

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

2.1.1 Pengertian Tanah

Tanah merupakan hasil dari pelapukan batuan, baik secara fisik maupun kimia, yang terdiri dari campuran – campuran mineral dengan atau tanpa kandungan bahan organik. Yang butiran nya dapat dipisahkan dengan mudah antara satu sama lainnya dengan kocokan air. Sifat – sifat teknis tanah selain dapat dipengaruhi oleh sifat batuan induk yang merupakan material asalnya, juga bisa terpengaruh oleh unsur – unsur luar yang menjadi penyebab terjadinya pelapukan batuan tersebut (Hardiyatmo, 1996).

Tanah adalah elemen vital dalam konstruksi yang perencanaannya harus dipertimbangkan matang-matang, sebab daya dukungnya merupakan penopang utama struktur. Penentuan daya dukung ini bergantung pada parameter kondisi tanah. Dengan demikian, sifat fisik dan mekanis tanah menjadi data input penting untuk perancangan fondasi bangunan dan struktur geoteknik lainnya.

Tidak semua jenis tanah memiliki karakteristik yang baik sehingga perlu usaha perbaikan tanah agar pekerjaan konstruksi tetap dapat dilakukan. Salah satu jenis tanah yang kurang baik bagi konstruksi adalah tanah berbutir halus. Tanah lempung pada umumnya merupakan material tanah dasar yang jelek, hal ini dikarenakan kekuatan gesernya sangat rendah sehingga pembuatan suatu konstruksi di atas lapisan tanah ini selalu menghadapi beberapa masalah seperti daya dukung yang rendah dan sifat kembang susut yang besar (Lestari et al., 2022).

Menurut Hardiyatmo (2010), tanah didefinisikan sebagai material alami yang terdiri dari butiran mineral, bahan organik, air, dan udara yang membentuk massa dengan sifat mekanik dan fisik tertentu. Sifat tanah inilah yang menentukan perilaku tanah terhadap beban luar, seperti tekanan dinding penahan tanah, beban lalu lintas, atau gaya gravitasi.

Faktor-faktor yang memengaruhi sifat tanah antara lain:

1. Jenis batuan asal (*parent rock*)
2. Proses pelapukan dan transportasi material
3. Kandungan air dan derajat kejenuhan tanah
4. Ukuran butiran dan distribusinya
5. Kepadatan dan struktur tanah

2.1.2 Klasifikasi Tanah

Klasifikasi Tanah merupakan suatu sistem pengelompokan tanah berdasarkan sifat fisik dan perilaku mekaniknya, agar karakteristiknya dapat dipahami dengan mudah untuk keperluan perencanaan dan konstruksi teknik sipil. Klasifikasi tanah adalah suatu kajian yang bersifat dinamis yang mempelajari susunan sistem penggolongan tanah, definisi setiap kelas yang digunakan dalam proses klasifikasi, kriteria yang menjadi dasar penentuan pengelompokan, serta penerapannya di lapangan yang disesuaikan dengan kebutuhan dan disiplin ilmu pengguna (Alnida, 2020).

Aspek Praktis Karakteristik Teknik Tanah Berdasarkan Jenisnya (Alnida, 2020)

1. Karakteristik Teknik Tanah Berbutir Kasar (Pasir dan Kerikil)

Tanah berbutir kasar memiliki sifat teknik yang umumnya menguntungkan dalam bidang konstruksi, antara lain:

- a. Sangat baik digunakan sebagai material dasar pondasi untuk menopang bangunan dan perkerasan jalan.
- b. Cocok sebagai material tanggul (*embankment*).
- c. Merupakan material timbunan (*backfill*) yang sangat baik untuk dinding penahan tanah.
- d. Berpotensi mengalami penurunan akibat pengaruh getaran atau ledakan.
- e. Proses drainase atau dewatering dapat menjadi sulit pada kerikil yang memiliki struktur terbuka karena permeabilitasnya yang tinggi.
- f. Umumnya tidak tahan terhadap pengaruh suhu dingin atau pembekuan (*frost susceptible*).

2. Karakteristik Teknik Tanah Lempung Berbutir Halus (*Inorganic Clays*)

Tanah lempung memiliki sifat yang kurang menguntungkan dalam aspek rekayasa, di antaranya:

- a. Kekuatan geser relatif rendah.
- b. Bersifat plastis dan mudah mengalami pemampatan (*kompresibel*).
- c. Kekuatan gesernya dapat berkurang saat kondisi basah.
- d. Gangguan struktur tanah dapat menyebabkan penurunan kekuatan geser.
- e. Mengalami penyusutan saat kering dan pengembangan ketika basah.
- f. Kurang baik digunakan sebagai material timbunan.
- g. Pada umumnya memiliki kualitas buruk untuk konstruksi timbunan.
- h. Bersifat hampir kedap air (*impervious*) dalam praktik lapangan.
- i. Lereng pada tanah lempung cenderung tidak stabil dan mudah longsor.

3. Karakteristik Teknik Tanah Lanau Berbutir Halus (*Inorganic Silts*)

Tanah lanau memiliki sifat antara pasir dan lempung dengan ciri-ciri sebagai berikut:

- a. Memiliki kekuatan geser yang relatif rendah.
- b. Tingkat kapilaritas tinggi serta rentan terhadap pembekuan.
- c. Permeabilitas relatif rendah.
- d. Memiliki potensi tinggi terhadap siklus pembekuan dan pencairan yang menyebabkan pergerakan naik-turun tanah.

4. Karakteristik Teknik Tanah Organik

Tanah organik adalah tanah yang mengandung bahan sisa vegetasi dan kadang organisme hewan dalam berbagai tingkat pelapukan. Tanah dikategorikan sebagai organik apabila kandungan bahan organiknya cukup besar sehingga memengaruhi sifat teknisnya.

Tanah organik dianggap tidak layak sebagai media konstruksi karena:

- a. Menurunkan daya dukung tanah secara signifikan.
- b. Meningkatkan tingkat kompresibilitas.
- c. Berpotensi menghasilkan gas beracun saat proses penggalian

berlangsung.

