

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Investigasi Geologi

Sebuah investigasi geologi merupakan kegiatan penyelidikan tanah yang berfungsi untuk mengetahui karakteristik tanah yang diperlukan sebagai data masukan atau input untuk keperluan perencanaan struktur yang akan berdiri di atasnya. Penyelidikan merupakan awal mula dari seluruh pelaksanaan konstruksi dalam pelaksanaan di bidang teknik sipil. Investigasi geologi atau lebih sering disebut penyelidikan tanah dilakukan dengan tujuan antara lain sebagai berikut (Suyadi, 2013):

1. Menentukan jenis dan kedalaman pondasi.
2. Mengevaluasi beban – daya dukung pondasi.
3. Memperkirakan penurunan tanah yang akan terjadi.
4. Menentukan potensi permasalahan dalam tanah.
5. Memperkirakan keberadaan air tanah.
6. Memperkirakan besaran tekanan tanah lateral.
7. Menentukan tata cara pelaksanaan konstruksi bangunan di atasnya.

Penyelidikan tanah dapat dilakukan dengan berbagai cara, misalnya dengan pengeboran. Biasanya tanah yang akan diuji akan dibawa ke laboratorium, namun ada juga yang melakukan pengujian langsung di lapangan, bergantung pada jenis pengujian yang akan dilakukan dan keperluan pengujian tersebut.

2.2 Geolistrik

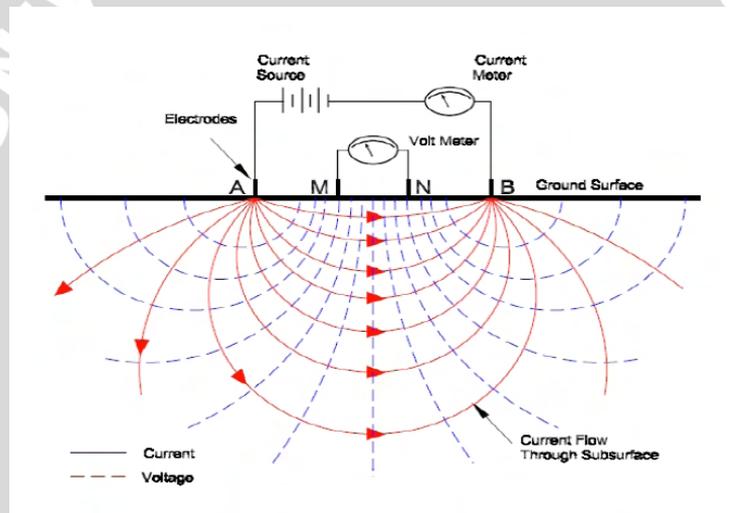
Merupakan metode geofisika yang mempelajari, mengamati fenomena kelistrikan bumi, terutama resistivitas atau tahanan bumi. Metode ini menggunakan anggapan dasar bahwa bumi tersusun dari berlapis – lapis tanah horizontal dan bersifat *homogen isotropic* dalam setiap lapisannya. Bertujuan untuk mengetahui keadaan geologi di bawah permukaan dengan mengukur tahanan jenis batuan. Nilai tahanan jenis batuan yang berbeda mewakili perbedaan karakteristik tiap lapisan tersebut dan besarnya tahanan jenis tersebut diukur dengan mengalirkan arus listrik dan memperlakukan lapisan batuan sebagai media penghantar arus. (Robinson, 1988) Beberapa cara atau metode yang digunakan dalam penyelidikan geolistrik antara lain :

1. *Resistivity*,
2. *Self potensial*,

3. *Induced polarization,*
4. *Very low frequency,*
5. *Mangetotelluric,*
6. *Electromagnetic,* dan sebagainya.

2.2.1 Electrical Resistivity Tomography (ERT)

Metode ini berdasarkan pada kenyataan mengenai konduktivitas tanah dan batuan yang bervariasi dengan kehadiran garam terionisasi. Batuan padat dengan banyak rongga, sedikit kelembapan, dan sedikit ionisasi akan memiliki resistensi yang tinggi, sementara tanah liat jenuh akan memiliki resistensi yang rendah. Walaupun ada beberapa metode yang dapat digunakan, metode wenner dengan empat elektroda yang berjarak sama lebih sederhana dan banyak digunakan dalam investigasi tanah.



Gambar 2.1 Ilustrasi prinsip kerja geolistrik.
 Sumber : (NGA, 2000).

Tabel 2.1 Hambatan elektrik tanah dan batuan.

