

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Uraian Umum

Dalam garis besar, ketika dilakukan persiapan rencana dalam pembangunan, pada konteks ini misalnya jembatan yang tersusun melalui rencana yang matang untuk struktur atas (*upper structures*) di mana meliputi komponen penyusun jembatan yang berlokasi pada atas permukaan tanah. Di samping itu terdapat rencana untuk struktur bawah (*sub structures*) di mana merupakan konstruksi yang terletak dalam permukaan tanah, seperti abutmen pilar serta pondasi.

2.2 Bangunan Bawah Jembatan

Bagian ini memiliki peranan untuk menjadi penopang serta penerima muatan yang bersumber dari rangka atas untuk diteruskan pada pondasi. Adapun bagian ini memiliki beberapa komponen, diantaranya:

1. *Abutment*

Abutment (kepala jembatan) yaitu komponen yang terletak di dua pangkal jembatan. Keberadaannya berperan guna mendukung konstruksi fisik bagian atasnya dan berperan menjadi penahan tanah. Perencanaan pada struktur ini melibatkan kondisi secara langsung seperti ketahanan, daya topang tanah serta penurunan sebagai faktor yang mempengaruhi. Berkaitan dengan tahap perencanaan bagian ini, material yang dipilih adalah batu atau beton bertulang

2. *Pilar*

Pilar atau *pier* merupakan elemen penyusun jembatan di mana berada diapit oleh dua *abutment* dan berperan sebagai pemikul keseluruhan muatan yang dibebankan pada pangkal bentang serta gaya lain guna diteruskan pada pondasi. Bagian ini tidak terbatas dimanfaatkan bagi jembatan dengan rentang kecil, melainkan dapat dimanfaatkan untuk jembatan yang lebih besar. Dalam suatu pembangunan jembatan, bagian ini terbagi menjadi kepala serta badan pilar. Bagian kepala berperan untuk memikul pengkal peletakan jembatan, yakni antar balok penyangga (*balk*) dan pelat bantalan

atau elastomer untuk menyokong *balk* pada kepala pilar. Adapun badan pilar merupakan bagian kolom atau panel dari pilar jembatan yang berperan untuk mendistribusikan gaya kepala pilar pada pondasi.

3. Plat Injak

Bagian ini adalah komponen penyusun *sub structure* pada jembatan di mana berperan dalam pendistribusian bobot dan muatan yang didapatkan dari bagian atas jembatan secara keseluruhan pada tanah serta berperan sebagai pelindung ketika terdapat penyimpangan permukaan jalanan.

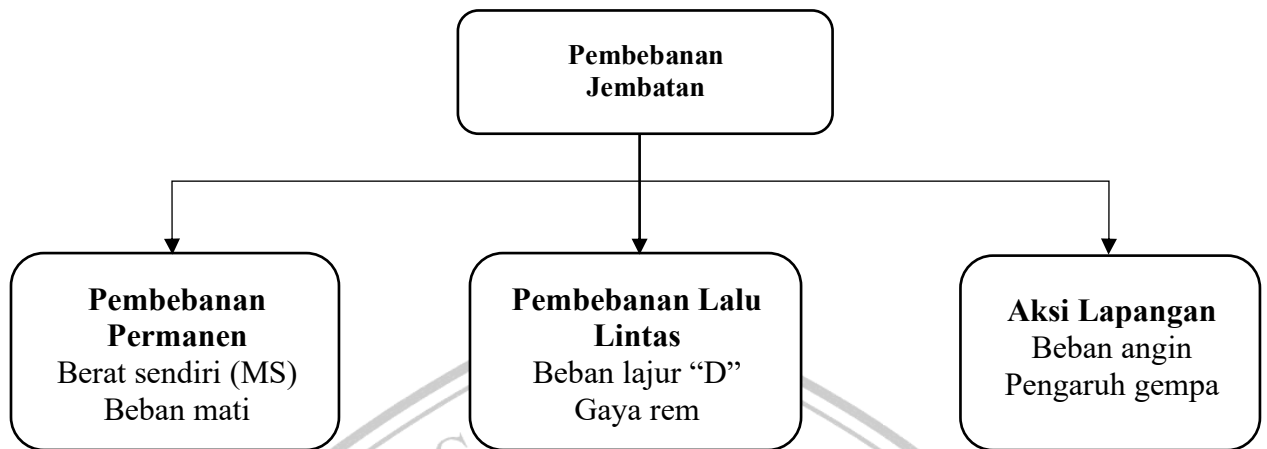
4. Pondasi

Bagian ini adalah komponen penyusun *sub structure* yang berada di bawah tanah dan berperan untuk menahan bobot konstruksi yang terletak di atasnya untuk didistribusikan pada tanah dasar, baik dengan arah horizontal maupun vertikal. Ketika merencanakan sebuah konstruksi, diperlukan kalkulasi pada sejumlah komponen agar terbentuk konstruksi yang baik dalam hal kekuatan, kestabilan, serta ekonomi. Adapun komponen tersebut diantaranya:

- Karakteristik serta kapasitas topang tanah.
- Tipe serta dimensi konstruksi yang hendak dibangun.
- Keadaan lingkungan di area pembangunan.
- Ketersediaan peralatan.
- Durasi pelaksanaan yang cukup.

2.3 Pembebanan Jembatan

Dalam merencanakan kerangka jembatan, regulasi yang dijadikan tolak ukur dalam analisa beban yang hendak dipikul diatur sebagaimana standar aturan SNI 1725:2016 mengenai pembebanan untuk jembatan. Tujuan, wujud, serta jenis merupakan aspek yang dipertimbangkan karena mempengaruhi perencanaan bobot yang bekerja. Pada dasarnya pembebanan untuk kerangka jembatan dibagi dalam 3 kelompok di mana disajikan pada skema **Gambar 2.1**.



Gambar 2. 1 Skema Pembebanan Jembatan

2.3.1 Beban Permanen

a. Berat Sendiri (MS)

Yaitu bobot dari komponen penyusun rangka lainnya yang dibebankan, misalnya bobot bahan serta unsur penyusun jembatan di mana tergolong dalam unsur bangunan yang dikombinasikan pada unsur non-struktural yang dipertimbangkan sebagai unsur absolut.

Tabel 2. 1 Tabel beban berat sendiri

Tipe beban	Elemen beban (γ_{MS})			
	Kondisi Batasan Layan (γ_{MS}^S)		Kondisi Batasan Ultimit (γ_{MS}^U)	
	Material		Biasa	Terkurangi
Permanen	<i>Steel</i>	1.0	1.1	0.9
	<i>Aluminium</i>	1.0	1.1	0.9
	<i>Precast Concrete</i>	1.0	1.2	0.85
	<i>Concrete Cast on Site</i>	1.0	1.3	0.75
	<i>Wood</i>	1.0	1.4	0.7

Sumber SNI 1725:2016

b. Beban Mati Tambahan (MA)

Merupakan bobot dari keseluruhan material pembentuk sebuah bobot muatan dalam jembatan di mana tergolong sebagai unsur non struktural, namun memungkinkan terjadi perubahan pada besar beban sepanjang umur jembatan.

