

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Longsor atau gerakan tanah merupakan proses perpindahan massa tanah secara alami dari tempat yang tinggi ke tempat lebih rendah. Pergerakan tanah ini terjadi karena perubahan keseimbangan daya dukung tanah, penurunan stabilitas lereng dan akan berhenti setelah mencapai keseimbangan baru. Longsor umumnya terjadi jika tanah yang sudah tidak mampu menahan berat lapisan tanah di atasnya, karena ada penambahan beban pada permukaan lereng dan berkurangnya daya ikat antara butiran tanah (Bowles & Joseph, E., 2001).

Beberapa tahun terakhir ini di Indonesia banyak terjadi fenomena longsor di beberapa daerah yang memiliki kondisi topografi rentan, misalnya kemiringan lereng cukup terjal dan kondisi geologisnya memiliki potensi gempa yang cukup tinggi.

Beberapa parameter penting pemicu longsor antara lain adalah kemiringan lereng. Semakin besar sudut lereng semakin besar pula daya dorong, karena meningkatnya tegangan geser yang berbanding terbalik dengan tegangan normal berupa kekuatan penahan. Selain itu beban dinamis juga akan berpengaruh terhadap besarnya sudut kemiringan pada suatu lereng. Di daerah mempunyai pengaruh beban dinamis yang tinggi, maka sudut kemiringan lerengnya cenderung lebih kecil jika dibandingkan dengan daerah yang pengaruh beban dinamisnya rendah. Beban dinamis dapat berupa gempa maupun pergerakan kendaraan, getaran dari mesin – mesin pabrik dan sebagainya.

Apabila terjadi gempa bumi, maka akan bergetar pertama kali tanah disekeliling pusat gempa. Getaran akibat gempa kemudian disebarkan ke segala penjuru sampai pada ke lokasi pencatat gempa di permukaan tanah. Selama getaran menjalar dari pusat gempa sampai ke permukaan tanah, maka faktor tanah sebagai penghantar getaran mempunyai peran yang sangat penting.

Kondisi geologi dan tanah, akan menyebabkan respon tanah akibat beban dinamis menjadi berlainan. Untuk keperluan tersebut, maka perlu dilakukan eksperimen pada berbagai jenis tanah pada beberapa kondisi kadar air, serta sudut

kemiringan lereng tertentu. Disini juga akan diselidiki pola keruntuhan serta menentukan angka keamanan (*safety factor*) pada model lereng.

1.2 Identifikasi Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam studi ini antara lain :

- a. Getaran mempunyai peran penting sebagai pemicu longsoran
- b. Model tes pengaruh getaran terhadap proses longsoran belum banyak dilakukan.

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi oleh beberapa hal antara lain :

- a. Jenis tanah yang digunakan berupa campuran tanah lempung kaolin (50%) dan pasir (50%).
- b. Pasir yang digunakan terdiri dari tiga jenis campuran yaitu pasir bergradasi halus, bergradasi sedang, dan bergradasi kasar dengan perbandingan 1:2:3.
- c. Beban dinamis berasal dari *shieve shaker* milik Laboratorium Mekanika Tanah dengan skala 4.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan di atas, dapat dirumuskan beberapa masalah yang akan dibahas antara lain :

1. Bagaimana pola keruntuhan lereng dengan variasi sudut kemiringan lereng pada tanah lempung pasir akibat pengaruh beban dinamis?
2. Berapa faktor keamanan dari setiap pola keruntuhan dengan variasi sudut kemiringan lereng pada tanah lempung pasir baik tanpa maupun dengan beban dinamis?

1.5 Tujuan

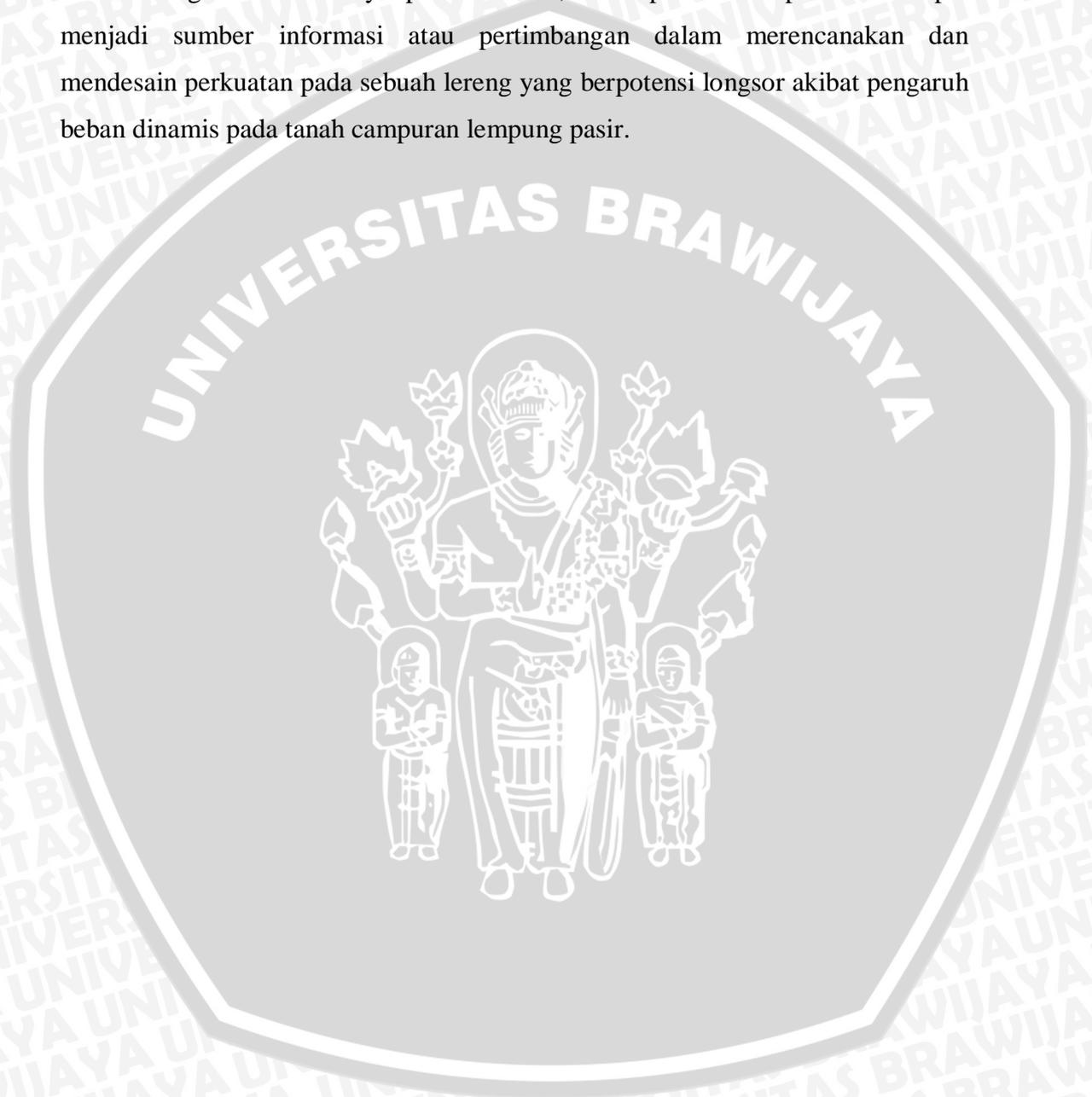
Tujuan dari penelitian ini antara lain :

- a. Mengetahui pola keruntuhan pada model lereng dengan variasi sudut kemiringan akibat pengaruh beban dinamis.

- b. Mengetahui faktor keamanan pada setiap pola keruntuhan dengan variasi sudut kemiringan dan pengaruh beban dinamis.

1.6 Manfaat

Dengan dilakukannya penelitian ini, diharapkan hasil penelitian dapat menjadi sumber informasi atau pertimbangan dalam merencanakan dan mendesain perkuatan pada sebuah lereng yang berpotensi longsor akibat pengaruh beban dinamis pada tanah campuran lempung pasir.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lereng

Lereng adalah suatu permukaan tanah yang miring dengan sudut tertentu terhadap bidang horizontal dan tidak dilindungi disebut sebagai lereng atau talud. Bentuk lereng tergantung pada proses erosi gerakan tanah dan pelapukan. Berdasarkan macamnya lereng terdiri atas :

1. Lereng Alam

Lereng yang terbentuk akibat proses alam, misal lereng suatu bukit.

