

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Hidrologi

Hidrologi adalah sirkulasi air yang tidak pernah berhenti dari atmosfer ke bumi dan kembali ke atmosfer melalui kondensasi,presipitasi,evaporasi,dan transpirasi. (Hidrologi Terapan, A.syarifudin,(2017):1)

2.1.1 Presipitasi

Presipitasi pada pembentukan hujan, salju dan hujan batu (hail) yang berasal dari kumpulan awan.Awan –awan tersebut bergerak mengelilingi dunia, yang diatur oleh arus udara (Hidrologi Terapan, A.syarifudin.,2017:1)

2.1.2 Evaporasi (Penguapan)

Ketika air dipanaskan oleh sinar matahari, permukaan molekul-molekul air memiliki cukup energi untuk melepaskan ikatan molekul air tersebut, kemudian terlepas dan mengembang sebagai uap air yang tidak terlihat di atmosfer.

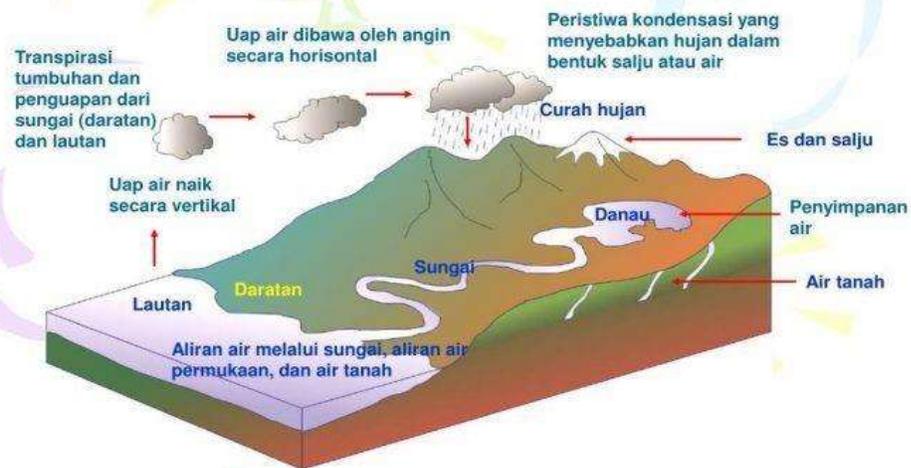
Sekitar 95.000 mil kubik air menguap ke angkasa setiap tahunnya. Hampir 80.000 mil kubik menguap dari lautan. Hanya 15.000 mil kubik berasal dari daratan,danau,sungai,lahan basah,serta dari transpirasi oleh daun tanaman yang hidup. Proses semuanya itu disebut Evapotranspirasi. (Hidrologi Terapan, A.syarifudin.,2017:2)

2.1.3 Perkolasi

Beberapa presipitasi dan salju cair bergerak ke lapisan bawah tanah, mengalir secara infiltrasi atau perlokasi melalui celah-celah dan pori-pori tanah dan bataun sehingga mencapai muka air tanah (water table) yang kemudian menjadi air bawah tanah. (Hidrologi Terapan, A.syarifudin.,2017:2)

pemanasan air samudera oleh sinar matahari merupakan kunci untuk proses siklus hidrologi dapat berjalan secara kontinu. Air berevaporasi, kemudian jatuh sebagai presipitasi dalam bentuk hujan, salju, hujan batu, hujan es dan salju (sleet), hujan gerimis atau kabut. (Hidrologi Terapan, A.syarifudin.,2017:2)

SIKLUS HIDROLOGI



Sumber: Dokumen Penerbit

Gambar 2.1 Siklus Hidrologi

(Sumber : <https://rumus.co.id/siklus-hidrologi/#!>)

Panas yang bersumber dari sinar matahari, akan mengakibatkan:

- Evaporasi: penguapan pada permukaan air sungai, danau, waduk dan pada permukaan tanah. (Hidrologi Terapan, A.syarifudin.,2017:5)
- transpirasi: penguapan dari permukaan tanaman. (Hidrologi Terapan, A.syarifudin.,2017:5)

Uap air berhasil penguapan ini pada ketinggian tertentu akan menjadi awan. Kemudian karena beberapa sebab, awan akan berkondensasi menjadi presipitasi (bisa dalam bentuk salju, hujan es, hujan, embun). (Hidrologi Terapan, A.syarifudin.,2017:5)

2.2 Hujan

Hujan merupakan Komponen penting dalam proses hidrologi. Hujan berasal dari uap air di atmosfer, sehingga bentuk dan jumlahnya dipengaruhi oleh faktor klimatologi seperti angin, temperatur dan tekanan atmosfer.

2.2.1 Data Curah Hujan

Dalam mempersiapkan data untuk analisis hidrologi untuk berbagai kepentingan pengembangan sumber daya air, seorang hidrologi dihadapkan dalam 2 masalah yaitu :

- Ketentuan tentang jumlah stasiun hujan dan stasiun hidrometri (stasiun pengamatan) yang akan digunakan dalam analisis, termasuk didalamnya pola penyebaran stasiun dalam DAS yang bersangkutan.
- Berapa besar ketelitian yang dapat dicapai oleh suatu jaringan pengamatan dengan kerapatan tertentu.

2.2.2 Uji Konsistensi Data

- RAPS (Rescaled Adjusted Partial Sums)

Uji konsistensi dengan Metode ini digunakan untuk ketidak pastian dalam data stasiun itu sendiri dengan mendeteksi pergerakan nilai rata-rata(mean).

