

BAB III

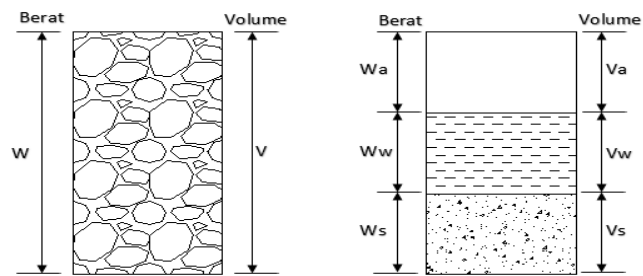
LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

Tanah merupakan himpunan mineral yang terdiri dari berbagai bahan organik dan endapan – endapan, yang relative lepas (*loose*), yang terletak diatas batuan dasar (*bedrock*). Ikatan antar butiran yang relative lemah disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap di antara partikel-partikel. Ruang diantara partikel-partikel dapat berisi air, udara ataupun keduanya. Proses pelapukan batuan terjadi di dekat permukaan bumi membentuk tanah. Pembentukan tanah dari batuan induknya, dapat berupa proses fisik maupun kimia. Proses pembentukan tanah secara fisik yang mengubah batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, terjadi akibat pengaruh erosi, angin, air, es, manusia, atau hancurnya partikel tanah akibat perubahan suhu atau cuaca. Partikel-partikel mungkin berbentuk bulat, bergerigi maupun bentuk-bentuk diantaranya. Umumnya, pelapukan akibat proses kimia dapat terjadi oleh pengaruh oksigen, karbondioksida, air (terutama yang mengandung asam atau alkali) dan proses-proses kimia yang lain. Jika hasil pelapukan masih berada di tempat misalnya, maka tanah ini disebut tanah residual (*residual soil*) dan apabila tanah berpindah tempatnya, disebut tanah terangkut (*transported soil*) (Hardiyatmo, 2014).

3.1.1 Parameter Tanah

Berdasarkan Hardiyatmo (2014), tanah dapat terdiri dari beberapa bagian. Dalam tanah yang kering, tanah memiliki dua bagian yaitu butiran tanah dan udara. Pada tanah jenuh, tanah memiliki dua bagian yaitu butiran tanah dan air. Sedangkan pada tanah tidak jenuh, tanah memiliki tiga bagian yaitu butiran tanah, udara dan air. Bagian-bagian tersebut dapat dilihat pada diagram fase ditunjukkan pada gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Diagram Fase Tanah

(Sumber: Hadiyatmo, 2014)

Berdasarkan gambar tersebut dapat dibentuk persamaan dengan Persamaan 3.1

$$W = W_s + W_w \quad (3.1)$$

Dan untuk mencari nilai void pada tanah dapat dilihat pada Persamaan 3.2 dan 3.3

$$V = V_s + V_w + V_a \quad (3.2)$$

$$V_v = V_w + V_a \quad (3.3)$$

Dengan,

W_s = berat butiran padat

W_w = berat air

V_s = Volume butiran padat

V_w = volume air

V_a = volume udara

1. Kadar air (w)

Kadar air adalah perbandingan antara berat air (W_w), dengan berat butiran padat (W_s) dalam tanah tersebut, nilai kadar air dinyatakan dalam persen, Kadar air dapat dinyatakan dengan Persamaan 3.4.

$$w (\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad (3.4)$$

2. Angka pori (e)

Angka pori didefinisikan sebagai perbandingan antara volume rongga (V_v) dengan volume butiran (V_s), Biasanya juga dinyatakan dengan decimal dapat dinyatakan dengan Persamaan 3.5.

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (3.5)$$

3. Berat spesifik atau berat jenis (*specific gravity*) tanah (G_s)

Berat Jenis adalah perbandingan antara berat volume butiran padat, dengan berat volume air, pada temperature 4 C, dapat dinyatakan dengan Persamaan 3.6.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad (3.6)$$

4. Berat volume basah (γ_b)

Berat volume basah dapat dinyatakan dengan Persamaan 3.7.

$$\gamma = \frac{G_s \gamma_w (1 + w)}{1 + e} \quad (3.7)$$

5. Berat volume jenuh air (γ_{sat})

Berat volume jenuh air (γ_{sat}), ($S = 100\%$) dinyatakan dengan Persamaan 3.8.

$$\gamma_{sat} = \frac{\gamma_w (G_s + e)}{1 + e} \quad (3.8)$$

6. Modulus Young

Nilai modulus young menunjukkan besarnya nilai elastisitas tanah yang merupakan perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan. Nilai ini bisa didapatkan dari *triaxial test*. Umumnya modulus elastisitas (E) ditentukan dari uji triaksial kondisi *undrained*, dan nilai E ditentukan dari pendekatan kemiringan kurva tegangan-regangan yang diambil pada setengah dari beban ultimit aksial.

Schmermann (1970) menyatakan bahwa modulus elastisitas tanah dapat diperoleh menggunakan korelasi nilai dari data pengujian N-SPT yang dinyatakan dengan Persamaan 3.9 dan 3.10.

$$E_s \text{ (KN/m}^2\text{)} = 766 \times N\text{-SPT} \quad (3.9)$$

$$E_s = 2 q_c \quad (3.10)$$

Nilai Modulus elastisitas (E_s) secara empiris dapat ditentukan dari jenis tanah dan data sondir seperti terlihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Hubungan Jenis Tanah Dengan Nilai Modulus Elastisitas

Macam Tanah	E(kN/m ²)
LEMPUNG	
Sangat lunak	300-3000
Lunak	2000-4000
Sedang	4500-5000
Keras	7000-20000
Berpasir	30000-42500
PASIR	
Berlanau	5000-20000
Tidak padat	10000-25000
Padat	50000-100000
PASIR DAN KRIKIL	
Padat	80000-200000
Tidak padat	50000-140000
LANAU	2000-20000
LOESS	15000-60000
CADAS	140000-1400000

Sumber : Bowles (1977)

7. *Poisson Ratio*

Nilai poisson ratio ditentukan sebagai rasio kompresi poros terhadap regangan permukaan lateral. Nilai poisson ratio dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah seperti yang tertera pada Tabel 3.2

Tabel 3. 2 Hubungan Jenis Tanah Dengan Nilai Poisson Ratio.

Macam Tanah	V
Lempung jenuh	0,40 – 0,50
Lempung tak jenuh	0,10 – 0,50
Lempung berpasir	0,20 – 0,30
Lanau	0,30 – 0,35
Pasar padat	0,20 – 0,40
Pasar kasar ($e= 0,4 - 0,7$)	0,15
Pasar halus ($e= 0,4 - 0,7$)	0,25
Batu	0,10 – 0,40
Loess	0,10 – 0,30
Beton	0.15

Sumber: Bowles (1977)

8. Kohesi

Kohesi merupakan gaya tarik antar partikel tanah. Bersama dengan sudut geser dalam, kohesi merupakan parameter kuat geser tanah yang menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah dalam hal dalam hal ini berupa gerakan lateral tanah. Nilai ini didapat dari pengujian *Triaxial Test* dan *Direct Shear Test*.

9. Kuat Geser Tanah

Kekuatan geser tanah dapat didefinisikan sebagai tahanan maksimum dari tanah terhadap tegangan geser dibawah suatu kondisi yang diberikan. Kekuatan geser (*shear strength*) tanah merupakan gaya tahanan internal yang bekerja per satuan luas masa tanah untuk menahan keruntuhan atau kegagalan sepanjang bidang runtuh dalam masa tanah tersebut. Adapun hubungan antara jenis tanah dengan kuat geser tanah dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3. 3 Hubungan Jenis Tanah Dengan Kuat Geser Tanah

Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam
Kerikil kepasiran	35 – 40
Kerikil kerakal	35 – 40
Pasir padat	35 – 40
Pasir lepas	30

Lanjutan Tabel 3.3 Hubungan Jenis Tanah Dengan Kuat Geser Tanah

Lempung Berpasir	25 – 30
Lempung Kelanauan	15 – 25

Sumber: Das (1994)

3.2 Lereng

Lereng merupakan suatu kondisi permukaan tanah dimana terdapat perbedaan elevasi antara satu daerah dengan daerah yang lain dan membentuk kemiringan tertentu. Berdasarkan asal pembentukannya lereng terbagi menjadi dua macam yaitu lereng yang terbentuk oleh alam dan lereng yang terbentuk akibat ulah manusia.

3.2.1 Penyebab Kelongsoran

Berdasarkan Hardiyatmo (2014) kelongsoran lereng alam dapat terjadi dari hal-hal sebagai berikut ini.

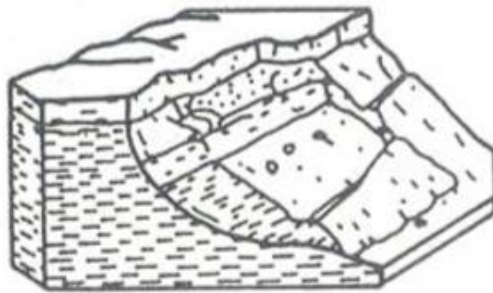
1. Penambahan beban pada lereng. Tambahan beban lereng dapat berupa bangunan baru, tambahan beban air yang masuk ke pori-pori tanah maupun yang menggenang di permukaan tanah dan beban dinamis oleh tumbuhan-tumbuhan yang tertiuip angin dan lain-lain.
2. Penggalian atau pemotongan tanah pada kaki lereng.
3. Penggalian yang mempertajam kemiringan lereng.
4. Perubahan posisi muka air secara cepat (*rapid drawdown*) pada bendung, sungai dan lain-lain.
5. Kenaikan tekanan tanah lateral oleh air (air yang mengisi retakan akan mendorong tanah ke arah lateral).
6. Gempa bumi.
7. Penurunan tahanan geser tanah pembentuk lereng oleh akibat kenaikan kadar air, kenaikan tekanan air pori, tekanan rembesan oleh genangan air di dalam tanah, tanah pada lereng mengandung lempung yang mudah kembang susut dan lain-lain

3.2.2 Macam-Macam Kelongsoran

Menurut Hardiyatmo (2014) karakteristik kegagalan lereng dapat dibagi menjadi lima macam.

1. Longsoran rotasi

Longsoran rotasional umumnya terjadi pada lereng yang tanahnya homogen. Bidang longsor berbentuk lingkaran dan dalam, dan massa tanah yang longsor cenderung menyatu, walaupun kadang-kadang tampak adanya scarp di bagian atas longsoran. Longsoran rotasional dapat terjadi pada timbunan atau galian. Adapun gambar longsoran rotasional dapat dilihat pada Gambar 3.2.

