

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Tanggul adalah salah satu infrastruktur persungai yang dibuat untuk menahan debit banjir sungai. Tanggul umumnya dibuat dari material pasir dan tanah, serta merupakan bangunan hidraulik yang selalu terkena gerusan atau infiltrasi akibat aliran air sungai. Tanggul memiliki peranan penting karena di beberapa tempat sering ditemukan permukaan air sungai pada saat banjir lebih tinggi dari daerah sekitarnya. Tujuan utama bangunan tanggul adalah untuk mencegah terjadinya banjir pada dataran dipinggiran sungai dan berfungsi untuk mengendalikan arah aliran air sungai sehingga tidak mengalami kerusakan pada tanggul akibat adanya banjir.

Dalam bidang geoteknik, diperlukan pemahaman yang mendasar dalam merancang penanggulangan struktur pondasi bangunan tanggul dengan perkuatan turap (*sheet pile*) dan pelindung tebing (*revetment*). Maka dalam perancangan diperlukan acuan berupa dasar teori-teori dalam penanggulangan kerusakan tanggul akibat banjir tersebut.

Tanah merupakan komponen awal yang harus diketahui secara baik. Tanah merupakan material yang memiliki sifat-sifat yang berbeda-beda antara jenis yang satu dengan jenis lainnya. Secara umum, untuk mendeskripsikan sifat tanah dapat dilihat melalui parameter-parameter yang dimiliki tanah tersebut.

a) Faktor Penyebab Kelongsoran Tanggul

Berdasarkan buku petunjuk penyelidikan dan penanggulangan yang dikeluarkan oleh Badan Penelitian dan Pengembangan Pekerjaan Umum (Balitbang PU, 1986) terdapat beberapa faktor penyebab dari peristiwa terjadinya longsor. Peristiwa tersebut mengakibatkan terjadinya gerakan pada tanah yang dibedakan atas gangguan luar dan gangguan dalam yaitu:

1) Gangguan luar diakibatkan berupa :

- Getaran yang ditimbulkan antara lain oleh gempa bumi, peledakan, dan kereta api.
- Pembebanan tambahan, terutama disebabkan oleh aktivitas manusia misalnya adanya bangunan atau timbunan diatas tebing.
- Hilangnya penahan lateral dapat disebabkan antara lain oleh pengikisan (erosi sungai, pantai), aktivitas manusia (penggalian).
- Hilangnya tumbuhan penutup dapat menyebabkan timbulnya alur pada beberapa daerah tertentu, erosi makin meningkat dan akhirnya terjadi gerakan tanah.

2) Gangguan dalam antara lain :

- Hilangnya rentangan permukaan, selaput air yang terdapat diantara butir-butir tanah memberikan tegangan tarik yang tidak kecil, sebaliknya jika air merupakan lapisan tebal, maka akibatnya berlawanan.
- Naiknya berat massa batuan, masuknya air kedalam tanah menyebabkan terisinya rongga antar butir sehingga massa batuan bertambah.
- Naiknya muka air tanah, muka air dapat naik karena rembesan yang masuk pada pori antar butiran tanah, hal ini menyebabkan tekanan air pori naik sehingga kekuatan geser turun.
- Pengembangan tanah, rembesan air dapat menyebabkan tanah mengembang, terutama untuk tanah lempung tertentu, jika lempung tersebut terdapat dibawah lapisan lain.
- Surut cepat, jika air dalam sungai atau waduk menurun terlalu cepat, maka muka air tanah tidak dapat mengikuti kecepatan menurunnya muka air.
- Pencairan sendiri (*liquefaction*) dapat terjadi pada beberapa jenis tanah yang jenuh air seperti pasir halus lepas bila terkena getaran (gempa bumi).

2.2 Data Pengujian Tanah

Dalam menganalisis kemantapan stabilitas tanggul sungai, data-data mengenai kondisi tanah eksisting di lokasi kerusakan tanggul sangat dibutuhkan. Data-data tanah tersebut nantinya dapat digunakan sebagai parameter dalam

menganalisis stabilitas tanggul, yang selanjutnya disebut parameter tanah. Parameter tanah ini diperoleh melalui hasil pengujian sampel tanah yang umumnya dapat dilakukan dengan dua cara sebagai berikut.

2.2.1 Pengujian Lapangan

Pengujian jenis ini dapat dilakukan melalui Bor Inti berupa *Standard Penetration Test* (SPT) atau *Cone Penetration Test* (CPT), dengan pengambilan sampel tanah berupa *undisturbed sample* (UDS). Namun Tugas Akhir ini pengujian lapangan dilakukan hanya pada uji SPT, dan metoda pengujian dapat dilakukan sebagai berikut :

1) Uji SPT (Standard Penetration Test)

Pengujian SPT adalah salah satu metoda pengujian di lapangan dengan cara memasukkan (memancangkan) sebuah *Split Spoon Sampler* (tabung pengambilan contoh tanah yang dapat dibuka dalam arah memanjang) dengan diameter 50 mm dan panjang 500 mm. SPT test dilakukan dengan cara menghitung jumlah pukulan (N) palu pemukul yang diperlukan untuk mendesak tabung contoh *Split Spoon Sampler* sedalam 30 cm ke dalam tanah. Berat palu pemukul yang dipergunakan adalah 63,5 kg dengan tinggi jatuh 75 cm. Penghitungan jumlah pukulan (N) dilakukan 3 kali yaitu setiap penetrasi 15 cm. Nilai SPT diperoleh dengan menjumlahkan jumlah pukulan yang diperlukan pada 15 cm penetrasi kedua dan ketiga. Umumnya hasil pengujian *Standard Penetration Test* (SPT) ini disajikan dalam bentuk grafik pada Log Bor Inti.

