

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tanah

2.1.1 Umum

Secara universal, tanah adalah bahan bangunan yang berasal dari alam yang tersusun dari kombinasi biji-bijian dengan atau tanpa bahan organik. Pengertian universal tanah adalah kumpulan bagian-bagian yang bersifat padat dan tidak terikat satu sama lain (antara lain dapat berupa bahan organik) rongga antara bahan-bahan tersebut mengandung udara dan air (Verhoef C., 1994). Jalinan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida yang mengendap di antara partikel. Ruang antar partikel dapat mengandung air, udara, atau lainnya (Hardiyatmo H. C., 1992).

Dalam proses pembuatan tanah dapat terjalin karena proses kimia dan proses fisika, proses fisika ini terjalin dalam bentuk erosi oleh angin, pengikisan oleh air atau gletser sebaliknya proses kimia menyebabkan terbentuknya perubahan lapisan mineral batuan asli. Hal ini disebabkan adanya air yang memiliki asam alkali, oksigen dan karbon dioksida (Wesley, 1977).

Pada dasarnya semua jenis tanah tersusun atas butiran tanah, air, dan udara di dalam ruangan diantara butiran-butiran tersebut, umumnya ruangan ini diucapkan dengan pori-pori (void). Tanah dapat dikatakan kering jika tidak ada air di dalam pori-pori sama sekali, tetapi peristiwa ini tidak sering ditemukan dalam kondisi lapangan, mungkin air yang tidak ditemukan di pori-pori hanya dapat terjalin jika dicoba dengan tindakan khusus untuk menghilangkan kadar air dalam tanah dengan metode seperti memanaskan tanah di dalam oven.

Interpretasi Bowles tentang tanah (1984) adalah kombinasi partikel yang terdiri dari satu atau semua jenis berikut.

1. Berangkal(boulders) ialah potongan batuan yang besar, umumnya lebih besar dari 250 hingga 300 milimeter serta buat dimensi 150 milimeter hingga 250 milimeter, fragmen batuan ini diucap kerakal(cobbles/ pebbles).
2. Kerikil ialah partikel batuan yang berdimensi 5 milimeter hingga 150 milimeter.

3. Pasir(sand) ialah partikel batuan yang berdimensi 0, 074 milimeter hingga 5 milimeter, yang berkisar dari agresif dengan dimensi 3 milimeter hingga 5 milimeter hingga bahan halus yang berukuran < 1 milimeter'.
4. Lanau(silt) ialah partikel batuan yang berdimensi dari 0, 002 milimeter hingga 0, 0074 milimeter.
5. Lempung(clay) ialah sesuatu partikel mineral yang berdimensi lebih kecil dari 0, 002 milimeter yang ialah sumber utama dari kohesi pada tanah yang kohesif.
6. Koloid(colloids) ialah partikel mineral yang diam serta berdimensi lebih kecil dari 0, 001 milimeter.

2.1.2 Klasifikasi Tanah

Pada dasarnya, klasifikasi dibedakan berdasarkan sifat-sifat indeks tanah seperti distribusi dimensi dan plastisitas. Ada beberapa sistem klasifikasi tanah yang digunakan dari pengembangan sistem yang ada. Sistem ini memperhitungkan distribusi dimensi biji-bijian serta batas-batas Atterberg, mereka adalah sistem klasifikasi AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Official) dan sistem klasifikasi tanah terpadu (USCS).

2.1.2.1 Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan ASHTO

Sistem klasifikasi AASHTO berguna untuk memastikan kualitas tanah untuk pekerjaan lintasan adalah subbase dan subgrade. Karena sistem ini ditujukan untuk pekerjaan lini, maka penggunaan sistem ini dalam praktiknya harus dipertimbangkan bertentangan dengan maksud dan tujuan awalnya. Sistem klasifikasi AASHTO membagi tanah menjadi 8 kelompok, yaitu subkelompok terdaftar A-1 hingga A-8. Sistem yang direvisi (Proc. 25 dari Pertemuan Tahunan Dewan Penelitian Jalan Raya, 1945) membentuk 8 kelompok bawah tanah tetapi meningkatkan 2 subkelompok di A-1, 4 kelompok di A-2, 2 subkelompok di A-7. Sebaliknya, kelompok A-8 tidak ditampilkan tetapi gambut atau kerawang yang ditentukan berdasarkan klasifikasi visual. Tanah di setiap kelompok ditinjau terhadap indeks kelompok, yang dihitung dengan rumus empiris. Satu-satunya tes yang dicoba adalah analisis saringan dan batas Atterberg (Bouwles, 1984). Ada juga sistem klasifikasi ini berdasarkan kriteria berikut.

1. Dimensi Butir

Kerikil: bagian tanah yang lolos dari saringan berdiameter 75 milimeter (3in) serta yang dipegang pada sejumlah saringan. 10 (2 mm). Pasir: bagian tanah yang lolos dari saringan nomor. 10 (2 mm) serta ditahan pada nomor saringan. 200 (0.075 mm). Lumpur dan tanah liat: bagian tanah yang lolos dari saringan nomor. 200.

Plastisitas, yang merupakan keahlian tanah, membiasakan transformasi pada volume konstan tanpa retak atau hancur. Tergantung pada kadar airnya, tanah bisa cair, plastis, semi-padat, atau padat.

Jika batuan (dimensi > 75 milimeter) ditemukan pada ilustrasi tanah yang akan ditentukan klasifikasi tanahnya, sampai batuan tersebut harus dihilangkan terlebih dahulu, namun persentase tanah yang dihilangkan harus dicatat.

Jika sistem klasifikasi ini digunakan untuk mengklasifikasikan tanah, sampai informasi dari pengujian dicocokkan dengan informasi yang terkandung dalam **Gambar 2.1**.

Klasifikasi Umum	Tanah berbutir (35 atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)							Tanah lanau-lempung (lebih dari 35 % dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)			
	A-1		A3	A2				A-4	A-5	A-6	A-7
Klasifikasi Kelompok	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5* A-7-6*
Analisis ayakan (% lolos)											
No. 10	≤ 50	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
No. 40	≤ 30	≤ 50	≤ 51	---	---	---	---	---	---	---	---
No. 200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40 batas cair (LL)	---	---	≤ 41	≥ 41	≤ 40	≥ 40	≤ 40	≤ 40	≤ 41	≤ 40	≥ 41
Indeks elastisitas (PI)	≤ 6	NP	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≥ 11
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung				Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian sebagai bahan dasar tanah	Baik sekali sampai baik							sedang sampai jelek			

Keterangan: * Untuk A-7-5, $PI \leq LL - 30$

** Untuk A-7-6, $PI > LL - 30$

Gambar 2.1 Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO
Sumber : Das B. , 1995

2.1.2.2 Klasifikasi Tanah Berdasarkan USCS

Dalam pelaksanaannya, sistem klasifikasi tanah USCS merupakan sistem yang sangat banyak digunakan untuk pekerjaan metode pondasi seperti bendungan, bangunan atau konstruksi sejenis. Sistem ini awalnya diperkenalkan oleh Casagrande pada tahun 1942. Dalam sistem ini, garis besarnya adalah membedakan tanah menjadi 3 kelompok, ialah:

1. Tanah berbutir kasar < 50% lolos saringan no. 200.
2. Tanah berbutir halus > 50% lolos saringan no. 200.
3. Tanah organik yang bisa dikenal dari warna, bau serta sisa- sisa tanaman yang tercantum didalamnya.

Sistem klasifikasi ini mencermati pada sebagian aspek selaku berikut selaku acuannya.

1. Persentase yang lolos ayakan no. 200 dan lolos ayakan no. 4.
2. Koefisien keseragaman (Cu) dan koefisien gradasi (Cc).
3. Batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI).

Ada pula simbol- simbol yang digunakan dalam klasifikasi ini merupakan selaku berikut.

G = gravel (kerikil),

S = sand (pasir),

C = clay (lempung),

M = silt (lanau),

O = organic silt or clay (lanau atau lempung organik),

Pt = peat and highly organic soil (tanah gambut dan tanah organik tinggi)

W = well graded (tanah dengan gradasi baik),

P = poorly graded (tanah dengan gradasi buruk),

L = low plasticity (plastisitas rendah, nilai LL < 50), dan

H = high plasticity (plastisitas tinggi, nilai LL > 50).