Persamaan yang digunakan sebagai berikut :

$$Sk^* = [x - x \text{ rata rata }] \dots\dots\dots(1)$$

$$Dy^2 = Sk^{*2}/n \dots\dots\dots(2)$$

$$Sk^{**} = Sk^* / \sqrt{\sum Dy^2} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

Dy = simpangan rata-rata

n = Jumlah data

x = Data hujan ke-i

2.3 Tanah

Dalam mempelajari ilmu mekanika tanah, yang disebut tanah adalah semua endapan yang berhubungan dengan teknik sipil, kecuali batuan. Batuan memiliki ilmu sendiri yaitu mekanika batuan. Endapan alam tersebut memuat semua bahan, mulai dari tanah lempung (*clay*) sampai berangkal (*boulder*). Rekayasa tanah atau

geo-teknik merupakan salah satu ilmu termuda perkembangannya dalam teknik sipil. (Mekanika Tanah 1, Ir.G.Djarmiko Soedarmo & Ir.S.J.Edy Purnomo.,1993:11).

(Terzaghi, 1948) mekanika tanah adalah pengetahuan yang menerapkan kaidah mekanika dan hidrolika untuk memecahkan persoalan-persoalan teknik sipil yang berhubungan dengan endapan dan kumpulan butir-butir padat yang terurai yang dihasilkan oleh proses penghancuran secara alami dan kimiawi batu-batuan. Selain itu, Terzaghi juga disebut sebagai bapak mekanika tanah karena jasanya memelopori pengembangan ilmu mekanika tanah. (Mekanika Tanah 1, Ir.G.Djarmiko Soedarmo & Ir.S.J.Edy Purnomo.,1993:11)

Ilmu mekanika tanah khususnya dapat membantu memecahkan permasalahan-permasalahan dalam teknik sipil antara lain :

a. Perencanaan dan pelaksanaan pondasi

Pondasi adalah unsur penting dari semua bangunan teknik sipil, setiap bangunan baik gedung, jembatan, jalan raya, terowongan, kanal atau bendungan dibangun diatas permukaan tanah. Dalam hal ini perlu mengetahui daya dukung tanah, pola distribusi tegangan dalam tanah dibawah daerah pembebanan, adanya penurunan pondasi, pengaruh dampak air tanah dan getaran. (Mekanika Tanah 1, Ir.G.Djarmiko Soedarmo & Ir.S.J.Edy Purnomo.,1993:13). Macam-macam bentuk pondasi yang sesuai antara lain :

- pondasi dangkal
- pondasi tiang
- pondasi sumur dll.

b. Perencanaan perkerasan

Perkerasan lentur ataupun perkerasan kaku dalam pelaksanaannya bergantung pada kondisi tanah dasar. Tebal perkerasan dan komponennya tergantung dari sifat-sifat tanah dasar yang akan ditetapkan sebelum perencanaan dibuat. Pengetahuan perbaikan tanah ataupun perkuatan tanah sangat banyak

membantu dalam melaksanakan perkerasan pada tanah jelek. Biasanya pengujian berkaitan erat dengan data-data CBR, pemadatan dan daya dukung. (Mekanika Tanah 1, Ir.G.Djarmiko Soedarmo & Ir.S.J.Edy Purnomo.,1993:13).

c. Perencanaan bangunan dibawah tanah dan dinding penahan

Perencanaan dan pembangunan bangunan dibawah tanah dan dinding penahan tanah adalah salah satu kontuksi penting untuk teknik sipil. Salah satu contohnya adalah terowongan dan jaringan pipa. Untuk dinding penahan seperti kontruksi untuk dinding penahan tanah gravitasi, sekat penahan tanah berjangkar dan bendungan pengelak. (Mekanika Tanah 1, Ir.G.Djarmiko Soedarmo & Ir.S.J.Edy Purnomo.,1993:13)

d. Perencanaan penggalian dan penimbunan

Jika tanah dalam kondisi tidak datar, komponen berat tanah condong bergerak ke bawah yang menyebabkan stabilitas struktur tanah terganggu. Pengetahuan tentang kuat geser dan hubungan sifat-sifat tanah sangat membantu dalam merencanakan kemiringan dan tinggi timbunan atau galian. Kemungkinan rembesan air tanah akan mengurangi kekuatan tanah ketika sedang dilakukan penggalian. Terkadang memungkinkan untuk dilakukan pengeringan air tanah untuk mempertahankan kekuatan tanah yang ada dan mengurangi gayarembesan. Untuk menjaga keruntuhan tanah galian juga diperlukan dinding penguat lateral atau turap-turap pada kedalaman galian tertentu. (Mekanika Tanah 1, Ir.G.Djarmiko Soedarmo & Ir.S.J.Edy Purnomo.,1993:14)

e. Perencanaan bendungan tanah

Disaat membangun bangunan tanah memerlukan sangat banyak pengetahuan mekanika tanah. Hal-hal yang perlu diketahui adalah sifat-sifat tanah alami antara lain: indeks kepadatan, sifat-sifat plastisitas dan berat spesifik, distribusi ukuran butiran tanah, rembesan, konsolidasi dan sifat-sifat pemadatan serta parameter kuat geser dala kondisi bermacam-macam pengeringan tanah. (Mekanika Tanah 1, Ir.G.Djarmiko Soedarmo & Ir.S.J.Edy Purnomo.,1993:14).

Menentukan kadar air optimum dan berat isi kering maksimum pada proses pemadatan, sangat penting pada proses aspek perencanaan. Sifat-sifat tanah tersebut barulah dapat dilakukan pengabilan keputusan apakah bangunan tersebut layak dibangun atau tidak tanpa penambahan biaya, misalnya dengan perbaikan tanah dan kontruksi-kontruksi khusus, sebab dengan adanya perbaikan tanah, kontruksi khusus akan manambah besarnya biaya. (Mekanika Tanah 1, Ir.G.Djarmiko Soedarmo & Ir.S.J.Edy Purnomo.,1993:14).

