

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tanah

2.1.1 Pengertian Tanah

Secara teknis, tanah merupakan suatu lapisan sedimen lepas seperti kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*), lempung (*clay*) atau suatu campuran dari bahan-bahan tersebut. Sedangkan secara geologis, tanah merupakan bahan organik pada permukaan yang terpengaruh cuaca, atau tanah lapisan atas (*top soil*). (Smith M.J, 1992)

2.1.2 Permasalahan pada Tanah

1. Kerusakan struktural pada bangunan akibat penurunan yang terlalu berlebihan atau akibat penurunan yang berbeda
2. Penentuan penurunan bangunan, yaitu dengan menentukan kompresibilitas tanah. Dari sini, selanjutnya digunakan dalam persamaan penurunan yang didasarkan pada teori konsolidasi, misalnya teori Terzaghi.
3. Penentuan kecepatan air yang mengalir lewat benda uji guna menghitung koefisien permeabilitas. Dari sini kemudian dihubungkan dengan hukum Darcy dan jaring arus (*flownet*) untuk menentukan debit aliran yang lewat struktur tanah.
4. Untuk mengevaluasi stabilitas tanah yang miring, yaitu dengan menentukan kuat geser tanah. Dari sini kemudian disubstitusikan dalam rumus statika atau stabilitas lereng.
5. Keruntuhan timbunan, yang mungkin berupa keruntuhan kemiringan (tanah longsor) atau penurunan yang berlebihan atau keruntuhan pada pondasi, atau keruntuhan pada timbunan itu sendiri

6. Keruntuhan bendungan yang terdiri dari berbagai jenis, termasuk timbunan atau kebocoran yang berlebihan melalui timbunan atau tanah dasar

2.1.3 Kuat Geser Tanah

Suatu beban yang dikerjakan pada suatu massa tanah akan selalu menghasilkan tegangan-tegangan dengan intensitas yang berbeda-beda di dalam zona berbentuk bola lampu (*bulb*) di bawah beban tersebut. (*Bowles, 1993*)

Yang perlu kita tinjau pertama yaitu kekuatan tanah dikarenakan beban yang bekerja pada massa tanah memerlukan dua pertimbangan :

1. Besarnya penurunan total. Untuk sebagian besar tanah, ini merupakan penurunan konsolidasi.
2. Kemungkinan keruntuhan tanah. Ini dapat berupa suatu gerakan rotasi tanah di bawah areal yang mengalami pembebanan atau kadang-kadang berupa suatu keruntuhan pons (*punching failure*). Yang belakangan ini biasanya merupakan gerakan yang terbatas, walaupun demikian besarnya mungkin cukup untuk menyebabkan gangguan struktural yang cukup berarti pada struktur atas.

Parameter kuat geser tanah diperlukan untuk analisis-analisis kapasitas dukung tanah, stabilitas lereng, dan gaya dorong pada dinding penahan tanah. Bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh :

1. Kohesi tanah yang bergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, tetapi tidak tergantung dari tegangan normal yang bekerja pada bidang geser.
2. Gesekan antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan normal pada bidang gesernya.

Coulomb (1776) mendefinisikan $f(\sigma)$ seperti pada persamaan sebagai berikut :

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \varphi$$

Dimana :

τ = Kuat geser tanah (KN/m^2)

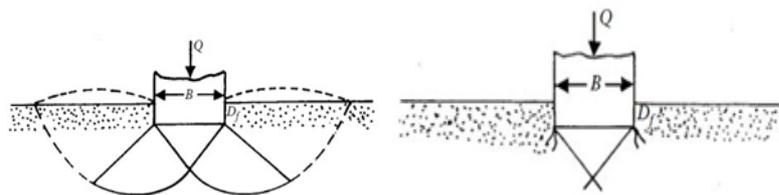
c = Kohesi tanah (KN/m^2)

φ = Sudut gesek dalam tanah atau sudut gesek internal (derajat)

σ = Tegangan normal pada bidang runtuh (KN/m^2)

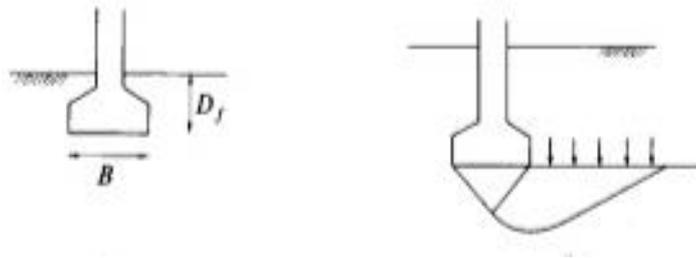
2.1.4 Daya Dukung Tanah

Apabila beban yang bekerja pada tanah pondasi telah melampaui daya dukung batasnya, tegangan geser yang ditimbulkan di dalam tanah pondasi melampaui ketahanan geser tanah pondasi maka akan berakibat keruntuhan geser dari tanah pondasi. Dalam keadaan batas di mana keruntuhan geser akan terjadi, maka akan terbentuk daerah keseimbangan plastis di sekitar tanah pondasi yang bersentuhan dengan pondasi. Suatu daerah keseimbangan plastis tertentu diperkirakan terbentuk dengan pola yang sama, tidak hanya bila pondasi ditempatkan pada permukaan tetapi juga pada pondasi yang dibuat pada galian dalam atau pada bagian ujung tiang-tiang pancang yang dipancang ke dalam tanah.



