

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

2.1.1 Pengertian Tanah

Tanah adalah lapisan permukaan bumi yang berasal dari material induk yang telah mengalami proses lanjut, karena perubahan alami di bawah pengaruh air, udara, dan macam - macam organisme baik yang masih hidup maupun yang telah mati, Kondisi geoteknik erat hubungannya dengan jenis tanah.

Tanah dalam pengertian teknik dapat diartikan sebagai *material* yang terdiri dari *agregat* (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lainnya dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut. Butiran-butiran mineral yang membentuk bagian padat dari tanah merupakan hasil dari pelapukan batuan. Ukuran setiap butiran padat tersebut sangat bervariasi dan sifat fisik dari tanah bergantung pada faktor ukuran, bentuk, dan komposisi kimia butiran [7].

2.1.2 Klasifikasi Tanah

Tanah menurut Bowles (1991) [7] adalah campuran partikel-partikel yang terdiri dari salah satu atau seluruh jenis berikut :

1. Berangkal (*boulders*)
Merupakan potongan batu yang besar, biasanya lebih besar dari 250 mm sampai 300 mm. Untuk kisaran antara 150 mm sampai 250 mm, fragmen batuan ini disebut kerakal (*cobbles*).
2. Kerikil (*gravel*)
Partikel batuan yang berukuran 5 mm sampai 150 mm.
3. Pasir (*sand*)
Partikel batuan yang berukuran 0,074 mm sampai 5 mm, berkisar dari kasar (3-5 mm) sampai halus (kurang dari 1 mm).
4. Lanau (*silt*)
Partikel batuan berukuran dari 0,002 mm sampai 0,074 mm. Lanau dan lempung dalam jumlah besar ditemukan dalam deposit yang

disedimentasikan ke dalam danau atau di dekat garis pantai pada muara sungai.

5. Lempung (*clay*)

Partikel mineral berukuran lebih kecil dari 0,002 mm. Partikel-partikel ini merupakan sumber utama dari kohesi pada tanah yang kohesif.

6. Koloid (*colloids*)

Partikel mineral yang “diam” yang berukuran lebih kecil dari 0,001 mm.

2.1.3 Sifat-Sifat Teknis Tanah

Menurut Hary CH, (2020) secara umum tanah memiliki sifat-sifat teknis yaitu sebagai berikut [12] :

1. Tanah Granular

Tanah-tanah granular, seperti : pasir, kerikil, batuan, dan campurannya, mempunyai sifat-sifat teknis yang sangat baik. Sifat-sifat tersebut antara lain :

- a. Merupakan material yang baik untuk mendukung bangunan dan perkerasan jalan, karena mempunyai kapasitas dukung yang tinggi dan penurunan kecil, asalkan tanahnya padat.
- b. Merupakan material yang baik untuk tanah urug pada dinding penahan tanah, struktur bawah tanah, dan lain-lain, karena menghasilkan tekanan lateral yang kecil.
- c. Tanah yang baik untuk urugan, karena mudah dipadatkan dan mempunyai kuat geser yang tinggi.
- d. Bila tidak dicampur dengan material kohesif, tidak dapat digunakan sebagai bahan tanggul, bendungan, kolam, dan lain-lain, karena permeabilitasnya besar.

2. Tanah Kohesif

Tanah kohesif, seperti : Lempung, lempung berlanau, lempung berpasir atau berkerikil yang sebagian besar butiran tanahnya terdiri dari butiran halus. Tanah-tanah kohesif, umumnya, mempunyai sifat-sifat sebagai berikut :

- a. Kuat geser rendah, terutama bila kadar air tinggi atau jenuh.
- b. Berkurang kuat gesernya, bila kadar air bertambah.
- c. Berkurang kuat gesernya bila struktur tanahnya terganggu.
- d. Bila basah bersifat plastis dan mudah mampat (mudah terkompresi).
- e. Menyusut bila kering dan mengembang bila basah.
- f. Berubah volumenya dengan bertambahnya waktu akibat rangkakan pada beban yang konstan.
- g. Merupakan material kedap air.
- h. Material yang jelek untuk tanah urug (dibelakang dinding penahan tanah), karena menghasilkan tekanan lateral yang tinggi ketika hujan.

3. Tanah-Tanah Lanau dan *Loess*

Lanau adalah material yang butiran-butirannya lolos saringan no. 200. Peck et al. (1953) dalam Hary CH, (2020) membagi tanah ini menjadi dua kategori, yaitu lanau yang karakteristik sebagai tepung batu atau bubuk batu yang tidak berkoheisi dan tidak plastis, dan lanau yang bersifat plastis [12].

Loess adalah material lanau yang diendapkan oleh angin dengan diameter butiran kira-kira 0.06 mm. Karakteristik *loess* umumnya merupakan endapan yang tidak padat dengan berat volume kira-kira 10 kN/m³.

Disebabkan oleh butirannya yang halus, lanau mempunyai sifat-sifat yang tidak menguntungkan, seperti :

- a. Kuat geser rendah, segera sesudah penerapan beban.
- b. Kapilaritas tinggi.
- c. Permeabilitas rendah.
- d. Kerapatan relatif rendah dan sulit dipadatkan.

4. Tanah Organik

Sembarang tanah yang mengandung bahan organik, yang mempengaruhi sifat-sifat teknis tanah disebut tanah organik. Bahan-bahan organik dapat terdiri dari sisa tumbuh-tumbuhan atau binatang.

2.2 Lereng

2.2.1 Pengertian Lereng

Tanah lereng merupakan permukaan tanah yang terlihat lebih menonjol karena adanya perbedaan tinggi pada kedua elevasi. Erosi, pelapukan, dan pergerakan tanah menyebabkan terbentuknya lereng [6]. Menurut SNI 8460-2017 pembagian lereng dapat dikelompokkan sebagai berikut :

1. Lereng alam

Lereng ini terbentuk karena akibat kegiatan alam seperti erosi, gerakan tektonik, dan sebagainya. Material yang membentuk lereng memiliki kecenderungan tergelincir akibat beratnya sendiri dan gaya-gaya luar yang ditahan oleh kuat geser tanah dari material tersebut. Lereng alam yang telah stabil selama bertahun-tahun dapat mengalami longsor akibat kenaikan tekanan air pori, penurunan kuat geser tanah secara progresif, proses pelapukan, gempa, dan gangguan luar akibat pemotongan atau timbunan baru.

2. Lereng yang dibuat manusia

Lereng buatan manusia juga dapat dikelompokkan menjadi lereng galian dan lereng timbunan. Lereng galian yaitu lereng yang terbentuk akibat kegiatan penggalian atau pemotongan pada tanah asli. Perancangan pemotongan lereng galian yang dimaksud adalah usaha untuk membuat suatu lereng dengan kemiringan tertentu yang cukup aman dan ekonomis. Lereng timbunan yaitu lereng yang umumnya digunakan untuk badan jalan raya, jalan kereta api, dan bendungan tanah. Sifat teknis lereng timbunan dipengaruhi oleh jenis tanah, cara penimbunan dan derajat kepadatan tanah.