Material	Resistensi (Ωm)
Lempung atau lanau organik jenuh	5 ~ 20
Lempung atau lanau anorganik jenuh	10 ~ 50
Lempung dan lanau jenuh sebagian, pasir jenuh dan kerikil	50 ~ 150
Lempung kering dan lanau	100 ~ 500
Batu pasir, pasir kering, dan kerikil	200 ~ 2000
Batu kristal	1000 ~ 10.000



Jumlah titik elektroda yang dibutuhkan bergantung jarak antar elektroda atau *spacing* dan panjang lintasan. Pada saat lintasan terbagi dalam x *spacing* maka jumlah titik elektroda sepanjang lintasan adalah sebagai berikut.

$$n = \left(\frac{L}{x}\right) + 1 \quad (2.1)$$

dimana :

n = jumlah titik elektroda

L = panjang lintasan (m)

x = jarak antar elektroda (m)

Penentuan *spacing* dan jumlah titik elektroda berkaitan dengan semakin detailnya nilai resistivitas semu per satuan panjang yang akan diperoleh. Panjang lintasan juga akan bertambah bila *spacing* dan jumlah titik elektroda semakin banyak. Semakin panjang lintasan survei maka semakin dalam pula hasil survei ERT yang diperoleh. Kedalaman hasil survei ERT berdasarkan *spacing* dan panjang lintasan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.2 Faktor kedalaman observasi berdasarkan *spacing* dan panjang lintasan.

Array Type	ze/L	za/L
Wenner Alpha	0,519	0,173
Wenner Beta	0,416	0,139
Wenner Gamma	0,594	0,198
Dipole – dipole	0,416 ~ 1,731	0,139 ~ 0,216
Equatorial dipole – dipole	0,451 ~ 1,556	0,319 ~ 0,377
Wenner - Schlumberger	0,52 ~ 2,48	0,173 ~ 0,19

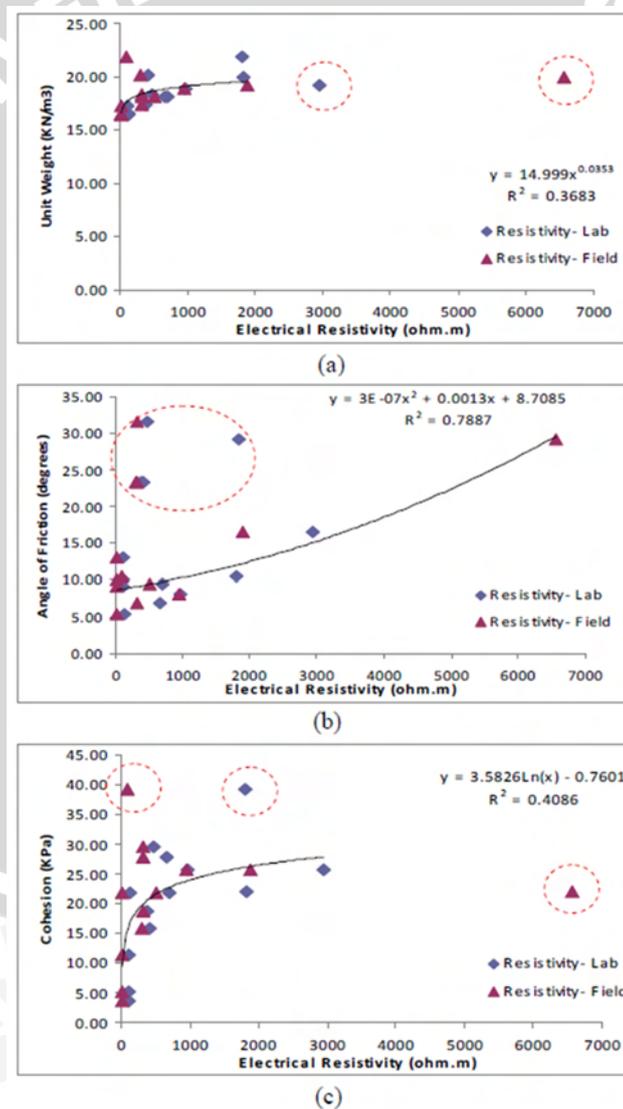
Sumber : (Loke, 2000) dalam (Kurniawan, 2011).

2.2.2 Korelasi Data ERT Dengan Data Karakteristik Tanah

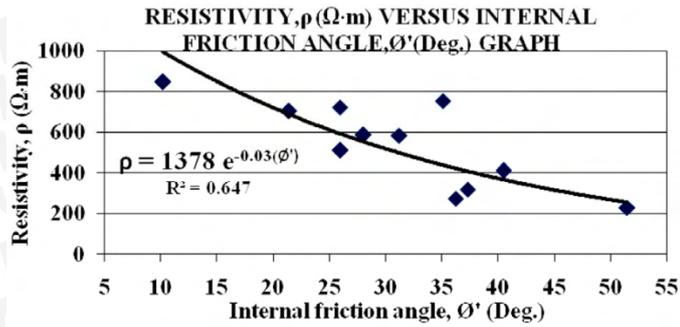
Data hasil survei ERT adalah berupa nilai resistivitas semu tanah (Ωm) pada titik kedalaman tertentu bergantung posisi, *spacing*, dan konfigurasi elektroda yang digunakan. Resistivitas semu adalah nilai tahanan yang diperoleh dari hasil survei. Nilai resistivitas semu tersebut secara umum dapat menggambarkan kondisi tanah pada titik tersebut. Dengan adanya perbedaan nilai resistivitas semu maka dapat diasumsikan

adanya perbedaan data karakteristik tanah antara tanah resistivitas tinggi dengan tanah resistivitas rendah.