Gambar 2.1 Daerah keseimbangan plastis dalam tanah pondasi

Daya dukung batas yang dapat diberikan oleh tanah pondasi menerus lurus dengan lebar B seperti diperlihatkan pada gambar



Gambar 2.2 Kedalaman Pondasi

Diberikan dalam persamaan berikut yang dikenal sebagai rumus daya dukung Terzaghi :

$$q_u = c N_c + \gamma D_f N_q + 1/2 \gamma B N_\gamma$$

Kapasitas daya dukung pondasi bujur sangkar dengan sisi B

$$q_u = 1,3 c N_c + \gamma D_f N_q + 0,4 \gamma B N_\gamma$$

Kapasitas daya dukung pondasi segi empat (B x L)

$$q_u = c N_c (1 + 0,3 B/L) + \gamma D_f N_q + 1/2 \gamma B N_\gamma (1 - 0,2 \cdot B/L)$$

Kapasitas daya dukung pondasi lingkaran dengan jari-jari R

$$q_u = 1,3 c N_c + \gamma D_f N_q + 0,6 \gamma R N_\gamma$$

Dimana:

q_u = daya dukung maksimum

c = kohesi tanah

γ = berat isi tanah

B = lebar pondasi (diameter untuk pondasi lingkaran)

L = panjang pondasi

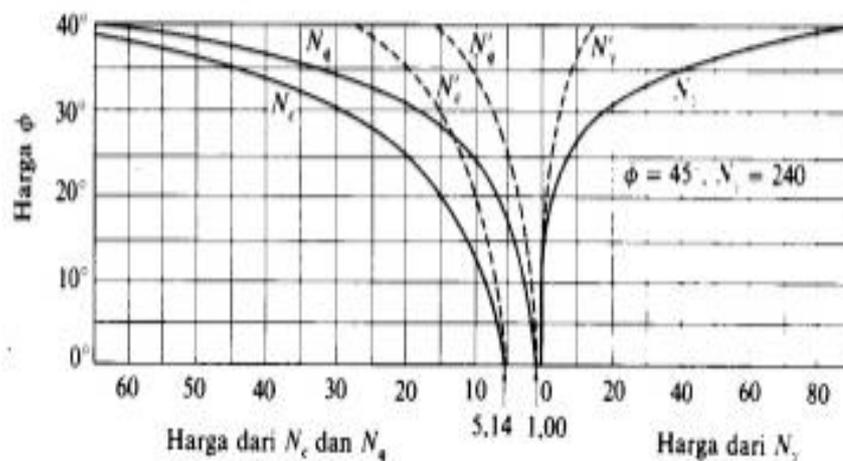
D_f = kedalaman pondasi

N_c ; N_q ; N_γ adalah faktor daya dukung yang besarnya dapat ditentukan dengan memakai **Tabel 2.1**

Tabel 2.1 Koefisien Daya Dukung dari Terzaghi

ϕ	N_c	N_q	N_γ	N'_c	N'_q	N'_γ
0	5,71	1,00	0	3,81	1,00	0
5	7,32	1,64	0	4,48	1,39	0
10	9,64	2,70	1,2	5,34	1,94	0
15	12,8	4,44	2,4	6,46	2,73	1,2
20	17,7	7,43	4,6	7,90	3,88	2,0
25	25,1	12,7	9,2	9,86	5,60	3,3
30	37,2	22,5	20,0	12,7	8,32	5,4
35	57,8	41,4	44,0	16,8	12,8	9,6
40	95,6	81,2	114,0	23,2	20,5	19,1
45	172	173	320	34,1	35,1	27,0

Sumber : Sosrodarsono dan Nakazawa, 2005



Gambar 2.3 Koefisien Daya Dukung dari Terzaghi

2.2 Pondasi

2.2.1 Pondasi Tiang

Pondasi tiang adalah adalah suatu konstruksi pondasi yang mampu menahan gaya orthogonal ke sumbu tiang dengan jalan menyerap lenturan. Pondasi tiang dibuat menjadi satu kesatuan yang monolit dengan menyatukan pangkal tiang pancang yang terdapat di bawah konstruksi, dengan tumpuan pondasi.

Menurut Hardiyatmo (2011), pondasi tiang digunakan untuk beberapa maksud antara lain :

1. Untuk meneruskan beban bangunan yang terletak di atas air atau tanah lunak ke tanah pendukung yang kuat
2. Untuk meneruskan beban ke tanah yang relatif lunak sampai kedalaman tertentu sehingga pondasi bangunan mampu memberikan dukungan yang cukup untuk mendukung beban tersebut oleh gesekan sisi tiang dengan tanah di sekitarnya
3. Untuk mengangker bangunan yang dipengaruhi oleh gaya angkat ke atas akibat tekanan hidrostatik atau momen penggulingan
4. Untuk menahan gaya-gaya horizontal dan gaya-gaya yang arahnya miring
5. Untuk memadatkan tanah pasir, sehingga kapasitas dukung tanah tersebut bertambah
6. Untuk mendukung pondasi bangunan yang permukaan tanahnya mudah tergerus air

2.2.2 Macam-macam Pondasi Tiang

2.2.2.1 Berdasarkan Material atau Bahan yang digunakan

a. Pondasi Tiang Kayu (*wood pile*)

Dipilih batang pohon yang lurus, kulit kayu dibuang, seluruh bagian kayu harus keras, tidak rusak, tidak bermata kayu, tidak ada bagian yang lunak, tidak dimakan rayap atau serangga.

Sebelum dipancang kepala kayu diratakan, setelah dipancang dipancang kepala tiang juga diratakan dan diberi pengawet sebelum ditanam di kepala tiang (*poer*).

b. Pondasi Tiang Beton (*concrete pile*)

- Pondasi Tiang Beton Pra-cetak (*pre-cast concrete pile*)

Pondasi tiang terbuat dari beton bertulang yang dicetak terlebih dahulu, kemudian setelah beton mengeras dan mencapai umur, lalu diancangkan di tempat yang telah ditentukan. Salah satu umurnya atau ujung bawah dapat dibuat runcing seperti ujung pensil ataupun dibuat rata. Konstruksinya bisa menggunakan beton konvensional maupun beton pra tegang (*prestress*).

