BAB II
LANDASAN TEORI

2.1 Bagian Struktur Jembatan

Jembatan terbagi menjadi 3 bagian utama struktur, yaitu struktur atas (superstruktur), struktur bawah (substruktur) dan pondasi jembatan. Bangunan atas dan bangunan bawah saling menunjang satu sama lainnya dalam menahan beban dan meneruskannya ke tanah dasar melalui fondasi.

2.1.1 Struktur Atas (*Superstruktur*)

Struktur atas (*superstruktur*) adalah bagian dari jembatan yang langsung berhubungan dengan beban yang bekerja di atasnya yaitu kendaraan yang melewatinya.

1. Pelat Lantai Kendaraan

Pelat merupakan komponen struktur jembatan yang memikul langsung beban kendaraan pada sistem struktur jembatan. Beban yang bekerja pada pelat terdiri dari beban mati dan beban hidup kendaraan. Analisis struktur pelat dilakukan dengan memodelkan pelat sebagai elemen balok satu dimensi di atas banyak tumpuan pada arah transversal jembatan. Panjang bentang pelat ditetapkan berdasarkan spasi antar gelagar dengan tumpuan terletak berada di garis as gelagar.

2. Gelagar memanjang (girder)

Girder merupakan elemen struktur utama pada bagian atas jembatan yang berfungsi menahan dan menyalurkan beban dari pelat lantai kendaraan menuju struktur pendukung di bawahnya, seperti abutment. Dalam jembatan beton prategang, girder memegang peranan penting karena menjadi komponen utama yang dirancang untuk menahan beban mati, beban hidup, serta gaya-gaya tambahan lainnya selama masa layan struktur.

3. Gelagar melintang (diafragma)

Diafragma merupakan elemen yang ditempatkan pada elemen lain atau sistem superstruktur untuk mendistribusikan gaya-gaya serta untuk meningkatkan kekuatan dan kekakuan sistem jembatan. Perencanaan diafragma menggunakan simple beam, yaitu diafragma dianggap beban sendiri. Diafragma juga menahan

gaya tekan aksial yang disebabkan oleh beban angin dan beban gempa (Ma'arif, 2023)

2.1.2 Struktur Bawah (*Substruktur*)

Struktur bawah (*substruktur*) adalah mulai dari perletakan ke bagian bawah jembatan yaitu kepala dan pilar jembatan yang ditahan oleh fondasi. Bagian–bagian tersebut adalah bagian–bagian yang langsung berhubungan dengan tanah dasar sebagai penerus gaya gaya yang bekerja pada jembatan.

Struktur bawah jembatan adalah struktur yang berfungsi menyalurkan beban dari struktur atas termasuk beban lalu lintas ke tanah pendukung jembatan melalui fondasi.

1. Abutment

Abutment merupakan salah satu struktur bawah jembatan yang terletak di ujung dan pangkal jembatan. Abutment berfungsi untuk mendukung struktur atas dan sebagai transisi dari oprit ke lantai jembatan. Timbunan dari oprit dan badan jalan ditahan oleh dinding belakang sedangkan timbunan samping ditahan oleh dinding sayap.

Bagian-bagian abutment dapat dilihat sebagai berikut:

- Pelat Dasar/tumpuan *(Pile Cap)*, yang terdiri dari tumpuan muka dan tumpuan belakang
- Plat Tegak, Merupakan konstruksi tempat perletakan dari gelagar memanjang maupun melintang.
- Perletakan, merupakan bantalan yang berfungsi untuk mengurangi getaran yang terjadi pada gelagar akibat beban dan kendaraan yang bergerak.
- *Wing Wall*, berfungsi untuk melindungi bagian belakang abutment dari tekanan tanah yang bekerja.

2.1.3 Pondasi

Pondasi jembatan merupakan struktur paling bawah dari jembatan yang meneruskan beban dari struktur atas dan bawah jembatan ke tanah dibawahnya. fondasi ini memegang peranan yang utama terhadap kestabilan jembatan pada saat menerima beban mati, hidup dan aksi lingkungan, untuk itu pondasi tidak boleh turun, tergeser atau terguling.

2.2 Pengertian Pondasi

Pondasi adalah salah satu konstruksi bangunan yang terletak di bagian bawah sebuah konstruksi dimana pondasi mempunyai peran penting terhadap sebuah bangunan. Pondasi akan menanggung semua beban konstruksi atas ke lapisan tanah yang berada di bawahnya. Tegangan–tegangan tanah yang dihasilkan kecuali pada permukaan tanah merupakan tambahan kepada beban–beban yang sudah ada dalam massa tanah dari bobotnya sendiri. Pondasi sendiri dibagi menjadi dua tipe yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam (Vianca & Sari, 2023).

2.3 Klasifikasi Pondasi

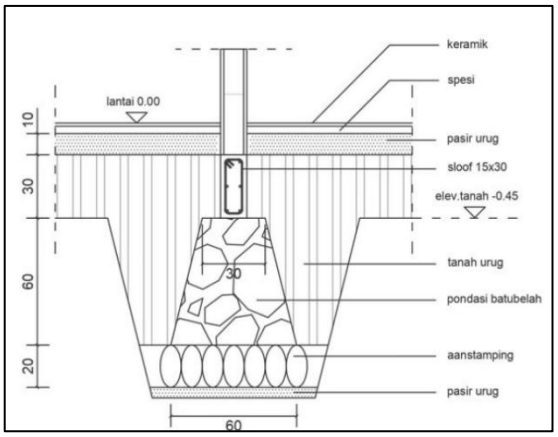
Pondasi adalah struktur bagian bawah bangunan yang berhubungan langsung dengan tanah dan suatu bagian dari konstruksi yang berfungsi menahan gaya beban diatasnya. Pondasi harus diperhitungkan agar menjamin kestabilan bangunan terhadap beratnya sendiri, beban-beban bangunan (beban isi bangunan), gaya-gaya luar seperti: tekanan angin, gempa bumi, dan lain-lain. Disamping itu, tidak boleh terjadi penurunan level melebihi batas yang diijinkan. Secara umum, pondasi dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu:

2.3.1 Pondasi Dangkal

Pondasi dangkal adalah pondasi yang tidak membutuhkan galian tanah terlalu dalam karena lapisan tanah pendukung sudah cukup keras dan beban yang diteruskan relatif tidak terlalu besar. Pondasi ini digunakan apabila lapisan tanah pada dasar pondasi yang mampu mendukung beban terletak pada kedalaman yang dangkal (berada *relative* dekat dengan permukaan tanah). Beberapa jenis pondasi dangkal meliputi antara lain:

1. Pondasi batu kali

Pondasi batu kali mempunyai kekuatan yang baik dengan harga yang murah, umumnya jenis ini banyak digunakan dalam membangun rumah. Pondasi batu kali umumnya mempunyai tinggi 60 – 80 cm dengan lebar bawahnya 60 – 80 cm sedangkan atasnya 25 – 30 cm dengan bentuk trapesium. Pondasi batu kali juga dapat digantikan dengan beton, namun pastikan kualitas beton paling tidak K-250 hingga K-300, dapat dilihat pada Gambar 2.1

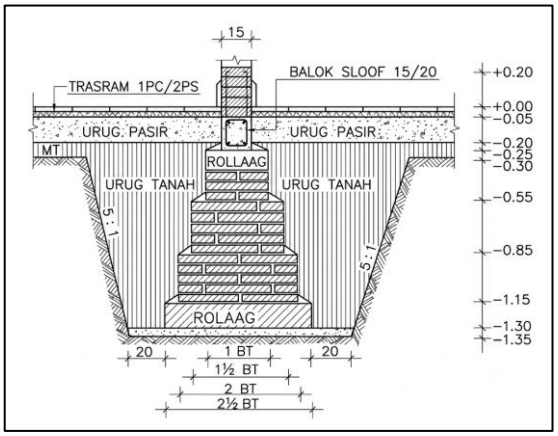


Gambar 2. 1 Pondasi Batu Kali

Sumber: https://rhdesainrumah.id/gambar-detail-pondasi-batu-kali/

2. Pondasi Rolag Bata

Jenis pondasi termasuk pondasi yang harganya mahal, karenanya pondasi rollag bata kini mulai ditinggalkan. Selain mahal, jenis pondasi ini juga membutuhkan waktu yang lebih lama dalam pembuatannya dan kekuatannya juga kurang baik. Sekarang ini, pondasi rollag bata diaplikasikan untuk menahan beban yang ringan seperti teras saja, dapat dilihat pada Gambar 2.2.



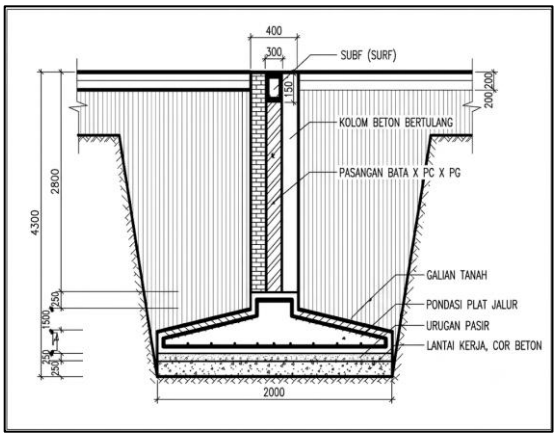
Gambar 2. 2 Pondasi Rolag Bata

Sumber: https://www.99.co/id/panduan/pondasi-rollag/

3. Pondasi Plat Beton Lajur

Pondasi plat beton lajur termasuk pondasi yang paling kuat karena seluruhnya terbuat dari beton bertulang. Selain itu dibandingkan pondasi batu kali, jenis ini juga membutuhkan biaya yang lebih murah. Pondasi plat beton lajur umumnya

mempunyai lebar dengan ukuran 70 cm, dapat dilihat pada Gambar 2.3 (Aisah et al., 2023).

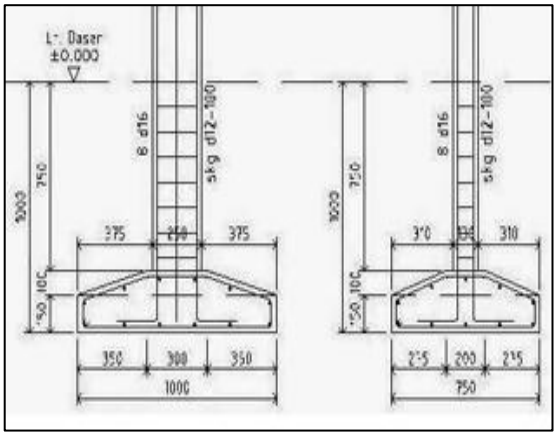


Gambar 2. 3 Pondasi Plat Beton Lajur

Sumber: https://www.asdar.id/pondasi-yang-tepat-untuk-digunakan-pada-rumah-2-lantai/

4. Pondasi Telapak

Pondasi yang berdiri sendiri dalam mendukung kolom atau pondasi yang mendukung bangunan secara langsung pada tanah bilamana terdapat lapisan tanah yang cukup tebal dengan kualitas baik yang mampu mendukung bangunan itu pada permukaan tanah atau sedikit dibawah permukaan tanah, dapat dilihat pada Gambar 2.4.