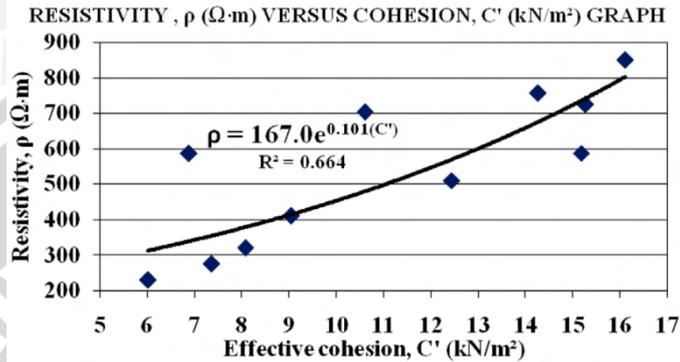
Salah satu gambaran umum yang dapat digunakan adalah tanah dengan nilai resistivitas semu yang rendah dapat diperkirakan memiliki persentase komponen pori yang lebih besar dan terisi air yang dapat menghantarkan listrik. Hal tersebut tentu berbeda dengan tanah yang memiliki nilai resistivitas semu yang tinggi. Namun tidak hanya nilai kadar air (*water content*) tanah yang dapat berubah, dengan penelitian lebih lanjut dapat diperoleh hubungan antara nilai resistivitas semu dengan parameter tanah seperti kohesi, sudut geser dalam, *plastic limit*, *liquid limit*, dan parameter lainnya seperti tampak pada beberapa gambar berikut.



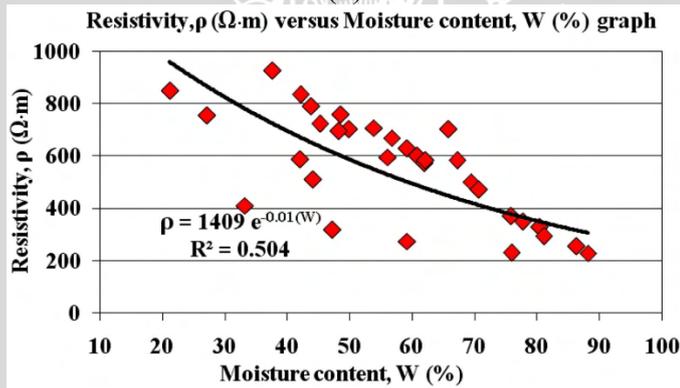
Gambar 2.2 Hubungan nilai resistivitas semu terhadap parameter tanah
(a) berat jenis (b) sudut geser dalam (c) kohesi
Sumber : (Siddiqui & Azhar, 2012).



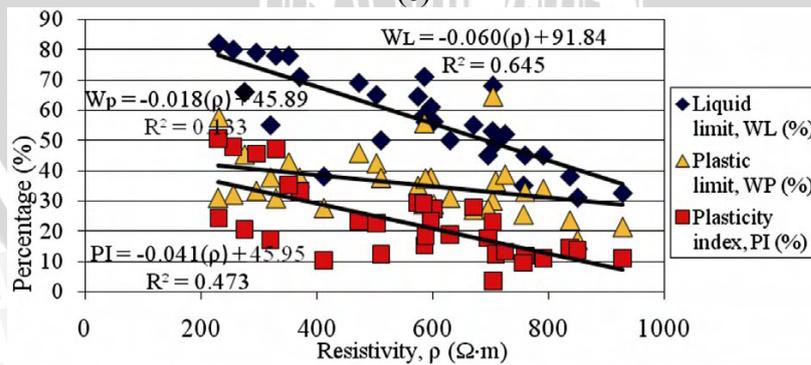
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 2.3 Hubungan nilai resistivitas semu terhadap parameter tanah
(a) sudut geser dalam (b) kohesi (c) kadar air (d) WL, WP, PI
Sumber : (Berry & Saad, 2012)

2.3 Bendungan

Menurut Kementerian Pekerjaan Umum Indonesia, bendungan dapat diartikan sebagai bangunan yang berupa tanah, batu, beton, atau pasangan batu yang dibangun selain untuk menahan dan menampung air, dapat juga untuk menampung limbah tambang, lumpur, dan sejenisnya (PU, 2011).

Bendungan (*dam*) dapat diklasifikasikan menurut struktur, tujuan, atau ketinggiannya. Berdasarkan struktur dan bahan yang digunakan, bendungan dapat diklasifikasikan sebagai bendungan kayu, tanah (*embankment dam*), atau bendungan batu (*masonry dam*) dengan berbagai subtipe. Tujuan dibuatnya termasuk menyediakan air untuk irigasi atau penyediaan air di perkotaan, meningkatkan navigasi transportasi air, menghasilkan tenaga hidroelektrik, menciptakan tempat rekreasi, pencegahan banjir, hingga menahan limbah pembuangan dari tempat industri seperti pertambangan dan pabrik.