- Pondasi Tiang Beton Cor di Tempat (*cast in place concrete pile*)

Dibuat dengan memindahkan tanah terlebih dahulu (menggunakan bor) kemudian diisi dengan adukan beton. Contoh dari pondasi tiang beton cor di tempat adalah pondasi tiang bor (*bored & cast in situ pile*).

Untuk daerah perkotaan, dengan permukaan yang padat, penuh bangunan-bangunan tinggi, serta lalu lintas yang padat, maka penggunaan pondasi tiang bor sangat cocok, karena mengurangi kemungkinan terangkatnya tanah (*ground heave*), kebisingan (*noise*), dan getaran (*vibration*) yang dapat menimbulkan kerusakan terhadap bangunan di sekelilingnya maupun gangguan lingkungan.

2.2.2.2 Teknik Pemasangannya

a. Pondasi Tiang Pra-Cetak (*pre-cast concrete pile*)

Dipasang dengan dipancangkan/ditumbuk, digetarkan, dan ditanam ke dalam tanah.

b. Pondasi Tiang Cor di Tempat (*cast in place concret pile*)

Dipasang dengan penetrasi, penggalian dan dengan pengeboran.

2.2.2.3 Berdasarkan Penyaluran Beban

a. Pondasi Tiang dengan Daya Dukung Ujung (*end bearing pile*)

Pondasi tiang yang mengandalkan kekuatan tanah pendukung yang berada di ujung tiang sebagai penopang bangunan.

b. Pondasi Tiang dengan Daya Dukung Gesek (*friction bearing pile*)

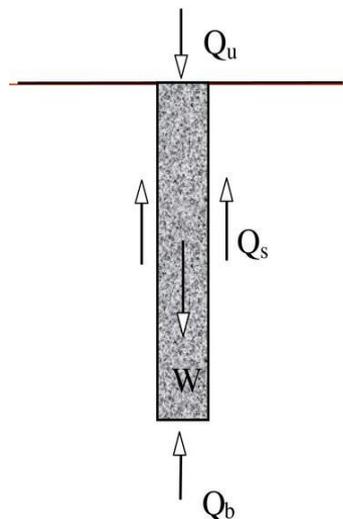
Pondasi tiang yang mengandalkan kekuatan gesekan antara tanah pendukung di sepanjang tiang dengan tiangnya, sebagai penopang bangunan.

c. Pondasi Tiang dengan Daya Dukung Kombinasi

Pondasi tiang yang merupakan kombinasi dari daya dukung ujung dengan daya dukung gesek.

2.2.3 Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang

2.2.3.1 Daya Dukung Batas



Gambar 2.4 Daya Dukung Batas

Dari gambar di atas, $\sum V = 0$

$$Q_{ult} + W_p = Q_b + Q_s + W_s$$

Dimana :

Q_{ult} = daya dukung batas (ton)

W_p = berat sendiri pondasi tiang (ton)

Q_b = daya dukung ujung (ton)

Q_s = daya dukung gesek (ton)

W_s = berat tanah yang didesak tiang (ton)

Bila diasumsikan $W_p = W_s$, maka : $Q_{ult} = Q_b + Q_s$

a. Daya Dukung Ujung (Q_b)

$$Q_b = (q_b) (A_b)$$

Dimana :

Q_b = daya dukung ujung

q_b = daya dukung batas di ujung tiang

A_b = luas penampang ujung tiang

b. Daya Dukung Gesek (Q_s)

$$Q_s = (f) (A_s)$$

Dimana :

Q_s = daya dukung gesek

F = adhesi/lekatan antara kulit tiang dengan tanah di sekelilingnya

A_s = luas kulit tiang

2.2.3.2 Daya Dukung Ijin

$$Q_{all} = Q_{ult}/F$$

Dimana :

Q_{all} = daya dukung ijin pondasi tiang

Q_{ult} = daya dukung batas pondasi tiang (ton)

F = factor keamanan akibat bahaya kelongsoran daya dukung
(F = 2,5 – 3)

2.2.4 Kapasitas Dukung Tiang dari Uji Penetrasi Standar (SPT)

Menurut Meyerhof (1956), daya dukung batas pondasi tiang berdasarkan pengujian SPT :

$$Q_{ult} = Q_b + Q_s = 40 \cdot N \cdot A_b + \frac{\bar{N} \cdot A_s}{5}$$

$$Q_{ijin} = Q_{ult} : F$$

Dimana :

Q_{ijin} = daya dukung ijin tiang (ton)

N = nilai SPT pada ujung tiang

\bar{N} = rata-rata nilai SPT sepanjang tiang

A_b = luas penampang ujung tiang (m²)

A_s = luas kulit/selimut tiang (m²)

F = factor keamanan daya dukung (F = 3)

2.2.5 Faktor Aman Tiang Pancang

Untuk memperoleh kapasitas ijin tiang, maka kapasitas ultimit tiang dibagi dengan faktor aman tertentu. Fungsi factor aman adalah :

1. Untuk memberikan keamanan terhadap ketidakpastian dari nilai kuat geser dan kompresibilitas yang mewakili kondisi lapisan tanah
2. Untuk meyakinkan bahwa penurunan tidak seragam di antara tiang-tiang masih dalam batas-batas toleransi
3. Untuk meyakinkan bahwa bahan tiang cukup aman dalam mendukung beban yang bekerja