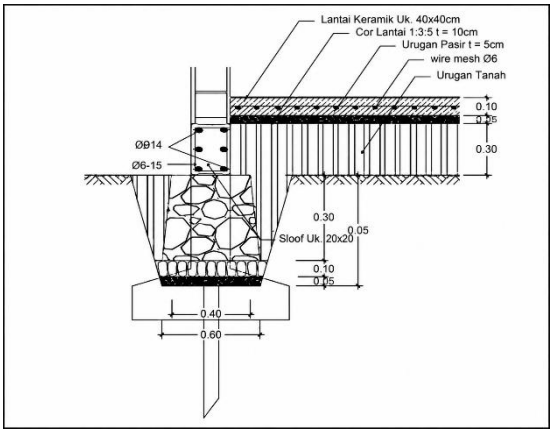


Gambar 2. 4 Pondasi Telapak

Sumber: (Putra et al., 2024)

5. Pondasi Menerus

Pondasi menerus merupakan pondasi yang digunakan untuk mendukung sederetan kolom yang berjarak dekat sehingga bila dipakai pondasi telapak sisinya akan terhimpit satu sama lainnya. Pondasi menerus biasanya dipakai dan diaplikasikan pada pondasi dinding, terutama digunakan pada bangunan atau rumah tinggal tidak beringkat, yang dimana beban bangunan secara keseluruhan ditopang oleh kolom dan diteruskan ketanah melalui pondasi menerus, dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Pondasi Menerus

Sumber: (Putra et al., 2024)

6. Pondasi Rakit

Merupakan pondasi yang digunakan untuk mendukung bangunan yang terletak pada tanah lunak atau digunakan bila susunan kolom-kolom jaraknya sedemikian dekat disemua arahnya, sehingga bila menggunakan pondasi telapak, sisi-sisinya berhimpit satu sama lainnya, Pondasi rakit digunakan apabila tanah memiliki daya dukung yang rendah atau ketika banyak kolom yang saling berdekatan sehingga apabila digunakan pondasi setapak maka akan saling bertabrakan. Desain dilakukan dengan mengibaratkan pondasi sebagai sebuah pelat terbalik. dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Pondasi Rakit

Sumber: https://menarasantosa.com/blog/10-jenis-pondasi-yang-kuat-dan-kokoh-untuk-bangungan/

2.3.2 Pondasi Dalam

Pondasi dalam merupakan pondasi yang kedalamannya 4 kali lebih besar dari lebar pondasinya (D>4B), digunakan bila tanah pondasi berada pada kedalaman yang sangat dalam. Pondasi dalam biasanya ditempatkan/dipasang pada kedalaman lebih dari 3m dibawah permukaan tanah. Tujuan utamanya yaitu untuk mentransfer beban kelapisan tanah yang lebih dalam untuk mentransfer beban kelapisan tanah yang lebih dalam untuk mencapai kedalaman tertentu agar mendapatkan jenis tanah yang dapat mendukung daya beban struktur sehingga jenis tanah yang kurang cocok dipermukaan dapat dihindari. Beberapa jenis pondasi dalam antara lain:

1. Pondasi sumuran

Pondasi sumuran adalah pondasi yang dibangun dengan menggali cerobong tanah berpenampang lingkaran dan dicor dengan beton atau campuran batu dan mortar. Pondasi sumuran sangat cocok digunakan pada tanah yang kurang baik, yang di mana lapisan tanahnya keras terletak pada kisaran kedalaman lebih dari 3m. Biasanya, diameter sumuran berkisar antara 0,80 – 1,00 m, dan dalam satu bangunan diameternya dapat bervariasi/berbeda karena di setiap kolom memiliki beban yang berbeda. Disebut pondasi sumuran, karena diambil dari cara pembuatannya yang di mana dalam pengerjaannya lubang-lubang digali menyerupai sumur hingga mencapai tanah keras atau stabil. Sumur-sumur ini dilengkapi dengan buis beton dengan ketebalan kurang dari 10 cm yang diberi pembesian. Dasar dari, dapat dilihat pada Gambar 2.7. (Putra et al., 2024).



Gambar 2. 7 Pondasi Sumuran

Sumber: Dokumentasi Dosen Pebimbing 2

2. Pondasi *Bore Pile*

Pondasi *bore pile* adalah suatu pondasi yang dibangun dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu, baru kemudian diisi dengan tulangan dan di cor. Dalam proses pelaksanaan pondasi ini melibatkan pengeboran lubang dengan menggunakan alat khusus sehingga mencapai kedalaman yang dibutuhkan. Setelah mencapai kedalaman yang dibutuhkan, tulangan besi pondasi yang telah dirakit sebelumnya dimasukkan kedalam lubang, lalu dilakukan pengecoran pada lubang yang di bor tersebut. Kemudian dalam proses penggangkatan *cassing* dan tulangan besi dibantu dengan menggunakan alat khusus, dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Pondasi *Bore Pile*

Sumber: Dokumentasi Penulis

3. Pondasi Tiang Pancang

Pondasi tiang pancang adalah bagian dari suatu konstruksi pondasi yang terbuat dari kayu, beton dan baja yang berbentuk langsing yang dipancang hingga tertanam dalam tanah pada kedalaman tertentu berfungsi untuk menyalurkan atau mentransmisikan beban dari struktur atas melewati tanah lunak ke lapisan tanah yang keras. Tiang pancang memiliki bentuk panjang dan langsing yang menyalurkan beban ke tanah yang lebih dalam. Material yang digunakan untuk pembuatan tiang pancang meliputi kayu, baja, dan beton. Tiang pancang di desain sedemikian rupa agar mampu menahan gaya vertikal dari struktur atasnya, dan menyalurkannya melalui sumbu tiang pancang ke lapisan tanah di bawahnya. Seluruh beban dari bangunan dan seluruh isinya juga akan disalurkan ke lapisan tanah yang keras melalui tiang pancang. Selain itu, tiang pancang juga berfungsi untuk menahan gaya lateral yang sulit ditentukan arahnya pada bangunan seperti yang timbul akibat gempa bumi dan angin, dapat dilihat pada Gambar 2.9. (Putra et al., 2024).



Gambar 2. 9 Pondasi Tiang Pancang

Sumber: https://sobatbangun.com/artikel/pondasi-tiang-pancang/

2.4 Pondasi *Bore Pile*

2.4.1 Pengertian Pondasi *Bore Pile*

Pondasi *bore pile* adalah salah satu jenis dari berbagai macam bentuk jenis dan pondasi dalam dengan memiliki bentuk seperti tabung yang terdiri dari campuran beton bertulang dengan dimensi diameter tertentu yang dipasang didalam tanah dengan menggunakan metode pengeboran terkini sampai Panjang kedalam dengan tingkat kekerasan daya dukung tanah yang diperlukan untuk sesuatu konstruksi

bangunan. (Silaen et al., 2022) Pondasi *bore pile* biasanya digunakan pada tanah yang stabil sehingga memungkinkan untuk melakukan pembentukan lubang dengan alat bor, apabila didapati kandungan air pada tanah maka dibutuhkan sebuah pipa besi atau yang disebut sebagai *cassing* untuk menahan dinding lubang agar tidak terjadi keruntuhan. Pondasi *bore pile* juga digunakan apabila di sekitar lokasi proyek pembangunan terdapat banyak bangunan atau berlokasi di dekat pemukiman padat penduduk seperti ditengah kota dan sebagainya, sebab pembuatan pondasi ini dilakukan dengan cara pengeboran pada tanah sehingga lebih meminimalisir getaran yang terjadi pada saat pengerjaan dan tentunya juga meminimalisir terjadinya kerusakan pada bangunan disekitar proyek pembangunan jika dibandingkan dengan pengerjaan pondasi tiang pancang.

Pondasi *Bore pile* menawarkan keuntungan signifikan dalam hal fleksibilitas desain, kemampuan menangani kondisi tanah yang sulit, dampak lingkungan yang minimal, efisiensi biaya operasional dan dukungan struktural yang kuat. Fondasi *bore pile* juga tidak menimbulkan gangguan suara dan getaran yang membahayakan bangunan di sekitarnya, lebih efisien karena dapat mengurangi kebutuhan beton dan tulangan pada *pile cap*nya, kedalamannya dapat mengikuti data lapangan, dan tidak ada risiko kenaikan muka tanah

2.4.2 Metode Dasar Pondasi *Bore Pile*

Ada tiga macam metode dasar untuk *bore pile*, yaitu:

1. *Dry method*

Dalam metode konvensional, tiang *bore pile* umumnya dibuat dengan cara memboring lubang di tanah menggunakan mesin bor, lalu lubang tersebut diisi dengan campuran beton segar atau *grout* untuk membentuk tiang. Namun, *"dry method"* mungkin mencakup penggunaan campuran beton pra-mencampur yang kering, di mana bahan bahan beton sudah dicampur sebelumnya di pabrik atau lokasi lain, dan kemudian dicurahkan atau dimasukkan ke dalam lubang tanah.

2. *Casing method*

Metode ini digunakan bila kondisi tanah mudah terjadi deformasi ke arah lubang galian, sehingga dapat menutup sebagian dari lubang. Cara ini juga digunakan bila menginginkan untuk menahan aliran air tanah ke dalam lubang, tetapi ujung *cassing* harus dapat mencapai tanah yang kedap *(impermeable)*.

3. *Slurry Method*

Metode ini dapat diaplikasikan pada semua situasi penggunaan *cassing*. *Slurry* di sini juga difungsikan untuk menahan air tanah yang dapat masuk ke dalam lubang. Perlu dicatat dalam metode ini, bahwa kecukupan *slurry* yang ditandai dengan elevasi *slurry* (harus ditambah bila kurang), atau dengan menambah densitinya agar dapat memperoleh kekuatan untuk menahan runtuhnya tanah ke dalam lubang bor (Sudjianto et al., 2024).

2.5 Kapasitas Dukung Pondasi Tiang *Bore Pile*

1. Berdasarkan rumus N-SPT

Berikut adalah metode untuk menghitung daya dukung berdasarkan data SPT menurut Reese dan Wright:

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (2.1)$$

dimana:

Q_u = Daya dukung *Ultimate* (ton)

Q_p = Daya dukung ujung tiang (ton)

Q_s = Daya dukung selimut tiang (ton)

2. Berdasarkan rumus CPT

Perhitungan daya dukung *ultimate* pondasi *bore pile* menurut metode mayerhoff (1956) dapat dilihat pada persamaan dibawah ini:

$$Q_{ult} = (qc \times Ap) + (JHL \times Kl) \quad (2.2)$$

dimana:

Qult = Kapasitas daya dukung.

qc = Tahanan ujung sondir.

Ap = Luas penampang tiang.

Kl = Jumlah hambatan lekat.

JHL = Keliling tiang.

Daya dukung ijin pondasi dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q_{ijin} = \frac{(qc \times Ap)}{3} + \frac{(JHL \times Kl)}{5} \quad (2.3)$$

dimana:

qc = Tahanan ujung sondir.

Ap = Luas penampang

JHL = Jumlah hambatan lekat.

