

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gambaran Umum

Secara umum, struktur melibatkan dua bagian utama, yaitu struktur atas dan struktur bawah. Struktur bagian atas yaitu komponen-komponen di atas permukaan tanah, sementara struktur bagian bawah mencakup elemen-elemen di bawah permukaan tanah. Kedua komponen ini bekerja bersama untuk mendukung beban dan memastikan kestabilan jembatan secara keseluruhan.

2.2 Struktur Bawah Jembatan

Bagian bawah struktur jembatan, yaitu:

1. **Abutment**

Abutment jembatan adalah struktur yang terletak di ujung bentang jembatan dan berfungsi untuk mendukung bagian akhir dari jembatan, termasuk memindahkan beban yang diterima dari jembatan ke tanah atau pondasi. Abutmen juga berperan dalam menjaga kestabilan jembatan, serta mencegah pergeseran atau pergerakan yang dapat terjadi akibat beban dan gaya yang bekerja. Selain itu, abutmen juga berfungsi sebagai tempat penopang awal atau akhir dari jalur kendaraan yang melintas di atas jembatan.

2. **Plat Injak**

Plat injak adalah elemen struktural pada jembatan yang terletak di atas abutmen atau pilar dan berfungsi sebagai permukaan tempat kendaraan atau pejalan kaki melintas. Plat ini mendistribusikan beban dari kendaraan atau pengguna jembatan ke elemen struktur lainnya, seperti balok atau pilar. Plat injak juga membantu menstabilkan jembatan dengan menjaga distribusi beban secara merata, serta memberikan kenyamanan dan keamanan bagi pengguna jembatan.

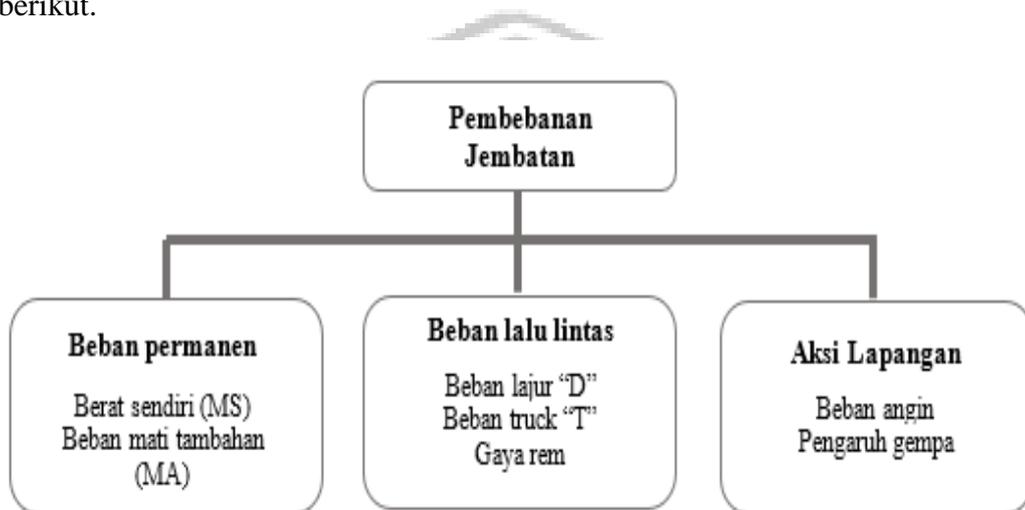
3. **Pondasi**

Pondasi jembatan adalah elemen struktural yang berfungsi untuk meneruskan beban dari struktur atas dan bawah, ke lapisan tanah yang lebih dalam dan stabil. Pondasi jembatan memastikan kestabilan dan kekuatan

jembatan agar tidak bergeser atau ambruk. Jenis pondasi yang digunakan tergantung pada kondisi tanah dan beban yang diterima.

2.3 Sistem Pembebanan

Analisis pembebanan mengacu pada SNI 1725:2016 tentang pembebanan jembatan. Jenis-jenis pembebanan yang digunakan dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2. 1 Jenis Pembebanan

Beban Permanen

Berat Sendiri (MS)

Berat sendiri merujuk pada beban yang ditanggung oleh bagian-bagian struktural dan elemen lainnya. Adapun faktor beban berat sendiri yaitu:

Tabel 2. 1 Berat Sendiri (MS)

Tipe beban	Faktor beban (Y_{MS})			
	Keadaan Batas Layan (Y_{MS}^S)		Keadaan Batas Ultimit (Y_{MS}^U)	
	Bahan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja	1,00	1,10	0,90
	Aluminium	1,00	1,10	0,90
	Beton Pracetak	1,00	1,20	0,85
	Beton dicor di tempat	1,00	1,30	0,75
	Kayu	1,00	1,40	0,70

Sumber SNI 1725:2016

Beban Mati Tambahan (MA)

Beban mati tambahan merupakan berat dari material yang membentuk beban pada jembatan, yang termasuk elemen non-struktural. Meskipun demikian, besaran beban ini dapat berubah seiring dengan berjalannya waktu selama umur jembatan.

Tabel 2. 2 Faktor Beban untuk Beban Mati Tambahan

	Faktor beban (Y_{MA})			
	Keadaan Batas Layan (Y_{MA}^S)		Keadaan Batas Ultimit (Y_{MA}^U)	
	Keadaan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Umum	1,00 ⁽¹⁾	2,00	0,70
	Khusus (terawasi)	1,00	1,40	0,80

Catatan⁽¹⁾ : Faktor beban layan sebesar 1,3 digunakan untuk berat utilitas

Sumber SNI 1725:2016

Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas adalah beban yang dihasilkan oleh kendaraan yang melintas di atas jembatan, yang mencakup berat kendaraan, serta gaya dinamis yang timbul akibat gerakan kendaraan tersebut. Beban ini termasuk kendaraan ringan hingga berat, serta faktor-faktor seperti kecepatan, akselerasi, dan pengereman. Beban lalu lintas harus diperhitungkan dalam perencanaan jembatan untuk

memastikan bahwa struktur jembatan dapat menahan beban tersebut dengan aman dan tidak mengalami kerusakan.