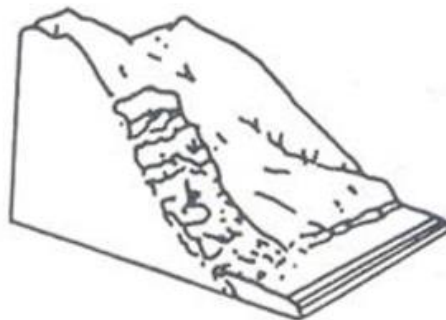


Gambar 3. 2 Gerakan Tanah Jenis Longsoran Rotasi

(Sumber: Mitchell And Villet, 1987)

2. Longsoran translasi

Longsoran translasional terjadi dengan bidang longsor datar dan massa tanah yang longsor berbentuk baji. Bidang longsor dapat terjadi mengikuti lapisan tanah lempung lunak dengan kuat geser rendah, atau lapisan lanau tersisip di antara dua lapisan lempung. Sering pula bidang longsor mengikuti arah permukaan batuan dasar (*bed rock*). Adapun gambar longsoran translasi dapat dilihat pada Gambar 3.3.

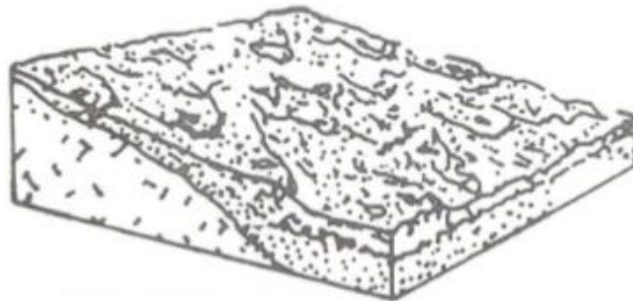


Gambar 3. 3 Gerakan Tanah Jenis Longsoran Translasi

(Sumber: Mitchell And Villet, 1987)

3. Aliran

Longsoran yang berupa aliran lanau atau lumpur berupa gerakan material tanah dangkal di dekat permukaan. Aliran lumpur terdiri dari aliran tanah lembek jenuh yang bergerak ke bawah seperti air. Kelongsoran sering terjadi tanpa tanda-tanda selama atau sesudah hujan lebat, atau kalua di negara barat ketika salju mencair. Aliran lumpur ini, sering terjadi pada lereng tajam yang tanah pembentukannya berupa pasir atau lanauan dengan atau sedikit kandungan lempung. Adapun gambar longsoran aliran dapat dilihat pada Gambar 3.4.

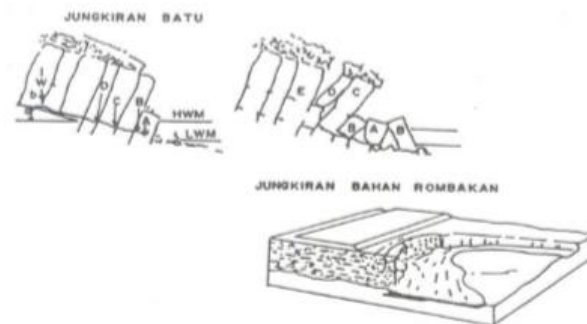


Gambar 3. 4 Gerakan Tanah Jenis Aliran

(Sumber : Mitchell And Villet, 1987)

4. Longsoran blok

Longsoran blok terjadi dalam bentuk blok massif dari material tanah atau batuan yang bergerak dalam satu kesatuan dan terjadi disepanjang bidang longsor tertentu, atau di sepanjang kekar (*joint*) batuan. Bidang longsor umumnya terdiri dari material lemah atau kekar. Longsoran balok dapat terdiri dari unit tunggal maupun banyak yang bergerak pada waktu yang berbeda. Longsoran tipe ini sangat berbahaya, Karena terjadi sangat cepat dan tanpa tanda-tanda awal. Adapun gambar longsoran blok dapat dilihat pada Gambar 3.5.

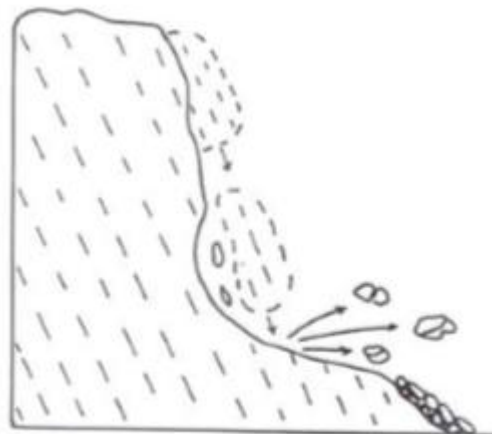


Gambar 3. 5 Gerakan Tanah Jenis Longsor Blok

(Sumber : Mitchell And Villet, 1987)

5. Runtuhan batuan

Runtuhan batuan terjadi dalam bentuk jatuhnya batu-batuan ke permukaan jalan. Batu jatuh oleh akibat pelapukan lapisan batuan yang berada di bawahnya. Runtuhan batuan massif bisa sering terjadi oleh akibat pelapukan, hujan, mencairnya es, pembekuan dan sebagainya. Di alam, batuan massif sering mengandung kekar-kekar (*joint*). Adapun gambar runtuh dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3. 6 Gerakan Tanah Jenis Runtuhan

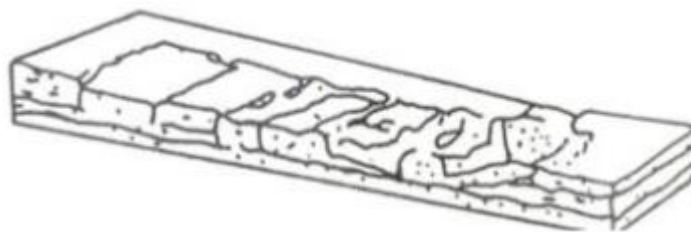
(Sumber : Mitchell And Villet, 1987)

6. Rayapan (*Creep*)

Rayapan atau rangkak (*creep*) adalah gerakan tanah atau batuan pembentuk lereng yang kurang lebih kontinu dalam arah tertentu. Rayapan ini, bisa terjadi pada tanah di dekat permukaan maupun pada kedalaman tertentu. Umumnya,

besarnya gerakan dipengaruhi oleh beberapa factor: kuat geser lempung, sudut lereng, tinggi lereng, waktu, kondisi kelembaban dan ketebalan zona rayapan efektif (Lytton dan Dyke, 1980).

Lereng yang mengalami rayapan, bergerak sangat perlahan. Rayapan menerus dapat terjadi pada tegangan geser yang rendah dan terjadi pada waktu yang lama dengan tanpa penyebab keruntuhan lereng. Rayapan menerus sering terjadi pada tanah-tanah lempung dan batuan yang kelebihan beban. Seperti contoh, di area permukiman penduduk, terdapat kecenderungan tempat tinggal yang kecil, karena harga tanah yang mahal. Adapun gambar longsoran rayapan dapat dilihat pada Gambar



Gambar 3. 7 Gerakan Tanah Jenis Rayapan

(Sumber: Mitchell And Villet, 1987)

3.2.3 Stabilitas Lereng

Pada permukaan tanah yang tidak horizontal, komponen gravitasi cenderung untuk menggerakkan tanah ke bawah. Jika komponen gravitasi sedemikian besar sehingga perlawanan terhadap geseran yang dapat dikerahkan oleh tanah pada bidang longsornya terlampaui, maka akan terjadi kelongsoran lereng. Analisis stabilitas pada permukaan tanah yang miring ini, disebut analisis stabilitas lereng. Umumnya, analisis stabilitas lereng dilakukan untuk mengecek keamanan dari alam, lereng galian, dan lereng urugan tanah

Analisis stabilitas lereng ini tidak mudah, karena terdapat banyak faktor yang sangat mempengaruhi hasil hitungan, Faktor-faktor tersebut misalnya, kondisi tanah yang berlapis-lapis, kuat geser tanah yang anisotropis, aliran rembesan air dalam tanah dan lain-lain (Hardiyatmo, 2014).

Berdasarkan Hardiyatmo (2014) Dalam praktek, analisis stabilitas lereng didasarkan pada konsep keseimbangan plasitis batas (*limit plastic equilibrium*). Adapun maksud dari analisis stabilitas adalah untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial. Dalam analisis stabilitas lereng, beberapa anggapan dibuat sebagai berikut ini.

1. Kelongsoran lereng terjadi di sepanjang permukaan bidang longsor tertentu dan dapat dianggap sebagai masalah bidang 2 dimensi.
2. Massa tanah yang longsor dianggap sebagai benda masif.
3. Tanah geser dari massa tanah pada setiap titik sepanjang bidang longsor tidak tergantung dari orientasi permukaan longsor, atau dengan kata lain kuat geser tanah dianggap isotropis.
4. Faktor aman didefinisikan dengan memperhatikan tegangan geser rata-rata sepanjang bidang longsor potensial, dan kuat geser tanah rata-rata sepanjang permukaan longsor.

Berdasarkan Hardiyatmo (2014) faktor keamanan didefinisikan sebagai nilai banding antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan, yang dinyatakan dengan Persamaan 3.10.

$$F = \frac{\tau}{\tau d} \quad (3.10)$$

keterangan:

τ = tahanan geser yang dapat dikerahkan tanah (kN/m^2).

τd = tegangan geser yang terjadi akibat gaya berat tanah yang akan longsor (kN/m^2), dan

F = faktor aman.

Menurut teori Mohr-Coulomb dalam Hardiyatmo (2014), tahanan terhadap tegangan geser (τ) yang dapat dikerahkan oleh tanah, di sepanjang bidanga longsonya, dapat dinyatakan oleh oleh Persamaan 3.11.

$$\tau = c + \sigma \text{tg } \phi \quad (3.11)$$

keterangan:

τ = tegangan geser (kN/m^2).

C = kohesi (kN/m^2).

ϕ = sudut gesek dalam tanah (derajat), dan

σ = tegangan normal (kN/m^2).

Dengan cara yang sama, dapat dituliskan persamaan tegangan geser yang terjadi (τ_d) akibat beban tanah dan beban-beban lain pada bidang longsornya sesuai Persamaan 3.12.

$$\tau_d = cd + \sigma \operatorname{tg} \phi d \quad (3.12)$$

keterangan:

τ_d = tegangan geser (kN/m^2),

Cd = kohesi (kN/m^2),

ϕd = sudut gesek dalam tanah (derajat), dan

σ = tegangan normal (kN/m^2).

