

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Geologi Regional

#### Fisiografi

Fisiografi Pulau Sumatera dibentuk dari Pegunungan Barisan di sepanjang sisi baratnya yang memisahkan pantai barat dan pantai timur. Sisi timur dari pantai Sumatera ini terdiri dari lapisan tersier yang sangat luas serta berbukit-bukit dan berupa tanah rendah aluvial. Semakin ke arah Selatan semakin melebar dan bertambah hingga 150-200 km<sup>2</sup> yang terdapat di Sumatera Tengah dan Sumatera Selatan (Bemmelen, 1949). Geografi yang khas dari pulau Sumatera yaitu adanya pegunungan Bukit Barisan di sebelah barat pulau ini dan memanjang pada seluruh panjang pulau dalam bentuk sabuk yang sempit, paralel, dan umumnya berjarak hanya beberapa puluh kilometer dari pantai baratdaya. Pulau Sumatera terletak di sebelah baratdaya Kontinen *Sundaland* dan merupakan jalur konvergensi antara Lempeng Hindia-Australia yang menyusup di sebelah barat Lempeng *Sundaland*/Lempeng Eurasia. Konvergensi lempeng menghasilkan subduksi sepanjang Palung Sunda dan pergerakan lateral menganan dari Sistem Sesar Sumatera (Sidi dan Darman, 2000).

Fisiografi pulau Sumatera di bagi menjadi beberapa zona fisiografi berdasarkan Van Bemmelen (1949) membagi fisiografi pulau Sumatera menjadi 6 zona fisiografi (**Gambar 2**) yaitu Zona Jajaran Barisan, Zona Semangko, Zona Pegunungan Tigapuluh, Zona Kepulauan Busur Luar, Zona Paparan Sunda, Zona Dataran Rendah dan Berbukit.

#### 1. Zona Perbukitan Barisan

Suatu zona perbukitan dengan orientasi Tenggara-Baratlaut dan memiliki pola memanjang sekitar 1.650 km dengan lebar 100 km. Puncak tertinggi dari zona ini berada di gunung Kerinci (puncak Indrapura) dengan ketinggian 3.800 m. Orientasi dari zona ini memiliki pola interpretasi sebagai geotektonik sistem pegunungan Sunda, dimana terjadinya perubahan dari Tenggara-Baratlaut di Sumatera menjadi orientasi Barat-Timur di pulau Jawa. Pada zona ini umumnya berasosiasi dengan gunung api aktif, dimana tersebar mengikuti pola memanjang bukit Barisan (Bemmelen, 1949).

## **2. Zona Bukit Tigapuluh**

Zona yang terisolasi dengan bentuk morfologi mengalami rendahan kearah Timur, morfologi berbentuk kubah ataupun tinggian dari bagian sesar turun (*horst*) dengan panjang zona 90 km, lebar 40 km dengan puncak tertinggi mencapai 722 m di cengembun “*Tjengembun Netherland*” (Simanjuntak dan Barber, 1996).

## **3. Zona Sesar Sumatera**

Sesar Sumatera merupakan suatu zona dengan pola memanjang dari zona ini mengikuti pola dari zona bukit Barisan, dimana merupakan geantiklin yang memanjang dengan bentuk suatu zona depresi, pada umumnya dikenal dengan sesar Semangko. Pola memanjang zona ini dimulai dari Semangko (Sumatera Selatan-Lampung) yang merupakan suatu puncak dari zona ini hingga bagian Baratlaut dikota Raja Aceh yang merupakan batas akhir batas zona ini (Barber et al 2005).

## **4. Zona Perbukitan Rendah dan Dataran Bergelombang**

Suatu zona yang menepati pada morfologi daratan dengan kelerengan datar-mendekati miring. Zona fisiografi ini umumnya disusun oleh batuan-batuan sedemikian klastik ataupun sedimen vulkanik klastik, sedimen epiklastik yang merupakan campuran produk piroklastik, dan endapan aluvial. Kota Jambi hingga masuk kabupaten Sarolangun merupakan area yang termasuk kedalam zona fisiografi ini (Barber et al, 2005).

## **5. Zona Fisografi Sunda**

Zona fisiografi berada dibagian timur pulau Sumatera, meliputi wilayah Bangka dan Belitung, Kepulauan Riau, Pulau Berhala (Jambi). Umumnya disusun oleh litologi granit yang berasosiasi dengan keterdapatan bijih timah (Metcalf, 2011).