2.2.2 Keruntuhan Lereng

Menurut Permen PU No. 22 Tahun 2007, Keruntuhan lereng adalah suatu proses pergerakan dan perpindahan massa tanah atau batuan yang dapat terjadi dengan variasi kecepatan dari sangat lambat sampai sangat cepat dan tidak terkait banyak dengan kondisi geologi lokal. Keruntuhan bersifat lokal atau skala kecil dan umumnya terjadi pada lereng galian atau timbunan yang dibuat manusia. Proses terjadinya tanah longsor dapat diterangkan sebagai berikut: air yang meresap ke

dalam tanah akan menambah bobot tanah. Jika air tersebut menembus sampai tanah kedap air yang berperan sebagai bidang gelincir, maka tanah menjadi licin dan tanah pelapukan di atasnya akan bergerak mengikuti lereng dan ke luar lereng. Ada 5 jenis tanah longsor, yaitu sebagai berikut [8]:

1. Longsoran Translasi

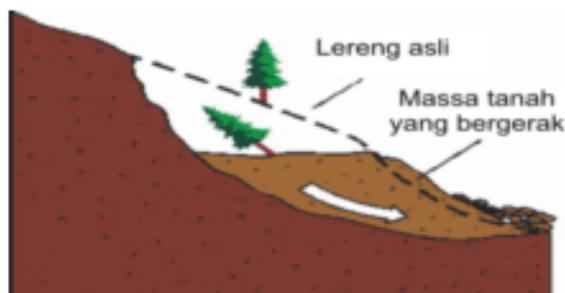
Longsoran translasi (Gambar 2.1) adalah Bergeraknya massa tanah dan batuan pada bidang gelincir berbentuk rata atau menggelombang landai.



Gambar 2.1 Longsoran Translasi

2. Longsoran Rotasi

Longsoran rotasi (Gambar 2.2) adalah Bergeraknya massa tanah dan batuan pada bidang gelincir berbentuk cekung.



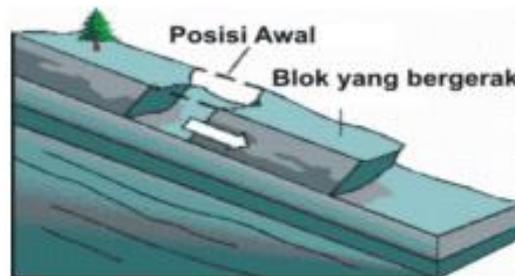
Gambar 2.2 Longsoran Rotasi

3. Pergerakan Blok dan Runtuhan Batu

Pergerakan blok (Gambar 2.3) adalah perpindahan batuan yang bergerak pada bidang gelincir berbentuk rata. Longsoran ini disebut juga longsoran translasi blok batu.

Runtuhan Batu (Gambar 2.4) Terjadi ketika sejumlah besar batuan atau material lain bergerak ke bawah dengan cara jatuh bebas. Umumnya terjadi pada lereng yang terjal hingga menggantung terutama di daerah

pantai. Batu-batu besar yang jatuh dapat menyebabkan kerusakan yang parah.



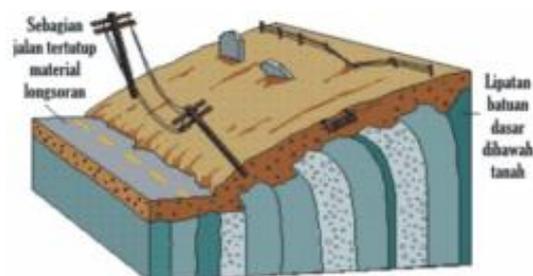
Gambar 2.3 Longsor Blok



Gambar 2.4 Runtuhan Batu

4. Rayapan Tanah

Adalah jenis tanah longsor yang bergerak lambat. Jenis tanahnya berupa butiran kasar dan halus. Jenis longsor ini hampir tidak dapat dikenali. Setelah waktu cukup lama longsor jenis rayapan ini bisa menyebabkan tiang-tiang telepon, pohon, atau rumah miring ke bawah akibat pergerakan rayapan tanah seperti Gambar 2.5:

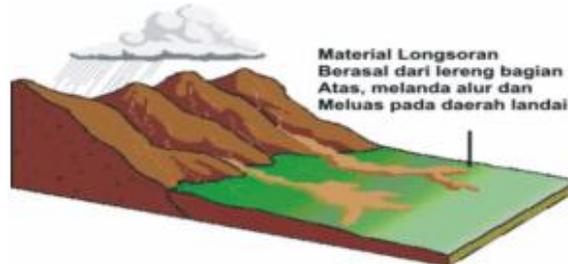


Gambar 2.5 Rayapan Tanah

5. Aliran Bahan Rombakan

Terjadi ketika massa tanah bergerak didorong oleh air. Kecepatan aliran tergantung kemiringan lereng, volume dan tekanan air, dan jenis materialnya. Gerakan terjadi di sepanjang lembah dan mampu mencapai

ratusan meter. Di beberapa tempat bisa sampai ribuan meter seperti di DAS sekitar gunung api. Aliran tanah dapat menelan korban cukup banyak seperti Gambar 2.6:



Gambar 2.6 Aliran Bahan Rombakan

2.2.3 Faktor-faktor Penyebab Ketidakstabilan Lereng

1. Lereng Alam
 - a. perubahan profil kemiringan lereng akibat beban tambahan di bagian atas lereng atau berkurangnya kekuatan di bagian dasar lereng.
 - b. Peningkatan tekanan air tanah yang mengakibatkan penurunan tahanan geser pada tanah non kohesif atau terjadinya pengembangan pada tanah kohesif. Tekanan air tanah dapat meningkat ketika tanah mengalami penjuhan akibat air hujan, rembesan, atau munculnya air permukaan.
 - c. Penurunan kuat geser tanah atau batuan yang disebabkan oleh pelapukan, pencucian, perubahan mineralogi, dan adanya rekahan.
 - d. Getaran yang disebabkan oleh gempa bumi, peledakan, atau pemancangan tiang.
2. Lereng Buatan Manusia
 - a. Terjadinya *overstressing* pada fondasi timbunan tanah kohesif setelah masa konstruksi. Biasanya pada lereng timbunan, stabilitas jangka pendek pada tanah kohesif lunak lebih penting daripada stabilitas jangka panjang, karena fondasi timbunan mendapatkan kekuatan yang merupakan hasil disipasi air pori. Perlu pemeriksaan stabilitas pada beberapa kondisi tekanan air pori.
 - b. Penurunan muka air cepat dan erosi buluh. Pada timbunan bendungan, penurunan muka air cepat menyebabkan meningkatnya beban efektif timbunan tanah yang dapat menyebabkan

ketidakstabilan. Penyebab lain dari ketidakstabilan lereng timbunan adalah erosi bawah permukaan atau erosi buluh.

- c. Gaya-gaya dinamis. Getaran dapat dipicu oleh gempa bumi, peledakan, pemancangan tiang, dan lainnya.

2.2.4 Upaya Pencegahan Keruntuhan Lereng

1. Secara Vegetasi

Pencegahan longsor dengan cara vegetasi adalah memanfaatkan tanaman untuk mengurangi risiko longsor dengan memperkuat tanah, mengurangi erosi, dan meningkatkan stabilitas lereng. Teknik ini melibatkan penanaman pohon, rumput, dan tanaman lain yang memiliki akar kuat dan mampu mengikat tanah, salah satu tanaman yang sering digunakan adalah rumput vetivera, seperti pada Gambar dibawah ini:



Gambar 2.7 Tanaman Rumput Vetivera

2. Secara Stabilitasi

upaya untuk memperkuat lereng yang rawan longsor, sehingga mencegah pergerakan tanah dan menjaga stabilitasnya

a. *Internal*

Soil nailing yaitu untuk memperkuat lereng tebing dengan memasukkan paku baja ke dalam tanah, dan geotekstil yaitu mencapur tanah lereng dengan kapur atau semen

b. *Eksternal*

Dengan berbagai macam tipe dinding penahan tanah (DPT) seperti pada poin 2.3.2.