2.3.1 Klasifikasi Tanah

Pada umumnya tanah diklasifikasikan sebagai tanah kohesif dan tidak kohesif atau sebagai tanah berbutir kasar dan halus. Dari hasil penyelidikan tanah di laboratium dana atau di lapangan, diketahui sifat-sifat alami dan teknis tanah tersebut serta dapat digunakan untuk mengevaluasi masalah-masalah tertentu dalam bidang teknik sipil, antara lain : (Mekanika Tanah 1, Ir.G.Djarmiko Soedarmo & Ir.S.J.Edy Purnomo.,1993:59).

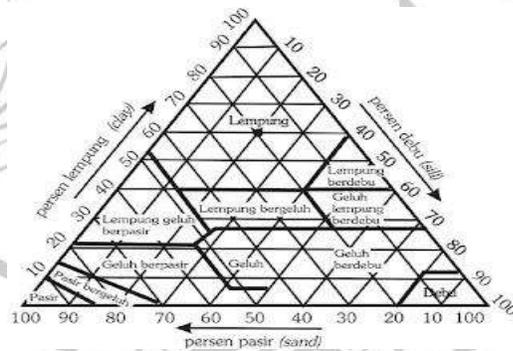
- a. Menentukan rembesan, daya rembesan dan kecepatan rembesan air melalui penampang tanah serta koefisien rembesannya.
- b. Menentukan pemampatan tanah yang berdasarkan teori konsolidasi dan penurunan, maka dapat digunakan untuk mengevaluasi penurunan kontruksi.
- c. Menentukan kuat geser tanah, untuk mengevaluasi kekuatan lereng bendungan, tanggul dan lain-lain

(Mekanika Tanah 1, Ir.G.Djarmiko Soedarmo & Ir.S.J.Edy Purnomo.,1993:59).

Klasifikasi tanah sangat membantu perencana dalam memberikan pengarahan melalui cara empiris yang tersedia dari hasil pengalaman yang lalu, namun tidak mutlak, karena perilaku tanah sukar diduga. Banyak kegagalan kontruksi disebabkan masalah tanah seperti menara pisa di Italia yang terkenal dan lain-lain. (Mekanika Tanah 1, Ir.G.Djarmiko Soedarmo & Ir.S.J.Edy Purnomo.,1993:59)

Ada tiga macam klasifikasi tanah, yaitu :

2.1 Sistem klasifikasi tanah berdasarkan persentase susunan butir tanah (*textural classification system*), klasifikasi ini dikembangkan oleh Departemen Pertanian Amerika Serikat (U.S. Department of Agriculture) dan deskripsi batas-batas susunan butir tanah dibawah system U.S.D.A. kemudian dikembangkan lebih lanjut dan digunakan untuk pekerjaan jalan raya. (Mekanika Tanah 1, Ir.G.Djarmiko Soedarmo & Ir.S.J.Edy Purnomo.,1993:60)



Gambar 2.2 Diagram Klasifikasi tekstur

(sumber : Mekanika Tanah 1- Braja M.Das, Noor Endah, Indrasurya B. Mochtar,1995:65)

3.1 Klasifikasi sistem kesatuan tanah (*Unified Soil Classification System*), yaitu sistem berdasarkan hasil-hasil percobaan laboratorium yang paling banyak dipakai secara meluas. Analisa laboratorium yang dimaksud adalah analisa ukuran butir dan batas-batas atterberg. Semua tanah diberi dua huruf penunjuk berdasarkan hasil percobaan ini. Ada dua golongan besar tanah yaitu tanah berbutir kasar < 50 %, dan tanah berbutir halus > 50 % melalui ayakan no.200. Sistem ini pada awalnya dikembangkan untuk pembangunan lapangan terbang, diuraikan oleh Casagrande (1948), dan pada tahun 1952 sistem ini terpakai pada konstruksi bendungan dan konstruksi-konstruksi lainnya. Dengan mengombinasikan huruf pertama dan kedua, maka enam kelompok yaitu : OH, OL, CH, CL, MH dan ML. Klasifikasi kedalam golongan dilakukan dengan menggunakan diagram plastis. (Mekanika Tanah 1, Ir.G.Djatmiko Soedarmo & Ir.S.J.Edy Purnomo.,1993:61)

Tabel 2.1 Klasifikasi Sistem Kesatuan Tanah

Divisi utama		Simbol kelompok	Nama umum
Tanah Berbutir Kasar Lebih dari 50% butiran tertahan pada ayakan No. 200 ⁺	Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lebih dari 50% ayakan No. 4	Kerikil berah (hanya kerikil)	GW Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
		Kerikil dengan butiran halus	GP Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
		Pasir dengan butiran halus	GM Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau
			GC Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung
	Kerikil 30% atau lebih dari fraksi kasar tertahan pada ayakan No. 4	Pasir berah (hanya pasir)	SW Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
			SP Pasir bergradasi-buruk dan pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
		Pasir dengan butiran halus	SM Pasir berlanau, campuran pasir-lanau
			SC Pasir berlempung, campuran pasir-lempung
Tanah Berbutir Halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200	Lanau dan Lempung Batas cair 50% atau kurang	ML Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung	
		CL Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (lean clays)	
		OL Lanau - organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
	Lanau dan Lempung Batas cair lebih dari 50%	MH Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis.	
		CH Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (fat clays)	
		OH Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi	
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi		PT Peat (gambut), muck, dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi	

sumber : Mekanika Tanah 1- Braja M.Das, Noor Endah, Indrasurya B. Mochtar,1995:71)

Tabel 2.2 Lanjutan Klasifikasi Sistem Kesetuan Tanah

	Kriteria klasifikasi	
Klasifikasi berdasarkan persentase butir halus Kurang dari 5% lolos ayakan No. 200 GW, GP, SW, SP Lebih dari 5% lolos ayakan No. 200 GM, GC, SM, SC 5% sampai 12% lolos ayakan No. 200 Klasifikasi perbatasan yang memerlukan penggunaan dua simbol	$C_u = D_{60}/D_{10}$ Lebih besar dari 4 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3.	
	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $P_f < 4$	Batas-batas Atterberg yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda
	Batas-batas Atterberg di atas garis A dengan $P_f > 7$	
	$C_u = D_{60}/D_{10}$ Lebih besar dari 6 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3	
	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW	
Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $P_f < 4$	Batas-batas Atterberg yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda	
Batas-batas atterberg di atas garis A dengan $P_f > 7$		