Tabel 2. 2 Tabel beban mati tambahan

Tipe Beban	Elemen beban (γ_{MA})			
	Kondisi Batasan Layan (γ_{MA}^S)		Kondisi Batasan Ultimit (γ_{MA}^U)	
	Kondisi		Biasa	Terkurangi
Permanen	Umum	1.0 ⁽¹⁾	2.0	0.7
	Khusus (terawasi)	1.0	1.4	0.8
Catatan ⁽¹⁾ : Faktor beban layan sebesar 1.3 digunakan untuk berat utilitas				

Sumber SNI 1725:2016

2.3.2 Beban Lalu Lintas

Pengaruh yang lebih tinggi berada pada rangkaian jembatan dengan rentang atau jarak jauh yaitu dibebankan untuk muatan lintasan “D”. Sementara untuk jembatan dengan rentang atau jarak lebih pendek serta rangkaian platform, berdampak lebih tinggi pada muatan truk “T”.

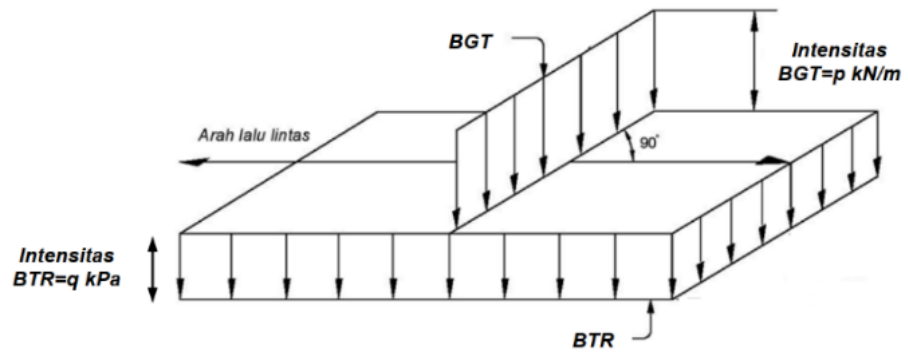
a. Beban Lajur “D” (TD)

Beban terbagi rata (BTR) di mana dikombinasikan bersama beban garis terpusat (BGT) yaitu komponen dari beban lajur “D”

Tabel 2. 3 Beban Lajur “D”

Tipe beban	Material	Elemen beban (γ_{TD})	
		Kondisi Batasan Layan (γ_{TD}^S)	Kondisi Batasan Ultimit (γ_{TD}^U)
Transient	Concrete	1,00	1,80
	Steel Girder Box	1,00	2,00

Sumber: SNI 1725:2016 Hal.39



Gambar 2. 2 Beban Lajur “D”

Sumber SNI 1725:2016 Hal.39

BTR mempunyai konsentrasi q kPa, panjang keseluruhan (L) adalah komponen yang mana menyesuaikan pada besar skor q yaitu :

$$L \leq 30 \text{ m} \quad \rightarrow \quad q = 9,0 \text{ kPa} \dots \dots \dots (2.1)$$

$$L > 30 \text{ m} \quad \rightarrow \quad q = 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L}\right) \text{ kPa} \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan :

q : Konsentrasi BTR pada arah membujur

L : Panjang keseluruhan jembatan yang membebani (m)

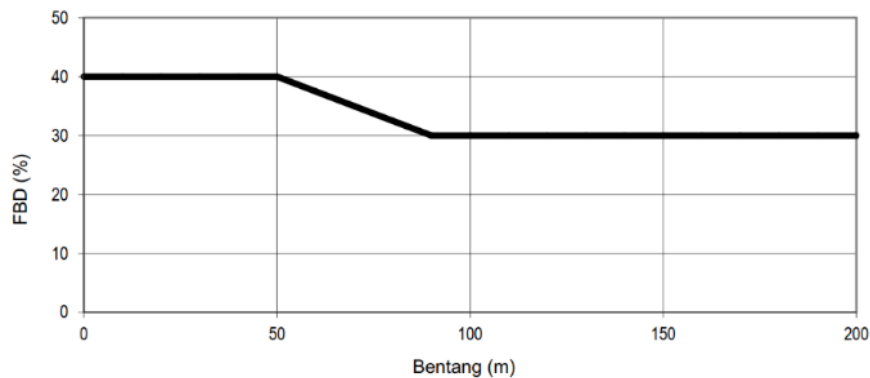
Dalam kalkulasi beban lajur “D” yaitu :

$$D_{td} = (q_{td} \times L) + P_{td} \dots \dots \dots (2.3)$$

Respon peletakan yang diakibatkan BTR yaitu :

$$0,5D = \frac{1}{2} \times D_{td} \dots \dots \dots (2.4)$$

Output koneksi dari mobilitas transportasi yaitu Faktor Beban Dinamis (FBD) serta jembatan. Menyesuaikan besar intensitas pengulangan fundamental sistem peredam kejut moda transportasi supaya memperoleh skor FBD, serta frekuensi fluktuasi elastis jembatan. Skor FBD diperoleh melalui penggunaan grafik yang disajikan dalam Gambar berikut



Gambar 2.3 Faktor Dinamis bagi Beban T untuk Pembebanan Lajur "D"

Sumber: SNI 1725:2016 Hal. 45

b. Beban Truck T (T)

Beban truck "T" tidak bisa difungsikan bersama dengan beban "D"

Tabel 2.4 Beban Truck T "T"

Tipe beban	Material	Elemen beban (γ_{TT})	
		Kondisi Batasan Layan (γ_{TT}^S)	Kondisi Batasan Ultimit (γ_{TT}^U)
Transient	Concrete	1,00	1,80
	Steel Girder Box	1,00	2,00

Sumber: SNI 1725:2016 Hal.41

c. Gaya Rem

Nilai untuk gaya ini perlu dipilih yang paling besar melalui:

- 25% dari bobor gandar truck desain atau,
- 5% dari bobot truck rancangan dengan tambahan BTR

2.4 Kekuatan Tanah Untuk Dasar Pondasi

Tanah mempunyai peranan krusial pada segala area dan lini kerja pembangunan. Menurut (Nakazawa 2000) Tanah adalah penopang alamiah pendukung konstruksi maupun rangka konstruksi itu sendiri sebagaimana benteng. Selain itu memungkinkan untuk menjadi titik awal penyebab

keberadaan gaya luar pada konstruksi, misalnya tembok/dinding yang menahan tanah. Rancangan pondasi menyesuaikan rangka tanah, jika tanah berstruktur heterogem maka perancangan pondasi menjadi lebih sukar.

(Joseph, 1982) memaparkan di mana tanah mempunyai karakteristik teknis dan fisik bervariasi. Karakteristiknya begitu bervariasi baik mengarah secara vertikal ataupun horizontal. Adapun karakteristik tanah yang krusial dalam kaitannya pada pondasi meliputi:

1. Indikator daya tahan di mana dikendalikan oleh tanah (kekakuan tegangan-regangan, kekakuan pergeseran, koefisien poisson, keterikatan, dan sudut koefisien gesek).
2. *Compressibility index* (distorsi/penurunan/*settlement*).
3. *Permeability* (perkolasi).

Data gravimetri dan volumetri (bobot per unit (*unit weight*), bobot per tipe, ruang pori tanah (*void ratio*), kadar air).

Berdasarkan (Wesley, 2012) (Wesley, 1972) tanah biasanya tersusun atas tiga komponen, yakni butir tanah, air, serta udara yang mengisi ruangan diantara butir tanah tersebut. Ruang yang berisi air dan udara tersebut adalah pori (*voids*). Saat pada kondisi kekeringan, pori tidak lagi terisi oleh air namun faktanya kondisi tersebut jarang dijumpai pada struktur tanah. Hal tersebut dikarenakan penghilangan air dari tanah hanya bisa terjadi jika diberikan perlakuan tertentu guna mencapainya, seperti pengeringan menggunakan oven. Guna menyelidiki daya tahan tanah, didasarkan pada sejumlah aspek yang meliputi:

- a. Level tebal dan dalamnya stratum bumi, misalnya stratum yang hendak dimanfaatkan untuk meletakkan pondasi.
- b. Tegang mekanik tanah (σ) yang diperbolehkan.
- c. Keadaan hidrologi tanah.