Tabel 2. 3 Faktor Beban untuk Beban Lajur "D"

Tipe	Jembatan	Faktor beban (Y_{TD})	
		Keadaan Batas Layan (Y_{TD}^S)	Keadaan Batas Ultimit (Y_{TD}^U)
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00

Sumber: SNI 1725 tahun 2016

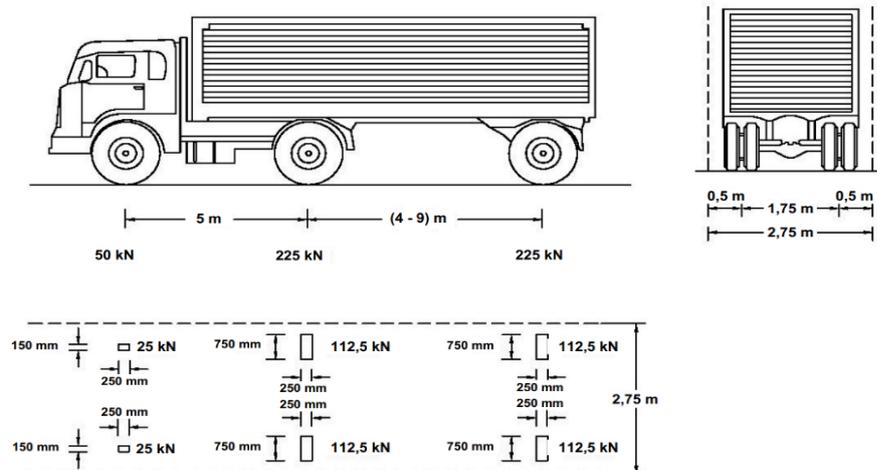
Beban Truck "T"

Beban truk adalah beban yang dihasilkan oleh kendaraan truk yang melintas di atas jembatan, termasuk berat total kendaraan, muatan yang dibawanya, serta gaya dinamis yang timbul akibat pergerakan truk, seperti getaran dan akselerasi. Beban truk merupakan salah satu faktor penting yang harus diperhitungkan dalam perencanaan dan desain jembatan, terutama untuk jembatan yang dirancang untuk dilalui oleh truk dengan beban berat.

Tabel 2. 4 Faktor beban

Tipe	Jembatan	Faktor beban (Y_{TT})	
		Keadaan Batas Layan (Y_{TT}^S)	Keadaan Batas Ultimit (Y_{TT}^U)
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00

Sumber: SNI 1725 tahun 2016



Gambar 2. 2 Beban truk

Gaya Rem

Untuk perencanaan gaya rem pada jembatan, nilai gaya rem harus diambil yang terbesar dari dua kriteria berikut:

- a. 25% dari berat gandar truk desain, atau
- b. 5% dari berat truk rencana ditambah dengan beban lajur terbagi rata (BTR).

Gaya rem harus dianggap bekerja pada semua lajur yang direncanakan untuk dimuati lalu lintas dengan arah yang sama. Percepatan atau gaya pengereman ditinjau sebagai gaya horizontal yang bekerja searah sumbu panjang jembatan. Gaya ini dianggap memiliki titik tangkap pada ketinggian 1,80 m di atas permukaan lantai jembatan.

Gaya rem perlu dihitung untuk dua arah lalu lintas (dua jurusan). Dengan pendekatan ini, perencanaan jembatan dapat memastikan bahwa struktur mampu menahan gaya horizontal akibat pengereman kendaraan tanpa memengaruhi stabilitas dan keamanan jembatan.

2.4 Tanah

Menurut Hardiyatmo (1996:57), tanah tersusun atas tiga komponen utama, yaitu udara, air, dan bahan padat. Komposisi ini menentukan sifat tanah, terutama dalam kaitannya dengan keadaan jenuh atau kering. Jika semua rongga dalam tanah terisi oleh air, maka tanah berada dalam kondisi jenuh. Sebaliknya, jika rongga

tersebut terisi oleh campuran udara dan air, tanah disebut dalam keadaan jenuh sebagian.

Dari ketiga komponen tersebut, udara tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap sifat teknis tanah, sementara air sangat berperan penting. Kondisi air dalam tanah menentukan stabilitas dan kemampuan tanah dalam menahan beban. Tanah yang berada dalam kondisi jenuh memiliki kapasitas maksimal untuk menahan tekanan air, sedangkan tanah jenuh sebagian lebih rentan terhadap perubahan lingkungan. Tanah kering, meskipun lebih stabil untuk beban statis, cenderung rapuh. Oleh karena itu, pemahaman yang baik mengenai sifat teknis tanah menjadi esensial dalam perencanaan konstruksi untuk memastikan stabilitas, daya dukung, dan keberlanjutan struktur yang dibangun di atasnya.

2.5 Kekuatan Tanah

Pengujian kekuatan tanah dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa aspek penting. Salah satunya adalah ketebalan dan kedalaman lapisan tanah, terutama lapisan yang akan menjadi tumpuan pondasi. Selain itu, tegangan tanah (σ) maksimum yang dapat diterima dan kondisi hidrologis tanah, termasuk kadar air dan pola aliran air tanah, juga menjadi pertimbangan utama.

Selain faktor kekuatan, stabilitas tanah dapat terganggu karena berbagai faktor eksternal. Misalnya, pemadatan dan penurunan tanah dapat terjadi akibat getaran yang ditimbulkan oleh kendaraan atau alat berat. Meskipun penurunan tanah tidak sepenuhnya dapat dicegah, dampaknya dapat diminimalkan dengan merancang pondasi yang tepat. Desain pondasi yang memperhitungkan kondisi tanah secara menyeluruh mampu mengurangi risiko kerusakan akibat penurunan tanah dan meningkatkan stabilitas struktur secara keseluruhan..

2.6 Penyelidikan Tanah

Penyelidikan tanah berfungsi mengetahui jenis dan kondisi tanah sebelum proses perencanaan bangunan dimulai, sehingga risiko penurunan (settlement) yang berlebihan dapat dihindari. Oleh sebab itu, pondasi harus dirancang hingga mencapai lapisan tanah keras di kedalaman tertentu (Gunawan et al, 1983).

2.6.1 Sondir Test

Sondir test (atau uji sondir) adalah salah satu metode pengujian tanah yang digunakan untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik tanah di suatu lokasi, serta untuk mengevaluasi kestabilan tanah sebagai dasar perencanaan pondasi suatu bangunan atau struktur. Proses pengujian dilakukan dengan memasukkan alat sondir, yang terdiri dari tabung logam berujung runcing, ke dalam tanah dengan memberikan tekanan yang terkontrol. Alat ini akan menembus lapisan tanah dan mengukur daya penetrasi tanah pada kedalaman tertentu.

Fungsi utama dari sondir test adalah untuk mendapatkan data mengenai daya dukung tanah, yaitu seberapa kuat tanah dapat menahan beban yang diberikan oleh struktur di atasnya. Pengujian ini memberikan informasi penting mengenai sifat tanah, seperti kekerasan, kepadatan, dan tingkat kekompakan tanah pada berbagai kedalaman. Hal ini memungkinkan insinyur geoteknik untuk mengevaluasi apakah tanah di lokasi tersebut cukup kuat untuk menopang beban struktur, atau jika diperlukan perbaikan tanah atau penggunaan pondasi khusus.

Selain itu, sondir test juga berguna untuk menentukan kedalaman lapisan tanah yang memiliki daya dukung yang optimal, serta mengetahui potensi permasalahan geoteknik yang mungkin muncul, seperti lapisan tanah lunak yang memerlukan perbaikan. Uji sondir dapat dilakukan secara vertikal maupun lateral, tergantung pada tujuan dan jenis struktur yang akan dibangun.