Pengelompokan klasifikasi tanah dapat dilihat pada **Gambar 2.2** dibawah ini:

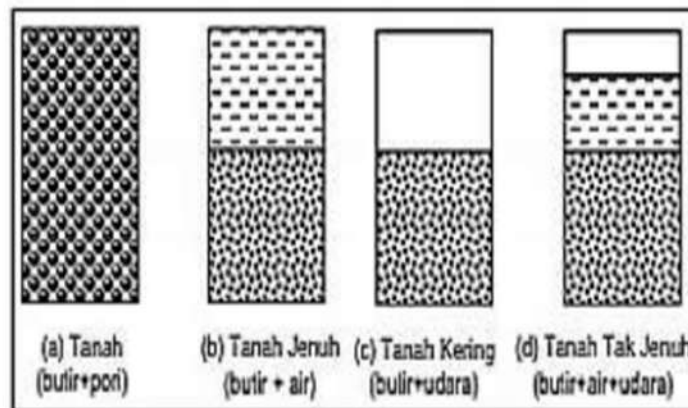
Buat informasi parameter tanah didapatkan dari hasil pengujian laboratorium ataupun dari hasil interpolasi data- data tanah yang telah ada.

2.1.3.2 Indeks Properti Tanah

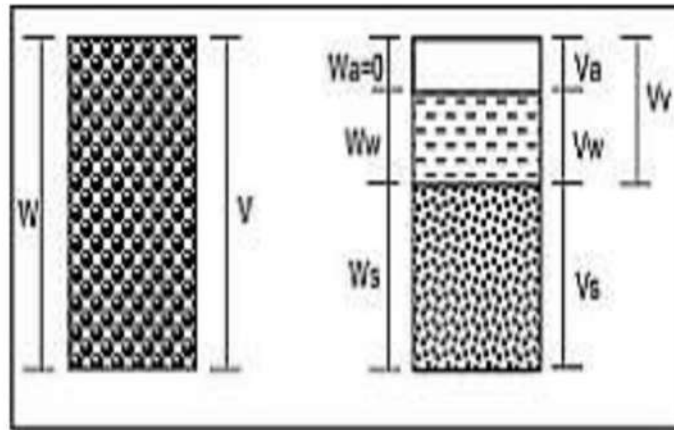
Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, jika karakter fisik atau sifat tanah dasar dalam suatu konstruksi, sangat mempengaruhi berbagai elemen konstruksi yang akan dibentuk di atasnya. Sifat tanah ditunjukkan oleh berbagai parameter yang diucapkan oleh indeks properti atau indeks sifat fisik tanah, seperti berat volume, kadar air, porositas, jumlah pori, derajat saturasi, tingkat kepadatan, derajat kepadatan, berat jenis, analisis butir, batas cair, batas plastik, batas penyusutan, dan sebagainya. Sebaliknya, parameter tersebut, koefisien konsolidasi, kohesi, sudut geser dalam, dll adalah parameter teknis tanah, yang dipengaruhi oleh sifat fisik tanah.

1. Berat volume tanah

Material tanah dapat terdiri dari dua atau tiga faktor, yaitu butiran, air dan udara. Pada kondisi tanah jenuh terdapat dua faktor yaitu butiran dan air, pada tanah kering juga hanya ada dua faktor yaitu butiran dan udara. Sebaliknya, pada tanah dengan kondisi tidak jenuh terdapat tiga faktor, yaitu butiran, air dan udara.



Gambar 2.4 Komposisi Tanah Dalam Berbagai Kondisi
Sumber : Das, 2010



Gambar 2.5 Diagram *Fase* Tanah
 Sumber : Das, 2010

Keterangan :

- W = Berat tanah Total
- W_a = Berat udara = 0 (diabaikan)
- W_w = Berat air $V =$ Volume total tanah
- V_a = Volume udara
- V_w = Volume air
- V_v = Volume pori
- V_s = Volume butir

Dari gambar diagram fase tanah diatas pada **Gambar 2.2**, dapat dirumuskan beberapa hubungan sebagai berikut :

1. Berat tanah (W) = $W_s + W_w$ 2.1
2. Volume pori (V_v) = $V_w + V_a$ 2.2
3. Volume tanah (V) = $V_s + V_w + V_a$ 2.3
- (V) = $V_s + V_v$ 2.4

Selanjutnya berat volume tanah dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Berat volume basah : adalah perbandingan antara berat butiran tanah termasuk air dan udara (W) dengan volume total (V)
 $\gamma_c = W / V$ 2.5

2. Berat volume kering : adalah perbandingan antara berat butiran padat (W_s) dengan volume total tanah.

$$\gamma_c = W_s / V \dots\dots\dots 2.6$$

3. Berat volume butiran padat : adalah perbandingan antara berat butiran padat (W_s) dengan volume butiran padat (V_s)

$$\gamma_c = W_s / V_s \dots\dots\dots 2.7$$

2. Prositas dan Angka Keamanan

Porositas (porosity) : adalah perbandingan antara volume rongga (V_v) dengan volume

1. total. Nilai porositas dapat dinyatakan dalam persen (%) atau dalam satuan decimal.

$$N = V_v / V \dots\dots\dots 2.8$$

2. Angka pori : adalah perbandingan antara rongga (V_v) dengan volume butiran (V_s).

$$e = V_v / V_s \dots\dots\dots 2.9$$

3. Kadar Air dan Drajat Kejenuhan Tanah

1. Kandungan air (water content) : merupakan perbandingan antara berat air (W_w) dengan berat butiran padat (W_s) di dalam masa tanah.

$$w = W_w / W_s \times 100\% \dots\dots\dots 2.10$$

2. Derajat kejenuhan : merupakan perbandingan antara volume air (W_w) dengan volume total rongga pori (V_v)

$$S = W_w / V_v \times 100\% \dots\dots\dots 2.11$$

Apabila tanah dalam kondisi jenuh air, maka nilai $S = 1$. Nilai derajat kejenuhan air ini bisa digunakan buat mengklasifikasi konsistensi tanah.

Tabel 2.1 Derajat Kejenuhan dan Konsistensi Tanah

Konsistensi Tanah	Derajat Kejenuhan
Tanah Kering	0,00
Tanah Agak Lembab	> 0 - 0,25
Tanah Lembab	0,26 – 0,50
Tanah Sangat Lembab	0,51 – 0,75
Tanah Basah	0,76 – 0,99
Tanah Jenuh Air	1,00

Sumber : Hardiyatmo, 2014

4. Parameter Turunan

Dari parameter yang dijabarkan dari berat serta volume tanah. Selanjutnya bisa ditutunkan hubungan persamaan-persamaan buat sebagian parameter tanah.

1. Berat jenis ataupun berat kusus (Kusus Gravity) ialah perbandingan antara berat volume butiran padat (Y_s) dengan berat volume air (Y_w) pada temperature 4°C , yang dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$G_s = (Y_s) / (Y_w) \dots\dots\dots 2.12$$

Nilai parameter G_s tidak berdimensi. Interval nilai G_s untuk berbagai jenis tanah, berkisar antara 2,58 sampai 2,75. Kecuali untuk jenis tanah humus dan gambut biasanya interval G_s antara 1,25 sampai 1,80. Nilai berat jenis untuk berbagai jenis tanah dapat dilihat pada **Table 2.2**

Tabel 2.2 Berat Jenis (G_s) Berbagai Jenis Tanah

Jenis Tanah	Berat Jenis (G_s)
Kerikil	2,65 – 2,68
Pasir	2,65 – 2,68
Lanau Anorganik	2,62 – 2,68
Lempung Organik	2,58 – 2,65
Lempung Anorganik	2,68 – 2,75
Humus	1,57
Gambut	1,25 – 1,80