2.2.5 Stabilitas Lereng

Lereng dapat dianalisis melalui perhitungan faktor keamanan lereng dengan melibatkan data sifat fisik tanah, mekanika tanah, dan bentuk geometri lereng. Secara khusus, analisis dapat dipertajam dengan mengakibatkan aspek fisik lain secara regional yaitu dengan memperhatikan kondisi lingkungan tersebut merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi gerakan tanah dan merupakan karakter perbukitan rawan longsor.

Permukaan tanah yang miring dan membentuk sudut tertentu terhadap bidang horizontal. Apabila dijumpai dua permukaan tanah yang berbeda ketinggiannya, maka akan ada gaya-gaya yang bekerja mendorong sehingga tanah yang lebih tinggi kedudukannya cenderung bergerak ke arah bawah yang menyebabkan terjadinya longsor. Tujuan utama stabilitas lereng adalah untuk memberikan kompetensi terhadap suatu perencanaan konstruksi yang aman dan ekonomis.

2.3 Dinding Penahan Tanah

2.3.1 Pengertian Dinding Penahan Tanah

Dinding penahan tanah atau *retaining wall* merupakan elemen struktur yang berfungsi sebagai penahan gaya lateral tanah yang timbul akibat perbedaan elevasi permukaan tanah. Struktur buatan ini dibuat untuk mencegah terjadinya kelongsoran atau keruntuhan suatu lereng yang mempunyai kestabilan rendah. Dinding penahan tanah umumnya digunakan dalam lingkungan buatan manusia seperti galian, timbunan, dan lain-lain [9].

Dinding penahan tanah ini sebagai penahan tanah untuk mengatasi kelongsoran tanah, dengan penggunaan dinding penahan tanah maka perhitungan disesuaikan dengan daya dukung tanah terhadap stabilitas dari penggulingan, pergeseran, dan keruntuhan [10].

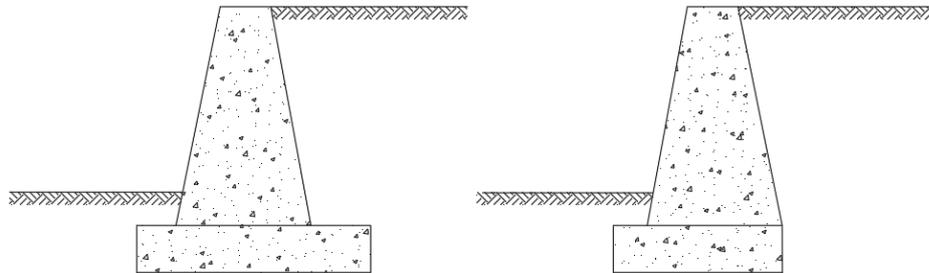
Dinding penahan tanah yang dibangun dengan perencanaan yang aman, dapat memberikan dampak yang positif terutama untuk daerah yang berada disekitar lereng, karena dinding penahan tanah ini berfungsi untuk memikul beban tanah saat terjadi gerakan tanah, longsor yang disebabkan oleh hujan, dan beban yang dipikul di atas tanah tersebut.

2.3.2 Tipe-Tipe Dinding Penahan Tanah

Menurut Hary CH. (2020) terdapat beberapa tipe dinding penahan tanah, antara lain :

1. Dinding Gravitasi

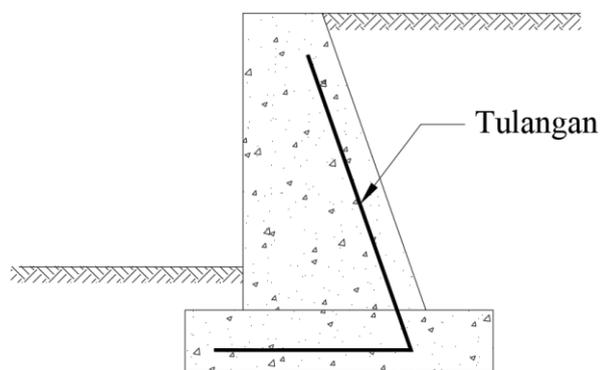
Adalah dinding penahan yang dibuat dari beton tak bertulang atau pasangan batu (Gambar 2.8). Sedikit tulangan beton kadang-kadang diberikan pada permukaan dinding untuk mencegah retakan permukaan akibat perubahan temperatur.



Gambar 2.8 Dinding Gravitasi

2. 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 seperti Gambar 2.9:

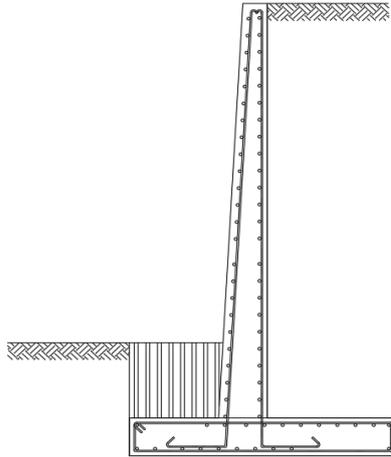


Gambar 2.9 Dinding Semi Gravitasi

3. Dinding Kantilever

Adalah dinding yang terdiri dari kombinasi dinding beton bertulang yang berbentuk huruf T (Gambar 2.10). Ketebalan dari kedua bagian ini relatif

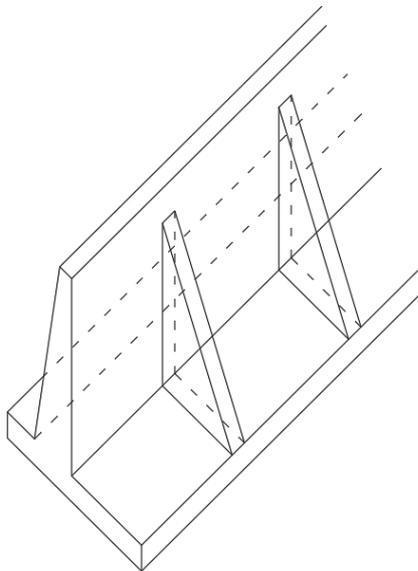
tipis dan secara penuh diberi tulangan untuk menahan momen dan gaya lintang yang bekerja padanya.



Gambar 2.10 Dinding Kantilever

4. Dinding *Counterfort*

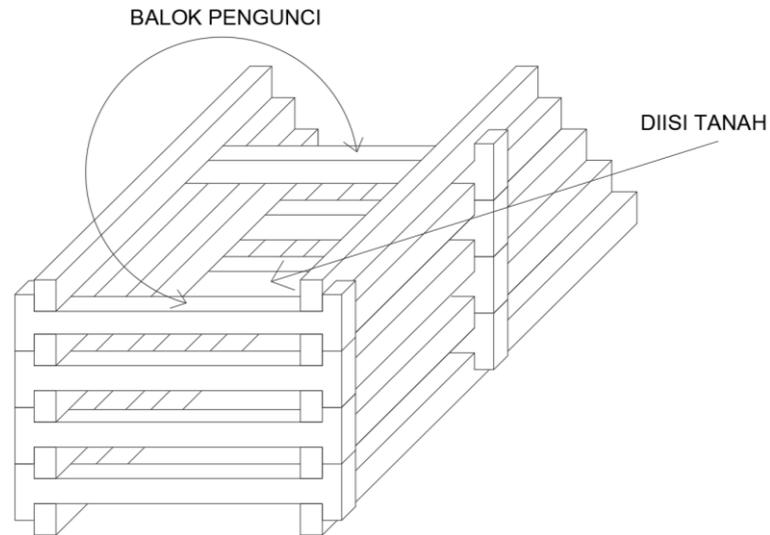
Adalah dinding yang terdiri dari dinding beton bertulang tipis yang dibagian dalam dinding pada jarak tertentu didukung oleh pelat/dinding vertikal yang disebut *counterfort* (dinding penguat). Ruang diatas pelat pondasi, diantara *counterfort* diisi dengan tanah urug seperti Gambar 2.11:



Gambar 2.11 Dinding *Counterfort*

5. Dinding Krib

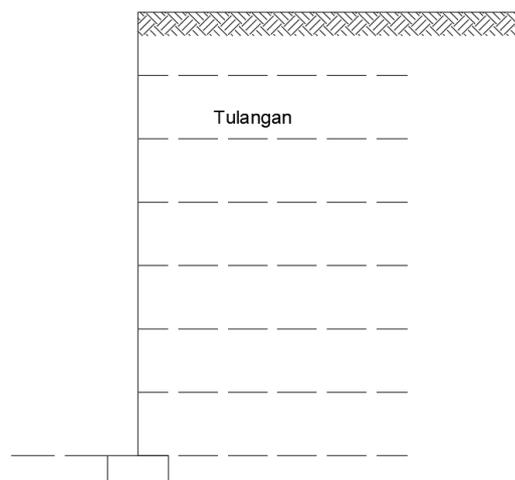
Adalah dinding yang terdiri dari balok-balok beton yang disusun menjadi dinding penahan seperti Gambar 2.12:



Gambar 2.12 Dinding Krib

6. Dinding Tanah Bertulang atau Dinding Tanah Diperkuat (*reinforced 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 seperti Gambar 2.13:



Gambar 2.13 Dinding Tanah Bertulang

2.3.3 Implementasi Dinding Penahan Tanah

Pada dasarnya pembangunan dinding penahan tanah ini dibangun didaerah yang berada disekitar lereng, sehingga untuk pengimplementasian dinding penahan tanah umumnya digunakan pada bangunan sebagai berikut :

1. Jalan raya atau jalan kereta api yang berada didaerah lereng
2. Jalan raya yang sengaja ditinggikan untuk dilakukan perbedaan pada elevasi
3. Dinding penahan tanah yang dibangun untuk menahan banjir
4. Dinding penahan tanah yang dibangun untuk penyimpanan barang material
5. Dinding penahan tanah yang difungsikan untuk menahan pengisi dalam jembatan

2.4 Tekanan Tanah Lateral

Tekanan tanah lateral adalah gaya yang ditimbulkan akibat dorongan tanah di belakang struktur penahan tanah. Besarnya tekanan lateral sangat dipengaruhi oleh perubahan letak (*displacement*) dari dinding penahan dan sifat-sifat tanahnya [11].

Analisis tekanan tanah lateral ditinjau pada kondisi keseimbangan plastis, yaitu saat massa tanah pada kondisi tepat akan runtuh (Rankine,1857). Besarnya tekanan tanah ditentukan oleh :

1. Koefisien tekanan tanah aktif, pasif dan tekanan tanah aktif pada saat gempa.
2. Kohesi tanah.
3. Beban yang bekerja pada permukaan tanah timbunan.

Analisis tekanan tanah lateral ditinjau pada kondisi keseimbangan elastis, yaitu teori yang digunakan untuk menghitung profil tekanan lateral pada dinding penahan tanah dari pembebanan muatan tambahan permukaan (titik, garis, lajur). Jenis-jenis pembebanan pada dinding penahan yang dapat menaikkan tekanan tanah dapat dibagi atas :

1. Beban titik atau beban terpusat q diletakkan pada permukaan tanah urugan dibelakang dinding.

2. Beban garis yaitu beban yang diletakkan sejajar dengan puncak (bagian atas) dinding penahan.
3. Beban lajur sebesar q persatuan luas dapat berbentuk beban merata persegi panjang, beban merata segi tiga, dengan beban merata trapesium.

2.4.1 Tekanan tanah diam (σ_0)

Tekanan tanah diam adalah tekanan tanah lateral pada kondisi tanah tidak bergerak. Tekanan tanah ini mempunyai banyak peran dalam aplikasinya diantaranya adalah:

1. Perhitungan kekuatan dinding penahan tanah dan *sheet-pile*. Karena tekanan dalam keadaan diam lebih besar dari tekanan aktif, maka lebih aman apabila kekuatan struktur penahan tanah dihitung berdasarkan tekanan tanah dalam kondisi diam.
2. Analisis daya dukung sisi (*skin friction*) pada pondasi tiang.
3. Penentuan tekanan cell pada pengujian triaksial. Untuk menggambarkan tekanan sesuai dengan yang ada dilapangan, sebaiknya pemberian tekanan cell triaksial berada di sekitar (dan lebih besar) tekanan diam sesuai dengan kedalaman sampel tersebut diambil.

Suatu elemen tanah yang terletak pada kedalaman z akan mengalami tekanan arah vertikal σ_v dan tekanan arah horizontal diam σ_h , (sementara tegangan geser pada bidang vertikal dan bidang horizontal diabaikan). Dalam keadaan diam, yaitu tidak ada pergerakan butiran tanah dari posisi awalnya, maka masa tanah akan berada dalam keadaan keseimbangan elastis (*elastic equilibrium*). Perbandingan tekanan tanah horizontal dan tekanan tanah vertikal dinamakan koefisien tekanan tanah diam (*coefficient of earth pressure at rest*), K_0 yaitu:

$$K_0 = \sigma_0 / \sigma_v \quad (2.1)$$

Keterangan :

K_0 = Koefisien tanah diam

σ_0 = Tegangan tanah diam

σ_v = Tegangan vertikal

Dengan memasukkan nilai tekanan akibat berat sendiri tanah (dengan berat satuan, γ) pada kedalaman z sebesar $\sigma_v = \gamma \cdot z$, maka tekanan tanah lateral pada kondisi diam adalah:

$$\sigma_0 = \gamma \cdot z \cdot K_0 \quad (2.2)$$

Keterangan :

σ_0 = Tegangan tanah diam

γ = Gama tanah

K_0 = Koefisien tanah diam

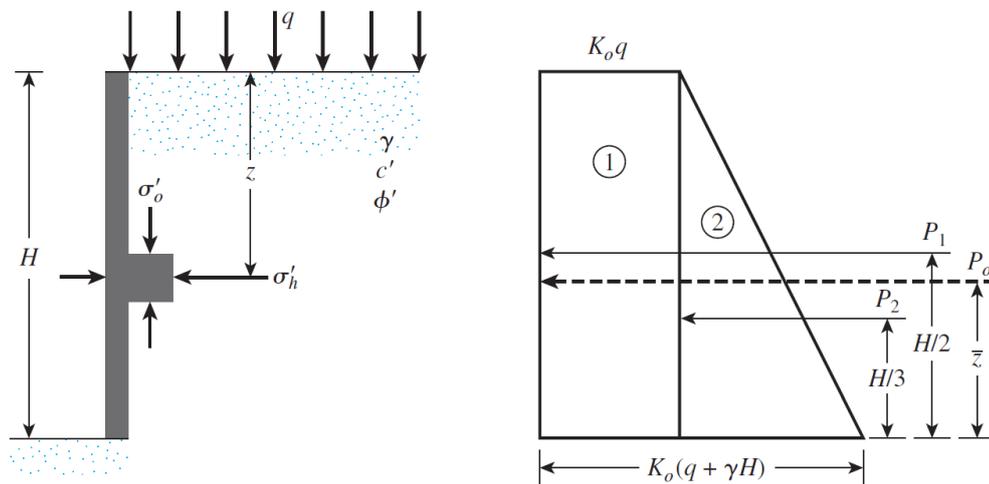
Berdasarkan teori elastis, koefisien tekanan tanah dalam keadaan diam dapat dituliskan sebagai fungsi dari *Poisson ratio* (μ):

$$K_0 = \frac{\mu}{1-\mu} \quad (2.3)$$

Untuk tanah berbutir dan tanah lempung dalam keadaan terkonsolidasi normal (*NC Clay*), koefisien tekanan tanah dalam keadaan diam dapat diwakili oleh hubungan empiris yaitu:

$$K_0 = 1 - \sin \phi \quad (2.4)$$

Gaya resultan akibat tekanan tanah dalam kondisi diam seperti terlihat pada Gambar 2.14 berikut ini :