Kl = Keliling tiang

3. Berdasaran Uji Laboratorium

Berikut adalah metode untuk menghitung daya dukung berdasarkan data uji laboratorium:

a. Pengujian triaksial

Berikut beberapa rumus yang digunakan dalam uji laboratorium untuk menentukan kapasitas dukung pondasi *bore pile*:

$$\sigma'_v = \sigma'_c + (\sigma'_1 - \sigma'_3) \quad (2.4)$$

dimana:

σ'v = Tekanan vertikal efektif

σ'c = Tekanan konsolidasi

σ'1 = Tekanan utama mayor

σ'3 = Tekanan utama minor

b. Pengujian geser langsung

$$\tau = c + \sigma'_n \text{ x } \tan(\emptyset) \quad (2.5)$$

dimana:

τ = Gesekan geser

c = Kohesi

σ'n = Tekanan normal efektif

Ø = Sudut geser dalam

2.5.1 Daya Dukung Ujung Tiang *Bore Pile* (Q_p)

1. Berdasarkan N-SPT

Daya dukung ujung pondasi *bore pile (end bearing)* (Qp) Berikut adalah metode untuk menghitung daya dukung berdasarkan data SPT menurut Reese dan Wright:

$$Q_P = A_P \text{ x } q_p \quad (2.6)$$

dimana:

Qp = Daya dukung ujung tiang (ton)

Ap = Luas penampang *bore pile*, ($m2$).

q_p = Tahanan ujung per satuan luas (ton/$m2$)

Untuk tanah Kohesif:

$$q_p = 9\ x\ C_u \quad (2.7)$$

dimana:

Cu = Kohesi tanah = 2 x NSPT x 10 = KN/$m2$

2. Berdasarkan rumus CPT

$$Q_c = C_u \cdot N_k \quad (2.8)$$

dimana:

Qc = Tahanan konus hasil pengujian CPT/sondir (kPa atau MPa)

Cu = Kuat geser undrained tanah kohesif (kPa)

Nk = Faktor cone factor atau faktor empiris konus

3. Berdasarkan uji laboratorium

Rumus untuk menentukan daya dukung ujung tiang berdasarkan hasil pengujian laboratorium dapat bervariasi tergantung pada jenis pengujian dan parameter tanah yang digunakan. Berikut contoh rumus berdasarkan pengujian triaksial:

$$Q_p = A_b \times \left(c' N_c + \sigma_v' N_q + 0{,}5\,\gamma\, B\, N_\gamma\right) \quad (2.9)$$

dimana:

Qp = Daya dukung ujung tiang

Ab = Luas penampang ujung tiang

c’ = Kohesi efektif

Nc, Nq, Nγ = Faktor daya dukung

σ'v = Tekanan vertikal efektif

γ = Berat volume tanah

B = Lebar atau diameter tiang

Rumus ini dapat digunakan untuk menentukan daya dukung ujung tiang berdasarkan hasil pengujian laboratorium. Namun, perlu diingat bahwa hasil pengujian laboratorium perlu dikorelasikan dengan kondisi lapangan untuk mendapatkan hasil yang akurat.

2.5.2 Daya Dukung Selimut Tiang *Bore Pile* (Q_s)

1. Berdasarkan rumus N-SPT

$$Q_s = f \times L_i \times p \quad (2.10)$$

dimana:

Qs = Daya dukung selimut tiang (ton)

f = Tahanan satuan skin friction, (ton/m2)

Li = Panjang lapisan tanah (m)

P = Keliling tiang (m)

Untuk tanah Kohesif:

$$f = \alpha \times C_u \quad (2.11)$$

dimana:

α = Faktor adhesi (menurut penelitian Reese & Wright 1977) = 0.55

Cu = Kohesi tanah (KN/$m2$)

Pada tanah non kohesif; N < 53 maka f = 0,32 N (ton/m2)

3 < N ≤ 100 maka f = dari koreksi langsung dengan $NSPT$

2. Berdasarkan rumus CPT

Sedangkan untuk mencari nilai tahanan selimut, dapat digunakan persamaan berikut:

$$Q_s = F_s \times A_s \quad (2.12)$$

$$F_s = K_f \times q_f \quad (2.13)$$

Bila tidak dilakukan pengukuran tahanan gesek sisi konus maka:

$$F_s = k_c \times q_c \quad (2.14)$$

dimana:

Q_s = Daya dukung selimut tiang (kg)

Fs = Tahanan gesek satuan (kg/cm^2)

Kf = Koef. Modifikasi tahanan gesek sisi konus

Kc = Koef. Modifikasi tahanan konus

qc = Rata–rata nilai qc pada 1d dibawah ujung tiang dan 4d diatasnya (kN/m2)

3. Berdasarkan laboratorium

$$Q_s = A_s \times f_s \quad (2.15)$$

dimana:

Qs = Daya dukung selimut

As = Luas permukaan tiang

F_s = Gesekan kulit *ultimate*

F_s dapat dihitung menggunakan rumus:

$$F_s = c'_a + \sigma'_n \tan(\delta) \quad (2.16)$$

c'a = Adhesi antara tanah dan tiang

σ'n = Tekanan normal efektif

δ = Sudut geser antara tanah dan tiang

Nilai F_s juga dapat diperoleh dari hasil pengujian geser langsung atau pengujian CPT *(Cone Penetratin Test)* skala kecil.

2.5.3 Daya Dukung *Ultimate*

Kapasitas Daya Dukung *ultimate* (Qu) *bore pile* dari hasil *Standard Penetration Test* (N-SPT) Metode Reese dan Wright dapat dilihat pada persamaan dibawah ini:

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (2.17)$$

dimana:

Qu = Daya dukung *Ultimate* (ton)

Qp = Daya dukung ujung tiang (ton)

Qs = Daya dukung selimut tiang (ton)

2.5.4 Daya Dukung *Allowable* (Izin)

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{SF} \quad (2.18)$$

dimana:

Q_{all} = Daya dukung yang diijinkan

Q_u = Daya dukung *Ultimate*

SF = Faktor keamanan

2.5.5 Kebutuhan Jumlah Tiang *Bore Pile* (np)

$$n_p = \frac{P}{Q_{all}} \quad (2.19)$$

dimana:

np = Kebutuhan jumlah tiang

p = Gaya aksial yang terjadi/berat total bangunan

Q_{all} = Daya dukung yang diijinkan

2.5.6 Jarak Antar Tiang Pondasi *Bore Pile*

Syarat spasi tiang (s)

$$2.5D < S < 3D \quad (2.20)$$

dimana:

S = Jarak spasi antar tiang dalam kelompok tiang

D = Dimensi/diameter tiang

2.5.7 Efisiensi Kelompok Tiang *Bore Pile* (Eg)

Persamaan untuk menghitung efisiensi kelompok tiang menurut *Conversi Labarre* adalah sebagai berikut:

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n-1)m+(m-1)}{90\ mn} \quad (2.21)$$

dimana:

Eg = Efisiensi kelompok tiang

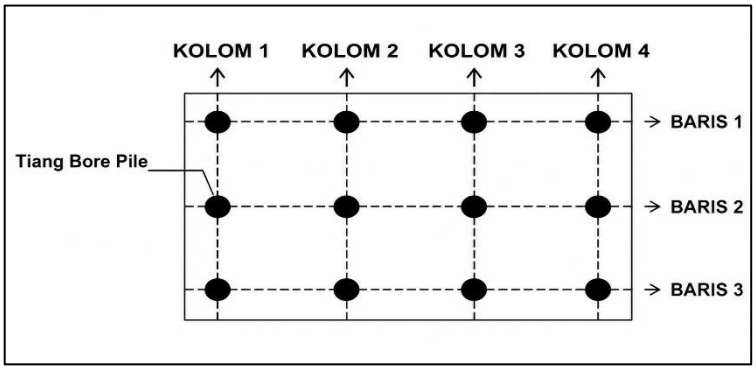
m = jumlah baris tiang

n’ = jumlah tiang dalam satu baris

s = jarak tiang

ɵ = Arc tg d/s, (dalam derajat)

d = diameter tiang



Gambar 2. 10 Baris Kelompok Tiang

Sumber: Data Proyek Jembatan Aie Dingin

2.5.8 Daya Dukung Kelompok Tiang *Bore Pile*

Pada beban maksimum daya dukung kelompok tiang dikalikan dengan efesiensi kelompok tiang dan jumlah tiang grup, seperti rumus di bawah ini:

$$Q_g = E_g \cdot n \cdot Q_u \quad (2.22)$$

dimana:

Qg = beban maksimum kelompok tiang yang mengingatkan keruntuhan

Eg = efesiensi kelompok tiang

n = jumlah tiang dalam kelompok

Qu = beban maksimum tiang tunggal.

2.5.9 Penulangan *Bore Pile*

Penulangan *bore pile* merupakan bagian dari perencanaan struktur pondasi yang bertujuan untuk memberikan kapasitas kekuatan yang memadai terhadap beban rencana. Perencanaan penulangan dilakukan berdasarkan hasil analisis pembebanan dan kapasitas daya dukung pondasi. Perhitungan penulangan meliputi penentuan kebutuhan tulangan longitudinal dan tulangan geser.

1. Tulangan Geser

Penulangan geser merupakan bagian dari perencanaan struktur beton bertulang yang berfungsi untuk membantu penampang dalam menahan gaya geser yang bekerja. Pada struktur *bore pile*, tulangan geser berupa tulangan transversal yang dipasang mengelilingi tulangan longitudinal. Tulangan tersebut berfungsi membantu menahan gaya geser, memberikan kekangan pada beton, serta menjaga kestabilan posisi tulangan utama.

Perencanaan tulangan geser dilakukan dengan mempertimbangkan besarnya gaya geser terfaktor Vu, kuat geser beton Vc, dan kontribusi kuat geser tulangan Vs. Berdasarkan SNI 2847:2019, kuat geser rencana harus memenuhi persyaratan berikut:

$$\phi Vn \leq Vu \tag{2.23}$$

Kuat geser nominal merupakan penjumlahan kontribusi beton dan tulangan geser, yang dinyatakan dengan persamaan:

$$Vn = Vc + Vs \tag{2.24}$$

dimana:

Vn = kuat geser nominal

Vc = kuat geser yang disumbangkan beton

Vs = kuat geser yang disumbangkan tulangan

Vu = gaya geser terfaktor

ϕ = faktor reduksi kekuatan

a. Kuat geser beton

Kuat geser beton merupakan kemampuan beton dalam menahan sebagian gaya geser yang bekerja pada penampang. Berdasarkan SNI 2847:2019, untuk kondisi

yang memenuhi persyaratan penggunaan persamaan sederhana, kuat geser beton dapat dihitung dengan persamaan:

$$Vc = 0.17.\ \lambda\sqrt{f'c}\ .\ bw.d \quad (2.25)$$

dimana:

Vc= nilai kuat tekan beton

λ = faktor modifikasi

f'c = Kuat tekan beton

bw= lebar penampang balok

d = tinggi efektif balok

b. Syarat dan kategori desain tulangan geser

Dalam proses desain, terdapat beberapa kategori yang digunakan dalam menentukan kebutuhan tulangan geser balok berdasarkan gaya geser *ultimate* yang diperoleh dari analisa struktur (ϕ = 0,75), yaitu:

Kategori-1: Bila Vu ≤ 0,5 ϕVc maka ketentuan yang digunakan:

Pada kategori ini, secara teoritis balok tidak memerlukan tulangan geser. Dengan kata lain, kekuatan yang dimiliki beton Vc sudah dianggap mampu untuk memikul beban geser *ultimate* (Vu) sehingga tulangan geser tidak perlu dipasang. Namun disarankan untuk balok dengan h ≥ 600 mm tetap menggunakan tulangan sengkang dengan luasan minimum, Avmin.