Hasil dari sondir test sering digunakan dalam desain pondasi bangunan atau jembatan, karena memberikan informasi yang lebih akurat tentang kondisi tanah di bawah permukaan. Selain itu, sondir test juga lebih efisien dan ekonomis dibandingkan metode pengujian tanah lainnya, seperti bor uji, karena memerlukan waktu yang lebih singkat dan lebih sedikit material. Oleh karena itu, sondir test merupakan alat penting dalam tahapan perencanaan dan analisis geoteknik untuk proyek konstruksi.

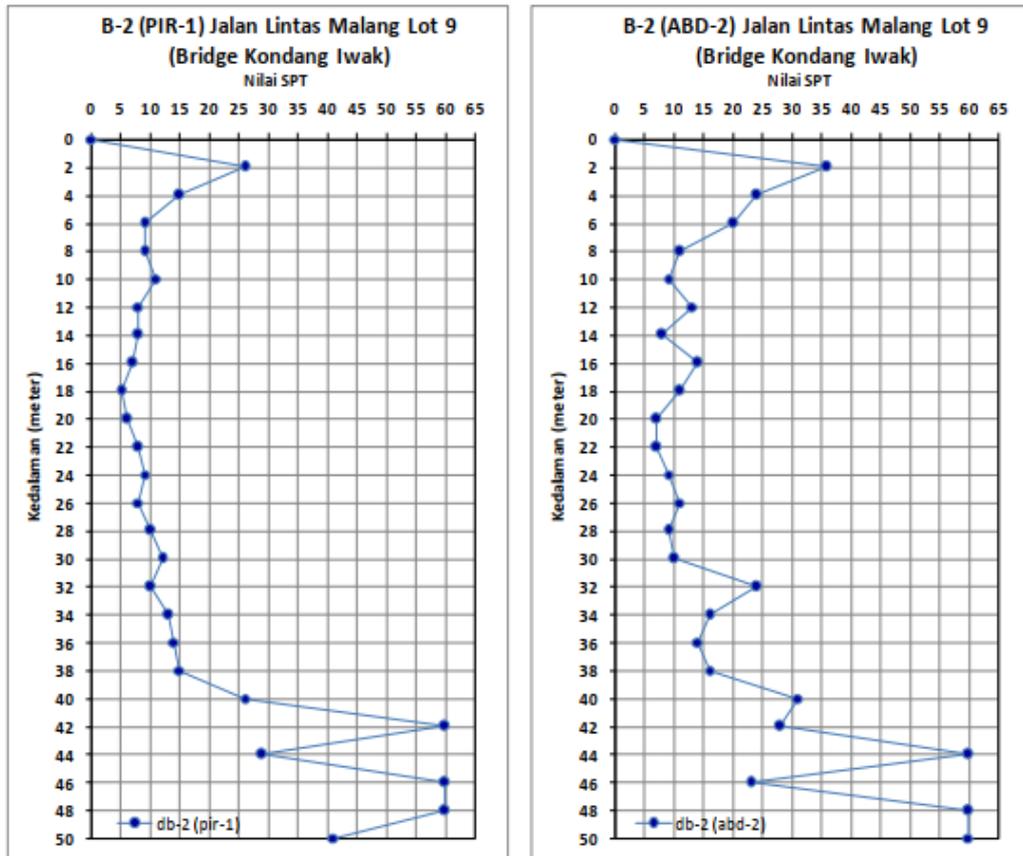
2.6.2 Pengujian SPT

Uji Standard Penetration Test (SPT) adalah pengujian geoteknik yang digunakan untuk menilai kekuatan dan kepadatan tanah, serta memberikan informasi mengenai kemampuan tanah untuk menahan beban struktur. Metode

pengujian yang digunakan yaitu memasukkan alat uji berupa tabung sampel berdiameter tertentu ke dalam tanah menggunakan palu dengan berat dan tinggi jatuh yang standar. Alat ini kemudian dipukul sebanyak beberapa kali untuk menembus tanah hingga mencapai kedalaman yang diinginkan. Jumlah pukulan yang dibutuhkan untuk menembus kedalaman tertentu disebut sebagai nilai N, yang digunakan untuk menilai kekuatan atau kepadatan tanah pada kedalaman tersebut.

Fungsi utama dari uji SPT adalah untuk mendapatkan data mengenai sifat fisik tanah, seperti konsistensi, kekompakan, dan kekuatan tanah pada kedalaman yang diuji. Nilai N yang diperoleh dari uji SPT memberikan indikasi mengenai kondisi tanah. Misalnya, nilai N yang rendah menunjukkan bahwa tanah tersebut lunak atau tidak padat, sementara nilai N yang tinggi menunjukkan bahwa tanah tersebut padat dan kuat. Hasil uji ini juga dapat digunakan untuk menentukan jenis pondasi yang sesuai dengan kondisi tanah yang ada, serta memprediksi daya dukung tanah.

Selain itu, uji SPT sering digunakan untuk menilai potensi terjadinya penurunan atau pergeseran tanah, serta untuk mengevaluasi kestabilan lereng atau tanah dalam proyek konstruksi. Uji SPT juga memberikan informasi yang berguna mengenai ketebalan lapisan tanah yang berbeda, yang penting dalam desain pondasi yang akan digunakan untuk bangunan atau jembatan. Salah satu keunggulan uji SPT adalah kemampuannya untuk dilakukan dengan peralatan yang relatif sederhana dan dengan biaya yang lebih terjangkau dibandingkan metode pengujian tanah lainnya. Oleh karena itu, uji SPT sering digunakan dalam tahap survei geoteknik untuk menyediakan data yang diperlukan dalam perencanaan dan desain struktur, seperti jembatan, gedung, atau infrastruktur lainnya.