2.2.2 Pengujian Laboratorium

Pada pengujian ini merupakan proses uji contoh tanah atau biasa disebut sampel tanah yang dilakukan di laboratorium dengan cara uji *index properties* dan *engineering properties*. Dari pengujian laboratorium akan diperoleh parameter-parameter tanah seperti :

- *Index Properties* yang meliputi: *Specific gravity*, *Water Content* (kadar air), *Unit weight*, dan *Atteberg Limits*.

- *Engineering Properties* yang meliputi: sudut geser (ϕ), kohesi (c), dan koefisien konsolidasi (C_u) dan (U_u).

Dalam pengujian *engineering properties* terdiri dari beberapa percobaan salah satunya melalui *triaxial test*, umumnya dilakukan beberapa jenis kondisi, seperti *Consolidated Undrained (CU)* dan *Unconsolidated Undrained (UU)*.

1) Uji Triaxial *Consolidated-Undrained (CU)*

Pada pengujian ini, sampel tanah telah mengalami penurunan secara *isotropic* dan digeser dalam tekanan tanpa keluarnya air pada kecepatan deformasi sumbu yang konstan. Metoda pengujian ini dapat mengukur kuat geser pada keadaan total maupun efektif dan tekanan sumbu diukur dari pengukuran beban aksial, deformasi aksial dan tekanan air pori. Metoda pengujian ini memberikan data yang dapat digunakan dalam menentukan kekuatan dan deformasi dari tanah kohesi seperti *Mohr strength envelopes* dan *Young's modulus*. Secara umum, tiga contoh tanah diuji pada tekanan efektif konsolidasi yang berbeda untuk menentukan kuat gesernya. Hasilnya adalah parameter kuat geser total dan efektif. Pengujian ini mengikuti pedoman dalam metoda ASTM D 4767-95.

2) Uji Triaxial *Unconsolidated-Undrained (UU)*

Pada pengujian ini sampel tanah tidak diperkenankan mengalami perubahan kadar air asli sebelum maupun selama pergeseran. Hasilnya berupa parameter kuat geser total. Uji ini diutamakan untuk menghitung stabilitas bendungan pada kondisi beban yang cepat. Pengujian ini mengikuti ASTM D 2850.

2.2.3 Korelasi Empiris Berdasarkan N-SPT

Selain dapat digunakan untuk menentukan jenis dan konsistensi tanah pada profil tanah, nilai N-SPT juga dapat digunakan untuk menentukan parameter-parameter tanah berdasarkan korelasi empiris yang sudah dikemukakan oleh para peneliti (T & Robert V, 1962). Adapun korelasi tersebut dapat dilakukan sebagai berikut:

- 1) Korelasi nilai N-SPT dan konsistensi tanah terhadap berat isi tanah lempung *saturated* (γ_{sat}), dapat dilihat pada **Tabel 2.1** berikut ini.

Tabel 2.1 Korelasi Empiris N-SPT Dengan Berat Isi Jenuh (γ_{sat}) Untuk Tanah Kohesif

N-SPT	Consistency	q_u (kPa)	γ_{sat} (kN/m^3)
<2	Very Soft	<25	16 – 19
2 – 4	Soft	25 – 50	16 – 19
4 – 8	Medium	50 – 100	17 – 20
8 – 15	Stiff	100 – 200	19 – 22
15 – 30	Very Stiff	200 – 400	19 – 22
>30	Hard	>400	19 – 22

(Sumber: Lambe W T & Whitman R V, 1969)

- 2) Sedangkan korelasi berat isi untuk tanah lempung maupun tanah pasir *unsaturated* (γ_{unsat}) dapat dilihat pada **Tabel 2.2** berikut ini.

Tabel 2.2 Korelasi N-SPT Terhadap Berat Isi Tanah Non Kohesif dan Kohesif

	Cohesionless Soil				
N	0-10	11-30	31-50	>50	
Unit Weight γ , kN/m^3	12-16	14-18	16-20	18-23	
Angle of Friction ϕ	25-32	28-36	30-40	>35	
State	Loose	Medium	Dense	Very Dense	
	Cohesive				
N	<4	4-6	6-15	16-25	>25
Unit Weight γ , kN/m^3	14-18	16-18	16-18	16-20	>20
q_u , kPa	<25	20-50	30-60	40-200	>100
Consistency	Very Soft	Soft	Medium	Stiff	Hard

(Sumber: *Soil Mechanics*, William T., Whitman, Robert V., 1962)

- 3) Korelasi nilai N-SPT untuk tanah pasir *saturated* (γ_{sat}) dapat dilihat pada **Tabel 2.3** sebagai berikut.

