

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Suatu permukaan tanah yang miring dengan sudut tertentu terhadap bidang horizontal dinamakan lereng (Braja M. Das). Abramson (1985) membedakan lereng menjadi lereng alam (*natural slope*) dan lereng buatan (*engineered slope*).

1. Lereng alam (*natural slope*)

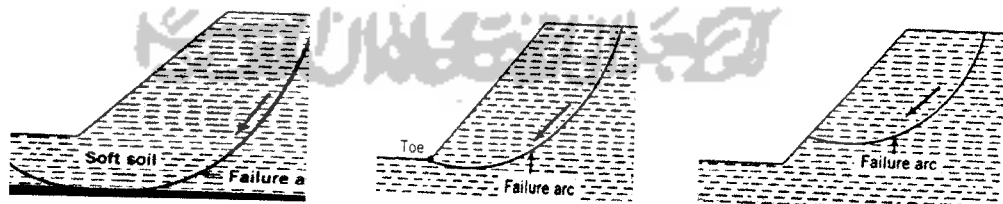
Lereng alam terbentuk karena proses alam. Lereng-lereng alam yang telah ada selama bertahun-tahun dapat tiba-tiba runtuh dikarenakan adanya perubahan topografi, gempa, aliran air tanah, hilangnya kuat geser, perubahan tegangan, dan cuaca. Biasanya keruntuhan-keruntuhan tersebut tidak dipahami secara baik karena sedikitnya studi yang dilakukan pada lereng-lereng alam itu. Mengetahui adanya bidang runtuh lama pada lereng alam dapat memudahkan untuk memahami dan memprediksi perilaku lereng tersebut. Selain sering kali disebabkan oleh aktivitas tektonik dan longsoran tanah sebelumnya, bidang runtuh juga dapat disebabkan oleh pengaruh sungai glacial dan fenomena glacial seperti pengembangan/pemuaiian tanah lempung yang tidak seragam. Solusi dalam stabilitas lereng yang berkaitan dengan lereng alam (*natural slope*) telah dikenal luas dari waktu-waktu. Material yang paling berpengaruh pada analisis stabilitas lereng yaitu tanah lempung (*clay*) dan *shale* yang terikat secara kimia yang secara berangsur-angsur dapat terlepas karena

pengaruh cuaca. Cuaca dapat menyebabkan banyak energi yang dilepaskan pada ikatan tersebut (Bjerrum, 1966).

2. Lereng buatan (*engineered slope*)

Lereng ini dibuat dari tanah asli dengan memotong tanah tersebut untuk pembuatan jalan atau saluran air untuk irigasi. Lereng buatan dapat di bedakan menjadi tiga kategori: galian (*embankments*), pemotongan lereng (*cut slope*), dan dinding penahan tanah (*retaining wall*).

Muni Budhu (1979), menjelaskan bahwa kelongsoran tanah bergantung pada tipe tanah, susunan tanah, air tanah, rembesan dan geometri lereng. Berikut ini adalah tipe-tipe keruntuhan lereng yang sering terjadi. Tipe pertama disebut *base failure*, keruntuhan ini terjadi jika tanah dibawah tinggi (level) ujung kaki dari lereng tidak mampu memikul berat dari bahan yang terletak di atasnya, maka keruntuhan terjadi di sepanjang suatu permukaan yang terletak di bawah ujung kaki lereng (gambar 2.1a). Tipe yang kedua adalah *toe failure* dimana *slip surface* tepat memotong kaki lereng (gambar 2.1b). Tipe ketiga adalah *slope failure* dimana *slip surface* memotong kemiringan lereng (gambar 2.1c).



Gambar 2.1 Tipe-tipe keruntuhan lereng
(Muni Budhu, 1979)

Keruntuhan lereng alam dan lereng buatan biasanya disebabkan oleh aktifitas meningkatnya tegangan geser tanah (*shear stress*), atau menurunnya kuat geser tanah (*shear strength*).