2. Lereng Buatan Tanah Asli

Lereng yang dibuat dengan tanah asli dengan memotong tanah tersebut untuk pembuatan jalan atau saluran air untuk irigasi.

3. Lereng Buatan Tanah yang Dipadatkan

yang dipadatkan untuk tanggul – tanggul jalan raya atau bendungan urugan tanah.

2.2 Longsoran

Longsoran didefinisikan sebagai gerakan batuan atau tanah di atas lereng permukaan kearah bawah lereng bumi disebabkan oleh gravitasi atau gaya berat. (Nelson, S, A., 2004).

2.2.1 Mekanisme Terjadinya Longsoran

Secara prinsip pada suatu lereng pada dasarnya berlaku dua macam gaya, yaitu gaya penahan dan gaya penggerak. Gaya penahan yaitu gaya yang menahan massa dari pergerakan berupa gaya geseran atau gesekan, kohesi dan kekuatan geser tanah. Sedangkan gaya penggerak adalah gaya yang menyebabkan massa bergerak berupa gaya berat dan gaya gravitasi.

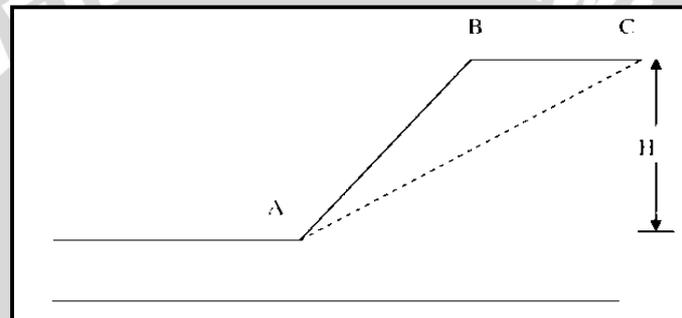
Konsep dari faktor keamanan yaitu perbandingan antara gaya penahan dan gaya penggerak yang diperhitungkan pada bidang gelincirnya. Jika gaya penahannya lebih besar dari gaya penggeraknya maka lereng tersebut dalam keadaan stabil (mantap), tetapi bila gaya penahannya lebih kecil dari gaya penggeraknya, maka akan menyebabkan terjadinya kelongsoran.

Kestabilan suatu lereng biasanya dinyatakan dalam bentuk factor keamanan (FS), dimana $FS > 1$ lereng dalam keadaan stabil, $F=1$ lereng dalam keadaan seimbang dan siap longsor, dan $F < 1$ lereng tidak stabil. (Hoek and Bray, 1981)

Pada umumnya suatu longoran mempunyai sebuah bidang longsor, dan pada umumnya terdapat dua macam bentuk longoran, yaitu :

1. Bidang longsor berbentuk datar

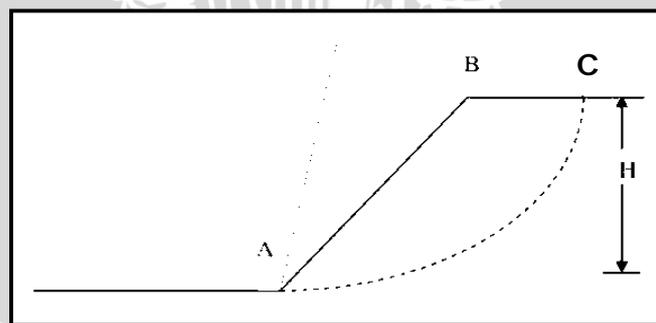
Adalah suatu lereng yang mempunyai bidang longsor berupa garis lurus dengan kemiringan tertentu. Pada gambar 2.1 menunjukkan sebuah lereng dengan ketinggian H, mempunyai kemiringan lereng datar berupa garis AC.



Gambar 2.1 Bidang longsor berbentuk datar

2. Bidang Longsor berbentuk Lingkaran

Adalah sebuah lereng yang mempunyai bidang longsor menyerupai sebuah lingkaran.



Gambar 2.2 Bidang longsor berbentuk lingkaran

Pada gambar diatas merupakan lereng dengan ketinggian H dengan bidang kelongsoran AC.

2.2.2 Klasifikasi Longsoran

Longsoran yang disesuaikan dengan dasar klasifikasi yang dipergunakan masing-masing ahli, berikut ini dijelaskan nama-nama kelas gerakan tanah yang umum dipakai (Ritter, 1986) :

a. Longsoran tipe jatuhan (*falls*)

Tanah longsor tipe ini, material batuan atau tanah atau campuran keduanya bergerak dengan cara jatuh bebas karena gaya beratnya sendiri. Proses tanah longsor semacam ini umumnya terjadi pada lereng terjal, bisa dalam bentuk bongkah individual batuan berukuran besar atau dalam bentuk gugusan fragmen bongkah bercampur dengan bongkah-bongkah yang berukuran lebih kecil.

b. Longsoran tipe robohan (*Topples*)

Gerakan massa tipe robohan hampir serupa dengan tanah longsor tipe falls, pada tipe topples ini gerakannya dimulai dengan bagian paling atas dari bongkah lepas dari batuan induknya karena adanya celah retakan pemisah, bongkah terdorong ke depan hingga tidak dapat menahan bebannya sendiri.

c. Longsoran tipe gelincir (*Slides*)

Tanah longsor tipe gelincir adalah tanah longsor batuan atau tanah atau campuran keduanya yang bergerak melalui bidang gelincir tertentu yang bertindak sebagai bidang diskontinuitas, berupa bidang perlapisan batuan atau bidang sesar/patahan, bidang kekar, bidang batas pelapukan. Jika bidang-bidang diskontinuitas tersebut sejajar dengan bidang perlapisan, maka semakin besar peluang terjadinya tanah longsor.

d. Longsoran tipe aliran (*Flows*)

Tanah longsor tipe aliran adalah tanah longsor tanah atau bercampur dengan bongkah-bongkah batuan bergerak pada saluran tertentu yang disebabkan massa tanah yang kehilangan daya rekatnya karena penjuhan oleh air meresap kedalam tanah sangat banyak karena intensitas hujan yang sangat tinggi dan lama atau pencairan gletser di daerah yang beriklim dingin.

e. Longsoran tipe rayapan (*Creep*)

Gerakan tipe tanah rayapan (*creep*) adalah tanah longsor yang bergerak sangat lambat, gerakannya tidak spontan (tidak mendadak), gerakan ini hanya

diketahui dari retakan pada agungan permanen, tiang listrik pohon-pohon miring condong ke arah bawah lereng.

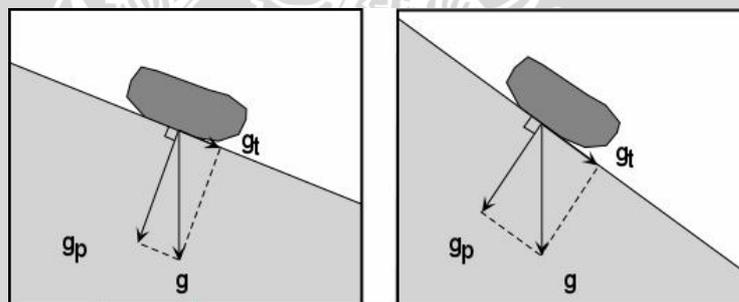
2.3 Stabilitas Lereng

Faktor – faktor yang mempengaruhi stabilitas lereng antara lain gravitasi, air, material tanah, geometri lereng, bidang gelincir dan getaran atau gempa.

1. Gravitasi

Gaya utama yang dapat menyebabkan longsor adalah gravitasi. Gravitasi adalah gaya yang bekerja di semua permukaan bumi, menarik segala sesuatu menuju pusat bumi. Pada permukaan yang rata gaya gravitasi bekerja ke bawah. Selama materi tetap pada permukaan datar tidak akan bergerak di bawah gaya gravitasi.

Pada lereng, gaya gravitasi dapat dipecahkan menjadi dua komponen, komponen pertama yang bekerja tegak lurus terhadap lereng dan komponen kedua bekerja pada komponen tangensial ke lereng.