Tabel 2.3 Korelasi N-SPT Terhadap Berat Isi Tanah Jenuh (γ_{sat}) Non Kohesif

<i>Description</i>	<i>Very Loose</i>	<i>Loose</i>	<i>Medium</i>	<i>Dense</i>	<i>Very Dense</i>
<i>N-SPT</i>					
<i>Fine</i>	1 - 2	3 - 6	7 - 15	16 - 30	
<i>Medium</i>	2 - 3	4 - 7	8 - 20	21 - 40	> 40
<i>Coarse</i>	3 - 6	5 - 9	10 - 25	16 - 45	> 45
<i>Angle of friction ϕ</i>					
<i>Fine</i>	26 - 28	28 - 30	30 - 34	33 - 38	
<i>Medium</i>	27 - 28	30 - 32	32 - 36	36 - 42	> 50
<i>Coarse</i>	28 - 30	30 - 34	33 - 34	40 - 50	
γ_{wet} (kN/m^3)	11 - 16	14 - 18	17 - 20	17 - 22	20 - 23

(Sumber: Lambe W T & Whitman R V, 1969)

4) Korelasi Nilai N-SPT Terhadap Parameter *Undrained Shear Strength*

Nilai N-SPT pada tanah lempung akan dikorelasikan secara empiris menjadi nilai kuat geser tanah *undrained* (C_u) seperti pada **Tabel 2.4**. *Undrained shear strength* merupakan parameter kuat geser tanah berupa kohesi pada kondisi *undrained*. Berikut ini korelasi secara empiris dengan menggunakan persamaan (Das, 1995).

$$C_u = qu/2 \quad kN/m^2 \quad (2.1)$$

Tabel 2.4 Korelasi N-SPT dengan Nilai C_u

Standard penetration number, N_{60}	Consistency	Unconfined compression strength, q_u (kN/m^2)
0-2	Very soft	0-25
2-5	Soft	25-50
5-10	Medium stiff	50-100
10-20	Stiff	100-200
20-30	Very stiff	200-400
>30	Hard	>400

(Sumber: Das, Braja M)

5) Korelasi Konsistensi Tanah Terhadap Parameter *Drained Shear Strength*.

Nilai N-SPT pada tanah lempung akan dikorelasikan secara empiris menjadi nilai kuat geser tanah berupa kohesi efektif (C') dan sudut geser dalam efektif (ϕ') seperti pada **Tabel 2.5** berikut ini.

Tabel 2.5 Korelasi Empiris Parameter Kuat Geser Efektif Tanah Kohesi

Type	Soil description/state	Effective cohesion (kPa)	Friction angle (degrees)
Cohesive	Soft – organic	5–10	10–20
	Soft – non organic	10–20	15–25
	Stiff	20–50	20–30
	Hard	50–100	25–30

(Sumber: *Hand Book Of Geotechnical Investigation and Design Tables*, 2007)

6) Korelasi Modulus Elastisitas Tanah (E)

Berikut ini merupakan korelasi empiris modulus elastisitas berdasarkan konsistensi tanah. Plaxis menggunakan modulus ini sebagai modulus kekakuan dasar dalam model elastis dan model Mohr-Coulumb. Berdasarkan Tabel Korelasi (Look, 2007) sebagaimana **Tabel 2.6** berikut.

Tabel 2.6 Korelasi Empiris Modulus Elastisitas Tanah

Type	Strength of soil	Elastic modulus, E (MPa)	
		Short term	Long term
Gravel	Loose	25–50	
	Medium	50–100	
	Dense	100–200	
Medium to coarse sand	Very loose	<5	
	Loose	3–10	
	Medium dense	8–30	
	Dense	25–50	
	Very dense	40–100	
Fine sand	Loose	5–10	
	Medium	10–25	
	Dense	25–50	
Silt	Soft	<10	<8
	Stiff	10–20	8–15
	Hard	>20	>15
Clay	Very soft	<3	<2
	Soft	2–7	1–5
	Firm	5–12	4–8
	Stiff	10–25	7–20
	Very stiff	20–50	15–35
	Hard	40–80	30–60

(Sumber: *Hand Book Of Geotechnical Investigation and Design Tables*, 2007)

7) Korelasi Konsistensi Tanah Terhadap *Poisson's Ratio* (ν).

Tabel 2.7 berikut ini merupakan korelasi secara empiris antara konsistensi tanah dan Angka *Poisson's Ratio* menurut (Bowles, 1996).

Tabel 2.7 Korelasi Konsistensi Tanah dengan *Poisson's Ratio*

Type of soil	μ
Clay, saturated	0.4–0.5
Clay, unsaturated	0.1–0.3
Sandy clay	0.2–0.3
Silt	0.3–0.35
Sand, gravelly sand commonly used	– 0.1–1.00 0.3–0.4
Rock	0.1–0.4 (depends somewhat on type of rock)
Loess	0.1–0.3
Ice	0.36
Concrete	0.15
Steel	0.33

(Sumber: *Foundation Analysis and Design McGraw Hill*, Bowles J.E, 1996)

2.3 Tekanan Tanah Lateral

Tekanan tanah lateral adalah gaya yang ditimbulkan akibat dorongan tanah dibelakang struktur dinding penahan tanah atau turap. Untuk merancang dinding turap, diperlukan pengetahuan mengenai tekanan tanah lateral. Besar dan distribusi tekanan tanah pada dinding turap sangat bergantung pada regangan lateral tanah relatif terhadap dinding. Dalam beberapa hal, hitungan tekanan tanah lateral ini didasarkan pada kondisi regangannya. Berdasarkan pergerakan dinding turap terhadap tanah yang ditopangnya, tekanan tanah lateral dapat dibagi menjadi tiga bagian, yaitu:

a) Tekanan tanah kondisi diam/*at-rest*

Kondisi ini terjadi ketika dinding penahan tanah dalam keadaan diam, tidak bergerak baik ke kanan ataupun ke kiri dari posisi semula (dalam keadaan statik) sehingga massa tanah akan berada dalam keadaan *static equilibrium*.

b) Tekanan tanah aktif

Kondisi ini terjadi ketika dinding penahan tanah bergerak menjauhi tanah yang ditahannya/ tanah memberikan gaya lateral yang mendorong dinding tersebut. Massa tanah akan berada pada kondisi *plastic equilibrium*.

c) Tekanan tanah pasif

Kondisi ini terjadi ketika dinding penahan tanah tanah bergerak menuju tanah yang ditahannya/ dinding seolah-olah menekan massa tanah yang ditahannya. Massa tanah juga akan berada pada kondisi *plastic equilibrium*.