The Highway Research Board (1978) secara rinci mengemukakan beberapa hal penyebab meningkatnya tegangan geser tanah (*shear stress*) pada lereng, yaitu:

1. Berkurangnya *bearing capacity*, yang disebabkan oleh:
 - a. Erosi, baik yang disebabkan oleh aliran air sungai, hujan maupun perbedaan suhu yang sangat drastis. Air dan angin secara terus menerus mengikis lereng alam dan buatan. Erosi mengubah geometri lereng (gambar 2.2a), yang akhirnya dapat mengakibatkan longsor.
 - b. Pergerakan alami dari lereng akibat pergeseran bidang longsor maupun akibat penurunan (*settlements*).
 - c. Aktivitas manusia, antara lain:
 - c.1 Penggalian dasar lereng yang dapat mempertajam kemiringan lereng
 - c.2 Penggeseran/pengrusakan terhadap struktur penahan tanah yang ada.
 - c.3 Penurunan seketika tinggi muka air pada lereng.
2. Penambahan beban pada lereng.

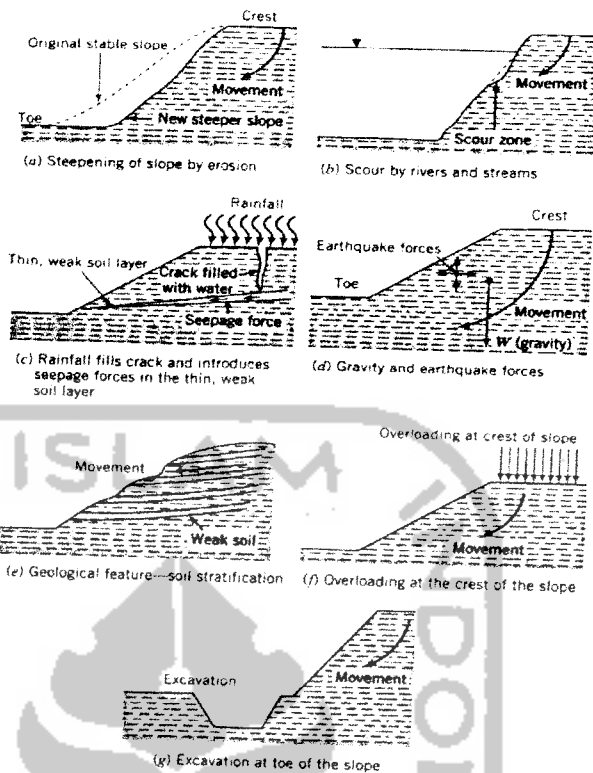
Beban yang bekerja pada puncak lereng memperbesar gaya gravitasi dan dapat menyebabkan kelongsoran (gambar 2.2f), sedangkan beban yang diletakkan pada kaki lereng, yang disebut berm, akan meningkatkan stabilitas lereng. Berm sering digunakan untuk mengatasi masalah stabilitas lereng. Bertambahnya beban pada lereng dapat disebabkan beberapa hal;

- a. Kondisi alam, seperti:
 - a.1 Peningkatan berat volume tanah akibat pengaruh air hujan.
 - a.2 Akumulasi sedimen di atas lereng
- b. Aktivitas manusia, seperti:
 - b.1 Pengurugan tanah di atas lereng
 - b.2 Pengembangan gedung, jalan dan sejenisnya di sekitar lereng.
3. Pengaruh terjadinya gempa atau sumber getaran yang lain. Gempa bumi memicu gaya dinamik (gambar 2.2d) khususnya gaya geser dinamik yang mengurangi kuat geser (*shear strength*) dan kekakuan tanah (*soil stiffness*). Tekanan air pori dalam tanah jenuh air dapat meningkat sampai suatu nilai yang sama dengan tegangan rata-rata total dan menyebabkan tanah tersebut mempunyai perilaku seperti cairan kental, yang disebut likuifaksi (*liquefaction*). Bangunan-bangunan yang didirikan pada tanah tersebut akan roboh.
4. Pemindahan material di sekeliling dasar, yang disebabkan oleh:
 - a. Aliran sungai maupun gelombang laut.
 - b. Terjadinya peristiwa *piping*.
 - c. Aktivitas manusia seperti penggalian dan penambangan.
 - d. Hilangnya kuat geser tanah di sekeliling dasar lereng.
5. Meningkatnya tekanan tanah lateral, yang disebabkan oleh:
 - a. Retakan-retakan tanah.
 - b. Beban yang bekerja di sekitar muka lereng.
 - c. Mengembangnya tanah lempung.