Gambar 2.3 Komponen gravitasi

Keterangan gambar :

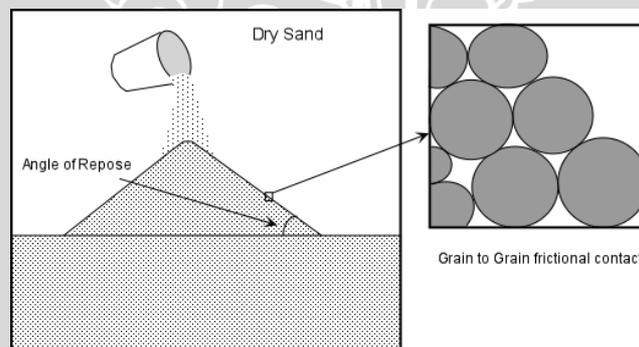
Komponen yang tegak lurus gravitasi (g_p) membuat benda tetap berada pada lereng. Komponen tangensial gravitasi (g_t) mengakibatkan tegangan geser sejajar dengan lereng yang menarik benda sejajar dengan kemiringan lereng.

Pada lereng yang curam, tegangan geser atau komponen tangensial gravitasi (g_t) meningkat, sedangkan komponen tegak lurus gravitasi (g_p) berkurang.

2. Air

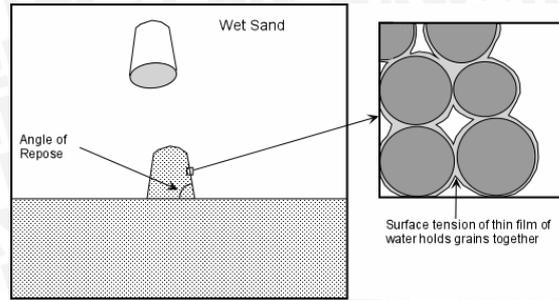
Meskipun air tidak selalu terlibat langsung sebagai media pada proses kelongsoran, air mempunyai peranan penting antara lain :

- a. Penambahan air dari hujan atau salju yang mencair akan menambah beban lereng. Air dapat meresap ke dalam tanah atau batu dan mengisi udara pada pori atau patahan. Air yang lebih berat daripada udara akan meningkatkan beban pada tanah. Berat adalah gaya, dan gaya adalah tegangan di bagi luas area, sehingga tegangan meningkat dan hal ini dapat membuat lereng menjadi tidak stabil.
- b. Air mempunyai kemampuan untuk mengubah *Angle of Repose* (sudut kemiringan yang merupakan sudut stabil untuk lereng)
 - Butiran-butiran tanah kering yang terkonsolidasi akan membentuk tumpukan dengan sudut kemiringan yang ditentukan oleh *Angle of Repose*. *Angle of Repose* adalah sudut paling curam yang menjadikan butiran yang terkonsolidasi menjadi tetap stabil, dan dikendalikan oleh gesekan antar butir. Secara umum, untuk material kering *Angle of Repose* meningkat seiring dengan meningkatnya ukuran butir, biasanya terletak antara $30^\circ - 37^\circ$.



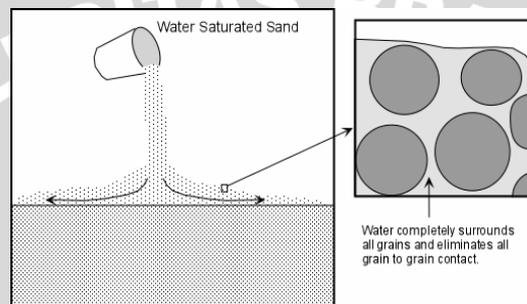
Gambar 2.4 Angle of Repose pada tanah kering

- Tanah agak basah yang terkonsolidasi mempunyai *Angle of Repose* yang sangat tinggi karena tegangan permukaan antara air dan butiran padat cenderung menahan butiran pada tempatnya.



Gambar 2.5 Angle of Repose pada tanah agak basah

- Pada saat tanah jenuh air, sudut keamanan akan berkurang dan tanah cenderung mengalir seperti fluida. Hal ini disebabkan air menghilangkan gesekan antar butiran tanah.



Gambar 2.6 Angle of Repose pada tanah jenuh

- Air dapat diserap atau ditolak oleh mineral yang terkandung dalam tanah. Penyerapan terjadi karena molekul polar air menempel pada permukaan mineral. Penyerapan menyebabkan mineral menarik molekul ke dalam strukturnya. Dengan menambahkan air dengan cara ini, berat tanah atau batu akan meningkat. Selain itu penyerapan dapat menghilangkan gesekan antara butiran mineral yang mengakibatkan hilangnya kohesi, sehingga mengurangi kekuatan tanah. Secara umum tanah liat basah memiliki kekuatan lebih rendah daripada tanah liat kering, dengan demikian penyerapan air menyebabkan berkurangnya kekuatan tanah liat.

3. Material

Tanah merupakan material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral – mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan – bahan organik yang telah lapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan zat gas yang mengisi ruang – ruang kosong diantara partikel – partikel padat tersebut (Braja M. Das, 1985)

Kebanyakan jenis tanah terdiri dari banyak campuran dan ukuran partikel. Tanah lempung dapat bercampur dengan butiran ukuran lanau, pasir maupun campuran bahan organik.

Ukuran partikel – partikel tanah dapat bervariasi dari yang berukuran <0,001 mm sampai >100 mm. Sifat fisik yang mempengaruhi kestabilan lereng antara lain bobot isi (density), porositas, kandungan air, juga dengan berbagai macam komposisi yang terkandung pada suatu tanah akan mempengaruhi kuat gesernya. Ini ditunjukkan dengan nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) tanah tersebut.. Berikut adalah tabel besar sudut geser pada berbagai tipe tanah :

Tabel 2.1 Harga sudut geser internal kondisi drained untuk pasir dan lanau

Tipe Tanah	Sudut geser ($^{\circ}$)
<i>Pasir butiran bulat</i>	
Renggang/ Lepas	27-30
Menengah	30-35
Padat	35-38
<i>Pasir butiran bersudut</i>	
Renggang/ Lepas	30-35
Menengah	35-40
Padat	40-45
<i>Kerikil bercampur pasir</i>	34-48
Lanau	26-35

(Braja M. Das, 1985)

Keruntuhan terjadi akibat kombinasi kritis antara tegangan normal dan geser. Besarnya kekuatan geser tanah menurut Mohr-Coulomb dinyatakan dengan persamaan :

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi \quad (2.1)$$

Dimana

τ = Kuat geser tanah

c = Kohesi

σ = Tegangan total

ϕ = Sudut geser internal

Tegangan total merupakan total tegangan efektif tanah (σ') dengan tekanan air pori (u), dirumuskan :

$$\sigma = \sigma' + u \quad (2.2)$$

Dengan anggapan dalam eksperimen ini tidak ada muka air sehingga nilai tekanan air pori (u) adalah 0.

4. Geometri Lereng

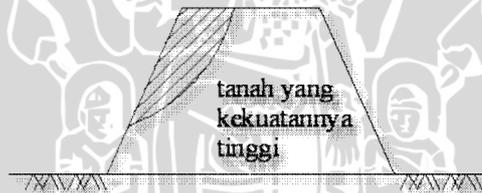
Geometri lereng mencakup tinggi lereng dan sudut kemiringan lereng. Kemiringan dan tinggi suatu lereng sangat mempengaruhi kestabilannya. Semakin besar kemiringan dan tinggi suatu lereng maka Kestabilannya semakin kecil. Muka air tanah yang dangkal menjadikan lereng sebagian besar basah dan batuan memiliki kandungan air yang tinggi, sehingga menyebabkan kekuatan batuan menjadi rendah dan lereng lebih mudah longsor.

5. Bidang Gelincir (*SlipFailure*)

Penyelidikan yang pernah diadakan di Swedia menegaskan bahwa bidang keruntuhan/ bidang luncur lereng tanah menyerupai bentuk busur lingkaran Tipe keruntuhan lereng yang normal terjadi dapat dibagi atas :

a. Keruntuhan pada lereng (*slope failure*)

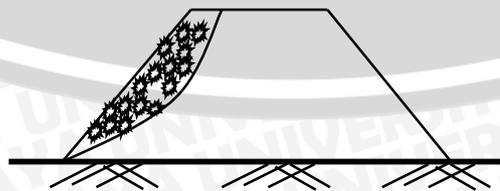
Keruntuhan pada lereng (*slope failure*) terjadi karena sudut lereng sangat besar dan tanah yang dekat dengan kaki lereng tersebut memiliki kekuatan yang tinggi.