4. Untuk meyakinkan bahwa peurunan total yang terjadi pada tiang tunggal atau kelompok tiang masih dalam batas-batas toleransi
5. Untuk mengantisipasi adanya ketidakpastian metode hitungan yang digunakan

Besarnya beban kerja (*working load*) atau kapasitas dukung tiang ijin (Q_a) dengan memperhatikan keamanan terhadap keruntuhan adalah nilai kapasitas ultimit (Q_u) dibagi dengan faktor aman (F) yang sesuai dengan persamaan berikut :

$$Q_a = \frac{Q_u}{2,5}$$

Beberapa peneliti menyarankan faktor aman yang tidak sama untuk tahanan gesek dinding dan tahanan ujung. Kapasitas ijin dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

$$Q_a = \frac{Q_b}{3} + \frac{Q_s}{1,5}$$

Dimana :

Q_a = kapasitas dukung tiang ijin

Q_b = tahanan ujung

Q_s = tahanan gesek dinding

F = 1,5 untuk tahanan gesek dinding

F = 3 untuk tahanan ujung tiang

Tabel 2.2 Faktor aman yang disarankan oleh Reese dan O'Neill (1989)

Klasifikasi Struktur	Faktor aman (f)			
	Kontrol baik	Kontrol Normal	Kontrol jelek	Kontrol sangat jelek
Monumental	2,3	3	3,5	4
Permanen	2	2,5	2,8	3,4
Sementara	1,4	2,0	2,3	2,8

Sumber: Hardiyatmo, 2011

2.3 Dinding Penahan Tanah (Turap)

2.3.1 Pengertian dinding Penahan Tanah

Dinding (tembok) adalah suatu bangunan yang dibangun untuk mencegah keruntuhan tanah yang curam atau lereng yang dibangun di tempat di mana kemantapannya tidak dijamin oleh lereng tanah itu sendiri, dipengaruhi oleh kondisi gambaran topografi tempat itu, bila dilakukan pekerjaan tanah seperti penanggulangan atau pemotongan tanah. Terutama, bila jalan dibangun berbatasan dengan sungai atau danau atau tanah paya, tembok penahan itu dibangun untuk melindungi kemiringan tanah, dan melengkapi kemiringan dengan pondasi yang kokoh. (Sosrodarsono., dan Nakazawa., 2005).

2.3.2 Fungsi dinding Penahan Tanah

Menurut Bowles (2014), bangunan dinding penahan tanah digunakan untuk menahan tekanan tanah lateral yang ditimbulkan oleh tanah urug atau tanah asli yang lazim. Bangunan ini banyak

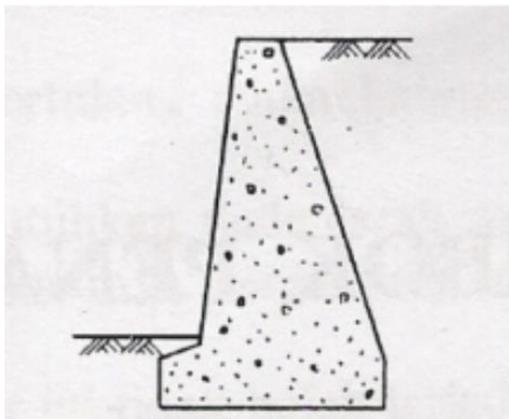
digunakan pada proyek-proyek : irigasi, jalan raya, pelabuhan, dan lain-lainnya. Elemen-elemen pondasi, seperti bangunan ruang bawah tanah (*basement*), pangkal jembatan (*abutment*), selain berfungsi sebagai bagian bawah dari struktur, berfungsi juga sebagai penahan tanah di sekitarnya.

Kestabilan dinding penahan tanah diperoleh terutama dari berat sendiri struktur dan berat tanah yang berada di atas pelat pondasi. Besar dan distribusi tekanan tanah pada dinding penahan tanah, sangat bergantung pada gerakan ke arah lateral tanah relative terhadap dinding.

2.3.3 Tipe-tipe Dinding Penahan Tanah

a. Dinding Gravitasi

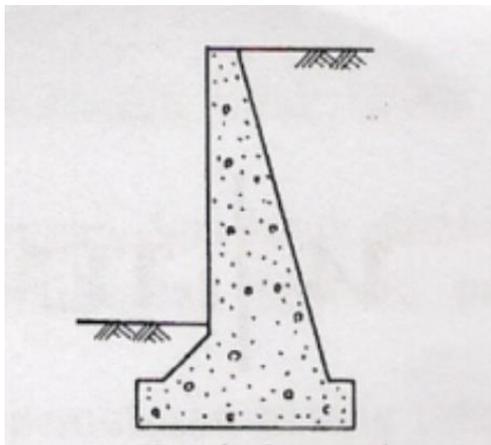
Dinding gravitasi adalah dinding penahan yang dibuat dari beton tak bertulang atau pasangan batu. Sedikit tulangan beton kadang-kadang diberikan pada permukaan dinding untuk mencegah retakan permukaan akibat perubahan temperatur. (Hardiyatmo., 2014)



Gambar 2.5 Dinding Penahan Tanah Tipe Gravitasi

b. Dinding Semi Gravitasi

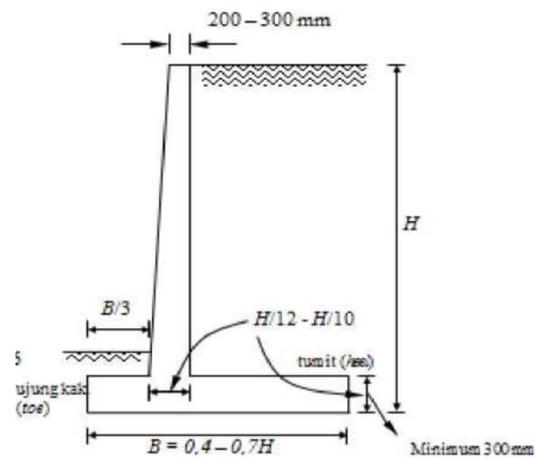
Dinding semi gravitasi adalah dinding gravitasi yang berbentuk agak ramping. Karena ramping, pada strukturnya diperlukan penulangan beton, namun hanya pada bagian dinding saja. Tulangan beton yang berfungsi sebagai pasak, dipasang untuk menghubungkan bagian dinding dan pondasi. (Hardiyatmo., 2014)