Beberapa hal yang dapat menyebabkan menurunnya kuat geser tanah (*shear strength*) pada lereng adalah:

1. Faktor-faktor alami dari material penyusun lereng:
 - a. Komposisi material
 - b. Struktur material
 - c. Struktur sekunder material
 - d. Lapisan tanah
2. Perubahan yang disebabkan proses physiochemical dan cuaca:
 - a. Proses basah dan kering pada tanah
 - b. Hydration
 - c. Terkikisnya lapisan sediment tanah
3. Efek dari tekanan air pori
4. Perubahan pada struktur tanah
 - a. Pelepasan tegangan
 - b. Degradasi struktural

Beberapa penyebab kelongsoran lereng diilustrasikan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Ilustrasi beberapa penyebab keruntuhan lereng
(Muni Budhu, 1979)

Peristiwa tanah longsor atau dikenal sebagai gerakan massa tanah, batuan atau kombinasinya, sering terjadi pada lereng-lereng alam atau buatan, dan sebenarnya merupakan fenomena alam, yaitu alam mencari keseimbangan baru akibat adanya gangguan atau faktor yang mempengaruhinya dan menyebabkan terjadinya pengurangan kuat geser serta peningkatan tegangan geser tanah (Suryolelono, 1995).

Kontribusi pengurangan kuat geser tanah pada lereng alam yang mengalami longsor disebabkan oleh faktor yang dapat berasal dari alam itu sendiri, erat kaitannya dengan kondisi geologi antara lain jenis tanah, tekstur (komposisi) tanah pembentuk lereng sangat berpengaruh terhadap terjadinya

longsoran, misalnya sensitivitas sifat-sifat tanah lempung, adanya lapisan tanah *shale*, *loess*, pasir lepas, dan bahan organik. Bentuk butiran tanah (bulat, ataupun tajam) berpengaruh terhadap friksi yang terjadi dalam tanah, pelapisan tanah, pengaruh gempa, geomorfologi (kemiringan daerah), iklim, terutama hujan dengan intensitas tinggi atau sedang, dengan durasi yang lama di awal musim hujan, atau menjelang akhir musim hujan, menimbulkan perubahan parameter tanah yang berkaitan dengan pengurangan kuat gesernya.

Kontribusi peningkatan tegangan geser disebabkan oleh banyak faktor antara lain fenomena variasi gaya intergranuler yang diakibatkan oleh kadar air dalam tanah/batuan yang menimbulkan tegangan air pori, serta tekanan hidrostatik dalam tanah meningkat. Variasi pembentuk batuan dan tekstur tanah, retakan-retakan yang terisi butiran halus, diskontinuitas, pelapukan dan hancurnya batuan yang menyebabkan lereng terpotong-potong, atau tersusunnya kembali butiran-butiran halus (Suryolelono, 1995).

Faktor lain yang berpengaruh adalah bertambah berat beban pada lereng dapat berasal dari alam itu sendiri, antara lain air hujan yang berinfiltrasi ke dalam tanah di bagian lereng yang terbuka (tanpa penutup vegetasi) menyebabkan kandungan air dalam tanah meningkat, tanah menjadi jenuh, sehingga berat volume tanah bertambah dan beban pada lereng semakin berat. Pekerjaan timbunan di bagian lereng tanpa memperhitungkan beban lereng dapat menyebabkan lereng menjadi rawan longsor. Pengaruh hujan dapat terjadi di bagian lereng yang terbuka akibat aktivitas makhluk hidup terutama berkaitan dengan budaya masyarakat saat ini dalam memanfaatkan alam berkaitan dengan