2.5 Aksi Lingkungan

a. Beban Angin

Hal ini perlu dianggap menyebar dengan distribusi seragam di permukaan yang terpapar angin. Lebar lokasi ang dikalkulasikan adalah keseluruhan bagian yang meliputi sistem alas serta *railing* di mana ditentukan perpendicular untuk vektor dan arah angin. Besaran tekanan angin rancangan bersatuan Mpa mampu dikalkulasikan menurut rumus di bawah (SNI 1725:2016 Hal.45)

$$V_{DZ} = 2,5 V_0 \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left(\frac{Z}{Z_0} \right) \dots \dots \dots (2.5)$$

$$P_D = P_B \left(\frac{V_{DZ}}{V_R} \right)^2 \text{ (ton)} \dots \dots \dots (2.6)$$

Keterangan:

V_{DZ} = velositas angin rancangan pada ketinggian rancangan, Z (km/jam)

V_B = velositas angin rancangan, di mana velositas 90–126km/jam untuk ketinggian 1000mm

P_B = nilai tekanan angin fundamental di mana diberikan untuk

b. Pengaruh Gempa

Dalam merencanakan jembatan, hal yang begitu krusial guna mengurangi risiko runtuh yang mungkin terjadi namun memungkinkan rusaknya serta terganggunya mobilitas karena gempa. Bobot gempa didapatkan melalui kalkulasi dengan rumus berikut (SNI 1725:2016 Hal:58)

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R_d} \times Wt \dots \dots \dots (2.7)$$

Momen inersia dinding penahan tanah.

$$I_c = \frac{1}{12} \times b \times h^3 \dots \dots \dots (2.8)$$

Modulus elasticity of concrete:

$$E_c = 4700 \times \sqrt{f'c} \dots \dots \dots (2.8)$$

Stiffness value:

$$K_p = E_c \times 3 \times \frac{I_c}{hbw^3} \dots \dots \dots (2.10)$$

Durasi getar alami struktur:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{Wtp}{g \times Kp}} \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan:

E_Q = gaya gempa yang bekerja secara horizontal tanpa gerakan (kN)

C_{sm} = *elastic earthquake response coefficient*

R_d = *response modification factors*

W_t = bobot keseluruhan pada rangka, yaitu berupa bobot mati serta bobot hidup yang relevan (kN)

Adapun C_{sm} yaitu sebagai berikut:

a. Dalam rentang di bawah T_0 , maka C_{sm} menggunakan persamaan

$$C_{sm} = (S_{DS} - A_s) \frac{T}{T_0} + A_s \dots\dots\dots(2.12)$$

b. Dalam rentang di atas (melebihi) atau bernilai sama seperti T_0 dan di bawah atau bernilai sama seperti T_s , respon spektra akselerasi, C_{sm} bernilai sama seperti S_{DS} .

c. Dalam rentang di atas T_s , maka C_{sm} menggunakan persamaan

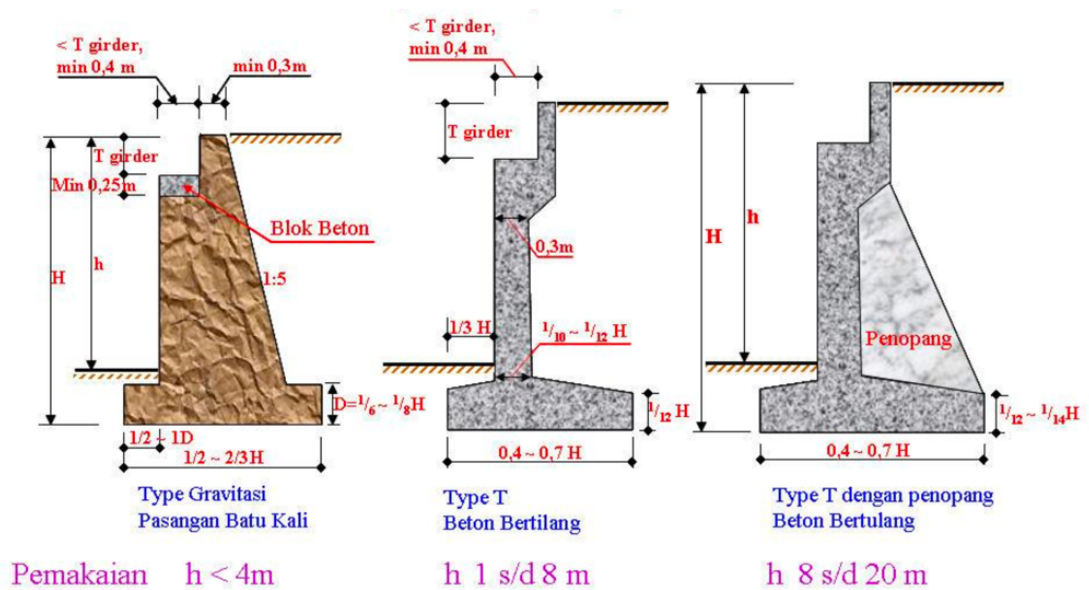
$$C_{sm} = \frac{SD1}{T} \dots\dots\dots(2.13)$$

d. Untuk menghitung deformasi struktur yang timbul karena dampak suhu

$$T_{ET} = \alpha \times \Delta T \times k \times L/2 \times n \dots\dots\dots(2.14)$$

2.6 Abutment Jembatan

Abutment berperan sebagai pemikul keseluruhan muatan yang terjadi pada pangkal luar batang, tepian, serta gaya yang lain dan meneruskannya pada pondasi. Ketika persyaratan keamanan tidak terpenuhi maka harus merencanakan pondasi dalam. Tahap awal yang perlu ditempuh yakni menetapkan volume kepala jembatan dengan dasar Perencanaan Jembatan oleh Direktorat Jembatan serta Direktorat Jenderal Bina Marga sebagaimana dilampirkan dalam **Gambar 2.4** sementara terkait ukuran kepala jembatan berpedoman dalam **Tabel 2.5**



Gambar 2. 4 Perencanaan Dimensi Abutment

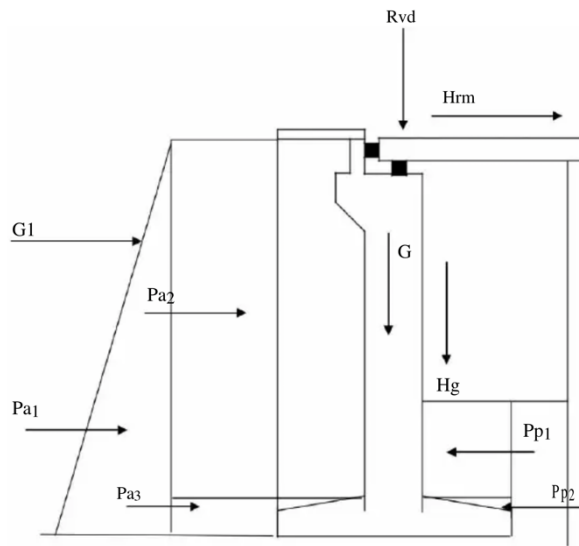
Sumber: Direktorat jembatan dan Direktorat Jendral Bina Marga

Tabel 2. 5 Tinggi Pemakaian Abutment untuk berbagai bentuk

Tipe kepala Jembatan	Tinggi Penggunaan (m)					
	0	5	10	15	20	25
Jenis berpenopang					8	
Wujud T terbalik					12	
Jenis Semi Gravitasi					7	
Jenis Gravitasi					5	

Sumber: Sosrodarsono dan Nakazawa, 2000 "Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi", Hal.303

Pada perencanaan kepala jembatan, harus dilakukan perhitungan gaya-gaya dan beban yang mana bekerja di bagian tersebut.