Gambar 2.7 Tipe keruntuhan pada lereng

b. Keruntuhan pada kaki lereng (*toe failure*)

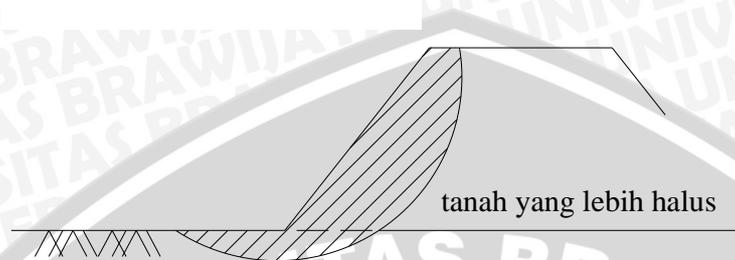
Keruntuhan ini terjadi ketika tanah yang berada di atas dan di bawah kaki lereng bersifat homogen.



Gambar 2.8 Tipe keruntuhan pada kaki lereng

c. Keruntuhan dibawah kaki lereng (*base failure*)

Sedangkan keruntuhan dasar lereng (*base failure*) terutama diakibatkan sudut lereng yang kecil dan tanah yang berada di bawah kaki lereng lebih halus dan lebih plastis daripada tanah di atasnya.



Gambar 2.9 tipe keruntuhan dibawah kaki lereng

6. Getaran/ Gempa

Salah satu penyebab yang dapat mempercepat waktu longsoran adalah pengaruh beban dinamis atau getaran baik berupa gempa, ledakan dan getaran mesin yang dapat mengurangi kuat geser tanah terhadap tegangan gesernya. Hal ini dapat memperkecil angka keamanan sehingga lereng tidak stabil.

Gempa merupakan getaran atau guncangan yang terjadi dipermukaan bumi biasanya disebabkan oleh pergerakan kerak bumi (lempeng bumi). Kebanyakan gempa disebabkan dari pelepasan energi yang dihasilkan oleh tekanan lempengan yang bergerak.

2.4 Perambatan dan Pencatatan Gelombang Gempa

Untuk mengetahui perambatan gelombang gempa ada beberapa istilah yang sebelumnya harus kita ketahui yaitu :

- Hiposentrum gempa yaitu lokasi sumber terjadinya gempa biasa disebut focus gempa. Fokus gempa ini terletak dikedalaman dibawah permukaan bumi.
- Episentrum yaitu lokasi di permukaan bumi yang berada tepat diatas (tegak lurus) hiposentrum.

2.4.1 Pembagian Gelombang Seismik

Gelombang seismik sendiri secara umum dapat dibedakan menjadi dua yaitu :

1. Gelombang Bawah Permukaan (Body Wave)

Gelombang bawah permukaan adalah gelombang seismik yang menjalar menjauhi fokus merambat pada bagian bawah permukaan dan dapat menyebar keseluruhan bagian bumi. Gelombang dibedakan menjadi dua :

a. Gelombang P (Primer)/ Gelombang Kompresi (*Compression*)

Sifat dan karakteristik penjalaran gelombang ini adalah gelombang yang pertama kali sampai di stasiun gempa, artinya pada saat gempa bumi terjadi, maka gelombang ini akan terekam pertama kali pada seismograf yang terdapat di stasiun gempa. Gelombang ini merambat secara longitudinal. Arah gerak partikel medium yang dilaluinya searah dengan arah rambatan gelombang. Gelombang ini dapat merambat melalui medium padat ataupun cair.

b. Gelombang S (Sekunder)/ *Shear Wave*

Sifat dan karakteristik perambatan gelombang ini adalah Gelombang ini terekam pada stasiun gempa setelah gelombang P, merambat secara transversal (tegak lurus dengan arah rambatan gelombang. Gelombang ini hanya dapat merambat pada medium padat.

2. Gelombang Permukaan (*Surface Wave*)

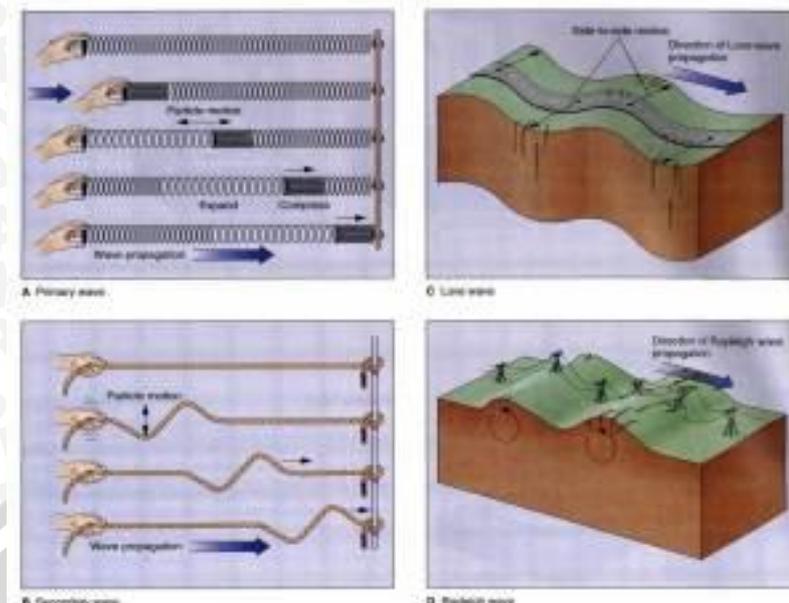
Gelombang permukaan adalah gelombang seismik yang merambat pada permukaan bumi. Memiliki kecepatan yang lebih rendah dari gelombang bawah permukaan (*Body Wave*). Perambatan gelombang permukaan memiliki gerak horizontal. Gelombang ini di bagi menjadi dua yaitu:

a. Gelombang Love

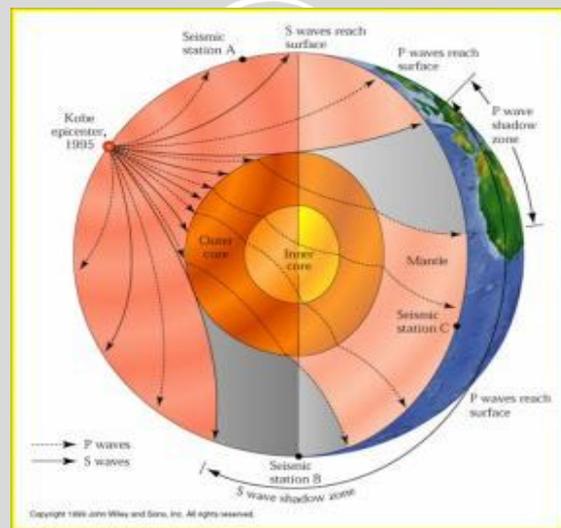
Gelombang ini memiliki pergerakan yang sama dengan gelombang S, yaitu arah pergerakan partikel medium yang dilaluinya tegak lurus dengan arah perambatan gelombang, akan tetapi lokasi perambatannya pada permukaan bumi.

b. Gelombang Rayleigh

Gelombang yang arah rambat partikelnya melingkar sepanjang arah perambatan gelombangnya.



Gambar 2.10 Pembagian Gelombang Seismik



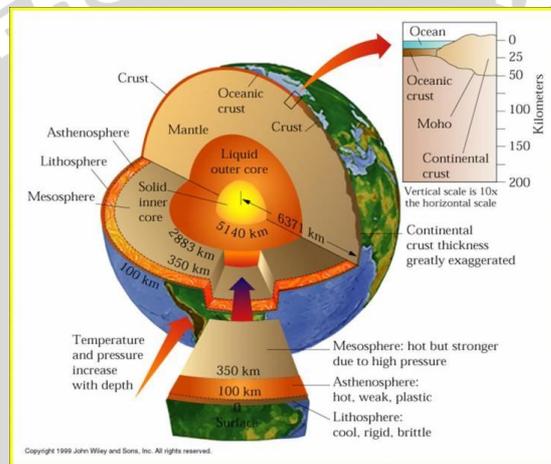
Gambar 2.11 Proses Perambatan Gelombang Seismik Pada Struktur Interior Bumi