2.4 Analisis Stabilitas Bendungan Tipe Urugan

Metode analisis stabilitas lereng bendungan tipe urugan dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu cara keseimbangan batas dan cara elemen hingga. Namun dalam analisis dan desain bendungan, cara keseimbangan batas adalah cara yang paling praktis digunakan. Hasil analisis biasanya dinyatakan dalam faktor keamanan (FS) yang dinyatakan secara umum sebagai berikut.

$$FS = \frac{\text{Kuat geser (shear strength)}}{\text{Tegangan geser (shear stress)}} \quad (2.2)$$

dimana

$$FS = \frac{s}{\tau} \geq 1 \text{ aman} \quad (2.3)$$

Faktor keamanan minimum yang diisyaratkan untuk analisis stabilitas lereng bendungan tipe urugan berdasarkan RSNI M-03-2002 ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 2.3 Persyaratan faktor keamanan minimum untuk stabilitas bendungan tipe urugan.

No	Kondisi	Kuat Geser	Tekanan Air Pori	FS Tanpa Gempa	FS Dengan Gempa
1	Selesai konstruksi tergantung : 1. Jadwal konstruksi. 2. Hubungan antara tekanan air pori dan waktu. Lereng U/S dan D/S Dengan gempa tanpa kerusakan digunakan 50% koefisien gempa desain	1. Efektif	Peningkatan tekanan air pori pada urugan dan fondasi dihitung menggunakan data lab. Dan pengawasan instrumen.	1,30	1,20
			Idem hanya tanpa pengawasan instrumen.	1,40	1,20
			Hanya pada urugan tanpa data lab dan dengan / tanpa pengawasan instrumen.	1,30	1,20
		2. Total	Tanpa pengawasan instrumen	1,30	1,20
2	Aliran langgeng tergantung : 1. Elevasi muka air normal sebelah udik. 2. Elevasi mukai air sebelah hilir. Lereng U/S dan D/S. Dengan gempa tanpa kerusakan digunakan 100% koef. gempa desain.	1. Efektif	Dari analisis rembesan	1,50	1,20
3	Pengoperasioan waduk tergantung : 1. El. Muka air maksimum di udik 2. El. Muka air minimum di udik (dead storage). Lereng U/S harus dianalisis untuk kondisi surut cepat.	1. Efektif		1,30	1,10
				1,30	-
4	Kondisi darurat tergantung : 1. Pembuntuan pada sistem drainase. 2. Surut cepat karena penggunaan air melebihi kebutuhan. 3. Surut cepat keperluan darurat.	1. Efektif		1,20	-

*Catatan : periksa standar tentang Metode Analisis Stabilitas lereng dinamik bendungan tipe urugan

Sumber : RSNi M-03-2002 Metode Analisis Stabilitas Lereng Statik Bendungan Tipe Urugan.

Beberapa cara yang sering digunakan dalam analisis stabilitas lereng dapat diperiksa pada tabel berikut.

Tabel 2.4 Analisis stabilitas dengan cara keseimbangan batas.

Metode	Program	Karakteristik
Bishop termodifikasi (1995)	Mstabl, Mstab, Slope-w, Stabl-g, Sb-slope, Stablm	Hanya bidang runtuh lingkaran, memenuhi keseimbangan momen, tidak memenuhi keseimbangan gaya – gaya horizontal dan vertikal.
Force Equilibrium (Lowe dan Karafiat, 1960 dan <i>US Corps Of Engineers</i> 1970)	Utexas2, Utexas3, Slope-w	Segala bentuk bidang runtuh, tidak memenuhi keseimbangan momen, memenuhi keseimbangan gaya – gaya horizontal dan vertikal.
<i>Janbu's Generalized Procedure</i> (Janbi, 1968)	Stabl-g	Segala bentuk bidang runtuh, memenuhi segala kondisi keseimbangan, lokasi gaya samping dapat divariasi.
<i>Morgenstern and Price's</i> (1965)	Slope-w	Segala bentuk bidang runtuh, memenuhi segala kondisi keseimbangan, lokasi gaya samping dapat divariasi.
<i>Spencer's</i> (1967)	Mstab, Slope-w, Sb-slope, Sstab2	Segala bentuk bidang runtuh, memenuhi segala kondisi keseimbangan, lokasi gaya samping dapat divariasi.

Sumber : RSNi M-03-2002 Metode Analisis Stabilitas Lereng Statik Bendungan Tipe Urugan.

2.4.1 Analisis Lereng Metode Fellenius

Beberapa metode yang digunakan untuk menganalisis kestabilan lereng yang paling umum digunakan seperti Metode Fellenius. Dicituskan oleh W. Fellenius (1939) dan banyak digunakan untuk menganalisis kestabilan lereng yang tersusun oleh tanah dengan bidang gelincir berbentuk lereng. Andaikan bidang luncur dibagi dalam beberapa irisan vertikal, maka faktor keamanan dari kemungkinan terjadinya longsoran dapat diperoleh dengan menggunakan rumus kesetimbangan sebagai berikut.

$$FS = \frac{\sum\{C \cdot l + (N - U - N_e) \tan \phi\}}{\sum(T + T_e)} \quad (2.4)$$

$$FS = \frac{\sum\{C \cdot l + \sum\{\gamma \cdot A (\cos \alpha + e \cdot \sin \alpha) - V\} \tan \phi\}}{\sum \gamma \cdot A (\sin \alpha + e \cdot \cos \alpha)} \quad (2.5)$$

dimana :

