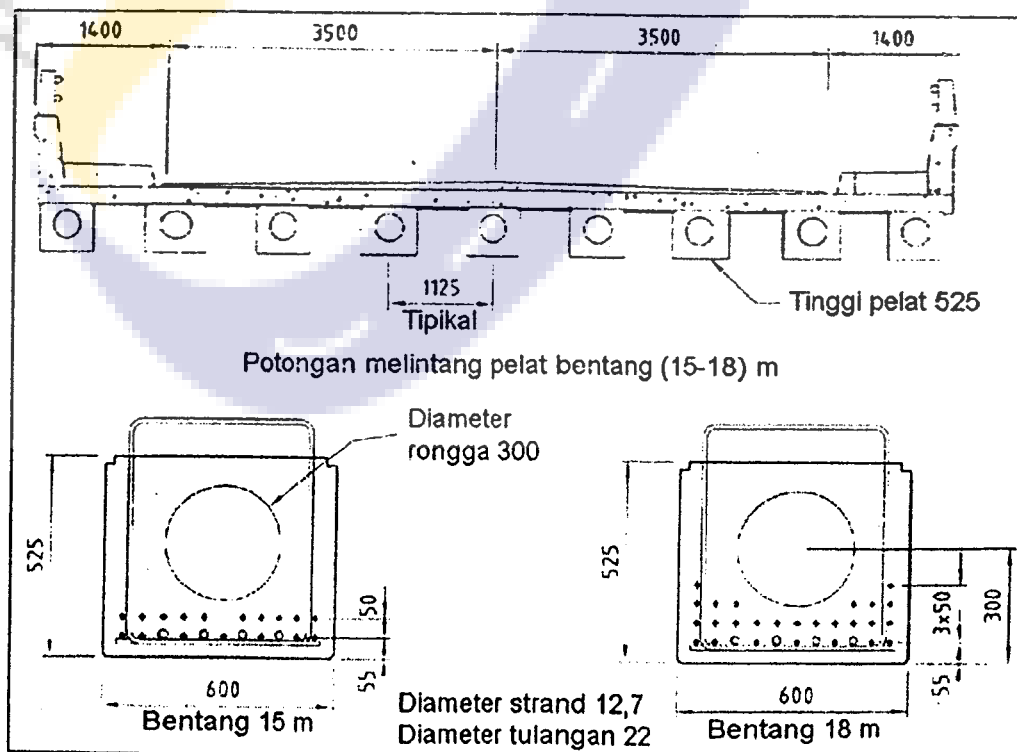
Gambar A.1 sampai dengan Gambar A.4. merupakan detail penampang balok berongga jembatan semiintegral untuk bentang (5 s.d. 20) meter.



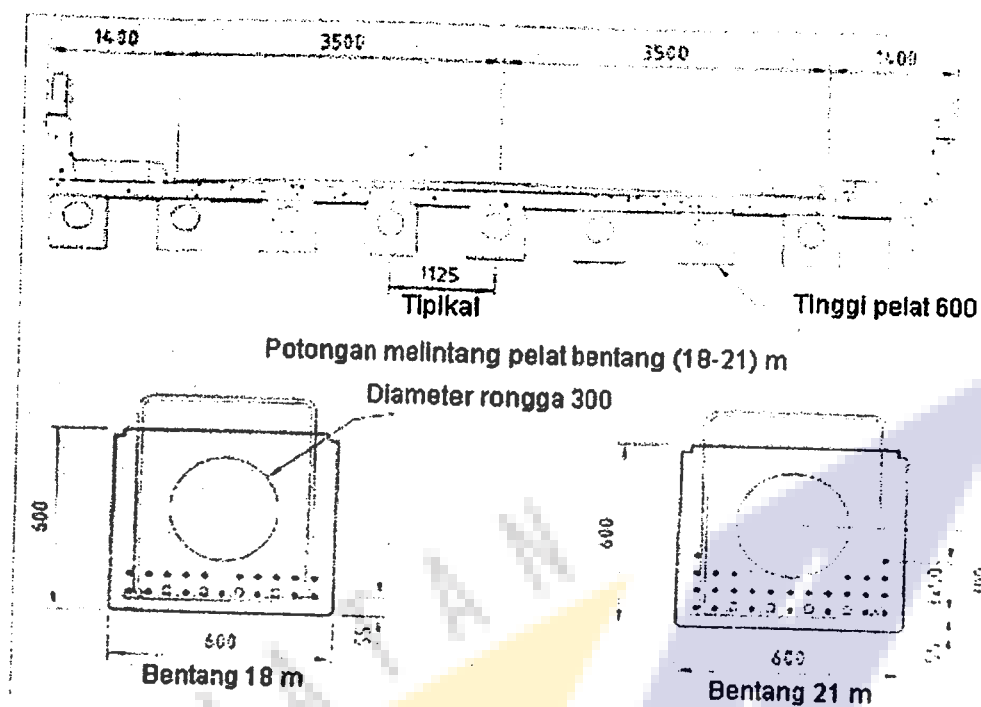
Gambar A.1-Potongan melintang jembatan semiintegral dengan balok PCP bentang (9 s.d. 12) meter