Gambar 2. 3 Hasil Uji SPT Jembatan Kondang Iwak



Menurut Sihotang (2009), fungsi utama dari uji Standard Penetration Test (SPT) adalah untuk memperoleh informasi tentang sifat fisik dan mekanik tanah, yang penting untuk menentukan daya dukung tanah dan kestabilan suatu lokasi konstruksi. Berikut adalah beberapa tujuan spesifik dari uji SPT:

2. Uji SPT memberikan informasi mengenai kekuatan dan kepadatan tanah pada kedalaman tertentu. Nilai N yang diperoleh dari jumlah pukulan yang diperlukan untuk menembus tanah dapat digunakan untuk menentukan daya dukung tanah, yang penting dalam memilih jenis pondasi yang tepat untuk struktur yang akan dibangun.
3. Uji SPT membantu menilai apakah tanah tersebut termasuk dalam kategori tanah keras, sedang, atau lunak. Hal ini penting untuk mengetahui seberapa padat tanah di bawah permukaan dan apakah tanah tersebut cukup kuat untuk menopang beban dari bangunan atau jembatan.
4. Berdasarkan hasil uji SPT, insinyur geoteknik dapat menentukan jenis pondasi yang sesuai, apakah pondasi dangkal atau pondasi dalam, tergantung pada kekuatan dan ketebalan lapisan tanah di lokasi tersebut.
5. Uji SPT memberikan gambaran tentang lapisan tanah yang berbeda pada kedalaman tertentu. Data ini penting untuk mengetahui ketebalan dan sifat dari lapisan tanah, yang berpengaruh pada desain pondasi dan stabilitas bangunan.
6. Hasil dari uji SPT juga digunakan untuk mengevaluasi potensi penurunan atau pergeseran tanah, yang dapat memengaruhi kestabilan struktur dan menyebabkan kerusakan pada bangunan jika tidak ditangani dengan tepat.
7. Hasil uji SPT menjadi dasar dalam proses perencanaan dan desain konstruksi, khususnya dalam proyek-proyek besar seperti jembatan, gedung bertingkat, atau infrastruktur lainnya, dengan memastikan bahwa struktur yang dibangun dapat berdiri dengan aman dan stabil di atas tanah yang ada

Uji Laboratorium

Uji laboratorium adalah serangkaian pengujian yang dilakukan di laboratorium untuk mengevaluasi sifat fisik, mekanik, dan kimia tanah atau material konstruksi lainnya. Uji ini bertujuan untuk memperoleh data yang lebih terperinci dan akurat

mengenai karakteristik material, yang digunakan sebagai dasar dalam perencanaan dan desain berbagai jenis struktur, seperti bangunan, jembatan, dan infrastruktur lainnya. Adapun tujuan uji laboratorium, yaitu:

1. Untuk mengetahui sifat mekanis, fisik, dan kimia dari material, seperti tanah, beton, baja, atau aspal.
2. Memberikan data yang digunakan dalam perencanaan struktur, seperti daya dukung tanah, kestabilan lereng, atau kekuatan beton.
3. Memastikan material memenuhi standar teknis dan spesifikasi yang ditentukan.
4. Menemukan potensi masalah pada material yang dapat memengaruhi kestabilan atau performa struktur. Berikut adalah hasil uji laboratorium Jembatan Kondang Iwak:

Tabel 2. 5 Hasil Uji Laboratorium

No.	Jenis Pengujian	1	2	3	Rata-rata
1	Indeks Properties Tanah				
a.1	Kadar air alami w_N (natural water content) (%)	3,16	3,66	3,65	3,49
b	Gs (Specific Gravity)	2,509	2,457	2,387	2,451
c	Konsistensi (Batas-batas Atterberg)				
c.1	LL (Liquid Limit) (%)				10,60
c.2	PL (Plastic Limit) (%)				NP
c.3	Plasticity Index (PI) (%)				-
d	Grain Size (Ayakan)				
	Kerikil (%)				64,99
	Pasir (%)				33,21
	Butiran halus, Lanau/lempung (%)				1,80
	Koefisien keseragaman (Cu)				14,38
	Koefisien gradasi (Cc)				1,57
2	Engineering Properties				
a	Pemadatan modified				
	w_{opt} (%)				8,20
	γ_{dmax} (gr/cm ³)				2,17
b	CBR Rendaman				
	kadar air				10,04%
	CBR Rendaman 4 hari				27,14%

2.7 Aksi Lingkungan

2.7.1 Pengaruh Gempa

Gempa bumi merupakan salah satu beban dinamis yang harus diperhitungkan dalam perencanaan jembatan, karena dapat menyebabkan deformasi dan kerusakan pada struktur jika tidak dirancang dengan baik. Perencanaan jembatan terhadap

beban gempa bertujuan untuk memastikan struktur memiliki kemampuan untuk menahan gaya gempa tanpa mengalami keruntuhan, serta meminimalkan kerusakan yang dapat membahayakan pengguna atau mengganggu fungsi jembatan.

8. Gaya Inersia: Beban gempa menghasilkan gaya inersia pada struktur akibat percepatan tanah yang diinduksi oleh gempa. Besarnya gaya ini sebanding dengan massa struktur dan percepatan tanah.
9. Respon Dinamis: Jembatan merespons gempa secara dinamis, yang menyebabkan terjadinya deformasi, getaran, dan rotasi. Respon ini dipengaruhi oleh kekakuan, massa, dan waktu getar alami struktur.
10. Distribusi Beban Gempa: Beban gempa tidak hanya diterapkan secara horizontal tetapi juga dapat memberikan komponen vertikal, terutama untuk jembatan yang berada di zona gempa tinggi atau dekat dengan pusat gempa.

Kekakuan struktur adalah kemampuan struktur untuk menahan deformasi akibat beban. Dalam perencanaan jembatan terhadap gempa, kekakuan memainkan peran penting karena memengaruhi:

1. Frekuensi Getar: Struktur yang lebih kaku cenderung memiliki frekuensi getar yang lebih tinggi dan waktu getar alami yang lebih pendek.
2. Distribusi Beban: Kekakuan menentukan bagaimana gaya gempa didistribusikan di seluruh elemen struktur, seperti kolom, pilar, dan balok.
3. Deformasi: Kekakuan yang memadai memastikan bahwa deformasi yang terjadi akibat gempa tetap dalam batas yang aman.

Namun, kekakuan yang terlalu besar dapat menyebabkan struktur menjadi terlalu kaku sehingga lebih rentan terhadap gaya gempa besar karena tidak mampu menyerap energi gempa dengan baik. Oleh karena itu, diperlukan keseimbangan antara kekakuan dan fleksibilitas struktur.

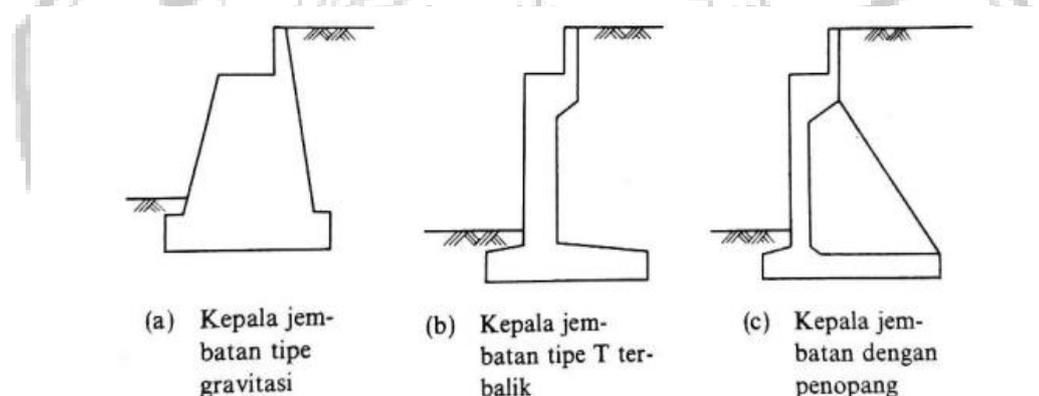
Waktu getar alami (natural period) adalah waktu yang dibutuhkan oleh struktur untuk menyelesaikan satu siklus getaran bebas. Waktu getar alami sangat penting dalam perencanaan jembatan karena:

1. Resonansi: Jika waktu getar alami struktur mendekati periode getar tanah selama gempa, resonansi dapat terjadi, yang meningkatkan respons struktur terhadap gempa.