Substitusi dari Persamaan 3.11 dan 3.12 ke Persamaan 3.13 diperoleh factor aman,

$$F = \frac{\sigma + \sigma \operatorname{tg} \phi}{\sigma d + \sigma \operatorname{tg} \phi d}$$

$$Cd + \sigma \operatorname{tg} \phi d = \frac{c}{F} + \sigma \frac{\operatorname{tg} \phi}{F} \quad (3.13)$$

Untuk maksud memberikan factor aman terhadap masing-masing komponen kuat geser, factor aman dapat dinyatakan pada Persamaan 3.14a dan 3.14b

$$F = \frac{c}{c d} \quad (3.14a)$$

$$F = \frac{\operatorname{tg} \phi}{\operatorname{tg} \phi d} \quad (3.14b)$$

Keterangan:

F_c = Faktor aman pada komponen kohesi, dan

$F\phi$ = Faktor aman pada komponen gesekan

Faktor keamanan suatu lereng dapat dilihat dari Tabel 3.4 dan Tabel 3.5 yang dibuat sesuai dengan besar kestabilan suatu lereng.

Tabel 3. 4 Faktor Keamanan Terhadap Kemungkinan Longsor

Nilai Faktor Keamanan	Kemungkinan Longsor
$F < 1,07$	Longsor terjadi biasa/ sering (lereng labil)
$1,07 < F < 1,25$	Longsor pernah terjadi (lereng kritis)
$F > 1,25$	Longsor jarang terjadi (lereng relatif stabil)

Sumber: Bowles (1989)

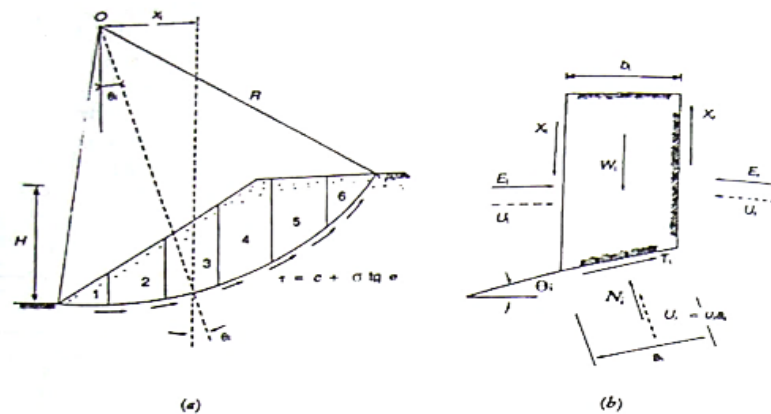
Tabel 3. 5 Faktor Keamanan Terhadap Keadaan Lereng

Faktor Keamanan (F)	Keadaan Lereng
$F < 1,00$	Lereng dalam kondisi tidak mantap (lereng <i>labil</i>)
$1,00 < F < 1,20$	Lereng dalam kondisi kemantapan diragukan
$1,30 < F < 1,40$	Lereng dalam kondisi memuaskan
$1,50 < F < 1,70$	Lereng dalam kondisi mantap (lereng <i>stabil</i>)

Sumber: Sosrodarsono

3. Stabilitas Lereng Metode Fellenius (*Slice Method*)

Analisis stabilitas yang dibahas bila tanah tidak homogen dan aliran rembesan terjadi didalam tanah tidak menentu, cara yang lebih cocok adalah dengan metode irisan (method of slice). Gaya normal yang bekerja pada suatu titik di lingkaran bidang longsor, terutama dipengaruhi oleh berat tanah diatas titik tersebut. Dalam metode irisan, massa tanah yang longsor dipecah-pecah tiap irisan. Dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 8 Gaya Yang Bekerja Pada Irisan

(Sumber: Hardiyatmo, 2014)

Pada Gambar diatas, memperlihatkan satu irisan dengan gaya-gaya yang bekerja. Gaya-gaya ini terdiri dari gaya geser (X_r dan X_1) dan gaya normal efektif (E_r dan E_1) di sepanjang sisi irisannya, dan juga resultan gaya normal efektif (T_i) dan resultan gaya normal efektif (N_i) yang bekerja disepanjang dasar irisan. Tekanan air pori (U_i dan U_r) bekerja di kedua sisi irisan, dan tekanan air pori (U_i) bekerja pada dasarnya. Dianggap tekanan air pori sudah diketahui sebelumnya. Analisis stabilitas lereng cara Fellenius (1936) menganggap gaya-gaya yang bekerja pada sisi kanan-kiri dari sembarang irisan mempunyai resultan nol pada arah tegak lurus bidang longsor. Dengan anggapan ini, keseimbangan arah vertikal dan gaya-gaya yang bekerja dengan memperhatikan tekanan air pori terdapat pada Persamaan 3.15.

$$N_i + U_i = W_i \cos \Theta_i$$

Atau

$$\begin{aligned} N_i &= W_i \cos \Theta_i - U_i \\ &= W_i \cos \Theta_i - u_i a_i \end{aligned} \quad (3.15)$$

Faktor aman didefinisikan sebagai,

$$\begin{aligned} F &= \frac{\text{Jumlah momen dari tahanan geser sepanjang bidang longsor}}{\text{Jumlah momen dari berat massa tanah yang longsor}} \\ &= \frac{\sum Mr}{\sum Md} \end{aligned}$$

Lengan momen dari berat massa tanah tiap irisan adalah $R \sin \theta$, maka dinyatakan dengan Persamaan 3.16.

$$\Sigma Md = R \sum_{i=1}^{i=n} Wi \sin \theta i \quad (3.16)$$

Dengan,

R = jari-jari lingkaran bidang longsor,

n = jumlah irisan,

Wi = berat massa tanah irisan ke-I,

θi = sudut yang di definisikan.

Dengan cara yang sama, momen yang menahan tanah akan longsor, dinyatakan dengan Persamaan 3.17.

$$\Sigma Mr = R \sum_{i=1}^{i=n} (c ai + Hi \operatorname{tg} \varphi) \quad (3.17)$$

Sehingga persamaan untuk faktor aman, sesuai dengan Persamaan 3.18.

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (c ai + Ni \operatorname{tg} \varphi)}{\sum_{i=1}^{i=n} Wi \sin \theta i} \quad (3.18)$$

Bila terdapat air pada lereng, tekanan air pori pada bidang longsor tidak menambah momen akibat tanah yang akan longsor (Md), karena resultan gaya akibat tekanan air pori lewat titik pusat lingkaran. Substitusi Persamaan (3.15) ke Persamaan (3.18), maka dinyatakan dengan Persamaan 3.19.

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} c ai + (Wi \cos \theta i - U i ai) \operatorname{tg} \varphi}{\sum_{i=1}^{i=n} Wi \sin \theta i} \quad (3.19)$$

Dengan,

F = Faktor aman,

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

φ = sudut gesek dalam tanah (derajat),

ai = panjang lengkung lingkaran pada irisan ke – I (m),

Wi = berat irisan tanah ke – I (kN),

Ui = tekanan air pori pada irisan ke-I (kN/m^2),

θi = sudut yang didefinisikan dalam Gambar 3.5 (derajat).

Metode Fellenius menghasilkan faktor aman yang lebih rendah dari cara hitungan yang lebih teliti. Besarnya nilai kesalahan dapat tergantung dari faktor

aman, sudut pusat lingkaran yang dipilih, dan besarnya tekanan air pori. Walaupun analisis ditinjau dalam tinjauan tegangan total, kesalahan analisis masih merupakan fungsi dari faktor aman dan sudut pusat dari lingkaran. Cara ini telah banyak digunakan dalam praktek, karena cara perhitungan sederhana dan kesalahan hitungan yang dihasilkan masih pada sisi yang aman.

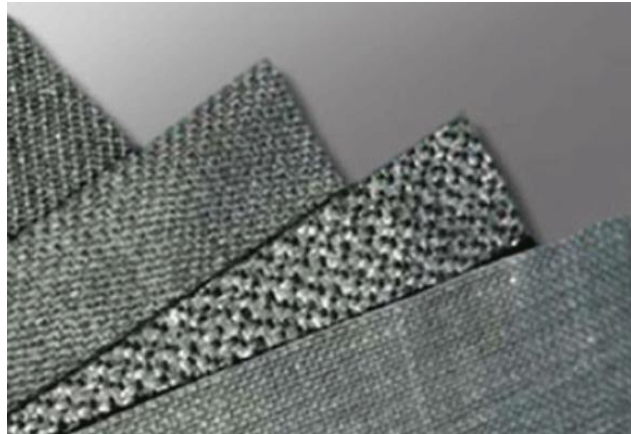
3.3 Geotekstil

Menurut Hardiyatmo (2008), geotekstil adalah material lembaran yang dibuat dari bahan tekstil polymeric, bersifat lolos air, yang dapat berbentuk bahan nir-anyam (*non woven*), rajutan atau anyaman (*woven*) yang digunakan dalam kontak dengan tanah/batu dan/atau material geoteknik yang lain di dalam aplikasi teknik sipil.

Geotekstil umumnya dibuat dari polimer polypropylene (beberapa dibuat dari polyester atau polyethylene), yang dibuat dalam bentuk fiber-fiber atau benang-benang, dan akhirnya dipakai untuk membuat lembaran kain anyam (*woven*) atau nir-anyam (*non woven*). Ketika kain tekstil ini diletakkan didalam tanah, maka disebut geotekstil. Adapun jenis geotekstil berdasarkan jenis pembuatannya adalah sebagai berikut.

1. Geoteksil anyam (*Woven*)

Geotekstil anyam (*woven*) dibuat dengan cara dianyam geotekstil jenis ini mempunyai kuat tarik yang cukup tinggi sehingga pada aplikasinya di lapangan lebih banyak digunakan sebagai lapisan perkuatan dan sebagai lapisan pemisah. Sebagai perkuatan, geotekstil anyam berfungsi sebagai tulangan pada tanah. Sedangkan sebagai pemisah, geotekstil anyam berfungsi memisahkan antara tanah lunak dengan tanah keras. Adapun gambar geotekstil anyam dapat dilihat pada Gambar 3.9.



Gambar 3. 9 Geotekstil Woven

(Sumber: PT. Tekindo Geosistem Unggul)

2. Geotekstil nir-anyam (*Non Woven*)

Geotekstil nir-anyam (*non woven*) pembuatannya tidak dengan cara dianyam, tetapi jaringan atau serat-serat pembentukannya dilekatkan satu sama lain dengan cara diikat atau dengan bahan perekat. Adapun gambar geotekstil nir-anyam dapat dilihat pada Gambar 3.10.



Gambar 3. 10 Geotekstil Non Woven

(PT. Tekindo Geosistem Unggul)

3.3.1 Sifat-Sifat Geotekstil

Kata kain (*fabric*) dan geotekstil (*geotextile*) dapat saling tertukar. Umumnya kain dari bahan polymer yang dipakai untuk aplikasi proyek pembangunan ini sering disebut geotekstil. Karena tipe geotekstil yang sangat banyak, maka aplikasi harus mempertimbangkan fungsi dari material ini terhadap macam struktur yang akan dirancang. lima sifat polymer sebagai bahan dasar material geosintetik

meliputi: sifat fisik, sifat mekanik, sifat hidrolis, sifat ketahanan, dan sifat degradasi.