Ada beberapa sistem yang biasanya digunakan untuk mengklasifikasikan tanah yaitu :

1. Klasifikasi tanah menurut sistem *USCS (Unified Soil Classification System)*

Klasifikasi tanah dalam bidang teknik umumnya menggunakan *Unified Soil Classification System (USCS)* sesuai standar ASTM D 2487, yang didasarkan pada ukuran butir partikel tanah, gradasi, serta sifat plastisitasnya. Sistem ini pertama kali dikembangkan oleh Casagrande pada tahun 1942 untuk keperluan pembangunan lapangan terbang oleh *The Army Corps of Engineers* pada masa Perang Dunia II, kemudian disempurnakan oleh *United States Bureau of Reclamation (USBR)* pada tahun 1952.

Saat ini, sistem *USCS* telah digunakan secara luas oleh para insinyur di berbagai negara, termasuk Indonesia, yang mengadopsinya melalui standar ASTM menjadi SNI 03-6371-2000. Sistem ini membagi tanah ke dalam dua kelompok utama, yaitu tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus.(Alnida, 2020)

a. Tanah Berbutir Kasar (*Coarse-Grained Soil*)

Kelompok ini meliputi tanah kerikil dan pasir, di mana kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200. Simbol klasifikasinya diawali dengan huruf:

G = untuk kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil

S = untuk pasir (*sand*) atau tanah berpasir

b. Tanah Berbutir Halus (*Fine-Grained Soil*)

Tanah berbutir halus adalah tanah yang lebih dari 50% berat total sampelnya lolos ayakan No. 200. Simbol klasifikasinya meliputi:

M = untuk lanau anorganik (*silt*)

C = untuk lempung anorganik (*clay*)

O = untuk lanau dan lempung organik

Simbol Tambahan dalam Sistem *USCS*

Dalam sistem *USCS*, digunakan pula simbol tambahan untuk menunjukkan karakteristik gradasi dan plastisitas tanah, yaitu:

Tabel 2.1 Simbol *USCS*

Simbol	Deskripsi
W (<i>Well graded</i>)	Tanah dengan gradasi baik
P (<i>Poorly graded</i>)	Tanah dengan gradasi buruk
L (<i>Low plasticity</i>)	Plastisitas rendah (batas cair < 50)
H (<i>High plasticity</i>)	Plastisitas tinggi (batas cair > 50)

2. Klasifikasi Tanah Menurut Sistem *AASHTO*

Sistem *AASHTO* (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) digunakan secara luas dalam bidang jalan raya untuk menilai kelayakan tanah sebagai lapisan dasar, *subbase*, atau *subgrade*. (Alnida, 2020)

AASHTO membagi tanah menjadi tujuh kelompok utama, yaitu A-1 hingga A-7, berdasarkan ukuran butiran, batas cair (LL), dan indeks plastisitas (PI).

2.2 Tabel Klasifikasi Tanah Menurut *AASHTO*

Kelompok	Jenis Tanah	Sifat Umum	Kualitas sebagai Subgrade
A-1	Kerikil dan pasir bergradasi baik	Drainase baik, daya dukung tinggi	Sangat baik
A-2	Campuran pasir, lanau, dan lempung	Agak bergradasi, drainase sedang	Baik
A-3	Pasir halus dan pasir berlanau	Drainase baik, kompresibilitas rendah	Baik
A-4	Lanau dengan plastisitas rendah	Kurang stabil terhadap air	Sedang

A-5	Lanau plastisitas tinggi	Kompresibilitas tinggi, buruk bila jenuh	Jelek
A-6	Lempung plastisitas rendah–sedang	Daya dukung rendah, plastis sedang	Jelek
A-7	Lempung plastisitas tinggi	Kompresibilitas besar, sensitif air	Sangat Jelek

Selain pengelompokan tersebut, *AASHTO* juga menggunakan Indeks Kelompok (*Group Index/ GI*) untuk menilai kualitas tanah :

$$GI = (F - 35) [0.2 + 0.005 (LL - 40)] + 0.01 (F - 15) (PI - 10)$$

Keterangan

F = persen butiran lolos saringan No. 200

LL = batas cair (%)

PI = indeks plastisitas

Interpretasi :

GI = 0 : Tanah sangat baik untuk dasar jalan

GI > 20 : Tanah sangat buruk dan perlu perbaikan (misalnya stabilisasi atau pengantian tanah dasar

2.2. Dinding Penahan Tanah

2.2.1 Pengertian Dinding Penahan Tanah

Dinding penahan tanah (*Retaining Wall*) adalah bangunan yang berfungsi menstabilkan tanah pada kondisi tanah tertentu khususnya untuk areal lereng alam dan lereng buatan serta lereng akibat urugan tanah. Ketika kondisi tanah terganggu akibat beberapa hal tertentu, seperti beban gempa, mesin yang menghasilkan getaran, peledakan, air tanah dan lain-lain yang dapat menurunkan sifat fisik dan sifat mekanik dari parameter tanah, akan terjadi kerusakan struktur dan membahayakan jiwa manusia. Untuk meminimalisir kondisi tersebut, kita harus mendesain kestabilan dari struktur dinding penahan tanah tersebut agar mampu menahan beban dari tanah dan pengaruh

beban luar (Utara et al., 2017).

Menurut Bowles (1999) dalam bukunya “*Foundation Analysis and Design*”, Dinding penahan tanah adalah struktur yang dirancang untuk menahan tekanan lateral tanah akibat adanya perbedaan elevasi antara dua permukaan tanah yang berdekatan. Struktur ini berfungsi untuk menahan gaya dorong tanah agar tidak longsor atau bergerak, sehingga kestabilan tanah di belakang dinding tetap terjaga (Collins et al., 2021).

Masih menurut Bowles (1999), dinding penahan tanah termasuk bagian dari struktur geoteknik yang berperan penting dalam berbagai pekerjaan sipil seperti:

- Pelebaran dan peningkatan jalan raya,
- Penahan tanah pada tebing, sungai, atau lereng,
- Penahan tanah pada basement dan pelabuhan.
- Penahan tanah pada daerah pemotongan (*cut*) dan timbunan (*fill*).

Fungsi utamanya bukan hanya menahan gaya tanah, tetapi juga menjaga stabilitas, keselamatan, dan keawetan konstruksi di atasnya.