Sumber : Hardiyatmo, 2014

2. Ikatan antara angka pori dan porositas :
 - $e = n / 1 - n$2.13
 - $n = e / 1 + e$2.14
3. Berat volume tanah basah, dapat pula dinyatakan dalam rumus :
 - $N = \frac{N = G_s \cdot \gamma_w (1 + w)}{1 + e}$2.15
4. Berat volume tanah jenuh air (S-1), dinyatakan dalam rumus :
 - $\gamma_{sat} = \frac{\gamma_w (G_s + e)}{1 + e}$2.16
5. Berat volume tanah kering sempurna (S-0), dinyatakan dalam rumus :
 - $\gamma_d = \frac{G_s \cdot \gamma_w}{1 + e}$2.17
6. Tanah terendam air, maka berat volume apung atau berat volume efektif, dinyatakan dalam rumus:
 - $\gamma' = \frac{G_s \cdot \gamma_w}{1 + e}$2.18
7. Tanah terendam air, maka berat volume apung atau berat volume efektif, dinyatakan dalam rumus:
 - $\gamma' = \frac{\gamma_w \cdot (G_s - 1)}{1 + e}$2.19
 - Atau
 - $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$2.20

Yang dimana

$\gamma_w = 1 \text{ t/m}^3$ atau $9,81 \text{ kN/m}^3$

Dimana:

G_s (Spesifik Gravity) = Berat Jenis

n = Porositas (Porosity)

e = Angka pori

n = Kadar air(water content)

γ_s = Berat volume butiran padat

γ_w = Berat volume air

γ_d = Berat volume

γ_{sat} = Berat volume tanah jenuh air

γ' = Berat tanah terendam air

S = Derajat Kejenuhan

2.1.3.3 Sudut Geser Dalam

Kekuatan geser dalam memiliki variabel kohesi serta sudut geser dalam. Sudut geser dalam bertepatan dengan kohesi memutuskan ketahanan tanah akibat tegangan yang bekerja berbentuk tekanan lateral tanah. Nilai ini serta didapatkan dari pengukuran engineering properties tanah berbentuk Triaxial Test serta Direct Shear Test. Ikatan antara sudut geser dalam serta tipe tanah ditunjukkan pada **Tabel 2.3** dan **Tabel 2.4**.

Tabel 2.3 Hubungan Antara Susut Geser Dalam dan Jenis Tanah

Jenis tanah	Susut Geser Dalam
Krikil Kepasiran	35-40
Krikil Kerakal	35-40
Pasir Padat	35-40
Pasir Lepas	30
Lempung Kelauna	25-30
Lempung Kelauna	20-25

Sumber : Buku Mekanika Tanah, Braja M. Das Jilid 2

Tabel 2.4 Hubungan Antara susut Geser Dalam, Tingkat Plastisitas dan Jenis Tanah

Menurut Bjemum		
Jenis Tanah	Tingkat Plastisitas	ω
Lanau	Rendah	35-37
Lanau Berlempung	Sedang	31-35
Lempung	Tinggi	<31

Sumber : Bjemum, 1960

2.1.3.4 Permeabilitas

Permeabilitas(umumnya bersimbolk ataupun k) yang ialah keahlian sesuatu material(eksklusifnya batuan) guna melewati fluida. Jumlah ini diperoleh melalui perhitungan Hukum Darcy. Dalam Hukum Darcy, permeabilitas adalah bagian dari konstanta perbandingan yang terkait dengan laju aliran dan sifat fisik fluida (viskositas) dengan gradien tekanan yang diterapkan pada media berpori. Pada tahun 1856, Henry Darcy merumuskan ikatan yang sangat mendasar untuk menentukan aliran fluida yang

melewati batuan berpori. Dalam hukum ini, diasumsikan bahwa media berpori telah jenuh dan cairan yang digunakan adalah air dengan viskositas 1 cP. Permeabilitas tanah tergantung pada beberapa aspek, yaitu viskositas cair, distribusi dimensi pori, distribusi dimensi butir, jumlah pori, kekasaran permukaan butir tanah, dan derajat keasaman jenuh (Das Meter, 1988). Klasifikasi dapat dilihat pada **Tabel 2.5** berikut ini.

Tabel 2.5 Klasifikasi Tanah Permeabilitas

Permeabilitas (cm/jam)	Kelas
<0.125	Sangat Rendah
0.125 - 0.5	Rendah
0.5 - 2.0	Agak Rendah
2.0 - 6.35	Sedang
6.35 - 12.7	Agak Cepat
12.7 - 25.4	Cepat
>25.4	Sangat Cepat

Sumber : Maswar (2016)

2.2 Struktur Geologi

Geologi regional dari sesuatu wilayah penelitian butuh dipelajari sebab bisa menunjang interpretasi dini mengenai keadaan geologi wilayah penelitian. Keadaan geologi pada wilayah penelitian tercipta akibat faktor- faktor yang terletak di luar wilayah penelitian, sehingga butuh dicoba penelitian yang mencakup zona yang lebih luas dari wilayah penelitian ataupun secara regional. Penelitian zona fisiografis Nusa Tenggara ialah salah satu penelitian regional buat melaksanakan interpretasi dini keadaan geologi secara wujud dari wilayah penelitian. Pada sub- bab ini hendak dibahas fisiografi, stratigrafi, serta struktur geologi regional.

2.2.1 Fisiografi Geologi

Timor timor barat bisa digolongkan dalam lima satuan fisiografi (rosidi, dkk. 1996):

1. Pegunungan kasar

Ada di tepi laut utara serta tersusun dari batuan beku. Membentuk pegunungan dengan ketinggian maksimum menggapai 1228 m di atas permukaan laut (mdpl). Berlereng terjal dengan lembah kecil, secara totalitas menampilkan permukaan kasar. Wilayah dekat Kampung Manamas tercipta kuesta yang menghadap ke selatan. Pola aliran biasanya sejajar ataupun nyaris sejajar serta

sungai- sungai ini berair diwaktu masa hujan. Biasanya sungai- sungai“ interitten”, sebaliknya 2 sungai besar, Sungai Noil serta Mota Benain, merupakan sungai“ underfit”

2. Dataran tinggi

Ada ditiga tempat yakni disekitar Kupang, Biuduk, serta Wailuli. Terdiri dari batugamping koral terangkat yang ketinggian berkisar antara 200- 500 mdpl disekitar Kupang, 600 mdpl disekitar Biuduk, serta lebih dari 800 mdpl disekitar Wailuli. Membentuk plato dengan permukaan agresif, nyaris datar, berlerang landau- terjal.

3. Pegunungan bergelombang

Sebagian besar pulau timor dihuni oleh satuan ini. Terdiri dari rangkaian pegunungan berlereng landai- terjal. Terdiri dari batuan yang bertabiat lempungan serta tidak padat. Indikasi longsor kerap ditemukan pada satuan ini. Ketinggian punggung berkisar 200- 600 mdpl.

4. Fatu

Fatu pada wilayah ini berarti batu ataupun gunung. Sebutan lain yang sama maksudnya yakni Foho, Lolo, Nuaf, serta Tubu. Morfologinya berbentuk jendulan yang mencolok di bandingkan wilayah sekitarnya. Morfologi ini diakibatkan sebab energi tahan terhadap erosi pada satuan ini lumayan besar. Batuan penyusunnya merupakan batugamping, malihan, serta batuan beku. Pada bagian tengah Pulau Timor Barat, fatu ini membentuk deretan memanjang berarah baratdaya- timurlaut, sebaliknya pada bagian lain didapat secara tersebar. Ketinggian maksimum satuan ini merupakan Nuaf Mutis ialah 2427 mdpl.

5. Dataran rendah

Ada di muara sungai besar, sebagian berbentuk rawa serta biasanya tergenang air pada waktu pasang. Sebagian endapan sungai membentuk unduk sungai yang secara setempat menggapai ketinggian 45 di atas alas sungai.

2.2.2 Stratifikasi Regional

Secara regional tatanan stratigrafi di daerah rancangan bendungan dihuni oleh batuan- batuan berusia Pra- Perem sampai Kuartar serta diendapkan pada area laut terbuka sampai fluvial(Rosidi, dkk. 1996). Wilayah riset tercantum ke dalam Peta Geologi Regional Lembar Kupang- Atambua, Timor.

Tipe batuan yang terletak pada wilayah Kupang serta Atambua sangat bermacam-macam. Tipe batumannya terdiri dari batuan sedimen, beku, vulkanik, serta malihan. Batuan sedimen terdiri dari batugamping, kalsilit, batupasir, batulanau, serta batulempung. Batuan bekunya merupakan batuan ultrabasa serta diorite. Batuan vulkanik terdiri dari breksi vulkanik, lava, serta tufa. Batuan malihan berderajat rendah hingga besar meliputi, batusabak, filit, sekis, amfibolit, serta granulit. Batuan tersebut terdapat yang bertabiat otokton serta parotokton serta terdapat pula yang bertabiat alokton.