3.3.2 Fungsi Geotekstil

1. Filter / Penyaring

Sebagai filter, geotekstil *non woven* berfungsi untuk mencegah terbawanya partikel-partikel tanah pada aliran air. Karena sifat geotekstil *non woven* adalah permeable (tembus air) maka air dapat melewati geotekstil tetapi partikel tanah tertahan. Aplikasi sebagai filter biasanya digunakan pada proyek-proyek subdrain (drainase bawah tanah).

2. Separator / Pemisah

Sebagai separator atau pemisah, geotekstil *non woven* berfungsi untuk mencegah tercampurnya lapisan material yang satu dengan material yang lainnya. Kegunaannya untuk menghindari terjadinya kontaminasi dan pencampuran yang mungkin terjadi di antara kedua material tersebut. Contohnya pada penggunaan geotekstil di dalam konstruksi jalan untuk memisahkan agregat dengan lapisan tanah dasar yang mempunyai daya dukung lemah.

3. Perkuatan / Reinforcement

Misalnya dipakai pada proyek-proyek timbunan tanah, perkuatan lereng dll. Fungsi ini sebenarnya masih menjadi perdebatan dikalangan ahli geoteknik, sebab geotekstil bekerja menggunakan metode *membrane effect* yang hanya mengandalkan kuat tarik (*tensile strength*) sehingga kemungkinan terjadinya penurunan setempat pada timbunan, masih besar, karena kurangnya kekakuan bahan. Apalagi sifat geotekstil yang mudah mulur terutama jika terkena air (terjadi reaksi hidrolisis) menjadikannya rawan sebagai bahan perkuatan lereng.

4. Lain-lain

Fungsi geotekstil yang lain adalah sebagai pengganti karung goni pada proses curing beton untuk mencegah terjadinya retak-retak pada proses pengeringan beton baru.

3.3.3. Interaksi Tanah Geotekstil

Interaksi tanah dengan geotekstil dipengaruhi oleh nilai *interface*. Nilai *interface* diperoleh dari uji geser dan uji tarik. Beberapa nilai *interface* telah banyak

diusulkan oleh beberapa peneliti dan juga turut dicantumkan dalam penawaran spesifikasi teknis produk geotekstil. Menurut Rifa'i (2009) dalam Ismanti (2012), besar *interface* dipengaruhi oleh faktor kekasaran *interface* tanah dengan perkuatan geotekstil serta faktor cara pembuatannya yaitu melalui cara mekanis, pemanasan atau dengan mencampur bahan lain. Berikut ini nilai *interface* untuk jenis tanah kohesif dengan geotekstil yang diusulkan disertai dengan keterangan asumsi dan jenis bahan yang ditinjau dalam Tabel 3.6.

Tabel 3. 6 Nilai Interface Tanah Kohesif dengan Geotekstil

Sumber referensi	Nilai <i>interface</i>	
	Geotekstil <i>non woven</i>	Geotekstil <i>woven</i>
Suryolelono (2000)	0.67	
	Asumsi prktis di lapangan	
Brinkgreeve (2002)	-	
	Asumsi praktik untuk analisis numeris plaxis	
Kamon (2008)	-	0.85
		<i>Polypropylen woven</i>
Rifa'I (2009)	0.84-1.3	0.78-0.95
	TS600-R206	BW250
Mariapan (2011)	-	0.85
		<i>Polypropylen woven</i>
Produsen geotekstil (2001)	0.92	0.84
	<i>Geosynthetic Clay Liners (GCL)</i>	

Sumber : Ismanti (2012)

3.4 Turap

Dinding turap adalah dinding vertical yang berfungsi untuk menahan gaya horizontal yang bekerja dalam tanah. Turap merupakan sebuah konstruksi yang proses pemasanganya mudah dengan harga yang relatif murah. Turap dibedakan menjadi beberapa jenis yaitu turap kantilever yang sering digunakan pada tanah dangkal. Namun bila tanah yang ditahan cukup dalam maka turap harus menggunakan angker. Turap sangat tidak cocok digunakan untuk menahan tanah yang sangat tinggi, dikarenakan memerlukan luas tampang yang cukup yang besar. Selain itu turap juga tidak cocok digunakan pada tanah berbatuan, dikarenakan akan menyulitkan saat proses pemancangan.

3.4.1 Jenis Turap

Jenis turap dapat dibedakan berdasarkan bahan-bahan yang digunakan. Adapun jenis turap berdasarkan bahan adalah sebagai berikut.

1. Turap Beton

Turap tipe ini umumnya merupakan jenis beton pre-cast. Oleh karena itu, sheet pile beton jarang digunakan untuk pekerjaan relatif kecil karena kesulitan mobilisasi alat pemancangan. Sheet pile ini digunakan untuk struktur yang permanen. Balok turap dibuat dengan mengkaitkan satu sama lain. Balok turap dibuat kuat untuk menahan beban-beban yang bekerja pada turap. Pada bagian ujung bawah turap biasanya berbentuk lancip, guna memudahkan saat proses pemancangan. Adapun gambar turap beton dapat dilihat dapat Gambar 3.11.

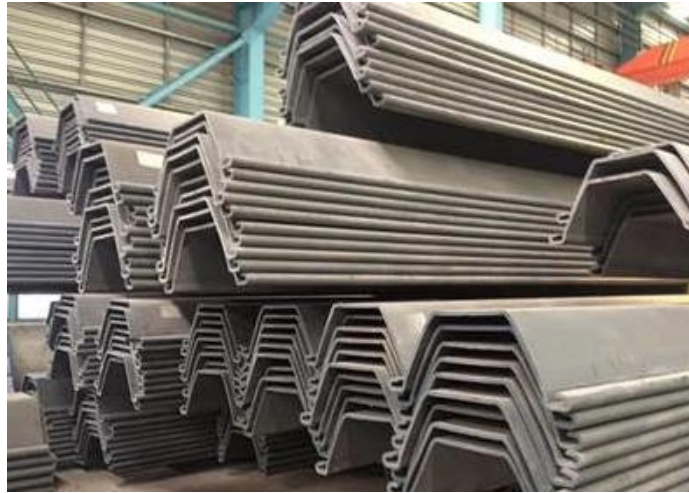


Gambar 3. 11 Turap Beton

(Sumber : PT. Adhi Persada Beton)

2. Turap Baja

Turap dengan material ini paling sering dipakai karena memiliki kekuatan merata, berat sendiri yang relatif ringan dan waktu penggunaan yang relatif tahan lama. Namun turap jenis ini memiliki sifat korosif, oleh karena itu penggunaannya perlu dipertimbangkan dengan baik. Adapun gambar turap baja dapat dilihat pada Gambar 3.12.



Gambar 3. 12 Turap Baja

(Sumber : PT. Citra Karya Baja)

3. Turap Kayu

Turap ini terbuat dari kayu yang umumnya dipasang secara sementara, serta penggunaannya terbatas hanya untuk dinding penahan tanah yang tidak terlalu tinggi. Jika konstruksi sheet pile kayu akan dipasang dibawah muka air, maka sheet pile kayu harus diawetkan dengan zat kimia tertentu untuk mencegah pelapukan atau pembusukan. Turap tipe kayu sangat tidak cocok digunakan pada tanah berbatu atau berkrikil, karena turap akan mudah pecah jika di pancang. Adapun gambar turap kayu dapat dilihat pada Gambar 3.13.



Gambar 3. 13 Turap Kayu

(Sumber : HMJTS UTY)

3.4.2 Tipe Dinding Turap

Pada prinsipnya, perencanaan sheet pile dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu dinding kantilever (*cantilever walls*) dan dinding berjangkar (*anchor walls*). Sheet pile dengan dinding kantilever, sebagaimana dinyatakan dalam namanya adalah tiang yang ujungnya tertahan oleh tanah sehingga seolah-olah tergantung. Stabilitas sheet pile jenis ini sangat tergantung pada penanaman tiang, sedangkan turap berjangkar, disamping ujungnya tertanam dan diujung tiang yang lain dipasang jangkar yang akan memberikan gaya tarik melawan kecenderungan tiang yang terdorong ke arah yang berlawanan dengan tanah

1. Dinding turap kantilever

Turap kantilever biasanya direkomendasikan untuk dinding ketinggian sedang, berkisar 6 m atau kurang diatas garis galian. Dinding turap kantilever merupakan turap yang dalam menahan beban lateral mengandalkan tahanan tanah didepan dinding. Defleksi lateral yang terjadi relatif besar pada pemakaian turap kantilever. Karena luas tampang bahan turap yang dibutuhkan bertambah besar dengan ketinggian tanah yang ditahan (akibat momen lentur yang timbul), turap kantilever cocok untuk menahan tanah dengan kedalaman sedang

2. Dinding turap diangker

Apabila tinggi tanah di belakang dinding turap kantilever mencapai sekitar 6 m, maka akan menjadi lebih ekonomis apabila turap tersebut diperkuat dengan suatu plat jangkar (*anchor plates*), dinding jangkar (*anchor walls*), atau tiang jangkar (*anchor piles*), yang letaknya dekat dengan puncak turap. Dinding turap diangker cocok untuk menahan tebing galian yang dalam. Dinding turap ini menahan beban lateral dengan mengandalkan tahanan turap pada bagian turap yang terpancang kedalam tanah dan dibantu angker yang dipasang pada bagian atas. Kedalaman turap menembus tanah bergantung pada besarnya tekanan tanah. Untuk dinding turap yang tinggi, diperlukan turap baja dengan kekuatan tinggi. Stabilitas dan tegangan-regangan pada turap yang diangker bergantung pada banyak factor, misalnya : kekakuan relative bahan turap, kedalaman penetrasi turap, kemudahan-mampatan tanah, kuat geser tanah, keluluhan angker dan lain-lainya.

3.5 Perkuatan Tanah

Tanah dilapangan pada umumnya bersifat lepas, mudah tertekan, mempunyai permeabilitas yang tinggi dan sifat-sifat lain yang tidak sesuai untuk suatu proyek pembangunan, maka tanah tersebut perlu diberi perkuatan. Teknik perkuatan tanah yang berkembang hingga saat ini yaitu menggunakan material yang mempunyai sifat fleksibilitas relatif tinggi (Purwanto,2012). Kemudian perkuatan tanah merupakan usaha yang dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan kualitas karakteristik tanah, utamanya parameter kuat geser tanah yang akan mendukung sebuah struktur sehingga mampu menahan beban struktur yang akan dibangun dengan deformasi yang diizinkan. Secara garis besar perbaikan dan perkuatan tanah dimaksudkan untuk yaitu dapat menaikkan daya dukung & kuat geser, menaikkan modulus, mengurangi kompressibilitas, mengontrol stabilitas volume (*shrinking & swelling*), mengurangi kerentanan terhadap liquifaksi, memperbaiki kualitas material untuk bahan konstruksi, memperkecil pengaruh lingkungan.