2.2.2 Jenis-Jenis Dinding Penahan Tanah

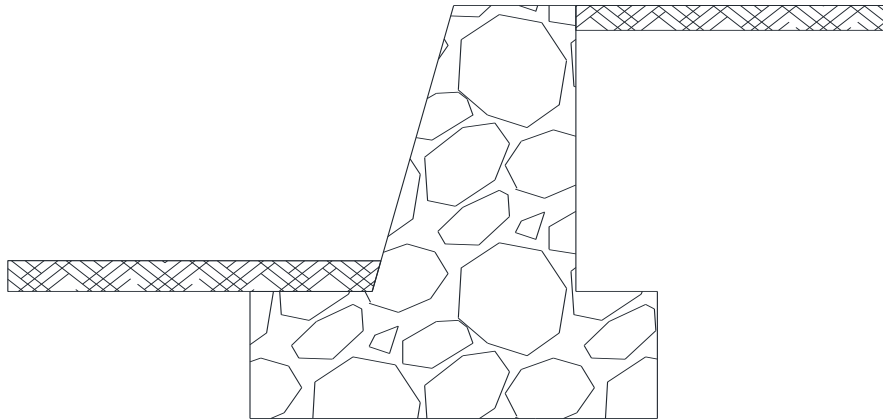
Dinding penahan tanah (*retaining wall*) dapat dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan prinsip kerja dan material pembentuknya, yaitu:

1 Dinding Gravitasi (*Gravity Retaining Wall*)

Dinding ini menahan tekanan tanah dengan beratnya sendiri (Gambar 2.1)

- Terbuat dari batu kali, beton massal, atau beton bertulang tebal.
- Cocok untuk tinggi dinding rendah hingga sedang ($\leq 3-4$ meter).
- Prinsipnya: berat dinding memberikan momen penahan terhadap gaya dorong tanah.
- Analisis stabilitas difokuskan pada guling dan geser.

Gaya penahan utama dari jenis ini berasal dari berat massa dinding (*self-weight*), bukan dari kekakuan atau tulangan.

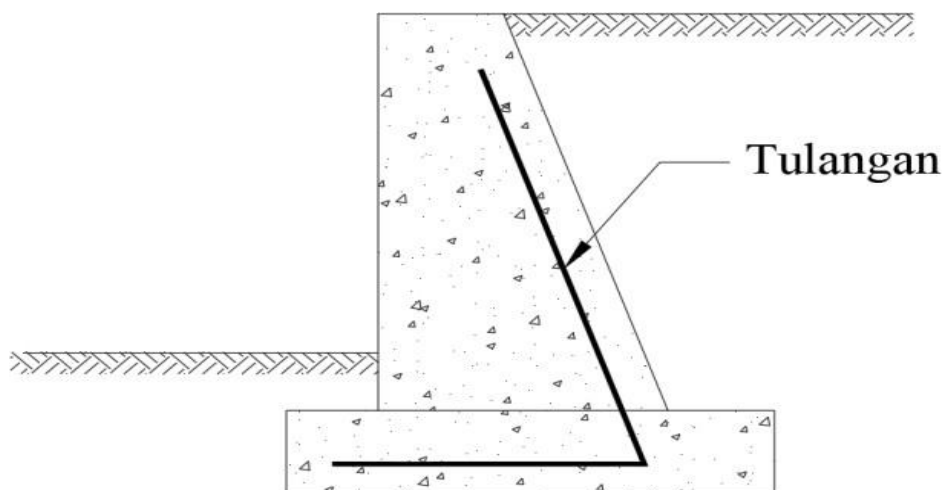


Gambar 2.1 Dinding Gravitasi

2. Dinding Semi-Gravitasi (*Semi-Gravity Wall*)

Merupakan pengembangan dari dinding gravitasi dengan sedikit tulangan baja untuk memperkecil dimensi struktur tanpa mengurangi kekuatannya. (Gambar 2.2)

- Biasanya digunakan untuk tinggi 3–6 meter.
- Lebih ekonomis karena membutuhkan volume beton lebih kecil.



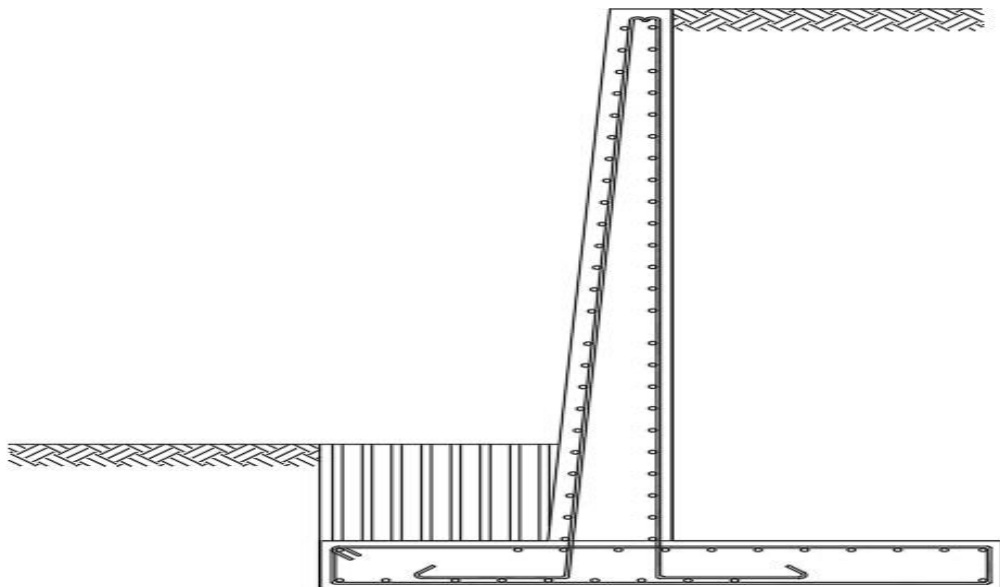
Gambar 2.2 Dinding Semi - Gravitasi

3. Dinding Kantilever Beton Bertulang (*Cantilever Retaining Wall*)

Jenis dinding ini paling banyak digunakan pada pekerjaan jalan dan bangunan sipil modern. (Gambar 2.3)

- Terbuat dari beton bertulang, terdiri atas pelat dasar (*base slab*) dan pelat vertikal (*stem*).
- Menahan tekanan tanah dengan gaya momen pada pelat kantilever.
- Dinding ini memanfaatkan berat tanah di atas tumit (*heel*) untuk menambah stabilitas.
- Umumnya efisien untuk tinggi 4–8 meter.

Menurut Bowles, pada desain *kantilever wall*, kombinasi antara berat sendiri, tekanan tanah, dan beban tanah di atas tumit harus diperhitungkan secara bersamaan untuk mencapai keseimbangan momen dan gaya.