2. Kesesuaian dengan Spektrum Respons: Waktu getar alami digunakan untuk menentukan gaya gempa yang diharapkan dari spektrum respons gempa. Struktur dengan waktu getar alami yang sesuai dengan spektrum gempa pada lokasi tertentu akan dirancang untuk menahan gaya gempa maksimum yang mungkin terjadi.

2.8 Perencanaan Abutment

Abutment berfungsi mendukung semua beban, seperti beban pada ujung batang, sisi jembatan, serta beban lain, dan kemudian meneruskannya ke pondasi. Jika daya dukung tanah yang berada di bawah abutment tidak memenuhi syarat keamanan yang diperlukan, maka daya dukung tersebut perlu ditingkatkan dengan merencanakan pondasi dalam. Secara umum, bentuk abutment dapat ditunjukkan pada gambar berikut.

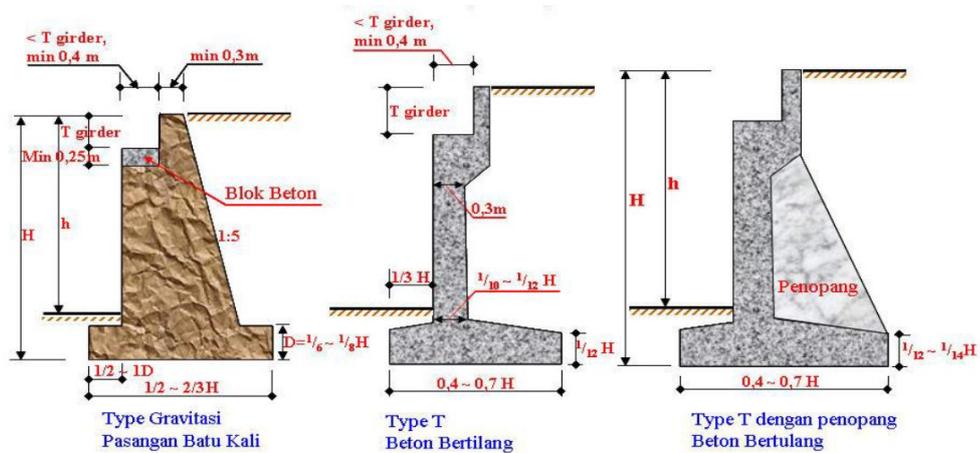


Gambar 2. 4 Bentuk Abutment

Sumber: Sosrodarsono, dkk. 2000. Hal: 303

2.8.1 Kriteria Perencanaan

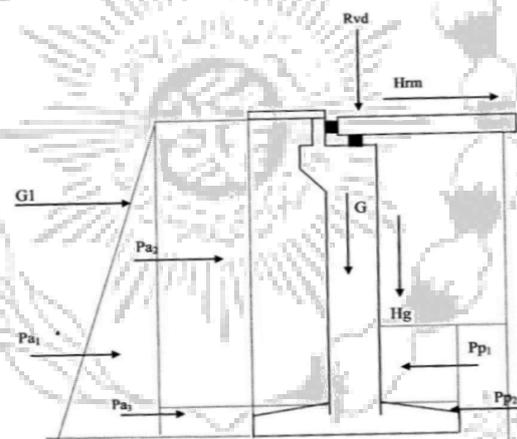
Dalam perencanaan abutment, dimensi adalah hal pertama yang harus ditentukan. Adapun dimensi abutment yang dapat digunakan sesuai bentuknya dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 2. 5 Dimensi Abutment

Sumber: Supriadi & Muntohar. 2007: 122

Selain dimensi, perlu diperhitungkan juga besarnya gaya yang bekerja pada abutment. Adapun gaya-gaya yang bekerja pada abutment dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2. 6 Gaya pada Abutment

Sumber: Supriadi & Muntohar. 2007 : 58

2.8.2 Stabilitas Abutment

Stabilitas abutment dihitung dengan pemeriksaan terhadap geser, guling, dan eksentrisitas pada kondisi normal dan saat terjadi gempa.

1. Syarat Aman terhadap Geser

$$SF = \frac{\sum V \cdot \tan \frac{2}{3} \phi + c \cdot B}{\sum H} \geq FK \dots \dots \dots (2.24)$$

Keterangan:

FK = Faktor Keamanan

FK ≥ 1,5 (kondisi normal)

FK ≥ 1,2 (kondisi gempa)

Kategori nilai F ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 2. 6 Kategori faktor keamanan terhadap geser

Bahan	F
Pasangan batu pada pasangan batu	0,60 – 0,75
Batu keras berkualitas baik	0,75
Kerikil	0,50
Pasir	0,40
Lempung	0,30

Sumber: KP-02 perencanaan bendung tahun 1986

2. Syarat Aman terhadap Guling

$$SF = \frac{\Sigma M_x}{\Sigma M_y} \geq FK \dots \dots \dots (2.25)$$

Keterangan:

SF = Safety Factor

ΣM_x = Jumlah Momen tahan (t.m)

ΣM_y = Jumlah Momen Guling (t.m)

FK = Faktor Keamanan

FK ≥ 1,5 (kondisi normal)

FK ≥ 1,2 (kondisi gempa)

Sumber: Hardiyatmo. Tahun 2014

3. Syarat Aman terhadap Eksentrisitas

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\Sigma M_x - \Sigma M_y}{\Sigma V} < \frac{B}{6} \dots \dots \dots (2.26)$$

Keterangan :

E = Eksentrisitas (m)

ΣM_x = Jumlah Momen tahan (t.m)

ΣM_y = Jumlah Momen Guling (t.m)

4. Kontrol terhadap Tegangan

$$\sigma = \frac{\Sigma V}{B.L} - \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right) \leq Qijin \dots \dots \dots (2.27)$$

Jika $\sigma_{maks} = Q_{all}$ (Aman)

Jika $\sigma_{min} \leq Q_{all}$ (Aman)