Bagan Plastisitas

Untuk klasifikasi tanah berbutir-halus dan fraksi halus dari tanah berbutir-kasar

Batas Atterberg yang digambarkan di bawah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda

Persamaan garis A
 $P_f = 0,73(LL - 20)$

Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat dalam
ASTM Designation D-2488

(sumber : Mekanika Tanah 1- Braja M.Das, Noor Endah, Indrasurya B. Mochtar,1995:72)

4.1 Klasifikasi sistem AASHTO (*AASHTO Classification System*), dikembangkan pada tahun 1929 oleh *Public Road Administration Classification System*. Dengan beberapa kali perubahan dan dianjurkan oleh Committee on Classification of Material for Subgrade and granular type Roads of the Highway Research Board pada tahun 1945. (ASTM menggunakan kode D-3282 dan AASHTO dengan metode M145) (Mekanika Tanah 1, Ir.G.Djatmiko Soedarmo & Ir.S.J.Edy Purnomo.,1993:63-64)

Tabel 2.3 Klasifikasi Tanah (Sistem ASSHTO)

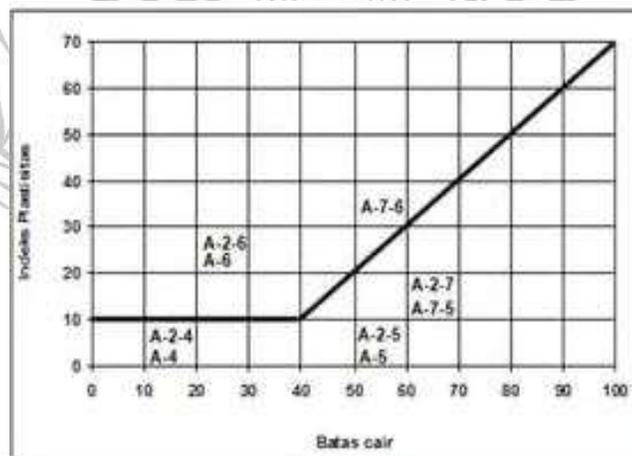
Klasifikasi Tanah untuk Lapisan Tanah Dasar Jalan Raya (Sistem AASHTO).

Klasifikasi umum	Tanah berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)						
	A-1		A-3	A-2			
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisis ayakan (% lolos) No. 10 No. 40 No. 200	Maks 50 Maks 30 Maks 15	Maks 50 Maks 25	Min 51 Maks 10	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40 Batas cair (LL) Indeks plastisitas (PI)	Maks 6		NP	Maks 40 Maks 10	Min 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Min 11
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik						

Klasifikasi umum	Tanah lanau - lempung (Lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)			
	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7.5 A-7.6
	Analisis ayakan (% lolos) No. 10 No. 40 No. 200	Min 36	Min 36	Min 36
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40 Batas cair (LL) Indeks plastisitas (PI)	Maks 40 Maks 10	Maks 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Min 11
Tipe material yang paling dominan	Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek			

* Untuk A-7.5, $PI \leq LL - 30$
† Untuk A-7.6, $PI > LL - 30$

(sumber : Mekanika Tanah 1- Braja M.Das, Noor Endah, Indrasurya B. Mochtar,1995:67)



Gambar 2.3 Rentang dari Batas Cair (LL) dan Indeks Plastisitas (PI)

(sumber : Mekanika Tanah 1- Braja M.Das, Noor Endah, Indrasurya B. Mochtar,1995:68)

2.4 Tanggul

Tanggul dipakai untuk melindungi daerah irigasi dari banjir yang disebabkan oleh sungai, pembuangan yang besar atau laut. Biaya pembuatan tanggul banjir bisa menjadi sangat besar jika tanggul itu panjang dan tinggi. Karena fungsi lindungannya yang besar terhadap daerah irigasi dan penduduk yang tinggal di daerah – daerah ini, maka kekuatan dan keamanan tanggul harus benar - benar diselidiki dan direncanakan sebaik – baiknya. (sumber : KP 04 ; 221)

2.4.1 Material Tanggul

Material yang dimaksud disini mengacu pada (KP-04-2013. Bangunan) adalah material yang digunakan untuk tanggul biasanya berasal dari bahan timbunan yang digali didekat atau sejajar dengan garis tanggul. Apabila galian dibuat sejajar dengan lokasi tanggul, maka penyelidikan untuk pondasi dan daerah galian dapat dilakukan sekaligus. Untuk tanggul-tanggul tertentu mungkin perlu membuka daerah sumber bahan timbunan khusus diluar lapangan dan mengangkutnya ke lokasi. Jika kondisi tanah tidak stabil mungkin akan lebih ekonomis untuk memindahkan lokasi tanggul daripada menerapkan metode pelaksanaan yang mahal. Namun, KP-06-2013 Parameter Bangunan memberikan system yang sangat bermanfaat untuk menentukan klasifikasi tanah yang perlu diketahui dalam pelaksanaan tanggul dan pondasi. (sumber : KP 04 ; 222)

2.4.2 Debit Perencanaan Tanggul

Elevasi tanggul hilir sungai dari bangunan utama didasarkan pada tinggi banjir dengan periode ulang 5 sampai 25 tahun (Q 5 tahunan untuk hutan tapi untuk melindungi perkotaan Q 25 tahunan). (sumber : KP 04 ; 222)

