

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1. PENDAHULUAN

Pembangunan suatu proyek memerlukan perencanaan yang teliti, matang dan tidak bertentangan dengan dasar acuan perencanaan yang digunakan. Dasar acuan perencanaan tersebut merupakan hasil dari kajian pustaka dalam bentuk pedoman perencanaan yang nantinya menghasilkan suatu standar spesifikasi proyek.

Dalam perencanaan pembangunan jembatan layang diperlukan suatu kajian pustaka untuk tujuan evaluasi pengaruh lalu lintas pada ruas jalan yang bersangkutan. Aspek-aspek ruas jalan yang dipengaruhi kondisi lalu lintas, yaitu tingkat pelayanan, kelas jalan dan kebutuhan lajur.

2.2. ASPEK LALU LINTAS

2.2.1 Definisi Jalan

Jalan merupakan suatu prasarana perhubungan darat dalam bentuk apapun yang meliputi segala bagian jalan termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukan bagi lalu lintas.

Bangunan pelengkap jalan adalah bangunan yang tidak dapat dipisahkan dari jalan, antara lain: jembatan, *overpass* (lintas atas), *underpass* (lintas bawah), tempat parkir, gorong-gorong, tembok penahan dan saluran air jalan.

Yang termasuk perlengkapan jalan antara lain : rambu-rambu jalan, rambu lalu lintas, tanda-tanda jalan, pagar pengaman lalu lintas, pagar patok daerah milik jalan.

2.2.2 Klasifikasi Jalan

Sistem jaringan jalan yang terdapat di Indonesia :

1. Sistem Jaringan Jalan Primer

Berdasarkan fungsi / peranan jalan dibagi atas :

- a. Jalan arteri Primer
 - b. Jalan Kolektor Primer
 - c. Jalan Lokal Primer
2. Sistem Jaringan Jalan Sekunder

Berdasarkan fungsi / peranan jalan dibagi atas :

- a. Jalan Arteri Sekunder
- b. Jalan Kolektor Sekunder
- c. Jalan Lokal Sekunder

2.2.3 Tipe Jalan

Tipe jalan ditentukan sebagai jumlah lajur dan arah pada suatu ruas jalan dimana masing-masing tipe mempunyai keadaan dasar (karakteristik geometrik) jalan yang digunakan untuk menentukan kecepatan arus bebas dan kapasitas jalan.

Tipe jalan dibedakan menjadi :

- Jalan dua lajur – dua arah tak terbagi (2/2 UD)
- Jalan empat lajur – dua arah tak terbagi (4/2 UD)
- Jalan empat lajur – dua arah terbagi (4/2 D)
- Jalan enam lajur – dua arah terbagi (6/2 D)

2.2.4 Lajur Jalan

Lajur adalah bagian jalur lalu lintas yang memanjang, dibatasi oleh marka lajur jalan, memiliki lebar yang cukup untuk dilewati suatu kendaraan bermotor sesuai dengan volume lalu lintas kendaraan rencana.

Lebar lajur tergantung pada kecepatan dan jenis kendaraan rencana. Penetapan jumlah lajur mengacu pada MKJI 1997 Berdasarkan tingkat kinerja yang direncanakan, dimana untuk suatu ruas jalan tingkat kinerja dinyatakan oleh perbandingan volume terhadap kapasitas.

2.2.5 Tingkat Pelayanan

Evaluasi terhadap tingkat pelayanan dimaksudkan untuk mengetahui apakah suatu jalan masih mampu memberikan pelayanan yang memadai bagi pemakai.

Dua hal yang sering menjadi tolak ukur kelayakan pelayanan suatu jalan, yaitu :

- Kecepatan (*velocity*)

Bila Kecepatan kendaraan kurang dari 60 % dari kecepatan rencana, maka dapat dikatakan perlu penanganan pada jalan tersebut untuk peningkatan pelayanan.

- *Degree of Saturation* (Derajat Kejenuhan / DS)

DS yaitu perbandingan antara volume dengan kapasitas. Perbandingan tersebut menunjukkan kepadatan lalu lintas dan kebebasan bagi kendaraan.

Bila $DS < 0.75$ maka jalan tersebut masih layak, dan

Bila $DS > 0.75$ maka jalan sudah tidak layak dan memerlukan pelebaran pada ruas jalan tersebut.

Hubungan antar tingkat pelayanan dan kapasitas ditunjukkan berdasarkan persamaan berikut :

$$DS = \frac{Q}{C}$$

$$Q = \frac{LHR_{\text{umur rencana}} + LHR_{\text{masa pelaksanaan}}}{2}$$

$$C = C_o * F_{cw} * F_{csp} * F_{csf}$$

Dimana :

Q = Volume lalu lintas

LHR = Lalu lintas harian

C = Kapasitas

C_o = Kapasitas dasar

F_{cw} = Faktor penyesuaian lebar jalan

F_{csp} = Faktor pemisahan arah

F_{csf} = Faktor akibat hambatan samping dari bahu jalan disisi lalu lintas, yaitu tingkat pelayanan, kelas jalan dan kebutuhan lajur.

BAB II STUD PUSTAKA

Tabel 2.1 Kapasitas Dasar Pada Jalur Luar Kota (2/2 UD)

Tipe jalan/ Tipe Alinyemen	Kapasitas dasar Total kedua arah (smp/jam)
2/2 UD	
Datar	3100
Bukit	3000
Gunung	2900

Tabel 2.2 FC_w

Tipe jalan	Lebar efektif jalur lalu lintas (Wc) (m)	FCw
4/2 D 6/2 D	Per lajur	0.91 0.96 1.00 1.03
	3.00	
	3.25	
	3.50	
	3.75	
4/2 D	Per lajur	0.91 0.96 1.00 1.03
	3.00	
	3.25	
	3.50	
	3.75	
2/2 UD	Total kedua arah	0.69 0.91 1.00 1.08 1.15 1.21 1.27
	5	
	6	
	7	
	8	
	9	
	10	
11		

Tabel 2.3 FC_{sp}

Pemisahan arah SP % - %		50-50	55-45	60-40	65-35	70-30
FC _{sp}	Dua - lajur 2/2	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88
	Empat - lajur 4/2	1.00	0.975	0.95	0.925	0.90

Tabel 2.4 FC_{sf}

Tipe jalan	Kelas hambatan samping	Faktor penyesuaian akibat hambatan samping (FC _{sf})			
		Lebar bahu efektif Ws			
		≤ 0.50	1.00	1.50	≥ 2.00
4/2 D	VL	0.99	1.00	1.01	1.03
	L	0.96	0.97	0.99	1.01
	M	0.93	0.95	0.96	0.99
	H	0.90	0.92	0.95	0.97
	VH	0.98	0.90	0.93	0.96
2/2 UD	VL	0.97	0.99	1.00	1.02

4/2 UD	L	0.93	0.96	0.97	1.00
	M	0.88	0.91	0.94	0.98
	H	0.84	0.87	0.91	0.95
	VH	0.80	0.83	0.88	0.93

Sumber : Perencanaan Geometrik untuk Jalan, Bina Marga, 1992

2.3. KLASIFIKASI JEMBATAN

Jembatan merupakan struktur bangunan yang menghubungkan rute/lintasan transportasi yang terputus oleh sungai, rawa, danau, selat, jalan atau perlintasannya. Sebelum melakukan perencanaan suatu jembatan diharuskan mengetahui terlebih dahulu klasifikasi dan fungsi dari jembatan rencana, yaitu :

- a) Menurut tujuan penggunaannya.
- b) Menurut bahan bangunan yang digunakan.
- c) Menurut bentuk struktur.
- d) Menurut formasi bidang/geometri perlintasan.
- e) Menurut letaknya terhadap formasi bidang vertikal.
- f) Menurut tingkat kemampuan gerak.
- g) Menurut keawetan/umur layanan.

2.3.1. Proses Perencanaan Jembatan

Dalam perencanaan suatu jembatan diperlukan adanya suatu proses desain (*design process*) sebelum dilakukan pemilihan bentuk struktur dan perhitungan. Tujuan dari proses ini adalah untuk menentukan jenis, bentuk dan ukuran jembatan yang sesuai, efisien serta memiliki estetika. Dasar-dasar perencanaan tersebut adalah :

- a) Alinyemen.
- b) Berbagai syarat/faktor eksternal.
- c) Stabilitas struktur dan pertimbangan ekonomi.
- d) Standarisasi.
- e) Stabilitas pelayanan dan kenyamanan.
- f) Keindahan (estetika).

2.3.2. Tahap Perencanaan Jembatan

- a) Kompilasi data dan informasi.
- b) Penetapan lokasi dan tata letak jembatan yang baik.
- c) Analisis hambatan geometri.
- d) Layout jembatan (rancangan geometri, lebar, panjang, penempatan pilar dan abutment serta oprit dari jembatan).
- e) Penentuan jenis struktur yang akan digunakan.
- f) Perhitungan pembebanan rencana jembatan.
- g) Detai dimensi dan kekuatan per bagian-bagian dari jembatan terkait dengan pembebanan, mutu bahan, dan umur rencana.

2.3.3. Pemilihan Tipe Jembatan

Pemilihan suatu tipe jembatan dilakukan guna mencapai biaya (*cost*) sekecil mungkin (pelaksanaan konstruksi, perbaikan dan pemeliharaan) namun tetap dalam batas spesifikasi dan standar yang disyaratkan. Dengan pertimbangan ini maka pemilihan jenis bangunan struktur utama ditinjau berdasarkan :

- a) Beton bertulang dapat dipakai bila bentang jembatan < 20 m.
- b) Bentang > 30 m dipakai beton prategang.
- c) Untuk bentang > 60 m dipakai jembatan rangka atau lengkung.
- d) Apabila bentang jembatan > 80 m maka digunakan struktur rangka.

2.3.4. Klasifikasi Pondasi

Pemilihan jenis pondasi yang akan digunakan sebagai struktur bawah (*sub-structure*) dipengaruhi oleh kondisi tanah dasar, beban yang diterima pondasi, peraturan yang berlaku, ketersediaan biaya, kemudahan teknis pelaksanaan dan sebagainya.

Pada umumnya pondasi harus memenuhi kriteria sebagai berikut :

- Kekuatan dan kelayakan struktur serta stabilitas keseluruhan
- Tahan terhadap guling
- Keawetan
- Kemudahan pelaksanaan

- Ekonomis dan dapat diterima

2.3.5. Pembebanan Struktur Jembatan

Beban yang bekerja pada struktur *overpass* disesuaikan dengan pedoman Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya (PPPJJR) 1987 Dirjen Bina Marga DPU.

