

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Menurut Setiawan (2011), dinding penahan tanah atau juga biasa disebut tembok penahan tanah adalah suatu konstruksi yang dibangun untuk menahan tanah atau mencegah keruntuhan tanah yang curam atau lereng yang dibangun di tempat yang kemantapannya tidak dapat dijamin oleh lereng itu sendiri, serta untuk mendapatkan bidang yang tegak.

Faktor fluktuasi muka air dan gempa sangat berpengaruh dalam perhitungan atau analisis stabilitas dinding penahan tanah, karena faktor tersebut mempengaruhi bentuk dan dimensi dari konstruksi dinding penahan tanah. Faktor gempa diperhitungkan untuk menentukan analisis dari dinding penahan tanah yang bertujuan untuk mendesain bangunan yang kuat dan tahan terhadap beban gempa, sehingga saat terjadi gempa kerusakan yang ditimbulkan tidak akan merusak dan mengganggu fungsi dari dinding penahan tanah itu sendiri yang akan berdampak pada kondisi di sekitarnya (Kalalo dkk., 2017).

Menurut Putra dkk. (2010), perkuatan tebing dengan bentuk simetris memberikan hasil yang lebih ekonomis dan lebih aman dibanding dengan bentuk yang tidak simetris. Hal ini dikarenakan bentuk dinding penahan yang simetris lebih stabil dibandingkan dengan bentuk yang tidak simetris dalam menahan tanah pada tebing. Perkuatan dengan bentuk yang simetris menghasilkan dinding penahan tanah yang lebih kuat dan lebih ekonomis, karena lebih mudah dalam pengerjaannya, dan juga lebih cepat dalam proses konstruksinya, sehingga dinding penahan tanah bentuk simetris lebih banyak digunakan dalam pengerjaan konstruksi bangunan penahan tanah.

Safety Factor (SF) lereng tanah dapat dihitung dengan berbagai metode, semakin banyak metode yang digunakan maka semakin kecil kesalahan yang akan terjadi. Pada longoran dengan bidang gelincir (*slip surface*), SF dapat dihitung dengan metode sayatan (*slice method*) menurut Fellenius atau Bishop. Perhitungan dengan berbagai metode dinilai lebih aman untuk perbandingan faktor keamanannya. Perhitungan faktor keamanan lereng alami nantinya perlu

dibandingkan dengan faktor keamanan desain, sehingga besar kenaikan faktor keamanan dari kondisi alami sampai kondisi perbaikan desain dapat diukur. Hal ini dilakukan untuk meminimalisir suatu kesalahan dalam proses pembuatan dinding penahan tanah, sehingga nantinya tidak ada kerusakan yang berdampak pada kondisi di sekitarnya (Pradana dkk., 2017).

Faktor keamanan menjadi suatu acuan paling penting dalam menganalisis stabilitas dinding penahan tanah. Faktor keamanan harus memperhatikan tegangan geser dan kuat geser rata-rata sepanjang permukaan longsoran. Dinding penahan tanah yang digunakan harus stabil terhadap pergeseran, penggulingan, dan keruntuhan kapasitas daya dukung tanah. Nilai *safety factor* terhadap penggulingan minimum 2, terhadap pergeseran minimum 1,5 dan terhadap keruntuhan kapasitas daya dukung hasilnya harus lebih atau sama dengan 3. Hal itu menjadi ketentuan dan acuan agar stabilitas dinding penahan tanah dikatakan aman dalam segala kondisi (Muhyamin, 2016).

Handayani dkk. (2014) menyatakan bahwa menghitung stabilitas dinding penahan tanah sekarang lebih mudah dengan adanya *software Geo 5*. *Software* ini bertujuan untuk memudahkan dalam menganalisis stabilitas suatu dinding penahan tanah dengan lebih akurat. Hasil perhitungan stabilitas dengan *software Geo 5* akan dibandingkan dengan perhitungan menggunakan metode manual. Angka aman yang dihasilkan melalui *software Geo 5* dengan perhitungan manual berbeda. Perhitungan stabilitas dinding penahan tanah dengan menggunakan dimensi awal yang direncanakan menunjukkan bahwa untuk ketiga tinjauan stabilitas penggulingan, penggeseran, dan keruntuhan kapasitas dukung tanah menghasilkan nilai angka aman melebihi yang disyaratkan, yang berarti dimensi dinding penahan bisa dipakai. Persamaan yang digunakan dalam perhitungan stabilitas dinding penahan dengan *software* dan manual menggunakan persamaan yang sama, tergantung dari perencana ingin menggunakan persamaan yang sama atau persamaan yang berbeda. *Software Geo 5* memudahkan perencana dalam mendesain dinding penahan tanah dan analisis bangunan geoteknik yang lain yang akan dibuat.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Dinding Penahan Tanah

Menurut Nur dan Hakam (2010) dinding penahan tanah adalah suatu bangunan yang berfungsi untuk menstabilkan kondisi tanah tertentu, yang pada umumnya dipasang pada daerah tebing yang labil. Jenis konstruksi antara lain pasangan batu dengan mortar, pasangan batu kosong, beton, kayu dan sebagainya. Dinding penahan tanah merupakan suatu struktur yang direncanakan dan dibangun untuk menahan tekanan tanah lateral yang ditimbulkan oleh tanah urug atau tanah asli yang labil, sehingga dinding penahan tanah aman terhadap pergeseran, penggulingan dan keruntuhan kapasitas dukung tanah. Fungsi utama dari konstruksi dinding penahan tanah ialah menahan tanah yang berada di belakangnya dari bahaya longsor akibat:

1. Benda-benda yang berada di atas tanah (perkerasan dan konstruksi jalan, jembatan, kendaraan dan lain-lain).
2. Berat tanah.
3. Berat air (tanah).

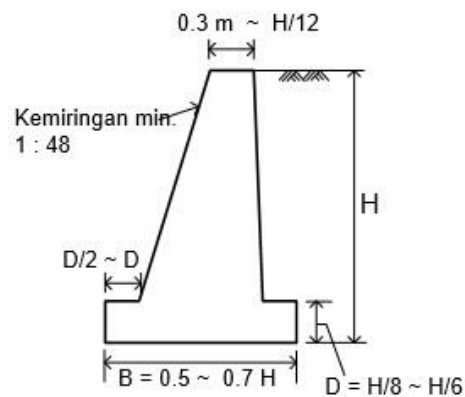
Menurut Hyo dkk. (2016) dinding penahan tanah adalah suatu konstruksi penahan agar tanah tidak longsor. Konstruksi ini digunakan untuk suatu tebing yang agak curam atau tegak yang jika tanpa dinding penahan tebing tersebut akan longsor. Dinding penahan tanah juga digunakan bila suatu jalan dibangun berbatasan dengan sungai, danau atau tanah rawa. Bahan yang digunakan di belakang dinding penahan tanah disebut tanah urugan (*backfill*). Tanah urugan ini sebaiknya dipilih dari bahan yang lolos air atau tanah berbutir seperti pasir, kerikil atau batu pecah. Tanah lempung sangat tidak disarankan untuk digunakan sebagai tanah urugan. Pemilihan macam dinding penahan tanah tergantung dari pertimbangan teknik dan ekonomi. Yang perlu diperhatikan adalah sifat-sifat tanah asli, kondisi tanah urugan, kondisi lingkungan setempat dan kondisi lapangan.