Sumber: Hardiyatmo. Tahun 2014

2.8.3 Penulangan

Penulangan abutment dihitung sama seperti perhitungan penulangan pada struktur lain, yaitu menggunakan rumus berikut:

$$\rho_b = \left(\frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \right) \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \dots \dots \dots (2.28)$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_{bln} \dots \dots \dots (2.29)$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \dots \dots \dots (2.30)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} \dots \dots \dots (2.31)$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} \dots \dots \dots (2.32)$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} \dots \dots \dots (2.33)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left\{ 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y} \right)} \right\} \dots \dots \dots (2.34)$$

$$\text{Luas tulangan: } A_s = \rho_{min} \times b \times d \dots \dots \dots (2.35)$$

$$\text{Tulangan bagi: } A_s \text{ bagi} = 20\% \times A_{Spokok} \dots \dots \dots (2.36)$$

- Kontrol Tulangan Geser

$$V_c = \left(\frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \right) \times b \times d \dots \dots \dots (2.37)$$

$$\phi \times V_c < V_u < 3 \times \phi \times V_c \dots \dots \dots (2.38)$$

$$V_{S \text{ perlu}} = \frac{V_u - \phi \cdot V_c}{\phi} \dots \dots \dots (2.39)$$

$$A_v = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \dots \dots \dots (2.40)$$

$$S = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \dots \dots \dots (2.41)$$

- Jarak Sengkang Maksimum

$$S_{max} = \frac{d}{2} \dots \dots \dots (2.42)$$

$$V_{S \text{ ada}} = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{S} \dots \dots \dots (2.43)$$

Syarat: $V_s > V_{s \text{ ijin}} \rightarrow$ aman

2.9 Pile Cap

Pilecap adalah elemen struktur beton bertulang yang berfungsi sebagai penghubung antara pondasi tiang pancang (pile) dan elemen struktur di atasnya, seperti kolom atau pilar. Pilecap dirancang untuk menyebarkan beban dari struktur atas ke beberapa tiang pancang secara merata, sehingga beban dapat ditransfer ke tanah dengan lebih efisien. Selain itu, pilecap juga berfungsi untuk menjaga kestabilan tiang pancang dengan mengikatnya menjadi satu kesatuan. Biasanya, pilecap dibuat dengan ukuran yang cukup besar dan tebal untuk menahan gaya-gaya yang bekerja, termasuk beban vertikal, geser, dan momen lentur. Perencanaan pile cap perlu ditinjau terhadap geser yang bekerja dan penulangannya.

2.9.1 Tinjauan terhadap Geser

a. Geser Satu Arah

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f'c} \times bw \times d \dots \dots \dots (2.44)$$

$$\frac{V_u}{\phi} \leq \frac{1}{6} \sqrt{f'c} \times bw \times d \dots \dots \dots (2.45)$$

Keterangan:

- V_u = Gaya geser
- V_c = Geser beton
- bw = Lebar pilecap (m)
- d = tinggi pelat dikurang selimut beton
- ϕ = 0,6

b. Geser Dua Arah

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_0}\right) \frac{1}{6} \sqrt{f'c} \times b_o \times d \dots \dots \dots (2.46)$$

Keterangan:

- $b_o = 2(h + d) + 2(b + d)$
- b = panjang kolom
- h = lebar kolom
- d = tinggi efektif
- V_c = gaya geser

$f'c$ = mutu beton

Gaya geser nominal penampang:

$$\frac{Vu}{\phi} = Vn \leq Vc + Vs \leq 4 \times \sqrt{f'c} \times bw \times d \dots \dots \dots (2.47)$$

Keterangan:

Vs = Kuat tulangan geser

$$Vu = \frac{Pu}{A}(ho^2 - bo^2)$$

Pu = Beban kolom

A = Luas

Sumber: SNI 03-2847 tahun 2002

2.10 Penulangan

a. Dimensi

$$K_{perlu} = \frac{Mu}{b \cdot d^2} \dots \dots \dots (2.48)$$

Keterangan:

Mu = Momen

b = Lebar (m)

h = Tinggi (m)

d = $h - 60$ mm

b. ρ_{min} , ρ_b , dan ρ_{max}

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{fy} \dots \dots \dots (2.49)$$

$$\rho_b = \left(\frac{0,85 \times \beta \times f'c}{fy} \right) \times \left(\frac{600}{600 + fy} \right) \dots \dots \dots (2.50)$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b \dots \dots \dots (2.51)$$

Keterangan:

ρ_{min} = rasio minimum

ρ_b = rasio seimbang

ρ_{max} = rasio maksimum

Jika $f'c \leq 30$ MPa maka digunakan β **0,85**

Jika $f'c \geq 30$ MPa maka digunakan β **0,85 - 0,05** $\left(\frac{f'c - 30}{7} \right)$

c. Rasio Tulangan yang Diperlukan (ρ)

$$P_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left\{ 1 - \sqrt{\left(\frac{1 - 2.m.Rn}{fy} \right)} \right\} \dots \dots \dots (2.52)$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \times f'c} \dots \dots \dots (2.53)$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} \dots \dots \dots (2.54)$$

Keterangan:

ρ = Rasio tulangan yang diperlukan

d. Luas Tulangan

$$As = \rho \times b \times d \dots \dots \dots (2.55)$$

$$As \text{ tulangan} = \frac{1}{4} \pi (\text{diameter tulangan}) \dots \dots \dots (2.56)$$

2.11 Perencanaan Tusuk Konde

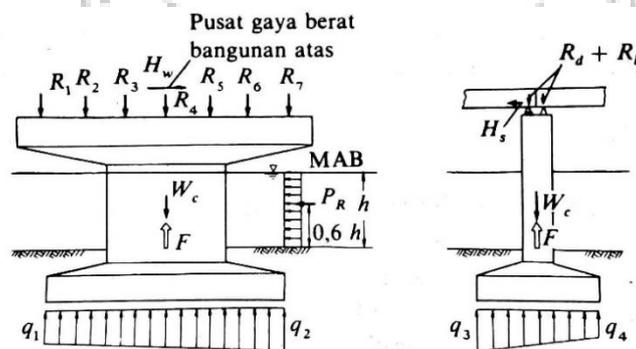
Panjang yang direncanakan untuk penyaluran tarik yaitu diambil nilai ℓ_{dc} terbesar.

$$\ell_{dc1} = \frac{0,24 \times fy \times \Psi_e \times \Psi_c \times \Psi_r}{\lambda \times \sqrt{f'c}} \times db$$

$$\ell_{dc2} = 8db$$

2.12 Pilar pada Jembatan

Pilar jembatan perlu direncanakan mengenai beban luar yang diterima oleh pilar tersebut. Adapun jenis-jenis gaya luar yang bekerja dapat dilihat di gambar berikut



Gambar 2. 7 Beban Luar yang Diterima Pilar

2.13 Pondasi

Pondasi jembatan adalah elemen struktur yang bertugas menopang seluruh beban jembatan dan menyalurkannya ke tanah atau batuan di bawahnya. Fungsi utama pondasi adalah memastikan stabilitas dan ketahanan jembatan terhadap berbagai jenis beban serta kondisi lingkungan. Berikut adalah fungsi utama pondasi jembatan:

11. Menyalurkan Beban

Pondasi meneruskan beban dari struktur atas, termasuk beban mati (seperti berat jembatan itu sendiri), beban hidup (seperti kendaraan yang melintas), dan beban dinamis lainnya, ke lapisan tanah atau batuan yang memiliki daya dukung yang memadai.