2.4. KOMPILASI DATA DAN INFORMASI

Kompilasi data dan informasi merupakan dasar utama bagi suatu perencanaan jembatan, karena dengan data-data tersebut perencana dapat melakukan suatu *design process*. Kompilasi data dan informasi yang dibutuhkan guna perencanaan suatu jembatan adalah :

1. Data survei
 - Lalu lintas
 - Topografi dan geometri jalan terkait, hidrologi, hidraulik/perlintasan, dan penyelidikan tanah.
2. Kriteria geometri jalan
 - Lebar dan jumlah lajur jembatan serta lebar trotoar dan bahu jalan.
 - Alinyemen jembatan (horizontal, vertikal, dan lateral).
3. Karakteristik perlintasan
 - Geometri perlintasan kereta api
 - Karakteristik perlintasan.
4. Karakteristik tanah dasar
 - Stratifikasi, properties, daya dukung, dan perilaku tanah dasar.
5. Karakteristik lapangan.
 - Sumber daya yang ada.
 - Jaringan utilitas umum.
 - Fasilitas serta perilaku jalan kerja dan pelaksanaan.
6. Beban jembatan
 - Standar yang digunakan.
 - Karakteristik spesifikasi bahan yang direncanakan.

7. Ruang bebas jembatan
 - Karakteristik perlintasan (sungai, jalan, lintasan kereta api, dan perlintasan lainnya).
 - Kebutuhan ruang bebas dan hambatan geometri jembatan.
8. Bangunan jembatan atas yang tersedia
 - Program pengadaan bangunan atas/fabrikasi.
 - Kebijakan program penanganan.
9. Data, studi, dan informasi pendukung
 - Standar, peraturan, manual, ketentuan yang terkait dan mengikat.
 - Ketersediaan sumber dan karakteristik bahan konstruksi yang tersedia.
 - Data sekunder lain yang mendukung pelaksanaan konstruksi.

2.5. LEBAR JEMBATAN

Lebar jembatan ditentukan oleh jumlah dan lebar lajur yang direncanakan, hal ini berkaitan dengan perencanaan *entrance* dari jalan raya. Dalam perencanaan jumlah dan lebar lajur didasarkan pada data volume lalu lintas. Volume lalu lintas menunjukkan jumlah kendaraan yang melintasi satu titik pengamatan dalam satu satuan waktu.

Lalu Lintas Harian Rata-rata

Lalu lintas harian rata-rata adalah jumlah rata-rata lalu lintas kendaraan bermotor yang dicatat selama 24 jam sehari untuk kedua jurusan. Ada dua jenis LHR yaitu LHR tahunan (LHRT) dan LHR.

LHRT = jumlah lalu lintas dalam 1 tahun / 365

LHR = jumlah lalu lintas selama pengamatan / lama pengamatan

Penentuan Lebar Jalur dan Lajur Ideal

Lebar jalur, lajur dan bahu jalan ditentukan menurut tata cara Perencanaan Geometrik untuk Jalan, Bina Marga 1992. Yaitu menurut besarnya nilai Volume Lalu-lintas Rencana (VLHR) maupun Volume

BAB II STUD PUSTAKA

Jam Rencana (VJR) untuk menentukan tipe dan kelas jalan, sehingga didapat lebar lajur dan bahu jalan.

VLHR adalah volume lalu-lintas harian pada akhir tahun rencana lalu-lintas atau sama dengan lalu-lintas harian rata-rata pada akhir tahun umur rencana (LHR_n) yang dinyatakan dalam SMP/hari.

$$LHR_n = LHR_o * (1+i)^n$$

dimana : LHR_n = Lalu lintas harian rata-rata tahun ke n
 LHR_o = Lalu lintas harian rata-rata pada awal tahun rencana
 i = faktor pertumbuhan (%)
 n = Umur rencana (tahun)

VJR adalah volume lalu lintas pada jam puncak yang dihitung dengan rumus sebagai berikut :

Untuk jalan-jalan 2 jalur :

$$VJR = LHR_n \times \left(\frac{K}{100} \right)$$

Untuk jalan-jalan berjalur banyak :

$$VJR = LHR_n \times \left(\frac{K}{100} \right) \times \left(\frac{D}{100} \right)$$

dimana : VJR = Volume jam rencana (SMP/jam).
 LHR_n = Lalu lintas harian rata-rata pada tahun ke n (SMP/hari).
 K = Koefisien puncak (%), merupakan perbandingan volume lalu lintas pada jam ke-13 dibagi dengan LHR tahunan dan bila tidak diketahui dalam data diambil nilai 10 %.
 D = Koefisien arah (%) merupakan hasil pengamatan di lapangan, bila tidak diketahui dalam data dapat diambil nilai 60 %.

Berdasarkan jenis hambatannya dibagi dalam 2 tipe :

1. Tipe I : Pengaturan jalan masuk secara penuh.
2. Tipe II : Sebagian atau tanpa pengaturan jalan masuk

BAB II STUD PUSTAKA

Tabel 2.5 Jalan Tipe-I

Fungsi		Kelas
Primer	Arteri	1
	Kolektor	2
Sekunder	Arteri	3

Tabel 2.6 Jalan Tipe-II

Fungsi	LHR (dalam SMP)		Kelas
Primer	Arteri	-	1
	Kolektor	> 10.000	1
		< 10.000	2
Sekunder	Arteri	> 20.000	1
		< 20.000	2
	Kolektor	> 6.000	2
		< 6.000	3
	Jalan Lokal	> 500	3
		< 500	4

Sumber : Perencanaan Geometrik untuk Jalan, Bina Marga, 1992

Dasar klasifikasi perencanaan :

Tipe-I, kelas-1 : Jalan dengan standar tertinggi dalam melayani lalu lintas cepat antar-regional atau antar-kota dengan pengaturan jalan masuk secara penuh.

Tipe-I, kelas-2 : Jalan dengan standar tertinggi dalam melayani lalu lintas cepat antar-regional atau di dalam kota-kota metropolitan dengan sebagian atau tanpa pengaturan jalan masuk.

Tipe II, kelas 1 : Standar tertinggi bagi jalan-jalan dengan ≥ 4 lane, memberikan pelayanan cepat bagi angkutan antar kota atau dalam kota, dengan control.

Tipe II, kelas 2 : Standar tertinggi bagi jalan-jalan dengan 2 atau 4 lane dalam melayani angkutan cepat antar kota dan dalam kota, terutama untuk persimpangan tanpa lalu lintas.

Tipe II, kelas 3 : Standar tertinggi bagi jalan dengan 2 jalur untuk melayani angkutan dalam distrik dengan kecepatan sedang, untuk persimpangan tanpa lalu lintas.

Tipe II, kelas 4 : Standar terendah bagi jalan satu arah yang melayani hubungan dengan jalan-jalan lingkungan disekitarnya.

BAB II STUD PUSTAKA

Untuk menentukan lebar dari suatu jalan sesuai dengan tipe dan kelasnya dapat dilihat pada table-tabel sebagai berikut :

Tabel 2.7 Penentuan Lebar Jalur Lalu lintas

Kelas Perencanaan	Kelas	Lebar lajur Lalu-lintas (m)
Tipe-I	Kelas-1	3,5
	Kelas-2	3,5
Tipe-II	Kelas-1	3,5
	Kelas-2	3,25
	Kelas-3	3,0 - 3,25

Tabel 2.8 Penentuan Lebar Minimum Bahu Kiri/Luar

Kelas perencanaan		Lebar bahu kiri/luar (m)			Ada Trotoar
Tipe	Kelas	Tidak ada Trotoar			
		Standar minimum	Pengecualian Umum	Lebar yang diinginkan	
I	1	2,0	1,75	3,25	
	2	2,0	1,75	2,5	
II	1	2,0	1,50	2,5	0,5
	2	2,0	1,50	2,5	0,5
	3	2,0	1,50	2,5	0,5
	4	0,5	0,50	0,5	0,5

Tabel 2.9 Penentuan Lebar Minimum Bahu Kanan/Dalam

Kelas perencanaan	Lebar bahu kanan/dalam (m)	
Tipe - I	Kelas - 1	1,00
	Kelas - 2	0,75
Tipe - II	Kelas - 1	0,50
	Kelas - 2	0,50
	Kelas - 3	0,50
	Kelas - 4	0,50

Tabel 2.10 Penentuan Lebar Minimum Median

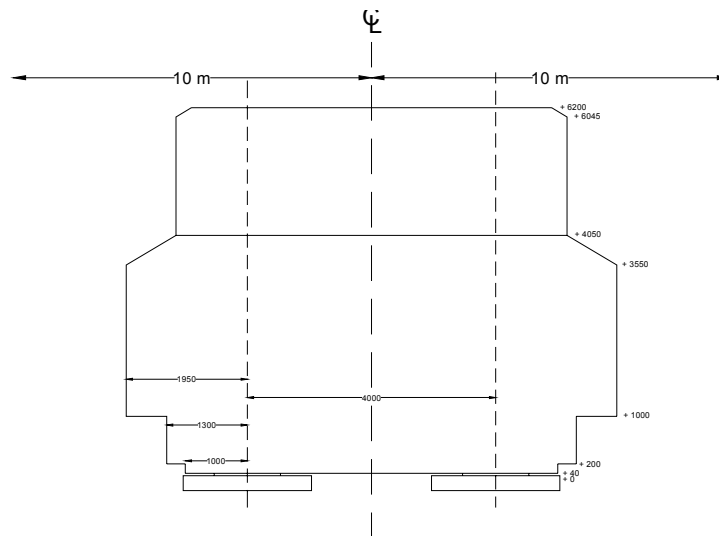
Kelas perencanaan	Lebar minimum standar (m)	Lebar minimum khusus (m)
Tipe - I	Kelas - 1	2,5
	Kelas - 2	2,0
Tipe - II	Kelas - 1	1,0
	Kelas - 2	1,0
	Kelas - 3	1,0

Sumber : Perencanaan Geometrik untuk Jalan, Bina Marga, 1992

2.6 SYARAT RUANG BEBAS JEMBATAN

Aspek lalu lintas bawah (lalu lintas kereta api) sangat berpengaruh terhadap dimensi jembatan layang. Karena jembatan layang terletak di atas jalur kereta api maka dimensi jembatan tersebut harus dibuat sedemikian rupa sehingga dapat memberikan ruang yang cukup bagi kereta api untuk dapat melintas di bawahnya.

Menurut *Buku Diktat Perencanaan Jalan Rel F.T. UNDIP* tentang ruang bebas dan ruang bangun, ruang bebas adalah ruang diatas sepur yang senantiasa bebas dari segala rintangan dan benda penghalang. Ruang ini disediakan untuk lalu lintas rangkaian kereta api. Ukuran ruang bebas pada jalur kereta api untuk Double Track ditunjukkan oleh gambar 2.1



Gambar 2.1 Ruang Bebas Jalur Kereta Api Double Track

Berdasarkan himbauan PT. Kereta Api, 10 meter dari kiri dan kanan sumbu sepur tidak diperkenankan didirikan bangunan, sehingga dalam perancangan bentang jembatan layang harus lebih dari 20 meter.