Gambar 2.14 Tekanan Tanah Diam

2.4.2 Tekanan tanah aktif (σ_a)

Jika dinding terdorong keluar akibat tekanan tanah dibelakangnya, maka akan terjadi kondisi tekanan tanah aktif. Besarnya tekanan tanah tersebut menurut Rankine dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\sigma_a = (\gamma z) \tan^2(45^\circ - \phi/2) - 2c \tan(45^\circ - \phi/2) \quad (2.5)$$

Keterangan :

σ_a = Tegangan tanah aktif

γ = Gama tanah

z = Kedalam

c = Kohesi

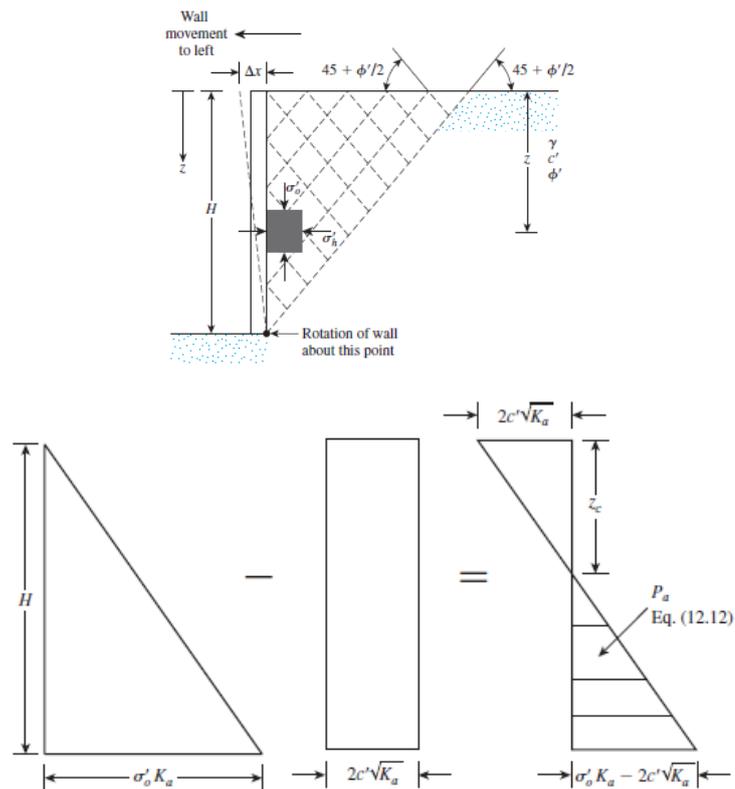
dengan mengambil nilai koefisien tekanan tanah aktif (K_a) sebagai:

$$K_a = \tan^2(45^\circ - \phi/2) \quad (2.6)$$

maka tekanan tanah lateral aktif adalah:

$$\sigma_a = \sigma_v K_a - 2c \sqrt{K_a} \quad (2.7)$$

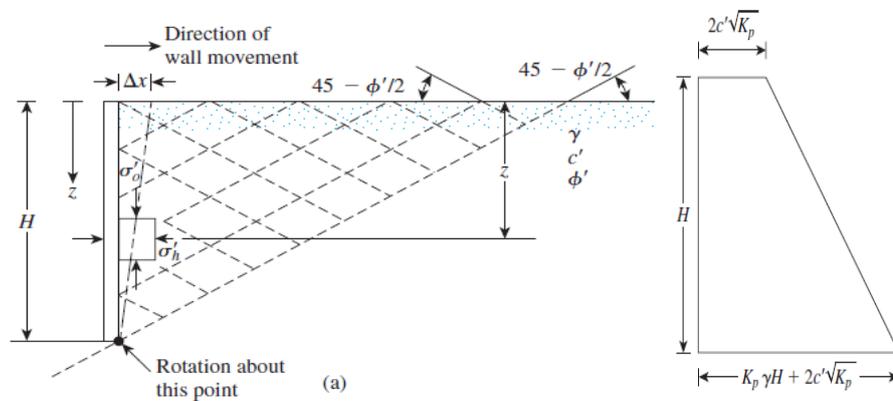
Gaya resultan akibat tekanan aktif (gaya tekan aktif) adalah luas dari diagram tegangan aktif seperti dapat dilihat pada Gambar 2.16 dibawah ini:



Gambar 2.15 Tekanan Tanah Aktif

2.4.3 Tekanan tanah pasif (σ_p)

Tekanan tanah pasif adalah tekanan tanah lateral pada kondisi tanah bergerak akibat terdorong oleh gaya luar. Hal ini terjadi pada tanah di bawah dan di sisi pondasi telapak atau di belakang dinding penahan tanah yang rebah kearah timbunan dibelakangnya.



Gambar 2.16 Tekanan Tanah Pasif

Pada elemen tanah di kedalaman z , tekanan vertikal pada elemen tanah sama dengan $\sigma_p = \gamma \cdot z$ dan tekanan tanah horizontal pada tanah di kedalaman tersebut adalah sebesar:

$$\sigma_p = (\gamma \cdot z) \tan^2(45^\circ + \phi/2) + 2c \tan(45^\circ + \phi/2) \quad (2.8)$$

Keterangan :

σ_p = Tegangan tanah pasif

γ = Gama tanah

z = Kedalam

c = Kohesi

dengan mengambil nilai koefisien tekanan tanah pasif (K_p) sebagai:

$$K_p = \tan^2(45^\circ + \phi/2) \quad (2.9)$$

maka tekanan tanah lateral pasif adalah:

$$\sigma_p = \sigma_v K_p + 2c\sqrt{K_p} \quad (2.10)$$

Untuk menentukan resultan gaya akibat tekanan tanah pasif, dapat dijelaskan sebagai berikut. Pada permukaan timbunan dibelakang dinding dari tanah yang kohesif, kedalaman $z = 0$, dengan tekanan akibat berat sendiri tanah $\sigma_v = 0$, nilai tersebut memberikan harga tekanan pasif sebesar:

$$\sigma_p = 2c \cdot \sqrt{K_p} \quad (2.11)$$

Untuk tanah non-kohefif ($c = 0$), tekanan tanah lateral pasif dapat ditulis sebagai:

$$\sigma_p = \sigma_v \cdot K_p \quad (2.12)$$

sehingga, resultan gaya tekan pasif yang bekerja pada dinding hingga kedalaman $z = H$ hanya disumbangkan oleh berat tanah sendiri yaitu:

$$P_{p,\gamma} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_p \quad (2.13)$$

2.5 Stabilitas pada Dinding Penahan Tanah

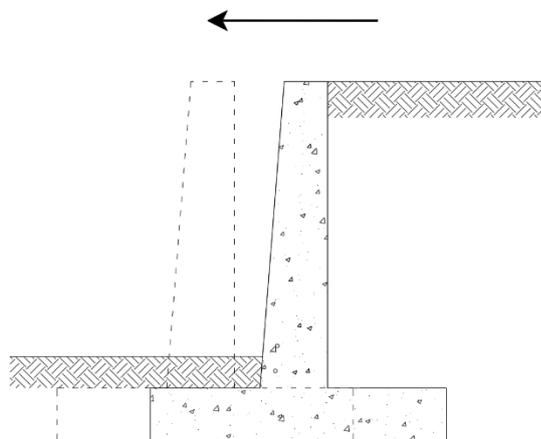
Stabilitas dinding penahan tanah merupakan kemampuan dinding penahan untuk menahan beban tanah dan tekanan lainnya tanpa mengalami kegagalan struktural atau pergeseran yang signifikan, stabilitas sangat penting untuk memastikan keselamatan dan keamanan struktur serta lingkungan disekitarnya.