Periode ulang tersebut (5 – 25 tahun) akan ditetapkan berdasarkan jumlah penduduk yang terkena akibat banjir yang mungkin terjadi, serta pada nilai ekonomis tanah dan semua prasarananya. Biasanya disebelah hulu bangunan utama tidak akan dibuat tanggul sungai untuk melindungi lahan dari genangan banjir. (sumber : KP 04 ; 222)

2.2.3 Trase

Tanggul disepanjang sungai sebaiknya direncanakan trase pada jarak yang tepat dari dasar air rendah. Bila hal ini tidak mungkin, maka harus dibuat perlindungan terhadap erosi di sepanjang tanggul. Langkah yang perlu dilakukan yaitu penyelidikan pendahuluan mengenai lokasi tanggul guna menentukan : (sumber : KP 04 ; 222)

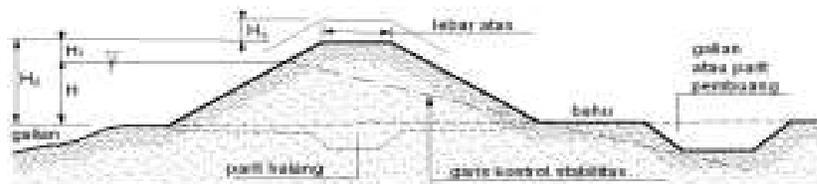
- Perkiraan muka air banjir (tinggi dan lamanya)
- Elevasi tanah yang akan dilindungi
- Hak milik yang akan dilibatkan
- Masalah-masalah fisik yang sangat mungkin dijumpai, terutama kondisi tanah karena erat berkaitan dengan kebutuhan pondasi dan galian timbunan
- Tata guna lahan dan peningkatan tanah pertanian guna menilai arti penting daerah yang akan dilindungi dari segi ekonomi.

(sumber : KP 04 ; 222 - 223)

2.2.4 Tinggi Jagaan

Tinggi rencana tanggul (H_d) merupakan jumlah tinggi muka air rencana (H) dan tinggi jagaan (H_f). Ketinggian yang dibuat itu termasuk longgaran untuk kemungkinan penurunan, yang akan bergantung kepada pondasi serta bahan yang dipakai dalam pelaksanaan. Tinggi jagaan tanggul sebaiknya diambil 0.60 m.

(sumber : KP 04 ; 223)



Gambar 2.4 Potongan Melintang Tanggul

(Sumber : KP-04 Bangunan; 223)

Dalam KP-03 Saluran juga memberikan kriteria untuk menentukan tinggi jagaan tanggul.

Tabel 2.4 Tinggi Jagaan

Q (m ³ /dt)	Tinggi Jagaan (m)
< 0,5	0,40
0,5 – 1,5	0,50
1,5 – 5,0	0,60
5,0 – 10,0	0,75
10,0 – 15,0	0,85
> 15,0	1,00

(Sumber : KP-03 Saluran;29)

2.2.5 Lebar Atas Tanggul

Untuk tanggul tanah yang direncanakan guna mengontrol kedalaman air < 1,5 m, lebar minimum tanggul dapat diambil 1,5 m. Jika kedalam air yang akan dikontrol lebih dari 1,5 m, maka lebar minimum sebaiknya diambil 3 m. Lebar atas diambil sekurang-kurangnya adalah 3 m jika tanggul dipakai untuk jalur pemeliharaan. (Sumber : KP-04 Bangunan ;223).

Tabel 2.5 Lebar Minimum Tanggul

Debit Rencana (m ³ /dt)	Tanpa Jalan Inspeksi (m)	Dengan Jalan Inspeksi (m)
$Q \leq 1$	1,00	3,00
$1 < Q < 5$	1,50	5,00
$5 < Q \leq 10$	2,00	5,00
$10 < Q \leq 15$	3,50	5,00
$Q > 15$	3,50	≈ 5,00

(Sumber : KP-03 Saluran ; 29)

Jalan inspeksi terletak ditepi saluran di sisi yang diairi agar bangunan sadap dapat dicapai secara langsung dan usaha penyadapan liar makin sulit dilakukan. Lebar jalan inspeksi dengan perkerasan adalah 5,0m atau lebih, dengan lebar perkerasan sekurang-kurangnya 3,0 meter.

2.2.6 Kemiringan Talud

Tabel 2.6 Kemiringan Talud Berdasarkan Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah ¹⁾	Kemiringan	Kemiringan
	hulu	hilir
GW, GP, SW, SP	tak kedip air, tak cocok	
GC, GM, SC, SM	1 : 2,5	1 : 2
CL, ML	1 : 3	1 : 2,5
CH, MH	1 : 3,5	1 : 2,5

(sumber: KP-02 Bangunan utama)

Penggunaan harga – harga itu dianjurkan untuk tanggul tanah homogen pada pondasi stabil yang tingginya kurang dari 5m. Jikapondasi tanggul terdiri dari lapisan – lapisan lulus air atau lapisan yang rawan terhadap bahaya erosi bawah tanah (piping), maka harus dibuat parit halang (cutt-off trench) yang dalamnya sampai 1/3 dari kedalaman air. Sumber : (KP-02 Bangunan utama ; 210)

(Sumber : KP-03 Saluran ; 45)

Tabel 2.7 Kemiringan talut minimum untuk saluran timbudanan

Kedalaman Air + Tinggi Jagaan D (m)	Kemiringan Minimum Talut
$D \leq 1,0$	1 : 1,0
$1,0 < D \leq 2,0$	1 : 1,5
$D > 2,0$	1 : 2,0

Kemudian untuk tanggul yang tingginya lebih dari 3 m lebar bahu tanggul harus dibuat sekurang-kurangnya 1 m (setiap 3 m). bahu tanggul harus dibuat setinggi mukaair rencana disaluran. Untuk kemiringan luar, bahu tanggul (jika perlu) harus terletak ditengah-tengah antara bagian atas dan pangkal tanggul.