pemanfaatan lahan (tata guna lahan), kurang memperhatikan pola-pola yang sudah ditetapkan oleh pemerintah. Penebangan hutan yang seharusnya tidak diperbolehkan tetap saja dilakukan, sehingga lahan-lahan pada kondisi lereng dengan geomorfologi yang sangat miring, menjadi terbuka dan lereng menjadi rawan longsor. Kebiasaan masyarakat dalam mengembangkan pertanian/perkebunan tidak memperhatikan kemiringan lereng, pembukaan lahan-lahan baru di lereng-lereng bukit menyebabkan permukaan lereng terbuka tanpa pengaturan sistem tata air (drainase) yang seharusnya, maka bentuk-bentuk terasering pada lereng perlu dilakukan untuk mengerem laju erosi. Bertambahnya penduduk menyebabkan perkembangan perumahan ke arah daerah perbukitan (lereng-lereng bukit) yang tidak sesuai dengan peruntukan lahan (tata guna lahan), menimbulkan beban pada lereng (*surchage*) semakin bertambah berat. Erosi di bagian kaki lereng akibat aliran sungai, atau gelombang air laut mengakibatkan lemahnya bagian kaki lereng, terjadinya kembang susut material pembentuk lereng, dan lain-lain menyebabkan terjadinya peningkatan tegangan geser. Pengaruh gempa juga menyebabkan kondisi lereng yang sebelumnya cukup stabil menjadi labil. Kondisi ini dapat terjadi, akibat guncangan pada lapisan tanah di bumi, sehingga struktur tanah menjadi berubah (Suryolelono, 1995).

Pada jenis-jenis tanah berbutir kasar dalam kondisi kering akan menyebabkan butiran-butiran ini merapat, namun untuk jenis tanah yang sama dalam kondisi jenuh dan terjebak dalam lapisan tanah lempung yang membentuk lensa-lensa pasir, apabila terjadi gempa akan mengalami peristiwa *liquefaction*. Akibat pengaruh gempa tegangan pori (u) dalam lapisan tanah pasir (lensa-lensa

pasir) ini meningkat, mengakibatkan tegangan efektif tanah (σ') menurun dan bahkan mencapai nilai terendah. Hal ini berarti tanah kehilangan kuat dukungnya, berakibat tanah pembentuk lereng di atas lapisan ini runtuh, dan terjadi tanah longsor. Selain itu, apabila lapisan tanah lempung terletak di atas lapisan batuan keras (*bed rock*), akibat pengaruh gempa pada ke dua massa yang berbeda (tanah dan batuan) mempunyai percepatan yang berbeda, sehingga bidang kontak ke dua lapisan ini menjadi bagian yang lemah. Munculnya sumber-sumber air di bagian kaki lereng akibat terjadi rembesan air menimbulkan terjadinya peristiwa piping. Pada kondisi ini tanah di bagian kaki lereng kehilangan kuat dukungnya dan bahkan mendekati harga sama dengan nol, sehingga perlawanan terhadap gaya yang melongsorkan menurun, dan lereng menjadi rawan longsor, demikian pula pada lereng buatan yang dapat berupa lereng galian, lereng bendungan, lereng timbunan sampah (Chowdhury, 1978).

Mengetahui tipe-tipe kelongsoran berdasarkan tingkat laju gerakan lereng sangat penting. Tingkat laju gerakan lereng berkisar kurang dari 6 inch sampai lebih dari 5 feet per detik tiap tahun (Cruden and Varnes, 1992). Tingkat laju pergerakan lereng dapat dilihat pada Tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1 Tingkat laju longsor

Class	Description	Velocity (mm/sec)
7	Extremely rapid	5×10^3
6	Very rapid	50
5	Rapid	0,5
4	Moderate	5×10^{-3}
3	Slow	50×10^{-6}
2	Very slow	$0,5 \times 10^{-6}$
1	Extremely slow	$< 0,5 \times 10^{-6}$

Sumber: Cruden and Varnes (1992)