Stratifikasi Satuan Otokton serta Parotokton diawali dari yang tertua ke muda merupakan selaku berikut:

1. Formasi Bisane

Bagian dasar terdiri susunan seragam serpih bercorak kelabu kehitaman yang diselingi batulanau bercorak keunguan, batupasir bercorak kemerahan yang biasanya karbonatan, serta batusabak. Interklas lava yang terkloritkan pula ditemui. Terus menjadi keatas serpihnya terus menjadi menurun serta batupasirnya terus menjadi banyak. Ada sisipan batugamping serta serpih pasiran. Formasi ini diperkirakan berusia Perem serta mempunyai ketebalan berkisar 1000 m.

2. Formasi Aitutu

Bagian dasar formasi ini terdiri dari perselingan tipis batulanau berbagai warna(merah, cokelat, kelabu, kehijauan) dengan napal serta batugamping. Batupasir kwarsa, batupasir mikaan, rijang, serta batugamping hablur ialah sisipan tipis yang ada didalamnya. Bagian atas formasi ini terdiri dari perlapisan kalsilit putih kekuningan memiliki urat kalsit dengan serpih bercorak kelabu. Ketebalan formasi ini diperkirakan menggapai 1000 m serta usianya diperkirakan Trias Akhir.

3. Formasi Wailuli

Tesusun atas batuan kalkarenit, serpih lanauan, napal, serta greywacke yang bercorak kelabu sampai kehijauan. Formasi ini tersingkap setebal 450 m serta diperkirakan berusia Jura Akhir.

4. Formasi Nakfunu

Formasi ini ialah endapan laut dalam yang tersusun atas batuan batulanau rijangan radiolarian bercorak cerah(kuning, kelabu muda, ataupun coklat muda), serpih rijangan radiolarian bercorak cerah, napal lanauan bercorak cerah, rijang radiolarian berbagai warna(merah tua, kehijauan, kuning), serta kalsilutit bercorak merah muda. Batuan yang memiliki radiolaria berlapis tipis. Formasi ini mempunyai tebal menggapai 600 m serta diperkirakan berusia Jura.

5. Formasi Ofu

Bagian dasar formasi ini terdiri dari endapan laut dalam berbentuk kalsilutit yang bercorak merah jambu hingga coklat kemerahan, napal, serta serpih dengan sisipan rijang radiolaria bercorak kekuning- kuningan. Rijang berbagai warna kerap ditemui dalam kalsilutit. Bagian atas terdiri dari napal putih berbintik merah muda, napal putih, serta kalsilutit bercorak putih. Tebal formasi ini diperkirakan dekat 2500 m serta berusia Kapur Akhir- Eosen.

6. Formasi Noil Toko

Formasi ini disusun oleh batuan konglomerat, batugamping konglomeratan bercorak keputihan, batugamping globigerina bercorak putih, batupasir gampingan bercorak kecokelatan, napal, tuf, tufa gampingan, serta serpih. Komponen konglomerat berasal dari Komplek Mutis(sekis serta amfibolit), Formasi Maubisse(batuan vulkanik), serta Formasi Haulasi(batugamping). Formasi ini diperkirakan mempunyai ketebalan dekat 800 m serta diperkirakan berusia Miosen Dini.

7. Formasi Cablac

Bagian dasar formasi ini tersusun atas kalsilutit serta batu gamping oolitik, sebaliknya bagian atasnya tersusun atas batugamping pejal yang sebagian berbentuk batugamping koral, kalkarenit, serta kalsirudit. Rijang kerap ditemui dalam batugamping. Formasi ini diendapkan secara tidak selaras di atas Formasi Aitutu, Metan, serta Komplek Mutis. Formasi ini menjari dengan Formasi Noil Toko. Formasi ini diperkirakan mempunyai ketebalan menggapai 800 m serta diperkirakan berusia Miosen Dini.

8. Formasi Batuputih

Di wilayah Terban Tengah bagian dasar formasi ini tersusun atas kalsilitit, tufa, sedikit napal, serta batugamping arenit, sebaliknya bagian atasnya, tersusun atas napal, kalkarenit, batupasir, batupasir napalan, napal lanauan, serta sedikit konglomerat. Kalsilitit bercorak putih. Tufanya ialah tufa gelas. Kalkarenit bercorak kelabu serta menampilkan struktur bioturbasi, silang siur, serta nandatan. Batupasir berwarna kelabu. Konglomerat memiliki pelet lempung. Di wilayah Kalbano batumannya terdiri dari kalsilitit bercorak putih, kalsilitit gloukonitan, kalsilitit lempungan, kalkarenit, serta batugamping rijangan berwarna kuning muda yang kesemuanya berselingan dengan napal serta serpih bercorak kuning kecokelatan. Formasi ini diendapkan tidak selaras dengan dengan formasi diatasnya. Formasi ini diperkirakan mempunyai ketebalan menggapai 1100 m serta diperkirakan berusia Miosen awal plio- plistosen.

9. Formasi Noele

Formasi ini tersusun atas napal pasiran bercorak putih keabu- abuan, berselang seling dengan batupasir, konglomerat, serta sedikit tufa dasit. Pergantian fasies kearah lateral ataupun pergantian litologi kearah vertikal sangat kilat. Formasi ini diendapkan secara selaras diatas Formasi Batuputih serta membentuk kompleks yang dinamakan Lingkungan Viqueque bersama Formasi Batuputih. Formasi ini diperkirakan mempunyai ketebalan menggapai 700 m serta diperkirakan berusia PlioPlistosen.

10. Batugamping Korral

Biasanya terdiri dari batugamping korral bercorak putih hingga kekuningkuningan serta batugamping napalan. Setempat tumbuh pula batugamping terumbu dengan permukaan agresif serta berongga. Formasi ini diendapkan secara tidak selaras diatas Formasi Noele. Formasi ini mempunyai ketebalan menggapai 300 m serta diperkirakan berusia Plistosen.

11. Konglomerat dan Kerakal

Terusuusn atas endapan klastik agresif semacam konglomerat berdimensi butir kerikil, kerakal, serta bongkah dengan perselingan batupasir berstruktur silang siur paling utama pada bagian dasar. Semen konglomerat berbentuk kalsit serta limonit yang terus menjadi ke atas terus menjadi lemah serta pada bagian atasnya berbentuk endapan lepas. Endapan ini membentuk undak- undak sungai yang dibeberapa tempat menggapai ketinggian 45 m diatas dataran banjir yang saat ini.

12. Aluvium

Terdiri dari batuan lepas berdimensi pasir, kerikil, serta kerakal yang berasal dari beragam batuan. Ada pada dataran banjir sungai- sungai besar. Lempung pasiran serta lumpur gelap ada di wilayah rawa- rawa serta dataran tepi laut. Aluvium berusia Resen.

Stratigrafi Satuan Alokton diawali dari tua ke muda merupakan selaku berikut:

1. Komplek Mutis

Formasi ini tersusun atas batuan malihan berderajat rendah- tinggi yang terdiri dari batusabak bercorak abu- abu sampai cokelat, filit, sekis, amfibolit, sekis amfibolit, kwarsit, jenis amfibolit, serta granulit. Filitnya berbentuk filit serisit, arkosa- albit, grafit, serta filit kwarsit. Sekis terdiri dari sekis epidot- klorit- aktinolit, sekis kwarsakarbonat- muskovit- klorit serta setempat ditemui sekis kwarsitan- granat pidmotit. Amfibolit ialah bagian terbanyak dari formasi ini terdiri dari amfibolit plagioklas, amfibolit epidot, sekis amfibolit, serta jenis granat amfibolit. Kadangkala didalam amfibolit ditemukan batuan granitan, granodioritan, serta dioritan yang termalihkan. Pada formasi ini pula ditemui baturijang gampingan yang terlipat kokoh. Lingkungan Mutis diterobos oleh retas yang tersusun diabas, diorit hornblende, diorit kwarsa yang termalihkan. Formasi ini ditutupi secara tektonik oleh Formasi Aitutu serta Formasi Maubisse. Kontaknya dengan Formasi Haulasi serta Formasi Noni yang tidak teruraikan menampilkan ikatan yang dekat diisyarati oleh retas yang menerobis keduanya. Formasi ini diperkirakan berusia Pra- Prem.