3.5.1 Perkuatan Menggunakan Geotekstil

Perkuatan dilakukan menggunakan geotekstil yang pada umumnya berbentuk lembaran. Perkuatan yang terdiri dari lembaran-lembaran geotekstil diletakkan diantara lapisan-lapisan tanah urug yang keduanya membentuk material komposit. Pada sistem perkuatan ini, transfer tegangan antara tanah dan lembaran-lembaran geotekstil terutama dari gesekan antara kedua material tersebut.

Umumnya, geotekstil yang digunakan untuk penulangan tanah dibuat dari *polyester* atau serat-serat *polypropylene*. Bila ditinjau dari serat-serat pembentuk bahannya. Material tanah urug umumnya dipilih tanah granuler diantaranya pasir kelanauan sampai kerikil

Berdasarkan Hardiyatmo (2008), perbedaaan hitungan perencanaan dinding tanah bertulang terletak pada hitungan stabilitas intern dinding, yaitu perancangan dilakukan dengan memperhitungkan kekuatan tulangn-tulangan dalam menahan gaya cabur dan gaya Tarik oleh akibat gaya-gaya yang bekerja.

Dalam perancangan stsbilitas ekstern atau stabilitas luar (*external stability*) dinding tanah bertulang mempunyai kriteria yang sama seperti pada struktur dinding penahan tanah konvensional. Yaitu, struktur yang dianggap sebagai blok

padat harus stabil terhadap bahaya penggeseran, penggulingan, keruntuhan pondasi dan stabilitas lereng global.

1. Stabilitas Eksternal

a. Stabilitas terhadap geser

Lebar dasar struktur dinding tanah bertulang harus sedemikian hingga struktur terhindar dari resiko penggeseran pada dasarnya. Umumnya faktor aman diambil sama dengan 1.5.

Tanah urug berupa tanah granuler. Tekanan tanah aktif total yang ditimbulkan oleh tanah di belakang struktur, dinyatakan oleh Persamaan 3.20

$$P_a = P_s + P_q + P_c$$

$$= 0.5 \times H^2 \times \gamma b \times Ka + q \times H \times Ka + 2 \times c \times \sqrt{ka} \times H \quad (3.20)$$

Gaya lawan pada dasar dinding tanah dinyatakan dengan Persamaan 3.21

$$R_h = L \times H \times \gamma b \times \tan \delta b \quad (3.20)$$

Faktor aman terhadap penggeseran dinyatakan oleh Persamaan 3.22

$$SF = \frac{L \times H \times \gamma b \times \tan \delta b}{0.5 \times H^2 \times \gamma b \times Ka + q \times H \times Ka + 2 \times c \times H \times \sqrt{ka}} \quad (3.22)$$

dengan,

L = lebar dasar dinding tanah atau panjang tulangan (m),

Ka = koefisien tekanan tanah aktif,

q = beban merata (kN/m²),

H = tinggi dinding tanah (m),

δb = sudut gesek antara tanah pondasi dan dasar struktur (derajat),

γ = berat volume tanah (kN/m³), dan

c = Kohesi (kN/m²).

b. Stabilitas terhadap guling

Faktor aman terhadap penggulingan dinyatakan oleh Persamaan 3.23.

Momen melawan dinyatakan oleh Persamaan 3.24 dan Momen Penggulingan dinyatakan oleh Persamaan 3.25.

$$SF = \frac{\Sigma MR}{\Sigma MD} = \frac{\text{Momen melawan}}{\text{Momen penggulingan}} \geq 1.5 \quad (3.23)$$

$$\Sigma M_R = 0.5 \times W \times L = 0.5 \times \gamma b \times H \times L^2 \quad (3.24)$$

$$\Sigma M_D = 0.5 \times P_q \times H + \left(\frac{1}{3}\right) \times P_s \times H - 0.5 \times P_c \times H \quad (3.25)$$

dengan,

ΣM_R = jumlah momen lawan (kN.m),

ΣM_D = jumlah momen penggulingan (kN.m),

W = berat struktur (kN/m),

L = lebar struktur (m),

P_q = gaya horizontal total akibat beban terbagi rata (kN/m),

P_s = gaya horizontal akibat tekanan tanah di belakang struktur (kN/m).

P_c = gaya horizontal akibat kohesi pada tanah (kN/m).

Untuk keamanan, dalam hitungan momen penggulingan, beban terbagi rata (q) tidak diperhitungkan menambah berat dari dinding tanah bertulang.

Umumnya faktor aman terhadap penggulingan (SF) sama dengan 1.5-2.

c. Stabilitas terhadap eksentrisitas

Eksentrisitas (e) diperoleh dengan mengambil jumlah momen terhadap pusat dasar dinding sama dengan nol. Nilai eksentrisitas dinyatakan dengan Persamaan 3.26.

$$e = \frac{\Sigma MD}{R_v} = \frac{(P_q \times \frac{1}{2} H) + (P_s \times \frac{1}{3} H) - (P_c \times \frac{1}{2} H)}{(H \times \gamma b \times L) + (q \times L)} \quad (3.26)$$

dengan,

R_v = beban vertical total termasuk beban terbagi rata (kN/m)

$$= W + qL,$$

W = berat struktur per meter (tegak lurus bidang gambar) (kN/m),

P_q = $K_a \times q \times H$ (kN/m²),

P_s = $0.5 \times K_a \times H^2 \times \gamma$ (kN/m),

P_c = $2 \times c \times \sqrt{k_a} \times H$ (kN/m).

d. Stabilitas terhadap daya dukung tanah

Kapasitas dukung tanah di bawah struktur dinding tanah bertulang harus cukup sehingga tidak akan terjadi keruntuhan akibat terlampauinya kapasitas dukung tanah diambil minimum sama dengan 1.5. Faktor aman diambil lebih rendah dari biasanya (yaitu SF = 3), karena sifat struktur yang fleksible dan

kemampuan struktur untuk menyesuaikan diri bila terjadi penurunan tak seragam. Nilai L yang diperlukan dinyatakan oleh Persamaan 3.27, nilai q_{ult} dinyatakan oleh Persamaan 3.28 dan nilai σ_{ult} dinyatakan oleh Persamaan 3.29.

$$L \leq \frac{\sigma_{ult}}{H \times \gamma_b \text{ timb.} + q} \quad (3.27)$$

$$q_{ult} = i_c \times c \times N_c + 0.5 \times L \times \gamma \times N_\gamma \quad (3.28)$$

$$\sigma_{ult} = q_{ult} \times SF \quad (3.29)$$

2. Stabilitas Internal

a. Panjang overlapping

Panjang overlap atau panjang lipatan (L_o) pada bagian penutup permukaan dinding yang diperkuat dengan geotekstil dihitung dengan Persamaan 3.30.

$$L_o = \frac{\sigma_{hci} \times S_{vi} \times SF}{2 \times \gamma_b \times z_i \times \text{tg } \emptyset} \geq 1 \quad (3.30)$$

dengan,

z = kedalaman tulangan yang ditekuk masuk ketanah (m),

σ_{hc} = tekanan horizontal rata-rata pada lipatan,

SF = factor aman,

S_v = jarak tulangan arah vertical (m),

γ = berat volume tanah (kN/m^3),

b. Panjang efektif geotekstil

Panjang efektif dinyatakan dengan Persamaan 3.31.

$$L_e = \frac{\sigma_{hci} \times S_{vi} \times SF}{2 \times \gamma_b \times z_i \times \text{tg } \emptyset} \geq 1 \quad (3.31)$$

dengan,

z = kedalaman tulangan yang ditekuk masuk ketanah (m),

σ_{hc} = tekanan horizontal rata-rata pada lipatan,

SF = factor aman,

S_v = jarak tulangan arah vertical (m),

γ = berat volume tanah (kN/m^3),

3. Prinsip kerja geotekstil

Tegangan geser yang terjadi oleh gesekan pada bidang kontak dinyatakan pada Persamaan 3.32.

$$\tau = C + \sigma_v \times \operatorname{tg} \varphi \quad (3.32)$$

dengan,

τ = tegangan geser yang bekerja antara geotekstil dengan tanah (kN/m²),

C = Kohesi (kN/m²),

σ_v = tegangan normal pada bidang kontak (*interface*) tanah-tulangan (kN/m²),

φ = sudut gesek antara tanah dan tulangan (°).

Gaya-gaya tarik yang bekerja pada tulangan dinyatakan dalam Persamaan 3.33.

$$Ta = 2 \times \tau \times b \times L \quad (3.33)$$

Dengan,

Ta = gaya tarik pada tulangan (kN/m),

b = lebar tulangan (tegak lurus pada bidang gambar) (m),

L = Panjang tulangan (m).

3.5.2 Perkuatan menggunakan turap

Perkuatan dilakukan menggunakan turap yang pada umumnya berbentuk dinding. Sistem pada perkuatan ini bekerja dengan cara menahan gaya-gaya lateral. Turap yang digunakan untuk perkuatan tanah terbuat dari beton. Analisis dilakukan guna mencari kedalaman turap yang dibutuhkan guna menahan gaya lateral pada turap. Adapun dasar analisis turap adalah sebagai berikut.

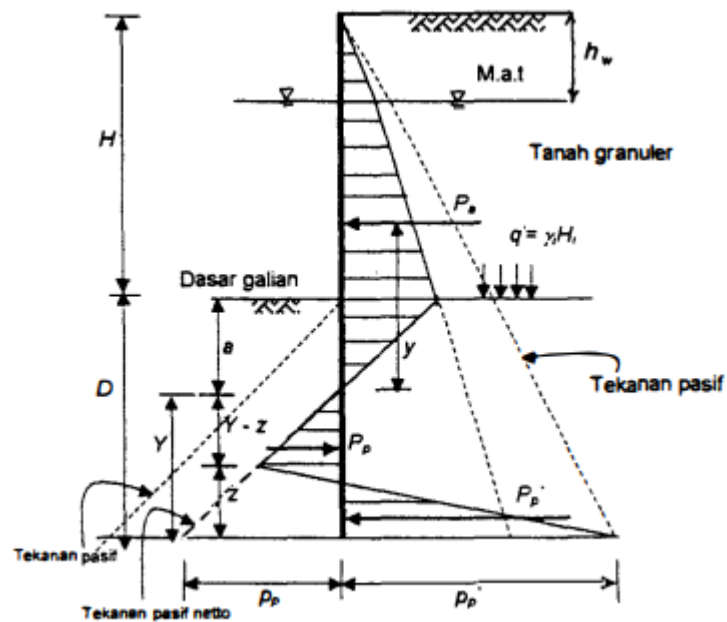
1. Perancangan dinding turap kantilever.

a. Perancangan turap kantilever pada tanah granuler

Distribusi tekanan tanah pada turap yang terletak pada tanah granuler homogen, diperlihatkan dalam Gambar 3.14. Bila tanah berlapis-lapis, maka diagram tekanan tanah akan berbeda, namun prinsip perancangan tetap sama. Karena turap terletak dalam tanah granuler, cukup beralasan bila diasumsikan muka air tanah mempunyai ketinggian yang sama di bagian depan dan belakang turap. Sehingga, distribusi tekanan (termasuk pengaruh beban terbagi rata dan lain-lainnya) dapat ditentukan dari nilai K_a dan K_p ,

Jika faktor aman diperhitungkan, maka dapat dipilih salah satu dari 2 kemungkinan:

- 1) Mereduksi K_p (sampai 30%-50%) atau
- 2) Menambah kedalaman penetrasi antara 20% sampai 40%.