12. Menjaga Stabilitas Struktur

Pondasi memastikan agar jembatan tetap stabil, mencegah risiko pergeseran, kemiringan, atau keruntuhan yang disebabkan oleh gaya-gaya horizontal seperti angin, gempa, atau tekanan air.

13. Mencegah Penurunan Berlebih (Settlement)

Dengan merancang pondasi yang tepat, penurunan tanah di bawah jembatan dapat diminimalkan sehingga struktur atas tetap aman dan tidak mengalami deformasi.

14. Melawan Gaya Horizontal

Pondasi dirancang untuk menahan gaya horizontal yang bekerja pada jembatan, seperti tekanan aliran air di jembatan yang melintasi sungai, gaya gempa, dan tumbukan kendaraan pada struktur pendukung jembatan.

15. Mengatasi Gerusan (Scouring)

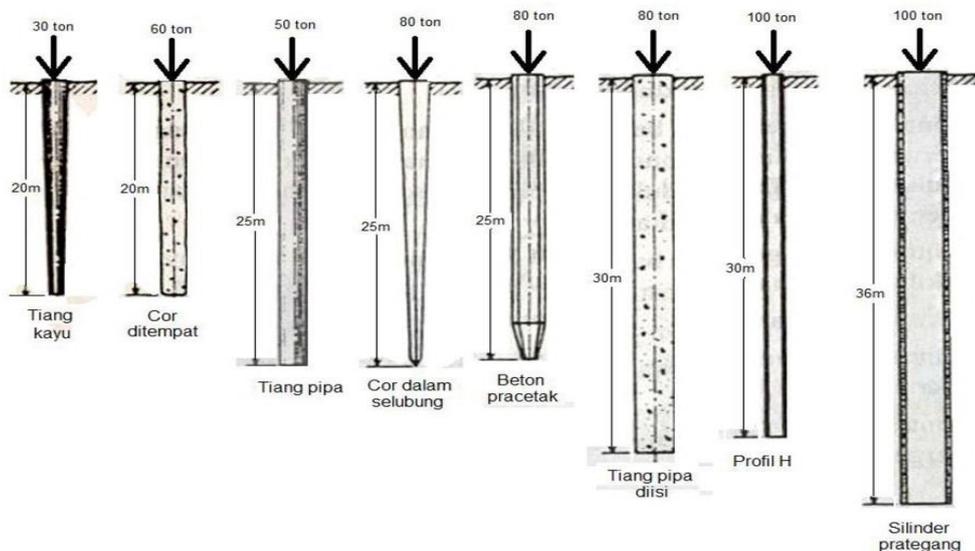
Pada jembatan yang melintasi sungai atau perairan, pondasi membantu melawan kerusakan akibat gerusan tanah atau material di sekitar pondasi yang disebabkan oleh aliran air.

16. Menopang Beban Tambahan

Selain beban kendaraan dan struktur, pondasi juga harus mampu menahan beban tambahan seperti gaya rem, gaya angin, atau perubahan suhu yang dapat menyebabkan ekspansi dan kontraksi material.

2.14 Pondasi Tiang Pancang

Pondasi jenis ini digunakan ketika daya dukung tanahnya rendah, atau ketika tanah keras berada sangat dalam. Umumnya metode pelaksanaan yang digunakan dengan dipancangkan langsung ke dalam tanah. Namun, pada kondisi tertentu pondasi tiang pancang dapat dicor secara lokal dengan cara membuat lubang terlebih dahulu menggunakan metode pengeboran tanah, mirip dengan pengeboran yang dilakukan dalam penyelidikan tanah (Sardjono, 1991:52).



Gambar 2. 8 Tipe Tiang Pancang

Sumber : Sardjono, 1991:52

Tiang pancang dapat dibedakan menjadi dua tipe berdasarkan cara pemindahan beban, yaitu:

a) Point bearing pile

Tiang pancang jenis ini mentransfer beban melalui ujung tiang yang menempel pada lapisan tanah keras di bawahnya.

b) Friction pile

Tiang pancang ini menahan beban melalui gaya gesek yang terbentuk antara permukaan tiang pancang dan tanah di sekitarnya.

2.15 Daya Dukung Kelompok Tiang

Daya dukung kelompok tiang pancang (group pile capacity) mengacu pada kemampuan sekumpulan tiang pancang untuk menahan beban yang diterapkan pada struktur di atasnya. Dalam sebuah pondasi jembatan, tiang pancang sering digunakan dalam kelompok untuk mendistribusikan beban secara merata ke lapisan tanah yang memiliki daya dukung tinggi. Tiang pancang dalam kelompok bekerja bersamaan, dan daya dukung keseluruhan kelompok tiang pancang dipengaruhi oleh interaksi antar tiang serta kondisi tanah di sekitar dan di bawah kelompok tiang tersebut. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi daya dukung kelompok tiang pancang, yaitu:

17. Kapasitas Tiang Individu

Setiap tiang pancang dalam kelompok memiliki kapasitas daya dukung individu yang bergantung pada jenis material, ukuran, panjang, dan interaksi tiang dengan tanah di sekitarnya.

18. Efek Kelompok (Group Efficiency)

Dalam kelompok tiang, daya dukung total tidak selalu sama dengan jumlah kapasitas individu tiang pancang. Hal ini disebabkan oleh efek kelompok, di mana interaksi antar tiang menyebabkan pengurangan atau penambahan daya dukung kelompok secara keseluruhan.

19. Kondisi Tanah di Sekitar Tiang

Sifat tanah, seperti kekuatan geser, kepadatan, dan kompresibilitas, sangat memengaruhi daya dukung kelompok. Pada tanah lunak, kelompok tiang dapat menyebabkan pelemahan tanah di sekitarnya akibat perpindahan tanah selama pemasangan tiang.

20. Rasio Jarak Antar Tiang

Jarak antar tiang dalam kelompok (spacing) memainkan peran penting. Jika jarak antar tiang terlalu kecil, zona tekanan tanah antar tiang dapat saling tumpang tindih, sehingga mengurangi efisiensi kelompok.

21. Pola Penempatan Tiang

Pola penempatan tiang, seperti segi empat, segitiga, atau lingkaran, memengaruhi distribusi beban pada kelompok tiang dan interaksi antar tiang.