Analisis stabilitas dinding penahan tanah dapat ditinjau sebagai berikut :

1. Faktor aman terhadap penggeseran dan penggulingan harus mencukupi
2. Tekanan yang terjadi pada tanah dasar pondasi harus tidak boleh melebihi kapasitas dukung tanah ijin
3. Stabilitas lereng secara keseluruhan harus memenuhi syarat

2.5.1 Stabilitas Terhadap Geser

Stabilitas terhadap pergeseran dapat dilihat pada gambar 2.17 dibawah ini :



Gambar 2.17 Stabilitas Terhadap Geser

Faktor keamanan terhadap geser dapat ditulis :

$$FS_{\text{sliding}} = \frac{\sum Fr}{\sum Fd} \geq 1,5 \quad (2.14)$$

Dimana :

ΣF_d = jumlah gaya dorong horizontal

Atau dapat ditulis :

$$\Sigma F_r = (\Sigma V) \text{ atau } \tan\theta_2 + Bc_2$$

$$\Sigma F_d = P_a$$

Dari persamaan diatas bila dikombinasikan :

$$FS_{\text{sliding}} = \frac{(\Sigma V)\tan\theta_2 + Bc_2}{P_a} \quad (2.15)$$

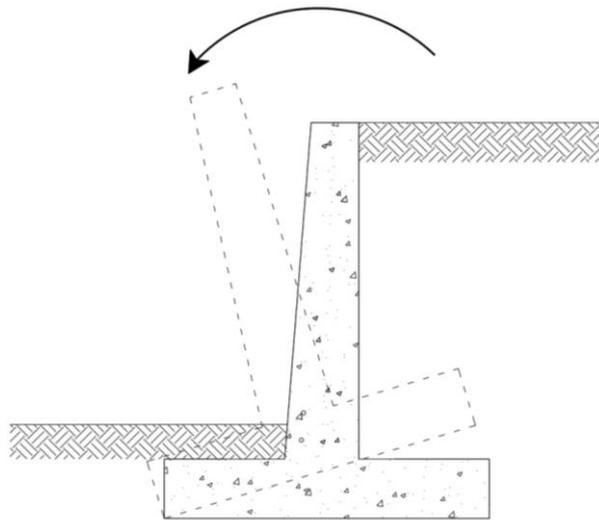
Dalam beberapa kasus, tekanan tanah pasif (P_p) tidak dimasukkan kedalam perhitungan sehingga diperoleh hasil yang lebih aman terhadap sudut geser dalam θ_2 dan C_2 dikalikan dengan koefisien k_1 dan k_2 maka persamaan diatas menjadi :

$$FS_{\text{sliding}} = \frac{(\Sigma V)\tan(k_1.\theta_2) + Bk_2.C_2 + P_p}{P_a} \quad (2.16)$$

Dimana koefisien k_1 dan k_2 berkisar antara 1/2 sampai 2/3.

2.5.2 Stabilitas terhadap Guling

Stabilitas terhadap penggulingan dapat dilihat pada gambar 2.18 dibawah ini :



Gambar 2. 18 Stabilitas Terhadap Guling

Suatu dinding penahan tanah stabil terhadap guling jika nilai faktor keamanannya (F_s guling) lebih besar dari 1,5.

$$F_s \text{ overtuning} = \frac{\Sigma M_r}{\Sigma M_o} > 1,5 \quad (2.17)$$

Dimana :

M_r = jumlah gaya momen yang akan mempertahankan guling

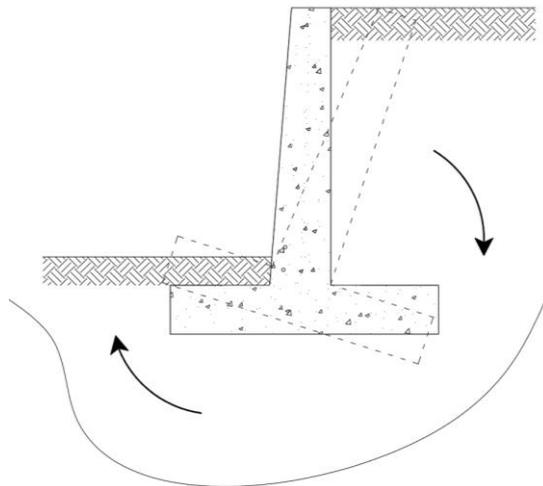
M_0 = jumlah gaya momen yang akan membuat guling

$$\Sigma M_r = (W_1 \cdot X_1) + (W_2 \cdot X_2) + W_3 \cdot X_3 \quad (2.18)$$

$$\Sigma M_0 = Pa \cdot \frac{1}{3} \cdot H \quad (2.19)$$

2.5.3 Stabilitas terhadap daya dukung tanah

Gaya-gaya horizontal dan vertikal pada dinding akan menimbulkan tegangan pada tanah. Apabila tegangan yang timbul melebihi tegangan ijin tanah, maka akan terjadi penurunan tanah yang berada di dasar dinding. Beban vertikal yang diterima tanah pada lapisan fondasi dari dinding penahan tanah harus dicek keamanan terhadap daya dukung tanah. Stabilitas terhadap daya dukung dapat dilihat pada gambar 2.19 dibawah ini :



Gambar 2.19 Stabilitas Daya Dukung

Faktor keamanan daya dukung tanah terhadap keruntuhan kapasitas dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$F_s \text{ dd} = \frac{Q_u}{Q_{\max}} \geq 3 \quad (2.20)$$

Untuk nilai maksimum dan minimum, dimana :

$$Q_{\max} = \frac{\Sigma v}{B} \left(1 + \frac{6 \cdot e}{B}\right) \quad (2.21)$$

$$Q_{\min} = \frac{\Sigma v}{B} \left(1 - \frac{6 \cdot e}{B}\right) \quad (2.22)$$

Untuk nilai eksentrisitas dapat diperoleh dari :

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\Sigma Mw - \Sigma Mgl}{W_{\text{tot}}} \quad (2.23)$$

Kapasitas daya dukung tanah dapat dihitung dengan persamaan Mayerhof berikut:

$$Q_u = c \cdot N_c \cdot F_{cd} \cdot F_{ci} + q \cdot N_q \cdot F_{qd} \cdot F_{qi} + 0,5 \cdot B \cdot \gamma \cdot N_\gamma \cdot F_{\gamma d} \cdot F_{\gamma i} \quad (2.24)$$

Keterangan :

c = kohesi tanah kN/m^2

B = lebar pondasi (m)

e = eksentrisitas (m)

v = berat beban vertikal (kN)

N_c, N_q, N_γ = faktor kapasitas daya dukung

γ = berat volume (kN/m^3)

Untuk faktor – faktor daya dukung ($N_c, N_q, N_\gamma, N'_c, N'_q, N'_\gamma$) dapat di lihat pada Tabel 2.1 :