Gambar 2.6 Dinding Penahan Tanah Tipe Semi Gravitasi

c. Dinding Kantilever

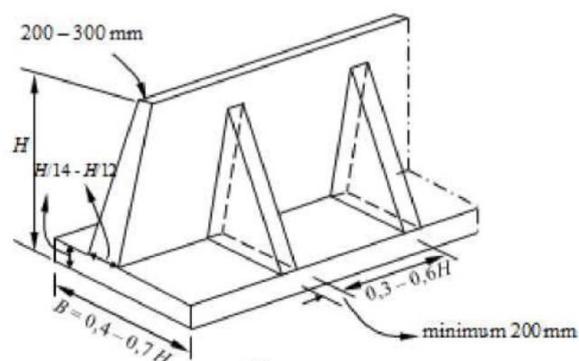
Dinding kantilever adalah dinding yang terdiri dari kombinasi dinding dan beton bertulang yang berbentuk huruf T. ketebalan dari kedua bagian ini relatif tipis dan secara penuh diberi tulangan untuk menahan momen dan gaya lintang yang bekerja padanya. (Hardiyatmo., 2014)



Gambar 2.7 Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever

d. Dinding *Counterfort*

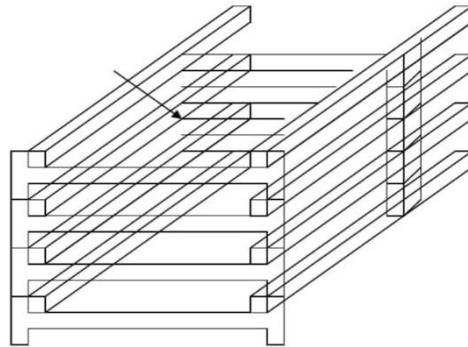
Dinding counterfort adalah dinding yang terdiri dari dinding beton bertulangan tipis yang di bagian dalam dinding pada jarak tertentu didukung oleh pelat/dinding vertikal yang disebut *counterfort* (dinding penguat). Ruang di atas pelat pondasi, di antara *counterfort* diisi dengan tanah urug. (Hardiyatmo., 2014)



Gambar 2.8 Dinding Penahan Tanah Tipe *Counterfort*

e. Dinding Krib

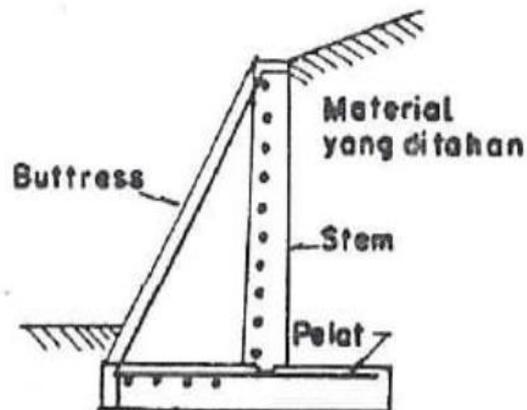
Dinding krib terdiri dari balok-balok beton yang disusun menjadi dinding penahan. (Hardiyatmo., 2014)



Gambar 2.9 Dinding Penahan Tanah Tipe Krib

f. Dinding Tanah Bertulang

Dinding tanah bertulang atau dinding tanah diperkuat (*rain forcet earth wall*) adalah dinding yang terdiri dari dinding yang berupa timbunan tanah yang diperkuat dengan bahan-bahan tertentu yang terbuat dari geosintetik maupun dari metal. (Hardiyatmo., 2014)

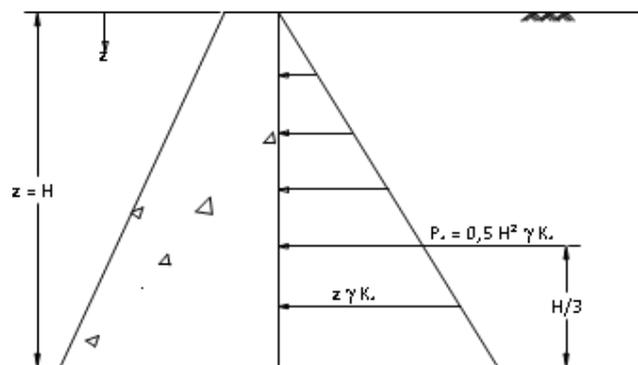


Gambar 2.10 Dinding Penahan Tanah Tipe Dinding Tanah Bertulang

2.3.4 Teori Tekanan Tanah Rankine

Berat tanah bekerja secara vertikal dan tekanan tanah lateral berimpit dengan berat seperti terlihat pada gambar. Maka tekanan tanah lateral bekerja sejajar dengan permukaan tanah. Karena metode Rankine menganggap dinding tanpa friksi, maka tegangan pada bagian depan yang vertikal dari elemen tersebut merupakan tegangan utama. Rankine membuat penyelesaian analitis untuk kasus ini dan mendapatkan :

a. Permukaan Tanah Horizontal



Gambar 2.11 Distribusi tekanan tanah aktif Rankine untuk permukaan tanah horizontal (*Hardiyatmo, 2014*)