22. Panjang dan Kedalaman Penancangan

Kedalaman tiang memengaruhi kemampuan kelompok untuk menembus lapisan tanah keras dan mencapai tanah yang memiliki daya dukung tinggi.

23. Perhitungan Pengaruh Gesekan Kulit (Skin Friction) dan Daya Dukung Ujung (End Bearing)

Daya dukung kelompok ditentukan oleh kontribusi dari gesekan kulit sepanjang tiang pancang dan daya dukung di ujung tiang yang bersentuhan langsung dengan lapisan tanah keras.

Perhitungan daya dukung pondasi dilakukan dengan menggunakan rumus berikut:

$$Q_u = Q_p + Q_s - W_p \dots \dots \dots (2.62)$$

$$Q_p = q_p \times A_p \rightarrow q_p = q_{ca} \times k \dots \dots \dots (2.63)$$

Keterangan:

Q_u = daya dukung ultimit

Q_p = daya dukung pada ujung tiang (ton)

Q_s = daya dukung selimut yaitu 0 (ton)

A_p = luas penampang ujung tiang (cm^2)

q_p = tahanan pada ujung tiang (kg/cm^2)

q_{ca} = tahanan pada konus pada ujung tiang (kg/cm^2)

W_p = berat tiang

k_c = faktor ujung konus

2.16 Kebutuhan Jumlah Tiang

Jumlah tiang yang dibutuhkan dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut.

$$n_p = \frac{P}{p_{all}} + \dots \dots \dots (2.65)$$

Keterangan:

n_p = Jumlah tiang

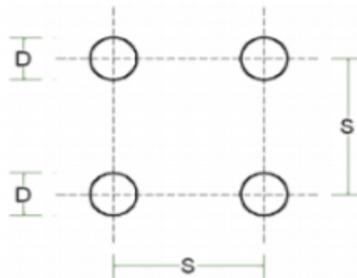
P = Gaya aksial

P_{all} = Daya dukung izin tiang

2.17 Jarak Antar Tiang

Ketentuan pada perencanaan jarak antar tiang yaitu jarak minimal antara pusat-pusat tiang adalah $3d$ (diameter tiang) di tengah-tengah antar tiang, dan jarak yang sebenarnya dikerjakan di lapangan adalah $2d$.

Namun, sering kali pada praktiknya, jarak $2,5d$ ke arah tengah tiang dianggap lebih menguntungkan karena dapat mengoptimalkan beberapa aspek desain. Meskipun demikian, salah satu dampak negatifnya adalah penurunan efisiensi, di mana daya dukung kelompok tiang akan berkurang karena adanya interaksi atau tumpang tindih garis tegangan yang lebih besar antara tiang yang letaknya terlalu dekat..



Gambar 2. 9 Jarak antar Tiang

Sumber : Pamungkas, dkk. 2009 : 79

$$S \geq 2,5D \dots\dots\dots (2.68)$$

$$S \geq 3D \dots\dots\dots (2.69)$$

Keterangan:

S = Jarak antar tiang

D = Diameter tiang

2.18 Penurunan Kelompok Tiang

Penurunan kelompok tiang merupakan hasil dari kombinasi dua jenis penurunan, yaitu:

Penurunan elastis (immediate settlement, S_i): Penurunan ini terjadi segera setelah beban diterapkan pada tiang dan biasanya bersifat sementara. Penurunan elastis ini disebabkan oleh kompresi tanah di sekitar tiang yang langsung terjadi akibat beban vertikal yang bekerja pada tiang.

Penurunan konsolidasi jangka panjang (long-term consolidation settlement, S_c): Penurunan ini terjadi lebih lambat dan berlangsung dalam jangka waktu yang lebih lama, karena proses pemadatan tanah di sekitar tiang. Penurunan ini disebabkan oleh aliran air yang terkompresi dalam tanah, yang mengakibatkan pengurangan volume tanah secara bertahap.

$$S = S_i + S_c \dots \dots \dots (2.70)$$

1. Penurunan Segera (*Immediate Settlement*)

Persamaan yang digunakan untuk menghitung penurunan segera adalah:

$$S_i = \mu_1 \mu_0 \frac{qB}{E} \dots \dots \dots (2.71)$$

Keterangan:

- S_i = penurunan segera (m)
- B = lebar kelompok tiang (m)
- q = tekanan yang terjadi (P_u/A)
- E = modulus elastisitas tanah (kN/m^2)
- μ_1 = Faktor koreksi untuk lapisan tanah dengan tebal terbatas H
- μ_0 = Faktor koreksi untuk kedalaman pondasi

2. Penurunan Konsolidasi (*Consolidation Settlement*)

Perhitungan penurunan konsolidasi dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$S_c = \frac{H}{1+e} \cdot C_c \log \frac{P_0 + \Delta p}{P_0} \dots \dots \dots (2.72)$$

Keterangan:

- S_c = penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*) (m)
- H = ketebalan lapisan tanah (m)
- C_c = indeks pemampatan
- e = angka pori tanah
- P_0 = tegangan efektif sebelum beban bekerja (kN/m^2)
- Δp = tambahan tegangan yang disebabkan oleh beban pondasi (kN/m^2)

2.19 Tulangan

Berikut adalah langkah-langkah untuk menghitung tulangan pondasi:

1. Momen Nominal (M_n)

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} \dots\dots\dots(2.73)$$

2. Menghitung ρ_{min} , ρ_b , dan ρ_{max}

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \dots\dots\dots(2.74)$$

$$\rho_b = \left(\frac{0,85 \times \beta \times f'_c}{f_y} \right) \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \dots\dots\dots(2.75)$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b \dots\dots\dots(2.76)$$

Jika $f'_c \leq 30$ MPa maka digunakan β **0,85**

Jika $f'_c \geq 30$ MPa maka digunakan β **0,85 - 0,05 $\left(\frac{f'_c - 30}{7} \right)$**

3. Menghitung Rasio Tulangan (ρ)

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left\{ 1 - \sqrt{\left(\frac{1 - 2.m.R_n}{f_y} \right)} \right\} \dots\dots\dots(2.77)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} \dots\dots\dots(2.78)$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} \dots\dots\dots(2.79)$$

4. Luas Tulangan

$$A_s = \rho \times b \times d \dots\dots\dots(2.80)$$

$$A_s \text{ tulangan} = \frac{1}{4} \pi (\text{diameter tulangan}) \dots\dots\dots(2.81)$$

5. Jumlah Tulangan

$$n = \frac{A_s}{A_s \text{ tulangan}} \dots\dots\dots(2.82)$$

6. Tulangan Geser

$$V_c = \left(1 + \frac{V_u}{14 \times A_g} \right) \times \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) \times b_w \times d \dots\dots\dots(2.83)$$

$$V_u < \phi \times V_c \dots\dots\dots(2.84)$$

$$V_u < 0,7 \times V_c \dots\dots\dots(2.85)$$