Gambar 3. 14 Tekanan Tanah Lateral Turap Pada Tanah Granular Homogen

(Sumber: Hardiyatmo, 2014)

Dengan demikian persamaan untuk mencari kedalaman panjang galian dengan permisalan jarak a dihitung dengan menggunakan perbandingan diagram tekanan segitiga dan M_{maks} dalam perancangannya yaitu dengan persamaan 3.34 dan 3.35.

$$a = \frac{q'Ka}{\gamma'(Kp-Ka)} \quad (3.34)$$

$$M_{maks} = Pa \left[y + \frac{2}{3} \left[\frac{2Pa}{\gamma'(Kp-Ka)} \right]^{\frac{1}{2}} \right] \text{ Untuk Tanah Granuler} \quad (3.35)$$

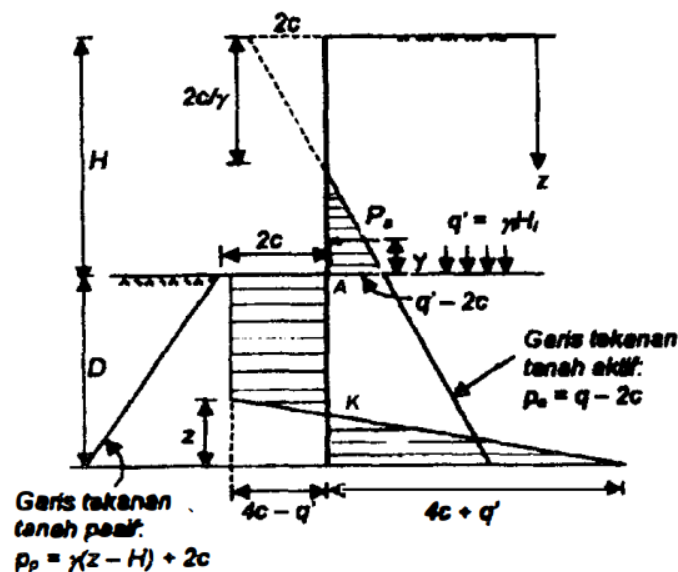
- b. Turap kantilever pada tanah kohesif

Kuat geser tanah kohesif selalu berubah akibat perubahan musim. sehingga tekanan tanah lateral juga akan berubah dari waktu ke waktu. Karena itu,

perancangan turap tanah kohesif lebih sulit dalam menentukan dimensi dan kedalaman dinding turap. Perhitungan momen maksimum dapat dilihat pada persamaan 3.36 berikut ini.

$$M_{\text{maks}} = Pa \left[\left(\frac{Pa}{4c - q'} + y \right) - \frac{1}{2} \frac{Pa}{4c - q'} \right] \quad (3.36)$$

Dalam memahami perancangan dinding turap kantilever pada tanah kohesif dapat dilihat pada Gambar 3.15 berikut ini.



Gambar 3. 15 Tekanan Tanah Lateral Turap Pada Tanah Kohesif

(Sumber : Hardiyatmo, 2014)

Dalam Perhitungan kedalaman galian dapat digunakan satu dari dua cara berikut ini berdasarkan Redana tahun 2010 dalam buku Teknik Pondasi:

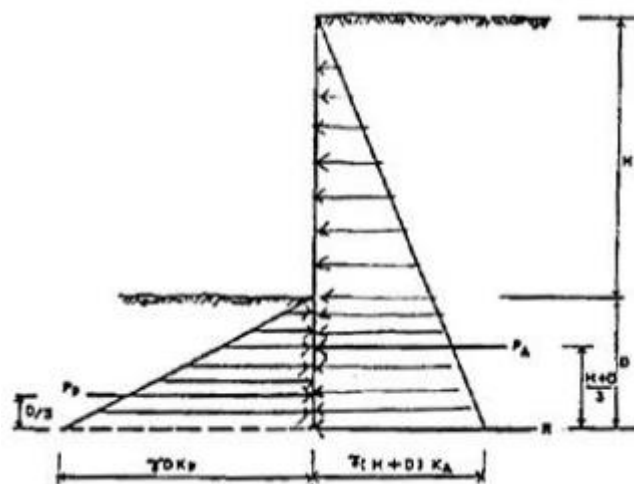
1) Metode Konvensional

Pada metode ini tanah diatas maupun dibawah galian dianggap sama. Turap mengalami defleksi dengan bentuk yang tidak diketahui dan dianggap berputar pada suatu titik putar dibawah garis galian, maka dari itu ada zona tanah aktif dan pasif. Jika tanah keseluruhan bergerak ke kiri maka tanah dikanan dianggap aktif dan sebaliknya.

2) Metode Simplified

Pada metode ini mengasumsikan tekanan tanah aktif dan pasir menyebar sampai dasar turap. Dan pada dasar turap digunakan 50 perlawanan C

sebagai pengganti gaya. cara ini memberi dalam pemancangan turap sedikit lebih kecil dibanding cara konvensional. Untuk dapat memahami metode simplified dapat dilihat pada Gambar 3.16 berikut ini.



Gambar 3. 16 Tekanan Tanah Lateral Metode Simplified

(Sumber: Redana, 2010)

2. Koefisien tekanan tanah lateral

Tekanan tanah lateral merupakan hal utama pada perencanaan struktur penahan tanah. Oleh sebab itu pada suatu konstruksi penahan tanah harus diketahui besarnya koefisien tekanan tanah lateral yang bekerja pada konstruksi tersebut, karena besarnya tekanan tanah (gaya lateral) yang bekerja ini sangat menentukan desain dari konstruksi tersebut.

Menurut Rankine (1897) dalam Hardiyatmo (2014) koefisien tanah aktif (coefficient of active earth pressure) atau K_a , dinyatakan dengan Persamaan 3.37.

$$K_a = \tan^2\left(45^\circ - \left(\frac{\phi^0}{2}\right)\right) \quad (3.37)$$

Koefisien tanah aktif (*coefficient of active earth pressure*) atau K_p , dinyatakan dengan Persamaan 3.38.

$$K_p = \tan^2\left(45^\circ + \left(\frac{\phi^0}{2}\right)\right) \quad (3.38)$$

Dari Persamaan 3.37 dan Persamaan 3.37, dapat dinyatakan bahwa persamaan tersebut seperti dalam Persamaan 3.39.

$$K_p = \frac{1}{K_a} \quad (3.39)$$

3. Tekanan tanah lateral akibat tanah dan tanah berlapis

Tekanan tanah lateral akibat tanah dan tanah berlapis memberikan tekanan tanah aktif yang dinyatakan dengan Persamaan 3.40, 3.41, dan Persamaan 3.42.

$$P_{a1} = K_{a1} \times \gamma_1 \times H_1 \quad (3.40)$$

$$P_{a2} = K_{a2} \times \gamma_1 \times H_1 \quad (3.41)$$

$$P_{a3} = K_{a2} \times \gamma_2 \times H_2 \quad (3.42)$$

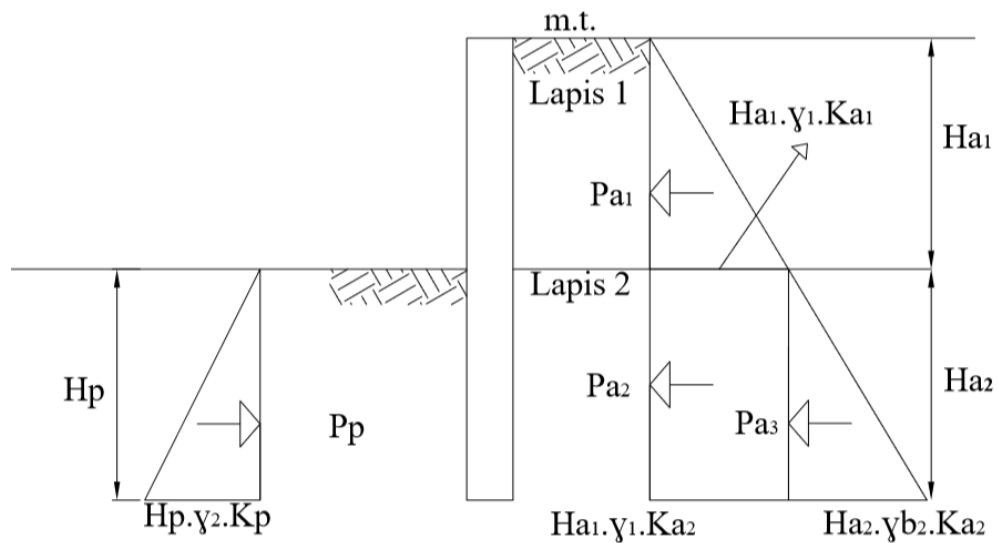
Tekanan tanah aktif total (P_a) untuk tanah berlapis dinyatakan dengan Persamaan 3.43, 3.44, dan Persamaan 3.45.

$$P_{a1} = 0.5 \times K_{a1} \times \gamma_1 \times H_1^2 \quad (3.43)$$

$$P_{a2} = K_{a2} \times \gamma_1 \times H_1 \times H_2 \quad (3.44)$$

$$P_{a3} = 0,5 \times K_{a2} \times \gamma_2 \times H_2^2 \quad (3.45)$$

Pada tanah pasif, dalam perhitungan nilai K_a dirubah menjadi K_p . Dengan titik tangkap gaya $H_1/3 + H_2$ untuk P_a , $H_2/2$ untuk P_{a2} , dan $H_2/3$ untuk P_{a3} dari dasar turap dan arahnya sejajar dengan permukaan tanah. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.17.