Gambar A.2 - Potongan melintang jembatan semiintegral dengan balok PCP bentang (12 s.d. 15) meter



Gambar A.3 - Potongan melintang jembatan semiintegral dengan balok PCP bentang (15 s.d 18) meter

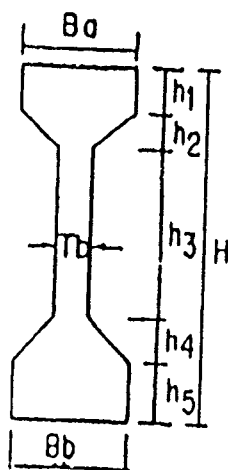


Gambar A.4 - Potongan melintang jembatan semiintegral dengan balok PCP bentang (18 –s.d. 21) meter

Beberapa dimensi balok pracetak prategang untuk tipe I dapat digunakan untuk panjang bentang tertentu (Tabel A.2).

Tabel A.2 - Dimensi balok I prategang

| L (m) | H (mm) | h1 (mm) | h2 (mm) | h3 (mm) | h4 (mm) | h5 (mm) | Ba (mm) | Bb (mm) | Tb (mm) |
|----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 20 | 1350 | 100 | 100 | 750 | 200 | 200 | 550 | 650 | 200 |
| 25 | 1500 | 100 | 100 | 900 | 200 | 200 | 550 | 650 | 200 |
| 28 | 1650 | 150 | 200 | 750 | 250 | 300 | 700 | 700 | 200 |
| 31 | 1800 | 150 | 200 | 900 | 250 | 300 | 700 | 700 | 200 |
| 34 | 2000 | 150 | 200 | 1100 | 250 | 300 | 700 | 700 | 200 |
| 37 | 2150 | 200 | 200 | 1200 | 250 | 300 | 800 | 700 | 250 |
| 40 | 2350 | 200 | 200 | 1400 | 250 | 300 | 800 | 700 | 250 |



Bibliografi

1. Arsoy, S.; Barker, R. M.; and Duncan, J. M. (1999). *"The behavior of integral abutment bridges"*, Virginia Transportation Research Council, Report No. VTRC 00-CR3, November 1999, 33p ;
2. BA 42/96 Amendment No. 1 Volume 1 Highway Structures Approval Procedures and General Design Section 3 General Design Part 12, *"The Design of Integral Bridges"* ;
3. Braja M. Das (1990). *"Principles of Foundation Engineering"*, Second Edition, Southern Illinois University at Carbondale, PWS – KENT Publishing Company;
4. Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum (2007), *"Perencanaan Teknik Tipikal Konstruksi Lantai Menerus pada Sistem Jembatan Balok di Atas Dua Tumpuan dan integral Bridge"*, (Paket B-7)
5. John Connal (2004) (M.Eng Sci., B.E. (civil) (Hons), Dip. C.E., F.I.E.Aust, M. ASCE, M. IABSE) Maunsell Australia Pty Ltd, *"Integral Abutment Bridges"* – Australian and US Practice;
6. Loveall, C. (1996). *Integral abutment bridges*, Workshop on Integral abutment bridges, November 13-15, 1996, Pittsburgh, PA, pp. 8 ;

Daftar nama dan lembaga

1) Pemrakarsa

Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan, Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

2) Penyusun

| Nama | Lembaga |
|--------------------------|----------------------------------|
| N. Retno Setiati, ST, MT | Pusat Litbang Jalan dan Jembatan |
| Novi Ari Nugroho, ST | Puslitbang Jalan dan Jembatan |

Ditetapkan di Jakarta
pada tanggal 23 April 2015.

MENTERI PEKERJAAN UMUM
DAN PERUMAHAN RAKYAT,



M. BASUKI HADIMULJONO