Kategori-2: Bila; 0,5ϕVc ≤ Vu ≤ ϕVc maka ketentuan yang digunakan:

Kondisi ini sesuai dengan SNI 2847-2019; Pasal 9.6.3.3; Hal-192 dan Pasal 9.7.6.2.2; Hal-202. Sehingga nilai Vs dan Av yang digunakan merupakan nilai minimal.

$$V_{s,min} = 0{,}062\sqrt{f_c'}\, b_w d \geq 0{,}35 b_w d \quad (2.26)$$

$$A_{v,min} = 0{,}062\sqrt{f_c'}\,\frac{b_w s}{f_{yt}} \geq \frac{0{,}35 b_w s}{f_{yt}} \quad (2.27)$$

Dengan spasi (s) maksimum tulangan geser

$$s \leq \frac{d}{2} \leq 600\,\text{mm} \quad (2.28)$$

Kategori-3: Bila; ϕVc ≤ Vu ≤ ϕ (Vc + Vs min)

Kuat geser Vs min

$$V_{s,min} = 0{,}062\sqrt{f_c'}\, b_w d \text{ atau } Vsmin = 0{,}35\, bwd \quad (2.29)$$

Luasan tulangan geser

$$A_{v,min} = 0{,}062\sqrt{f_c'}\ \frac{b_w s}{f_{yt}} \text{atau } A_{v,min} = \frac{0{,}35.b_w s}{f_{yt}} \quad (2.30)$$

Dengan spasi (s) maksimum tulangan geser

$$s \leq \frac{d}{2} \leq 600\,\text{mm} \quad (2.31)$$

Kategori-4: Bila; ϕ (Vc + Vs min) ≤ Vu ≤ ϕ (Vc + ⅓ $\sqrt{f_c'}\ b_w\ d$)

Nilai gaya geser tulangan

$$V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} \quad (2.32)$$

Luasan tulangan geser

$$A_v = \frac{V_s \cdot s}{f_{yt} \cdot d} \quad (2.33)$$

Dengan spasi (s) maksimum tulangan geser

$$s \leq \frac{d}{2} \leq 600\,\text{mm} \quad (2.34)$$

Kategori-5: Bila; ϕ (Vc + ⅓ $\sqrt{f_c'}\ b_w\ d$) ≤ Vu ≤ ϕ (Vc + ⅔ $\sqrt{f_c'}\ b_w\ d$)

Nilai gaya geser tulangan

$$V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} \quad (2.35)$$

Luasan tulangan geser

$$A_v = \frac{V_s \cdot s}{f_{yt} \cdot d} \quad (2.36)$$

Dengan spasi (s) maksimum tulangan geser

$$s \leq \frac{d}{4} \leq 300\,\text{mm} \quad (2.37)$$

2. Tulangan Longitudinal

Tulangan longitudinal merupakan tulangan utama yang dipasang sejajar dengan sumbu memanjang *bore pile*. Tulangan ini berfungsi untuk membantu beton dalam menahan gaya aksial dan momen lentur yang bekerja pada penampang tiang. Perencanaan tulangan longitudinal dilakukan dengan menentukan luas tulangan yang dibutuhkan berdasarkan luas penampang *bore pile* serta diameter tulangan baja yang digunakan.

Tahapan perencanaan tulangan longitudinal adalah sebagai berikut:

a. Menghitung As maksimum

Berdasarkan SNI Beton 2019, rasio tulangan longitudinal pada kolom beton bertulang harus memenuhi persyaratan luas tulangan minimum dan maksimum sebesar 1%–8% dari luas penampang bruto beton. Dalam perencanaan ini, rasio tulangan digunakan sebagai dasar untuk menentukan kebutuhan luas tulangan longitudinal terhadap luas penampang bruto *bore pile*.

Luas tulangan longitudinal maksimum dihitung menggunakan persamaan:

Asmaks = ρ x Ag (2.38)

dimana:

Asmaks = Luas tulangan longitudinal maksimum

ρ = Rasio tulangan longitudinal (%)

Ag = luas penampang bruto *bore pile*

b. Menghitung luas besi tulangan longitudinal

Setelah diperoleh luas tulangan longitudinal maksimum, selanjutnya dilakukan perhitungan luas penampang satu batang tulangan baja. Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui luas penampang tulangan berdasarkan diameter batang yang digunakan, sehingga dapat dijadikan dasar dalam menentukan jumlah tulangan longitudinal yang dibutuhkan.

Luas penampang satu batang tulangan dihitung menggunakan persamaan:

$$A_b = \frac{1}{4} \times \pi \times d_b^2 \quad (2.39)$$

dimana:

Ab = Luas penampang satu batang tulangan longitudinal

db = Diameter tulangan longitudinal

c. Jumlah tulangan yang dibutuhkan

Jumlah tulangan longitudinal ditentukan berdasarkan perbandingan antara luas tulangan yang direncanakan dengan luas penampang satu batang tulangan. Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui jumlah batang tulangan yang diperlukan agar luas tulangan yang dipasang dapat memenuhi kebutuhan perencanaan.

Jumlah tulangan longitudinal dihitung menggunakan persamaan:

$$n = \frac{As\ Maksimum}{Ab} \quad (2.40)$$

Dimana:

n = jumlah batang tulangan longitudinal

Ab = Luas penampang satu batang tulangan longitudinal

2.6 Penurunan Pondasi *Bore Pile*

Jika lapisan tanah dibebani, maka tanah akan mengalami regangan atau penurunan *(settlement)*. Regangan yang terjadi dalam tanah ini disebabkan oleh berubahnya susunan tanah maupun oleh pengurangan rongga pori atau air di dalam tanah tersebut.

2.6.1 Penurunan Pondasi Tiang Tunggal *Bore Pile*

1. Penurunan akibat deformasi tiang (S_s)

$$S_s = \frac{(Q_p + \alpha \cdot Q_s)\, L}{A_p\, E_p} \tag{2.41}$$

dimana:

S_s = Penurunan akibat deformasi *axial* tiang tunggal

Q_p = Daya dukung ujung tiang

α = 0,5 untuk distribusi gesekan seragam sepanjang tiang

Q_s = Daya dukung selimut tiang

L = Panjang tiang

A_P = Luas ujung tiang bawah

E_P = Modulus elastisitas material tiang

2. Penurunan akibat dari ujung tiang (S_p)

$$S_p = \frac{Q_p \cdot C_p}{D \cdot q_p} \tag{2.42}$$

Dimana:

S_p = Penurunan akibat beban pada ujung tiang

Q_p = Daya dukung ujung tiang

C_p = Koefisien empiris

D = Diameter tiang

q_p = Gaya aksial yang terjadi/berat total bangunan

Untuk nilai koefisien C_p (koefisien empiris), dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Nilai Koefisien C_p

Jenis Tanah	Tiang Pancang	Tiang Bor
Pasir	0,02 - 0,04	0,09 -0,18
Lempung	0,02 - 0,03	0,03 - 0,06
Lanau	0,03 - 0,05	0,09 - 0,12

3. Penurunan akibat beban disepanjang tiang (S_{ps})

$$S_{ps} = Q_s \cdot \frac{D}{p \cdot L \cdot E_s} \cdot (1 - \mu_s^2) \cdot I_{ws} \quad (2.43)$$

dimana:

S_{ps} = Penurunan akibat beban pada sepanjang tiang

Q_S = Daya dukung selimut tiang

D = Diameter tiang

p = Keliling penampang tiang

L = Panjang tiang

Es = Modulus Elastisitas tanah

μ_s = Angka poisson

I_{ws} = Faktor Pengaruh

$$I_{ws} = 2 + 0{,}35\sqrt{\frac{L}{D}} \quad (2.44)$$

Untuk nilai poisson rasio (μ), dapat dilihat pada Tabel 2.2

Tabel 2. 2 Angka Poisson (μ)

Jenis Tanah	m
Lempung Jenuh	0,4 - 0,5
Lempung tak jenuh	0,1 - 0,3
Lempung berpasir	0,2 - 0,3
Lanau	0,3 - 0,35
Pasir Padat	0,2 - 0,4
Pasir kasar (angka pori, e = 0,4 - 0,7)	0,15
Pasir halus (angka pori, e = 0,4 - 0,7)	0,25
Batu (tergantung dari jenisnya	0,1 - 0,4
Loose	0,1 - 0,3

Untuk nilai modulus elastisitas tanah dapat dilihat pada Tabel 2.3

Tabel 2. 3 Modulus Elastisitas Tanah

jenis Tanah	Es (Kn/m^2)
Lempung	
Sangat lunak	300 - 3000
Lunak	2000 - 4000
Sedang	4500 - 9000
Keras	7000 - 20000
Berpasir	30000 - 42500
Pasir	
Berlanau	5000 - 20000
Tidak padat	10000 - 25000
Padat	50000 - 100000
Pasir dan kerikil	
Padat	80000 - 200000
Tidak padat	50000 - 140000
Lanau	2000 - 20000
Loess	15000 - 60000
Serpih	140000 - 1400000

4. Penurunan total (S)

$$S = S_S + S_P + S_{pS} \quad (2.45)$$

Dimana:

S = Penurunan total pondasi tiang

S_S = Penurunan akibat deformasi axial tiang tunggal

S_p = Penurunan akibat beban pada ujung tiang

S_{ps} = Penurunan akibat beban pada sepanjang tiang

5. Penurunan yang diijinkan

$$S_{total} \leq S_{ijin} \quad (2.46)$$

$$S_{total} \leq 10\% \cdot D \quad (2.47)$$

Dimana:

D = Diameter tiang

2.6.2 Penurunan Pondasi Kelompok Tiang *Bore Pile*

1. Penurunan pondasi kelompok tiang (S_g)

$$S_g = S.\sqrt{\frac{B_g}{D}} \quad (2.48)$$

dimana:

S_g = Penurunan pondasi kelompok tiang

S = Penurunan total pondasi tiang tunggal (m)

B_g = Lebar kelompok tiang (m)

D = Diameter tiang (m)

2. Penurunan konsolidasi (S_c)

$$S_c = C_c \frac{H}{1+e_0} \cdot \log\left(\frac{P_0+\Delta P}{P_0}\right) \quad (2.49)$$

dimana:

S_c = Penurunan konsolidasi

C_c = Indeks kompresi tanah, tingkat kemampatan tanah lempung

H = Tebal lapisan tanah yang mengalami konsolidasi (m)

E_o = Angka pori awal (initial void ratio)

P_o = Tegangan efektif awal (overburden pressure) (kN/m²)

ΔP = Tambahan tegangan akibat beban vertikal (kN/m²)

Nilai dari ΔP

$$\Delta P = \frac{Q_g}{(B+z)(L+z)} \quad (2.50)$$

dimana:

ΔP = Tambahan tegangan vertikal pada kedalaman Z (kN/m²)

Q_g = beban total yang bekerja di permukaan (kN)

B = Lebar kelompok tiang (m)

Z = Kedalaman titik yang ditinjau dari dasar pondasi (m)

L = Panjang pondasi (m)

3. Penurunan tiang yang diizinan (S)

$$S = S_g + S_c \quad (2.51)$$

dimana:

S = Penurunan tiang yang diizinan

S_g = Penurunan pondasi tiang

S_c = Penurunan konsolidasi

2.7 Klasifikasi Jalan Pada Jembatan

Klasifikasi jalan merupakan pengelompokan jalan berdasarkan fungsi, status, kelas, serta karakteristik lalu lintasnya, yang bertujuan untuk menentukan standar perencanaan, pembebanan, dan pengelolaan jalan. Di Indonesia, klasifikasi jalan mengacu pada PP No. 34 Tahun 2006 tentang Jalan dan UU No. 38 Tahun 2004 tentang Jalan.