Tekanan tanah aktif (P_a) pada dinding penahan tanah pada sembarang kedalaman dinyatakan dengan persamaan :

$$P_a = K_a \gamma z$$

Dimana :

P_a = Tekanan tanah aktif (kN/m)

K_a = Koefisien aktif

γ = Berat volume tanah (kN/m³)

z = Kedalaman tanah dihitung dari puncak dinding penahan (m)

harga K_a

$$K_a = \frac{\sigma_3}{z\gamma} = \operatorname{tg}^2 (45^\circ - \varphi/2)$$

Tekanan tanah aktif total (P_a) untuk dinding penahan tanah setinggi H dinyatakan dengan persamaan :

$$P_a = 0,5 H^2 \gamma K_a$$

Tekanan tanah pasif (P_p) pada sembarang kedalaman dinding penahan dinyatakan dengan persamaan :

$$P_p = K_p \gamma z$$

Dimana :

P_p = Tekanan tanah pasif (kN/m)

K_p = Koefisien pasif

γ = Berat volume tanah (kN/m³)

z = Kedalaman tanah dihitung dari puncak dinding penahan (m)

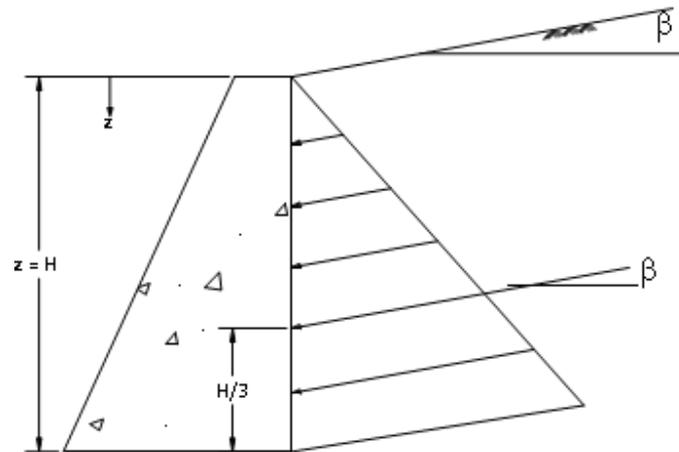
harga K_p

$$K_p = \frac{\sigma_3}{z\gamma} = \operatorname{tg}^2 (45^\circ - \varphi/2)$$

Tekanan tanah pasif total (P_p) untuk dinding penahan setinggi H dinyatakan oleh persamaan :

$$P_p = 0,5 H^2 \gamma K_p$$

b. Permukaan Tanah Miring



Gambar 2.12 Distribusi tekanan tanah aktif Rankine untuk permukaan tanah miring (*Hardiyatmo, 2014*)

Tekanan tanah aktif pada sembarang kedalaman dinding penahan dinyatakan oleh persamaan :

Harga K_a

$$K_a = \cos \beta \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}$$

Dimana :

K_a = Koefisien aktif

ϕ = sudut gesek tanah ($^\circ$)

β = kemiringan permukaan tanah urug ($^\circ$)

$$P_a = \gamma z K_a - 2c$$

Dimana :

P_a = Tekanan tanah aktif (kN/m)

γ = Berat volume tanah (kN/m³)

z = Kedalaman tanah dihitung dari puncak dinding penahan(m)

K_a = Koefisien aktif

c = Kohesi (kN/m²)

Tekanan tanah aktif untuk dinding penahan setinggi H dinyatakan oleh persamaan :

$$P_a = 0,5 H^2 \gamma K_a$$

Tekanan tanah pasif pada sembarang kedalaman dinding penahan dinyatakan oleh persamaan :

Harga K_p

$$K_p = \cos \beta \frac{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}$$

Dimana :

K_p = Koefisien pasif

ϕ = sudut gesek tanah (°)

β = kemiringan permukaan tanah urug (°)

$$P_p = \gamma z K_p - 2c$$

Dimana :

P_p = Tekanan tanah pasif (kN/m)

γ = Berat volume tanah (kN/m³)

z = Kedalaman tanah dihitung dari puncak dinding penahan(m)

K_p = Koefisien pasif

C = Kohesi (kN/m²)

Tekanan tanah pasif untuk dinding penahan setinggi H dinyatakan oleh persamaan :

$$P_p = 0,5 H^2 \gamma K_p$$

2.3.5 Metode Perhitungan Dinding Penahan Tanah

2.3.5.1 Stabilitas terhadap Penggeseran

Faktor aman terhadap penggeseran (F_{gs}), didefinisikan sebagai :

$$F_{gs} = \frac{\sum R_h}{\sum P_h} \geq 1,5$$

- Untuk tanah granuler ($c = 0$):

$$\begin{aligned} \sum R_h &= W f \\ &= W \operatorname{tg} \delta_b ; \text{ dengan } \delta_b \leq \varphi \end{aligned}$$

- Untuk tanah kohesif ($\varphi = 0$):

$$\sum R_h = C_a B$$

- Untuk tanah $c-\varphi$ ($\varphi > 0$ dan $c > 0$):

$$\sum R_h = C_a B + W \operatorname{tg} \delta_b$$

Dimana :

$\sum R_h$ = tahanan dinding penahan tanah terhadap penggeseran

W = berat total dinding penahan dan tanah di atas pelat pondasi (kN)

δ_b = sudut gesek antara tanah dan dasar fondasi, biasanya diambil $1/3 - (2/3) \varphi$

C_a = $a_d \times c$ = adhesi antara tanah dan dasar dinding (kN/m²)

C = kohesi tanah dasar (kN/m²)

a_d = faktor adhesi

B = lebar fondasi (m)