2. Formasi Maubisse

Formasi ini tersusun atas batugamping bercorak merah kecoklatan hingga ungu serta lava bantal yang nampak semacam silih jari- menjari. Bagian bawahnya terdiri dari batugamping pejal berlapis baik dengan selingan baturijang. Terus menjadi keatas perlapisannya jadi samar serta kesimpulannya ialah batugamping pejal tidak berlapis. Namun dibagian atas masih ditemui sisipan serpih pasiran bercorak kecoklatan, kalsilit, serta rijang bercorak seragam. Sisipan serpih ada rekahan yang tersi kalsit. Batuan- batuan tersebut biasanya hadapi ubahan, paling utama kloritisasi yang menyebabkan batuan bercorak kehijauan serta sebagian

terserpentinitkan paling utama di bagian dasar. Formasi ini nampak silih jari-menjemari dengan Formasi Aileu. Formasi ini berusia Dini Perm- Trias Akhir.

3. Formasi Noni

Formasi ini tersusun oleh endapan laut dalam yang terdiri dari baturijang radiolarian berlapis baik, batugamping rijangan, serta rijang lempungan. Biasanya bercorak kehijauan serta kemerahan hingga coklat dan ungu pada bagian dalamnya. Formasi ini diperkirakan berusia Kapur Akhir.

4. Formasi Haulasi

Formasi ini tersusun oleh endapan sedimen laut dangkal ialah greywacke konglomeratan, batupasir, serpih tufan, serta napal kelabu- kehijauan yang berlapis baik. Bahan- bahan vulkanik kerap ditemukan pada formasi ini. Formasi ini diperkirakan mempunyai ketebalan menggapai 300 m serta diperkirakan berusia Paleosen.

5. Formasi Metan

Formasi ini tersusun atas batuan aglomerat dengan komponen- komponen yang bersudut serta bersudut tanggung dalam massa bawah tufa. Komponennya terdiri dari andesit serta tufa gelas. Ada pula sisipan lava berkomposisi andesit serta lava piroksen. Pada bagian atas aglomerat ada batugamping serta napal pasiran yang bercorak kelabu. Ada pula serpih napalan bercorak kelabu tua yang rapuh. Formasi ini diperkirakan mempunyai ketebalan menggapai 600 m serta diperkirakan berusia Eosen.

6. Diorit

Terdiri dari diorit kwarsa yang terdiri dari mineral mafik semacam hornblenda, ortoklas serta plagioklas yang terseritkan, dan sedikit piroksen. Usianya diperkirakan Eosen.

7. Formasi Manamas

Formasi ini sebagian besar tersusun oleh breksi vulkanik yang pejal dengan sisipan lava serta tufa hablur. Komponen dari breksi vulkanik ialah basal piroksen yang memiliki olivin, basal gelas andesit augit, sienit ataupun trakit nefelin, serta diabas. Massa bawah terdiri dari tufa bercorak kecokelatan hingga kehijauan. Lavanya ialah lava bantal yang berkomposisi andesit hingga basal. Formasi ini

diperkirakan mempunyai ketebalan menggapai 1500 m serta diperkirakan berusia Miosen Akhir.

8. Batuan Ultra Basa

Terdiri dari batuan basal, bercorak abu- abu tua, lerzoit bercorak, serta serpentinit bercorak kehijauan.

9. Kompleks Bobonaro

Secara litologi satuan lingkungan ini terdiri dari 2 bagian pokok:(a) lempung bersisik(scaly clay),(b) bongkah- bongkah asing yang bermacam- berbagai ukurannya. Lempung bersisik memiliki watak seragam ialah menampilkan kaca sesar, lunak, bercorak aneka macam(merah tua, kehijauan, merah kecokelatan, abu- abu kebiruan, serta merah muda). Batu lempung ini kadang- kadang mengembang apabila lapuk, memperlihatkan kemas jagung berondong. Lempung bersisik ini ialah matrik dari bongkah- bongkah asing yang berasal dari batuan yang lebih tua. Bongkah asing tersebut antara lain batupasir bermika dari Formasi Bisane, Batugamping dari Formasi Cablac, rijang, batuan ultrabasa, lava bantal, serta batugamping krinoida dari Formasi Maubisse, batuan dari Komplek Mutis, Formasi Ofu, Formasi Nukfunu, serta batuanbatuan yang lain. Orientasi bongkah- bongkah ini agak tertib ialah agak sejajar denga poros pulau serta kadang- kadang menampilkan boudinasi dengan struktur kerucut. Formasi ini diperkirakan berusia Pliosen.

2.3 Bendungan

2.3.1 Umum

Secara universal, bendungan adalah bangunan air yang dibentuk melintang oleh sungai, sedemikian rupa sehingga permukaan air sungai di sekitarnya naik ke ketinggian tertentu, sehingga air dari sungai dapat dialirkan melalui pintu penyadapan ke saluran pemisah dan kemudian ke lahan pertanian. (Kartasapoetra, 1991).

Berdasarkan pembangunannya, ada beberapa jenis bendungan yang ada, antara lain.

1. Homogeneous Dams, adalah bendungan yang lebih dari setengah volumenya terdiri dari bahan bangunan yang seragam.

2. Bendungan urugan berlapis (*Zoned Dams*), adalah bendungan yang terdiri dari beberapa susunan tahan air (*WaterTight Layer*), susunan batu (*Rock Zones*), susunan batu tertib (*Rip-rap*) dan susunan pengering (*Filter zones*).
3. Impermeable Face Rock Fill Dams, adalah bendungan batu berlapis-lapis yang susunan kedap airnya ditempatkan di hulu bendungan. Susunan yang umumnya digunakan adalah aspal dan beton bertulang.
4. Bendungan Beton, adalah bendungan yang terbuat dari konstruksi beton baik dengan tulangan maupun tanpa tulangan.

2.3.2 Bendungan Urugan

Dalam penelitian ini, objek fokus penulis adalah bendungan urugan. Secara garis besar, bendungan urugan adalah bendungan yang terbentuk dari penggalian material tanpa bonus lain yang digabungkan secara kimia, sehingga benar-benar material pembuat bendungan asli.

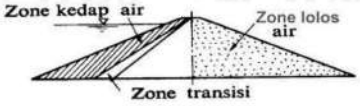
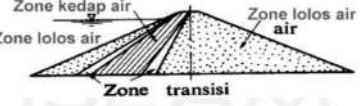
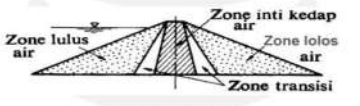
2.3.3 Bendungan Zonal

Sebuah bendungan dapat dikatakan sebagai bendungan zona jika tiang pancang yang membentuk tubuh bendungan terdiri dari batuan dengan gradasi yang berbeda dalam urutan lapisan tertentu. Di bendungan ini penyangga utama dibebankan ke tiang pancang yang melewati air (zona melewati air). Sebaliknya, sebagai penahan rembesan air dibebankan pada tumpukan kedap air (zona kedap air).

Berdasarkan lokasi peran zona kedap air, tipe zona ini dibagi menjadi 3. Lihat pada **Tabel 2. 6.**

1. Bendungan zona dengan tirai kedap air, adalah bendungan zona dengan zona kedap air yang membentuk lereng udik bendungan.
2. Zonal dam dengan inti kedap air yang landai, merupakan zonal dam yang zona kedap airnya terletak pada posisi di dalam badan bendungan dan miring ke hilir bendungan.
3. Zonal dam with a fixed core, merupakan bendungan zona yang zona kedap airnya terletak pada posisi di dalam badan bendungan dengan peran vertikal, inti terletak pada bidang tengah tubuh bendungan.

Tabel 2.6 Tipe bendungan Urugan Zonal

Type	Skema umum	Keterangan
Bendungan Tirai		Jika bahan untuk membuat badan bendungan terdiri dari bahan yang melewati air, tetapi diberi tirai tahan air di hulu.
Bendungan inti Miring		Jika material untuk pembuatan badan bendungan terdiri dari material yang melewati air, namun diberi inti kedap air di hilir.
Bendungan inti Vertikal		Jika material untuk pembuatan badan bendungan terdiri dari material yang melewati air, namun diberi inti kedap air yang diposisikan vertikal ke hilir.