2.7.1 Klasifikasi Jalan Berdasarkan Fungsi

Klasifikasi ini didasarkan pada peranan jalan dalam sistem jaringan transportasi:

1. Jalan arteri

a. Jalan Ateri Primer

Jalan umum yang berfungsi melayani angkutan utama dengan ciri perjalanan jarak jauh, kecepatan rata-rata tinggi, dan jumlah jalan masuk dibatasi secara berdaya guna.

- Jalan arteri primer dalam kota merupakan terusan jalan arteri primer luar kota.
- Jalan arteri primer melalui atau menuju kawasan primer.
- Lebar badan jalan arteri primer minimal 8 meter
- Jalan arteri primer dirancang berdasarkan kecepatan rencana paling rendah 60 km/jam
- Lalu lintas jarak jauh pada jalan arteri primer adalah lalu-lintas regional. Untuk itu, lalu lintas tersebut tidak boleh terganggu oleh lalu lintas ulang alik, dan lalu lintas lokal, dari kegiatan lokal
- Kendaraan angkutan barang berat dan kendaraan umum bus dapat diizinkan melalui jalan ini.
- Jumlah jalan masuk ke jalan arteri primer dibatasi secara efisien. Jarak antar jalan masuk/akses langsung tidak boleh lebih pendek dari 500 meter.
- Persimpangan pada jalan arteri primer diatur dengan pengaturan tertentu yang sesuai dengan volume lalu lintasnya.
- Jalan arteri primer mempunyai kapasitas yang lebih besar dari volume lalu lintas rata-rata.
- Besarnya lalu lintas harian rata-rata pada umumnya lebih besar dari fungsi jalan yang lain

- Lokasi berhenti dan parkir pada badan jalan seharusnya tidak diizinkan
- Harus mempunyai perlengkapan jalan yang cukup seperti rambu, marka, lampu penerangan jalan, dan lain-lain.
- Jalur khusus seharusnya disediakan yang dapat digunakan untuk sepeda dan kendaraan lambat lainnya.
- Jalan arteri primer seharusnya dilengkapi dengan median

b. Jalan Arteri Sekunder

Jalan arteri sekunder merupakan jalan yang berfungsi melayani pergerakan lalu lintas pada kawasan perkotaan dengan karakteristik tertentu. Dalam perencanaannya, jalan arteri sekunder harus memenuhi beberapa persyaratan teknis agar mampu memberikan tingkat pelayanan yang baik serta menjamin keamanan dan kenyamanan pengguna jalan, di antaranya sebagai berikut:

- Jalan arteri sekunder dirancang berdasarkan kecepatan rencana paling rendah 30 km/jam
- Lebar badan jalan tidak kurang dari 8 meter
- Lalu lintas cepat pada jalan arteri sekunder tidak boleh terganggu oleh lalu lintas lambat
- Akses langsung dibatasi tidak boleh lebih pendek dari 250 meter
- Kendaraan angkutan barang ringan dan bus untuk pelayanan kota dapat diizinkan melalui jalan ini
- Persimpangan pada jalan arteri sekunder diatur dengan peraturan tertentu yang sesuai dengan volume lalu lintasnya.
- Jalan arteri sekunder mempunyai kapasitas sama atau lebih besar dari volume lalu lintas rata-rata
- Lokasi berhenti dan parkir pada badan jalan sangat dibatasi dan seharusnya tidak diizinkan pada jam sibuk
- Harus mempunyai perlengkapan jalan yang cukup seperti rambu, marka, lampu pengatur lalu lintas, lampu jalan dan lain-lain
- Besarnya lalu lintas harian rata-rata pada umumnya paling besar dari sistem sekunder yang lain
- Dianjurkan tersedianya jalur khusus yang dapat digunakan untuk sepeda dan kendaraan lambat lainnya

- Jarak selang dengan kelas jalan yang sejenis lebih besar dari jarak selang dengan kelas jalan yang lebih rendah

2. Jalan kolektor

Jalan umum yang berfungsi melayani angkutan pengumpul atau pembagi dengan ciri perjalanan jarak sedang, kecepatan rata-rata sedang, dan jumlah jalan masuk dibatasi.

a. Jalan kolektor primer

Jalan kolektor primer merupakan jaringan jalan yang berfungsi menghubungkan pusat kegiatan nasional dengan pusat kegiatan lokal serta menghubungkan antarpusat kegiatan wilayah.

- Jalan kolektor primer dalam kota merupakan terusan jalan kolektor primer luar kota.
- Jalan kolektor primer melalui atau menuju kawasan primer atau jalan arteri primer.
- Jalan kolektor primer dirancang berdasarkan kecepatan rencana paling rendah 40 (empat puluh) km per jam.
- Lebar badan jalan kolektor primer tidak kurang dari 7 meter
- Jumlah jalan masuk ke jalan kolektor primer dibatasi secara efisien. Jarak antar jalan masuk/akses langsung tidak boleh lebih pendek dari 400 meter.
- Kendaraan angkutan barang berat dan bus dapat diizinkan melalui jalan ini.
- Persimpangan pada jalan kolektor primer diatur dengan pengaturan tertentu yang sesuai dengan volume lalu lintasnya.
- Jalan kolektor primer mempunyai kapasitas yang sama atau lebih besar dari volume lalu lintas rata-rata.
- Lokasi parkir pada badan jalan sangat dibatasi dan seharusnya tidak diizinkan pada jam sibuk.
- Harus mempunyai perlengkapan jalan yang cukup seperti rambu, marka, lampu pengatur lalu lintas dan lampu penerangan jalan.
- Besarnya lalu lintas harian rata-rata pada umumnya lebih rendah dari jalan arteri primer.
- Dianjurkan tersedianya jalur khusus yang dapat digunakan untuk sepeda dan kendaraan lambat lainnya.

b. Jalan kolektor sekunder

Jalan kolektor sekunder merupakan jalan yang berfungsi mengumpulkan dan membagi arus lalu lintas dari jalan lokal menuju jalan arteri sekunder atau sebaliknya. Dalam perencanaannya, jalan kolektor sekunder harus memenuhi persyaratan teknis yang disesuaikan dengan fungsi pelayanan lalu lintasnya, antara lain sebagai berikut:

- Jalan kolektor sekunder dirancang berdasarkan kecepatan rencana paling rendah 20 km/jam
- Lebar badan jalan kolektor sekunder tidak kurang dari 7 meter
- Kendaraan angkutan barang berat tidak diizinkan melalui fungsi jalan ini di daerah pemukiman
- Lokas parkir pada badan jalan dibatasi
- Harus mempunyai perlengkapan jalan yang cukup
- Besarnya lalu lintas harian rata-rata pada umumnya lebih rendah dari sistem primer dan arteri sekunder

3. Jalan lokal

Jalan umum yang berfungsi melayani angkutan setempat dengan ciri perjalanan jarak dekat, kecepatan rata-rata rendah, dan jumlah jalan masuk tidak dibatasi.

a. Jalan Lokal Primer

Jalan lokal primer merupakan jalan yang berfungsi melayani angkutan setempat dalam jaringan jalan primer dengan jarak perjalanan yang relatif pendek. Jalan ini berperan menghubungkan kawasan-kawasan lokal dengan jalan kolektor primer maupun jalan arteri primer. Oleh karena itu, jalan lokal primer memiliki beberapa karakteristik dan persyaratan yang harus dipenuhi, yaitu sebagai berikut:

- Jalan lokal primer dalam kota merupakan terusan jalan lokal primer luar kota.
- Jalan lokal primer melalui atau menuju kawasan primer atau jalan primer lainnya.
- jalan lokal primer dirancang berdasarkan kecepatan rencana paling rendah 20 (dua puluh) km per jam.
- Kendaraan angkutan barang dan bus dapat diizinkan melalui jalan ini.
- Lebar badan jalan lokal primer tidak kurang dari 6 (enam) meter

- besarnya lalu lintas harian rata-rata pada umumnya paling rendah pada sistem primer.

b. Jalan Lokal Sekunder

Jalan lokal sekunder merupakan jalan yang berfungsi melayani angkutan setempat dalam jaringan jalan sekunder dengan karakteristik perjalanan jarak dekat dan kecepatan rendah. Jalan ini menghubungkan kawasan-kawasan di dalam wilayah perkotaan sehingga perencanaannya harus memenuhi persyaratan teknis sesuai dengan fungsi pelayanannya. Adapun persyaratan tersebut adalah sebagai berikut:

- Jalan lokal sekunder didesain berdasarkan kecepatan rencana paling rendah 10 km/jam
- Lebar badan jalan lokal sekunder tidak kurang dari 5 meter
- Kendaraan angkutan barang berat dan bus tidak diizinkan melalui fungsi jalan ini didaerah pemukiman
- Besarnya lalu lintas harian rata-rata pada umumnya paling rendah dibandingkan dengan fungsi jalan yang lain.

4. Jalan lingkungan

Jalan umum yang berfungsi melayani angkutan lingkungan dengan ciri perjalanan jarak dekat, dan kecepatan rata-rata rendah. Fungsi jalan dapat terganggu apabila adanya kerusakan pada jalan tersebut.

2.7.2 Klasifikasi Jalan Berdasarkan Status

Klasifikasi ini ditentukan berdasarkan kewenangan pengelolaan jalan:

1. Jalan nasional

Kelompok jalan nasional meliputi jalan arteri primer, jalan kolektor primer yang menghubungkan antar ibukota propinsi, dan jalan lain yang mempunyai nilai strategis terhadap kepentingan nasional. Penetapan status suatu jalan sebagai jalan nasional dilakukan dengan keputusan menteri

2. Jalan propinsi

Kelompok jalan propinsi meliputi:

a. Jalan kolektor primer yang menghubungkan ibukota propinsi dengan ibukota kabupaten/kotamadya

b. Jalan kolektor primer yang menghubungkan antar ibukota kabupaten/kota madya
c. Jalan lain yang mempunyai kepentingan strategis terhadap kepentingan propinsi
d. Jalan dalam daerah khusus ibukota Jakarta yang tidak termasuk jalan nasional

Penetapan status suatu jalan sebagai jalan propinsi dilakukan dengan keputusan Menteri dalam negeri atas usul pemerintah daerah tingkat I yang bersangkutan, dengan memperhatikan pendapat meteri.

3. Jalan kabupaten

Kelompok jalan kabupaten meliputi:

a. Jalan kolektor primer yang tidak termasuk jalan nasional dan jalan propinsi
b. Jalan lokal primer
c. Jalan sekunder dan jalan lain yang tidak termasuk dalam kelompok jalan nasional, jalan propinsi dan jalan kotamadya.

Penetapan status suatu jalan sebagai kabupaten dilakukan dengan keputusan gubernur kepala daerah tingkat I, atas usul pemerintah daerah tingkat II yang bersangkutan.

4. Jalan kota

Kelompok jalan kota adalah jaringan jalan sekunder di dalam kota. Penetapan status suatu jalan arteri sekunder dan ruas jalan kolektor sekunder sebagai jalan kota dilakukan dengan keputusan gubernur kepala daerah tingkat I atas usul pemerintah daerah kota yang bersangkutan.

Penetapan status suatu ruas jalan lokal sekunder sebagai jalan kota dilakukan dengan keputusan walikota daerah tingkat II yang bersangkutan

5. Jalan khusus

Kelompok jalan khusus adalah jalan yang dibangun dan dipelihara oleh instalasi/badan hukum/perorangan untuk melayani kepentingan masing-masing.