Gambar 2.3 Dinding Kantilever Beton Bertulang

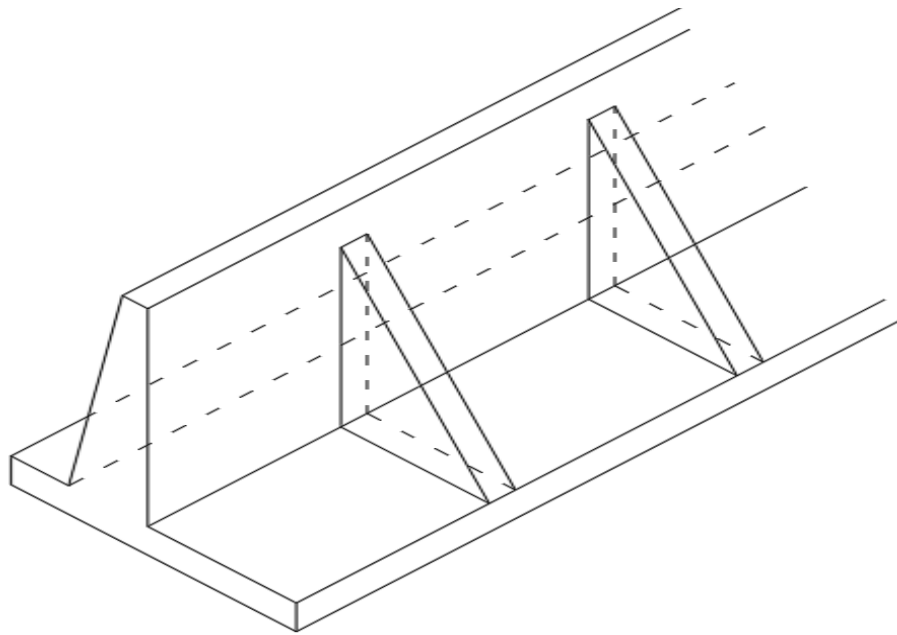
4. Dinding Penahan Tanah Tipe Counterfort (*Counterfort Retaining Wall*)

Merupakan pengembangan dari dinding kantilever, dilengkapi dengan pengaku berupa dinding miring (*counterforts*) di sisi belakang untuk memperkecil momen lentur pada pelat vertikal. (Gambar 2.4)

- Cocok untuk tinggi dinding > 8 meter.
- Counterfort ditempatkan dengan jarak antar 2–3 meter.
- Struktur ini lebih efisien dalam menahan gaya lateral pada dinding

tinggi.

Counterfort berfungsi sebagai “*tie*” antara pelat vertikal dan pelat dasar untuk menyalurkan beban tanah ke pondasi dengan cara yang lebih merata.



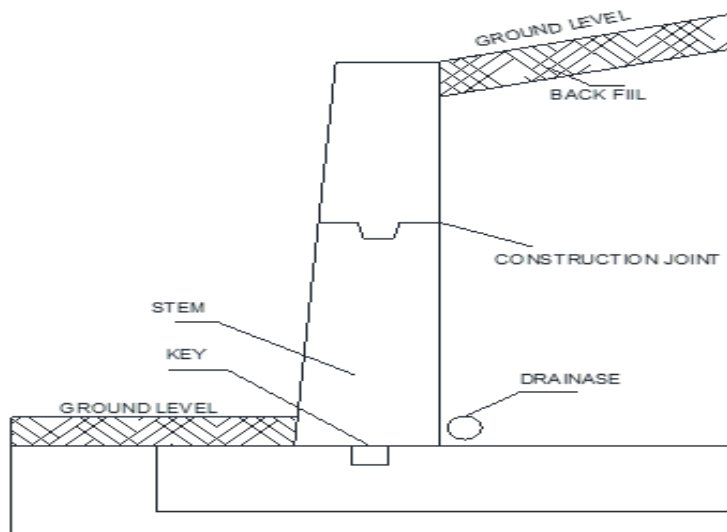
Gambar 2.4 Dinding Penahan Tanah Tipe Counterfort

5. Dinding Penahan Tanah Tipe Angker (*Anchored Retaining Wall*)

Digunakan untuk kondisi di mana ruang gerak dinding terbatas atau tekanan tanah sangat besar. (Gambar 2.5)

- Dilengkapi kabel atau batang baja angker yang tertanam ke dalam tanah stabil di belakang dinding.
- Cocok untuk pekerjaan basement, pelabuhan, atau lereng curam.
- Umumnya terbuat dari sheet pile atau soldier pile dengan tieback anchors.

Dinding jenis ini dirancang dengan memperhatikan keseimbangan gaya antara tekanan tanah dan gaya tarik dari angker.



Gambar 2.5 Dinding Penahan Tanah Tipe Angker

6. Dinding Penahan Tanah Tipe Sheet Pile

Dinding tipis yang ditanam ke dalam tanah dan bekerja berdasarkan gaya tahan pasif tanah di depan dinding. (Gambar 2.6)

- Terbuat dari baja, beton pracetak, atau kayu
- Umumnya digunakan untuk penahan tanah sementara, misalnya pada pekerjaan galian.
- Prinsipnya: momen lentur pada lembaran menahan gaya tanah lateral.

Dinding sheet pile efektif untuk tanah lunak atau pekerjaan sementara karena cepat dipasang dan mudah dibongkar.



Gambar 2.6 Dinding Penahan Tanah Tipe Sheet Pile

2.2.3 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

2.3 Tekanan Tanah Lateral

Tekanan Lateral Tanah adalah gaya horizontal yang dihasilkan oleh timbunan tanah pada struktur penahan. Besarnya secara langsung merupakan fungsi dari perpindahan lateral (displacement) dinding dan karakteristik geoteknik tanah (Kurniawan & Endayanti, 2022). Perhitungan tekanan lateral dilakukan dengan meninjau dua kondisi utama:

- Keseimbangan Plastis: Digunakan untuk kondisi ambang keruntuhan (Rankine, 1857), yang menentukan parameter seperti koefisien tekanan aktif, pasif, dan seismik, serta pengaruh kohesi dan beban permukaan.
- Keseimbangan Elastis: Digunakan untuk menentukan profil tekanan lateral yang diakibatkan oleh beban tambahan (*surchage*) di permukaan timbunan.