Gerakan lereng tidak stabil merupakan gerakan yang dibedakan sebagai gerakan guguran (*falling*), runtuhan (*toppling*), longsoran (*sliding*), penyebaran (*spreading*), aliran (*flowing*), dan gerakan kompleks yang merupakan kombinasi dari berbagai gerakan tersebut (Varnes, 1978 dalam Giani, 1992). Semua bentuk gerakan ini sangat ditentukan oleh formasi geologi yaitu lapisan batuan, lapukan batuan dan tanah. Longsoran yang terjadi akan membentuk suatu pola baik di permukaan lereng maupun bentuk bidang gelincirnya. Pola longsoran di bagian permukaan lereng akan membentuk pola tapal kuda, bidang longsor sejajar arah kaki lereng (Suryolelono, 1995), sedang bentuk bidang longsor dapat merupakan satu atau lebih permukaan bidang longsor dengan bentuk silindris (tampang lingkaran) atau datar (tampang garis).

Dalam bidang geoteknik, untuk menyatakan lereng aman terhadap terjadinya longsoran, dilakukan analisis dengan pendekatan model matematik dua dimensi untuk berbagai bentuk bidang longsor datar, lengkung (lingkaran), atau kombinasi keduanya. Dalam analisis ini umumnya dicari besarnya angka aman (*safety factor*) yang merupakan fungsi tegangan geser (τ). Pendekatan yang digunakan dalam metode ini adalah keseimbangan batas, dan bentuk bidang longsor dalam dua dimensi, namun lereng tanah perlu dipertimbangkan sebagai suatu sistem tidak jenuh air sampai dengan jenuh air. Letak muka air tanah (*phreatic water surface*) di daerah perbukitan umumnya dalam atau dangkal, sehingga kondisi tanah pada waktu-waktu tertentu menjadi kering (musim kemarau) dan jenuh di musim hujan. Di awal musim hujan, kondisi tanah sebagian pori tanah terisi air atau dalam kondisi tidak jenuh air. Selain itu, jenis

tanah merupakan parameter yang harus dipertimbangkan pula, berhubungan dengan sifat fisis dan mekanis tanah akibat pengaruh air.

Analisis mekanisme tanah longsor yang selama ini digunakan, umumnya untuk lereng jenuh dengan memperhitungkan tegangan air pori positif, namun pada kondisi tanah belum cukup jenuh air (*unsaturated*), tegangan air pori dapat bernilai negatif menimbulkan terjadinya gaya sedot (*soil suction* atau *matrix suction*) dan berpengaruh terhadap kuat geser tanah (*shear strength*). Oleh karena itu, dalam melakukan tinjauan analisis mekanisme tanah longsor, harus dipertimbangkan kondisi lereng yang merupakan suatu sistem menyeluruh dari kondisi tanah tidak jenuh air sampai dengan jenuh air.

Abramson, dkk. (1996), menyatakan ada dua parameter bebas yang berpengaruh terhadap tegangan dalam tanah dengan kondisi tidak jenuh air (ruang pori tanah sebagian terisi udara dan sebagian air), yaitu tegangan netto dan *matrix suction*. Pada kondisi tanah jenuh air, maka seluruh ruang pori tanah terisi air, tegangan air pori akan sama dengan tegangan udara pori sehingga *matrix suction* diabaikan ($= 0$). Oleh karena itu, parameter tegangan dalam tanah menjadi tegangan efektif. Tampak pengaruh air terutama air hujan yang berinfiltrasi ke dalam tanah, menimbulkan perubahan pada kedua parameter ini dan memberikan pengaruh terhadap tegangan geser serta volume tanah yang merubah sifat-sifat tanah.

Keruntuhan lereng dapat terjadi karena berkurang atau menurunnya kemampuan kuat geser tanah (*shear strength*) secara perlahan-lahan maupun mendadak atau perubahan kondisi geometri lereng akibat galian misalnya,

sehingga lereng menjadi curam. Parameter penting yang dibutuhkan dalam analisis stabilitas lereng adalah berat unit tanah, kohesi, sudut gesek dalam, geometri lereng, tegangan air pori atau gaya rembesan, dan beban serta kondisi lingkungan sekitar lereng. Konsep stabilitas lereng menggunakan metode analisis dalam memprediksi kestabilan lereng tanah untuk dua dimensi telah banyak dikembangkan oleh ahli-ahli geoteknik. Umumnya untuk menyatakan lereng dalam kondisi stabil dinyatakan dengan angka aman (*safety factor*) yang merupakan rasio antara momen yang melawan terjadinya longsor dan momen yang melongsorkan.