Penetapan status suatu ruas jalan khusus dilakukan oleh instasi/badan hukum/perorangan yang memiliki ruas jalan khusus tersebut dengan memperhatikan pedoman yang ditetapkan oleh mentri pekerjaan umum.

2.7.3 Klasifikasi Jalan Berdasarkan Kelas Jalan

Klasifikasi ini berkaitan dengan kemampuan jalan dalam menerima beban kendaraan:

1. Kelas I
2. Kelas II
3. Kelas III

Klasifikasi menurut kelas jalan berkaitan dengan kemampuan jalan untuk menerima beban lalu lintas dan dinyatakan dalam muatan sumbu terberat (MST) dalam satuan ton. Klasifikasi menurut kelas jalan dan ketentuannya serta kaitannya dengan klasifikasi menurut fungsi jalan dapat dilihat dalam tabel 2.4 berikut:

Tabel 2. 4 Klasifikasi Jalan Menurut Kelas

Fungsi	Kelas	Muatan Sumbu Terberat (MST) Ton
Arteri	I	>10
	II	10
	IIIA	8
Kolektor	IIIA	8
	IIIB	8

2.8 Pembebanan Pada Jembatan

Pembebanan merupakan salah satu aspek utama dalam perencanaan jembatan karena berpengaruh langsung terhadap kekuatan, stabilitas, dan umur layan struktur. Pembebanan jembatan di Indonesia umumnya mengacu pada SNI 1725:2016 yang mengatur jenis beban, kombinasi beban, serta metode analisis.

Dalam perencanaan struktur jembatan, beban diklasifikasikan menjadi beberapa kelompok utama yaitu beban mati, beban hidup, serta beban lingkungan.

2.8.1 Beban Mati

Beban mati adalah beban yang terdiri dari berat masing-masing bagian struktural dan elemen elemen non-strukturalnya. Massa setiap bagian bangunan harus dihitung berdasarkan dimensi yang tertera dalam gambar dan berat jenis bahan yang digunakan. Berat dari bagian-bagian bangunan tersebut adalah massa dikalikan dengan percepatan gravitasi (g). Percepatan gravitasi yang digunakan dalam standar ini adalah 9,81 m/detik2.

Pengambilan kerapatan massa yang besar, aman untuk suatu keadaan batas akan tetapi tidak untuk keadaan yang lainnya. Untuk mengatasi hal tersebut dapat digunakan faktor beban terkurangi. Besarnya kerapatan massa dan berat isi untuk berbagai macam bahan diberikan dalam Tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Berat Isi Untuk Beban Mati

No.	Bahan	Berat isi (kN/m^3)	Kerapatan massa (kg/m^3)
1	Lapisan permukaan beraspal (*bituminous wearing surfaces*)	22,0	2245
2	Besi tuang (*cast iron*)	71,0	7240
3	Timbunan tanah dipadatkan (*compacted sand, silt or clay*)	17,2	1755
4	Kerikil dipadatkan (*rolled gravel, macadam or ballast*)	18,8-22,7	1920-2315
5	Beton aspal (*asphalt concrete*)	22,0	2245
6	Beton ringan (*low density*)	12,25-19,6	1250-2000
7	Beton $f'_c < 35$ MPa	22,0-25,0	2320
	$35 < f'_c < 105$ MPa	$22 + 0{,}022\ f'_c$	$2240 + 2{,}29\ f'_c$
8	Baja (*steel*)	78,5	7850
9	Kayu (ringan)	7,8	800
10	Kayu keras (*hard wood*)	11,0	1125

1. Berat sendiri

Berat sendiri adalah berat bagian tersebut dan elemen-elemen struktural lain yang dipikulnya, termasuk dalam hal ini adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen nonstruktural yang dianggap tetap. Adapun faktor beban yang digunakan untuk berat sendiri dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2. 6 Faktor Beban Untuk Berat Sendiri

Tipe beban	Faktor beban (γ_{MS})			
	Keadaan Batas Layan (γ^S_{MS})		Keadaan Batas Ultimit (γ^U_{MS})	
	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

2. Beban mati tambahan/utilitas (MA)

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen nonstruktural, dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan. Dalam hal tertentu, nilai faktor beban mati tambahan yang berbeda dengan ketentuan pada Tabel 2.7 boleh digunakan dengan persetujuan instansi yang berwenang. Hal ini bisa dilakukan apabila instansi tersebut melakukan pengawasan terhadap beban mati tambahan pada jembatan, sehingga tidak dilampaui selama umur jembatan.

Tabel 2. 7 Faktor Beban Untuk Beban Mati Tambahan

Tipe beban	Faktor beban (γ_{MA})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{MA}^{S})		Keadaan Batas Ultimit (γ_{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				

a. Ketebalan yang diizinkan untuk pelapisan kembali permukaan

Semua jembatan harus direncanakan untuk bisa memikul beban tambahan yang berupa aspal beton setebal 50 mm untuk pelapisan kembali di kemudian hari kecuali ditentukan lain oleh instansi yang berwenang. Lapisan ini harus ditambahkan pada lapisan permukaan yang tercantum dalam gambar rencana.

b. Sarana lain dijembatan

Pengaruh dari alat pelengkap dan sarana umum yang ditempatkan pada jembatan harus dihitung seakurat mungkin. Berat pipa untuk saluran air bersih, saluran air kotor dan lain lainnya harus ditinjau pada keadaan kosong dan penuh sehingga keadaan yang paling membahayakan dapat diperhitungkan.

2.8.2 Beban Hidup

Beban hidup adalah semua beban yang berasal berat kendaraan-kendaraan bergerak/lalu lintas dan pejalan kaki yang dianggap bekerja pada jembatan yang akan dirancang.

1. Beban lalu lintas

Beban lalu lintas untuk perencanaan jembatan terdiri atas beban lajur "D" dan beban truk "T". Beban lajur "D" bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan dan menimbulkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan suatu iring-iringan

kendaraan yang sebenarnya. Jumlah total beban lajur "D" yang bekerja tergantung pada lebar jalur kendaraan itu sendiri.

a. Beban lajur "D" (TD)

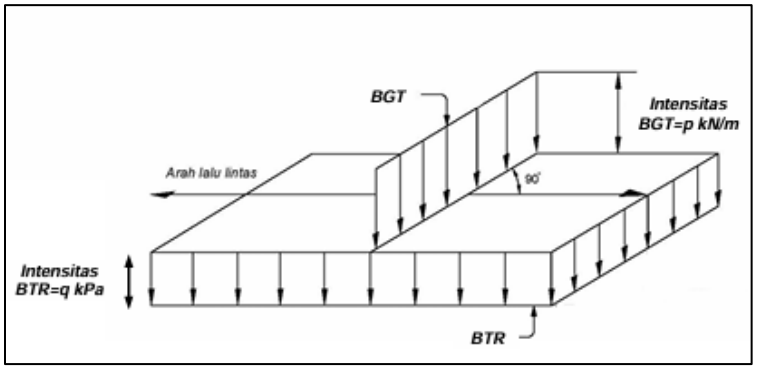
Secara umum, beban "D" akan menjadi beban penentu dalam perhitungan jembatan yang mempunyai bentang sedang sampai panjang, sedangkan beban "T" digunakan untuk bentang pendek dan lantai kendaraan. Dalam keadaan tertentu beban "D" yang nilainya telah diturunkan atau dinaikkan dapat digunakan.

Beban lajur "D" terdiri atas beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT) seperti terlihat dalam Gambar 2.11. Adapun faktor beban yang digunakan untuk beban lajur "D" seperti pada Tabel 2.8.

Tabel 2. 8 Faktor Beban Untuk Beban Lajur "D"

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

- Intensitas beban "D"



Gambar 2. 11 Beban Lajur "D"

Sumber: (Setiyarto & Jembatan, 2016)

Beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas q kPa dengan besaran q tergantung pada panjang total yang dibebani L yaitu seperti berikut:

Jika $L \leq 30$ m: $q = 9{,}0$ kPa (2.52)

Jika $L > 30$ m: $q = 9{,}0\left(0{,}5 + \frac{15}{L}\right)$ kPa (2.53)

dimana:

q = Intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan (kPa)

L = Panjang total jembatan yang dibebani (meter)

Beban garis terpusat (BGT) dengan intensitas p kN/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya intensitas p adalah 49,0 kN/m. Untuk mendapatkan momen lentur negatif maksimum pada jembatan menerus, BGT kedua yang identik harus ditempatkan pada posisi dalam arah melintang jembatan pada bentang lainnya.

- Distribusi beban "D"

Beban "D" harus disusun pada arah melintang sedemikian rupa sehingga menimbulkan momen maksimum. Penyusunan komponen-komponen BTR dan BGT dari beban "D" secara umum dapat dilihat pada Gambar 2.12. Beban Truk "T" (TT)

b. Beban Truk "T" (TT)

Beban truk "T" adalah satu kendaraan berat dengan 3 gandar yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu lintas rencana. Tiap gandar terdiri atas dua bidang kontak pembebanan yang dimaksud sebagai simulasi pengaruh roda kendaraan berat. Hanya satu truk "T" diterapkan per lajur lalu lintas rencana.

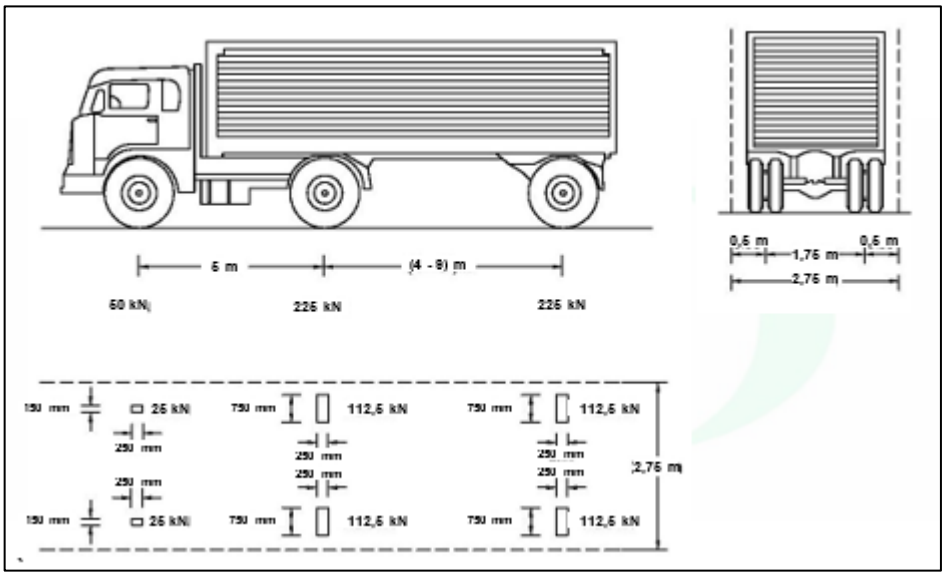
Beban truk "T" tidak dapat digunakan bersamaan dengan beban “D”. Beban truk dapat digunakan untuk perhitungan struktur lantai. Adapun faktor beban untuk beban “T” seperti terlihat pada Tabel 2.9.