2.2.7 Teras Tanggul

Pembuatan teras tanggul harus memperhatikan beberapa hal sebagai berikut :

1. Teras tanggul harus disediakan di tengah tanggul, bila tidak mungkin dihindarkan karena keadaan topografi dan alasan khusus lainnya.
2. Teras tanggul disediakan tiap 3 m – 5 m dari puncak pada sisi yang berhubungan dengan air bila tinggi tanggul 6 m atau lebih dan setiap 2 m -3 m dari puncak di sisi daratan bila tinggi tanggul 4 m atau lebih.
3. Lebar minimal 3 m.

2.5 Teknik Perbaikan Tanah

Untuk perbaikan tanah ini yaitu dengan metode meningkatkan kekuatan geser tanah dengan beberapa cara disesuaikan dengan jenis tanah serta sifat tanah.

(sumber : KP 06 ; 49)

2.5.1 Stabilitas Tanah

Stabilitas tanah khususnya tanah lunak dengan bahan pencampur seperti semen, kapur atau bahan kimia lainnya dengan maksud untuk meningkatkan kekuatan tanah, sifat tegangan dan regangan, masa guna bangunan dan menurunkan sifat rembesan serta pemampatan tanah termasuk mengurangi sifat mengembang dan penyusutan. Bahannya adalah : (sumber : KP 06 ; 49)

- Dengan bahan organik seperti arcylamides, resains, polyurethanes.
- Dengan bahan anorganik yang sering digunakan seperti semen dan kapur. Umumnya variasi penggunaan bahan campur kapur dengan perbandingan berat kering antara 3-8 % kapur dari berat kering tanah. Jika menggunakan semen perbandingan antara 3-10 %semen dari berat kering tanah. Proses pencampuran sangat sederhana yang umum dilakukan dengan menghamparkan timbunan tanah dan bahan pencampur lapis demi lapis

sehingga diharapkan cukup merata. Kendala utama proses pencampuran ini adalah tinggi kadar air tanah sehingga proses pencampuran tidak sempurna. (sumber : KP 06 ; 49)

2.5.2 Perkuatan Tanah Dengan Kolom Kapur Atau Semen

Untuk menyempurnakan dan meningkatkan tanah lunak Okumura dan Terashi (1975), Brom S dan Browman (1976) serta Sokolovik es (1976) mengenalkan system pembuatan kolom kapur atau semen. Kolom kapur atau semen dibuat dengan mencampurkan semen langsung pada kedalaman lapisan tanah lunak yang diinginkan melalui alat pencampur yang bernama pengaduk dan dilengkapi dengan lubang mata bor. (sumber : KP 06 ; 50)

Berdasarkan hasil penelitian yang ada dengan penggunaan bahan kapur 6%-12%, kekuatan meningkat antara 15,8 kali kekuatan awal tanah lunak, dan nilai akhir rembesan akan turun 100-1000 kali. (sumber : KP 06 ; 50)

2.5.3 Geotextile

Penulangan tanah dengan geotextile sebagai usaha peningkatan tanah yang dikembangkan oleh Vidal, 1960. Mekanisme peningkatan kekuatan tanah dengan penulangan ini adalah terjadi interaksi antara tanah dan bahan penulangan seperti geotextile, jadi melalui kekuatan geser tanah yang bekerja dan bahan geotextile ini maka kekuatan tanah akan meningkat. (sumber : KP 06 ; 50)

Metode geotextile ini mempunyai kelebihan antara lain murah dan pelaksanaan pembangunan singkat serta meningkatkan daya dukung tanah lunak dan perkuatan lereng serta dinding permukaan tanah. (sumber : KP 06 ; 50-51)

2.5.4 Cerucuk

Cara peningkatan tanah pondasi yang masih relative murah sehubungan ketersediaan bamboo yang digunakan sebagai tiang pancang dan bambu yang digunakan mempunyai diameter 4 cm – 7 cm. (sumber : KP 06 ; 51)

2.5.5 Preloading

Peningkatan kekuatan geser tanah lunak dapat dilaksanakan dengan cara meningkatkan nilai kepadatan tanah, maka kandungan air dalam tanah ini harus diturunkan, salah satu untuk meningkatkan dan mengeluarkan air dalam pori-pori tanah melalui lapisan pasir seperti geodrains dan jutefibre drain dan dengan menggunakan prapembebanan (preloading). (sumber : KP 06 ; 51)

Dengan preloading lapisan pondasi tanah lunak mengalami peningkatan dalam berat isi, kekuatan geser, dan mempunyai sifat pemampatan sehingga daya dukung akan meningkat serta penurunan akibat beban rencana relative kecil. (sumber : KP 06 ; 51)

2.5.6 Pemadatan Tanah

System pemadatan tanah telah dikenal ribuan tahun yang lalu, masa tanah terdiri dari partikel-partikel padat, udara dan air. Dengan cara pemadatan, udara di dalam ruang pori tidak mungkin seluruhnya dapat dikeluarkan yang berarti bahwa keadaan jenuh sempurna tidak akan pernah tercapai. (sumber : KP 06 ; 52)

Salah satu cara untuk memperoleh hasil pemadatan yang maksimal adalah dengannilai kepadatan tanah yang tinggi tergantung pada kadar air dan energy pemadatan. Metode pemadatan ada 2 macam cara yaitu : (sumber : KP 06 ; 52)

- a. Kepadatan ringan SNI 1743-1989-F
- b. Kepadatan berat SNI 1743-1989-F

Didalam pelaksanaan dilapangan untuk pengawasan hasil metode pemadatan digunakan beberapa pedoman yaitu :

- Untuk menilai kadar air lapangan dan kepadatan dengan konus pasir sesuai SKSNI M-13-1991-03
- Nilai kepadatan lapangan dengan Cilinder (ASTM-D2937-71)
- Kepadatan lapangan dengan Nuklis (ASTM-D2922-76)