$\sum P_h$ = jumlah gaya-gaya horizontal (kN)

F = $\text{tg } \delta_b$ = koefisien gesek antara tanah dasar dan dasar fondasi

Faktor aman terhadap penggeseran dasar fondasi (F_{gs}) minimum, diambil 1,5. Bowles (1997) menyarankan :

$F_{gs} \geq 1,5$ untuk tanah dasar granuler

$F_{gs} \geq 2$ untuk tanah dasar kohesif

Tabel 2.3 Koefisien gesek (f) antara dasar fondasi dan tanah dasar

Jenis tanah dasar fondasi	$f = \text{tg } \delta$
Tanah granuler kasar tak mengandung lanau atau lempung	0,55
Tanah granuler kasar mengandung lanau	0,45
Tanah lanau tak berkohesi	0,35
Batu keras permukaan kasar	0,60

Sumber : Hardiyatmo, 2014

2.3.5.2 Stabilitas terhadap Penggulingan

Faktor aman terhadap penggulingan (Fgl), didefinisikan sebagai :

$$F_{gl} = \frac{\sum M_w}{\sum M_{gl}} \geq 1,5$$

Dimana :

$$\sum M_w = W b_l$$

$$\sum M_{gl} = \sum P_{ah} h_l + \sum P_{av} B$$

$$\sum M_w = \text{momen yang melawan penggulingan (kN.m)}$$

$$\sum M_{gl} = \text{momen yang mengakibatkan penggulingan (kN.m)}$$

$$W = \text{berat tanah di atas pelat fondasi + berat sendiri dinding penahan (kN)}$$

$$B = \text{lebar kaki dinding penahan (m)}$$

$$\sum P_{ah} = \text{jumlah gaya-gaya horizontal (kN)}$$

$$\sum P_{av} = \text{jumlah gaya-gaya vertikal (kN)}$$

Faktor aman terhadap penggulingan (Fgl) bergantung pada jenis tanah, yaitu :

$$F_{gl} \geq 1,5 \text{ untuk tanah dasar granuler}$$

$$F_{gl} \geq 2 \text{ untuk tanah dasar kohesif}$$

2.3.5.3 Stabilitas terhadap Keruntuhan Kapasitas Dukung Tanah

Persamaan *Terzaghi*

Kapasitas dukung ultimit (q_u) untuk fondasi memanjang dinyatakan oleh persamaan :

$$q_u = cN_c + D_{f\gamma}N_q + 0,5 B_{\gamma}N_{\gamma}$$

Dimana :

c = kohesi tanah (kN.m^2)

D_f = kedalaman fondasi (m)

γ = berat volume tanah (kN.m^3)

B = lebar fondasi dinding penahan tanah (m)

N_c , N_q dan N_γ = faktor-faktor kapasitas dukung Terzaghi

2.4 Manajemen Proyek

Manajemen proyek adalah proses merencanakan, mengorganisir, memimpin, dan mengendalikan sumber daya perusahaan untuk mencapai sasaran jangka pendek yang telah ditentukan. Manajemen proyek tumbuh karena dorongan mencari pendekatan pengelolaan yang sesuai dengan tuntutan dan sifat kegiatan proyek, suatu kegiatan yang dinamis dan berbeda dengan kegiatan operasional rutin. (*Rani H.A, 2016*)

2.4.1 Fungsi Dasar

Fungsi dasar manajemen proyek terdiri dari pengelolaan-pengelolaan lingkup kerja, waktu, biaya, dan mutu. Pengelolaan aspek-aspek tersebut dengan benar merupakan kunci keberhasilan penyelenggaraan proyek. Waktu atau jadwal, biaya, dan mutu dalam konteks pengertian kegiatan proyek merupakan sasaran yang harus dicapai. Dengan demikian, jadwal, biaya, dan mutu memiliki kedudukan ganda, yaitu sebagai sasaran dan juga sebagai fungsi dasar pengelolaan. (*Rani H.A, 2016*)

2.4.2 Rencana Kerja dan Syarat-syarat

RKS merupakan peraturan-peraturan yang harus dijadikan pedoman dalam perancangan proyek. RKS ini terbagi menjadi dua, yaitu:

1. Syarat-syarat umum

Yaitu peraturan-peraturan mengenai tata cara dalam

penyelenggaraan pelaksanaan pembangunan.

2. Syarat-syarat teknis

Yaitu peraturan-peraturan teknis mengenai spesifikasi bahan dan pelaksanaan pekerjaan.

2.4.3 Rencana Anggaran Biaya (RAB)

RAB disusun untuk mengetahui besarnya biaya yang dibutuhkan dalam perancangan proyek. Penyusunan RAB ini juga berfungsi sebagai pertimbangan dalam menentukan pemenang pelelangan dan juga dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan bagi pemilik proyek mengenai besarnya dana yang harus disediakan dalam jangka waktu tertentu sesuai dengan perjanjian kontrak yang telah dilakukan.

2.4.4 Rencana Kerja (*Time Schedule*)

Rencana kerja adalah suatu pembagian waktu terperinci yang disediakan masing-masing bagian pekerjaan mulai dari bagian-bagian pekerjaan permulaan sampai dengan bagian-bagian pekerjaan akhir. Adapun tujuan dari rencana kerja adalah sebagai evaluasi dan melihat batas waktu serta melihat pekerjaan apakah lebih cepat, lama atau tepat waktu. Jenis-jenis rencana kerja sebagai berikut :

1. Diagram Balok / Bar Chart

Bar Chart pertama sekali dikembangkan oleh Henry L. Gantt (1861-1919) sehingga sering juga disebut dengan *Gantt Chart*, adalah suatu diagram yang terdiri dari batang-batang yang menunjukkan saat dimulai dan saat selesai yang direncanakan untuk kegiatan-kegiatan pada suatu proyek.