Rankine menyelidiki keadaan tegangan di dalam masa tanah yang berada pada kondisi kesetimbangan plastis (*plastic equilibrium*). Kesetimbangan plastis adalah suatu kondisi dimana setiap titik dalam suatu masa tanah menuju proses keadaan runtuh. Komponen gaya – gaya yang bekerja pada turap dapat ditentukan dengan terlebih dahulu menghitung tegangan tanah lateral aktif (σ_a) dan tegangan tanah lateral pasif (σ_p) menggunakan teori Rankine.

2.3.1 Tekanan Tanah Lateral Aktif .

Dalam menganalisis tekanan lateral tanah aktif pada **Gambar 2.1**, dinding turap bergerak ke kiri menjauhi tanah sehingga mengakibatkan berkurangnya tegangan utama horizontal secara perlahan-lahan sesuai dengan pergerakan dinding turap tersebut. Dinding turap kemudian akan bergerak menjauhi tanah sebesar ΔL , dan pada kondisi ini akan terjadi kesetimbangan plastis (*plastic equilibrium*). Tanah akan mengalami keruntuhan sesuai dengan garis keruntuhannya.

Tegangan tanah aktif secara matematis dirumuskan sebagai berikut:

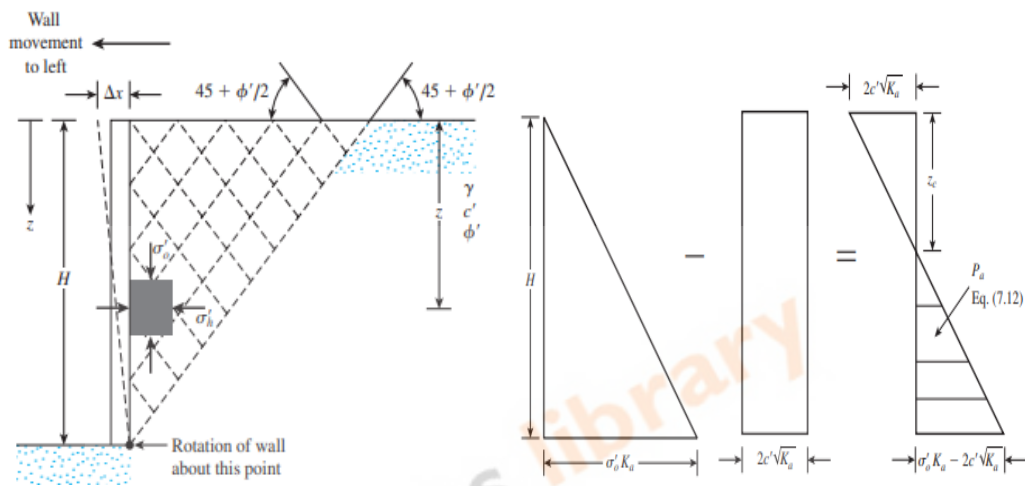
$$\sigma'_a = \gamma z K_a \quad (2.2)$$

Gaya aktif per satuan panjang dinding dirumuskan sebagai berikut:

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a \quad (2.3)$$

Koefisien tekanan tanah aktif (K_a) untuk kasus umum merupakan rasio perbandingan tekanan arah horizontal dan tekanan arah vertikal yang dapat dinyatakan sebagai :

$$K_a = \frac{\cos(\alpha - \theta) \sqrt{1 + \sin^2 \phi' - 2 \sin \phi' \cos \psi_a}}{\cos^2 \theta (\cos \alpha + \sqrt{\sin^2 \phi' - \sin^2 \alpha})} \quad (2.4)$$



Gambar 2.1 Distribusi Tekanan Lateral Tanah Aktif

(Sumber: *Principles of Foundation Engineering*, Braja M.Das, 1995)

Gambar distribusi tekanan tanah aktif dapat dilihat pada **Gambar 2.1** dari gambar tersebut terlihat bahwa tegangan pada $z = 0$ adalah :

$$\sigma'_a = -2c'\sqrt{K_a} \text{ menunjukkan tegangan tarik (tensile stress)} \quad (2.5)$$

Tegangan tarik akan berkurang terhadap kedalaman menjadi 0 pada kedalaman $z = z_c$. Karena tegangan tarik pada tanah menyebabkan retak sepanjang permukaan tanah dan dinding.