FS = faktor keamanan

N = beban komponen vertikal yang timbul dari berat setiap irisan bidang luncur ($= \gamma \cdot A \cdot \cos \alpha$)

T = beban komponen tangensial yang timbul dari berat setiap irisan bidang luncur ($= \gamma \cdot A \cdot \sin \alpha$)

- U = tekanan air pori yang bekerja pada setiap irisan bidang lurus
 N_e = komponen vertikal beban seismis yang bekerja pada setiap irisan bidang lurus ($= e \cdot \gamma \cdot A \cdot \sin \alpha$)
 T_e = komponen tangensial beban seismis yang bekerja pada setiap irisan bidangnya ($= e \cdot \gamma \cdot A \cdot \cos \alpha$)
 ϕ = sudut gesekan dalam bahan yang membentuk dasar setiap irisan bidang lurus
 c = angka kohesi bahan yang membentuk dasar setiap irisan bidang lurus
 z = lebar setiap irisan bidang lurus
 e = intensitas seismis horizontal
 γ = berat isi dari setiap bahan pembentuk irisan bidang lurus
 A = luas dari setiap bahan pembentuk irisan bidang lurus
 α = sudut kemiringan rata – rata dasar setiap irisan bidang lurus
 V = tekanan air pori

2.4.2 Analisis Lereng Metode Bishop Termodifikasi

Pada tahun 1955, Proffesor Bishop memperkenalkan suatu penyelesaian yang lebih teliti daripada metode irisan yang sederhana. Dalam metode ini, pengaruh gaya – gaya pada sisi tepi tiap irisan diperthiungkan. Selain itu pada metode ini, lereng yang terdiri dari berlapis – lapis tanah dapat dianalisa.

Prinsip pengerjaan pada metode ini pada dasarnya sama dengan metode Fellenius, hanya permissalannya yang berbeda yaitu gaya – gaya yang bekerja pada sisi – sisi irisan mempunyai resultan nol pada arah vertikal. Cara mencari nilai faktor keamanan pada metode irisan Bishop yang disederhanakan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$FS = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [c' b_i + (W_i - u_i b_i) \tan \phi'] \left(\frac{1}{M_i} \right)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \quad (2.6)$$

dengan

$$M_i = \frac{\cos \theta_i (1 + \tan \theta_i \times \tan \phi')}{F} \quad (2.7)$$

dimana :

- FS = faktor keamanan
 c' = kohesi tanah efektif

- ϕ' = sudut gesek dalam tanah efektif
 b_i = lebar irisan ke-i
 W_i = berat irisan ke-i
 θ_i = besar sudut dari jari – jari ke titik tengah irisan ke-i
 u_i = tekanan air pori pada irisan ke-i

Metode Bishop yang disederhanakan ini mungkin merupakan metode yang paling banyak digunakan meski metode ini lebih sulit dalam pemakaiannya dibandingkan dengan metode Fellenius. Selain itu dibutuhkan cara coba – coba (*trial and error*), karena nilai faktor aman *FS* tampak di kedua sisi persamaannya. Tetapi cara ini telah terbukti memberikan nilai faktor aman yang mendekati nilai faktor aman dari hitungan yang dilakukan dengan cara lain yang lebih teliti.

2.4.3 Analisis Rembesan

Baik tubuh bendungan maupun pondasinya diharuskan mampu untuk mempertahankan diri terhadap gaya – gaya yang ditimbulkan oleh adanya air filtrasi yang mengalir melalui celah – celah antara butiran – butiran tanah pembentuk tubuh bendungan dan pondasi tersebut. Untuk mengetahui kemampuan daya tahan tubuh bendungan serta pondasinya terhadap gaya – gaya tersebut di atas, maka diperlukan penelitian pada hal sebagai berikut (Sosrodarsono & Takeda, 2002).

1. Formasi garis depresi (*seepage line formation*).

Formasi garis depresi pada zona kedap air suatu bendungan dapat diperoleh dengan metode Casagrande. Apabila angka permeabilitas vertikal (k_v) berbeda dengan angka permeabilitas horizontal (k_h), maka akan terjadi deformasi garis depresi dengan mengurangi koordinat horizontalnya sebesar

$$\sqrt{\frac{k_v}{k_h}} \text{ kali.}$$

2. Kapasitas air filtrasi.

Kapasitas aliran filtrasi adalah kapasitas rembesan air yang mengalir ke hilir melalui tubuh dan pondasi bendungan. Kapasitas filtrasi suatu bendungan mempunyai batas – batas tertentu yang mana apabila kapasitas filtrasi melampaui batas tersebut, maka kehilangan air yang terjadi cukup besar, disamping itu kapasitas filtrasi yang besar dapat menimbulkan gejala sufosi

(*piping*) serta gejala sembulan (*boiling*) yang sangat membahayakan kestabilan tubuh bendungan.