2.7 STRUKTUR PERKERASAN JALAN LAYANG

Perkerasan jalan layang merupakan bagian dari jalan layang yang memiliki ketebalan, kekuatan serta kestabilan tertentu agar mampu menyalurkan beban lalu lintas di atasnya ke balok melintang dengan lebih

aman. Dalam penulisan Tugas Akhir ini penulis menggunakan perkerasan lentur dalam perencanaannya.

Perkerasan Lentur (*flexible pavement*)

Perkerasan ini menggunakan aspal sebagai bahan pengikat lapisan perkerasannya yang bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar. Perencanaan perkerasan lentur berpedoman pada Pedoman Perencanaan Perkerasan Lentur Jalan Raya No. 01/PD/8/1983 dan Petunjuk Tabel Perkerasan Lentur Jalan Raya.

Langkah perhitungan tebal perkerasan lentur adalah sebagai berikut :

1. Menghitung LHR setiap jenis kendaraan sesuai dengan umur rencana

2. Menghitung LEP (Lintas Ekuivalen Permulaan) dengan rumus :

$$LEP = \sum LHR_j * C_j * E_j$$

3. Menghitung LEA (Lintas Ekuivalen Akhir) dengan rumus :

$$LEA = \sum LHR_j * (1 + i)^n * C_j * E_j$$

4. Menghitung LET (Lintas Ekuivalen Tengah) dengan rumus :

$$LET = \frac{1}{2} (LEP + LEA)$$

5. Menghitung LER = LET * UR/10

6. Menghitung ITP (Indeks Tebal Perkerasan) dari data grafik dengan metode analisa komponen

7. Menghitung tebal lapis perkerasan dengan menggunakan rumus

$$ITP = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 + a_3 * D_3.$$

2.8 PERENCANAAN GEOMETRIK

Perencanaan geometric yang perlu ditinjau untuk pembangunan *overpass* adalah alinyemen vertikal, sedangkan alinyemen horizontal pada perencanaan geometrik *overpass* merupakan jalan lurus tanpa adanya belokan (sudut tetap) sehingga pada perencanaannya diabaikan.

Alinyemen vertikal merupakan suatu garis yang dibentuk bidang vertikal melalui sumbu jalan yang menggambarkan elevasi permukaan jalan sehingga dapat menambah keamanan dan kenyamanan pemakai jalan. Alinyemen vertikal menyatakan bentuk geometri jalan dalam arah vertikal. Panjang kelandaian lengkung vertikal dapat dihitung dengan menggunakan grafik panjang minimum lengkung vertikal cembung dan panjang lengkung vertikal cekung berdasarkan kecepatan rencana pada Standar Perencanaan Geometri Jalan, PU Binamarga.

2.8.1 Alinyemen Vertikal

Perencanaan alinyemen vertikal dibagi menjadi dua bagian, yaitu :

1. Lengkung vertikal Cembung

Lengkung vertikal cembung dibuat dengan memperhatikan syarat-syarat :

$$\bullet L = \frac{(S^2 * A)}{100.(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2} \rightarrow (S < L)$$

$$\bullet L = 2 * S - \frac{100 * (\sqrt{2.h1} + \sqrt{2.h2})^2}{A} \rightarrow (S > L)$$

• Dari tabel 2.10, L = 75 m

• Berdasarkan syarat kenyamanan :

$$L = \frac{AV^2}{399} \dots\dots\dots \text{tugas perencanaan geometri jalan}$$

Dimana : L = panjang minimum lengkung vertikal

S = jarak pandang berhenti

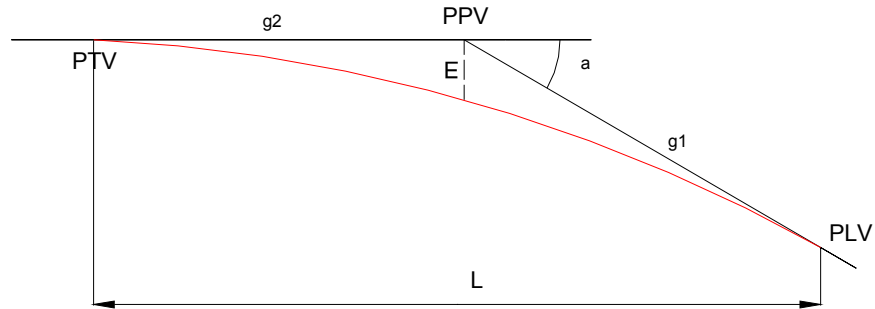
A = perbedaan aljabar kedua landai ($g_1 - g_2$) (%)

h_1 = tinggi mata pengemudi (1,20 m)

h_2 = tinggi penghalang (0,10 m)

V = kecepatan rencana (km/jam)

..... Silvia Sukirman, Dasar-dasar Perencanaan Geometrik Jalan, 1994
hal. 164-174



Gambar 2.2 Lengkung Vertikal Cembung

Keterangan :

- L = Jarak minimum lengkung vertikal
- PLV = Titik awal lengkung vertikal
- PPV = Titik pertemuan kedua kelandaian
- PTV = Titik akhir lengkung vertikal
- E = Pergeseran vertikal

2. Lengkung Vertikal Cekung

Lengkung vertikal cekung dibuat dengan memperhatikan syarat-syarat :

Rumus yang digunakan :

- $L = \frac{(S^2 * A)}{(120 + 3,5 * S)} \rightarrow (S < L)$
- $L = 2 * S - \frac{(120 + 3,5 * S)}{A} \rightarrow (S > L)$
- Dari tabel 2.10, L = 75 m
- Berdasarkan syarat kenyamanan :

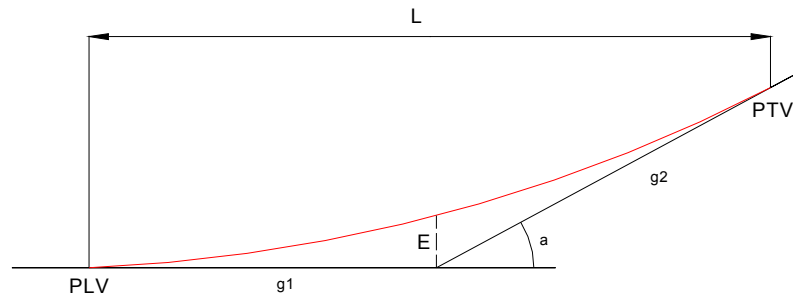
$$L = \frac{AV^2}{390} \dots\dots\dots \text{tugas perencanaan geometri jalan}$$

- Dimana :
- L = panjang minimum lengkung vertikal
 - S = jarak pandang berhenti
 - A = perbedaan aljabar kedua landai ($g_1 - g_2$) (%)
 - V = kecepatan rencana (km/jam)

..... Silvia Sukirman, Dasar-dasar Perencanaan Geometrik Jalan, 1994
hal. 164-174

$$E = \frac{A}{800} \times L ; E = \text{Pergeseran vertikal (m)}$$

BAB II STUD PUSTAKA



Gambar 2.3 Lengkung Vertikal Cekung

Keterangan :

- L = Jarak minimum lengkung vertical
 PLV = Titik awal lengkung vertical
 PPV = Titik pertemuan kedua kelandaian
 PTV = Titik akhir lengkung vertical
 E = Pergeseran vertikal

Tabel 2.11 Kecepatan Rencana (V_R)

Kelas perencanaan		Kecepatan Rencana (km/jam)
Tipe - I	Kelas - 1	100, 80
	Kelas - 2	80, 60
Tipe - II	Kelas - 1	60
	Kelas - 2	60, 50
	Kelas - 3	40, 30
	Kelas - 4	30, 20

Tabel 2.12 Kecepatan Rencana (V_R)

Kecepatan rencana (km/jam)	Landai Maksimum (%)
100	3
80	4
60	5
50	6
40	7
30	8
20	9

Tabel 2.13 Jarak Pandang Menyiap (JPM)

Kecepatan rencana (km/jam)	JPM Standar (m)	JPM Minimum (m)
80	550	350
60	350	250
50	250	200
40	200	150
30	150	100
20	100	70

Tabel 2.14 Jarak Pandang Henti (JPH)

Kecepatan rencana (km/jam)	Jarak Pandang Henti (m)
100	165
80	110
60	75
50	55
40	40
30	30
20	20

Sumber : Perencanaan Geometrik untuk Jalan, Bina Marga, 1992

2.8.2 Alinyemen Horizontal

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan tikungan pada alinyemen horizontal adalah :

- Superelevasi (e)

Superelevasi adalah suatu kemiringan melintang di tikungan yang berfungsi mengimbangi gaya sentrifugal yang diterima kendaraan pada saat berjalan melalui tikungan pada kecepatan rencana.

- Jari-Jari Tikungan

Jari-jari tikungan minimum (R_{min}) ditetapkan sebagai berikut

$$R_{min} = \frac{(V_R^2)}{127(e_{max} + f_{max})}$$

Dimana :

R_{min} = jari-jari tikungan minimum (m)

V_R = kecepatan rencana (km/jam)

e_{max} = superelevasi maksimum (%)

f_{max} = koefisien gesek maksimum untuk perkerasan aspal ($f=0,14 - 0,24$)

Panjang jari-jari minimum dapat dilihat pada Tabel 2.15. berikut ini :

Tabel 2.15. Panjang Jari-Jari Minimum

Kecepatan Rencana V_R (km/jam)	Jari-Jari Minimum R_{min} (m)
120	600
100	350
80	210

BAB II STUD PUSTAKA

Kecepatan Rencana V_R (km/jam)	Jari-Jari Minimum R_{min} (m)
60	115
50	80
40	50
30	30
20	15

Sumber : *Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997*

- Lengkung Peralihan

Lengkung peralihan adalah lengkung transisi pada alinyemen horizontal dan sebagai pengantar dari kondisi lurus ke lengkung penuh secara berangsur-angsur. Pada lengkung peralihan, perubahan kecepatan dapat terjadi secara berangsur-angsur serta memberikan kemungkinan untuk mengatur pencapaian kemiringan (perubahan kemiringan melintang secara berangsur-angsur).

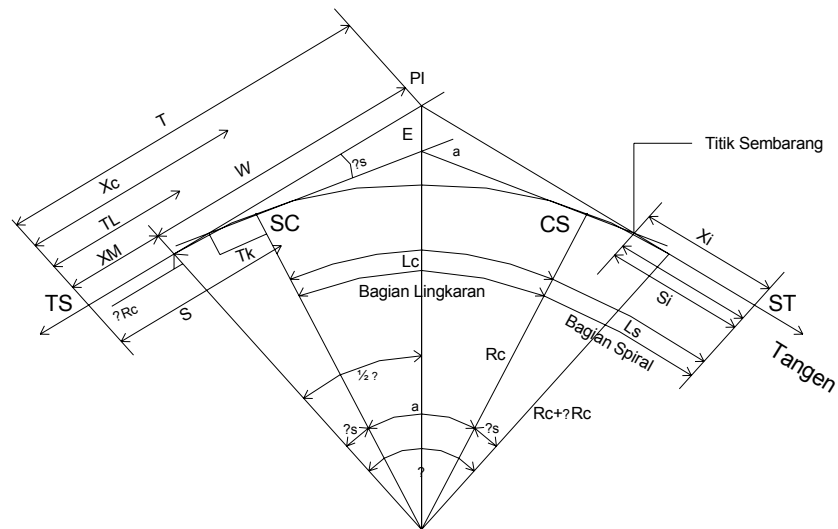
Panjang lengkung peralihan dapat dilihat pada Tabel 2.16.