Sumber : Sandi (TA 2020)

2.3.4 Fungsi Bendungan

Menurut Windi(2007) bendungan memiliki sebagian guna antara lain.

1. Irigasi

Pada masa hujan, air hujan yang jatuh di daerah tangkapan air sebagian besar untuk ditampung sehingga pada masa kemarau air tamping tersebut akan digunakan untuk berbagai keperluan, termasuk sebagai lahan pertanian.

2. Sebagai PLTA

Waduk bisa dikelola buat memperoleh kapasitas listrik yang diperlukan. Pembangkit listrik tenaga air(PLTA) ialah sesuatu system pembangkit listrik yang umumnya terintegrasi dalam suatu bendungan dengan menggunakan energy lewat aliran mekanis buat memutar turbin serta diganti jadi energy listrik lewat generator.

3. Pengelolaan banjir

Tidak hanya sebagai sumber air irigasi dan PLTA, bendungan juga dapat digunakan sebagai bahan baku air minum dimana perkotaan sangat jarang dan sulit dengan air bersih.

4. Pengendali banjir

Sungai dengan debit besar jika tidak dikendalikan akan membahayakan warga sekitar sungai, sehingga kasus tersebut dapat dijadikan latar belakang pembangunan waduk. Pada masa hujan, air hujan yang jatuh di daerah resapan hujan sebagian besar ingin mengalir ke hilir sungai yang umumnya menyebabkan banjir di daerah hilir sungai. Dengan dibangunnya bendungan di daerah hulu sungai, dimaksudkan untuk dapat mengatur debit sungai yang ditemukan, sehingga pada masa hujan pembentukan banjir dapat berkurang dan pada masa kemarau air yang ditampung tadi dapat dimanfaatkan oleh warga.

2.4 Rembesan

2.4.1 Umum

Pada dasarnya, air yang ditempatkan di waduk akan cenderung mencari tahu (mengalir) ke hilir. Rembesan adalah air reservoir yang menemukan jalannya melalui bahan berpori atau fraktur baik yang terkandung dalam tubuh atau fondasi. Tekanan air rembesan dapat menyebabkan alur baru atau alur yang ada pada bendungan yang retak. Oleh karena itu, pengendalian rembesan merupakan faktor penting dalam penerapan konstruksi bendungan. Ketika tekanan rembesan ke atas, yang terjalin di dalam tanah sama dengan ic , sampai tanah terletak dalam keadaan mengambang. Kondisi seperti ini dapat berdampak pada pengangkutan butiran tanah halus, sehingga jalinan pipa di dalam tanah yang dikatakan membentuk rongga dapat menyebabkan pondasi bangunan menyusut, sehingga stabilitas bendungan terhambat (Hardiyatmo H, 2010).

2.4.2 Persamaan darci

Persamaan ini adalah prinsip yang mengontrol bagaimana fluida bergerak di bagian bawah permukaan. Hukum Darcy adalah persamaan yang mendefinisikan keterampilan sesuatu yang mengalir melalui media berpori. Hukum Darcy juga dapat dikatakan sebagai jumlah volume fluida yang mengalir dalam akuifer adalah hasil perkalian antara kecepatan dan luas penampang fluida.

Rumus umum

$$Q = A \cdot V \dots\dots\dots 2.21$$

Rumus turunan

$$dh/dl = I \dots\dots\dots 2.22$$

$$Q = -K.A.\frac{hl}{L} \dots\dots\dots 2.23$$

$$Q = -K.A.\frac{dh}{dl} \dots\dots\dots 2.24$$

$$V = Q/A = K.\frac{dh}{dl} \dots\dots\dots 2.25$$

Dengan :

Q = Debit aliran (m³/s)

V = Kecepatan darcy atau *specific discharge* (cm/s)

K = Konduktivitas hidrolis (ketetapan)(cm/s)

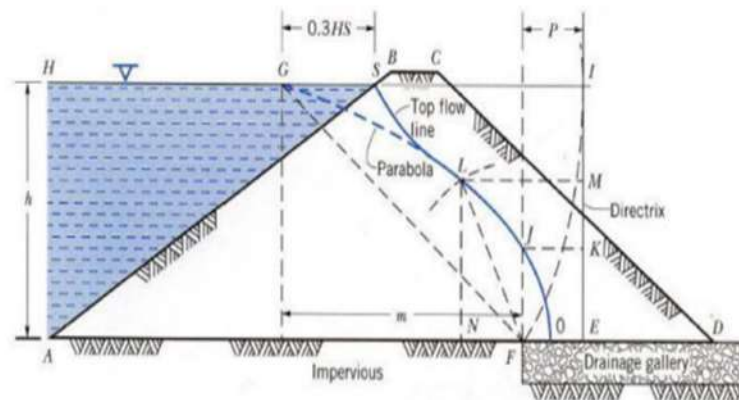
I = Landaian hidrlik

A = Luas penampang (m²)

L = panjang lapisan yang dilewati rembesan (m)

2.4.3 Garis Freatik

Garis freatik adalah garis aliran air yang berhubungan dengan bidang imajiner dalam tubuh dan pendasi bendungan yang tekanan air dan porinya sama dengan tekanan atmosfer. Jaringan aliran untuk bendungan tanah yang fondasinya berupa tanah yang kedap air dapat digambarkan mengikuti prosedur yang telah dibicarakan terdahulu, hanya saja haruslah diperhatikan beberapa hal. Contoh potongan melintang garis freatik pada bendungan urugan dapat dilihat pada **Gambar 2.6** sebagai berikut.



Gambar 2.7 Potongan melintang Garis Freatik Pada Bendungan Urugan

Sumber : Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi, 2017

2.4.4 Resiko Akibat Rembesan

Mengacu pada pedoman Grouting untuk Bendungan Kementerian Pekerjaan Umum - Sumber Daya Alam yang mengacu pada batas yang berlaku di Jepang (Japanese Institute of Irrigation and Drainage 1988), nilai rembesan yang diperbolehkan dalam suatu bendungan adalah sebanyak total rembesan dari waduk yang melewati pondasi dan badan bendungan tidak boleh lebih dari 1% dari rata-rata debit sungai yang masuk ke waduk. Ketika air rembesan mengalir dari array berbutir halus ke array yang lebih agresif, adalah mungkin bagi butiran halus untuk melarikan diri melalui bahan yang lebih agresif. Erosi granular ini akan menyebabkan penurunan hambatan aliran air dan peningkatan gradien hidrolik. Jika kecepatan aliran membengkak akibat pengurangan hambatan aliran yang berangsur-angsur berkurang, maka erosi butir akan terbentuk lebih besar, sehingga membentuk pipa-pipa di dalam tanah yang dapat menyebabkan runtuhnya bendungan. Lebih dari sepertiga keruntuhan bendungan disebabkan oleh rembesan air melalui fondasi dan / atau badan bendungan. Rembesan adalah kejadian umum di bendungan tanah dan biasanya tidak menimbulkan masalah. Namun, rembesan yang tidak terkendali menyebabkan erosi tiang pancang atau pondasi yang dapat menyebabkan aliran buluh. Erosi buluh adalah erosi yang tumbuh di bendungan. Mulai dari titik pusat rembesan yang memiliki perbedaan tekanan cukup besar sehingga memunculkan kecepatan yang menyebabkan erosi. Jika rembesan menahan gaya adalah semacam kohesi, pengaruh yang saling terkait, berat partikel tanah, pengaruh filter hilir lebih kecil dari gaya erosi, sehingga partikel tanah dapat menghilang dan menyebabkan aliran buluh.

Keruntuhan rembesan umumnya disebabkan oleh.

1. Fondasi melewati air.
2. Rembesan melalui timbunan.
3. Kebocoran pada pipa pengeluaran (conduit).
4. Longsor di badan bendungan.