Apabila bahan pembentuk tubuh dan pondasi bendungan mempunyai harga k_v dan k_h yang berbeda, maka untuk menghitung kapasitas aliran filtrasi dilakukan dengan harga k yang telah dimodifikasi (\bar{k}). Harga k dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut.

$$\bar{k} = \sqrt{k_h \times k_v} \quad (2.8)$$

dimana :

k = koefisien filtrasi yang dimodifikasi

k_h = koefisien filtrasi horizontal

k_v = koefisien filtrasi vertikal

Sedangkan memperkirakan besarnya kapasitas filtrasi yang mengalir melalui tubuh dan pondasi bendungan yang didasarkan pada jaringan trayektori aliran filtrasi, dapat dihitung dengan rumus :

$$Q_f = \frac{N_f}{N_p} \times k \times H \times L \quad (2.9)$$

dimana :

Q_f = kapasitas aliran filtrasi (kapasitas rembesan)

N_f = angka pembagi dari garis trayektori aliran filtrasi

N_p = angka pembagi dari garis ekipotensial

k = koefisien filtrasi

H = tinggi tekanan air total

L = panjang profil melintang tubuh bendungan

Angka kapasitas aliran filtrasi ini tidak boleh melebihi dari 0,05% *Gross Storage Capacity*.

3. Gejala sufosi (*piping*) dan sembulan (*boiling*).

Besarnya kecepatan filtrasi dapat diketahui dengan menggunakan jaringan aliran filtrasi, maka digunakan rumus :

$$v = k \times i = k \times \frac{h_2}{l} \quad (2.10)$$

dimana :

v = kecepatan pada bidang keluarnya aliran filtrasi (lereng hilir bendungan)

k = koefisien filtrasi

i = gradien debit

h_2 = tekanan air rata – rata

l = panjang rata – rata berkas elemen aliran filtrasi pada bidang keluar filtrasi

Kecepatan aliran ini tidak boleh melebihi kecepatan kritis agar tidak terjadi perpindahan butiran dari bahan – bahan pembentuk bendungan sehingga mengurangi stabilitas bendungan tersebut, sesuai dengan rumus berikut.

$$V_c = \sqrt{\frac{w_1 \times g}{F \times \gamma}} \quad (2.11)$$

dimana :

V_c = kecepatan kritis

W_1 = berat butiran dalam air

g = gravitasi

F = luas permukaan butiran yang menampung aliran filtrasi

γ = berat isi air

Permeabilitas bahan – bahan pembentuk tubuh bendungan merupakan faktor yang paling menentukan untuk karakteristik gambar jaringan aliran filtrasi dan umumnya akan memberikan hasil sebagai berikut. (Sosrodarsono & Takeda, 2002).

1. Untuk bahan tubuh bendungan dengan $k > 1 \times 10^{-3}$ cm/detik, maka penurunan permukaan air dalam waduk akan bersamaan dengan penurunan air yang terdapat dalam tubuh bendungan.
2. Untuk bahan tubuh bendungan dengan $1 \times 10^{-3} < k < 1 \times 10^{-4}$ cm/detik, maka penurunan permukaan air dalam waduk akan segera diikuti oleh penurunan permukaan air yang terdapat di dalam tubuh bendungan.
3. Untuk bahan tubuh bendungan dengan $k < 1 \times 10^{-4}$ cm/detik, maka penurunan permukaan air dalam waduk tidak lagi segera diikuti oleh penurunan permukaan

air yang terdapat dalam tubuh bendungan. Agar keduanya dapat mencapai permukaan yang sama membutuhkan waktu agak lama dan akan sangat berpengaruh terhadap stabilitas lereng hulu dari bendungan tersebut.

2.5 Gempa

Menurut (Chopra, 1995) dalam (Pradana, 2012), gempa bumi adalah suatu peristiwa alam dimana terjadi getaran pada permukaan bumi akibat adanya pelepasan energi secara tiba – tiba dari pusat gempa. Energi yang dilepaskan tersebut merambat melalui tanah dalam bentuk gelombang getaran. Gelombang getaran yang sampai ke permukaan bumi disebut gempa bumi. Penyebab terjadinya gempa dapat disebabkan oleh berbagai faktor seperti tabrakan meteor, letusan gunung berapi, aktifitas lempeng tektonik, dan sebagainya.

Dari berbagai teori yang telah dikemukakan, maka teori lempeng tektonik dianggap paling tepat. Teori ini menyatakan bahwa bumi diselubungi oleh beberapa lempeng kaku keras (lapisan litosfer) yang berada di atas lapisan yang lebih lunak dari litosfer dan lempeng – lempeng tersebut terus bergerak dengan kecepatan 8~12 km/tahun. Pergerakan lempeng tektonik ini menyebabkan terjadinya penimbunan energi secara perlahan-lahan. Gempa tektonik kemudian terjadi karena adanya pelepasan energi yang telah lama tertimbun tersebut. Daerah yang paling rawan gempa umumnya berada pada pertemuan lempeng – lempeng tersebut.