Gambar 2. 5 Perhitungan gaya-gaya dan beban

Sumber: Supriadi & Muntohar, 2007 Hal.58

Keterangan:

P_{a1}, P_{a2}, P_{a3} = active compressive force of the soil at the back of abutment

P_{p1}, P_{p2} = pasive compressive force of the soil at the front of abutment

G = MS kepala jembatan

$G1$ = earthquake forces due to the upperstructure

H_g = friction force due to moving support

H_{rm} = brake force

R_{vd} = compressive force due to load from above

2.6.1 Gaya horizontal tanah

1. Beban Tekanan Tanah

Pada situasi normal, tekanan tanah belakang dan depan dari kepala jembatan bisa dikalkulasikan melalui rumus berikut:

- Tekanan Tanah Aktif

Muatan terjadi dalam elevasi $\frac{2}{3} H$

$$K_a = \left[\tan \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) \right]^2 \text{ atau } K_a = tg^2 \times \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \dots \dots \dots (2.15)$$

$$P_{a1} = K_a \times q \times h_1 \times L \dots \dots \dots (2.16)$$

$$P_{a2} = 0,5 \times \gamma \times H^2 \times K_a \times L \dots \dots \dots (2.17)$$

- Tekanan Tanah Pasif

Muatan terjadi dalam elevasi 2/3 H

$$K_p = \left[\tan \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) \right]^2 \text{ atau } K_p = tg^2 \times \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \dots \dots \dots (2.18)$$

$$P_p = 0,5 \times \gamma \times H^2 \times K_p \times L \dots \dots \dots (2.19)$$

- Tekanan Tanah Akibat Beban Lalu Lintas

Beban bekerja pada ketinggian 2/3 H

$$P_q = Q \times K_a \times H \times L \dots \dots \dots (2.20)$$

2. Tingkat Stabil Kepala Jembatan

Guna keperluan kontrol stabilisasi kepala jembatan terkait segi guling, geser, keganjilan, dan tegangan melalui pertimbangan pada situasi normal dan situasi gempa sebagaimana persamaan di bawah ini:

1. Syarat Aman terhadap Geser

Pemeriksaan keamanan kepala jembatan pada pergeseran bisa dianalisa melalui kalkulasi dengan rumus berikut ini (Hardiyatmo,2014:457):

$$SF = \frac{\sum V \cdot \tan^2 \varphi + c \cdot B}{\sum H} \geq FK \dots \dots \dots (2.21)$$

Catatan:

FK = *Safety Factor*

FK ≥ 1.5 (*normal situation*)

FK ≥ 1.2 (*earthquake situation*)

Tabel 2. 6 Rekapitulasi faktor keamanan untuk koefisien

Material	f
Stone masonry	0.6 – 0.75
Good quality hard stone	0.75
Gravel	0.5
Sand	0.4
Clay	0.3

Sumber: KP-02 perencanaan bendung, 1986

Fgs = *Stability against shear*

FK = 1.5 (*Security estimation*)

f = *Friction coefficient*

$$FK = \frac{\Sigma V \cdot \tan \phi^\circ}{\Sigma H} \geq FK$$

FK ≥ 1.5 (Komponen safety pada situasi normal)

FK ≥ 1.2 (Komponen safety pada situasi gempa)

$$= \frac{\Sigma V \cdot f}{\Sigma H}$$

2. Syarat Aman terhadap Guling

Pemeriksaan keamanan kepala jembatan pada penggulingan mampu dianalisis melalui kalkulasi dengan rumus berikut (Hardiyatmo, 2014: 457):

$$SF = \frac{\Sigma M_x}{\Sigma M_y} > FK \dots \dots \dots (2.22)$$

Catatan:

FK = *Safety factor*

FK ≥ 1.5 (*normal condition*)

FK ≥ 1.2 (*earthquake condition*)

3. Syarat Keamanan pada Keganjilan

Pemeriksaan keamanan terhadap keganjilan melalui persamaan:

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\Sigma M_x - \Sigma M_y}{\Sigma V} < \frac{B}{6} \dots \dots \dots (2.23)$$

4. Kontrol terhadap Tegangan

Pemeriksaan keamanan kepala jembatan melalui penggunaan rumus berikut (Hardiyatmo, 2014: 458):

$$\sigma = \frac{\Sigma V}{B \cdot L} - \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right) \leq Q_{ijin} \dots \dots \dots (2.24)$$

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

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

2.7 Penulangan *Abutment*

Kalkulasi terkait batasan perlindungan dan penguatan kepala jembatan ditempuh melalui penggunaan persamaan sebagaimana kalkulasi penguatan pada struktur, yakni (Santoso,2009:16-17):

$$\rho_b = \left(\frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \right) \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \dots \dots \dots (2.25)$$

$$\rho_{max} = 0.75 \times \rho_{bln} \dots \dots \dots (2.26)$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \dots \dots \dots (2.27)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} \dots \dots \dots (2.28)$$

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} \dots \dots \dots (2.29)$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} \dots \dots \dots (2.30)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left\{ 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y} \right)} \right\} \dots \dots \dots (2.31)$$

$$\text{Reinforcement area: } A_s = \rho_{min} \times b \times d \dots \dots \dots (2.32)$$

$$\text{Tulangan bagi: } A_s \text{ bagi} = 20\% \times A_{Spokok} \dots \dots \dots (2.33)$$

- *Shear Reinforcement Control*

$$V_c = \left(\frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \right) \times b \times d \dots \dots \dots (2.34)$$

$$\Phi \times V_c < V_u < 3 \times \phi \times V_c \dots \dots \dots (2.35)$$

$$V_{S \text{ need}} = \frac{V_u - \Phi \cdot V_c}{\phi} \dots \dots \dots (2.36)$$

$$A_v = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \dots \dots \dots (2.37)$$

$$S = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \dots \dots \dots (2.38)$$

- *Maximum Stirrup Distance of Shear Reinforcement*

$$S_{maks} = \frac{d}{2} \dots \dots \dots (2.39)$$

$$V_{S \text{ avail}} = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{S} \dots \dots \dots (2.40)$$

Syarat: $V_s \text{ avail} > V_s \text{ need} \rightarrow \text{aman}$

2.8 Daya Dukung Tiang

Bored pile memiliki kapasitas penopang dan berasal oleh kapasitas dukungan pangkal (*end bearing capacity*), di mana didapatkan melalui tekaan

di pangkal tiang serta kapasitas dukung bergeser ataupun selimut (*friction bearing capacity*) di mana didapatkan melalui dukung gesekan maupun gaya tarik menarik oleh *bored pile* pada tanah sekitar. Hal ini berkaitan langsung pada tanah guna membentuk daya dukung di mana mampumemikul serta memberi rasa aman bagi kerangka atas juga rasa nyaman untuk pengguna.