Tabel 2.16. Panjang Lengkung Peralihan (L_s) Dan Panjang Superelevasi (L_e) Untuk Jalan 1 Jalur – 2 Arah

V_R (km/jam)	Superelevasi, e (%)									
	2		4		6		8		10	
	L_s	L_e	L_s	L_e	L_s	L_e	L_s	L_e	L_s	L_e
20										
30										
40	10	20	15	25	15	25	25	30	35	40
50	15	25	20	30	20	30	30	40	40	50
60	15	30	20	35	25	40	35	50	50	60
70	20	35	25	40	30	45	40	55	60	70
80	30	55	40	60	45	70	65	90	90	120
90	30	60	40	70	50	80	70	100	100	130
100	35	65	45	80	55	90	80	110	110	145
110	40	75	50	85	60	100	90	120	-	-
120	40	80	55	90	70	110	95	135	-	-

Sumber : *Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997*

Jenis tikungan yang digunakan dalam perencanaan ini adalah tipe S-C-S. Contoh gambar lengkung Spiral – Circle – Spiral dapat dilihat pada Gambar 2.4..



Gambar 2.4. Lengkung Spiral – Circle – Spiral

Dimana :

- PI = titik perpotongan tangen
- TS = titik perubahan dari tangen ke spiral
- SC = titik perubahan dari spiral ke circle
- CS = titik perubahan dari circle ke spiral
- Rc = jari-jari lengkung lingkaran
- L = panjang busur spiral dari TS ke suatu titik sembarang
- Lc = panjang busur lingkaran
- Ls = panjang busur spiral
- T = panjang tangen utama
- E = panjang eksternal total dari PI ke tengah busur lingkaran
- TL = panjang “tangen panjang” dari spiral
- TK = panjang “tangen pendek” dari spiral
- S = panjang tali busur spiral
- Si = panjang tali busur spiral dari TS ke titik sembarang
- ΔR_c = jarak dari busur lingkaran tergeser terhadap jarak tengah
- Xm = jarak dari TS ke titik proyeksi pusat lingkaran pada tangen
- Δ = sudut pertemuan antara tangen utama
- α = sudut pertemuan antara tangen lingkaran dan sudut pusat lingkaran
- θ_s = sudut spiral
- θ_{si} = sudut spiral ke titik sembarang pada spiral
- δ = sudut antara tangen utama dengan tali busur

X_c, Y_c = koordinat SC atau CS terhadap TS-PI atau PI-TS

X_i, Y_i = koordinat setiap titik pada spiral terhadap TS-PI atau PI-TS

Rumus yang digunakan :

$$L_s = \frac{A^2}{R_c} \quad ; A = \text{parameter } R_c/3 < A < R_c$$

$$Y_c = \frac{L_s^2}{6R_c} \quad ; (\text{dengan } L_s \text{ minimum})$$

$$\theta_s = \frac{L_s}{2R_c} = 28,648L_s/R_c \rightarrow \text{dalam } (^\circ)$$

$$\Delta R_c = Y + R_c (\cos \theta_s - 1)$$

$$X_m = L_s - R_c \sin \theta_s$$

$$\omega = (R_c + \Delta R_c) \operatorname{tg} \Delta/2$$

$$T = X_m + \omega$$

$$L_c = R_c \pi \alpha^\circ / 180^\circ$$

$$E = \left(\frac{R_c + \Delta R_c}{\cos \Delta/2} \right) - R_c$$

2.9 PERENCANAAN STRUKTUR

Jembatan layang (*opervass*) terdiri dari bangunan atas dan bangunan bawah yang perencanaannya terkait langsung dengan pembeabanan yang terjadi.

Bangunan struktur atas pada umumnya terdiri dari :

1. Sandaran/*hand rail*

Sandaran merupakan pembatas antara kendaraan dengan pinggiran jalan layang, sehingga memberi rasa aman bagi pengguna jalan.

2. Plat Lantai

Plat lantai berfungsi sebagai penaham lapisan perkerasan. Plat lantai dianggap ditumpu pada 2 sisi.

3. Balok Diafragma

Merupakan balok melintang yang terletak diantara balok induk yang satu dengan yang lainnya. Konstruksi ini berfungsi menahan beban luar apapun, kecuali berat sendiri balok diafragma.

4. Balok Memanjang

Merupakan gelagar utama yang berfungsi menahan semua beban yang bekerja pada jembatan dan menyalurkannya pada tumpuan untuk diteruskan ke tanah dasar.

5. Tumpuan Jembatan

6. Oprit

7. Pelat Injak.

Bangunan struktur bawah pada umumnya terdiri dari :

- Pier (Kolom, Pie head, dan Head wall)
- Pondasi
- Abutment

2.9.1 Pembebanan

Pembebanan didasarkan Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan dan Jalan Raya 1987 (PMJJR 1987). Beban muatan yang bekerja terdiri dari beban primer dan beban sekunder.

1. Beban Primer

Merupakan beban utama dalam perhitungan tegangan yang terdiri dari :

a. Beban Mati

Yaitu semua beban yang berasal dari berat sendiri jalan layang

b. Beban Hidup

Yaitu semua beban yang berasal dari berat kendaraan yang bergerak atau lalu lintas yang dianggap bekerja pada jalan layang

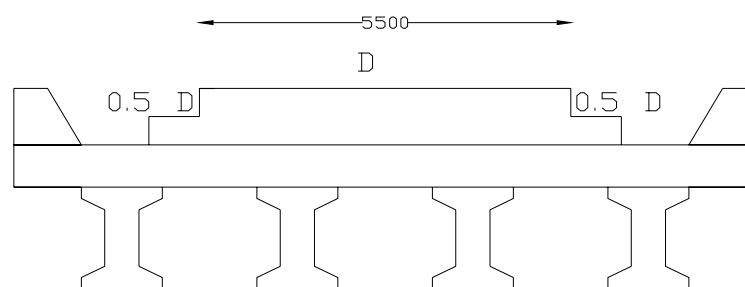
- **Beban T**
Merupakan beban terpusat untuk lantai kendaraan yang digunakan untuk perhitungan kekuatan lantai jalan layang yang ditinjau pada 2 kondisi :
 - Roda pada tengah pelat lantai (lebar jalur $\leq 5,5$ m)
 - 2 roda truk yang berdekatan dengan jarak 100 cm (lebar jalur $> 5,5$ m).
- **Beban D**
Beban D atau beban jalur untuk perhitungan kekuatan gelagar berupa beban terbagi rata sebesar "q" panjang per jalur dan beban garis "P" per jalur lalu lintas. Besar beban D ditentukan sebagai berikut :

$$Q = 2,2 \text{ t/m} \quad : \text{ untuk } L < 30 \text{ m}$$

$$Q = 2,2 \text{ t/m} - \frac{1,1}{60 * (L - 30)} \text{ t/m} \quad : \text{ untuk } 30 \text{ m} < L < 60 \text{ m}$$

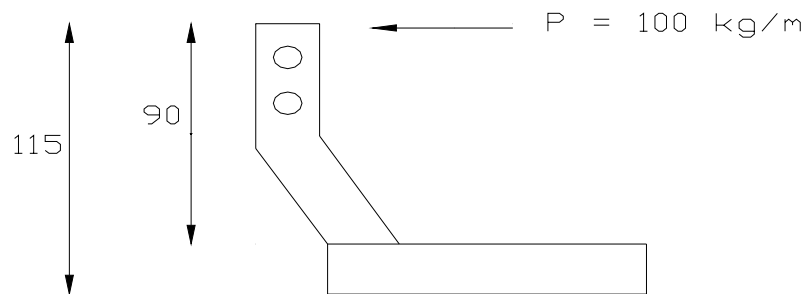
$$Q = 1,1 \left(1 - \frac{30}{L}\right) \text{ t/m} \quad : \text{ untuk } L > 60 \text{ m}$$

Misalnya lebar lantai kendaraan lebih besar dari 5,5 m, maka beban berlaku sepenuhnya pada jalur sebesar 5,5 m. Sedangkan lebar selebihnya hanya dibebani sebesar 50 % dari muatan D tersebut.



Gambar 2.5 Beban D Pada Lalu lintas Jembatan

- c. Beban pada trotoar, kerb, dan sandaran
- Trotoar diperhitungkan terhadap beban hidup sebesar 500 kg/m^2 . Namun pada perhitungan gelagar hanya digunakan sebesar 60 % dari beban hidup trotoar.
 - Kerb diperhitungkan guna menahan beban horizontal kearah melintang jembatan 500 kg/m^2 , bekerja pada puncak kerbatau setinggi 25 cm di atas permukaan lantai kendaraan bila tinggi kerb $> 25 \text{ cm}$.
 - Selain itu perlu diperhitungkan pula beban pada sandaran yaitu diperhitungkan untuk dapat menahan beban horizontal P sebesar 100 kg/m pada tinggi 90 cm dari atas lantai trotoir (115 cm di atas permukaan lantai kendaraan).



Gambar 2.6 Beban Pada Sandaran

d. Beban Kejut

Beban Kejut diakibatkan oleh getaran dan pengaruh dinamis lainnya. Tegangan akibat beban garis "P" harus dikalikan koefisien kejut sebesar :

$$K = 1 + \frac{20}{50 + L}$$

Dimana :

K = Koefisien kejut

L = Panjang bentang jalan (m)

2. Beban Sekunder

Beban sekunder terdiri dari :

a. Gaya Rem

Pengaruh gaya-gaya dalam arah memanjang jembatan akibat gaya rem harus ditinjau. Pengaruh ini diperhitungkan senilai dengan pengaruh gaya rem sebesar 5 % dari beban D tanpa koefisien kejut yang memenuhi semua jalur lalu lintas yang ada dan dalam satu jurusan yang bekerja dalam arah horizontal sumbu jembatan dengan titik tangkap setinggi 1,00 m di atas permukaan lantai kendaraan.

b. Gaya Akibat Gempa Bumi

Jembatan atau jalan yang dibangun di daerah-daerah dimana diperkirakan terjadi pengaruh-pengaruh gempa bumi harus direncanakan dengan menghitung pengaruh-pengaruh gempa bumi tersebut.

c. Beban Angin

Beban angin diperhitungkan sebesar 150 kg/m^2 , pada jembatan ditinjau berdasarkan bekerjanya angin horizontal terbagi rata pada bidang vertikal jalan layang dalam arah tegak lurus sumbu memanjang jembatan layang.

d. Gaya akibat gesekan akibat tumpuan bergerak

Ditinjau terhadap gaya akibat gesekan pada tumpuan bergerak, karena adanya pemuaian yang timbul akibat adanya gaya gesekan, dan perbedaan suhu.