2.5.1 Pengaruh Gempa Terhadap Bangunan

Menurut (Agus, 2002) dalam (Pradana, 2012), gempa mempunyai pengaruh yang cukup besar terhadap bangunan sehingga harus diperhitungkan dengan benar dalam perencanaan struktur tahan gempa dengan tingkat keamanan yang dapat diterima. Selama terjadi gempa, bangunan mengalami perpindahan vertikal dan horizontal. Gaya gempa dalam arah vertikal hanya sedikit mengubah gaya gravitasi yang bekerja pada struktur yang umumnya direncanakan terhadap gaya vertikal dengan faktor keamanan yang cukup. Sebaliknya gaya gempa horizontal bekerja pada titik – titik yang lemah pada struktur yang tidak cukup kuat dan akan menyebabkan keruntuhan. Oleh karena itu perancangan struktur tahan gempa umumnya dilakukan dengan perencanaan meningkatkan kekuatan struktur terhadap gaya horizontal.

2.5.2 Metode Analisis Gaya Gempa

Metode analisis gempa yang digunakan untuk merencanakan bangunan tahan gempa dapat diklasifikasi menjadi dua, yaitu analisis statik dan analisis dinamik. Dalam menganalisis perilaku struktur yang mengalami gaya gempa, semakin teliti analisis dilakukan, perencanaannya semakin ekonomis dan dapat diandalkan. Untuk bangunan satu tingkat dapat direncanakan hanya dengan menetapkan besarnya beban lateral yang dapat ditahan elemen struktur.

Untuk bangunan berukuran sedang prosedur analisis dapat dilakukan dengan metode analisis statik sesuai dengan prosedur yang ditentukan dalam peraturan, Untuk bangunan yang besar dan mempunyai nilai kepentingan yang besar harus menggunakan metode analisis dinamik. Selain itu analisis dinamik juga harus dilakukan untuk struktur yang mempunyai kekakuan atau massa yang berbeda – beda tiap tingkatannya.

Pemilihan metode analisis antara analisis statik dan dinamik umumnya ditentukan dalam peraturan perencanaan yang berlaku. Pemilihan metode analisis bergantung pada bangunan tersebut apakah termasuk struktur gedung beraturan atau tidak beraturan. Jika suatu bangunan termasuk struktur bangunan beraturan yang didefinisikan dalam peraturan perencanaan, maka analisis gempa dapat dilakukan dengan analisis statik. Sebaliknya jika suatu struktur termasuk struktur bangunan tidak beraturan, maka analisis gempa dilakukan dengan cara dinamik.

2.5.2.1 Analisis Statik

Analisis statik dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu :

1. Analisis statik linear

Analisis statik linear dapat digunakan untuk berbagai tujuan, diantaranya yaitu untuk menganalisis struktur yang mempunyai material dan geometri yang tidak linear, untuk membentuk kekakuan P-delta setelah analisis linear, untuk memeriksa konstruksi dengan perilaku material yang bergantung pada waktu, untuk melakukan analisis beban dorong statik dan lainnya. Analisa beban dorong statik merupakan prosedur analisa untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu material terhadap gempa.

2. Analisis statik non-linear

Analisis statik non-linear secara langsung menghitung redistribusi gaya – gaya dan deformasi yang terjadi pada struktur ketika mengalami respon inelastis. Oleh karena itu, analisis statik non-linear lebih akurat daripada analisis statik

linear. Namun analisis statik non-linear tidak dapat digunakan untuk menganalisis respon struktur bangunan tinggi yang fleksibel. Untuk itu, prosedur analisis dinamik non linear harus dilakukan untuk bangunan tinggi atau bangunan dengan ketidakteraturan dalam arah vertikal yang cukup besar.

2.5.2.2 Analisis Dinamik

Menurut (Chopra, 1995) dalam (Pradana, 2012), gaya lateral yang bekerja pada struktur selama terjadi gempa tidak dapat dievaluasi secara akurat oleh metode analisis statik. Analisis dinamik dipakai untuk memperoleh hasil evaluasi yang lebih akurat dari gaya gempa dan perilaku struktur. Struktur yang didesain secara statik dapat ditentukan apakah struktur tersebut cukup aman berdasarkan hasil responnya dengan analisis dinamik. Jika dari hasil respon tersebut struktur dinyatakan tidak aman, desain struktur tersebut harus dimodifikasi agar memenuhi syarat struktur tahan gempa. Analisis dinamik dibagi menjadi dua jenis, yaitu :

1. Analisis dinamik linear

Respon elastis dari suatu struktur akibat gaya gempa dapat ditentukan dengan analisis model. Riwayat waktu dari respon tiap ragam karakteristik harus diperoleh terlebih dahulu dan kemudian dijumlahkan untuk memperoleh respon riwayat waktu dari kumpulan massa dengan sistem “n” derajat kebebasan. Prosedur ini dinamakan analisis riwayat waktu. Analisis respon dinamik riwayat waktu linear adalah suatu cara analisis untuk menentukan riwayat respon dinamik struktur gedung tiga dimensi yang berperilaku elastik penuh terhadap gerakan tanah akibat gempa rencana pada taraf pembebanan gempa nominal sebagai data masukan dimana respon dinamik dalam setiap interval waktu dihitung dengan metode integrasi langsung atau juga dapat melalui metode analisis ragam.