Tabel 2. 9 Faktor Beban untuk Beban "T"

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

- Besarnya Pembebanan truk "T"

Pembebanan truk "T" terdiri atas kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai susunan dan berat gandar seperti terlihat dalam Gambar 2.12. Berat dari tiap-tiap gandar disebarkan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 gandar tersebut bisa diubah-ubah dari 4,0 m sampai dengan 9,0 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan.



Gambar 2. 12 Pembebanan truk "T"

Sumber: (Setiyarto & Jembatan, 2016)

- Posisi dan penyebaran pembebanan truk "T" dalam arah melintang

Posisi dan penyebaran pembebanan truk "T" dalam arah melintang Terlepas dari panjang jembatan atau susunan bentang, umumnya hanya ada satu kendaraan truk "T" yang bisa ditempatkan pada satu lajur lalu lintas rencana. Untuk jembatan sangat panjang dapat ditempatkan lebih dari satu truk pada satu lajur lalu lintas rencana. Kendaraan truk "T" ini harus ditempatkan di tengah-tengah lajur lalu lintas rencana seperti terlihat dalam Gambar 2.12. tetapi jumlah lebih kecil bisa digunakan dalam perencanaan apabila menghasilkan pengaruh yang lebih besar. Hanya jumlah lajur lalu lintas rencana dalam nilai bulat harus digunakan. Lajur lalu lintas rencana bisa ditempatkan di mana saja pada lajur jembatan.

- Kondisi faktor kepadatan lajur

Ketentuan pasal ini tidak boleh digunakan untuk perencanaan keadaan batas fatik dan fraktur, dimana hanya satu jalur rencana yang diperhitungkan dan tidak

tergantung dari jumlah total lajur rencana. Jika perencana menggunakan faktor distribusi beban kendaraan untuk satu lajur, maka pengaruh beban truk harus direduksi dengan faktor 1,20. Tetapi jika perencana menggunakan lever rule atau metode statika lainnya untuk mendapatkan faktor distribusi beban kendaraan, maka pengaruh beban truk tidak perlu direduksi.

Kecuali ditentukan lain pada pasal ini, pengaruh beban hidup harus ditentukan dengan mempertimbangkan setiap kemungkinan kombinasi jumlah jalur yang terisi dikalikan dengan faktor kepadatan lajur yang sesuai untuk memperhitungkan kemungkinan terisinya jalur rencana oleh beban hidup. Jika perencana tidak mempunyai data yang diperlukan maka nilai-nilai pada Tabel 2.10.

dapat digunakan saat meneliti jika hanya satu jalur terisi, dan boleh digunakan saat meneliti pengaruh beban hidup jika ada tiga atau lebih lajur terisi.

Tabel 2. 10 Faktor Kepadatan Jalur

Jumlah lajur yang dibebani	faktor kepadatan lajur
1	1,2
≥ 2	1

Untuk tujuan menentukan jumlah lajur ketika kombinasi pembebanan mencakup beban pejalan kaki seperti yang ditentukan dalam Pasal 8.9 dengan satu atau lebih lajur kendaraan, maka perencana harus menentukan bahwa beban pejalan kaki akan mengisi salah satu lajur kendaraan.

Faktor-faktor yang ditentukan dalam Tabel 2.10 tidak boleh digunakan untuk menentukan faktor distribusi beban kendaraan. Dalam hal ini perencana harus menggunakan lever rule untuk menentukan beban yang bekerja pada balok eksterior.

- Bidang kontak roda kendaraan

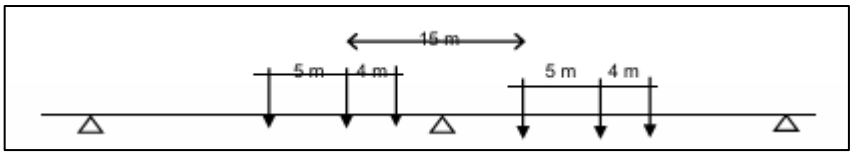
Bidang kontak roda kendaraan yang terdiri atas satu atau dua roda diasumsikan mempunyai bentuk persegi panjang dengan panjang 750 mm dan lebar 250 mm. Tekanan ban harus diasumsikan terdistribusi secara merata pada permukaan bidang kontak.

- Penerapan beban hidup kendaraan

Kecuali ditentukan lain pengaruh beban hidup pada waktu menentukan momen positif harus diambil nilai yang terbesar dari:

- pengaruh beban truk dikalikan dengan faktor beban dinamis (FBD), atau
- pengaruh beban terdistribusi "D" dan beban garis KEL dikalikan FBD

Untuk momen negatif, beban truk dikerjakan pada dua bentang yang berdampingan dengan jarak gandar tengah truk terhadap gandar depan truk dibelakangnya adalah 15 m (Gambar 2.13), dengan jarak antara gandar tengah dan gandar belakang adalah 4 m.



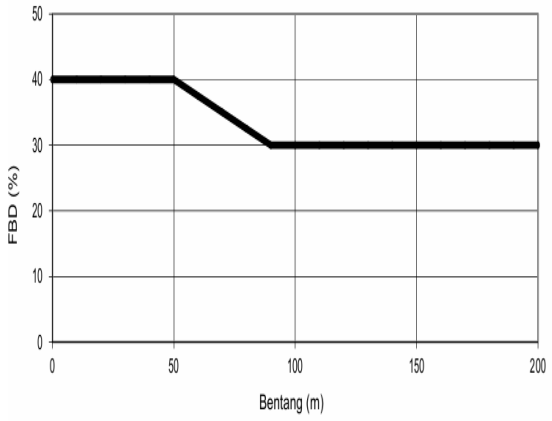
Gambar 2. 13 Penempatan Beban Truk Kondisi Momen Negatif Maksimum
Sumber: (Setiyarto & Jembatan, 2016)

Gandar yang tidak memberikan kontribusi pada gaya total harus diabaikan dalam perencanaan. Beban kendaraan dimuat pada masing-masing jalur masing-masing dan harus diposisikan untuk mendapatkan pengaruh yang terbesar dalam perencanaan. Beban truk harus diposisikan pada lebar jembatan sehingga sumbu roda mempunyai jarak sebagai berikut:

- Untuk perencanaan pelat kantilever: 250 mm dari tepi parapet atau railing, dan
- Untuk perencanaan komponen lainnya: 1000 mm dari masing-masing sumbu terluar roda truk. Kecuali ditentukan lain panjang lajur rencana atau sebagian dari panjang lajur rencana harus dibebani dengan beban terdistribusi "D".

c. Faktor beban dinamis

Faktor beban dinamis (FBD) merupakan nilai pengali untuk mengonversikan nilai statik yang dimodelkan agar berperilaku seolah dinamik. Adapun besarnya FBD ditentukan berdasarkan frekuensi dasar dari suspense kendaraan yang nilainya berkisar antara 2 Hz sampai 5 Hz. Beban yang dapat dikalikan dengan FBD Adalah beban BGT dari pembebanan lajur “D” dan beban roda dari pembebanan truk “T” sedangkan beban BTR tidak perlu dilakukan dengan FBD. Untuk beban BGT dari pembebanan lajur “D” nilai FBD dapat ditentukan berdasarkan grafik pada Gambar 2.7. Adapun untuk beban truk “T” nilai FBD ditentukan sebesar 30%.



Gambar 2. 15 Faktor Beban Dinamis untuk Beban T untuk Pembebanan Lajur "D"
Sumber: (Setiyarto & Jembatan, 2016)

d. Beban Rem (TB)

Gaya rem harus diambil yang terbesar dari:

25% dari berat gandar truk desain atau,

5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata BTR

Gaya rem tersebut harus ditempatkan di semua lajur rencana yang dimuati sesuai dengan Pasal 8.2 dan yang berisi lalu lintas dengan arah yang sama. Gaya ini harus diasumsikan untuk bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm diatas permukaan jalan pada masing masing arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan. Untuk jembatan yang dimasa depan akan dirubah menjadi satu arah, maka semua lajur rencana harus dibebani secara simultan pada saat menghitung besarnya gaya rem. Faktor kepadatan lajur yang ditentukan pada Pasal 8.4.3 berlaku untuk menghitung gaya rem.

2. Beban pejalan kaki (TP)

Semua komponen trotoar yang lebih lebar dari 600 mm harus direncanakan untuk memikul beban pejalan kaki dengan intensitas 5 kPa dan dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraanpada masing-masing lajur kendaraan. Jika trotoar dapat dinaiki maka beban pejalan kaki tidak perlu dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan. Jika ada kemungkinan trotoar berubah fungsi di masa depan menjadi lajur kendaraan, maka beban hidup kendaraan harus diterapkan pada jarak 250 mm dari tepi dalam parapet untuk perencanaan

komponen jembatan lainnya. Dalam hal ini, faktor beban dinamis tidak perlu dipertimbangkan.

3. Beban angin

Tekanan angin yang ditentukan pada pasal ini diasumsikan disebabkan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar (V_B) sebesar 90 hingga 126 km/jam.

Beban angin harus diasumsikan terdistribusi secara merata pada permukaan yang terekspos oleh angin. Luas area yang diperhitungkan adalah luas area dari semua komponen, termasuk sistem lantai dan railing yang diambil tegak lurus terhadap arah angin. Arah ini harus divariasikan untuk mendapatkan pengaruh yang paling berbahaya terhadap struktur jembatan atau komponen-komponennya. Luasan yang tidak memberikan kontribusi dapat diabaikan dalam perencanaan.

Untuk jembatan atau bagian jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 10000 mm diatas permukaan tanah atau permukaan air, kecepatan angin rencana, V_{DZ}, harus dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$V_{DZ} = 2{,}5V_0 \left(\frac{V_{10}}{V_B}\right) \ln\left(\frac{Z}{Z_0}\right) \qquad (2.54)$$

dimana:

V_{DZ} = Kecepatan angin rencana pada elevasi rencana, Z (km/jam) (37)

V_{10} = kecepatan angin pada elevasi 10000 mm di atas permukaan tanah atau di atas permukaan air rencana (km/jam)

V_B = Kecepatan angin rencana yaitu 90 hingga 126 km/jam pada elevasi 1000 mm, yang akan menghasilkan tekanan.

Z = Elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau dari permukaan air dimana beban angin dihitung (Z > 10000 mm)

V_o = Kecepatan gesekan angin, yang merupakan karakteristik meteorologi, sebagaimana ditentukan dalam Tabel 2.11, untuk berbagai macam tipe permukaan di hulu jembatan (km/jam)

Z_o = Panjang gesekan di hulu jembatan, yang merupakan karakteristik meteorologi, ditentukan pada Tabel 28 (mm)

V_{10} dapat diperoleh dari:

a. grafik kecepatan angin dasar untuk berbagai periode ulang
b. survei angin pada lokasi jembatan, dan.
c. jika tidak ada data yang lebih baik, perencana dapat mengasumsikan

bahwa $V_{10} = V_B$ = 90 s/d 126 km/jam.

Tabel 2. 11 Nilai V_0 dan Z_0 untuk Berbagai Variasi Kondisi Permukaan Hulu

Kondisi	Lahan Terbuka	Sub Urban	Kota
V_0 (km/jam)	13,2	17,6	19,3
Z_0 (mm)	70	1000	2500

2.9 Perencanaan *Pile Cap*

Pile cap adalah salah satu bagian dari pondasi untuk memperkokoh suatu bangunan yang terletak diantara struktur atas pier/abutment ke pondasi bawah. *Pile cap* merupakan struktur bangunan yang terbuat dari beton bertulang yang memiliki kegunaan sebagai penyatu kelompok pondasi. Selain itu, *pile cap* juga berfungsi untuk menyebarkan beban dari struktur atas pier/abutment ke pondasi (Sihombing & Mufti, 2024). Perencanaan *pile cap* dilakukan anggapan sebagai berikut:

1. Pile cap sangat kaku
2. Ujung atas tiang menggantung pada *pile cap.* Karena itu, tidak ada momen lentur yang diakibatkan oleh *pile cap*.
3. Tiang merupakan kolom pendek dan elastis. Karena itu distribusi tegangan dan deformasi membentuk bidang rata.