2.5 Stabilitas Bendungan

2.5.1 Pengertian Stabilitas

Stabilitas bendung ialah perhitungan konstruksi buat memastikan dimensi bendung supaya sanggup menahan muatan serta gaya yang bekerja padanya dalam seluruh keadaan, dalam perihal ini tercantum terbentuknya angin kencang serta gempa bumi hebat serta

banjir besar dan kondisi yang yang lain. Syarat- syarat stabilitas konstruksi semacam lereng disebelah hulu serta hilir bendung tidak gampang longsor, wajib nyaman terhadap geseran, wajib nyaman terhadap rembesan, serta wajib nyaman terhadap penyusutan bendung.

Perhitungan konstruksi yang dicoba buat memastikan ukuran bendung(weir) supaya sanggup menahan muatan serta style yang bekerja pada bendung dalam seluruh kondisi, tercantum banjir besar serta gempa bumi. Penyelidikan geologi metode, diperuntukan buat mengenali apakah pondasi bendung lumayan kokoh buat menahan seluruh keadaan tersebut, apakah rembesan airnya tidak membahayakan konstruksi, serta apakah bendung bisa dioperasikan untuk pemakaian airnya dalam jangka waktu yang lama minimum 30 tahun.(Setiawan, 2017).

2.5.2 Syarat-Syarat stabilitas Bendungan

Pada dasarnya stabilitas bendungan mempunyai sebagian ketentuan yang wajib terdapat supaya bendungan dalam keadaan yang normal, antara lain.

1. Pada konstruksi batu kali dengan memakai selimut beton, tidak boleh terjalin tegangan tarik.
2. Momen tahan wajib lebih besar dari pada momen guling.
3. Konstruksi tidak boleh terjalin geseran.
4. Tegangan tanah tidak boleh melebihi dari tegangan tanah yang diijinkan.
5. Tiap titik yang terdapat pada segala konstruksi tidak boleh terangkat oleh style ke atas(balance) antara tekanan ke atas serta tekanan ke dasar.

Stabilitas bendungan dapat tersendat dari bermacam mungkin bahayabahaya yang terdapat, antara lain.

1. Gelincir (*sliding*)

Bendung dapat dikatakan normal terhadap bahaya geser bila hasil perbandingan antara jumlah style vertikal dikalikan sudut geser tanah dengan jumlah gaya- gaya horisontal wajib lebih besar dari nilai keamanan yang sudah ditetapkan.

2. Guling (*overtunning*)

Bangunan hendak nyaman terhadap guling, apabila seluruh gaya- gaya yang bekerja pada bagian bangunan di atas bidang horisontal, tercantum style angkat, wajib memotong bidang guling serta tidak boleh terdapat tarikan pada bidang irisan

manapun, masing- masing bagian bangunan diandaikan berdiri sendiri serta tidak bisa jadi terdapat distribusi gaya- gaya lewat momen lentur. kali dengan memakai selimut beton, tidak boleh terjalin tegangan tarik.

2.5.3 Metode Bishop

Metode Bishop merupakan Tata cara yang diperkenalkan oleh A. W. Bishop dengan memakai metode potongan dimana gaya- gaya yang bekerja pada masing- masing potongan dipakai buat menganalisis permukaan gelincir(slip surface) yang berupa bundaran. Dalam tata cara ini diasumsikan kalau gaya- gaya wajar total terletak/ bekerja dipusat alas potongan serta dapat didetetapkan dengan menguraikan gaya- gaya pada potongan secara vertikal ataupun wajar. Persyaratan penyeimbang wajib dipakai pada potongan- potongan yang membentuk lereng tersebut. Tata cara Bishop menyangka kalau gaya- gaya yang bekerja pada irisan memiliki resultan nol pada arah vertikal(Monintja, 2014).

Pada sebagian besar tata cara analisis, style wajar diasumsi bekerja dipusat tubuh bendungan. Ini diterapkan pada beberapa anggapan. Tata cara Bishop ini memakai anggapan sebanyak(2n- 1). Prinsip dasarnya selaku berikut.

1. Kekuatan geser didefinisikan dengan memakai ikatan linier MohrCoulomb.
2. Memakai Penyeimbang wajar.
3. Memakai penyeimbang tangensial.
4. Memakai penyeimbang momen.

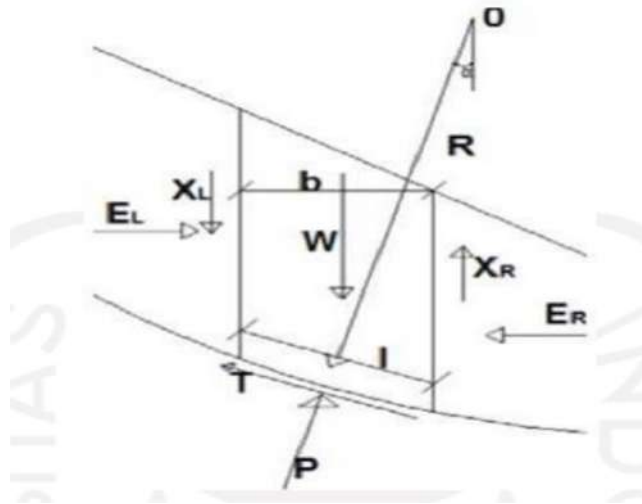
Dengan memperhitungkan segala penyeimbang style hingga rumus buat factor keamanan Fk tata cara Bishop diperoleh selaku berikut(Anderson serta Richards, 1987) pada persamaan 3. 5 serta style yang bekerja pada **Gambar 2. 7**.

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [c' bi + (wi - bi ui) tg \varphi'] \left(\frac{1}{\cos \theta i \left(\frac{1 + tg \theta i tg \varphi'}{F} \right)} \right)}{\sum_{i=1}^{i=n} Wi \sin \theta i} \dots\dots\dots 2.26$$

Dengan :

- F = Faktor Keamanan
- Θ = Sudut irisan
- c' = Kohesi tanah efektif (kN/m²)

- b_i = Lebar irisan tanah ke-i (kN)
- W_i = Berat irisan tanah ke-i (kN)
- ϕ = Sudut gesek dalam efektif
- u_i = Gaya uplift tanah ke-i (kN)



Gambar 2.8 Gaya-gaya yang bekerja pada suatu potongan Metode Bishop
(Sumber: Monintja, 2014)

Keterangan :

- W = Berat total pada irisan
- E_L, E_R = Gaya antar irisan yang bekerja secara horisontal pada penampang kiri dan kanan
- X_L, X_R = Gaya antar irisan yang bekerja secara vertikal pada penampang kiri dan kanan
- P = Gaya normal total pada irisan
- T = Gaya geser pada dasar irisan
- b = Lebar dari irisan
- l = Panjang dari irisan Pada setiap irisan

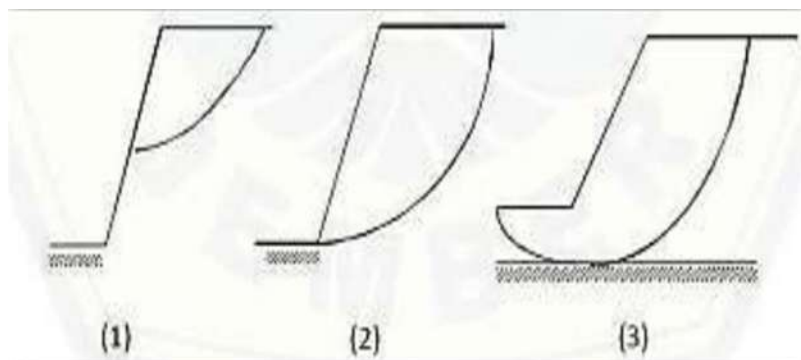
pada potongan metode irisan Bishop terdapat gaya-gaya yang bekerja seperti pada **Gambar 2.7** diatas.