2.9.1 Daya Dukung Ijin Tiang

Hal ini memiliki pengaruh dari keadaan tanah serta daya tahan bahan tiang. Daya dukung pangkal tiang diamati dari kekuatan yang dimiliki meliputi daya kuat ijin tekanan serta tarikan.

a. Daya Dukung Ijin Tekan

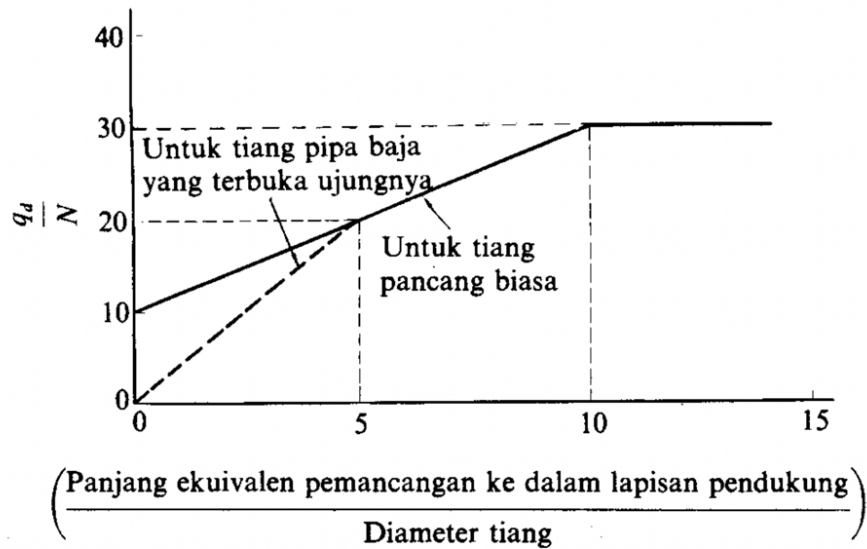
Melalui penggunaan teknik Mayerhof, analisis daya ini pada pondasi tiang melibatkan persamaan di bawah:

$$P_a = \frac{q_c \times A_p}{FK_1} + \frac{\sum l_i f_i \times A_{st}}{FK_2} \dots \dots \dots (2.41)$$

Keterangan:

- P_a = *bearing capacity of pile compression permit*
- Q_c = 20 N bagi lempung serta 40 N bagi pasir
- N = skor N-SPT
- A_p = *cross sectional area of the pole*
- A_{st} = *around the cross section of the pole*
- l_i = *length of the pile segment under consideration*
- f_i = *The shear force on the N pile segmnt blanket is a maximum of 12 ton/m² bagi lempung, N maximum 10 ton/m² bagi pasir*
- FK_1, FK_2 = *safety factor 3 and 5*

Guna meninjau skor q_c , skema kekuatan daya dukung tanah pangkal tiang dimanfaatkan melalui analisa korelasi L/D serta q_c/N dalam **Gambar 2.7.**



Gambar 2. 6 Skema Kekuatan Daya Dukung Tanah Pangkal Tiang

(Sumber: Sosrodarsono & Nakazawa, 2000:101)

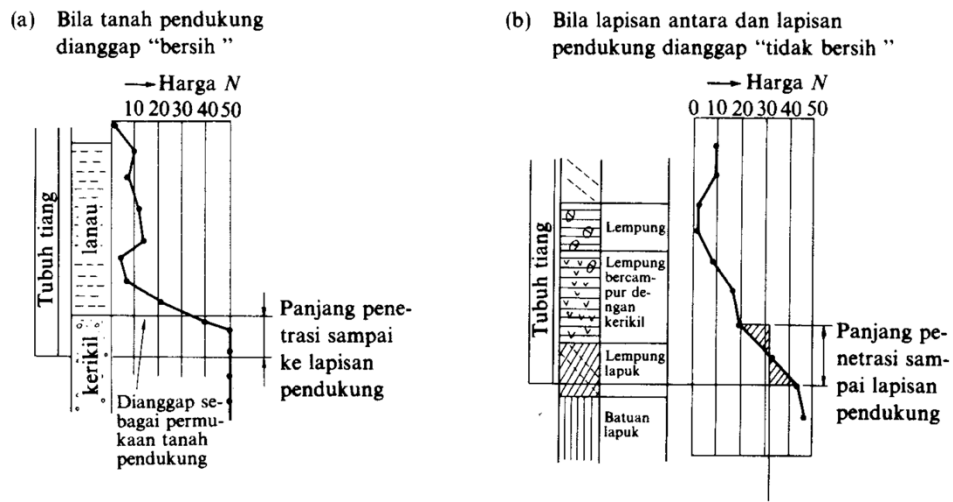
Dalam **Gambar 2.8** memaparkan mengenai L di mana merupakan panjang ekuivalen penetrasi di mana terdapat di stratum tanah pendukung serta D merupakan diameter tiang pondasi. \bar{N} yaitu skor rerata pangkal tiang di mana didapatkan melalui persamaan:

$$\bar{N} = \frac{N^1 + N^2}{2} \dots \dots \dots (2.42)$$

Dengan,

N_1 = *N value of pole tip*

N_2 = *Average value of N in 4D from the pole tip*



Gambar 2. 7 Menentukan Panjang Ekuivalen Penetrasi sampai ke Lapisan Pendukung

(Sumber: Sosrodarsono & Nakazawa, 2000:101)

Dimana :

- (1) Harga N pada tanah pondasi di pangkal tiang didapatkan melalui:

$$\bar{N} = \frac{N_1 + \bar{N}_2}{2} \quad (\bar{N} \leq 40)$$

N_1 : N value of pole tip

\bar{N}_2 : Average value of N in 4D from the pole tip

- (2) Interval dari lokasi yangmana sejumlah area sebagaimana skema persebaran N value dari tanah pondasi serta garis N yang ditunjukkan melalui arsiran merupakan bagian serupa bagi pangkal tiang erta dinilai menjadi rentang penetrasi

(Notes) N value rancangan didapatkan melalui metode sebagaimana

(b)

(Nb) guna penentuan rentang ekuivalen penetrasi hingga substratum, hal ini tidak terbatas pada persebaran N value, melainkan tetapi pola dan konsistensi tanah untuk peta pengeboran yang perlu diperhatikan seksama guna pemilihan dari skema (a) atau (b) di atas

b. Daya Dukung Ijin Tarik

Hal ini ditelaah menurut data tahan tanah yang didasarkan pada informasi N-SPT melalui penggunaan teknik Mayerhof:

Keterangan:

$$P_{ta} = \left(\frac{\sum l_{fi} \times A_{st} \times 0,70}{FK2} \right) + W_p \dots \dots \dots (2.43)$$

$$A_{st} = \pi D \dots \dots \dots (2.44)$$

$$W_p = 24 \text{ kN/m}^3 \times \pi r^2 \times \text{Kedalaman Pondasi} \dots \dots \dots (2.45)$$

Catatan:

P_{ta} = *capacity and permit pulling of the pole*

W_p = *foundation weight*

2.9.2 Daya Dukung Horizontal

Dasar tiang terbagi dalam 2 (dua) jenis yang didasarkan pada permodelan ikat tutup (*pile cap*) dilampirkan dalam **Gambar 2. 9**.