3. Kombinasi Pembebanan

Konstruksi jembatan layang harus ditinjau berdasarkan pada kombinasi pembebanan dan gaya yang mungkin bekerja.

Tabel 2.17 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi Pembebanan dan Gaya	Tegangan Yang Digunakan Terhadap Tegangan Ijin
1. $M + (H+K) + Ta + Tu$	100 %
2. $M Ta + Ah + Gg + A + SR + Tm$	125 %
3. Komb. 1 + $Rm + Gg + A + SR + Tm + S$	140 %
4. $M + Gh + Tag + Cg + Ahg + Tu$	150 %
5. $M + P1 \rightarrow$ Khusus Jemb. Baja	130 %
6. $M + (H + K) + Ta + S + Tb$	150 %

Keterangan :

- A = Beban Angin
- Ah = Gaya akibat aliran dan hanyutan
- Ahg = Gaya akibat aliran dan hanyutan waktu gempa
- Gg = Gaya gesek pada tumpuan bergerak
- Gh = Gaya horizontal ekivalen akibat gempa
- (H+K) = Beban hidup dan kejut
- M = Beban mati
- P1 = Gaya pada waktu pelaksanaan
- Rm = Gaya rem
- S = Gaya sentrifugal
- SR = Gaya akibat susut dan rangkai
- Tm = Gaya akibat perubahan suhu (selain susut dan rangkai)
- Ta = Gaya tekanan tanah
- Tag = Gaya tekanan tanah akibat gempa bumi
- Tu = Gaya angkat

2.9.2 Bangunan Struktur Atas

Bangunan atas merupakan bangunan yang terbagi atas bangunan struktur utama jembatan dan pelengkap.

2.9.2.1 Pelat Lantai

Berfungsi sebagai penahan lapisan perkerasan dan pembagi beban kepada gelagar utama. Pembebanan pada pelat lantai :

- a. Beban mati berupa pelat sendiri, berat pavement dan berat air hujan.
- b. Beban hidup seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya.

Adapun panjang dan lebar dari pelat lantai disesuaikan dengan panjang bentang dan jarak antar gelagar utama. Perhitungan pelat lantai dibagi menjadi 2 bagian, yaitu : pelat lantai pada bagian tengah dan pelat lantai pada bagian tepi. n Prosedur perhitungan pelat lantai adalah sebagai berikut :

1. Tebal Pelat Lantai

Tebal pelat lantai adalah sama dengan perhitungan pada beto bertulang, dengan tebal h_{\min} yang digunakan adalah = 20 cm.

2. Perhitungan Momen

- Untuk beban mati

$$M_{xm} = 1/10 * l_x^2 \quad ; \quad M_{ym} = 1/3 * M_{xm}$$

- Untuk beban hidup

$$\frac{l_x}{l_x} \rightarrow \text{dengan Tabel Bitnerr didapat } f_{xm}$$

$$\frac{l_y}{l_y} = \frac{t_y}{l_x} \rightarrow \text{dengan Tabel Bitnerr didapat } f_{ym}$$

$$M_{xm} = f_{xm} * \frac{T}{x.y} * \text{luas bidang kontak}$$

$$M_{ym} = f_{ym} * \frac{T}{x.y} * \text{luas bidang kontak}$$

$$M_{x \text{ total}} = M_{xm} \text{ beban mati} + M_{xm} \text{ beban hidup}$$

$$M_{y \text{ total}} = M_{ym} \text{ beban mati} + M_{ym} \text{ beban hidup}$$

3. Perhitungan penulangan

$$\text{Hitung : } \frac{Mu}{bd^2}$$

Dari tabel dan grafik didapat ρ

Jika $\rho \leq \rho_{\min}$, maka digunakan ρ_{\min}

Jika $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$, maka digunakan ρ

Jika $\rho \geq \rho_{\max}$, maka digunakan ρ_{\max}

$$A_s = \rho * b * d$$

2.9.2.2 Sandaran

Adalah pembatas antara kendaraan dengan tepi jembatan untuk memberi rasa aman bagi pengguna jalan. Sandaran terdiri dari beberapa bagian, yaitu :railing sandaran,tiang sandaran dan parapet. Perhitungan dimensi dan penulangan digunakan rumus beto bertulang seperti pada umumnya.

$$\text{Hitung : } \frac{Mu}{bd^2}$$

Dari tabel dan grafik didapat ρ

Jika $\rho \leq \rho_{\min}$, maka digunakan ρ_{\min}

Jika $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$, maka digunakan ρ

Jika $\rho \geq \rho_{\max}$, maka digunakan ρ_{\max}

$$A_s = \rho * b * d$$

Tulangan Geser :

$$V_n = \frac{V_u}{\phi}$$

$$V_c = 0,17 \sqrt{f'_c} * b * d$$

Jika $(V_n - V_c) \geq 2/3 * \sqrt{f'_c} * b * d$, maka penampang harus ditambah

Jika $(V_n - V_c) < 2/3 * \sqrt{f'_c} * b * d$, maka penampang cukup.

Jika $V_u < \frac{\phi * V_c}{2}$, maka tidak perlu tulangan geser

Jika $V_u \geq \frac{\phi * V_c}{2}$, maka perlu tulangan geser

➤ $V_u < \Phi * V_c$, maka perlu tulangan geser minimum

$$A_v = \frac{b * s}{3 * f_v}$$

$$s = \dots \leq d/2 \dots s \leq 600 \text{ mm}$$

➤ $V_u < \Phi * V_c$, maka perlu tulangan geser sebagai berikut :

$$A_v = (V_n - V_c) \times \frac{s}{(d * f_v)}$$

$$s = \dots \leq d/2$$

$$s = \dots \leq d/4, \text{ bila } ((V_n - V_c) \geq 0,33 * \sqrt{f'_c} * b * d$$

.....Sumber : Menghitung Beton Bertulang berdasarkan SNI 92, Ir. Udiyanto

2.9.2.3 Diafragma

Berada melintang diantara gelagar utama, konstruksi ini berfungsi sebagai pengaku gelagar utama dan tidak berfungsi sebagai struktur penahan beban luar apapun kecuali berat sendiri diafragma. Menggunakan konstruksi beton bertulang.

2.9.2.4 Balok Girder

Merupakan gelagar utama yang berfungsi menahan semua beban yang bekerja pada struktur bangunan atas jembatan dan menyalurkannya pada tumpuan untuk disalurkan ke pier, pondasi dan dasar tanah. Pada studi pustaka ini hanya diuraikan gelagar utama dengan beton prategang.

Pada dasarnya beton prategang adalah suatu system dimana sebelum beban luar bekerja, diciptakan tegangan yang berlawanan tanda dengan tegangan yan nantinya akan terjadi akibat beban.

Beton rategang memberikan keuntungan-keuntungan namun juga memiliki kekurangan-kekurangan dibanding dengan konstruksi lainnya.

Keuntungan dari pemakaian beton prategang :

- Terhindar retak di daerah tarik, sehingga konstruksi lebih tahan terhadap korosi dan lebih kedap.
- Penampang struktur lebih kecil/langsing, karena seluruh penampang dapat dipakai secara efektif.
- Lendutan akhir yang terjadi lebih kecil dibandingkan dengan beto bertulang.

- Dapat dibuat konstruksi dengan bentangan yang panjang.
- Untuk bentang > 30 m dapat dibuat secara segmental sehingga mudah untuk transportasi dari pabrikasi ke lokasi proyek.
- Ketahanan terhadap geser dan puntir bertambah, akibat pengaruh prategang meningkat.
- Hampir tidak memerlukan perawatan dan
- Mempunyai nilai estetika.

Kerugian dari pemakaian beton bertulang :

- Konstruksi ini memerlukan pengawasan dan pelaksanaan dengan ketelitian yang tinggi.
- Untuk bentang > 40 m kesulitan pada saat *ereksion* karena bobot dan bahaya patah getaran.
- Membutuhkan teknologi tinggi dan canggih.
- Sangat sensitif dan peka terhadap pengaruh luar.
- Biaya awal tinggi.

Adapun parameter perencanaan girder beton prategang yang harus diperhatikan adalah sebagai berikut.

1. Sistem penegangan

Secara desain struktur beton prategang mengalami proses prategang yang dipandang sebagai berat sendiri sehingga batang mengalami lenturan seperti balok pada kondisi awal. Cara umum penegangan beton *prestress* ada 2, yaitu :

- 1) *Pre-tensioning*, yaitu *stressing* dilakukan pada awal/sebelum beton mengeras.
- 2) *Post-tensioning*, yaitu *stressing* dilakukan pada akhir/setelah beton mengeras.

Secara umum perbedaan dari system penegangan diatas adalah :

Pre-tensioning :

- Tendon ditegangkan pada saat beton sebelum dicor.
- Tendon terikat pada konstruksi angker tanah.

- Transfer tegangan tekan dari tendon pada beton melalui lekatan (*bond*) antara tendon dengan beton.
- Layout tendon dapat dibuat lurus atau patahan.

Post-tensioning :

- Beton dicor seelum tendon ditegangkan.
- Ada duct untuk penempatan tendon dalam beton.
- Transfer tegangan tekan dari tendon pada beton melalui penjangkaran (angker).
- Layout tendon dapat dibuat lurus atau parabola.

2. Tegangan yang diijinkan

a. Keadaan awal

Keadaan dimana beban luar belum bekerja dan teangan yan terjadi berasal dari gaya prategang dan berat sendiri.

f'_{ci} = Tegangan karakteristik beton saat awal (Mpa)

f_{ci} = Tegangan ijin tekan beton saat awal = + 0,6 . f'_{ci}

f_{ti} = Tegangan ijin tarik beton saat awal = - 0,5 . $\sqrt{f'_{ci}}$

b. Keadaan akhir

Keadaan dimana beban luar telah bekerja, serta gaya prategang bekerja untuk mengimbangi tegangan akibat beban.

f'_c = Tegangan karakteristik beton saat akhir (Mpa)

f_c = Tegangan ijin tekan beton saat akhir = + 0,45 . f'_c

f_t = Tegangan ijin tarik beton saat akhir = - 0,5 . $\sqrt{f'_c}$

3. Perhitungan pembebanan

Yaitu beban-beban yang bekerja antara lain : beban mati, beban hidup, dan beban-beban lainnya sesuai dengan PPJJR 1987 seperti yang telah diuraikan diatas.

4. Perencanaan dimensi penampang

Dimensi penampang yang digunakan, diambil dari spesifikasi yang dikeluarkan oleh PT. Wika.