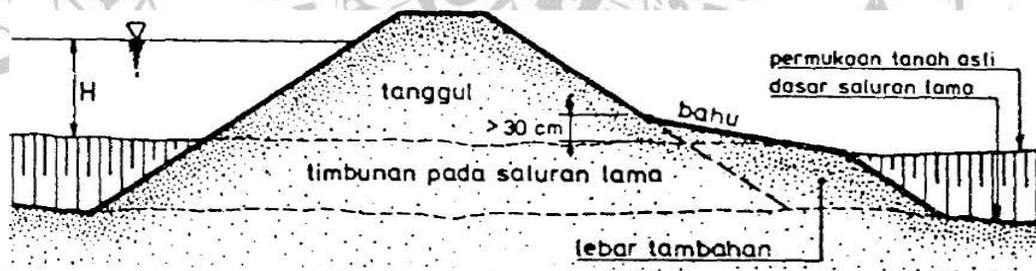
- Kepadatan lapangan dengan balon karet (ASTM-D2167-66)

Mengenai teknik pemadatan tanah lunak hingga saat ini masih sulit memperoleh nilai kepadatan tanah yang diisyaratkan. Hal ini karena dipengaruhi oleh kadar air pemadatan dilapangan. Untuk tanah lunak, kandungan air sangat tinggi dan memperoleh kadar air optimum diperlukan waktu yang cukup lama untuk pengeringan ini. (sumber : KP 06 ; 52)

2.6 Stabilitas Tanggul

Tanggul yang tingginya lebih dari 5 meter harus dicek stabilitasnya dengan metode stabilitas tanggul yang sesuai. Metode yang disarankan dijelaskan dalam bagian KP-06-2013 Parameter Bangunan. (sumber : KP 04 ; 224).

Apabila tanggul merupakan saluran lama maka, dasar tanggul harus diperlebar pada bagian samping luar. Lebar tambahan ini sekurang-kurangnya sama dengan tinggi tanggul (h) diatas elevasi asli tanah. Bagian atas yang diperlebar sebaiknya tidak kurang dari 0,3 m diatas elevasi asli tanah serta kemiringannya harus cukup agar air dapat melimpas dari tanggul. Kemiringan timbunan tambahan tidak boleh lebih curam dari kemiringan asli tanggul. (sumber : KP 04 ; 224).



Gambar 2.5 Dasar yang Diperlebar pada Lintasan Saluran

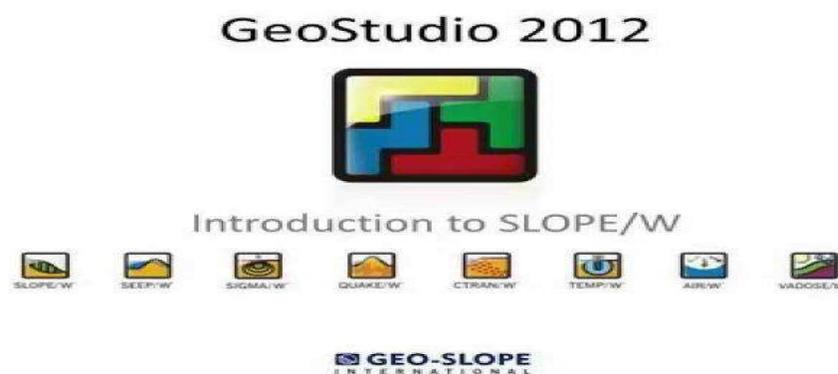
Sumber : Kementerian PUPR, 2013

Jika tanggul mempunyai lebar atas yang kecil/sempit, maka bahu (berm) bagian tambahan harus cukup lebar guna mengakomodasi jalur pemeliharaan selama mukaair mencapai ketinggian kritis. Fasilitas ini harus disediakan disemua potongan jika bagian atas tanggul tidak dipakai sebagai jalur pemeliharaan. (sumber : KP 04 ; 225).

2.6.1 Stabilitas Lereng Dengan Software Geoslope

Dalam menghitung dan mengetahui stabilitas lereng terhadap tanggul yang direncanakan maka perlu pemodelan yang melibatkan aplikasi atau software. Banyak aplikasi yang mendukung untuk mengetahui kestabilan lereng, namun dalam perencanaan kali ini memakai bantuan dari Geoslope.

GeoSlope adalah suatu software yang membantu insinyur dalam menyelesaikan suatu permasalahan terutama yang berhubungan dengan tanah.



Gambar 2.6 GeoStudio 2012

2.6.2 Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah dapat dicari dengan rumus Terzaghi, (sumber : Mekanika Tanah 2- Braja M.Das, Noor Endah, Indrasurya B. Mochtar, : 122)

$$q_{ult} = c N_c + q N_q + \gamma \cdot B N_\gamma \dots\dots\dots(2.1)$$

keterangan :

q_{ult} = daya dukung tanah (Kn/m²)

c = kohesi, tegangan kohesif (Kn/m²)

N_c, N_q, N_γ = faktor-faktor daya dukung tanah

γ = berat volume tanah (Kn/m³)

B = lebar telapak pondasi (m)

Dan beberapa daftar harga S_c dan S_γ sesuai bentuk potongan melintang pondasi dapat dilihat pada berikut :

Tabel 2. 8 Daftar Harga S_c dan S_r Bentuk Potongan Melintang Pondasi

Parameter	Bentuk pondasi		
	Menerus	Bundar	Bujur sangkar
S_c	1,0	1,3	1,3
S_r	1,0	0,6	0,8

(Sumber : Analisa dan desain pondasi KP-06 Parameter Bangunan)