2.2.2. Jenis-Jenis Dinding Penahan Tanah

Menurut Syofyan dan Frizaldi (2017), dinding penahan tanah (*retaining wall*) dibagi menjadi beberapa jenis yaitu:

1. Dinding penahan gravitasi (*gravity wall*)

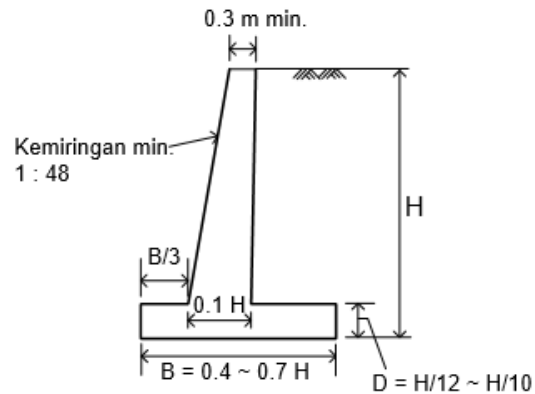
Dinding penahan tanah ini biasanya dibuat dari beton murni (tanpa tulangan) atau dari pasangan batu kali, walaupun kadang beberapa dibuat dengan beton bertulang namun dengan tulangan yang sedikit. Penggunaan dinding penahan ini biasanya untuk menahan tanah pada lereng yang terlalu tinggi dan pada tepi sungai. Stabilitas konstruksinya diperoleh hanya dengan mengandalkan berat sendiri dari konstruksinya. Untuk mendapatkan total tekanan tanah yang bekerja, perhitungan dilaksanakan dengan grafis, apabila digunakan cara teori Coulomb. Pada umumnya dihitung dengan cara teori Rankine, apabila tinggi dinding penahan tanah kurang dari 6 meter.



Gambar 2.1 Dinding penahan tanah gravitasi (*gravity wall*)
(Muhyamin, 2016)

2. Dinding penahan kantilever (*cantilever retaining wall*)

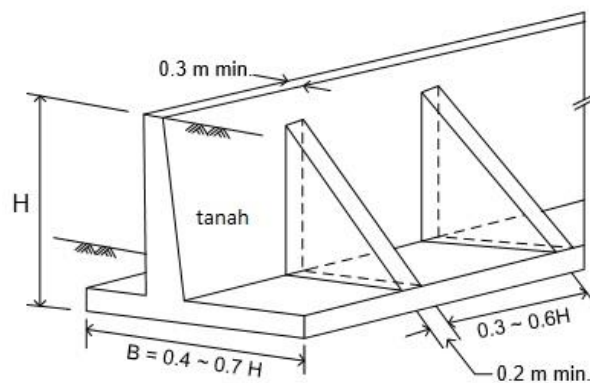
Dinding penahan tanah kantilever dibuat dari beton bertulang yang tersusun dari suatu dinding vertikal dan tapak lantai. Masing-masing berperan sebagai balok atau pelat kantilever. Stabilitas konstruksinya diperoleh dari berat sendiri dinding penahan dan berat tanah di atas tumit telapak (*heel*). Terdapat 3 bagian struktur yang berfungsi sebagai kantilever, yaitu bagian dinding vertikal (*stem*), tumit tapak dan ujung kaki tapak (*toe*). Biasanya ketinggian dinding ini tidak lebih dari 6-7 meter.



Gambar 2.2 Dinding penahan tanah kantilever (*cantilever wall*)
(Muhyamin, 2016)

3. Dinding penahan *counterfort* (*counterfort wall*)

Apabila tekanan tanah aktif pada dinding vertikal cukup besar, maka bagian dinding vertikal dan tumit perlu disatukan (*counterfort*). *Counterfort* berfungsi sebagai pengikat tarik dinding vertikal dan ditempatkan pada bagian timbunan dengan interval jarak tertentu. Dinding *counterfort* akan lebih ekonomis digunakan bila ketinggian dinding lebih dari 7 meter.

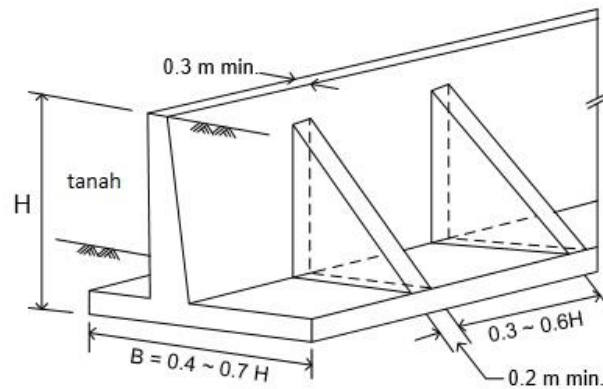


Gambar 2.3 Dinding penahan tanah *counterfort* (*counterfort wall*)
(Muhyamin, 2016)

4. Dinding penahan *buffers* (*buffers wall*)

Dinding *buffers* hampir sama dengan dinding *counterfort*, hanya bedanya bagian *counterfort* diletakkan di depan dinding. Dalam hal ini, struktur *counterfort* berfungsi memikul tegangan tekan. Pada dinding ini, bagian tumit lebih pendek dari pada bagian kaki. Stabilitas konstruksinya diperoleh dari berat sendiri dinding

penahan dan berat tanah di atas tumit tapak. Dinding ini lebih ekonomis untuk ketinggian lebih dari 7 meter.