5. Perencanaan tegangan penampang

Perencanaan tegangan penampang dibuat berdasarkan tegangan ijin yang disyaratkan :

a. Keadaan awal

$$f_{top} \leq f_{ti} \quad \text{dan} \quad f_{bott} \leq f_{ci}$$

b. Keadaan akhir

$$f_{top} \leq f_c \quad \text{dan} \quad f_{bott} \leq f_t$$

Dengan e dan M_D pada penampang kritis :

a. Kondisi awal

$$f_{top} = \frac{T_i}{A_c} - \frac{T_i * e}{S_t} + \frac{M_D}{S_t} \leq - f_{ti}$$

$$f_{bott} = \frac{T_i}{A_c} + \frac{T_i * e}{S_b} - \frac{M_D}{S_b} \leq f_{ci}$$

b. Kondisi akhir

$$f_{top} = \frac{R * T_i}{A_c} - \frac{R * T_i * e}{S_t} + \frac{M_D + M_L}{S_t} \leq f_c$$

$$f_{bott} = \frac{R * T_i}{A_c} + \frac{R * T_i * e}{S_b} - \frac{M_D + M_L}{S_b} \leq - f_t$$

.....Cek terhadap tegangan ijinnya

6. Layout Tendon

Bentuk lintasan tendon adalah parabola dan untuk mengetahui posisi tendon digunakan persamaan garis lengkung, :

$$Y_i = \frac{4 \cdot f \cdot X_i \cdot (L - X_i)}{L^2}$$

Dimana : Y_i = Ordinat tendon yang ditinjau

X_i = Absis tendon yang ditinjau

L = Panjang bentang

F = Tinggi puncak parabola maksimum

..... T.Y. LIN & H. BURNS, desain struktur beton prategang, 1996 hal. 274-275

Tendon yang ada, letaknya sedemikian rupa harus berada pada lintasan inti tendon, dan tidak boleh berada diluar daerah aman penempatan tendon (batas atas dan batas bawah) dimana :

$$\text{Batas bawah} = Y_b - K_b - a_2$$

$$a_2 = \frac{M_G}{T_i}$$

Dimana : a_2 = Jarak titik berat tendon dibawah batas bawah kern (k_b)

M_G = Momen akibat berat sendiri

T_i = Gaya pratekan awal

..... T.Y. LIN & H. BURNS, desain struktur beton prategang ...

$$\text{Batas atas} = Y_b' + K_t' - a_1$$

$$a_1 = \frac{M_{DL(total)}}{T_{eff}}$$

Dimana :

a_1 = Jarak titik berat tendon dibawah batas bawah kern (k_b)

$M_{DL(total)}$ = Momen akibat beban mati dan hidup keseluruhan

T_{eff} = Gaya pratekan efektif ($R \cdot T_i$)

..... T.Y. LIN & H. BURNS, desain struktur beton prategang ...

7. Pemilihan Tendon

Pemilihan jenis, diameter, jumlah strands, angker blok dan duck tendon pada beton prategang disesuaikan dengan bahan material yang ada dipasaran guna kemudahan pengadaan material, namun juga mampu menahan gaya tarik maksimum tendon guna mendapatkan *Tegangan ultimit* (R_{ti}) sesuai dengan perencanaan untuk dapat mempertahankan gaya tarik tersebut.

8. End Block

- Propertis penampang
- Tegangan *Bearing Zone*

Keadaan awal :

$$\sigma'_{bi} = 0,8 \cdot f'_{ci} \cdot \sqrt{\frac{Ac}{Ab}} - 0,2 \leq 1,25 \cdot f'_{ci}$$

Keadaan akhir :

$$\sigma'_b = 0,6 \cdot f'_c \cdot \sqrt{\frac{Ac}{Ab}} \leq f'_c$$

dimana : Ab = luas bidang pelat angker (mm^2)

Ac = luas bidang penyebaran (mm^2)

- Tegangan pada beton

$$\sigma_{bi} = \frac{T_i}{h_b \cdot b} \leq \sigma'_{bi} \quad \text{dan} \quad \sigma_b = \frac{T_i}{a \cdot b} \leq \sigma'_b$$

- *Burshing Force* (R)

$$\frac{h_b}{a} \leq 0,2 \rightarrow R = 0,3 \cdot T_i \cdot \left(1 - \frac{h_b}{a}\right)$$

$$\frac{h_b}{a} > 0,2 \rightarrow R = 0,2 \cdot T_i \cdot \left(1 - \frac{h_b}{a}\right)$$

$$n \cdot A_s \cdot f_y = R \dots\dots\dots n = \frac{a}{s}$$

$$A_s = \frac{R}{n \cdot f_y}$$

9. Perhitungan Geser

a. Pola Retak karena Gaya Lintang (Shear Compression Failure)

$$V_{cw} = V_{cr} \cdot b_w \cdot d + V_T$$

$$V_{cr} = (0,33 \sqrt{f'_c}) \times \sqrt{1 + \frac{f_{pc}}{0,33 \sqrt{f'_c}}}$$

Dimana :

V_{cw} = gaya geser mengakibatkan shear compression failure

V_{cr} = gaya geser hancur beton prategang

f_{pc} = tegangan akibat prategang pada garis netral (kondisi akhir)

b_w = lebar badan

d = jarak dari cgs sampai serat teratas pada $h/2$

V_T = komponen vertikal dari gaya prategang akhir $T_e = \tan \alpha * T_i$

$$\tan \alpha = \frac{2 \cdot e_0}{L} \rightarrow L = h/2$$

e_0 = eksentrisitas beton pada h/2

Geseran diperhitungkan (V_u) pada jarak h/2 dari tumpuan.

Syarat : $V_{cw} \geq V_u$Ok

b. Pola Retak akibat Kombinasi Momen Lengkung dan Gaya Lintang (*Diagonal Tension Failure*)

$V_u = RA - q_x \rightarrow$ Gaya lintang yang terjadi pada L/4

$M = RA * x - \frac{1}{2} * q * x^2 \rightarrow$ Momen yang terjadi pada L/4

dimana : f_{pe} = tegangan pada serat bawah pada L/4

e = eksentrisitas tendon pada L/4

Momen retak akibat lentur murni :

$$M_{cr} = f_b * S_b \dots\dots f_b = f_{tr} + f_{pe} \dots\dots f_{tr} = 0,5 * \sqrt{f'_c}$$

$$f_{pe} = \frac{T_i}{A} + \frac{T_i * e}{S_b}$$

Gaya geser yang menyebabkan *flexure shear cracks* :

$$V_{ci} = 0,55 \sqrt{f'_c} * b_w * d + \frac{V}{M} * M_{cr}$$

Dimana : $V = V_u$

d = jarak cgs sampai serat teratas (mm)

$V_{ci} \geq V_u$ Penampang aman terhadap keretakan akibat geser dan momen lengkung.

c. Penulangan Geser

$$V_{max} = V_c + 0,8 \sqrt{f'_c} * b_w * d$$

$$V_{min} = 0,5 V_c$$

$$V = V_c + 0,4 \sqrt{f'_c} * b_w * d$$

$$V = V_c + 0,35 \sqrt{f'_c} * b_w * d$$

$V_c = V_{cw}$ atau V_{ci} dipilih nilai yang terbesar

$V < V_{min}$ diperlukan tulangan geser minimum

$V_{\max} \geq V$ pnp cukup untuk menahan geser

10. Perhitungan Lendutan

$$E = 4700 * \sqrt{f'_c}$$

a. Lendutan akibat berat sendiri balok

$$\delta_{bsb} = \frac{5 \cdot q_D \cdot L^4}{384 \cdot EI}$$

b. Lendutan akibat beban hidup

$$\delta_{bh} = \frac{5 \cdot q_L \cdot L^4}{384 \cdot EI}$$

c. Lendutan akibat gaya pratekan

- Gaya pratekan awal

$$M = T_0 \cdot e \rightarrow T_0 = \frac{T_i}{0,85}$$

$$M = \frac{1}{8} * q * L^2 \rightarrow q = \frac{8 \cdot M}{L^2}$$

$$\delta_0 = \frac{5 \cdot q_D \cdot L^4}{384 \cdot EI}$$

d. Lendutan gaya pratekan efektif

$$M = T_i \cdot e$$

$$M = \frac{1}{8} * q * L^2 \rightarrow q = \frac{8 \cdot M}{L^2}$$

$$\delta_1 = \frac{5 \cdot q_D \cdot L^4}{384 \cdot EI}$$

Lendutan ijin pada jembatan : $\delta_{ijin} \leq \frac{1}{360} \cdot L$

$$Check : \delta_0 - \delta_{bsb} \leq \delta_{ijin} \quad \delta$$

$$\delta_1 - \delta_{bh} - \delta_{bsb} \leq \delta_{ijin}$$

11. Perhitungan Kehilangan Tegangan

Bersumber pada beton

a. Perpendekan Elastis

$$\Delta \sigma_{si} = n \cdot \frac{F}{A}$$

$$F = (\text{Jumlah tendon} - 1) \times \frac{A_{\text{tendon}} * \sigma}{\text{Jumlah.tendon}} \rightarrow \sigma_{si} = \frac{T_i}{A}$$

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

$$\text{Kehilangan tegangan rata-rata} = \frac{\sum \Delta \sigma_{si}}{\text{Jumlah.tendon}}$$

$$\% \text{ losses} = \frac{\text{Kehilangan.tegangan.rata - rata}}{\sigma_{si}}$$

b. Susut (Shrinkage)

$$\Delta f_{sh} = E_s \cdot \epsilon_{sh} \rightarrow \epsilon_{sh} = k_s \cdot k_h \cdot \left(\frac{t}{35 + t} \right) \cdot 0,51 \cdot 10^{-3}$$

dimana : t = usia beton dalam hari pada saat susut dihitung

k_s = factor koreksi (pada tabel buku ajar kuliah)

k_h = factor koreksi yang terkait dengan nilai k_s

$$\% \text{ losses} = \frac{\Delta f_{sh}}{\sigma_{si}}$$

c. Rangak (Creep)

Akibat beban tetap dan merupakan fungsi waktu.

$$\Delta f_{scr} = E_s \cdot \epsilon_{cr} \rightarrow \epsilon_{cr} = C_c \left(\frac{f_{ci}}{E_c} \right)$$

$$C_c = 3,5 k \left(1,58 - \frac{H}{120} \right) \cdot t_i^{-0,118} \cdot \left(\frac{(t - t_i)^{0,6}}{10 + (t - t_i)^{0,6}} \right)$$

dimana : C_c = Creep Coefficient

H = kelembaman relative dalam %

K = koefisien

t_i = usia beton pada saat transfer tegangan (hari)

t = usia beton i saat rangkak dihitung (hari)

$$\% \text{ losses} = \frac{\Delta f_{scr}}{\sigma_{si}}$$

Bersumber pada beton

a. Relaksasi baja

Proses kehilangan tegangan tendon pada regangan tetap

$$\Delta f_{rel} = f_{si} \cdot \frac{\log(t)}{10} \left(\frac{f_{si}}{f_y} - 0,55 \right)$$

dimana : f_{si} = tegangan tendon akibat T_i

f_y = tegangan leleh baja

K = koefisien

t = usia beton saat relaksasi dihitung (hari)

$$\% \text{ losses} = \frac{\Delta f_{rel}}{\sigma_{si}}$$

b. Angker slip (pada saat *Post-tension*)

$$\Delta f_{AS} = \frac{\Delta_A}{L} E_s$$

dimana : Δ_A = besarnya angker slip (mm), biasa = 6 mm

E_s = modulus elastisitas baja prategang (Mpa)

L = panjang tendon (mm)

$$\% \text{ losses} = \frac{\Delta f_{AS}}{\sigma_{si}}$$

c. Gelombang dan Geseran (pada saat *Post-tension*)

Kehilangan tegangan karena posisi tendon dalam *duct* yang tidak lurus, serta geseran antara tendon dengan *duct*.