2.4.2 Interpretasi Gelombang Seismik

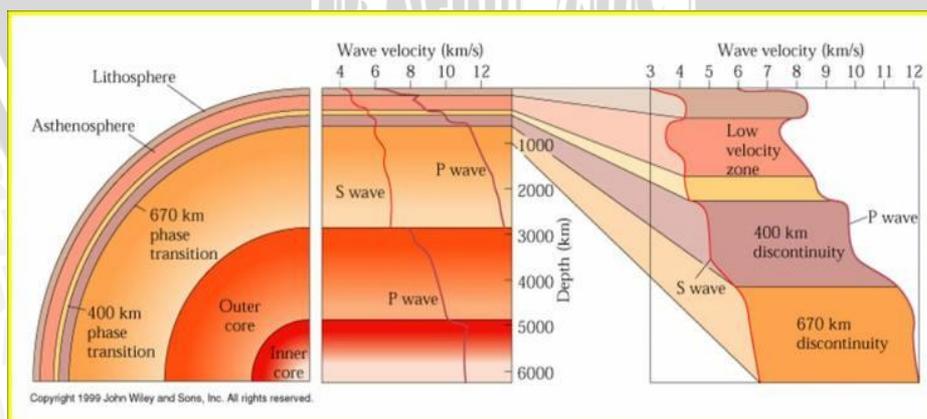
Untuk merekam gelombang seismik diperlukan sebuah alat yang dinamakan seismograf. Seismograf merekam gelombang seismik yang merambat pada bumi ketika gempa bumi terjadi. Kemudian dari data hasil rekaman tersebut didapatkan parameter waktu tempuh gelombang untuk sampai pada seismograf di stasiun gempa. Selain itu juga dapat mengukur jarak hiposentrum dan episentrum (lokasi gempa bumi terjadi) terhadap stasiun gempa. Sehingga, dari kedua variabel ini dapat dihitung harga kecepatan gelombang seismik yang merambat di dalam bumi. Selanjutnya, jika data kecepatan gelombang diplot terhadap kedalaman, akan memberikan suatu harga kecepatan yang menunjukkan pola dan

karakteristik tertentu, yaitu harga kecepatan rambat gelombang yang berbeda-beda pada setiap lapisan di kedalaman. Dari sini ditarik kesimpulan bahwa struktur lapisan Bumi memiliki komposisi batuan yang memiliki sifat fisik berbeda-beda (tidak homogen). Kemudian jika terjadi pembiasan gelombang (Perubahan fasa gelombang) yang tercermin dari perubahan drastis kecepatan gelombang seismik. Hal ini menunjukkan adanya bidang diskontinuitas, yaitu bidang batas antara dua lapisan yang berbeda.

Dari hasil analisis gelombang gempa bumi yang pernah terjadi di bumi inilah yang menunjukkan bahwa struktur interior bumi tidak homogen akan tetapi bervariasi. Berikut ini adalah gambaran mengenai struktur interior bumi :



Gambar 2.12 Pembagian struktur dalam bumi berdasarkan geologi dan geofisika (gelombang seismik) yang menunjukkan perbedaan fisik masing-masing



Gambar 2.13 Struktur Interior bumi dan Karakteristik Penjalaran Gelombang

2.4.3 Pencatatan Gelombang Gempa

Pencatatan gelombang gempa dilakukan di pusat – pusat pencatatan gempa dengan menggunakan seismograf. Ada beberapa definisi yang perlu diketahui antaralain:

- a. Seismoscope adalah suatu alat atau bagian alat yang hanya dapat menunjukkan bahwa suatu gempa bumi telah terjadi tetapi tidak mendapatkan catatan apa – apa.
- b. Seismograph adalah suatu alat yang memberikan catatan – catatan yang terus menerus dari gerakan tanah, catatan dimana dinamakan seismogram.
- c. Seismometer adalah seismograph yang konstanta fisiknya diketahui dengan baik sehingga gerakan tanah yang sebenarnya dapat dihitung dari seismogram. Tetapi seismogram ini mempunyai arti yang lain dari yang biasa dipakai.

Sebuah seismograph elektromagnetik terdiri dari sebuah pencatat elektromagnetik (sensor atau detector) yang biasanya merupakan alat bandul dan merupakan galvanometer dengan sebuah alat pencatatnya (recorder). Dengan alat ini biasanya sensor tersebut dikatakan seismometer dan keseluruhannya dinamakan seismograph. Pada waktu sekarang ini karakteristik dari seismograph secara keseluruhan diketahui dengan baik sehingga dapat memperhitungkan dengan tepat gerakan tanah yang sebenarnya. Untuk selanjutnya istilah seismometer yang akan dipakai ini berarti sensor atau detektornya.

2.4.4 Prinsip Bandul

Apabila terjadi suatu gempa bumi yang cukup kuat, maka gelombang–gelombang elastik dipancarkan dari pusat gempa bumi ke semua arah. Apabila suatu seismograph dipasang dipermukaan bumi maka getaran–getaran gempa bumi yang datang atau melewati seismograph tersebut akan tercatat oleh seismograph tersebut karena segala sesuatu yang berhubungan dengan bumi akan ikut bergetar sedangkan pada seismograph terdapat suatu titik tetap yang tidak ikut bergerak dengan gerakan dari bumi itu. Titik tetap ini adalah pendulum seismograph atau seismograph bandul diantara titik tetap ini dibuat lebih kurang tidak berpengaruh oleh sekitarnya dengan memakai suatu per yang khusus. Umpamanya dalam seismograph komponen vertikal dari model yang paling sederhana dimana masa statisnya ditahan oleh per spiral yang vertikal yang dihubungkan dengan rangkanya yang ikut bergetar dengan bumi apabila terjadi

gempa bumi, sedangkan masanya tidak bergerak. Seismograph yang paling baik adalah apabila masa statisnya betul – betul tidak ikut bergerak, tetapi hal ini sangat sulit untuk membuatnya dan biasanya masa statisnya ini juga ikut sedikit – sedikit. Ada tiga bagian yang terpenting dalam seismograph yaitu :

1. Damping (Penahan)

Untuk mendapatkan catatan yang jelas dari setiap macam gelombang diperlukan supaya segera setelah seismograph habis mencatat 1 gelombang/phase dia harus berhenti sebelum phase yang lain datang. Untuk kepentingan ini diperlukan adanya damping (penahan). Cara damping suatu gerakan catatan gelombang haruslah dibuat kritis supaya hal ini tidak tergantung dari periodenya (unperiodic) hal mana akan menghasilkan catatan gerakan tanah yang terbaik.

2. Periode

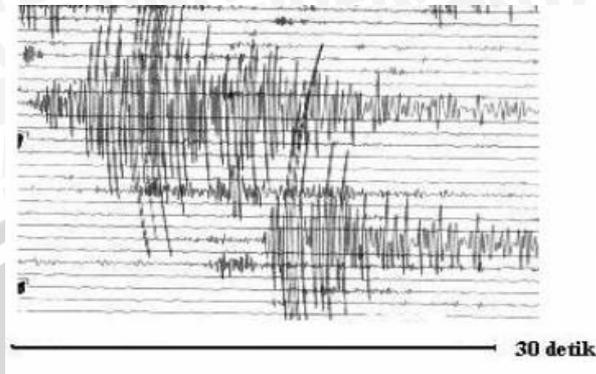
Dalam seismograph bandul untuk mendapatkan periode bebas seismograph 10 detik atau lebih diperlukan per sepanjang ± 25 m (panjang per bertambah dengan kuadrat periodenya). Hal ini menjadikan seismograph tersebut menjadi tidak praktis.

3. Magnifikasi (Pembesaran).

Pada umumnya seismograph translasi menggunakan prinsip yang sama yaitu prinsip bandul. Yang berbeda hanya dalam cara pencatatannya, yaitu dengan cara seismograph pencatatan langsung dan elektromagnetik. Seismograph pencatatan langsung pada umumnya terdapat pada seismograph wienchert dimana gerakannya dipindahkan dari bandul kepada recording dengan cara mekanisasi murni dan diperbesar menurut panjang tangan tangannya. Ada tiga macam gerakan penting partikel tanah yaitu translasi atau salinan, rotasi atau putaran dan deformasi atau perubahan bentuk.

Untuk mencatat setiap gerakan tersebut harus diciptakan seismograph yang khusus tetapi pada umumnya seismograph–seismograph yang ada sekarang hanya untuk mencatat gerakan–gerakan translasi. Seismograph rotasi pernah dibuat tetapi hanya untuk hubungannya dengan pengaruh gerakan tanah sebagai keperluan konstruksi. Seismograph deformasi atau seismograph strain juga pernah dibuat hanya pada jumlah yang kecil. Untuk mendapatkan catatan–catatan yang lengkap untuk seismograph translasi diperlukan catatan untuk 3 komponen yaitu

vertikal, utara selatan dan timur barat. Dengan tiga komponen ini kita bisa mendapatkan arah gerakan tanah yang sebenarnya. Berikut contoh hasil pencatatan gempa dengan menggunakan seismograph.