Perkembangan metode batas keseimbangan yang didasarkan pada keseimbangan plastis terhadap bidang-bidang runtuh cobaan di mulai di Swedia pada tahun 1916, disusul dengan runtuhnya sejumlah dinding dermaga pada pelabuhan Gothenburg. Setelah beberapa tahun kemudian analisis lingkaran gesekan digunakan dengan sukses dalam memprediksi stabilitas lereng, dan metode irisan diperkenalkan (Fellenius, 1936). Konsep tekanan air pori dan metode analisis tagangan efektif telah diperkenalkan juga oleh Terzaghi (1936). Pengukuran kekuatan tanah yang diperbaiki dihasilkan dari teknik pengambilan sampel yang lebih baik, perkembangan pengujian geser triaksial, dan pengukuran tekanan pori.

Konsep stabilitas lereng adalah menggunakan metode keseimbangan batas (*limit equilibrium*) dengan lereng yang diperkirakan akan runtuh dibagi-bagi menjadi beberapa pias. Metode tersebut antara lain : *Ordinary Method of Slice* (OMS) dikembangkan oleh Fellenius (1927, 1936). Dalam analisisnya Fellenius

mengabaikan keseimbangan gaya di kedua sisi pias dan massa tanah yang diperkirakan akan runtuh sebagai satu kesatuan. Metode ini merupakan metode dengan prosedur paling sederhana serta sebagai dasar semua metode selanjutnya. Bishop *simplified* (1955) meniadakan semua gaya geser antar-pias, namun keseimbangan gaya horisontal diperhitungkan secara keseluruhan. Janbu (1957, 1973) dengan anggapan seperti metode Bishop *simplified* namun tidak meninjau keseimbangan momen. Lowe dan Karafiath (1960) menganggap gaya-gaya antar-pias membentuk sudut sebesar rerata sudut alas dan atas pias.

Corps of Engineers (1982) beranggapan bahwa kemiringan gaya-gaya antar-pias sama dengan kemiringan lereng atau sama dengan rerata sudut kemiringan ujung-ujung permukaan bidang runtuh. Spencer (1967, 1973) dalam Winterkorn dan Fang, 1975, beranggapan besarnya gaya-gaya antar pias adalah sama, namun tidak diketahui arahnya. Sarma (1973), dan Morgenstern & Price (1965) dalam Winterkorn dan Fang (1975), menggunakan fungsi distribusi gaya antar-pias. Fredlund (1977) cenderung meninjau kondisi lereng sebagai suatu lapisan tanah yang tidak jenuh air (*unsaturated*), sedang metode lainnya dengan anggapan tanah dalam kondisi jenuh air (*saturated*) atau kondisi kering. Dua metode yaitu Fellenius dan Bishop hanya dapat digunakan apabila bentuk bidang gelincir berbentuk tampang lingkaran, sedangkan bentuk bidang gelincir yang tidak berbentuk lingkaran menggunakan metode Janbu, *Corps of Engineers*, Lowe dan Karafiath. Analisis stabilitas lereng untuk lereng tidak jenuh air menggunakan metode Fredlund, namun untuk mengetahui metode mana yang paling cocok, digunakan metode GLE (*General Limit Equilibrium*) yang mendasarkan pada

keseimbangan gaya dan keseimbangan momen. Cara analisis ini baru dapat dilakukan, apabila sudah didapatkan parameter-parameter tanah dari hasil uji geoteknik di lapangan maupun di laboratorium. Dalam melakukan uji lapangan perlu dilakukan secara teliti untuk mendapatkan data yang akurat, dan mewakili seluruh daerah yang diuji. Berbagai uji lapangan dapat digunakan untuk mendapatkan letak bidang gelincir antara lain dengan alat uji penetrasi statis (Suryolelono, 1996) atau dinamis, dan selanjutnya diambil sampelnya untuk uji laboratorium guna mendapatkan parameter tanah.