Beban permukaan yang perlu dipertimbangkan untuk meningkatkan tekanan tanah meliputi beban terpusat (titik) (Q), beban garis, dan beban lajur (q) (dengan bentuk merata persegi panjang, segitiga, atau trapesium).

Terdapat tiga kondisi utama tekanan tanah lateral menurut teori klasik :

1. Tekanan tanah diam (*At Rest Condition*)

Tekanan tanah diam (K_0) adalah kondisi di mana tanah tidak mengalami pergerakan atau regangan horizontal (displacement nol) karena ditahan oleh struktur yang kaku atau massa tanah di sekitarnya, sehingga berada dalam

keseimbangan statis. Kondisi ini terjadi ketika tanah mengalami konsolidasi akibat tekanan vertikal (berat sendiri (σ_v), yang seharusnya menimbulkan regangan lateral. Namun, regangan lateral ini dinetralkan oleh tekanan lateral tanah (σ_h). Seiring waktu, proses konsolidasi dan creep (rayapan) dalam arah vertikal maupun horizontal akhirnya berhenti, mencapai kondisi di mana (σ_h) adalah tekanan "at rest." (Wibowo & Wulandari, 2023)

$$\sigma_0 = \gamma \cdot z \cdot K_0 \quad (2.1)$$

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):

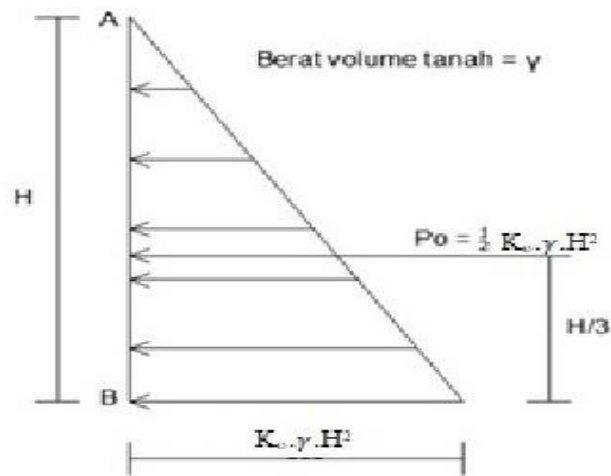
$$K_0 = \frac{\mu}{1 - \mu} \quad (2.2)$$

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

$$K_0 = 1 - \sin \phi \quad (2.3)$$

Gaya resultan akibat tekanan tanah dalam kondisi diam seperti terlihat pada Gambar

2.14 berikut ini :



Gambar 2.7 Koefisien Tanah Diam (K_0)

2. Tekanan Tanah Pasif (*Passive Pressure*)

Menurut Hardiyatmo (2003), tekanan tanah pasif adalah tekanan tanah yang terjadi saat gaya mendorong dinding penahan tanah ke arah tanah urugannya, sedangkan nilai banding tekan horisontal dan vertikal yang terjadi didefinisikan sebagai koefisien tekanan tanah pasif atau k_p . nilai tekanan pasif lebih besar dari nilai tekanan tanah saat diam dan nilai tekanan aktif. Tekanan tanah pasif menunjukkan nilai maksimum dari gaya yang dapat dikembangkan oleh tanah pada gerakan struktur penahan terhadap tanah urugannya, yaitu tanah harus menahan gerakan dinding penahan tanah sebelum mengalami keruntuhan (Wibowo & Wulandari, 2023).

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

$$\sigma_p = (\gamma \cdot z) \tan^2(45^\circ + \phi/2) + 2c \tan(45^\circ + \phi/2) \quad (2.4)$$

Keterangan :

σ_p = Tegangan tanah pasif

γ = Gama tanah

z = Kedalam

c = Kohesi

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

$$K_p = \tan^2(45^\circ + \phi/2) \quad (2.5)$$

maka tekanan tanah lateral pasif adalah:

$$\sigma_p = \sigma_v K_p + 2c\sqrt{K_p} \quad (2.6)$$

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:

$$\sigma_p = 2c \cdot \sqrt{K_p} \quad (2.7)$$

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

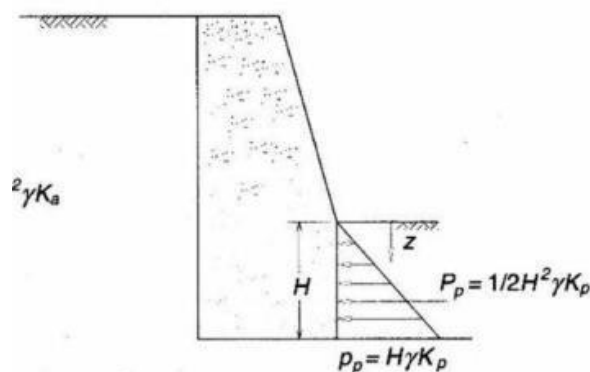
$$\sigma_p = \sigma_v \cdot K_p \quad (2.8)$$

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

$$P_p \cdot \gamma = \frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 \cdot K_p \quad (2.9)$$

Gaya resultan akibat tekanan tanah dalam kondisi diam seperti terlihat pada Gambar

2.8 berikut ini :



Gambar 2.8 Koefisien Tekanan Tanah Pasif (K_p)

3. Tekanan Tanah Aktif (*Active Pressure*)

Tekanan tanah aktif adalah tekanan yang terjadi pada dinding penahan yang mengalami keluluan atau bergerak ke arah luar dari tanah

urugan di belakangnya, sehingga menyebabkan tanah urug akan bergerak longsor ke bawah dan menekan dinding penahannya, sedangkan nilai banding tekanan horisontal dan tekanan vertikal yang terjadi didefinisikan sebagai koefisien tekanan tanah aktif atau K_a . Nilai tekanan aktif lebih kecil dari nilai tekanan saat diam. Gerakan dinding tanah menjauhi tanah urug menghilangkan pertahanan dibelakang dinding. Jadi tekanan tanah aktif adalah gaya yang cenderung mengurangi keseimbangan dinding penahan tanahnya (Wibowo & Wulandari, 2023)

Besarnya tekanan tanah tersebut menurut Rankine dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\sigma_a = (\gamma z) \tan^2(45^\circ - \phi/2) - 2c \tan(45^\circ - \phi/2) \quad (2.10)$$

Keterangan :