Gambar 3. 17 Tekanan Tanah Akibat Tanah dan Tanah Berlapis

4. Tekanan tanah lateral akibat kohesi

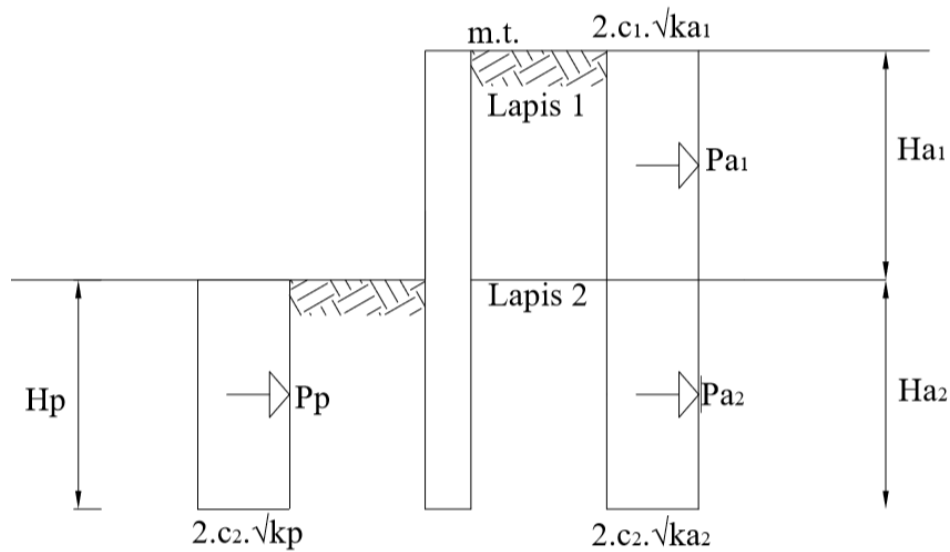
Kohesi memberikan tekanan lateral, yang nilainya berlawanan. Tekanan tanah lateral akibat kohesi dinyatakan dengan Persamaan 3.46.

$$Pa1 = -2 \times c_1 \times \sqrt{ka_2} \quad (3.46)$$

Tekanan tanah aktif total (Pa) untuk tanah berkohesi dinyatakan dengan Persamaan 3.47.

$$Pa1 = -2 \times c_1 \times \sqrt{ka_2} \times H_1 \quad (3.47)$$

Pada tanah pasif, dalam perhitungan nilai Ka dirubah menjadi Kp. Dengan titik tangkap gaya $H_1/2 + H_2$ untuk Pa1 dari dasar turap dan arahnya sejajar dengan permukaan tanah . Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.18.



Gambar 3. 18 Tekanan Tanah Lateral Akibat Kohesi

5. Tekanan tanah lateral akibat beban terbagi rata

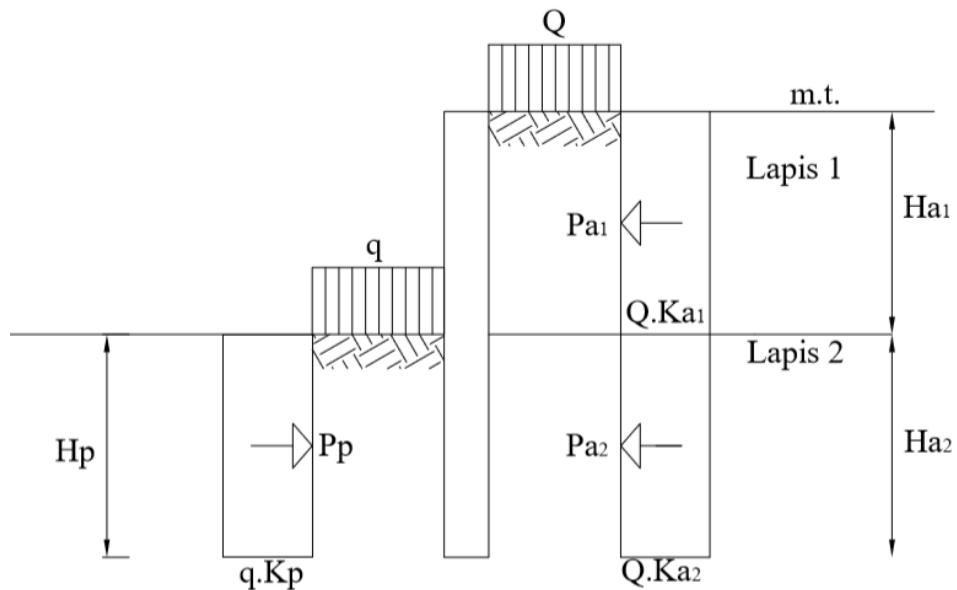
Beban terbagi merata memberikan tekanan tanah lateral yang dinyatakan dengan Persamaan 3.48.

$$Pa1 = q \times Ka1 \quad (3.48)$$

Tekanan tanah aktif total (Pa) untuk tanah yang memiliki beban terbagi merata dinyatakan dengan Persamaan 3.49.

$$Pa1 = q \times Ka1 \times H1 \quad (3.49)$$

Pada tanah pasif, dalam perhitungan nilai Ka dirubah menjadi Kp. Dengan titik tangkap gaya $H1/2 + H2$ untuk Pa1 dari dasar turap dan arahnya sejajar dengan permukaan tanah . Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.19.



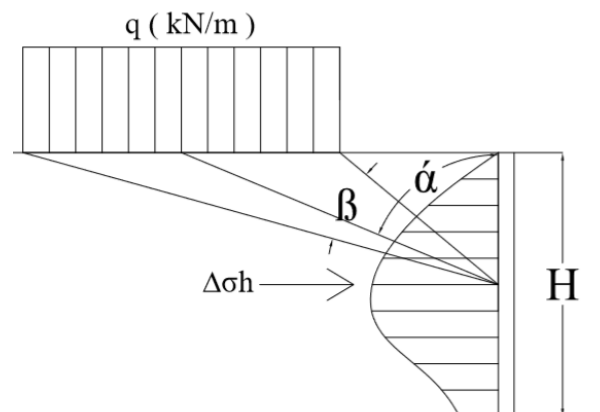
Gambar 3. 19 Tekanan Tanah Lateral Akibat Beban Terbagi Rata

6. Tekanan tanah lateral akibat beban merata memanjang

Menurut Terzaghi (1943) dalam Hardiyatmo (2014) Beban terbagi rata memanjang (q) yang berupa jalan raya dan kendaraan yang sejajar dengan dinding penahan tanah dan tidak tepat di sebelah dinding penahan tanah, maka diberikan Persamaan 3.50.

$$\sigma_h = \left(\frac{2q}{\pi}\right)(\beta - \sin\beta \cos 2\alpha) \quad (3.50)$$

Dengan nilai α dan β adalah sudut yang ditunjukkan dalam Gambar 3.20.



Gambar 3. 20 Tekanan Tanah Lateral Akibat Beban Merata Memanjang

(Sumber: Hardiyatmo, 2014)

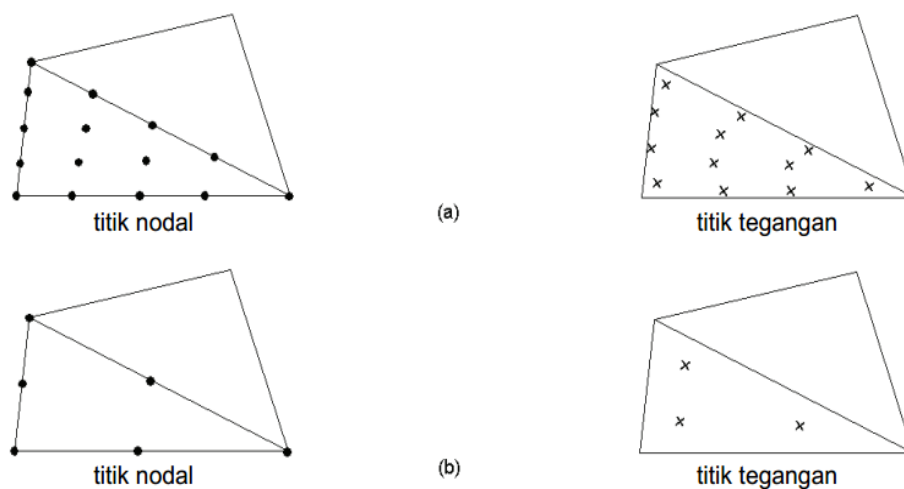
3.6 Program Plaxis

Metode numerik yang merupakan suatu metode pendekatan terhadap solusi eksak seteliti mungkin. Metode numerik adalah suatu rekayasa matematika yang mentransformasikan ekspresi mekanika kontinyu (berbentuk kalkulus dan persamaan diferensial) menjadi mekanika diskrit (bentuk matrik) salah satu metode numerik yang telah dikembangkan dalam analisis numerik adalah Metode Elemen Hingga (Dytama, 2008).

Program Plaxis adalah sebuah paket program yang disusun berdasarkan metode elemen hingga yang telah dikembangkan secara khusus untuk melakukan analisis deformasi dan stabilitas dalam bidang rekayasa geoteknik. Prosedur pembuatan model secara grafis yang mudah memungkinkan pembuatan suatu model elemen hingga yang rumit dapat dilakukan dengan cepat (Brinkgreve 2007), adapun model-model material dalam melakukan tahapan simulasi terhadap perilaku dari tanah, diantaranya sebagai berikut.

1. Model Linier Elastic.
2. Model Mohr Coulomb.
3. Model Jointed Rock.
4. Model Hardening soil.
5. Model Soft Soil.
6. Model Soft Soil Creep.

Di dalam program Plaxis, digunakan elemen segitiga dengan enam nodal dan elemen segitiga dengan lima belas nodal sebagai elemen hingga (Gambar 3.21). Elemen segitiga dengan lima belas nodal merupakan suatu elemen yang sangat akurat untuk menghasilkan kualitas tegangan tingkat tinggi dalam masalah-masalah yang sulit. Penggunaan elemen ini membutuhkan memori yang besar dan dalam perhitungan relatif lambat. Oleh karena itu, penggunaan elemen yang lebih sederhana dapat menjadi pilihan. Elemen segitiga dengan enam nodal merupakan suatu elemen yang cukup akurat yang memberikan hasil yang baik dalam deformasi standar.



Gambar 3. 21 Titik Nodal dan Titik Tegangan

(Sumber: Brinkgreve, 2007)

3.5.1 Prosedur Pengoprasian Plaxis

Pemodelan *finite element* dengan aplikasi *software PLAXIS* dipergunakan untuk melakukan perhitungan deformasi selama konstruksi pada timbunan di atas tanah lunak. Langkah-langkah perhitungan sebagai berikut.