Gambar 2.4 Dinding penahan tanah *butters* (*butters wall*)
(Muhyamin, 2016)

2.2.3. Tekanan Tanah Lateral

Tekanan tanah lateral merupakan parameter utama dalam perancangan dinding penahan tanah. Oleh karena itu diperlukan perkiraan tentang tanah lateral secara kuantitatif pada pekerjaan konstruksi, baik untuk analisis perencanaan maupun analisis stabilitas. Tekanan aktual yang terjadi di belakang dinding penahan cukup sulit untuk diperhitungkan karena begitu banyak variabelnya. Ini termasuk jenis bahan penimbunan, kepadatan dan kadar airnya, jenis bahan di bawah dasar pondasi, ada tidaknya beban permukaan, dan lainnya. Akibatnya, perkiraan detail dari gaya lateral yang bekerja pada berbagai dinding penahan hanyalah suatu masalah teoritis dalam mekanika tanah (Muntohar, 2006). Jika suatu dinding penahan digunakan untuk menahan batuan *solid*, maka tidak ada tekanan pada dinding yang ditimbulkan oleh batuan tersebut. Tetapi jika dinding dibangun untuk menahan air, tekanan hidrostatis akan bekerja pada dinding. Pembahasan berikut ini dibatasi untuk dinding penahan tanah, perilaku tanah pada umumnya berada diantara batuan dan air, dimana tekanan yang disebabkan oleh tanah jauh lebih tinggi dibandingkan oleh air. Tekanan pada dinding akan meningkat sesuai dengan kedalamannya. Pada prinsipnya kondisi tanah dalam kedudukannya ada 3 kemungkinan yaitu:

- Dalam keadaan diam (K_0).
- Dalam keadaan aktif (K_a).

- Dalam keadaan pasif (K_p).

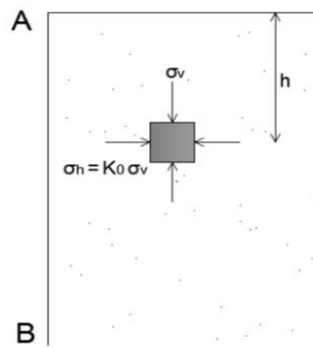
Dalam perencanaan dinding penahan tanah pasti ada beban yang berpengaruh terhadap tekanan yang terjadi di sekitar dinding penahan tanah. Selain pengaruh dari tekanan tanah terdapat juga pengaruh akibat adanya pengaruh akibat beban merata yang berada di atas dinding penahan tanah. Biasanya dalam konstruksi dinding penahan tanah pasti akan ada beban yang berada di atasnya, seperti beban jalan, beban bangunan dan lain sebagainya. Beban yang berada di atas bangunan tersebut memberikan tekanan kepada bangunan yang ada di bawahnya.

Teori yang membahas tentang tekanan tanah lateral yaitu teori tekanan tanah lateral Rankine (1857). Teori ini memberikan analisis mengenai besar dari kedua jenis tekanan tanah lateral yang disebut dengan tekanan aktif dan tekanan pasif. Menurut Rankine (1857) dalam Kusnan (2017), dalam analisis tekanan lateral dilakukan dengan asumsi-asumsi sebagai berikut:

- Tanah dalam kedudukan keseimbangan plastis, yaitu setiap elemen tanah dalam kondisi tepat akan runtuh.
- Tanah urugan di belakang dinding penahan tanah tidak berkoheesi ($c = 0$).
- Gesekan antara dinding dan urugan diabaikan atau permukaan dinding dianggap licin sempurna ($\delta = 0$).

2.2.4. Tekanan Tanah dalam Keadaan Diam

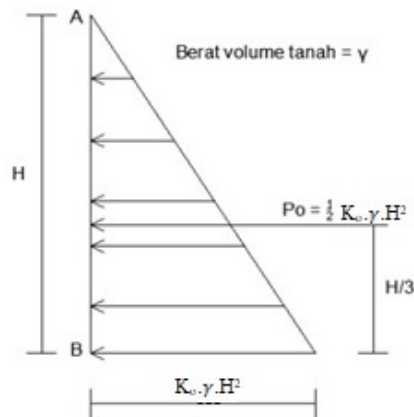
Pada gambar di bawah tanah dibatasi oleh dinding dengan permukaan licin AB yang dipasang sampai kedalaman tak terhingga. Suatu elemen tanah yang terletak pada kedalaman z akan mendapat tekanan arah vertikal σ_v dan tekanan arah horisontal σ_h , dimana σ_v dan σ_h merupakan tekanan efektif dan tekanan total tanah. Apabila dinding AB dalam keadaan diam, maka tanah akan berada dalam keadaan keseimbangan statis (*static equilibrium*). Rasio tekanan arah horisontal dan vertikal disebut koefisien tekanan tanah dalam keadaan diam (*coefficient of earth pressure at rest*) K_0 (Hardiyatmo, 2010).



Gambar 2.5 Tekanan tanah dalam keadaan diam (Hardiyatmo, 2010)

$$K_0 = \frac{\sigma_h}{\sigma_v} \dots\dots\dots (2.1)$$

Nilai gaya total per satuan lebar dinding P_0 sama dengan luas dari diagram tekanan tanah. Diagram tekanan tanah dalam keadaan diam yang bekerja pada dinding setinggi H dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.6 Distribusi tekanan tanah dalam keadaan diam (Hardiyatmo, 2010)

Dengan persamaan:

$$P_0 = \frac{1}{2} K_0 \times \gamma \times H^2 \dots\dots\dots (2.2)$$

Pada posisi ini tekanan tanah pada dinding akan berupa tekanan tanah saat diam (*earth pressure at rest*) dan tekanan tanah lateral horisontal pada dinding, pada kedalaman tertentu (z), dinyatakan oleh Persamaan 2.3.

$$\sigma_h = K_0 \times \sigma_v = K_0 \times \gamma \times z \dots\dots\dots (2.3)$$

dengan:

σ_h = tekanan tanah horisontal saat diam (kN/m),

σ_v = tekanan tanah vertikal saat diam (kN/m),

K_o = koefisien tekanan tanah saat diam,

γ = berat volume tanah (kN/m³),

H = tinggi dinding (m),

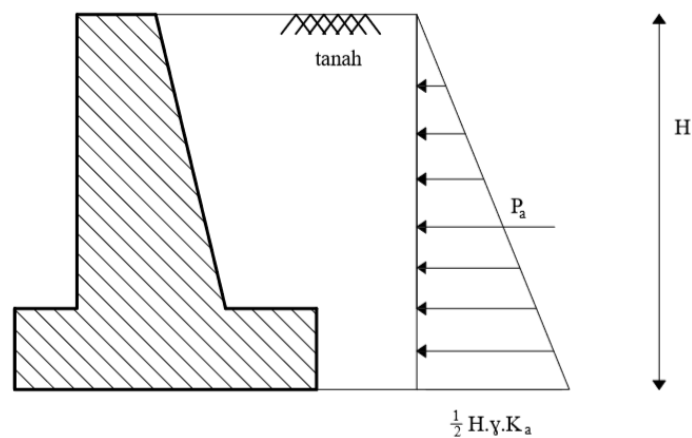
z = kedalaman dinding (m).