Gambar 2.14 Contoh Hasil Pencatatan Seismograph

Rekaman ini dapat dipergunakan salah satunya untuk menentukan magnitudo gempa tersebut. Selain itu dari beberapa seismogram yang direkam ditempat lain, dapat menentukan pusat gempa atau posisi dimana gempa tersebut terjadi.

Dari gambar rekaman gempa tersebut akan di dapat simpangan terjauh (A), frekuensi (f) yang didapat dari banyaknya gelombang dalam satu detik. Satu gelombang terdiri dari satu puncak dan lembah gelombang.

2.4.5 Persamaan Simpangan (y), Kecepatan (v) dan Percepatan (a) Getaran

Jika pada saat $t = 0$, $y = 0$ maka simpangan getaran akan memenuhi persamaan

$$Y = A \sin \omega t \quad (2.17)$$

Dimana

A = Simpangan

$\omega = 2\pi f$ (frekuensi sudut)

t = waktu

Persamaan kecepatan getaran dapat diperoleh dengan menurunkan simpangan terhadap waktu :

$$v = \frac{dy}{dt} \quad (2.18)$$

$$v = \frac{d(A \sin \omega t)}{dt} \quad (2.19)$$

$$v = A \cos \omega t \quad (2.20)$$

Nilai terbesar dari \cos adalah $\cos 0 = 1$. Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan maksimum akan terjadi pada saat sudut fase getaran = 0 dengan besar kecepatan maksimum adalah :

$$v_{\max} = A\omega \quad (2.21)$$

Persamaan percepatan getaran diperoleh dengan menurunkan kecepatan terhadap waktu :

$$a = -\omega^2 A \sin \omega t \quad (2.22)$$

Dengan menggunakan persamaan dari Hukum Newton II Gaya horizontal akan didapatkan yaitu :

$$\begin{aligned} F &= m.a \\ &= m. (-\omega^2 A \sin \omega t) \\ &= -m\omega^2 y \end{aligned} \quad (2.23)$$

2.5 Stabilitas Lereng dalam Tanah Homogen dengan $\phi > 0$

Analisis stabilitas lereng didasarkan pada konsep keseimbangan plastis. Tujuan dari analisis stabilitas lereng adalah untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial. Faktor aman sendiri didefinisikan sebagai angka banding dari Tahanan geser dan gaya geser dirumuskan :

$$SF = \frac{S}{\tau} \quad (2.24)$$

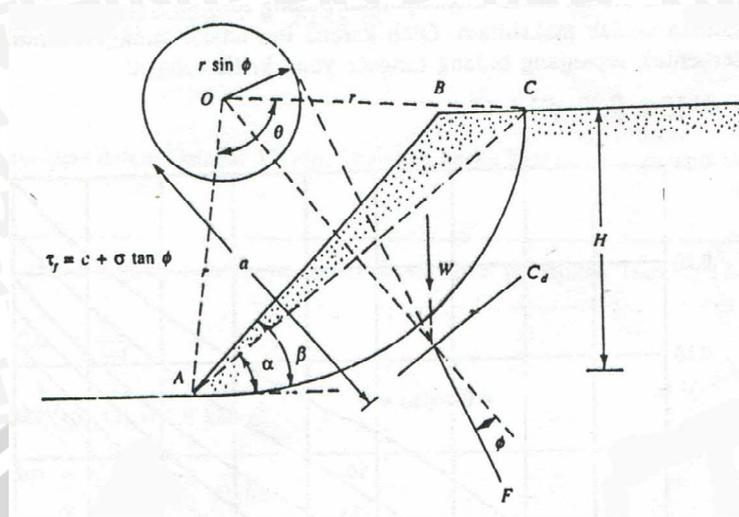
Dimana :

FS = Angka Keamanan

τ = Gaya geser

s = Tahanan geser

Untuk keseimbangan kritis, yaitu $F_c = F\phi = F_s = 1$, kita dapat menggantikan $H = H_{cr}$ dan $cd = c$



Gambar 2.15 Analisis Lereng Dalam Tanah Homogen

$$c = \gamma H c_r [f(\alpha, \beta, \theta, \phi)] \quad (2.25)$$

atau

$$\frac{c}{\gamma H c_r} = [f(\alpha, \beta, \theta, \phi)] = m \quad (2.26)$$

Dengan

m = angka stabilitas

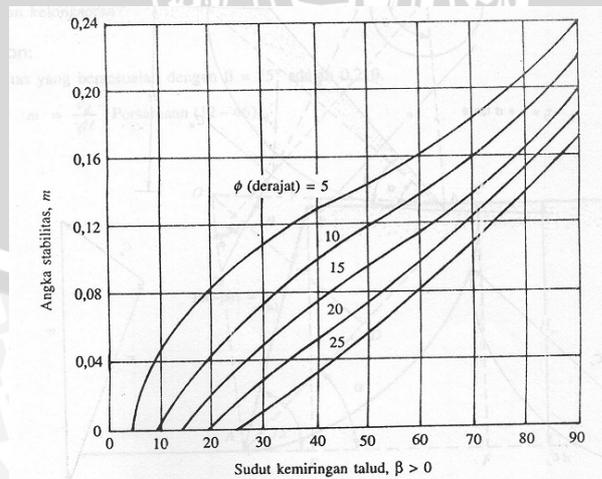
c = kohesi (kN/m²)

γ = berat volume tanah (kN/m³)

H_c = tinggi lereng kritis (m)

Harga m untuk bermacam- macam harga ϕ dan β diberikan dalam gambar

berikut :



Gambar 2.16 Grafik Hubungan Sudut Kemiringan dan Angka Stabilitas

2.6 Analisis Stabilitas Lereng dengan Metode Irisan

Metode irisan biasa secara umum digunakan untuk membagi bagian kelongsoran kedalam beberapa irisan vertikal. Diasumsikan bahwa berat irisan ke-n atau ke-i (W_n atau W_i) diatas pias berlaku pada titik tengah area irisan. Dengan asumsi- asumsi tersebut, hubungan dibawah ini dibuat :

$$N_i = W_i \cos \alpha \quad (2.27)$$

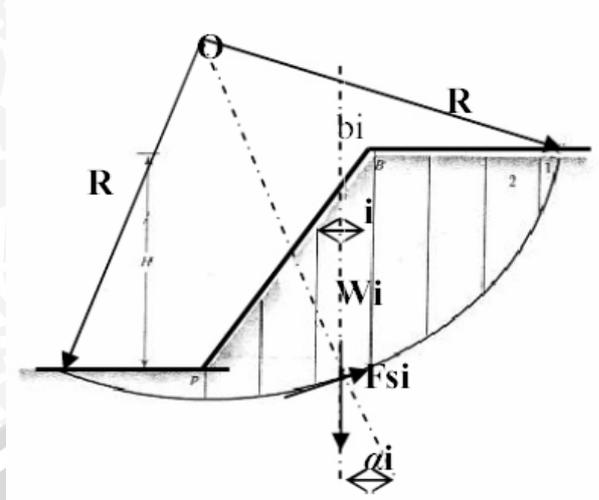
$$T_i = W_i \sin \alpha \quad (2.28)$$

$$L = \frac{b}{\cos \alpha} \quad (2.29)$$

$$F_{si} = N_i \tan \Phi + c b = W_i \cos \alpha_i \tan \Phi + c \frac{b}{\cos \alpha} \quad (2.30)$$

$$\alpha_i = \arctan \frac{H_i}{b} \quad (2.31)$$

- Dimana
- i = Nomor urut pias
 - W_i = berat pias ke-i
 - N_i = Beban tegak lurus pada dasar pias ke-i
 - F_{si} = Gaya tahan geser
 - b = jarak horisontal antar pias
 - H_i = jarak vertikal antar pias
 - T_i = Vektor gaya berat W_i sejajar dasar pias
 - α = sudut kemiringan lereng pias ke-i
 - c = Kohesi
 - Φ = Sudut geser dalam