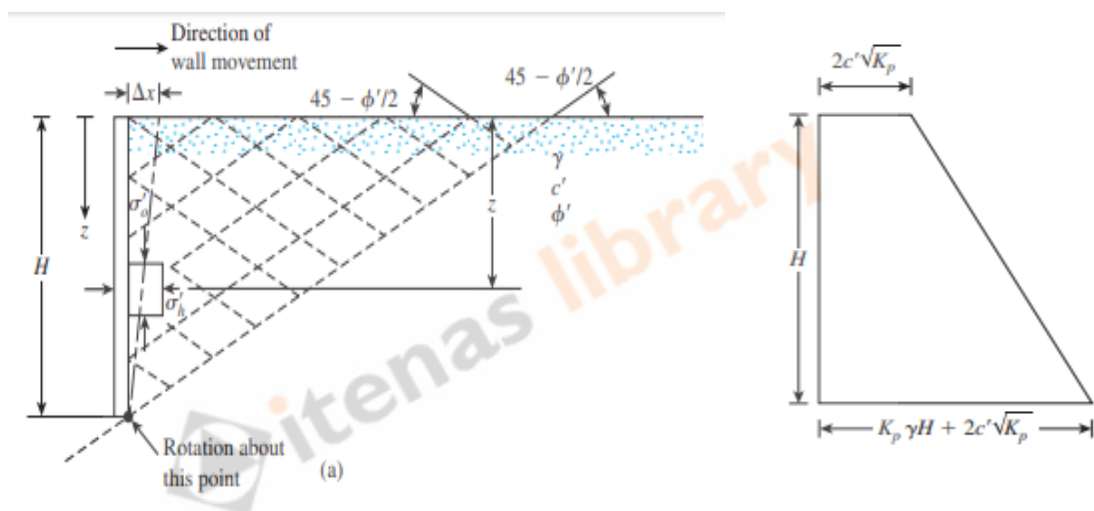
$$\gamma z_c K_a - 2c'\sqrt{K_a} = 0 \quad (2.6)$$

$$z_c = \frac{2c'}{\gamma\sqrt{K_a}} \quad (2.7)$$

Nilai gaya lateral aktif merupakan luasan dari diagram distribusi tegangan oleh tanah dan air (jika tanah terendam).

2.3.2 Tekanan Tanah Lateral Pasif

Pada kondisi tanah pasif **Gambar 2.2** terlihat bahwa dinding penahan tanah (turap) bergerak ke kanan mendekati tanah sehingga mengakibatkan bertambahnya tegangan utama horizontal secara perlahan-lahan sesuai dengan pergerakan dinding turap tersebut. Dinding turap akan bergerak mendekati tanah sebesar ΔL , dan pada kondisi ini akan terjadi kesetimbangan plastis (*plastic equilibrium*).



Gambar 2.2 Distribusi Tekanan Lateral Tanah Pasif

(Sumber: *Principles of Foundation Engineering*, Braja M.Das, 1995)

Secara matematis, tekanan tanah lateral pasif sebagai berikut:

$$\sigma'_p = \gamma z K_p \quad (2.8)$$

Dan gaya tekanan lateral tanah pasif dapat ditentukan sebagai berikut:

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

K_p = Koefisien tekanan tanah pasif. yang besarnya adalah

$$K_p = \cos \alpha \frac{\cos \alpha + \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi'}}{\cos \alpha - \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi'}} \quad (2.10)$$

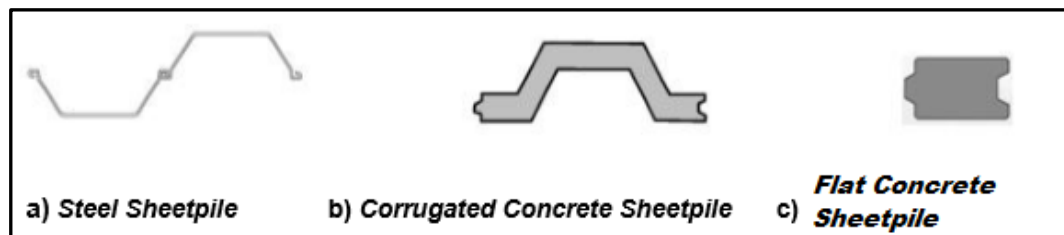
Bersamaan dengan tekanan lateral tanah aktif, untuk menentukan nilai gaya lateral tanah pasif besarnya akan sesuai dengan luasan dari distribusi tegangan yang bekerja tersebut. Jika ada tanah yang berada di bawah muka air tanah, tekanan air pori yang memberikan tekanan tanah lateral tambahan pada dinding harus ikut diperhitungkan.

2.4 Turap (*Sheet Pile*)

Turap atau *sheet pile* adalah konstruksi yang dapat menahan tekanan tanah di sekelilingnya, untuk mencegah terjadinya kelongsoran dan biasanya terdiri dari dinding turap dan penyangganya. Konstruksi dinding turap terdiri dari beberapa lembaran turap yang dipancangkan ke dalam tanah, serta membentuk formasi dinding menerus vertikal yang berguna untuk menahan timbunan tanah atau tanah yang berlereng seperti pada tanggul sungai. Turap terdiri dari bagian-bagian yang dibuat terlebih dahulu (*prefabricated*) atau dicetak terlebih dahulu (*pre-cast*). (Sri Respati, 1995).

Dinding Turap merupakan dinding menerus yang dibuat dengan cara menghubungkan antara potongan – potongan (*section*) yang saling mengunci yang bertujuan untuk menahan tekanan horizontal akibat tanah dan air, serta menghasilkan stabilitas terhadap tekanan horizontal dari tanah yang dipancang, dan menghasilkan sokongan horizontal yang bersumber dari jangkar (*anchore*, bila menggunakan turap berjangkar). Pada **Gambar 2.3** dan **Gambar 2.4** dibawah ini merupakan beberapa jenis turap yang umumnya digunakan sebagai aplikasi pondasi tanggul dilapangan, jenis-jenis tersebut terdiri dari:

- a) Turap Pancang Baja (*Steel Sheetpile*).
- b) Turap Pancang Beton Pracetak Penampang U CCSP (*Corrugated Concrete Sheetpile Precast*).
- c) Turap Pancang Beton Pracetak Penampang Persegi FCP (*Flat Concrete Sheetpile Precast*).