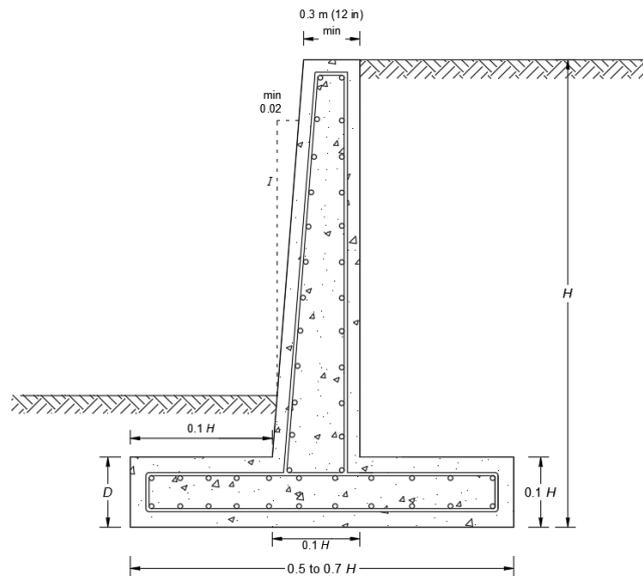
Tabel 2.1 Nilai Faktor Kapasitas Daya Dukung (N_c, N_q, N_γ)

φ°	N_c	N_q	N_γ	φ°	N_c	N_q	N_γ
0	5.14	1.00	0.00	26	22.25	11.85	12.54
1	5.38	1.09	0.07	27	23.94	13.20	14.47
2	5.63	1.20	0.15	28	25.80	14.72	16.72
3	5.90	1.31	0.24	29	27.86	16.44	19.34
4	6.19	1.43	0.34	30	30.14	18.80	22.40
5	6.49	1.57	0.45	31	32.67	20.63	25.99
6	6.81	1.72	0.57	32	35.49	23.18	30.22
7	7.16	1.88	0.71	33	38.64	26.09	35.19
8	7.53	2.06	0.86	34	42.16	29.44	41.06
9	7.92	2.25	1.03	35	46.12	33.30	48.03
10	8.35	2.47	1.22	36	50.59	37.75	56.31
11	8.80	2.71	1.44	37	55.63	42.92	66.19
12	9.28	2.97	1.69	38	61.35	48.93	78.03
13	9.81	3.26	1.97	39	67.87	55.96	92.25
14	10.37	3.59	2.29	40	75.31	64.20	109.41
15	10.98	3.94	2.65	41	83.86	73.90	130.22
16	11.63	4.34	3.06	42	93.71	85.38	155.55
17	12.34	4.77	3.53	43	105.11	99.02	186.54
18	13.1	5.26	4.07	44	118.37	115.31	224.64
19	13.93	5.80	4.68	45	133.88	134.88	271.76
20	14.83	6.40	5.39	46	152.10	158.51	330.35
21	15.82	7.01	6.20	47	173.64	187.21	403.67
22	16.88	7.82	7.13	48	199.26	222.31	496.01
23	18.08	8.66	8.20	49	229.93	265.51	613.16
24	19.32	9.60	9.44	50	266.89	319.07	762.89
25	20.72	10.66	10.88				

2.6 Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever

Menurut SNI 8460-2017, Dinding penahan tanah kantilever dibuat dari beton bertulang, karena itu dimensi stem dan base slab menjadi relatif tipis. Selain bobotnya sendiri, dinding penahan tanah kantilever ini mengandalkan pada bobot masa tanah yang berada di atas base slab, untuk menjaga stabilitasnya. Dinding penahan tanah ini cocok untuk menahan tanah yang tinggi, hingga 8 m.

Dinding penahan tanah tipe kantilever berbentuk T merupakan dinding beton tipis bertulang, secara keseluruhan dinding dipakai tulangan untuk gaya-gaya lintang dan menahan momen yang bekerja pada dinding. Dinding tipe ini memiliki dimensi yang kecil [3] seperti Gambar 2.20 dibawah ini:



Gambar 2.20 Dimensi Tipikal DPT Kantilever

2.6.1 Prosedur Perancangan DPT Kantilever

Secara umum, langkah-langkah hitungan perancangan struktur dinding penahan tanah dapat dilakukan sebagai berikut [12] :

1. Dipilih bentuk dinding penahan tanah, termasuk memilih dimensi dinding vertikal, tebal dan lebar pelat fondasi. Untuk keperluan ini, Gambar 2.20 dapat dijadikan petunjuk awal.
2. Dengan parameter-parameter tanah yang telah diketahui, dihitung gaya-gaya yang bekerja di atas dasar pondasi dinding penahan.

3. Tentukan letak resultan gaya-gaya yang bekerja. Letak dari resultan tersebut digunakan untuk mengetahui kestabilan dinding penahan terhadap bahaya penggulingan.
4. Dihitung faktor aman terhadap penggulingan dan penggeseran.
5. Dihitung tekanan yang terjadi pada dasar fondasi. Tekanan maksimum tidak boleh melebihi kapasitas dukung tanah ijin (q_a).
6. Dirancang bagian-bagian pembentuk struktur, seperti: menghitung dimensi dan penulangan fondasi maupun dinding.

2.6.2 Perhitungan Perancangan DPT Kantilever

Bagian-bagian dinding penahan tanah kantilever terdiri dari : dinding, pelat fondasi belakang dan pelat fondasi depan. Pada setiap bagian ini dirancang seperti cara merancang struktur kantilever. Untuk merancang pelat fondasi, tekanan tanah yang terjadi pada bagian dasar fondasi yang dihitung lebih dulu, yaitu dengan menganggap distribusi tekanan tanah linier.

Tekanan pada tanah dasar akibat beban dinding penahan yang terjadi pada ujung-ujung pelat fondasi yang dihitung dengan cara sebagai berikut [12] :

Bila $e \leq B/6$

$$q = \frac{v}{B} \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right) \quad (2.25)$$

Bila $e > B/6$

$$q_{\text{maks}} = \frac{2v}{3(B-2e)} \quad (2.26)$$

Keterangan :