$dP = \mu \cdot Pd \cdot \alpha + K \cdot Pd \cdot x \rightarrow$ kehilangan tegangan

$$P_B = P_A \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + K \cdot x)}$$

dimana : P_A = gaya prategang pada ujung jack (KN)

P_B = gaya prategang setelah kehilangan tegangan (KN)

X = panjang *duct* yang ditinjau (m)

μ = koefisien geseran tendon dan *duct*, tergantung jenis tendon dan *duct*

K = koefisien gelombang (per meter)

α = sudut kelengkungan tendon

2.9.3 Bangunan Struktur Bawah

Bangunan struktur bawah sebagian besar merupakan struktur beton bertulang yang secara metode pelaksanaan dan perhitungan

tidak jauh berbeda dengan bangunan struktur atas, secara umum bangunan struktur bawah adalah sebagai berikut :

Pilar (Pier)

Pilar (Pier) berfungsi sebagai pembagi bentang jembatan dan sebagai pengantar beban-beban yang bekerja pada struktur atas dan menyalurkannya kepada pondasi dibawahnya.

Pilar terbagi atas beberapa bagian :

- Pier head dan Head wall
- Kolom

Dalam mendesain pilar dilakukan dengan cara berikut :

- a. Menentukan bentuk dan dimensi rencana penampang pilar.
- b. Menentukan pembebanan yang terjadi pada pilar :
 - Beban mati berupa gelagar utama, lantai jembatan, diafragma, perkerasan (*pavement*), sandaran, dan air hujan.
 - Beban hidup berupa beban merata dan beban garis.
 - Beban sekunder berupa beban gempa, rem dan traksi, serta koefisien kejut dan beban angin.
- c. Menghitung momen, gaya normal, dan gaya geser yang terjadi akibat kombinasi dari beban-beban yang bekerja.
- d. Menentukan mutu beton dan luasan tulangan yang digunakan serta cek apakah pilar cukup mampu menahan gaya-gaya tersebut.

Abutment

Abutment merupakan struktur bawah jembatan yang berfungsi sama dengan pilar (pier) namun pada abutment juga terkait dengan adanya factor tanah. Adapun langkah perencanaan abutment adalah sama dengan tahapan perencanaan pilaar (pier), namun pada pembebanannya ditambah dengan tekanan tanah timbunan dan ditinjau kestabilan terhadap sliding dan bidang runtuh tanahnya.

Footing (Pile-cap)

Footing atau *Pile-cap* merupakan bangunan struktur yang berfungsi sebagai pemersatu rangkaian pondasi tiang pancang maupun bore pile (pondasi dalam kelompok), sehingga diharapkan bila terjadi penurunan akibat beban yang bekerja di atasnya pondasi-pondasi tersebut akan mengalami penurunan secara bersamaan dan juga dapat memperkuat daya dukung pondasi tiang dalam tersebut.

Pondasi

Untuk perencanaan suatu pondasi jembatan dan jalan dilakukan penyelidikan tanah untuk mengetahui daya dukung tanah (DDT) dasar setempat. Penyelidikan tanah secara umum dilakukan dengan cara boring dan sondir.

Adapun tinjauan analisa tanah yang digunakan adalah

1. Standar Penetration Test

$$N = 15 + \frac{1}{2} (N' - 15)$$

dimana :

N = Nilai SPT setelah dikoreksi

N' = Nilai SPT yang diukur dengan catatan percobaan N' > 15

Tabel 2. 18 Standar Penetration Test

Tingkat Kepadatan	Dr	N	Φ
Sangat lepas	< 0,2	< 4	< 30
Lepas	0,2 - 0,4	4-10	30 - 35
Agak padat	0,4 - 0,6	10-30	35 - 40
Padat	0,6 - 0,8	30 - 50	40 - 45
Sangat Padat	0,8 - 1,0	> 50	45

Sumber : Pondation Engineering, Ralph. BP, 1973

2. Dari Hasil Alat Sondir

Penafsiran dengan menggunakan alat sondir dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. 19 Penafsiran hasil penyelidikan tanah

Hasil Sondir (kg/cm ²)		Klasifikasi
qc	fs	
6	0,15 - 0,40	Humus, lempung sangat lunak
6 - 10	0,20	Pasir kelanauan lepas, pasir sangat halus

	0,20 - 0,60	Lempung lembek kelanauan
10 - 30	0,10	Kerikil lepas
	0,10 - 0,40	Pasir lepas
	0,80 - 2,00	Lempung agak kenyal
	1,50	Pasir kelanauan, agak padat
30 - 60	1,00 - 3,00	Lempung kelanauan, agak kenyal
	3,00	Lempung kerikil kenyal
	150 - 300	1,00 - 2,00

Sumber : Penetrometer and Soil Exploration, G. Sanglerat, 1972

3. Dari hasil *Boring Log*

Analisa dapat dilihat dari hasil boring log di lapangan (perlu diperhatikan letak kedalaman Muka Air Tanah).

Tabel 2.20 Klasifikasi Tanah-2

N - Values (SPT)	Consistensy
0 – 2	<i>Very soft</i>
2 – 4	<i>Soft</i>
4 – 8	<i>Medium soft</i>
8 – 16	<i>Stiff</i>
16 - 32	<i>Very Stiff</i>
> 32	<i>Hard</i>

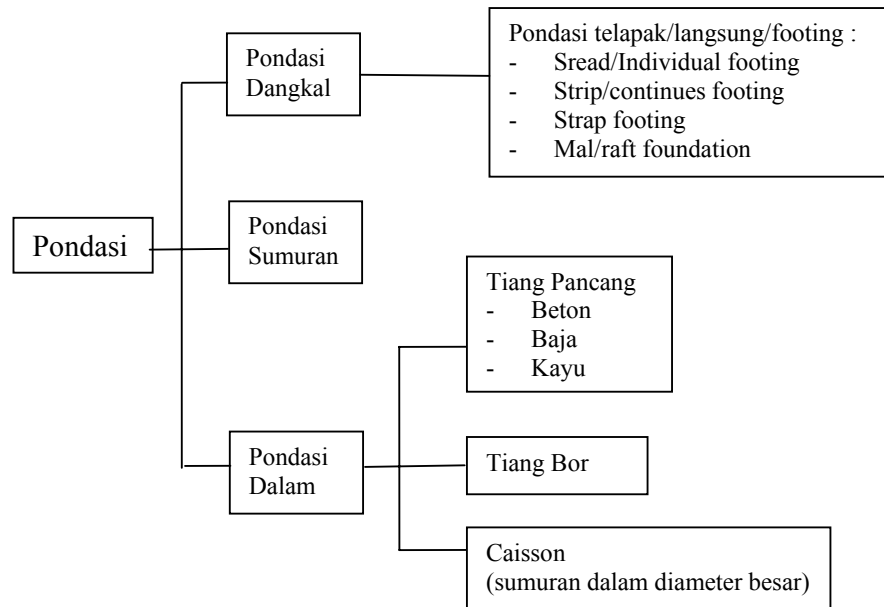
Sumber : Soil Mechanic and Fondation, DR. BC Punmia, 1981

Dari ketiga analisa diatas dapat ditentukan jenis pondasi yang akan digunakan dan dapat pula diketahui kekuatan tanah berdasarkan jenis pondasi yang dipilih.

Pemilihan Jenis Pondasi

Jenis pondasi yang umum dalam struktur sipil ada 3 macam, yaitu :

1. Pondasi dangkal
2. Pondasi sumuran
3. Pondasi dalam



Gambar 2.6 Pengelompokan Tipe Pondasi

1. Pondasi Dangkal

Kriteria desain pondasi dangkal :

- Termasuk pondasi dangkal ($D/B < 4$).
- Digunakan apabila letak tanah baik (kapasitas dukung ijin $> 2,0 \text{ kg/cm}^2$) relative dangkal (0,60 – 2,00 m).
- Diusahakan agar pada pilar tidak digunakan pondasi langsung dan apabila tidak dapat dihindari maka perlu struktur pengaman untuk melindungi pondasi.

2. Pondasi Sumuran

Kriteria desain pondasi sumuran :

- Termasuk pondasi sumuran ($4 \leq D/B < 10$).
- Digunakan apabila beban yang bekerja cukup berat dan tanah keras relative dalam (daya dukung ijin tanah $> 3 \text{ kg/cm}^2$).
- Jumlah sumuran tergantung dari beban yang bekerja, namun diameter sumuran $\geq 3 \text{ m}$ agar pekerja dapat masuk ke lubang.

- d. Bila tanah pondasi berpasir penggalian harus hati-hati dan pengambilan tanah jangan sampai terbawa air tanahnya, hal ini untuk menghindari kelongsoran dan masuknya tanah dari luar.
- e. Penggalian harus sebaik mungkin (tidak seperti pada pondasi langsung) sehingga factor lekatan tanah tidak hilang.

3. Pondasi Dalam

Kriteria desain pondasi dalam :

- a. Termasuk pondasi dalam ($D/B > 10$).
- b. Penggunaan alat khusus/berat seperti alat pancang dan alat bor dalam pelaksanaannya.

Pondasi dalam dapat berupa :

- a. Pondasi dalam dengan pile didesakkan ke dalam tanah. Pondasi tipe ini memakai pile berupa tiang pancang, sheet pile, dll. Pengerjaan pondasi tipe ini membutuhkan bantuan *crane* dan *hammer pile* untuk mendesakkan pile ke dalam tanah.
- b. Pondasi dalam dengan pile ditempatkan pada ruang yang telah disediakan dengan cara dibor (*Bor pile*). Pondasi tipe ini membutuhkan mesin bor untuk membuat lubang dengan kedalaman rencana kemudian pile dirangkai.

c. Pondasi Caisson

Pondasi caisson merupakan bentuk dari pondasi sumuran dengan diameter yang relatif lebih besar.