- a. Tiang pangkal terjepit (*fixed end pile*)
- b. Tiang pangkal terbebas (*free and pile*)

- Tiang Pendek dan Tanah Kohesif

Hal ini dapat dikalkulasi melalui perhitungan menggunakan bersamaan di bawah ini:

$$H_u = 9 C_u D \left(L_p - \frac{3D}{2} \right) \dots \dots \dots (2.46)$$

$$M_{mx} = H_u \left(\frac{L_p}{2} - \frac{3D}{2} \right) \dots \dots \dots (2.47)$$

Di mana:

H_u = *bearing capacity of horizontal piles*

C_u = *kekuatan yang tidak terdrainase (kN/m²)*

D = *pile foundation diameter (m)*

L_p = *foundation depth (m)*

- Tiang Sedang

Untuk memperoleh hasil kalkulasi, dapat digunakan persamaan di bawah ini:

$$M_y = \frac{9}{4} C_u D g^2 - 9 C_u D_f \left(\frac{3D}{2} + \frac{f}{2} \right) \dots \dots \dots (2.48)$$

H_u value memungkinkan diperoleh melalui rumus

$$L_p = \frac{3D}{2} + f + g \dots\dots\dots(2.49)$$

- Tiang Panjang dengan Tanah Kohesif

Perhitungan memiliki syarat apabila $M_{max} > M_y$ selanjutnya dikalkulasi melalui persamaan di bawah ini sebagaimana **Gambar 2.9**.

$$H_u = \frac{2My}{\frac{3D}{2} + \frac{f}{2}} \dots\dots\dots(2.50)$$

$$f = \frac{H_u}{9c_u D} \dots\dots\dots(2.51)$$

$$c_u = k \times N \dots\dots\dots(2.52)$$

Di mana

H_u = bearing capacity of horizontal piles

c_u = kekuatan yang tidak terdrainase (kN/m^2)

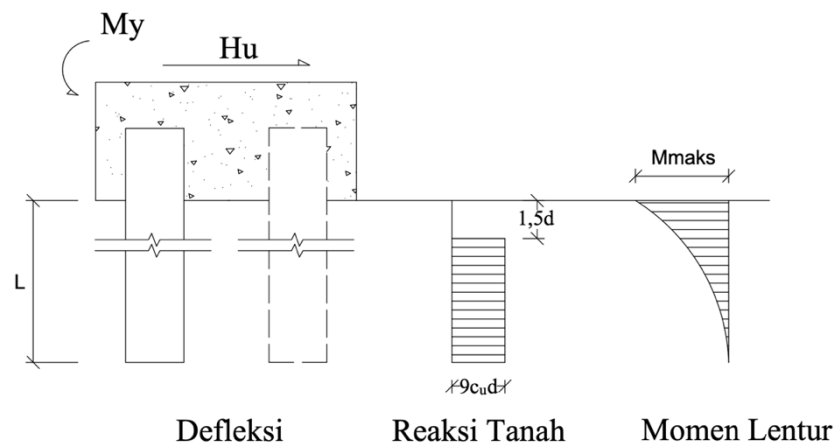
D = pile foundation diameter (m)

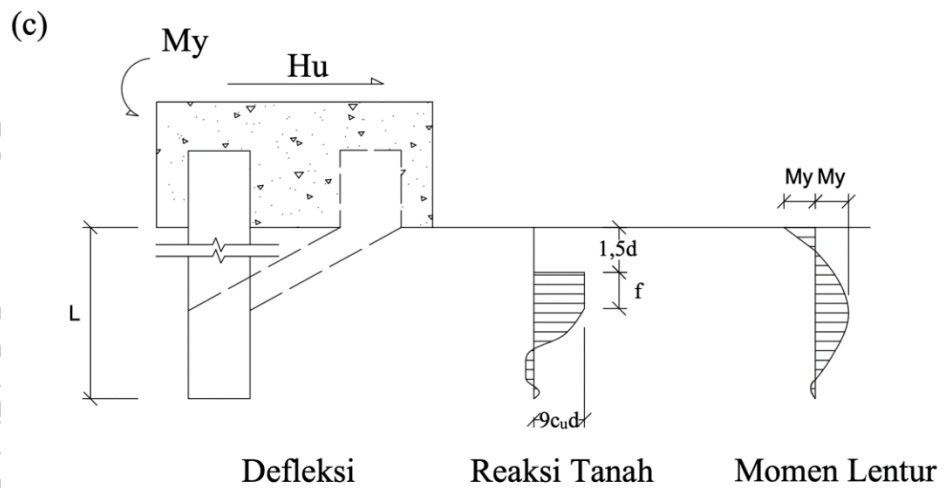
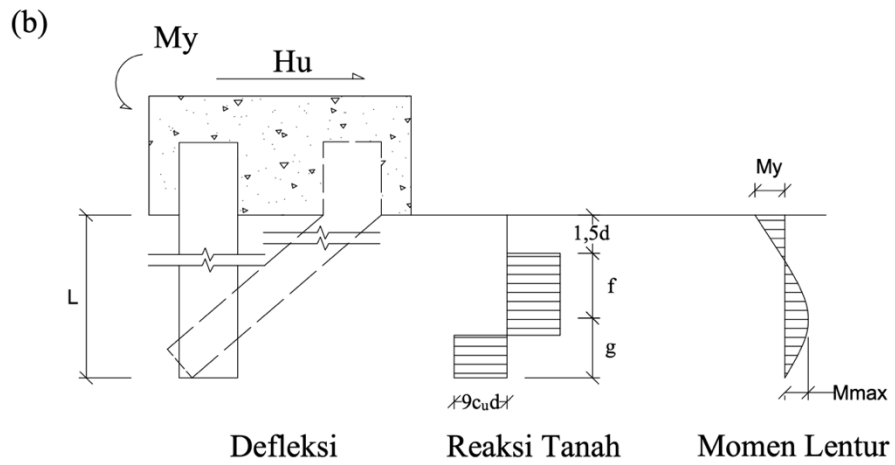
L_p = foundation depth (m)

k = 3,5–6,5 (kN/m^2)

N = skor N-SEPERTI

(a)





Gambar 2. 8 Tiang Ujung Jepit dalam Tanah Kohesif (a) Tiang Pendek
(b) Tiang Sedang

(Sumber: Pamungkas & Harianti, 2013: 61)

2.9.3 Total Tiang yang Diperlukan

Total tiang di mana diperlukan dalam hal ini dikalkulasi menggunakan:

$$np = \frac{p}{p_{all}} \dots\dots\dots(2.53)$$

Keterangan:

np = number of poles required

P = axial force occurs

P_{all} = allowable bearing capacity of the pile

2.9.4 Daya Dukung Ijin Kelompok Tiang

a. Efisiensi Tiang kelompok

Perhitungan dalam hal ini mampu diperoleh melalui sejumlah teknik, diantaranya:

1. Teknik Concers-Labarre

$$\eta = 1 - \frac{\theta}{90} \cdot \left\{ \frac{(n-1) \cdot m + (m-1) \cdot n}{m \cdot n} \right\} \dots\dots\dots(2.54)$$

dimana,

$$\theta = \text{arc tg } \frac{d}{s}$$

2. Teknik Los Angeles

$$\eta = 1 - \frac{D}{\pi \cdot s \cdot m \cdot n} \cdot [m \cdot (n - 1) + n \cdot (m - 1) + \sqrt{2} \cdot (m - 1)(n - 1)] \dots\dots(2.28)$$

3. Teknik Seiler-Keeney

$$\eta = \left\{ 1 - \left[\frac{11 \cdot d}{7(d^2 - 1)} \right] \left[\frac{m+n-2}{m+n-1} \right] \right\} + \frac{0,3}{m+n} \dots\dots\dots(2.55)$$