q = Beban

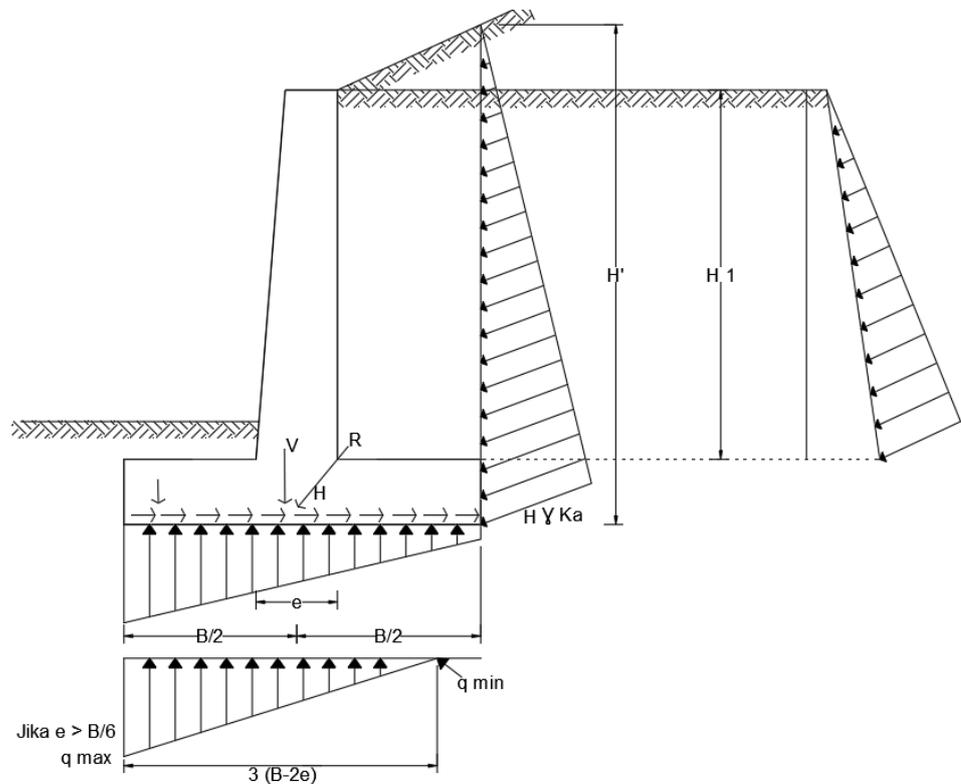
e = Eksentrisitas

B = Lebar

Bila $e \leq B/6$, maka tekanan dinding ke tanah yang terjadi berbentuk trapesium, sedang bila $e > B/6$, maka diagram tekanan berupa segitiga.

Pelat fondasi dianggap sebagai struktur kantilever yang bentangnya dibatasi oleh bagian vertikal dari tubuh dinding panahan. Pelat fondasi depan, dianggap sebagai pelat yang dijepit oleh dinding vertikal di bagian depan. Gaya-gaya yang bekerja, adalah gaya tekanan tanah ke atas, dikurangi oleh berat tanah di atas pelat depan. Pada bagian depan ini, pelat cenderung mengalami momen positif dengan tegangan tarik terletak pada sisi bawah.

Gaya-gaya yang bekerja pada dinding penahan tanah dengan permukaan tanah urug miring, pelat pondasi depan dianggap sebagai pelat yang dijepit oleh dinding vertikal dibagian depan. Gaya-gaya yang bekerja, adalah gaya tekanan tanah ke atas, dikurangi oleh berat tanah diatas pelat depan. Pada bagian depan ini, pelat cenderung mengalami momen positif dengan tegangan tarik terletak pada sisi bawah. Gambar 2.21 gaya-gaya yang bekerja pada dinding penahan tanah kantilever.



Gambar 2.21 Gaya Yang Bekerja Pada DPT Kantilever

2.6.3 Perhitungan Penulangan DPT Kantilever

Penulangan dinding penahan tanah kantilever melibatkan pemasangan tulangan baja pada dinding vertikal (*stem*), tumit (*heel*), dan kaki (*toe*) untuk memperkuat struktur beton dan menahan tekanan tanah. Tulangan ini berfungsi untuk menahan momen lentur, tegangan tarik, dan geser yang terjadi akibat tekanan tanah [13].

1. Penulangan pada Dinding Vertikal (*Stem*)

Tulangan vertikal (biasanya batang baja tulangan) berfungsi untuk menahan tegangan tarik yang terjadi akibat tekanan tanah. Jarak antara tulangan vertikal

dan diameter tulangan disesuaikan dengan perhitungan, mempertimbangkan kekuatan beton dan jenis tanah. Tulangan horizontal juga ditempatkan untuk membantu menahan tegangan lentur dan geser pada *stem*.

a. Tulangan lentur

Kebutuhan tulangan ini didasarkan pada momen lentur yang timbul pada dinding akibat gaya horizontal yang timbul dikalikan dengan faktor beban sebesar 1,6. Penulangan lentur dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} \quad (2.27)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \left[1 - \frac{\sqrt{2R_n}}{0,85 \cdot f'_c} \right] \quad (2.28)$$

$$A_{s\ perlu} = \rho \cdot b \cdot d \quad (2.29)$$

$$A_{s\ min} = 0,0015 \cdot 1000 \cdot h \quad (2.30)$$

b. Tulangan horizontal

Tulangan horizontal sebagai tulangan susut dan suhu. Tulangan orizontal minimum yang diperlukan pada dasar dinding sesuai SNI 2847 : 2019 [14].

$$A_{s\ min} = 0,0015 \cdot 1000 \cdot h \quad (2.31)$$

Karena sisi luar dinding penahan tanah senantiasa terkeropos dengan udara luar dan ketebalan dinding yang lebih dari 250 mm maka sesuai SNI 2847 : 2019 diperlukan minimal 1/2 hingga 2/3 dari luas tulangan horizontal untuk dipasang di sisi luar dinding dan sisanya dipasang pada sisi dalam dinding. Dalam hal ini luas tulangan yang dibutuhkan dibagi merata pada kedua sisi dinding, sehingga dapat digunakan rumus :

$$0,5 \cdot A_s \quad (2.32)$$

c. Desain terhadap geser

Penampang kritis untuk tinjauan geser adalah sejarak d (lebar efektif) dari dasar dinding

$$V_u = H_{a1} + H_{a2} \quad (2.33)$$

$$\phi V_c = \phi (0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d) > V_u \quad (2.34)$$

2. Penulangan pada Tumit (*Heel*)

Tulangan pada tumit bertujuan untuk menahan momen lentur dan gaya geser yang terjadi karena tekanan tanah yang menekan tumit. Tulangan tumit

biasanya berupa batang baja tulangan yang diletakkan di bagian bawah tumit dan terkadang juga di bagian atas tumit.

$$V_u = 1,2 [(H6.H2.\gamma_{tanah}) + (H6.H1.\gamma_{beton})] + 1,6 [(H6.hs.q)] \quad (2.35)$$

$$\phi V_c = \phi (0,17.\lambda.\sqrt{f'_c}.b_w.d) > V_u \quad (2.36)$$

$$M_u = V_u \times \frac{H6}{2} \quad (2.37)$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi.b.d^2} \quad (2.38)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85.f'_c}{f_y} \left[1 - \frac{\sqrt{2R_n}}{0,85.f'_c} \right] \quad (2.39)$$

$$A_{s\ perlu} = \rho.b.d \quad (2.40)$$

$$A_{s\ min} = \frac{1,4}{f_y} b.d \quad (2.41)$$

3. Penulangan pada Kaki (*Toe*)

Tulangan kaki berfungsi untuk menahan gaya tekan yang terjadi akibat tekanan tanah yang menekan kaki. Tulangan kaki biasanya berupa batang baja tulangan yang diletakkan di bagian bawah kaki.

Penampang kritis untuk perhitungan geser diukur sejauh d (lebar efektif) dari muka dinding penahan tanah. Besar gaya geser terfaktor yang bekerja dihitung dari besar tegangan tanah dikali dengan faktor 1,6 dikurangi dengan berat sendiri bagian ujung kaki hingga jarak d (lebar efektif) dari muka dinding dikalikan dengan faktor 1,2 maka:

$$V_u = 1,6 (H4') \cdot \left(\frac{qt_{oe+qg}}{2} \right) - 1,2 (H1.H4'.\gamma_{beton}) \quad (2.42)$$

$$\phi V_c = \phi (0,17.\lambda.\sqrt{f'_c}.b_w.d) > V_u \quad (2.43)$$

$$M_u = V_u \times \frac{H6}{2} \quad (2.44)$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi.b.d^2} \quad (2.45)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85.f'_c}{f_y} \left[1 - \frac{\sqrt{2R_n}}{0,85.f'_c} \right] \quad (2.46)$$

$$A_{s\ perlu} = \rho.b.d \quad (2.47)$$

$$A_{s\ min} = \frac{1,4}{f_y} b.d \quad (2.48)$$