2.2.5. Tekanan Tanah Aktif

Konsep tekanan tanah aktif dan tanah pasif sangat penting untuk masalah masalah pada stabilitas tanah, pemasangan batang-batang penguat pada galian, desain dinding penahan tanah dan lain sebagainya. Permasalahan disini adalah untuk menentukan faktor keamanan terhadap keruntuhan yang disebabkan oleh gaya lateral. Pemecahan diperoleh dengan membandingkan gaya-gaya yang bekerja pada dinding penahan tanah, yaitu gaya-gaya yang cenderung menggulingkan dan menggeser.

Untuk gaya-gaya yang cenderung melawan misalnya berat sendiri dari konstruksi dinding penahan tanah yang bekerja vertikal sehingga dapat menghambat gaya lateral atau gaya yang bekerja horisontal.

Kondisi tekanan tanah aktif merupakan kondisi dimana dinding bergerak menjauhi bagian tanah timbunan atau timbul apabila dinding penahan tanah bagian atas bergerak relatif ke depan terhadap dasarnya. Hal ini disebabkan oleh adanya momen yang terjadi atau bekerja pada dinding tersebut. Sedangkan nilai banding tekanan horisontal dan tekanan vertikal terjadi, didefinisikan sebagai koefisien tekanan tanah aktif (K_a).



Gambar 2.7 Distribusi tekanan tanah aktif pada dinding penahan tanah (Sugianti, 2013)

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma \times H^2 \times K_a \dots\dots\dots (2.4)$$

dengan harga K_a untuk tanah datar adalah

$$K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \dots\dots\dots (2.5)$$

Momen pada tanah aktif

$$M_a = P_a \times H/3 \dots\dots\dots (2.6)$$

dengan:

M_a = momen tanah aktif (kNm),

P_a = tekanan tanah aktif (kN/m),

K_a = koefisien tekanan tanah aktif,

γ = berat volume tanah (kN/m³),

H = tinggi dinding penahan tanah (m),

ϕ = sudut gesek tanah (°).

- Tekanan akibat kohesi

Pada tanah urugan yang memiliki nilai kohesi, tekanan yang terjadi akibat adanya nilai kohesi di dalam tanah sekitar dinding penahan tanah akan mengurangi besarnya tekanan tanah aktif. Hitungan berdasarkan pada persamaan Rankine dengan mempertimbangkan kondisi-kondisi tegangan lingkaran Mohr, dengan menggunakan lingkaran Mohr dapat diperoleh persamaan untuk tekanan arah horisontal $\sigma_h = P_a$ (Hardiyatmo, 2010).

$$P_a = \gamma \times z \times \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) - 2c \times \tan \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \dots\dots\dots (2.7)$$

Berdasarkan Persamaan (2.6), terdapat kemungkinan yang menyatakan bahwa galian tanah pada tanah kohesif dapat dibuat dengan tebing atau lereng galian yang vertikal dengan permukaan tanah atau $z = 0$. Besarnya tekanan tanah aktif pada dinding penahan tanah setinggi H , dengan tanah urugan yang memiliki nilai kohesi, dinyatakan oleh:

$$P_a = -2c \times \sqrt{K_a} \times H^2 \dots\dots\dots (2.8)$$

Momen tanah aktif akibat kohesi

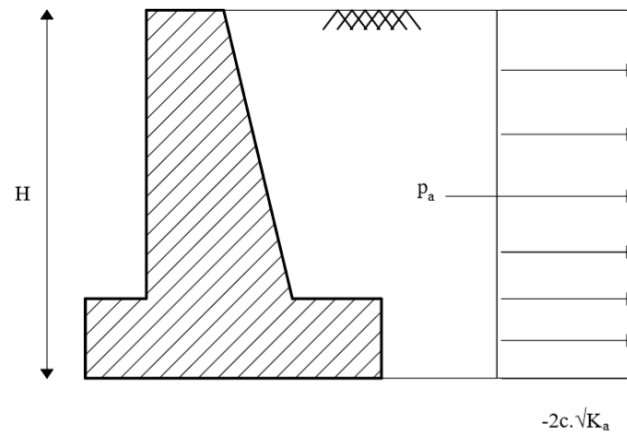
$$M_a = P_a \times H/2 \dots\dots\dots (2.9)$$

dengan:

M_a = momen tanah aktif (kNm),

P_a = tekanan tanah aktif (kN/m),

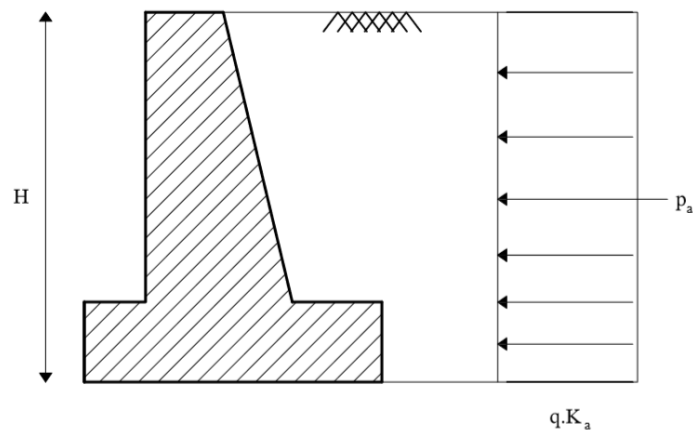
- c = kohesi tanah (kN/m^2),
 K_a = koefisien tekanan tanah aktif,
 H = tinggi dinding penahan tanah (m),
 γ = berat volume tanah (kN/m^3),
 ϕ = sudut gesek tanah ($^\circ$).