Di mana

η = *efficiency*

m = *number of colonnades*

n = *number of poles in one row*

d = *pole diameter*

s = *distance between poles*

Catatan:

$$S \leq \frac{1,57 \times D \times m \times n}{m+n-2} \dots\dots\dots(2.56)$$

b. Daya dukung ijin vertikal kelompok tiang

$$Q_u = \eta \times n \text{ pile} \times \text{pile bearing capacity} \dots\dots\dots(2.57)$$

2.9.5 Beban Maksimum Tiang Kelompok

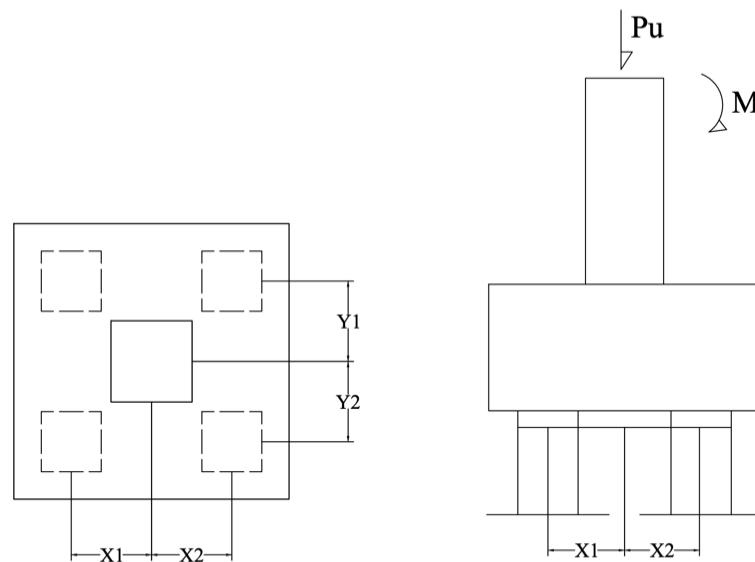
Dalam **Gambar 2.10** terkait muatan yang diberikan untuk ikatan penutup karena bobot muatan kerangka di atasnya serta diberi pengaruh

dari rangkaian tiang sebuah kelompok, sehingga tiang terkena tekanan ataupun tarikan. Sehingga diperlukan pengendalian guna menegaskan kemampuan ketahanan tiang pada muatan yang dibebankan.

$$P = \frac{P_u}{n_p} \pm \frac{M_y \times X_{max}}{n_{yx} \sum x^2} \pm \frac{M_x \times y_{max}}{n_{xy} \sum y^2} \dots\dots\dots(2.58)$$

Keterangan:

- P = maximum/minimum pile load
- P_u = axial force occurs
- M_y = moment that works in y direction
- M_x = moment that works in x direction
- Y_{max} = distance of the farthest y-axis direction pole
- X_{max} = distance of the farthest x-axis direction pole
- ΣX² = sum of X squares
- ΣY² = sum of Y squares
- n_x = number of poles in one row in the x-axis direction
- n_y = number of poles in one column in the axis
- n_{yp} = number of poles



Gambar 2. 9 *Beban yang Bekerja pada Pile Cap*
(Pamungkas. A, 2013;58)

2.9 Penurunan

Pengendalian untuk menurunkan pada perencanaan pondasi dimanfaatkan guna penentuan seberapa banyak jangka final sebuah kerangka menurun pada jangka waktu yang terjadi melalui penggunaan diagram yang dimuat **Gambar 2.11** dan **Gambar 2.12**.

$$S_t = S_i + S_c \dots \dots \dots (2.59)$$

Keterangan

S_t = Total settlement

S_i = Immediate settlement

S_c = Consolidation settlement

a. Penurunan segera

$$S_i = \frac{\mu_1 \cdot \mu_2 \cdot q \cdot B}{E} \dots \dots \dots (2.60)$$

b. Consolidation Settlement

$$S_c = \frac{\Delta e}{1 + e_0} H_c \dots \dots \dots (2.61)$$

$$S_c = H_c \cdot m_v \cdot \Delta p \dots \dots \dots (2.62)$$

$$C_c = 1,156 e_0 + 0,0107 \dots \dots \dots (2.63)$$

Keterangan:

H_c = cohesive layer thickness at the base of foundation

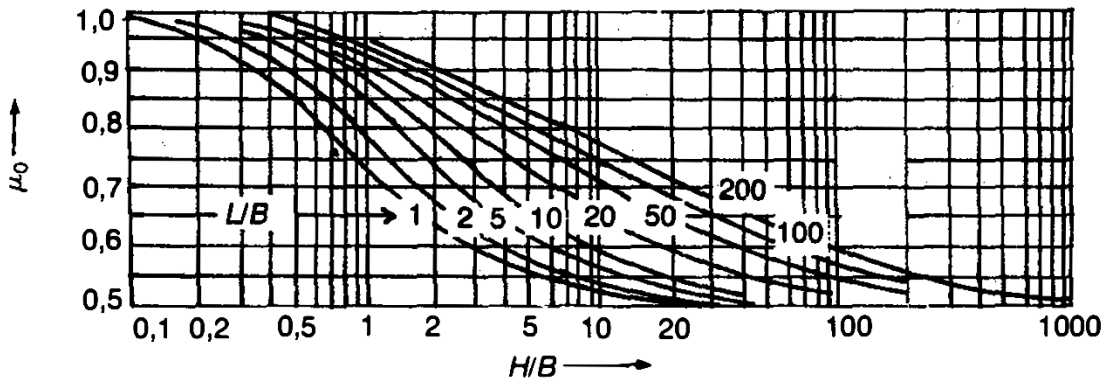
e_0 = pore number

C_c = compression index

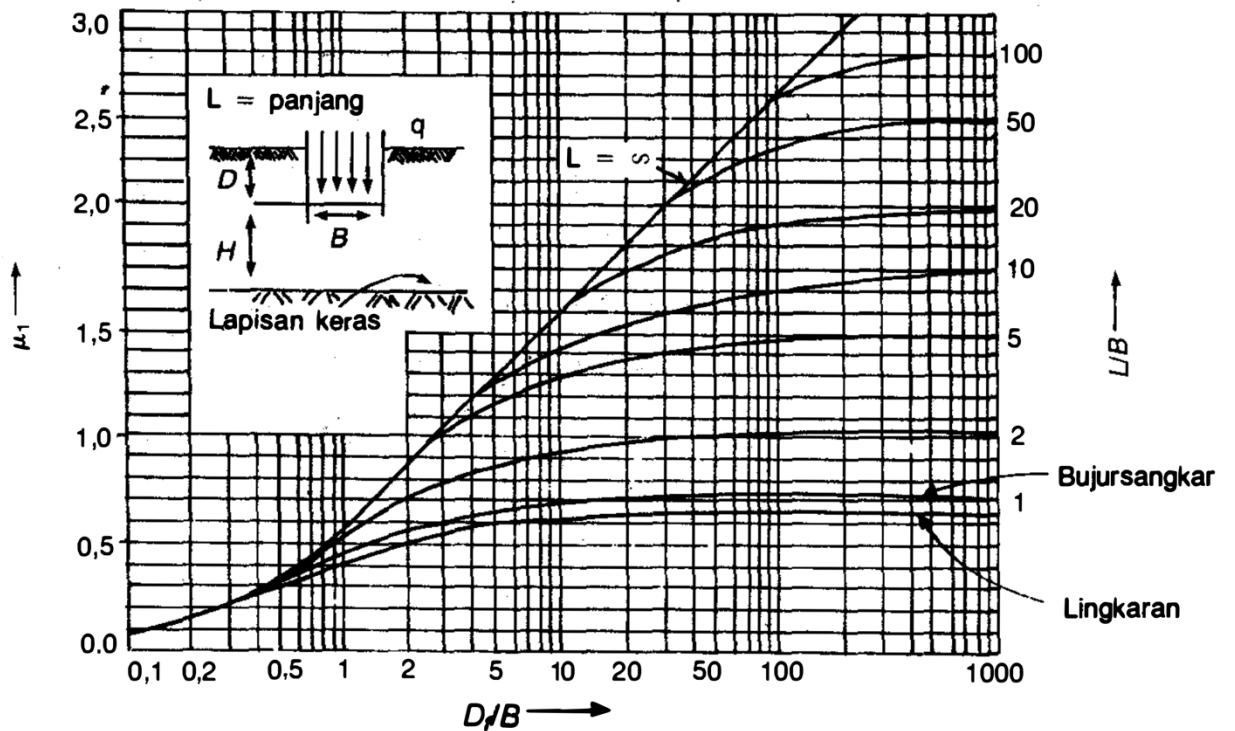
P_0 = effective stress

Δp = additional stress

m_v = coefficient change in volume



Gambar 2. 11 Grafik μ_0 , hubungan antara nilai (Df/B) dan (L/B)
(Sumber: Hardiyatmo, 1996:166)



Gambar 2. 10 Grafik μ_1 , hubungan antara nilai (Df/B) dan (L/B)
(Sumber: Hardiyatmo, 1996:166)

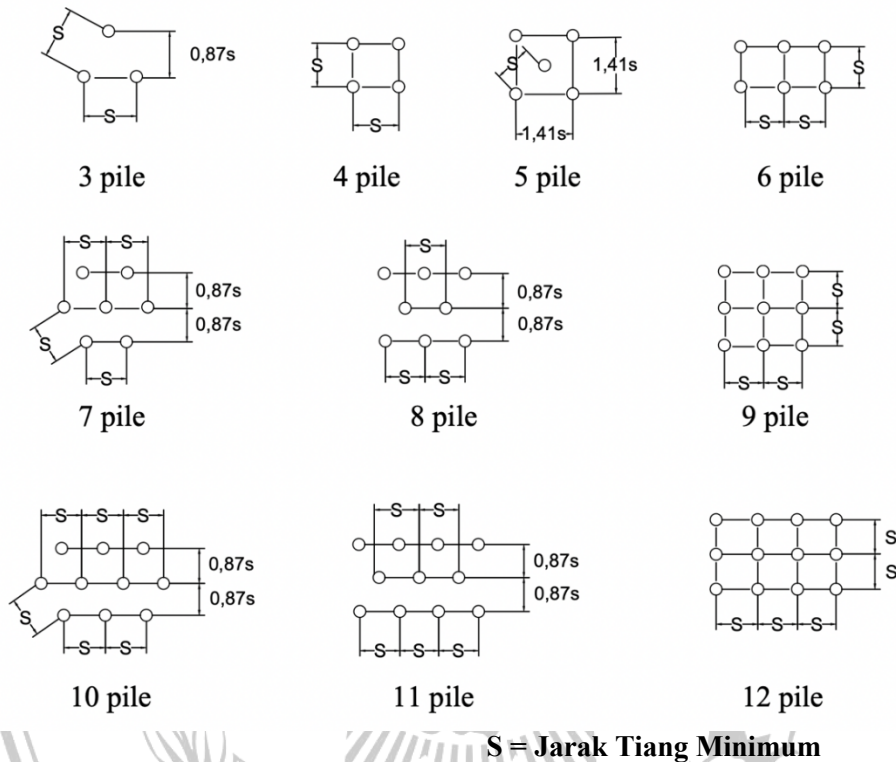
2.10 Pile Cap

Bagian ini umumnya terbentuk melalui beton polos dan tulang baja dengan tujuan untuk mengikat tiang agar bersatu serta untuk mendistribusikan bobot kolom pada tiang (Pamungkas dan Erni Harianti, 2013:87). Pembuatan rencana pada bagian ini ditempuh melalui persepsi di bawah ini:

- Pile cap begitu kaku.

- Pangkal teratas tiang bergantung di *pile cap*. Sehingga momentum elastisitas akibat *pile cap* pada tiang hilang.
- Tiang adalah kolom kecil dengan elastisitas baik. Sehingga, permukaan datar tercipta akibat tegangan serta distorsi terdistribusi.

Adapun tata letak *pile cap* dapat diamati melalui **Gambar 2.13**.



Gambar 2. 11 Susunan Pile Cap

(Sumber: Hardiyatmo, "Teknik Fondasi II" 2008:194)

a. Kontrol terhadap geser

1. Pengawasan Pada Pergeseran Yang Terjadi Satu Arah

2.1.10.1 Kekuatan yang disalurkan beton yaitu ketika pergeseran serta kelenturan yang berperan.

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f'_c} \times bw \times d \dots \dots \dots (2.64)$$

Gaya pergeseran nominal penampang dengan jarak sebesar d dari muka kolom perlu direncanakan bernilai lebih kecil ataupun serupa nilai dari kekuatan geser beton agar $V_n \leq V_c$ (SNI 03-2847-2002:87)

$$\frac{Vu}{\phi} \leq \frac{1}{6} \sqrt{f'c} \times bw \times d \dots \dots \dots (2.65)$$

2. Pengawasan Pada Pergeseran Yang Terjadi Dua Arah (SNI 03-2847-2002:89)

$$Vc = (1 + \frac{2}{\beta_0}) 2 \cdot \sqrt{f'c} \times bo \times d \dots \dots \dots (2.66)$$

3. Gaya geser nominal penampang (SNI 03-2847-2002:89)

$$\frac{Vu}{\phi} = Vn \leq Vc + Vs \leq 4 \times \sqrt{f'c} \times bw \times d \dots \dots \dots (2.67)$$

a. Penulangan Pile Cap

1. Lebar (b) dan Tinggi Efektif (d) Perencanaan Balok Persegi

$$K_{perlu} = \frac{Mu}{b \cdot d^2} \dots \dots \dots (2.68)$$

2. Perhitungan p_{min} , p_b , dan p_{max}

$$p_{min} = \frac{1,4}{f_y} \dots \dots \dots (2.69)$$

$$p_b = \left(\frac{0,85 \times \beta \times f'c}{f_y} \right) \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \dots \dots \dots (2.70)$$

$$p_{max} = 0,75 \times p_b \dots \dots \dots (2.71)$$

Jika skor $f'c \leq 30$ MPa sehingga skor β adalah 0,85

Jika skor $f'c \geq 30$ MPa sehingga skor β adalah $0,85 - 0,05 \left(\frac{f'c - 30}{7} \right)$

3. Perhitungan Rasio Tulangan yang Dibutuhkan (ρ)

$$P_{perlu} = \frac{1}{m} \left\{ 1 - \sqrt{\left(\frac{1 - 2 \cdot m \cdot Rn}{f_y} \right)} \right\} \dots \dots \dots (2.72)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'c} \dots \dots \dots (2.73)$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} \dots \dots \dots (2.74)$$

4. Perhitungan Luas Tulangan

$$As = \rho \times b \times d \dots \dots \dots (2.75)$$

$$As \text{ tulangan} = \frac{1}{4} \pi (\text{diameter tulangan}) \dots \dots \dots (2.76)$$

Di mana:

$$d = h - \text{selimut beton} - \varnothing_{sengkang} - \frac{1}{2} \varnothing_{tulangan}$$