σ_a = Tegangan tanah aktif

γ = Gama tanah z = Kedalam

c = Kohesi

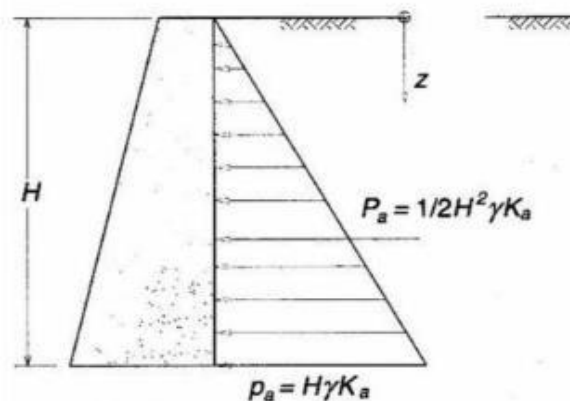
dengan mengambil nilai koefisien tekanan tanah aktif (K_a) sebagai:

$$K_a = \tan^2(45^\circ - \phi/2) \quad (2.11)$$

maka tekanan tanah lateral aktif adalah:

$$\sigma_a = \sigma_v K_a - 2c \sqrt{K_a} \quad (2.12)$$

Gaya resultan akibat tekanan aktif (gaya tekan aktif) adalah luas dari diagram tegangan aktif seperti dapat dilihat pada Gambar 2.9 dibawah ini:



Gambar 2. 9 Koefisien Tekanan Tanah Aktif (K_a)

2.4 Stabilitas Dinding Penahan Tanah

Stabilitas dinding penahan tanah sangat penting agar struktur tidak mengalami kegagalan. Menurut Hardiyatmo (2011) dalam buku Mekanika Tanah 2, terdapat beberapa bentuk ketidakstabilan yang perlu diperhitungkan, di antaranya:

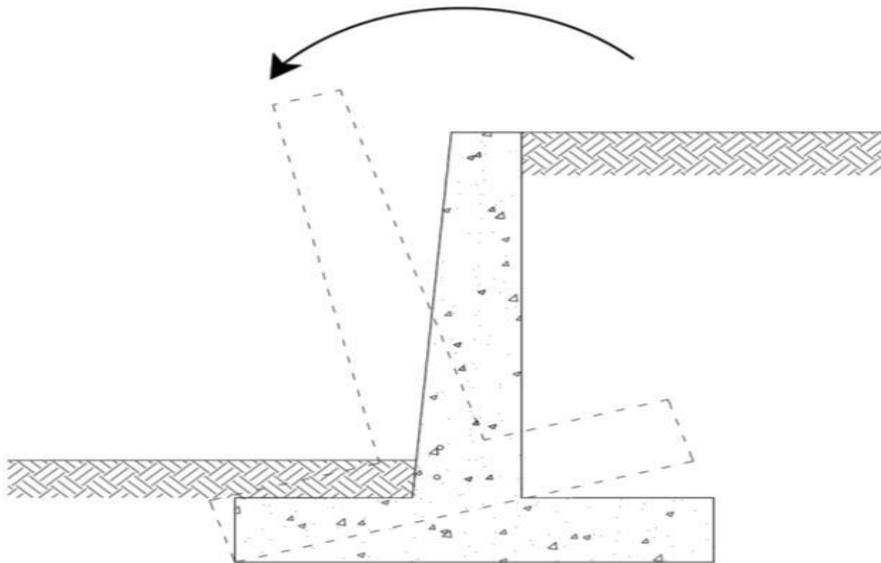
1. Stabilitas Terhadap Guling (*Overturning*)(Gambar 2.10)

Kegagalan guling terjadi apabila momen akibat tekanan tanah (yang cenderung menggulingkan dinding) lebih besar daripada momen penahan akibat berat dinding dan tanah di atas alas pondasi.(Nur & Hakam, 2010 dalam Maulana, 2019)

Rasio keamanan terhadap guling dapat dihitung dengan:

$$FS_{\text{guling}} = \frac{M_{\text{penahan}}}{M_{\text{guling}}} > 2.0 \quad (2.13)$$

Nilai faktor keamanan minimal 2,0 biasanya digunakan untuk memastikan kestabilan struktur terhadap gaya guling.



Gambar 2.10 Stabilitas Terhadap Geser

2. Stabilitas Terhadap Geser (*Sliding*) (Gambar 2.11)

Kegagalan geser terjadi bila gaya horizontal yang ditimbulkan oleh tekanan tanah lebih besar dari gaya gesekan antara alas pondasi dinding dan tanah dasar.(Nur & Hakam, 2010 dalam Maulana, 2019)

Rasio keamanan terhadap geser adalah:

$$SF_{\text{geser}} = \frac{R}{Pa} > 1.5 \quad (2.14)$$

$$\Sigma Rh = c.B + \Sigma W.tan\phi \quad (2.15)$$

ΣRh = tahanan dinding penahan tanah terhadap penggeseran,

ΣPh = jumlah tekanan gaya horisontal.

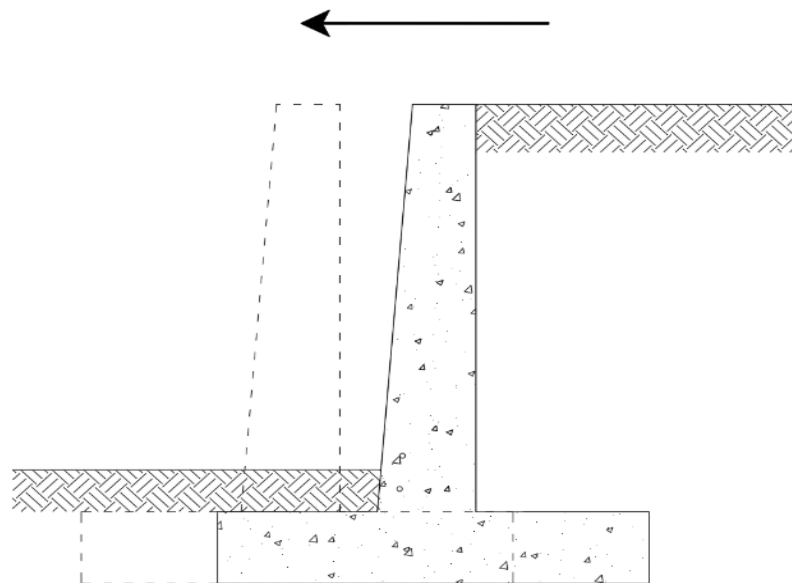
C = kohesi (kN/m²),

B = lebar dasar pondasi (m),

ΣW = jumlah gaya berat sendiri dinding penahan tanah (kN),

ϕ = sudut gesek internal tanah (°).