Tabel 2. 9 Faktor-faktor Daya Dukung untuk Terzaghi

θ (°)	N_c	N_q	N_γ	K_{py}
0	5,7 ¹	1,0	0,0	10,8
5	7,3	1,6	0,5	12,2
10	9,6	2,7	1,2	14,7
15	12,9	4,4	2,5	18,6
20	17,7	7,4	5,0	25,0
25	25,1	12,7	9,7	35,0
30	37,2	22,5	18,7	52,0
34		36,5	36,0	
35	52,6	41,4	42,4	82,0
40	95,7	81,3	100,4	141,0
45	172,3	173,3	297,5	298,0
48	258,3	287,9	780,9	
50	347,5	415,1	1153,2	800,0

(Sumber : KP 6 ; 33)

Faktor faktor daya dukung untuk persamaan terzaghi (nilai-nilai N_γ untuk θ sebesar 34° dan 48° adalah nilai Terzaghi asli untuk menghitung k_{py} (sumber KP 06;33)

Tabel 2.10 Harga-harga Perkiraan Daya Dukung Izin

Jenis	Daya dukung	
	kN/m ²	Kgf/cm ²
1. batu sangat keras	10.000	100
2. batu kapur /batu pasir keras	4.000	40
3. kerikil berkerapatan sedang atau pasir dan kerikil	200-600	2 – 6
4. Pasir berkerapatan sedang	100- 300	1 – 3
5. lempung kenyal	150- 300	1,5 – 3
6. lempung teguh	75 - 150	0,75 –
7. lempung lunak dan lanau	< 75	1,5 < 0,75

(sumber : KP 6 ; 31)

2.6.3 Kontrol Terhadap *Piping*

Rembesan melalui tubuh bendungan, fondasi, tumpuan, dan tepian/ bukit sekeliling waduk harus terkendali, sehingga tidak boleh terjadi gaya angkat (uplift) yang berlebihan, ketidak stabilan, longsoran, aliran buluh, terhanyutnya material karena pelarutan, atau erosi internal/ material terbawa aliran rembesan melalui rekahan, kekar dan rongga. Tebing/dinding sekeliling waduk harus stabil pada segala kondisi operasi (severe operation), sehingga tidak boleh terjadi ketidak stabilan pada dinding tipis sekeliling waduk. Hal ini dapat mengakibatkan terjadinya longsoran besar yang masuk ke dalam waduk saat pengisian waduk (impounding) sehingga memicu timbulnya gelombang besar yang dapat mengakibatkan luapan air waduk. Keamanan bendungan urugan tanah terhadap piping dapat dihitung berdasarkan rumus berikut :

(sumber : Modul 12 analisa stabilitas bendungan perhitungan rembesan , pusat pendidikan dan peletahian sumber daya air dan konstruksi (2017) ; 62-63)

$$FK = \frac{lc}{le} \geq 4 \dots\dots\dots (2.2)$$

$$Ic = \frac{\gamma}{\gamma_w} = \frac{Gs-1}{1+e} \dots\dots\dots (2.3)$$

keterangan :

FK = faktor keamanan (tanpa dimensi) = 4,00

Ic = gradient keluaran kritis (tanpa dimensi)

Ie = gradient keluaran dari hasil analisis rembesan atau pembacaan intrumen pisometer (tanpa dimensi)

γ = berat volume efektif (terendam) (t/m^3)

γ_w = berat volume air (t/m^3)

Gs = gravity spesifik (tanpa dimensi)

e = angka pori

2.6.4 Kontrol Terhadap Rembesan

Tahun 1856, Henry Darcy, seorang ahli hidraulika dari Perancis mengadakan suatu percobaan aliran air yang melalui suatu lapisan tanah. Karena aliran air dalam lapisan tanah mempunyai kecepatan yang kecil sekali, maka aliran tersebut dapat dianggap sebagai aliran laminar. Darcy mendapatkan bahwa besarnya kecepatan aliran yang mengalir masuk ataupun keluar dari lapisan tanah sebanding dengan gradien hidrauliknya

beberapa hal yang perlu diperhatikan pada hukum Darcy, adalah :

- Kecepatan aliran V_d adalah kecepatan aliran fluida dan didefinisikan sebagai jumlah kuantitas aliran yang mengalir melalui luas penampang massa tanah dalam satuan waktu tertentu. Karena aliran hanya terjadi melalui pori-pori tanah, aliran air yang riil atau kecepatan rembesan (V_s) untuk suatu molekul tunggal dari air yang melalui suatu alur unik dari pori-pori tanah adalah lebih besar dibandingkan dengan kecepatan debitnya.
- Kecepatan rembesan secara kasar adalah sama dengan kecepatan debit dibagi dengan porositas tanah.
- Hukum Darcy hanya berlaku untuk aliran laminar (aliran-aliran air yang berdekatan saling sejajar dan lurus serta kecepatan aliran V_d adalah proporsional dengan gradien hidraulik, i). Hukum ini berlaku untuk kebanyakan tanah, tetapi aliran melalui kerikil kasar dan bukaan dalam batuan dapat berubah menjadi turbulen dan V_d akan proporsional dengan akar kuadrat dari i .
- Hukum Darcy dibatasi untuk aliran melalui material yang jenuh. Aliran melalui material yang tak jenuh adalah dalam kondisi "transient" yang tergantung dari waktu (time dependent).
- Hukum Darcy tidak cocok untuk aliran melalui retakan atau rekahan dari batu atau tanah.

Semua metode analisis didasarkan pada persamaan Darcy yaitu :

(sumber : Modul 12 analisa stabilitas bendungan perhitungan rembesan , pusat pendidikan dan peletahian sumber daya air dan konstruksi (2017) ; 62-63).

$$q = K I A \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

- q = debit rembesan (m^3/s)
- I = gradient hidraulik (tanpa dimensi)
- A = luas potongan yang ditinjau (m^2)
- K = koefisien permeabilitas (m/s)