Gambar 2.8 Tekanan tanah aktif akibat kohesi (Hardiyatmo, 2010)

- Tekanan akibat beban merata

Pada biasanya tanah urugan di belakang dinding penahan tanah dipengaruhi oleh beban merata atau beban yang terbagi merata. Berdasarkan anggapan beban merata q sebagai beban tanah setebal h_s dengan berat volume (γ) tertentu, maka tinggi lapisan tanah $h_s = q/\gamma$. Besar tekanan tanah lateral pada kedalaman h_s dari tinggi tanah asumsi atau di permukaan tanah urugan akan sebesar (Hardiyatmo, 2010):



Gambar 2.9 Tekanan tanah aktif akibat beban merata (Hardiyatmo, 2010)

$$P_a = h_s \times \gamma \times K_a = q \times K_a \dots\dots\dots (2.10)$$

Maka akibat adanya beban merata ini, bertambahnya tekanan tanah aktif total pada dinding penahan tanah setinggi H dapat dinyatakan oleh persamaan:

$$P_a = q \times K_a \times H \dots\dots\dots (2.11)$$

Momen tanah aktif akibat adanya beban merata

$$M_a = P_a \times H / 2 \dots\dots\dots (2.12)$$

dengan:

M_a = momen tanah aktif (kNm),

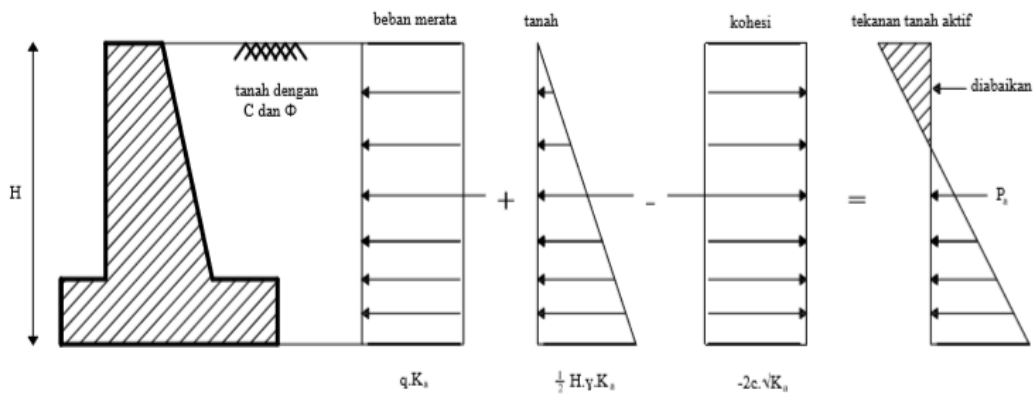
P_a = tekanan aktif akibat beban merata,

γ = berat volume tanah (kN/m³),

q = beban merata (kN/m³),

H = tinggi dinding penahan tanah (m),

K_a = koefisien tekanan tanah aktif.

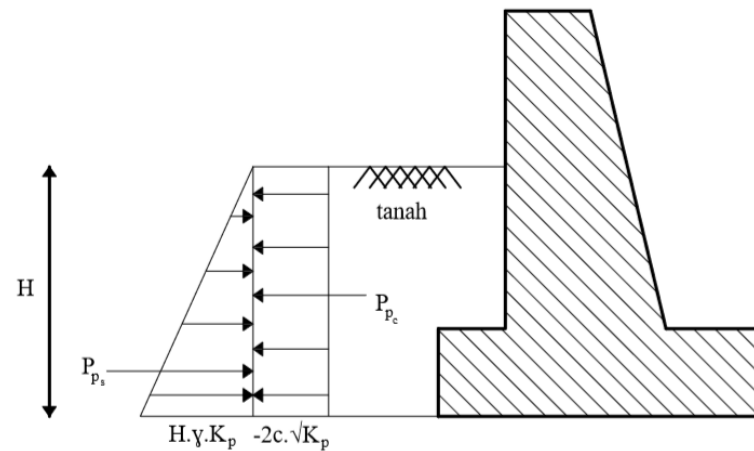


Gambar 2.10 Tekanan tanah aktif total (Hardiyatmo, 2010)

2.2.6. Tekanan Tanah Pasif

Besarnya gaya tegangan lateral yang terjadi bertambah dengan bertambahnya regangan dalam tanah seiring dengan Bergeraknya dinding, hingga sampai suatu regangan tertentu. Maka tanah akan mengalami keruntuhan geser akibat desakan dinding penahan, saat gaya lateral tanah mencapai nilai yang konstan yaitu pada nilai maksimumnya. Berlawanan dengan terjadinya tekanan tanah aktif, pada tekanan tanah pasif, kondisi tekanan tanah yang bekerja pada dinding akan bertambah dari kondisi seimbang sampai suatu harga maksimum yang mungkin. Tekanan tanah lateral maksimum yang mengakibatkan keruntuhan geser tanah

akibat gerakan dinding menekan tanah urug disebut tekanan tanah pasif (*passive earth pressure*).



Gambar 2.11 Tekanan tanah pasif
(Hardiyatmo, 2010)

Tekanan tanah pasif akibat tekanan dari tanah yaitu:

$$P_p = \frac{1}{2} \times \gamma \times H^2 \times K_p \dots\dots\dots (2.13)$$

Tekanan tanah pasif akibat adanya kohesi yaitu:

$$P_p = -2c \sqrt{K_p} \times H \dots\dots\dots (2.14)$$

dengan harga K_p untuk tanah datar adalah

$$K_p = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \dots\dots\dots (2.15)$$

Momen tanah pasif akibat tekanan dari tanah yaitu:

$$M_p = P_p \times H/3 \dots\dots\dots (2.16)$$

Momen tanah pasif akibat adanya kohesi yaitu:

$$M_p = -P_p \times H/2 \dots\dots\dots (2.17)$$

dengan:

M_p = momen tanah pasif (kNm),

P_p = tekanan tanah pasif (kN/m),

K_p = koefisien tekanan tanah pasif,

γ = berat volume tanah (kN/m³),

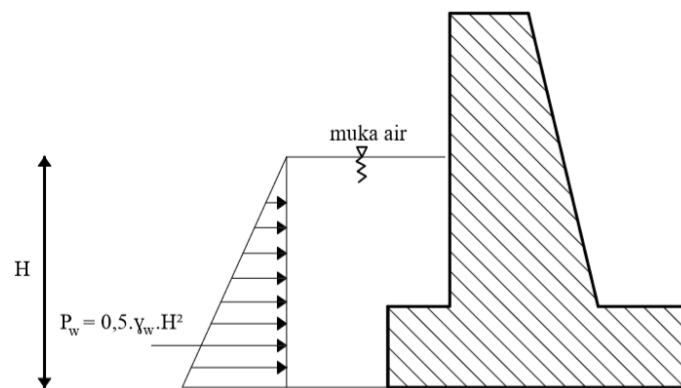
H = tinggi dinding (m),

c = kohesi tanah (kN/m²),

ϕ = sudut gesek internal tanah (°).