Dinding penahan tanah dikatakan aman terhadap gaya guling jika nilai $SF \geq 1,5$.



Gambar 2.11 Stabilitas Terhadap Geser

3. Stabilitas Lereng terhadap daya dukung tanah (Gambar 2.12)

Daya dukung tanah adalah kemampuan tanah untuk menahan tekanan atau beban bangunan pada tanah dengan aman tanpa menimbulkan keruntuhan geser dan penurunan yang berlebihan (Nur & Hakam, 2010 dalam Maulana, 2019). Kapasitas dukung ultimit dihitung dengan menggunakan rumus Terzaghi, bila memakai data pengujian laboratorium:

$$q_{ult} = c.N_c + D_f.\gamma.N_q + 0,5.B.\gamma.N_\gamma \quad (2.16)$$

Kapasitas dukung ultimit neto (q_{un}) merupakan nilai intensitas dari beban fondasi neto, tanah akan mengalami keruntuhan geser, apabila:

$$q_{un} = q_{ult} - \gamma \times D_f \quad (2.17)$$

Tekanan pondasi neto untuk suatu fondasi pada kondisi tertentu ialah tambahan tekanan pada dasar pondasi, akibat adanya beban mati dan beban hidup dari struktur. Dinyatakan dalam persamaan:

$$q_n = q - \gamma \times D_f \quad (2.18)$$

Faktor aman terhadap suatu keruntuhan kapasitas dukung didefinisikan sebagai:

$$SF = \frac{q_u}{q_{max}} > 3 \quad (2.19)$$

dengan:

c = kohesi tanah (kN/m^2),

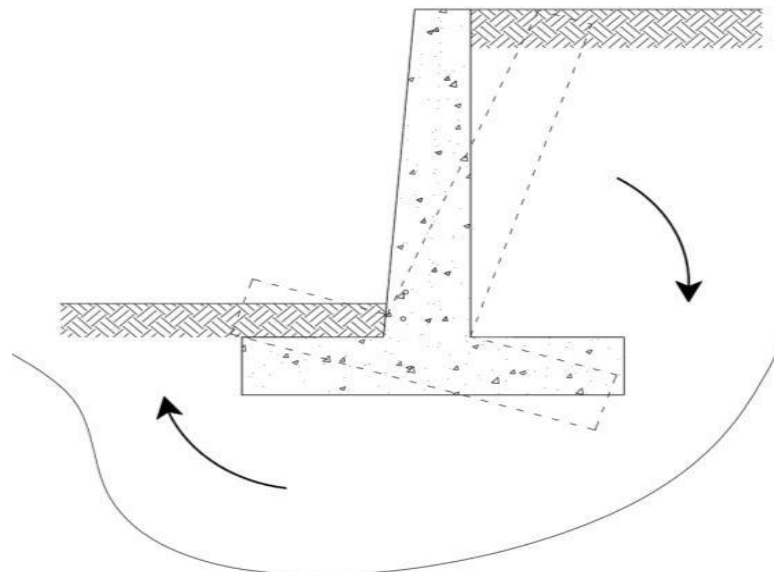
D_f = kedalaman dasar pondasi (m),

γ = berat volume tanah (kN/m^3),

B = lebar pondasi dinding penahan tanah (m),

N_c, N_q, N_γ = faktor daya dukung Terzaghi ditentukan oleh besar sudut gesek internal tanah,

q = tekanan total pondasi (kN/m).



Gambar 2.12 Stabilitas Lereng terhadap daya dukung tanah

Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Tekanan Tanah

Berdasarkan Buku Hardiyatmo (2010), besar tekanan tanah yang bekerja pada dinding penahan dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

1. Jenis tanah(kohesif atau non-kohesif).
2. Kondisi kadar air tanah (drainase yang buruk dapat meningkatkan tekanan air pori).
3. Sudut kemiringan timbunan di belakang dinding.
4. Jenis pergerakan dinding (aktif atau pasif).
5. Kehadiran beban tambahan di atas permukaan tanah (misalnya lalu lintas).

2.5 Dinding Penahan Tanah Kantilever

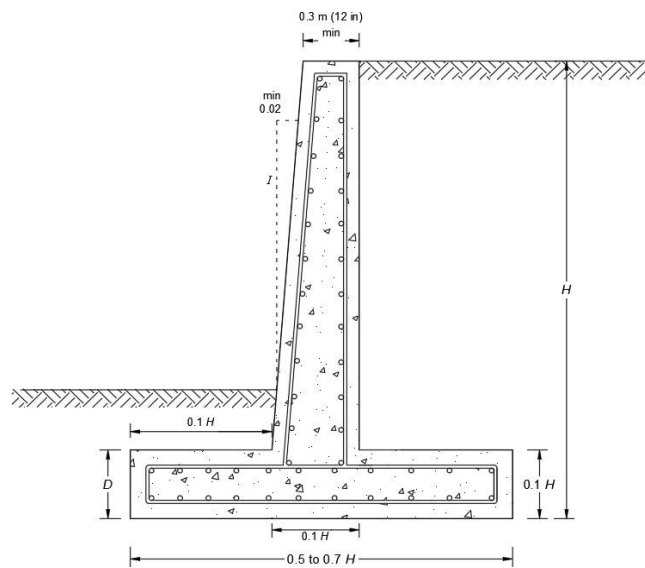
2.5.1 Pengertian Dinding Penahan Tanah Kantilever

Dinding penahan tanah kantilever adalah struktur beton bertulang monolit yang terdiri dari pelat vertikal (*stem*) dan pelat alas (*base slab*), di mana pelat vertikal menahan tekanan tanah aktif dari timbunan di belakang dinding. (Gambar 2.13)

Struktur ini bekerja seperti balok kantilever yang menonjol dari pelat alas, sehingga gaya utama berupa momen lentur dan gaya geser disalurkan ke pondasi.

Menurut Bowles (1999) dalam *Foundation Analysis and Design*,

Dinding penahan tanah kantilever adalah struktur beton bertulang tipis yang menggunakan berat sendiri serta berat tanah di atas pelat tumit (*heel*) untuk menahan gaya guling dan geser akibat tekanan tanah lateral (Agar & Arifianto, 2020).