Gambar 2.17 Pembagian massa tanah dalam beberapa irisan

Keseimbangan momen disekitar titik O menggunakan penjumlahan semua irisan yang ada didalam lingkaran kelongsoran dirumuskan :

$$\sum R F_{si} - \sum R W_i \sin \alpha_i = 0$$

Dengan $R =$ Jari – jari lingkaran kelongsoran kritis

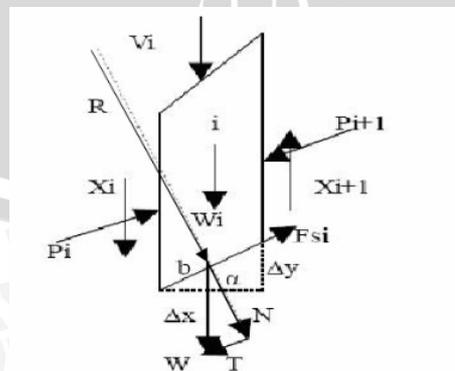
$F_{si} =$ Gaya tahan geser tanah

Momen penahan adalah $\sum R F$, dan faktor keamanan (F_s) adalah :

$$F_s = \frac{\sum R F_{si}}{\sum R (W_i) \sin \alpha_i} \quad (2.32)$$

Eliminasi R dan substitusi nilai F_{si} mendapatkan :

$$F_s = \frac{\sum (c b + (W_i) \cos \alpha_i \tan \phi)}{\sum (W_i) \sin \alpha_i} \quad (2.33)$$



Gambar 2.18 Gaya- gaya pada elemen pias ke-i



Metode irisan biasa (*Ordinary Method of Slice*) hanya memenuhi keseimbangan momen. Metode ini menghasilkan faktor keamanan yang mendekati hasil analisis menggunakan metode Bishop jika sudut geser tanah sama dengan nol ($\Phi=0$).

2.7 Analisis Stabilitas Lereng Akibat Getaran dengan Metode Irisan Vertikal

Analisis stabilitas lereng akibat gempa atau respon dinamis umumnya dianalisis dengan tiga pensekatan yaitu pseudostatic, Newmark's dan numeric. Pendekatan dengan Pseudostatic menentukan factor keamanan untuk koefisien seismic horizontal (k_h). Metode Newmark's digunakan untuk mengevaluasi perpindahan yang didapat dari integrasi persamaan gerak untuk keruntuhan blok pada bidang miring. Metode numeric menghitung perpindahan rencana, dikembangkan dari hubungan antara tegangan dan regangan dari masa tanah. Perkiraan sederhana dari pendekatan Pseudostatic dengan waktu dan parameter awal dibutuhkan untuk metode numerik, sehingga metode Newmark's umumnya diterima dengan lebih mudah. Untuk memenuhi integrasi ganda dari hasil percepatan (gempa bumi atau buatan), perlu mengetahui nilai batas kecepatan untuk faktor keamanan dibawah satu. Pembatasan percepatan dihitung dengan mengalikan berat tanah dalam keadaan tidak stabil dengan koefisien percepatan kritis seismic (k_c).

Nilai k_c umumnya diperoleh dari coba- coba analisis batas seperti dengan menggunakan metode irisan. Nilai k_c dirumuskan sebagai berikut :

$$k_c = \frac{1}{\sum_{i=1}^n W_i} \frac{h_i}{2R} \left\{ \sum_{i=1}^n \left[cb_i + (W_i - ub_i) \tan \phi \left(\frac{\sec \alpha_i}{1 + \tan \phi \tan \alpha_i} \right) \right] - \sum_{i=1}^n W_i \sin \alpha_i \right\} \quad (2.34)$$

W_i = Berat perslice (kN)

h_i = Tinggi slice (m)

R = Radius (m)

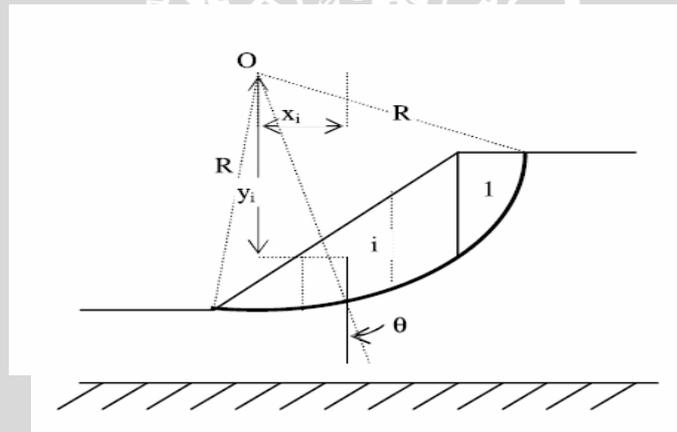
C = kohesi

ϕ = Sudut geser internal

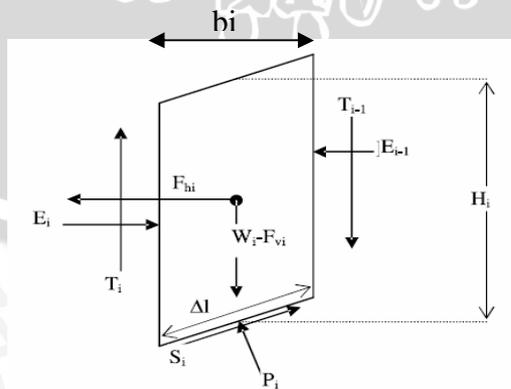
α_i = average slope inclination ($^\circ$)

Salah satu metode yang digunakan untuk menghitung angka keamanan akibat pengaruh getaran adalah dengan menggunakan metode irisan vertical. Metode ini digunakan berdasarkan perhitungan angka keamanan minimum dengan memasukkan analisis pseudo-static gaya seismik horizontal dan vertical pada persamaan 2.15. Gaya seismik mengurangi angka keamanan dengan mengurangi gaya perlawanan dan menaikkan gaya yang bekerja.

Gaya horizontal dan vertikal didapatkan dari hasil pencatatan gelombang oleh sensor getaran yang diterjemahkan menjadi beban statis horizontal dan vertikal dengan mengacu pada hukum Newton II yaitu $F = m \cdot a$. Dimana nilai massa (m) merupakan massa slice dan percepatan (a) didapat dari hasil pencatatan oleh sensor getaran. Nilai gaya horizontal dan vertikal ini kemudian dikalikan dengan koefisien percepatan seismik (k_c) kemudian dilakukan perhitungan angka keamanan sesuai persamaan 2.35. (Sumber : Basu S, Choudhury D, 2005)



Gambar 2.19 Model keruntuhan berbentuk lingkaran dan irisan vertical



Gambar 2.20 Gaya-gaya yang bekerja pada irisan

Perhitungan angka keamanan adalah sebagai berikut :

$$SF = \frac{(P_i \tan \phi + cL)R + \{-\Delta E(R \cos \theta - H_i/3) + E_{i-1}L \sin \theta\}}{(W + F_{vi})R \sin \theta + F_{hi}(R \cos \theta - H_i/2)} \quad (2.35)$$

Dimana,

$$P_i = \frac{cL \cos \theta - F_{hi} - (E_{i-1} - E_i) \cos \theta}{\sin \theta - \tan \phi \cos \theta}$$

$$L = b / \cos \theta$$

$$b = \text{lebar slice}$$

$$f = \tan (\theta - \phi)$$

$$\Delta E = cL - \frac{F_{hi} + (W + F_{vi})f}{f \sin \theta + \cos \theta} \quad (2.36)$$

$$W = \text{berat per slice}$$

$$F_{hi} = \text{komponen gaya seismik horizontal}$$

$$F_{vi} = \text{komponen gaya seismik vertikal}$$



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah jurusan Sipil Universitas Brawijaya Malang. Pelaksanaan dilaksanakan bulan Maret sampai Mei 2010.

3.2 Bahan dan Alat

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.2.1 Bahan

- Tanah pasir halus, sedang, dan kasar
- Tanah kaolin
- Air PDAM dari Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Brawijaya

3.2.2 Peralatan yang digunakan

- Bak uji
- Vibrator (sieve shaker)
- Tripod + *handycam*
- Sensor getaran
- Saringan no.4 s.d no.200
- Labu ukur
- Thermometer
- Satu set peralatan uji *geser*
- Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram
- Satu set peralatan pemadatan
- Timbangan dengan ketelitian 0,1 gram
- Oven

3.3 Metode Pengujian

3.3.1 Uji dasar

Langkah pertama sebelum memulai penelitian ini, dilakukan pengujian terhadap bahan dasarnya terlebih dahulu yaitu campuran tepung kaolin 50% dan pasir 50%.