2.2.7. Tekanan Air

Gaya tekan air atau gaya hidrostatis adalah gaya horisontal akibat air di hulu dan hilir bendung. Gaya tekan air dapat dibagi menjadi gaya hidrostatis dan gaya hidrodinamik. Tekanan hidrostatis adalah fungsi kedalaman di bawah permukaan air. Tekanan akan selalu bekerja tegak lurus terhadap muka bangunan. Oleh sebab itu agar perhitungannya lebih mudah, gaya horisontal dan vertikal dikerjakan secara terpisah. Tekanan air hidrodinamik jarang diperhitungkan untuk stabilitas bangunan air dengan tinggi energi rendah. Besarnya tekanan air ditampilkan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Tekanan air pada dinding penahan tanah (Chairullah, 2013)

$$P_w (\text{air}) = 0,5 \times H^2 \times \gamma_w \dots\dots\dots (2.18)$$

Momen akibat tekanan air

$$M_w (\text{air}) = P_{\text{air}} \times H/3 \dots\dots\dots (2.19)$$

dengan:

$P_w (\text{air})$ = tekanan air (kN),

$M_w (\text{air})$ = momen tekanan air (kNm),

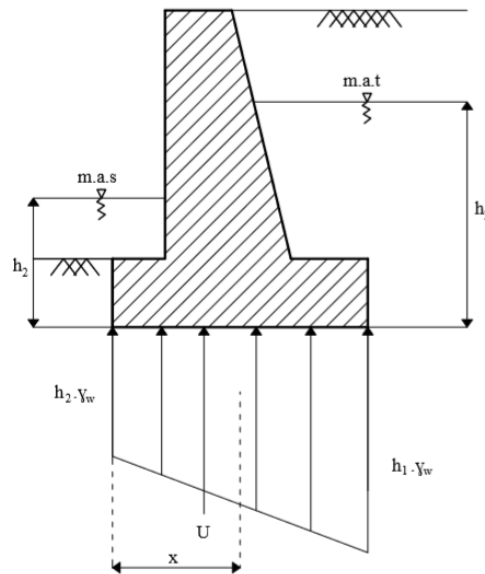
H = ketinggian (m),

γ_w = berat volume air (kN/m³).

2.2.8. Tekanan Angkat (*Uplift*)

Pada konstruksi-konstruksi di daerah yang tergenang air (pilar jembatan, dinding penahan tanah dan lain-lain) atau muka air tanah yang tinggi, akan terjadi tekanan hidrostatis yang mengurangi besarnya angka faktor keamanan. Tekanan air akan mempengaruhi gaya vertikal dan menyebabkan tahanan terhadap guling

semakin kecil, sehingga kemungkinan terjadinya guling semakin tinggi (Chairullah, 2013).



Gambar 2.13 Pengaruh tekanan *uplift* pada dinding penahan tanah (Chairullah, 2013)

$$U = 0,5 \times B \times h \times \gamma_w \dots\dots\dots (2.20)$$

Momen akibat gaya angkat (*uplift*)

$$M_u = U \times x \dots\dots\dots (2.21)$$

dengan:

U = tekanan *uplift* (kN),

M_u = momen *uplift* (kNm),

h_1, h_2 = tinggi permukaan air (m),

B = lebar pondasi (m),

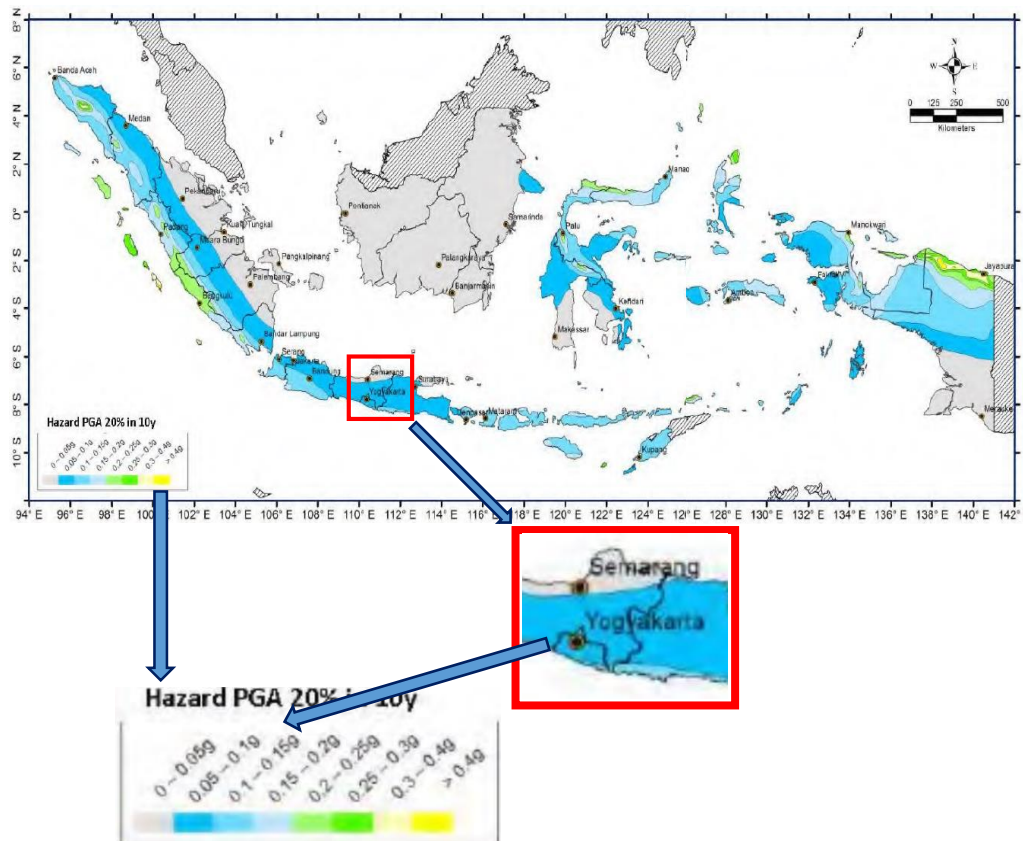
x = lengan beban (m),

γ_w = berat volume air (kN/m³).

2.2.9. Tekanan Akibat Gempa

Pada setiap konstruksi bangunan pasti selalu memperhitungkan adanya faktor gempa. Faktor gempa merupakan suatu faktor yang sangat penting karena mempengaruhi keamanan dan kestabilan suatu bangunan. Gaya gempa ditentukan oleh berat konstruksi itu sendiri dan juga ditentukan oleh koefisien gempa (Sugianti, 2013).

Gaya gempa memiliki suatu harga-harga yang didasarkan pada peta yang mengacu pada koefisien zona gempa Indonesia yang menunjukkan daerah dan resiko. Faktor minimum adalah 0,1 percepatan gravitasi yang dipertimbangkan untuk mengalikan dengan massa bangunan sebagai gaya horisontal menuju ke arah yang paling tidak aman pada struktur bangunannya (Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, 2013).