Gambar 2.3 Tipe Tipe Turap Pancang



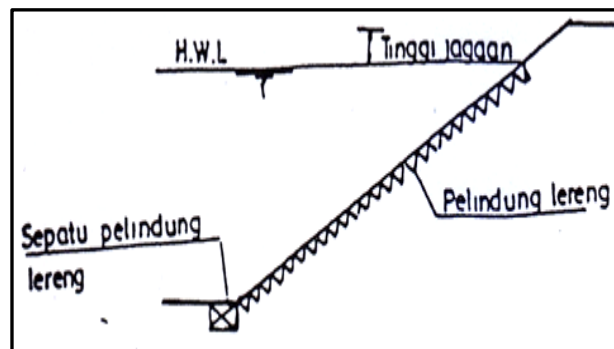
Gambar 2.4 Aplikasi Turap Beton Pada Sungai/ Kanal

2.4.1 Pelindung Tebing (*Revetment*)

Tanggul yang lengkap adalah tanggul dengan ketinggian dan bentuk tampang yang dibutuhkan untuk melindungi terhadap tinggi banjir rencana dan dilengkapi dengan konstruksi perkuatan lereng (*revetment*) dan perlindungan kaki tanggul, yang dibangun sesuai kebutuhan seperti pada **Gambar 2.5**.

Dalam merencanakan penanggulangan suatu bangunan pengaman tebing sungai, perlu memperhatikan berbagai macam kriteria sesuai dengan kondisi daerah lokasi rencana pengamanan tebing. Ada beberapa kriteria yang perlu diperhatikan yaitu :

- Posisi lokasi tebing yang akan diamankan.
- Tinggi tebing dan kemiringan.
- Jenis kerusakan tebing.
- Kondisi tanah di lokasi.
- Tinggi muka air normal dan muka air banjir.



Gambar 2.5 Pelindung Tebing (*Revetment*)

- Standar Bentuk Tanggul

Bentuk standar tanggul harus dibahas pertama-tama dari pandangan mekanika tanah, rencana muka air tinggi (HWL = *High Water Level*), durasi hujan, kondisi topografi, mekanika tanah pondasi, bahan timbunan, perkuatan permukaan dan sebagainya yang merupakan hal-hal penting untuk dipelajari. Bahan-bahan timbunan umumnya diambil dari bagian terdekat sehingga kerap kali terjadi material dasar sungai dipakai untuk bahan timbunan.

Tinggi Tanggul akan ditentukan berdasarkan rencana *High Water Level* dengan penambahan tinggi jagaan yang diperlukan. Tinggi Jagaan adalah tinggi tambahan dari rencana HWL dimana air tidak diijinkan melimpah. **Tabel 2.8** di bawah ini memperlihatkan standar hubungan antara besarnya debit banjir rencana dengan tinggi jagaan yang disarankan. (Sosrodarsono, 1984)

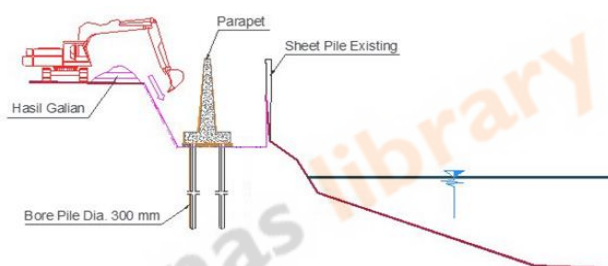
Tabel 2.8 Tinggi Jagaan Tanggul Berdasarkan debit Banjir Rencana

No	Debit Banjir Rencana (m ³ /dt)	Tinggi Jagaan (m)
1	200 - < 500	0,8
2	500 - < 2.000	1.00
3	2000 - < 5.000	1.20
4	5.000 - < 10.000	1.50
5	10.000 atau lebih	2.00

(Sumber : Perbaikan dan Pengaturan Sungai, DR. Ir. Suyono Sosrodarsono, 1984)

2.4.2 Tiang Bor (*Bored Pile*)

Bored pile adalah pondasi tiang dalam yang berbentuk tabung berfungsi meneruskan beban bangunan di atasnya dari permukaan tanah hingga lapisan tanah keras dibawahnya. Pondasi ini tidak hanya memiliki daya dukung beban pada ujung penampangnya, tetapi juga pada semua sisi-sisi luarnya (gaya gesek). Dikarenakan seluruh tiang menyatu dengan tanah, sehingga didapat kekuatan daya dukung yang menyeluruh. Selain itu pondasi *bored pile* ini dapat membantu untuk mencegah kelongsoran dan mencegah pergerakan tanah pada lereng akibat adanya tekanan lateral tanah. **Gambar 2.6** berikut merupakan salah satu contoh aplikasi tiang *bored pile* pada tanggul sungai/kanal.