Untuk lebih terperinci mengenai pondasi dalam, maka dianalisa secara seksama untuk tiang pancang dan bored pile sebagai pembanding dalam pemilihan jenis pondasi yang akan digunakan

A. Analisa dan Desain Pondasi Tiang Pancang

Perhitungan pondasi ini meliputi :

- a. Analisa gaya yang bekerja pada pondasi tiang.
- b. Kontrol terhadap daya dukung tiang terhadap struktur.
- c. Kontrol stabilitas pondasi terhadap tekanan tanah pasif.

Adapun tinjauan perhitungan pondasi tiang pancang adalah :

1. Perhitungan daya dukung tiang pancang tunggal
 - a. Kekuatan bahan tiang.
 - b. Daya dukung tanah dari data sondir

- Rumus Boegemenn

$$P_{all} = \frac{q_c * A}{3} + \frac{K * TF}{5}$$

Dimana :

A = luas tiang beton

K = keliling tiang

TF = JHP = total friction

q_c = ½ (q_{cu} + q_{cb}) = point bearing capacity

- Rumus Mayerhoff

$$P_{ult} = (q_c . A_b + \gamma_s . A_s)$$

$$P_{all} = \frac{P_{ult}}{3}$$

Dimana :

A_b = luas penampang tiang

A_s = luas selimut tiang

γ_s = total friction

q_c = qonus resistance rata –rata 4D di atas ujung tiang dan 1D di bawah tiang

- Rumus Bala Subramanian

$$P_{all} = \frac{b * q_c * A}{F_k} + \frac{a * K * TF}{F_k}$$

Dimana :

q_c = nilai konus

TF = total friction

A = luas penampang tiang

K = keliling penampang tiang

Tabel 2. 41 Nilai a dan b pada Penggunaan Rumus Subramanian

Jenis Pondasi	a				b	
	Clay lunak	Clay med.	Clay keras	Pasir	Clay	Pasir
Pancang	1	0.70	0.50	0.80	0.33	0.50
Bor	1	0.35	0.40	0.45	0.50	0.65

c. Daya dukung tanah dari data Standar Penetration Test (SPT)

$$P_{ult} = (40 \cdot N_b \cdot A_b) + (0,2 \cdot \bar{N} \cdot A_s)$$

Dimana :

P_{ult} = Daya dukung batas pondasi (ton)

N_b = Nilai N-SPT pada elevasi dasar tiang

A_b = Luas penampang dasar tiang (m^2)

\bar{N} = Nilai N-SPT rata-rata

A_s = Luas selimut tiang (m^2)

2. Perhitungan daya dukung kelompok tiang (pile grup)

a. Metode Converse - Labarre

Berdasarkan efisiensi kelompok tiang bor

“Persamaan Converse - Labarre” akibat

pemasangan secara group:

$$E = 1 - \frac{\phi}{90} \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{m \cdot n} \right]$$

dimana :

$$\phi = \tan^{-1} \frac{D}{S}$$

D = diameter tiang pancang

S = jarak antara tiang pancang

b. Metode Feld

$$Q_i = \eta \times Q_{tiang}$$

Nilai efisiensi pile grup (η) pada metode ini tergantung dari jumlah dan formasi letak dari susunan penempatan tiang pada footing.

3. Beban kelompok tiang yang menerima beban sentries dan momen bekerja pada dua arah (*Biaxial bending*)

$$P_{\max} = \frac{\sum P_v}{n} \pm \frac{M_x * Y_{\max}}{n_x * \sum y^2} \pm \frac{M_y * X_{\max}}{n_y * \sum x^2}$$

dimana : P_{\max} = Beban max yang diterima 1 tiang (tunggal)

$\sum P_v$ = Jumlah beban vertikal

M_x = Momen arah x

M_y = Momen arah y

V_{\max} = jarak terjauh tiang ke pusat berat tiang

n_x = Banyak tiang dalam satu baris arah x

n_y = Banyak tiang dalam satu baris arah y

Check : $P_{\max} \leq P_{\text{eff}}$ Aman

4. Penulangan Tiang Pancang

Penulangan tiang pancang ditinjau berdasarkan kebutuhan pada waktu pengangkatan.

- Kondisi 1 (Pengangkatan 1 titik)
- Kondisi 2 (Pengangkatan 2 titik)

Dari kedua model pengangkatan diatas dipilih Momen yang terbesar untuk perencanaan penulangan. Penulangan sama dengan perhitungan beton bertulang diatas.

B. Analisa dan Desain Pondasi Bored Pile

Pemilihan pondasi bored pile pada perencanaan karena adanya bangunan lama dan kondisi situasi sosial dilingkungan setempat, sehingga factor keamanan struktur dan kenyamanan pada masa pelaksanaan terpenuhi. Pondasi bored pile memiliki kelebihan dan

kekurangan bila dibandingkan dengan pondasi tiang pancang.

Kelebihan-kelebihan pondasi bored pile :

- a. Memerlukan lebih sedikit penenman ke dalam tanah karena dimensinya dapat diperbesar ($d = 0,5 \text{ m} - 3,5 \text{ m}$)
- b. Meniadakan getaran dan suara gaduh yang merupakan akibat dari pendorongan tiang pancang.
- c. Dapat menembus tanah keras dan kerakal karena bila menggunakan tiang pancang mengakibatkan bengkok.
- d. Lebih mudah memperluas bagian puncak sehingga memungkinkan momen-momen lentur yang lebih besar.
- e. Dapat meminimalisir kerusakan pada struktur bangunan lama akibat pengaruh dari pendorongan tiang pancang.
- f. Penulangan besi stek dari bored pile ke footing lebih baik karena menjadi satu kesatuan struktur yang utuh.

Kekurangan-kekurangan pondasi bored pile :

- a. Tidak dapat dipakai jika lapisan pendukung (*bearing stratum*) tidak cukup dekat dengan permukaan tanah (dengan menganggap tanah pada lapisan yang kompeten/mampu tidak dapat dandalkan untuk tahanan kulit).
- b. Keadaan cuaca yang buruk dapat mempersulit pengeboran dan atau pembetonan.
- c. Akan terjadi tanah runtuh jika tindakan pencegahan tidak dilakukan yaitu *casing*.
- d. Kualitas bored pile sangat tergantung pada ketelitian dan kesempurnaan dari proses pelaksanaan.

1. Perhitungan daya dukung tiang pancang tunggal

a. Kekuatan bahan tiang.

$$P \text{ tiang} = \sigma'_{\text{bahan}} \times A_{\text{tiang}}$$

b. Daya dukung tanah dari data sondir

• Rumus Boegemenn

$$P_{all} = \left[\frac{qc * A}{3} + \frac{K * TF}{5} \right] . 70\%$$

Dimana :

A = luas tiang beton

K = keliling tiang

TF = JHP = total friction

qc = $\frac{1}{2} (q_{cu} + q_{cb})$ = point bearing capacity

• Rumus Mayerhoff

$$P_{ult} = (qc . A_b + \gamma_s . A_s) . 70\%$$

$$P_{all} = \frac{P_{ult}}{3}$$

Dimana :

A_b = luas penampang tiangA_s = luas selimut tiang γ_s = total friction

qc = qonus resistance rata –rata 4D di atas ujung tiang dan 1D di bawah tiang

• Rumus Bala Subramanian

$$P_{all} = \frac{b * qc * A}{Fk} + \frac{a * K * TF}{Fk}$$

Dimana :

qc = nilai konus

TF = total friction

A = luas penampang tiang

K = keliling penampang tiang

c. Daya dukung tanah dari data Standar Penetration Test (SPT)

$$P_{ult} = (40 . N_b . A_b) + (0,2 . \tilde{N} . A_s) . 70\%$$

Dimana :

P_{ult} = Daya dukung batas pondasi (ton)

N_b = Nilai N-SPT pada elevasi dasar tiang

A_b = Luas penampang dasar tiang (m^2)

\bar{N} = Nilai N-SPT rata-rata

A_s = Luas selimut tiang (m^2)

2. Perhitungan daya dukung kelompok tiang (pile grup)

a. Metode Converse - Labarre

Berdasarkan efisiensi kelompok tiang bor

“Persamaan Converse - Labarre” akibat

pemasangan secara group:

$$E = 1 - \frac{\phi}{90} \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{m * n} \right]$$

dimana :

$$\phi = \tan^{-1} \frac{D}{S}$$

D = diameter tiang bor

S = jarak antara tiang bor

b. Metode Feld

$$Q_t = \eta \times Q_{tiang}$$

Nilai efisiensi pile grup (η) pada metode ini

tergantung dari jumlah dan formasi letak dari susunan penempatan tiang pada footing.

3. Beban kelompok tiang yang menerima beban sentries dan momen bekerja pada dua arah (*Biaxial bending*)

$$P_{max} = \frac{\sum P_v}{n} \pm \frac{M_x * Y_{max}}{n_x * \sum y^2} \pm \frac{M_y * X_{max}}{n_y * \sum x^2}$$

dimana : P_{max} = Beban max yang diterima 1 tiang (tunggal)

$\sum P_v$ = Jumlah beban vertikal

M_x = Momen arah x

M_y = Momen arah y

Y_{max} = jarak terjauh tiang ke pusat berat tiang

n_x = Banyak tiang dalam satu baris arah x

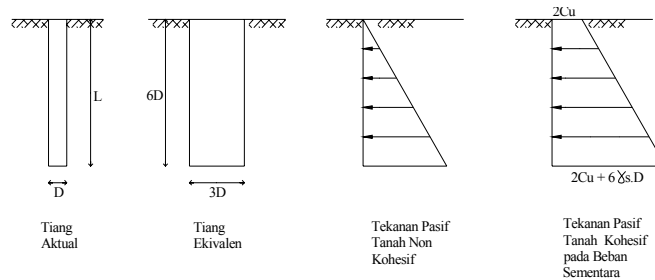
n_y = Banyak tiang dalam satu baris arah y

Check : $P_{max} \leq P_{eff}$ Aman

4. Kapasitas Lateral Dari Tiang Bor

Cara empirik dengan metode O.H.B.D.C mengijinkan bahwa ketahan lateral, Q_L dari tiang tunggal yang tertahan dalam kelompok tiang adalah ketahan pasif dari tiang dengan dimensi ekivalen :

- Lebar sebesar 3D aktual tiang
- Kedalaman sebesar 6 kali diameter aktual tiang



Gambar 2.7 Kapasitas Lateral Tiang Bor

Pada tanah kohesif $Q_L = 36.C_u.D^2 + 54. \gamma_s .D^3$

Lebar ekuivalen = 3 D

Kedalaman tiang ekuivalen = 6 D

5. Penulangan Tiang Bor

Penulangan tiang bor ditinjau berdasarkan momen yang diakibatkan oleh tekanan tanah pasif dan daya dukung tiang tunggal.