Gambar 2.14 Peta percepatan puncak batuan dasar (S_B) untuk probabilitas terlampaui 20% dalam 10 tahun (Pusat Studi Gempa Nasional, 2017)

Faktor gempa yang dicari berdasarkan pada peta di atas dipakai dalam perhitungan stabilitas dimana faktor itu harus dikalikan dengan berat sendiri bangunan dan dipakai sebagai gaya horisontal.

2.2.10. Stabilitas Dinding Penahan Tanah

Dalam analisis stabilitas dinding penahan tanah terdapat beban yang diperhitungkan di dalamnya yaitu beban hidup, beban mati dan tekanan air. Beban hidup adalah semua beban yang besar dan posisinya dapat berubah-ubah. Beban hidup terdiri dari beban yang tidak menetap baik dari segi posisi, intensitas maupun

rentang waktunya seperti material timbunan, beban angin, beban lumpur, tekanan air dan lain sebagainya (Abdurrozak dan Wibowo, 2016).

Beban mati adalah semua muatan yang berasal dari berat bangunan termasuk segala unsur tambahan yang merupakan satu kesatuan dengannya. Beban mati terdiri dari berat sendiri komponen termasuk bagian-bagian atau kelengkapan yang melekat permanen. Semua beban yang melekat pada bangunan tersebut digolongkan sebagai beban mati. Perhitungan beban mati dapat dihitung dengan menggunakan pembebanan sendiri berdasarkan nilai-nilai satuan beratnya. Setiap bahan bangunan pasti memiliki berat volumenya sendiri-sendiri, berat volume bahan-bahan bangunan dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Berat volume bahan-bahan bangunan (Muhyamin, 2016)

Bahan Bangunan	Berat Volume (t/m ³)
Beton bertulang	2,40
Beton biasa, tumbuk	2,20
Baja tulangan	7,85
Pasangan batu kali	2,20
Pasir padat	2,10
Air	1,00

Ada beberapa hal yang dapat menyebabkan terjadinya keruntuhan pada dinding penahan tanah, antara lain oleh faktor penggulingan, penggeseran dan keruntuhan pada daya dukung tanah. Maka dari itu, dalam merencanakan dinding penahan tanah langkah pertama yang harus dilakukan adalah menetapkan ukuran dari dinding penahan untuk menjamin stabilitas dinding penahan tanah aman. Dinding penahan tanah yang dibangun harus stabil terhadap guling, geser, dan daya dukung tanah.

1. Stabilitas terhadap gaya guling

Tekanan tanah lateral yang diakibatkan oleh tanah urugan di belakang dinding penahan, cenderung menggulingkan dinding dengan pusat rotasi pada ujung kaki depan pondasi. Momen penggulingan ini, dilawan oleh momen akibat berat sendiri dinding penahan dan momen akibat berat tanah di atas plat pondasi (Mangroe, 2013).

Agar bangunan aman terhadap guling, maka resultan semua gaya yang bekerja pada bagian bangunan di atas bidang horisontal, termasuk gaya angkat,

harus memotong bidang ini pada teras. Tidak boleh ada tarikan pada bidang irisan manapun. Besarnya tegangan dalam bangunan dan pondasi harus tetap dipertahankan pada harga-harga maksimal yang sudah dianjurkan.

Untuk konstruksi pangkal jembatan, pilar jembatan, dinding saluran dan lain-lain perlu diperhatikan terhadap gerusan yang diakibatkan oleh aliran air sehingga mengurangi besarnya tekanan pasif. Untuk ini tekanan pasif oleh tanah yang berada di depan kaki dinding penahan sering diabaikan dalam perhitungan stabilitas. Jika tahanan tanah pasif yang ditimbulkan oleh pengunci dasar pondasi diperhitungkan, maka nilainya harus direduksi untuk mengantisipasi pengaruh-pengaruh erosi, iklim dan retakan akibat tegangan-tegangan tarik tanah dasar yang kohesif.

Safety Factor (SF) terhadap penggulingan didefinisikan sebagai berikut:

$$SF = \frac{\Sigma M_w}{\Sigma M_{gl}} \geq 2 \dots \dots \dots (2.22)$$

dengan:

ΣM_w = momen yang melawan guling (kNm),

ΣM_{gl} = momen yang menyebabkan guling (kNm).

Berdasarkan (BSN, 2017) SNI 8460:2017 tentang faktor keamanan minimum dinding penahan tanah dikatakan aman terhadap gaya guling jika nilai $SF \geq 2$.

2. Stabilitas terhadap gaya geser

Gaya aktif tanah (P_a) selain menimbulkan terjadinya momen juga menimbulkan gaya dorong sehingga dinding akan bergeser. Bila dinding penahan tanah dalam keadaan stabil, maka gaya-gaya yang bekerja dalam keadaan seimbang. Perlawanan terhadap gaya dorong ini terjadi pada bidang kontak antara tanah dasar dinding penahan tanah dengan tanah dasar pondasi (Shahrbanozadeh, 2015). Gaya-gaya yang menggeser dinding penahan tanah akan ditahan oleh kohesi dan gesekan antara tanah dan dasar pondasi, tekanan tanah pasif bila di depan dinding penahan terdapat tanah timbunan.

$$SF = \frac{\Sigma R_h}{\Sigma P_h} \geq 1,5 \dots \dots \dots (2.23)$$

$$\Sigma R_h = c \times B + \Sigma W \times \tan \emptyset \dots \dots \dots (2.24)$$

dengan:

ΣR_h = tahanan dinding penahan tanah terhadap penggeseran (kN),

ΣP_h = jumlah tekanan gaya horizontal (kN),

c = kohesi (kN/m^2),

B = lebar dasar pondasi (m),

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

\emptyset = sudut gesek internal tanah ($^\circ$).

Berdasarkan (BSN, 2017) SNI 8460:2017 tentang faktor keamanan minimum dinding penahan tanah dikatakan aman terhadap gaya guling jika nilai $SF \geq 1,5$.

3. Stabilitas terhadap daya dukung tanah

Banyak cara yang telah dibuat untuk merumuskan persamaan daya dukung tanah, namun seluruhnya merupakan cara pendekatan untuk memudahkan hitungan. Persamaan-persamaan yang dibuat dikaitkan dengan sifat-sifat tanah dan bentuk bidang geser yang terjadi saat keruntuhannya.