Gambar 2.13 Dinding Penahan Tanah Kantilever

2.5.2. Bagian – bagian utama dinding Kantilever

Dinding ini memiliki empat elemen struktural utama :

Tabel 2.3 Bagian – bagian Dinding Kantilever

Bagian	Letak	Fungsi
<i>Stem</i>	Vertikal diatas pelat alas	Menahan tekanan tanah lateral secara langsung
<i>Heel</i> (Tumit)	Pelat dasar di bawah timbunan tanah (belakang dinding)	Menambah momen penahan terhadap guling dan meningkatkan stabilitas
<i>Toe</i> (Ujung Depan)	Pelat dasar di sisi depan (tanpa tanah timbunan)	Menambah berat di sisi depan untuk keseimbangan
<i>Base Slab</i> (Pelat Alas)	Gabungan heel dan toe	Menyebarkan beban ke tanah dasar

2.5.3 Prosedur Perancangan DPT Kantilever

Secara umum, langkah-langkah hitungan perancangan struktur dinding

penahan tanah dapat dilakukan sebagai berikut :

1. Dipilih bentuk dinding penahan tanah, termasuk memilih dimensi dinding vertikal, tebal dan lebar pelat fondasi. Untuk keperluan ini, Gambar 2.13 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.

2.5.4 Dimensi Umum (Proporsi Awal Desain)

Sebagai pedoman praktis (Hardiyatmo, 2014)

Tabel 2.4 Dimensi umum proporsi awal desain

Komponen	Ukuran awal
Tinggi dinding (H)	3 -6 m (maks. Efisien)
Tebal stem di dasar	0.10 H sampai 0.15 H
Lebar total base slab (B)	0.5 H sampai 0.7 H
Panjang heel	0.3 B sampai 0.4 B
Panjang toe	0.2 B sampai 0.3 B

Nilai ini selanjutnya di sesuaikan dengan hasil analisis gaya dan momen aktual.

2.5.5 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 :

$$\text{Bila } e \leq \frac{B}{6}$$

$$q = v/B \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right) \quad (2.20)$$

$$\text{Bila } e > \frac{B}{6}$$

$$q \text{ max} = \frac{2v}{3(B-2e)} \quad (2.21)$$

Keterangan :

$$q = \text{Beban } q = v/B \left(1 + 6e / B \right)$$

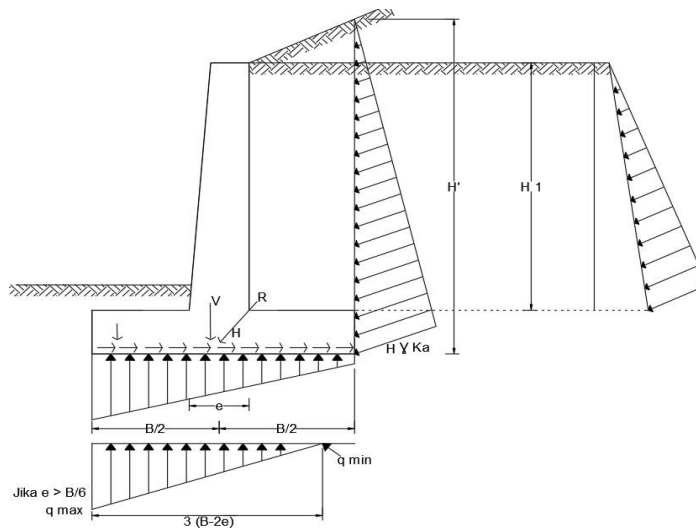
e = Eksentrisitas

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 2.11 gaya-gaya yang bekerja pada dinding penahan tanah kantilever.



Gambar 2.14 Gaya Yang Bekerja Pada DPT Kantilever

2.5.6 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 (*PERANCANGAN BERTULANG Penulis, n.d.*).

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 :

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} \quad (2.22)$$

$$\rho \text{ perlu} = \frac{0.85 \cdot F_{c'} }{F_y} \cdot \left[1 - \frac{1 \cdot \sqrt{2 \cdot R_n}}{F_{c'}} \right] \quad (2.23)$$

$$A_s \text{ perlu} = \rho \cdot b \cdot d \quad (2.24)$$

$$A_s \text{ min} = 0,0015 \cdot 1000 \cdot h \quad (2.25)$$

a. Tulangan horizontal

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

$$A_s \text{ min} = 0,0015 \cdot 1000 \cdot h \quad (2.26)$$

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 :

$$0,5 \cdot A_s \quad (2.27)$$

b. Desain terhadap geser

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

$$V_u = H_{a1} + H_{a2} \quad (2.28)$$

$$\phi V_c = \phi (0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d) > V_u \quad (2.29)$$

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.

$$V_u = 1,2 [(H6 \cdot H2 \cdot \gamma_{tanah}) + (H6 \cdot H1 \cdot \gamma_{beton})] + 1,6 [(H6 \cdot h_s \cdot q)] \quad (2.30)$$

$$\phi V_c = \phi (0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d) > V_u \quad (2.31)$$

$$M_u = V_u \times H/2 \quad (2.33)$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} \quad (2.34)$$

$$\rho \text{ perlu} = \frac{0,85 \cdot F_{ct}}{F_y} \cdot \left[1 - \frac{1\sqrt{2 \cdot R_n}}{F_{ct}} \right] \quad (2.35)$$

$$A_s \text{ perlu} = \rho \cdot b \cdot d \quad (2.36)$$

$$A_s \text{ min} = (1,4/f_y) \cdot b \cdot d \quad (2.37)$$

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:

$$V_u = 1,6 (L_{toe}) \left(\frac{q_{toe+qg}}{2} \right) - 1,2 (H \cdot L_{toe} \cdot \gamma_{beton}) \quad (2.38)$$

$$\phi V_c = \phi (0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d) > V_u \quad (2.39)$$

$$M_u = V_u \times L/2 \quad (2.40)$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} \quad (2.41)$$

$$\rho \text{ perlu} = \frac{0,85 \cdot F_{ct}}{F_y} \cdot \left[1 - \frac{1\sqrt{2 \cdot R_n}}{F_{ct}} \right] \quad (2.42)$$

$$A_s \text{ perlu} = \rho \cdot b \cdot d \quad (2.43)$$

$$A_s \text{ min} = (1,4/f_y) \cdot b \cdot d \quad (2.44)$$