2.5.4 Stabilitas Bendungan

Pada tempat dimana ada 2 permukaan tanah yang berbeda ketinggiannya, hingga hendak terdapat gaya- gaya yang bekerja mendesak sehingga tanah yang lebih besar perannya cenderung bergerak kebawah. Disamping gaya yang mendesak kebawah ada pula gaya- gaya dalam tanah yang bekerja melawan sehingga peran tanah senantiasa normal. Gaya pendorong berbentuk gaya berat, gaya tiris/ muatan serta gaya- gaya inilah pemicu terbentuknya longsoran. Gaya penahan berbentuk gaya gesekan/ geseran, lekatan(dari kohesi), kekuatan geser tanah. Antara permukaan dari tanah yang lebih besar ke permukaan yang lebih rendah dihubungkan sesuatu permukaan yang diucap lereng. Dalam bidang metode sipil, kita memahami 3 tipe lereng yang butuh dicermati:

1. Lereng alam, ialah lereng yang tercipta oleh proses alamiah semacam lereng perbukitan.
2. Lereng yang terbuat dalam tanah asli, misalnya pengeprasan tanah buat keperluan pembuatan jalur ataupun saluran buat irigasi.
3. Lereng yang terbuat dari tanah yang dipadatkan misalnya pembuatan tanggul buat jalur ataupun bendungan urugan.

Pada sesuatu lereng, longsoran biasanya terjalin dalam sesuatu bidang lengkung. Buat memudahkan dalam analisis hitungan umumnya dikira selaku lengkung bundaran spiral. Bidang ini diucap bidang gelincir. Sebagian tipe longsoran bisa dilihat pada **Gambar 2. 8.**



Gambar 2.9 Kontur Faktor Keamanan

Dimana :

Gambar (1) : Longsor lereng, biasanya terjadi jika tanah tidak homogen.

Gambar (2) : Losor kaki, terjadi pada tanah (τ - c) pada umumnya, atau pada tanah c ($\tau = 0$)

Gambar (3) : Longsor kaki, terjadi pada tanah c dengan sudut lereng landai dan lapisan keras terdapat lebih dalam dari kaki lereng

Kemantapan lereng (*slope stability*) sangat dipengaruhi oleh kekuatan geser tanah buat memastikan keahlian tanah menahan tekanan tanpa hadapi keruntuhan.

Ada pula iktikad analisis stabilitas lereng merupakan buat memastikan aspek nyaman dari bidang longsor yang potensial. Dalam menganalisis stabilitas lereng digunakan sebagian asumsi ialah:

1. Kelongsoran lereng terjalin di selama permukaan bidang longsor tertentu serta dikira selaku permasalahan bidang dua ukuran.
2. Massa tanah yang longsor dikira selaku barang masif.
3. Tahanan geser tanah pada tiap titik selama bidang longsor tidak bergantung dari orientasi permukaan longsor ataupun dengan kata lain kokoh geser tanah dikira isotropis.
4. Aspek nyaman didefinisikan dengan mencermati tegangan geser rata-rata selama bidang longsor potensial serta kokoh geser tanah selama permukaan longsor. Jadi kokoh geser tanah bisa jadi terlewat di titik-titik tertentu pada bidang longsornya, sementara itu aspek nyaman hasil hitungan lebih besar dari 1.
5. Hukum Coulomb berlaku buat keadaan runtuh $\tau = Cr + \sigma \tan \phi$
6. Wujud tegangan merupakan lurus.
6. Wujud tegangan merupakan lurus.
7. Seluruh style yang bekerja sudah dikenal.
8. Berlaku hukum tegangan total serta tegangan efektif $\sigma' = \sigma - u$

Wujud universal buat perhitungan stabilitas lereng merupakan mencari angka keamanan (η) dengan menyamakan momen- momen yang terjalin akibat style yang bekerja.

$$Fk = \frac{\text{Momen Penahan}}{\text{Momen Penggerak}} = \frac{W x}{Cu .L .R} \dots\dots\dots 2.36$$

Dimana :

- Fk = Faktor keamanan
- W = Berat tanah yang akan longsor (kN)
- L = Panjang Lengkungan C = Kohesi (kN/m²)
- R = Jari – jari lingkaran bidang longsor yang ditinjau (m)
- x = Jarak pusat berat W terhadap O (m)

Jika :

Fk < 1, lereng tidak stabil

Fk = 1, lereng dalam keadaan kritis artinya dengan sedikit gangguan atau tambahan momen penggerak maka lereng menjadi tidak stabil.

Fk > 1, lereng tidak stabil

Menurut Bowles; (2000), faktor keamanan minimum adalah $FK \geq 1,25$ dengan ketentuan dapat dilihat pada **Tabel 2.7**.

Tabel 2.7 Hubungan nilai faktor keamanan lereng dan intensitas longsor

Nilai Faktor Keamanan	Kejadian Intensitas Longsor
Fk < 1,07	Longsor terjadi biasa/sering (lereng labil)
Fk 1,07 s/d 1,25	Longsor pernah terjadi (lereng kritis)
FK > 1,25	Longsor jarang terjadi (lereng relatif stabil)

Sumber: Bowles, 1987

Menurut SNI-8460:2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik” faktor keadaman minimum dapat dilihat pada **Tabel 2.8** dan **Tabel 2.9**.

Tabel 2.8 Nilai faktor keamanan untuk lereng tanah

Biaya Dan Konsenkuensi Dari Kegagalan Lereng	Tingkat ketidakpastian kondisi analisis	
	Rendah ^a	Tinggi ^b
Biaya perbaikan sebanding dengan biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1,25	1,5
Biaya Perbaikan lebih besar dari biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1,5	2,0 atau lebih
^a Tingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan rendah, jika kondisi geologi dapat dipahami, kondisi tanah seragam, penyelidikan tanah konsisten, lengkap dan logis terhadap kondisi dilapangan.		
^b Tingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan tinggi, jika kondisi geologi sangat kompleks, kondisi tanah bervariasi, dan penyelidikan tanah tidak konsisten dan tidak dapat diandalkan.		

Sumber: SNI-8460:2017 Tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik

Tabel 2.9 Rekomendasi nilai faktor keamanan untuk lereng batuan

Kondisi Lereng Batuan	Rekomendasi Nilai Faktor Keamanan
Kondisi Permanen	1,5
Kondisi Sementara	1,3

Sumber: SNI-8460:2017 Tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik

2.6 Software Geostudio

2.6.1 Umum

GeoStudio adalah perangkat lunak pemodelan untuk insinyur geospasial dan ilmuwan geologi. Kemampuan untuk menganalisis secara akurat dan mengintegrasikan alat-alat khusus dan terapan di bidang rekayasa geofisika dan ilmu bumi telah menjadikan perangkat lunak ini alat yang baik di antara para ahli di bidang ini.

Karena GeoStudio, sebagai seperangkat alat canggih, menggabungkan sejumlah program khusus, memungkinkan Anda untuk menggabungkan berbagai analisis yang Anda dapatkan dari berbagai alat ke dalam proyek pemodelan, dan Gunakan hasil masing-masing untuk membuat survei yang lebih rinci di survei lainnya. GeoStudio mencakup program-program berikut:

1. *SLOPE/W*, Program untuk menganalisis stabilitas lereng.
2. *SEEP/W*, Program Analisis Pemisahan Air Tanah.
3. *SIGMA/W*, Program Analisis perangkat lunak untuk ketegangan dan deformasi.

4. *QUAKE /W*, Program analisis dinamis gempa.
5. *TEMP/W*, Program untuk analisis geotermal.
6. *CTRAN/W* Relay, Program Analisis Transmisi.
7. *AIR/W*, Program Analisis Aliran Udara.

2.6.2 Program Slope/W

SLOPE/W adalah program komputer yang menggunakan teori limit equilibrium dalam perhitungan faktor keamanan lereng. Formula yang komprehensif membuat program komputer ini dapat melakukan analisis-analisis mengenai permasalahan yang berkaitan dengan stabilitas lereng dengan berbagai macam metode perhitungan faktor keamanan.

SLOPE/W sendiri menyediakan berbagai macam metode perhitungan faktor keamanan lereng yang dapat dipilih sesuai dengan keinginan, diantaranya yaitu metode Fellenius, Bishop, Janbu, dan Spencer. Pada analisisnya bergantung pada variabel-variabel yang di input seperti kohesi, sudut geser, berat jenis, kondisi tekanan air pori, pembebanan, dan lain-lain.

2.6.3 Program Seep/W

SEEP/W adalah program komputer berbasis elemen hingga untuk analisis aliran air yang berada pada suatu material berporos seperti tanah dan batuan. Program komputer *SEEP/W* dapat memodelkan baik aliran saturated maupun unsaturated. Dengan *SEEP/W*, pengguna dapat mendapatkan gambaran garis freatik pada tubuh material sesuai dengan koefisien permabilitas material tersebut.