Daya dukung tanah adalah kemampuan tanah untuk menahan tekanan atau beban bangunan pada tanah dengan aman tanpa menimbulkan keruntuhan geser dan penurunan yang berlebihan (Lebao dan Sulistyan, 2016). Daya dukung ultimit didefinisikan sebagai beban maksimum per satuan luas dimana tanah masih dapat mendukung beban tanpa mengalami keruntuhan. Kapasitas dukung ultimit dihitung dengan menggunakan rumus Terzaghi, bila memakai data pengujian laboratorium:

$$q_{ult} = c \times N_c + D_f \times \gamma \times N_q + 0,5 \times B \times \gamma \times N_\gamma \dots\dots\dots (2.25)$$

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.

Nilai-nilai faktor daya dukung Terzaghi (N_c , N_q , N_γ) dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Nilai faktor daya dukung Terzaghi (Lebao dan Sulistyan, 2016).

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

Setelah mendapatkan nilai daya dukung ultimit tanah (q_{ult}), langkah selanjutnya menghitung kapasitas dukung ultimit neto (*net ultimate bearing capacity*). Kapasitas dukung ultimit neto (q_{un}) merupakan nilai intensitas dari beban fondasi neto, tanah akan mengalami keruntuhan geser, apabila:

$$q_{un} = q_{ult} - \gamma \times D_f \dots\dots\dots (2.26)$$

dengan:

q_{ult} = nilai daya dukung ultimit tanah (kN/m^2),

D_f = kedalaman dasar pondasi (m),

γ = berat volume tanah (kN/m^3).

Tekanan pondasi total (*total foundation total pressure*) (q) adalah intensitas tekanan total pada tanah di dasar Pondasi, setelah struktur bangunan selesai dibangun dengan pembebanan penuh. Pembebanan total pada pondasi termasuk berat struktur dari dinding penahan tanah itu sendiri dan berat dari tanah disekitar dinding penahan.

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

$$q_n = q - \gamma \times D_f \dots\dots\dots (2.27)$$

dengan:

q = tekanan total pada pondasi (kN/m),

D_f = kedalaman dasar pondasi (m),

γ = berat volume tanah (kN/m^3).

Faktor aman (SF) terhadap keruntuhan kapasitas dukung didefinisikan sebagai:

$$SF = \frac{q_{un}}{q_n} = \frac{q_{ult} - \gamma \times D_f}{q - \gamma \times D_f} \dots\dots\dots(2.28)$$

dengan:

q_{ult} = nilai daya dukung ultimit tanah (kN/m²),

q = tekanan total pondasi (kN/m),

D_f = kedalaman dasar pondasi (m),

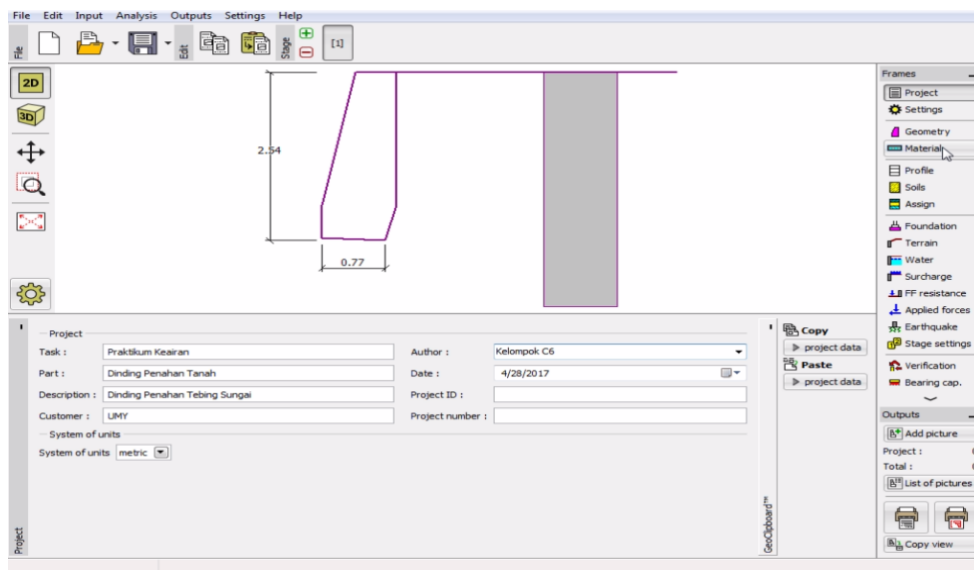
γ = berat volume tanah (kN/m³).

2.2.11 *Software Geo 5*

Pada saat ini persaingan dalam dunia kerja semakin ketat, bahkan agar bisa menembus persaingan dalam dunia kerja para perencana harus bisa menganalisis rancangan suatu bangunan dalam waktu yang singkat namun dengan hasil yang tepat dan akurat. Untuk menjawab semua tantangan tersebut para perencana tidak hanya bisa menggunakan cara-cara manual yang lama, namun harus ada terobosan yang digunakan untuk menyelesaikan segala permasalahan yang ada. *Software Geo 5* menjawab segala permasalahan yang ada sekarang ini dalam hal menganalisis stabilitas dinding penahan tanah.

Program bantu ini dikhususkan untuk menghitung dan menganalisis masalah-masalah yang berkaitan dengan pekerjaan tanah, misalnya pekerjaan pemancangan, dinding penahan tanah, menganalisis penurunan tanah, menganalisis stabilitas lereng, dan lain sebagainya. *Software Geo 5* merupakan salah satu perangkat lunak (*software*) yang digunakan untuk bidang geoteknik untuk memecahkan masalah lingkungan yang berhubungan dengan tanah. *Software* ini menggunakan metode analisis stabilitas.

Software Geo 5 dilengkapi dengan peraturan standar analisis. Dalam program bantu ini standar yang digunakan adalah peraturan dari Denmark. Namun bila perencana menginginkan peraturan lain program bantu ini juga dilengkapi dengan pilihan standar peraturan lainnya, salah satunya adalah dari American Concrete Institute (ACI). Bila standar peraturan yang diinginkan tidak tersedia, maka perencana dapat menentukan sendiri dengan memodifikasi peraturan yang sudah tersedia.



Gambar 2.15 Tampilan software Geo 5 Cantilever Wall

Dalam penelitian ini digunakan software Geo 5 jenis *Cantilever Wall*. Persamaan yang digunakan dalam program ini sama dengan persamaan yang digunakan dalam menghitung analisis stabilitas dinding penahan tanah secara manual. Sehingga persamaan yang digunakan dalam program ini ialah persamaan berdasarkan teori Rankine. Pada dasarnya program ini hanya mempermudah perencana untuk merancang dan mengetahui stabilitas dinding penahan tanah yang akan dibangun aman atau tidak, sehingga pada saat dibangun tidak ada kesalahan pada saat proses pembangunannya.