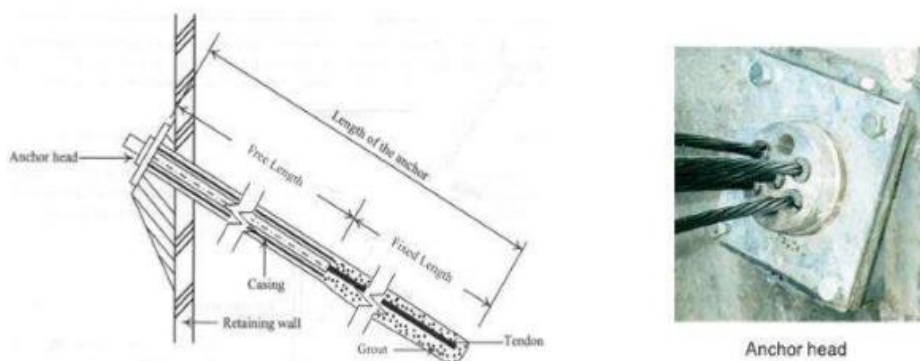


Gambar 2.6 Aplikasi Tiang *Bored Pile*

2.4.3 Angkur Tanah (*Ground Anchor*)

Prinsip *ground anchor* merupakan proses konstruksi dimana jangkar dimasukkan ke dalam tanah. Jangkar dimasukkan ke dalam lubang hasil pengeboran dan dijepit ujungnya. *Ground anchor* ini digunakan untuk menahan/menstabilkan dinding penahan tanah dengan meneruskan gaya horizontal yang diakibatkan oleh gaya dorong alami dari tanah dan beban kerja ke luar bidang runtuh tanah.

Sistem pengankuran adalah suatu sistem untuk menyalurkan gaya tarik yang bekerja ke lapisan tanah/batuan pendukung. Sistem pengankuran ini utamanya terdiri atas *fixed length*, *free length*, dan kepala ankur (*anchor head*). Pada **Gambar 2.7** berikut memperlihatkan sistem pengankuran dan kepala ankur.



Gambar 2.7 Sistem Pengankuran dan Kepala Angkur

▪ Tahapan Pelaksanaan Angkur Tanah

Pada umumnya, tahapan pemasangan *ground anchor* dapat dilakukan dengan prosedur sebagai berikut:

- 1) Pekerjaan persiapan.
- 2) Pekerjaan *drilling* tanah.
- 3) Instalasi tendon *anchor*.
- 4) *Grouting* tendon *anchor*.
- 5) *Stressing* tendon *anchor*.
- 6) Pemotongan *strand*.

2.5 Stabilitas Lereng Tanggul

Pada umumnya kestabilan lereng tergantung dari kuat geser tanahnya. Pergeseran tanah terjadi akibat adanya gerakan butiran tanah yang disebabkan gaya gravitasi. Menurut Varnes (1978) terdapat sejumlah penyebab internal maupun eksternal yang dapat menyebabkan naiknya gaya geser sepanjang bidang runtuh maupun menyebabkan turunnya kekuatan geser material, bahkan kedua hal tersebut juga dapat dipengaruhi secara serentak. Untuk menganalisis longsoran perlu mengetahui tegangan yang bekerja pada tanah serta sifat fisik dari tanah tersebut.

Tegangan yang bekerja adalah tegangan horizontal, tegangan vertikal, dan tekanan air pori. Sedangkan sifat mekanik yang mempengaruhi kestabilan lereng adalah kohesi, sudut geser dalam, dan berat isi. Namun umumnya yang

mempengaruhi stabilitas lereng yaitu gaya yang menahan masa tanah tersebut bergerak (gaya penahan), dan gaya yang membuat masa tanah bergerak (gaya penggerak).

Secara umum tanah longsor bergerak pada suatu bidang tertentu yang disebut bidang gelincir (*slip surface*) atau bidang geser (*shear surface*). Jika pada lereng sungai longsor maka hal itu berarti kekuatan geser tanah telah dilampaui. Dalam hal ini perlawanan geser pada bidang gelincir tidak cukup besar untuk menahan gaya – gaya yang bekerja pada bidang tersebut. Untuk menentukan kestabilan suatu lereng sungai harus diketahui kekuatan geser tanah pada tanggul sungai tersebut. Berdasarkan kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb dengan konsep tegangan efektif, maka kekuatan geser tanah dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

$$S = C' + (\sigma - U) \tan \phi' \quad (2.11)$$

Dimana :

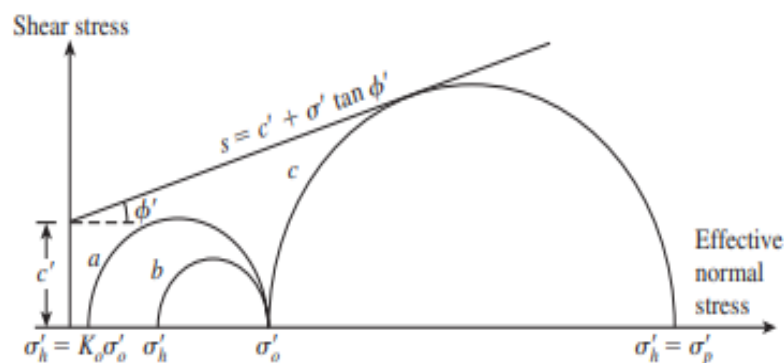
S = kekuatan geser (kN/m²)

σ = tegangan normal total pada bidang geser (kN/m²)

u = tekanan air pori (kN/m²)

c' = kohesi tanah efektif (*cohesion undrained*) (kN/m²)

ϕ' = sudut geser dalam efektif (sudut geser dalam kondisi *undrained*) (derajat)



Gambar 2.8 Ilustrasi Garis Keruntuhan Lingkaran Mohr

(Sumber: *Principles of Foundation Engineering*, Braja M.Das, 1995)