2. Kurva S

Kurva S merupakan suatu grafik yang menunjukkan hubungan antara kemajuan pelaksanaan proyek terhadap waktu penyelesaian, di mana fungsinya sebagai alat kontrol atas maju

mundurnya pelaksanaan pekerjaan.

Menurut Hannum (penemu kurva-S) aturan yang harus dipenuhi dalam membuat Kurva S adalah:

1. Pada seperempat waktu pertama, grafiknya naik landai sampai 10%.
2. Pada setengah waktu, grafiknya naik terjal mencapai 45%.
3. Pada saat tiga per empat waktu terakhir, grafiknya naik terjal mencapai 82%.
4. Waktu terakhirnya, grafiknya naik landai hingga mencapai 100%.

Pada sebagian besar proyek, pengeluaran sumber daya untuk setiap satuan waktu condong untuk memulainya dengan lambat, berkembang ke puncak dan kemudian berkurang secara berangsur-angsur bila telah mendekati ke ujung akhir. Secara lebih terperinci Bar Chart dan Kurva S dibuat sebagai berikut:

1. Pada kolom paling kiri dituliskan item-item pekerjaan;
2. Kolom kedua dituliskan durasi setiap item pekerjaan;
3. Kolom ketiga berisi harga setiap item pekerjaan;
4. Kolom keempat berisi bobot setiap pekerjaan;

Bobot pekerjaan dihitung berdasarkan persamaan:

$$\text{Bobot (\%)} = \frac{\text{Biaya setiap pekerjaan}}{\text{Biaya total}} \times 100\%$$

5. Selanjutnya dibuat diagram batang, panjangnya sesuai dengan durasi pekerjaan (hari kerja atau hari kalender);
6. Bila bobot setiap pekerjaan telah dihitung, kemudian dapat dicari persentase pekerjaan harian dengan menjumlahkan bobot harian dari pekerjaan masing-masing. Kemudian dicari persentase harian kumulatif di mana pada akhir jadwal harus 100%. Hubungan antara persentase kumulatif (sumbu X) dengan nilai persentase 0 s/d 100% (sumbu Y) ditarik

sebuah garis yang membentuk huruf S. Garis yang dihasilkan inilah yang disebut dengan *Kurva-S*. Kurva S ini berfungsi untuk memberikan gambaran kemajuan setiap pekerjaan terhadap fungsi waktu. Penggunaan kurva S menyangkut 2 aspek, yaitu:

- Aspek perencanaan;

Dalam hal ini, kurva S yang dihasilkan merupakan kurva S rencana, yaitu kurva S yang diperoleh berdasarkan jadwal rencana. Kurva S ini dijadikan sebagai dasar untuk menentukan apakah pekerjaan terlambat, sesuai atau lebih cepat.

- Aspek pengendalian

Di sini, kurva S dibuat pada saat suatu pekerjaan selesai dan kurva S yang dihasilkan merupakan kurva aktual, yaitu kurva S yang diperoleh dari jangka waktu pelaksanaan pekerjaan sebenarnya di lapangan. Dengan membandingkan kurva S aktual ini dengan kurva S rencana, maka akan dapat diketahui suatu pekerjaan terlambat (kurva S aktual di bawah kurva S rencana), sesuai (kurva S aktual berimpit dengan kurva S rencana) atau lebih cepat dari rencana (kurva S aktual di atas kurva S rencana).

2.5 Net Work Planning (NWP)

Net Work Planning adalah alat manajemen yang memungkinkan dengan lebih luas dan lengkap dalam perencanaan dan pengawasan suatu proyek. Proyek secara umum didefinisikan sebagai suatu rangkaian kegiatan-kegiatan (aktivitas) yang mempunyai saat permulaan dan yang harus dilaksanakan serta diselesaikan untuk mendapat satu tujuan tertentu. Ini penting untuk digunakan oleh orang yang bertanggung jawab atas bidang-bidang engineering, produksi, marketing administrasi dan lain-lain, di mana setiap kegiatan tersebut tidak merupakan kegiatan rutin. (*Rani H.A, 2016*)

2.6 *Critical Path Method (CPM)*

Pada tahun 1957 didirikan sebuah proyek milik Angkatan Laut Amerika Serikat yang diberi nama proyek Polaris, yaitu sebuah proyek pembuatan peluru kendali yang dapat ditembakkan dari kapal selam menuju sasarannya di darat atau di udara. Semula proyek tersebut direncanakan akan membutuhkan waktu penyelenggaraan selama lima tahun. Kemudian satu tim ahli memperbaiki rencana tersebut sedemikian rupa sehingga waktu penyelenggaraan proyek menjadi hanya tiga tahun. Jadi manfaat perbaikan rencana tersebut berupa kecepatan kerja, yang kira-kira lebih cepat 1,7 kali dari rencana semula. Metode yang mampu memperbaiki rencana semula tersebut kemudian dikenal sebagai *PERT (Programme Evaluation and Review Technique)*.

Pada tahun yang sama, sebuah proyek pembuatan pabrik kimia milik perusahaan industry kimia “du Pont”, semula direncanakan akan membutuhkan biaya total sebanyak US \$ 10.000.000, kemudian rencana ini diperbaiki sehingga biaya total proyek dapat ditekan menjadi US \$ 9.000.000. Jadi manfaat perbaikan rencana tersebut berupa penghematan biaya proyek sebesar 10% dari biaya rencana semula. Metode yang mampu memperbaiki rencana semula tersebut kemudian dikenal sebagai *CPM (Critical Path Method)*. (Rani H.A, 2016)