Analisis riwayat waktu tidak selamanya diperlukan karena sering kali hanya nilai maksimum respon yang diperlukan untuk perencanaan gempa. Dalam hal ini, nilai maksimum dari respon tiap ragam diperoleh dari desain spektra dan ditambahkan untuk menentukan respon maksimum dari keseluruhan sistem. Prosedur ini dinamakan analisis ragam spektrum respon. Analisis ragam spektrum respon adalah suatu cara analisis untuk menentukan respon dinamik struktur gedung beraturan tiga dimensi yang berperilaku secara elastik penuh terhadap pengaruh suatu gempa dimana respon dinamik total struktur gedung

tersebut didapat sebagai hasil superposisi dari respons dinamik maksimum masing – masing ragamnya yang didapat melalui spektrum respon gempa rencana. Namun metode ini tidak dapat digunakan jika ada ragam dimana periode getaran translasional atau torsional mendekati nilai periode alami.

2. Analisis dinamik non-linear

Gaya gempa rencana, gaya dalam, dan perpindahan dari sistem yang menggunakan prosedur analisis dinamik non-linear ditentukan dengan analisis respon dinamik elastis. Dengan analisis dinamik non-linear, perpindahan yang direncanakan tidak ditentukan dengan target, tetapi ditentukan secara langsung melalui analisis dinamik dengan riwayat gerakan tanah (*ground motion histories*). Analisis ini sangat dipengaruhi oleh asumsi dalam pemodelan dan gerakan tanah yang mewakili.

Analisis dinamik non-linear mempunyai dasar – dasar, pendekatan dalam pemodelan, dan kriteria yang hampir sama dengan prosedur untuk analisis statik non-linear. Perbedaan utamanya adalah perhitungan respon untuk analisis dinamik non-linear ini menggunakan analisis riwayat waktu. Analisis respon dinamik riwayat waktu non-linear adalah suatu cara analisis untuk menentukan riwayat waktu respon dinamik struktur gedung tiga dimensi yang berperilaku elastik penuh (linear) maupun elastoplastis (non-linear) terhadap gerakan tanah akibat gempa rencana sebagai data masukan dimana respon dinamik dalam setiap interval waktu dihitung dengan metode integrasi langsung.

2.6 Aplikasi Pendukung

2.6.1 GeoStudio 2007

GeoStudio 2007 adalah sebuah aplikasi untuk pemodelan geoteknik dan geolingkungan. *Software* ini melingkupi SLOPE/W, SEEP/W, SIGMA/W, QUAKE/W, TEMP/W, dan CTRAN/W yang sifatnya saling terintegrasi sehingga memungkinkan untuk menggunakan hasil dari satu fitur ke dalam fitur yang lain. Fitur yang unik dan kuat memperluas jenis masalah yang dapat dianalisis dan memberikan fleksibilitas untuk memperoleh modul seperti yang dibutuhkan untuk proyek yang berbeda (Dewa, et al., 2010).

SLOPE/W merupakan fitur yang digunakan untuk menghitung faktor keamanan tanah dan kemiringan batuan. SLOPE/W dapat menganalisis masalah baik secara sederhana maupun kompleks dengan menggunakan salah satu dari delapan metode

kesetimbangan batas untuk berbagai permukaan yang miring, kondisi tahanan pori air, sifat tanah, dan beban konsentrasi.

SEEP/W adalah salah satu produk GeoStudio yang digunakan untuk menganalisis rembesan air tanah, masalah kelebihan disipasi tekanan air pori. SEEP/W dapat menganalisis permasalahan mulai dari tingkat kejenuhan yang tetap sampai yang tidak jenuh.

2.6.2 Res2dinv

Res2dinv merupakan sebuah aplikasi yang digunakan untuk menghitung, menginterpolasi, memperkirakan, dan menginterpretasi data lapangan dari geolistrik terhadap resistivitas tanah. Aplikasi ini dapat menangani data dengan berbagai macam konfigurasi seperti Wenner, *dipole-dipole*, *inline pole-dipole*, Wenner-Schlumberger, dan sebagainya. Hasil pengolahan data umumnya berupa gambaran model resistivitas bawah tanah dengan *index* warna sebagai pembeda nilai resistivitas.

2.6.3 RockWorks

RockWorks adalah sebuah aplikasi yang digunakan untuk memvisualisasikan, menginterpretasikan bentuk formasi lapisan tanah baik permukaan maupun bawah tanah. Data masukan yang diambil umumnya berasal dari data borehole tanah dan output yang dihasilkan seperti *striplogs*, *lithology*, *stratigraphy*, dan sebagainya. RockWorks dapat menampilkan berbagai macam hasil pengolahan yang diinginkan seperti memperkirakan bentuk potongan formasi lapisan bawah tanah, bentuk lapisan dari atas (*aerial-view*), hingga bentuk formasi lapisan secara tiga dimensi untuk visualisasi lebih detail.

2.7 Peraturan

Peraturan yang berlaku di Indonesia terkait dengan struktur bendungan dan yang digunakan dalam analisis pada skripsi ini yaitu pd. T-14-2004-A tentang Analisis Stabilitas Bendungan Tipe Urugan Akibat Beban Gempa dan zona gempa yang digunakan dari Peta Hazar Gempa Indonesia 2010.