2.5.1 Faktor Keamanan (*Safety Factor*)

Analisa kestabilan lereng ditujukan untuk mendapatkan angka faktor keamanan dari suatu bentuk lereng tertentu. Dengan diketahuinya faktor keamanan, dapat memudahkan pekerjaan pembentukkan atau perkuatan lereng untuk memastikan apakah lereng yang telah dibentuk mempunyai resiko longsor atau cukup stabil. Oleh karena itu diperlukan suatu nilai faktor keamanan minimum (minimum *safety factor*) dengan suatu nilai tertentu yang digunakan sebagai batas faktor keamanan tersebut terhadap aman atau tidaknya. Berdasarkan SNI 8460:2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik (2017), nilai faktor keamanan berdasarkan tingkat ketidakpastian kondisi analisis ditentukan sebagai berikut:

$Safety\ factor \geq 1,5$: lereng aman (tingkat ketidakpastian tinggi).
$Safety\ factor \geq 1,25$: lereng aman (tingkat ketidakpastian rendah).
$Safety\ factor < 1,1$: lereng tidak aman.
$1,1 > Safety\ factor < 1,25$: lereng dalam kondisi kritis.

Pengaruh beban gempa diperhitungkan jika lereng galian atau timbunan direncanakan dibangun di dekat area pemukiman atau dibangun dengan kriteria kepentingan strategis yaitu dengan kondisi tidak boleh mengalami keruntuhan atau terputusnya lajur transportasi setelah terjadi gempa rencana. Gempa rencana untuk lereng galian dan timbunan ditetapkan dengan kemungkinan terlewati besarnya selama umur rencana 50 tahun adalah 2% atau setara dengan periode ulang 500 tahun. Faktor keamanan minimum yang disyaratkan untuk analisis menggunakan model pseudostatik adalah lebih besar dari 1,1 ($FK > 1,1$) dengan menggunakan koefisien seismik yang didapatkan dari percepatan puncak di permukaan (PGA) dengan penentuan kelas situs dan faktor amplifikasi.

2.5.2 Analisis Berdasarkan Metode Komputasi Program PLAXIS

PLAXIS 2D adalah sebuah paket program yang disusun berdasarkan metode elemen hingga dan telah dikembangkan secara khusus untuk melakukan analisis deformasi dan stabilitas dalam bidang rekayasa geoteknik. Tahap pemodelan dalam

program ini sendiri dapat dilakukan secara grafis, sehingga memungkinkan pembuatan suatu model elemen hingga yang cukup kompleks menjadi lebih cepat dan mudah, sedangkan berbagai fasilitas yang tersedia dapat digunakan untuk menampilkan hasil komputasi secara terperinci. Proses perhitungannya sendiri sepenuhnya berjalan secara otomatis dan didasarkan pada prosedur numerik.

- *Finite Element Method (FEM)*

Metode Elemen Hingga (*finite elemen method*) pertama kali digunakan dalam rekayasa geoteknik oleh Clough dan Woodward (1967), tetapi masih digunakan terbatas untuk analisis struktur tanah yang kompleks. Beberapa keuntungan dari penggunaan metode elemen hingga adalah sebagai berikut:

1. Dapat digunakan untuk menganalisis lereng dengan mekanisme longsor yang kompleks.
2. Kondisi tegangan dan regangan yang ada pada lereng dapat dimasukkan dalam perhitungan kestabilan lereng.
3. Berbagai macam kriteria keruntuhan baik yang linear maupun non-linear dapat dimasukkan dalam perhitungan kestabilan lereng.
4. Efek perkuatan pada lereng dapat dimasukkan dengan mudah dalam analisis kestabilan lereng

Metode elemen hingga pada pokoknya membagi-bagi tanah yang kontinu menjadi elemen-elemen kecil yang berhingga (*finite element*). Elemen-elemen ini saling dihubungkan antara titik-titik nodalnya dan dibatasi oleh suatu batas yang telah ditentukan terlebih dahulu. Metode perpindahan (*displacement method*) yang diformulasikan ke dalam metode elemen hingga secara tipikal digunakan untuk pemakaian dalam bidang geoteknik dan hasilnya dalam bentuk perpindahan (*displacement*), tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) pada titik-titik nodal.

Sistem analisis program ini memperhitungkan faktor keamanan dengan menggunakan reduksi phi-c. Metode reduksi phi-c yang digunakan dalam Plaxis adalah untuk menghitung faktor keamanan global melalui pendekatan nilai kohesi dan tangen dari sudut geser dan direduksi dengan proporsi yang sama :

$$\frac{c}{c_{reduksi}} = \frac{\tan \phi}{\tan \phi_{reduksi}} = \Sigma Msf \quad (2.12)$$

Keterangan :

ΣMsf = Faktor keamanan

Pemodelan tanah pada program ini terbatas pada teori Mohr-Coulumb. Untuk mengoperasikan program ini, harus memiliki basis dalam memahami sifat mekanik tanah. Adapun parameter *input* yang dapat digunakan pada model tanah sederhana Mohr-Coulomb terdiri dari:

- Berat volume tanah alami (γ_{unsat})
- Berat volume tanah jenuh air (γ_{sat})
- Permeabilitas arah horizontal (k_x)
- Permeabilitas arah vertikal (k_y)
- Modulus Elastisitas (E)
- *Poisson's ratio* (ν)
- Kohesi (c)
- Sudut geser dalam (ϕ)
- Sudut dilatasi (ψ)