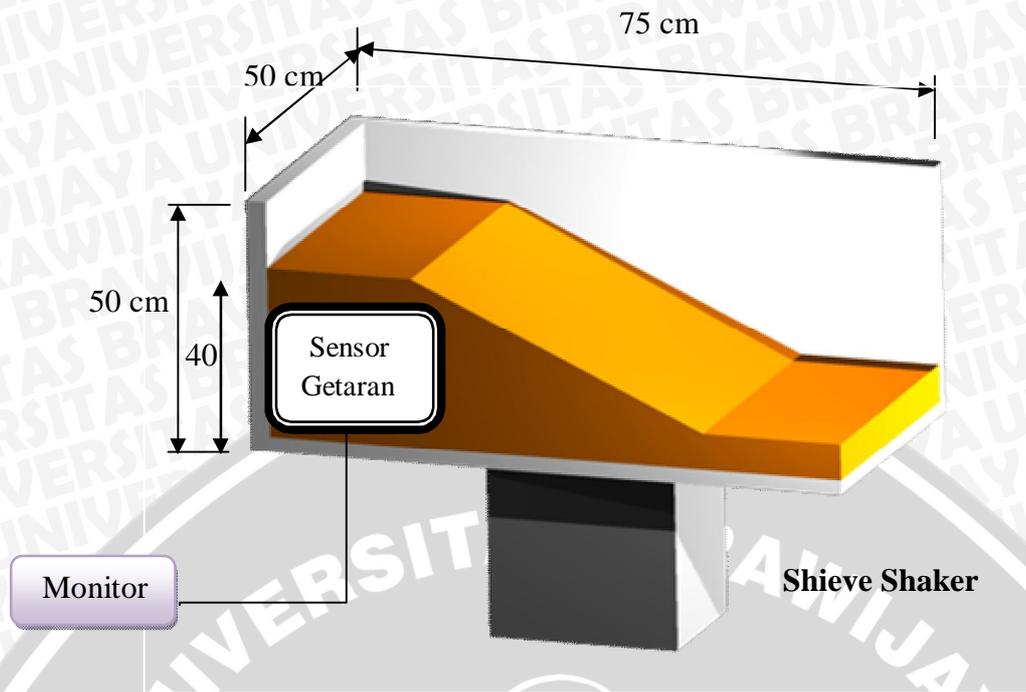
Tabel 3.1 Metode pengujian sifat fisik tanah dan sifat mekanis tanah

No	Jenis Pengujian	Kode SNI
1	Kadar Air Tanah	03-1965-1990
2	Berat Jenis Tanah	03-1964-1990
3	Batas Cair dengan Alat Casagrande	03-1967-1990
4	Batas Plastis Tanah	03-1966-1990
5	Kepadatan Tanah Maksimum dengan Kadar Air Optimum	03-2832-1992
6	Uji Geser Langsung	06-3420-1994

3.3.2 Model test

Langkah-langkah percobaan pada model test yaitu:

1. Mempersiapkan tanah dalam keadaan plastis, OMC.
2. Memasukkan per bagian tanah ke dalam bak kemudian diratakan dengan *rolling pin* berlapis sebanyak 3 lapis.
3. Membuat kemiringan lereng dengan sudut yang telah ditentukan.
4. Memberi getaran pada model dengan menggunakan vibrator pada frekuensi yang telah di tentukan.
5. Melakukan pengamatan terhadap model test
6. Pengamatan dilakukan sampai model test mulai terjadi longsor.



Gambar 3.1 Model fisik percobaan di laboratorium

3.4 Rancangan Percobaan

Percobaan ini dilakukan dengan menggunakan variable kadar air yaitu pada kondisi OMC dan plastis. Rancangan percobaan ditabelkan seperti berikut :

Tabel 3.2 Rancangan Percobaan

Kadar Air Tanah	Sudut Kemiringan Lereng							
	Sudut 1		Sudut 2		Sudut 3		Sudut 4	
	waktu	Pola Longsor	waktu	Pola Longsor	waktu	Pola Longsor	waktu	Pola Longsor
OMC (dari pemadatan)								
Plastis (Atterberg Limit)								

3.5 Variabel Penelitian

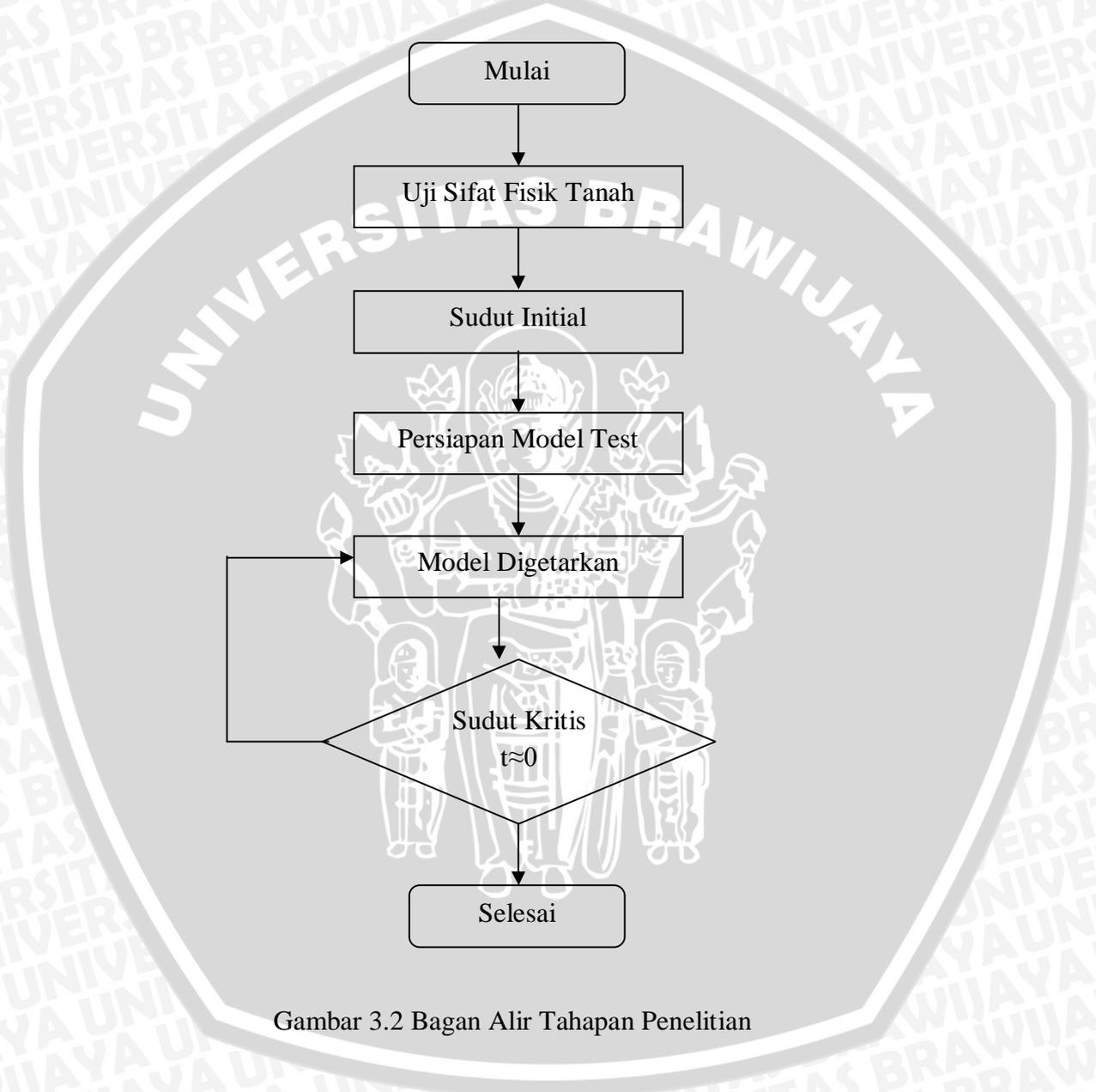
Variabel penelitian yang akan diukur adalah sebagai berikut :

- a. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah kandungan air dalam tanah, samplitudo getaran, dan sudut kemiringn lereng sampai terjadi longoran.

- b. Variabel terikat adalah perubahan sudut kemiringan kritis lereng setelah terjadi longoran.

3.6 Bagan Alir Tahapan Penelitian

Bagan alir tahapan penelitian disajikan pada gambar berikut.



Gambar 3.2 Bagan Alir Tahapan Penelitian