Tebal *pile cap* dipengaruhi oleh tegangan geser ijin beton. Tegangan geser harus dihitung pada potongan terkritis. Momen lentur pada *pile cap* harus dihitung dengan menganggap momen tersebut bekerja pada pusat tiang ke permukaan kolom terdekat.

2.9.1 Dimensi *Pile Cap*

Dimensi *pile cap* dipengaruhi dari jumlah dan jarak antar pondasi. Semakin banyak jumlahnya dan semakin lebar jaraknya, maka ukuran *pile cap* juga akan membesar. Adapun ketentuan ukuran *pile cap* berdasarkan SNI 2847:2019 adalah sebagai berikut:

1. Ketebalan total *pile cap* harus sedemikian rupa sehingga tinggi efektif tulangan bawah tidak kurang dari 300 mm
2. Momen dan gaya geser terfaktor harus diizinkan untuk dihitung dari reaksi setiap tiang yang diasumsikan terkonsentrasi pada titik pusat penampang tiang.
3. Momen eksternal pada setiap penampang *pile cap* harus dihitung terhadap bidang vertikal melalui komponen struktur dan menghitung momen dari gaya

yang bekerja di seluruh area komponen struktur pada satu sisi komponen bidang vertikal tersebut. (SNI 2847:2019)

4. Jarak tiang mempengaruhi *pile cap*, jarak tiang pada kelompok tiang biasanya diambil 2,5D-3D, dimana D adalah diameter *bore pile*. Ketentuan ini berdasarkan pada pertimbangan-pertimbangan berikut:

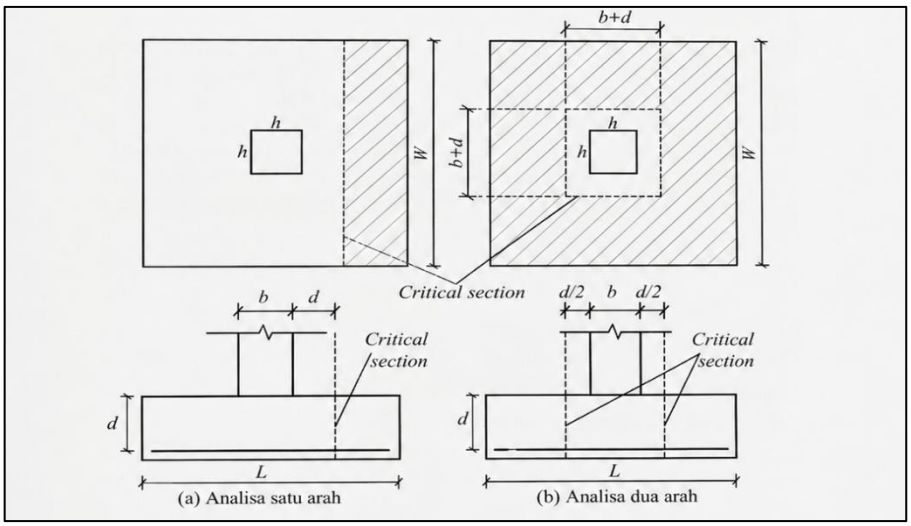
a. Bila jarak tiang S < 2,5 D kemungkinan tanah disekitar kelompok tiang akan naik terlalu berlebihan karena terdesak oleh tiang-tiang yang dipancang yang berdekatan. Selain itu dapat menyebabkan terangkatnya tiang tiang di sekitarnya yang telah dipancang lebih dahulu

b. Bila jarak tiang S > 3D akan menyebabkan perencanaan menjadi tidak ekonomis sebab akan memperbesar ukuran atau dimensi dari *pile cap*, jadi memperbesar biaya (Silaen et al., 2022)**.**

2.9.2 Tinjau Terhadap Geser

Berdasarkan SNI 2847:2019 Kontrol geser pada elemen beton meliputi geser satu arah *(one-way shear)* dan geser dua arah *(punching shear).*

Adapun gambaran lebih detail dari penjelasan kuat geser ini dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2. 14 Penampang Kritis Analisa Geser pada Pondasi Setempat

1. Kontrol terhadap geser pons yang bekerja satu arah

Kontrol terhadap geser satu arah Gaya geser satu arah adalah kuat geser nominal secara satu arah yang disumbangkan oleh beton (Ve). Penampang kritis terhadap geser pada pelat pondasi terletak sejarak d dari muka reaksi terpusat dan

terletak pada bidang yang melintang pada seluruh lebar. Apabila hanya geser dan lentur yang bekerja, maka kekuatan yang disumbangkan beton adalah:

$$V_c = \frac{1}{6}\sqrt{f_c'}.b_{o.}\,d \qquad (2.55)$$

Gaya geser nominal penampang sejarak d dari muka kolom harus lebih kecil sama dengan kekuatan geser beton sehingga Vn < Vc maka:

$$\frac{V_u}{\phi} \leq \frac{1}{6}\sqrt{f_c'}\,.b_o.\,d \qquad (2.56)$$

dimana:

Vu = gaya geser sejarak d dari muka kolom

Vc = geser beton

b_o = keliling penampang kritis pons yaitu 4 (c + d)

d = tinggi efektif

ϕ = 0,6 (faktor reduksi untuk geser)

2. Kontrol terhadap geser pons yang bekerja dua arah

Bidang penampang kritis yang tegak lurus bidang pelat mempunyai keliling dengan masing-masing sisi sebesar b_o dimana penampang kritis terjadi sejarak ½ d dari muka tumpuan. kontrol geser dua geser dilakukan berdasarkan persamaan sebagai berikut:

$$V_c = \frac{1}{3} \times \lambda \times \sqrt{f_c' \cdot b_o \cdot d} \qquad (2.57)$$

$$V_c = 0{,}17\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \times \lambda \times \sqrt{f_c' \cdot b_o \cdot d} \qquad (2.58)$$

$$V_c = 0{,}083\left(2 + \frac{a_s \cdot d}{b_o}\right) \times \lambda \times \sqrt{f_c' \cdot b_o \cdot d} \qquad (2.59)$$

dimana:

β = rasio dari sisi Panjang terhadap sisi pendek pada kolom, daerah terpusat atau daerah reaksi

a_s = 40 untuk kolom interior, 30 untuk kolom tepi, 20 untuk kolom sudut

f'c = mutu beton (mpa)

d = tinggi efektif *pile cap*

b_o = keliling penampang kritis pons yaitu 4 (c + d) gaya geser nominal penampang:

$$\frac{V_u}{\phi} = \text{Vn} \leq V_c + \leq 4.\sqrt{f_c'}\,.b_w\,.d \qquad (2.60)$$

$$V_u = \frac{P_u}{A}(h_0^2 - b_0^2) \quad (2.61)$$

dimana:

Vs = kuat geser tulangan geser

Pu = beban terfaktor pada kolom

A = luas *pile cap* (B x L)

2.9.3 Perencanaan Tebal *Pile Cap*

Untuk merencanakan tebal *pile cap*, maka *pile cap* harus direncanakan agar kuat geser nominal beton (Vc) lebih besar dari geser akibat kolom dan juga geser akibat tiang 1 arah dan geser 2 arah.

Kontrol geser satu arah dilakukan berdasarkan persamaan sebagai berikut:

$$V_c = 0{,}75 \times \sqrt{f_c' \cdot b_o \cdot d} \quad (2.62)$$

$$V_c = (P_i)_{max} - W_{fc} \quad (2.63)$$

$$V_c = \frac{1}{1} \times \lambda \times \sqrt{f_c' \cdot b_o \cdot d} \quad (2.64)$$

dimana:

f'c = mutu beton (mpa)

b_o = Panjang area geser pons

d = tebal *pile cap*

(Pi)max = reaksi tiang berfaktor maksimum

Wfc = berat pondasi pada area geser pons

2.9.4 Penulangan *Pile Cap*

Penulangan *pile cap* dianggap sama dengan penulangan balok. Perencanaan penulangan *pile cap* mempunyai beberapa Langkah sebagai berikut:

1. Lebar penampang kritis B'

$$B' = \frac{\text{Lebar } \textit{pile cap}}{2} - \frac{\text{Lebar kolom}}{2} \quad (2.65)$$

dimana:

B' = lebar penampang kritis (mm)

2. Berat *pile cap* pada penampang kritis q'

q' = 2400 kg/cm^2. Lebar *pile cap*. Tebal *pile cap* (2.66)

$$M_u = 2\left(\frac{P_u}{4}\right)(\text{Lebar kolom}) - \frac{1}{2}\, x\, q' B^2 \quad (2.67)$$

$$\phi M_n = \phi A_s . f_y \left(d - \frac{1}{2}a\right) \quad (2.68)$$

$$a = \frac{A_s . f_y}{0{,}85 . f_c' . b} \quad (2.69)$$

dimana:

q’ = berat *pile cap* pada penampang kritis (kg/m^3)

Pu = beban aksial yang bekerja (kg)

Mu = momen *ultimate*

Mn = momen nominal

As = luas tulangan terpasang, untuk tulangan bagian atas bisa diberikan 20% dari tulangan utama

3. Rencanakan sebagai balok persegi dengan lebar (b) dan tinggi efektif (d)

$$K_{\text{perlu}} = \frac{M_u}{b \cdot d^2} \quad (2.70)$$

dimana:

Kperlu = faktor Panjang efektif komponen struktur tekan (mpa)

Mu = momen yang terjadi pada balok (kg.m)

b = lebar balok (m)

h = tinggi balok (m)

d = tinggi efektif (m)

= h – d’- Øtulangan

4. Rasio tulangan yang dapat diperoleh dengan

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{2}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}}\right) \quad (2.71)$$

$$\rho_{min} = \frac{1{,}4}{f_y} \quad (2.72)$$

Pemeriksaan terhadap rasio tulangan tarik : $\rho_{min} < \rho < \rho_{perlu}$

dimana:

f’c = mutu beton (mpa)

fy = mutu baja (mpa)

βI = rasio bentang panjang bersih terhadap bentang pendek bersih plat 0,85

5. Bila harga rasio penulangan tarik memenuhi syarat maka dilanjutkan dengan perhitungan luas tulangan.

   $As = \rho.b.d_{rencana}$ (2.73)

   dimana:

   As = luas tulangan (mm^2)

   ρ = rasio tulangan

6. Dengan hasil luas tulangan yang telah diketahui, maka dapat dilanjutkan dengan merencanakan diameter dan jarak tulangan yang disesuaikan dengan luas tulangan

   $A_{s\,\text{aktual}} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$ (2.74)

   $N = \frac{A_s}{A_{s\,\text{aktual}}}$ (2.75)

   $S = \frac{A_s}{A_{s\,\text{aktual}} \cdot n}$ (2.76)

   dimana:

   N = jumlah tulangan

   S = jarak tulangan (mm)

   As_{aktual} = luas tulangan (mm)