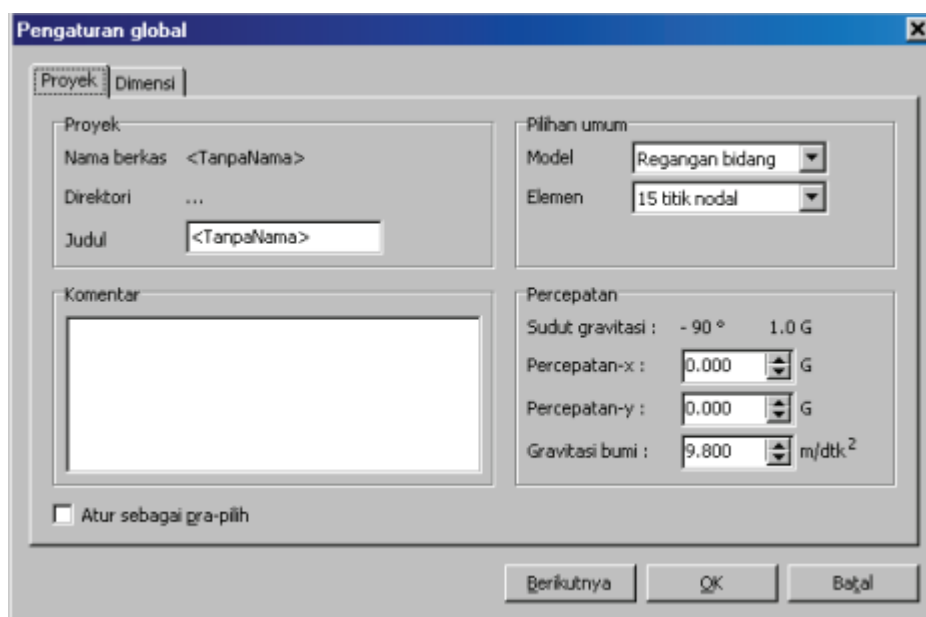
1. Memulai Program

Diasumsikan bahwa program telah terinstalasi dengan menggunakan prosedur yang dijelaskan dalam informasi Umum. Disarankan untuk membuat direktori yang terpisah untuk penyimpanan berkas data. Plaxis dalam kelompok program Plaxis. Pengguna akan diminta untuk mendefinisikan permasalahan baru atau membuka proyek yang telah ada. Jika pengguna memilih untuk membuka proyek yang telah ada, program akan memberikan daftar empat buah proyek paling akhir yang pernah dibuka yang dapat dibuka secara langsung. Memilih <<<berkas lainnya>>> yang berada posisi baris paling atas dari daftar ini akan memunculkan permintaan berkas dimana pengguna dapat memilih dan membuka proyek manapun yang telah ada.

2. Jika sebuah proyek baru dimulai, jendela pengaturan global seperti ditunjukkan dalam Gambar 3.22 akan muncul. Jendela ini terdiri dari dua lembar-tab pertama berbagai pengaturan atau proyek harus diberikan. Nama berkas belum dispesifikasikan disini, tetapi harus diberikan data menyimpan proyek.

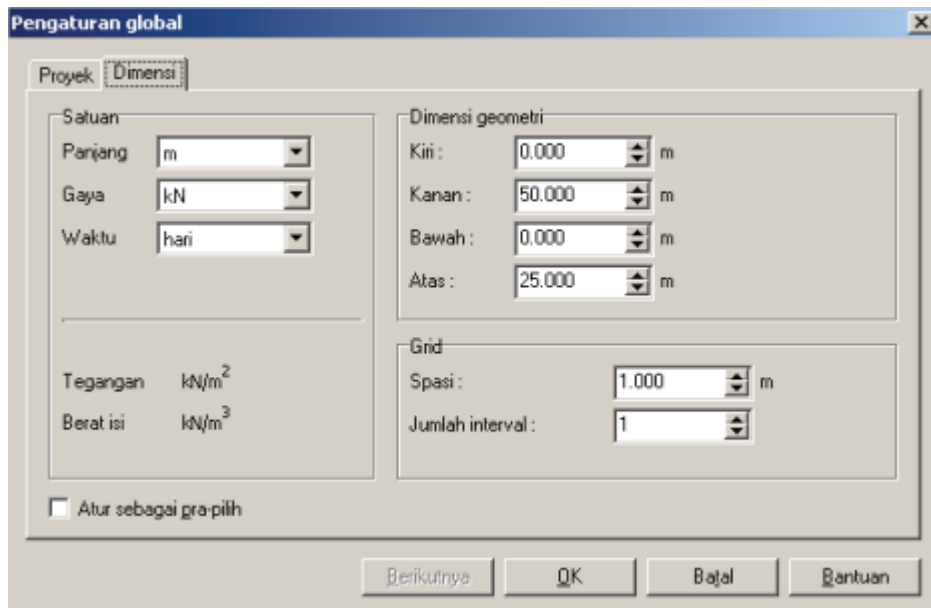
Penggunaan dapat memasukkan keterangan singkat mengenai permasalahan sebagai judul dari proyek atau deskripsi yang lebih mendetil dalam kotak komentar. Judul ini digunakan sebagai nama berkas dan akan muncul dalam setiap penggambaran keluaran. Kotak komentar merupakan tempat yang baik untuk menyimpan informasi tentang analisis. Selain itu, jenis analisis dan jenis elemen harus ditentukan disini. Suatu nilai percepatan atau percepatan, disamping persepatan gravitasi, dapat dimasukkan untuk simulasi pseudo-statik dari beban-beban dinamis.

Lembar-tab kedua ditunjukkan pada Gambar 3.23. Sealain satuan dasar Panjang, Gaya dan Waktu, dimensi atau ukuran minimum dari bidang gambar harus ditetapkan disini, sehingga model geometri dapat termuat dengan baik dalam bidang gambar. Sistem sumbu global positif adalah sumbu x mengarah ke kanan, sumbu y mengarah ke atas dan sumbu z mengarah ke pengguna.



Gambar 3. 22 Pengaturan Global-Lembar-Tab Proyek

(Sumber : Modul Plaxis, 2017)



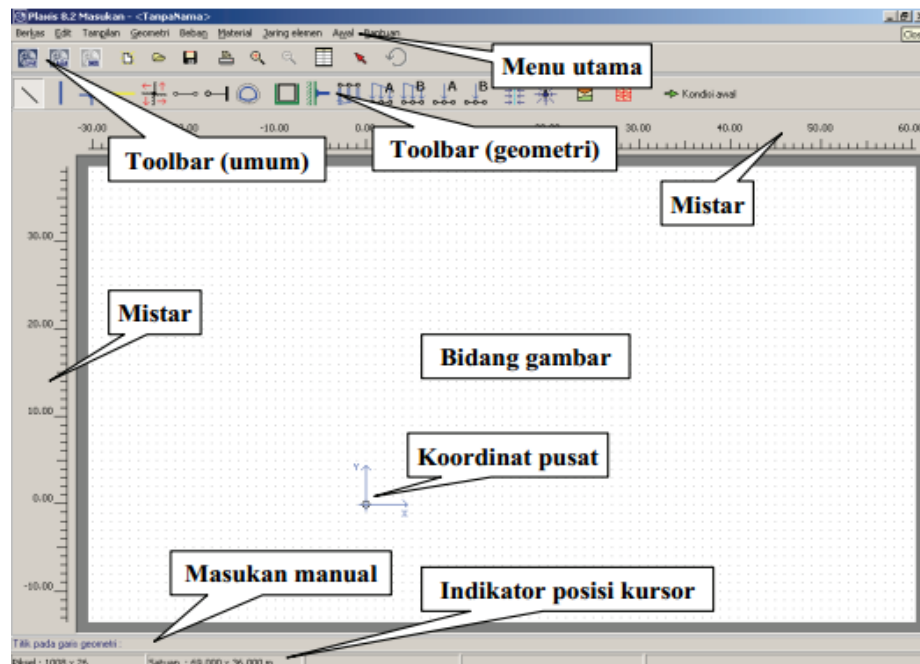
Gambar 3. 23 Pengaturan Global-Lembar-Tab Dimensi

(Sumber: Modul Plaxis, 2017)

Model geometri 2 dimensi dalam PLAXIS dibuat dalam bidang x-y sumbu z hanya digunakan untuk keluaran tegangan saja. Kiri adalah koordinat x terkecil dari model, Kanan adalah koordinat x terbesar dari model, Bawah adalah koordinat y terkecil dari model dan Atas adalah koordinat y terbesar dari model. Dalam praktek, bidang gambar yang terbentuk berdasarkan nilai-nilai yang diberikan akan mempunyai dimensi yang lebih besar dari pada nilai-nilai yang dimaksudkan dalam keempat spin edit tersebut. Hal ini terjadi akibat PLAXIS secara otomatis menambahkan sedikit margin pada ukuran bidang gambar dan akibat perbedaan rasio lebar terhadap tinggi antara nilai-nilai yang dimasukkan dan ukuran layar.

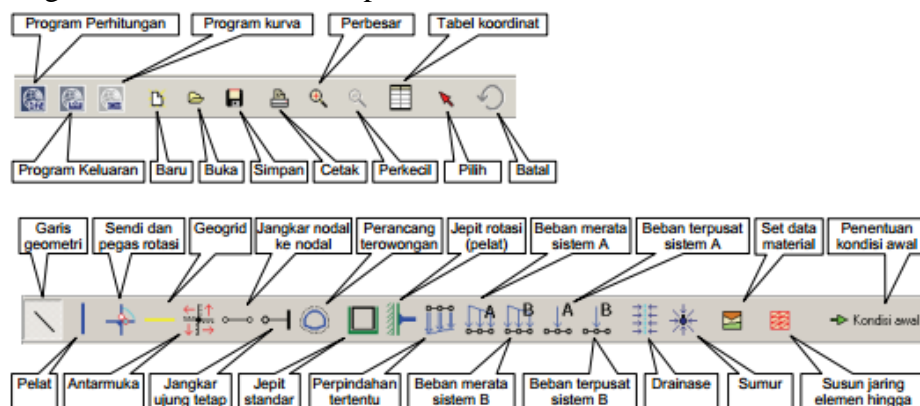
3. Membuat Model Geometri

Saat pengaturan global telah diisi dan tombol <OK> di-klik, maka jendela Masukan utama akan muncul. Jendela utama ini ditunjukkan pada Gambar 3.24. Bagian-bagian terpenting dari jendela utama ditunjukkan dan dibahas secara singkat dibawah ini.



Gambar 3. 24 Jendela Utama Dari Program Masukan
(Sumber : Modul Plaxis, 2017)

Beberapa obyek diatas dapat dihilangkan dengan menonaktifkan pilihan yang bersangkutan dalam menu Tampilan.



Gambar 3. 25 Toolbar
(Sumber : Modul Plaxis, 2017)

Untuk kedua *toolbar*, nama dan fungsi dari tiap tombol akan di tampilkan setelah meletakkan posisi kursor pada tombol tertentu selama kurang-lebih satu detik; sebuah petunjuk akan muncul dalam sebuah kotak berwarna kuning dibawah tombol yang bersangkutan. Petunjuk-petunjuk yang tersedia untuk kedua toolbar ditunjukkan dalam Gambar 3.25.

Bantuan dapat ditampilkan oleh pengguna dengan menekan tombol <F1> pada papan ketik. Bantuan ini akan menyediakan latar belakang informasi tentang bagian tertentu yang dipilih dari program.