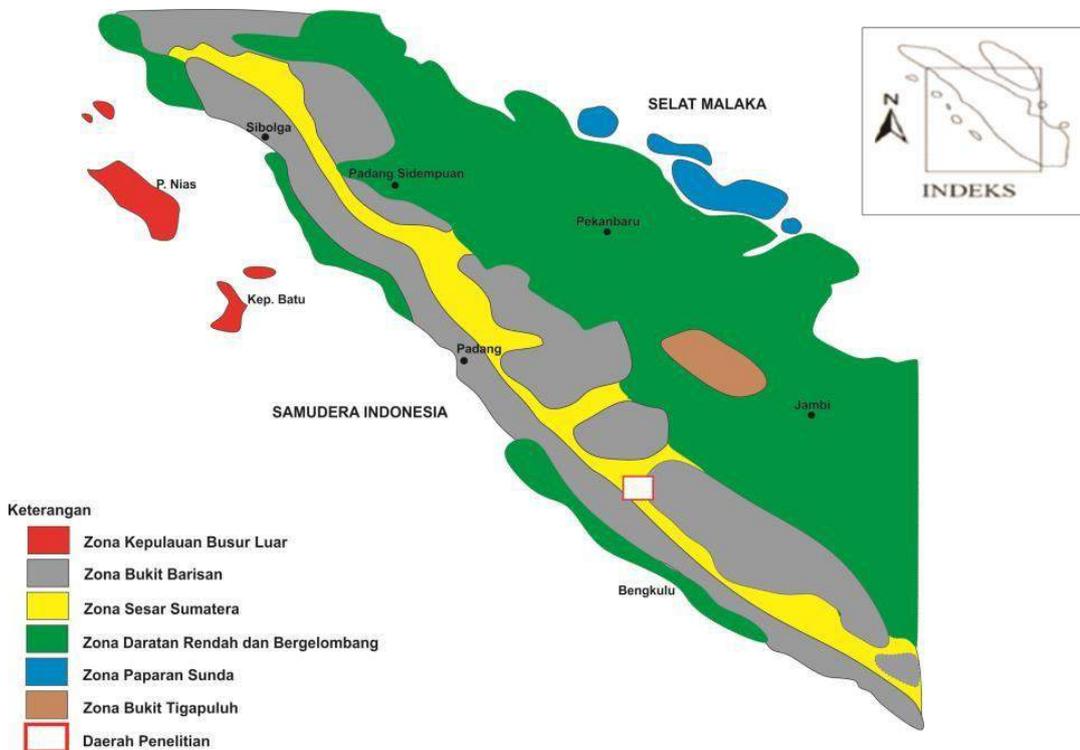
## **6. Zona fisiografi Busur Luar**

Zona fisiografi busur luar yang merupakan tinggian depan busur *Fore Arc Ridge*. Menepati wilayah kepulauan Mentawai, Nias, Enggano. Posisi yang dekat dengan palung subduksi, heterogenesis batuan berupa deformasi *Ductile* dan *Brittle*. Perlipatan dan persesaran naik terlintas didaerah ini (Bemmelen, 1949).

Berdasarkan daerah penelitian (**Gambar 2**) terletak di sebagian rangkaian pegunungan Barisan dan zona sesar Semangko dalam hal ini segmen sesar Siulak. Rangkaian pegunungan barisan tersebut dikenal sebagai lajur zona magmatik busur

barisan yang di dalamnya terdapat zona sesar besar Sumatera. Zona jajaran Barisan merupakan suatu zona perbukitan memanjang dengan arah orientasi Tenggara-Baratlaut dengan panjang  $\pm 1650$  km dengan lebar 100 km (Bemmelen, 1949).

Zona Sesar Sumatera atau Zona Sesar Semangko adalah zona yang memiliki pola memanjang dimana pola zona ini mengikuti fisiografi dari Bukit Barisan, dimana zona ini merupakan *Geoantiklin* yang memanjang dengan bentuk depresi, zona ini memanjang dimulai dari teluk Semangko (Sumatera Selatan-Lampung) hingga ke bagian Baratlaut di Kotaradja Aceh yang merupakan suatu lembah dan batas akhir dari zona ini (Bemmelen, 1949).

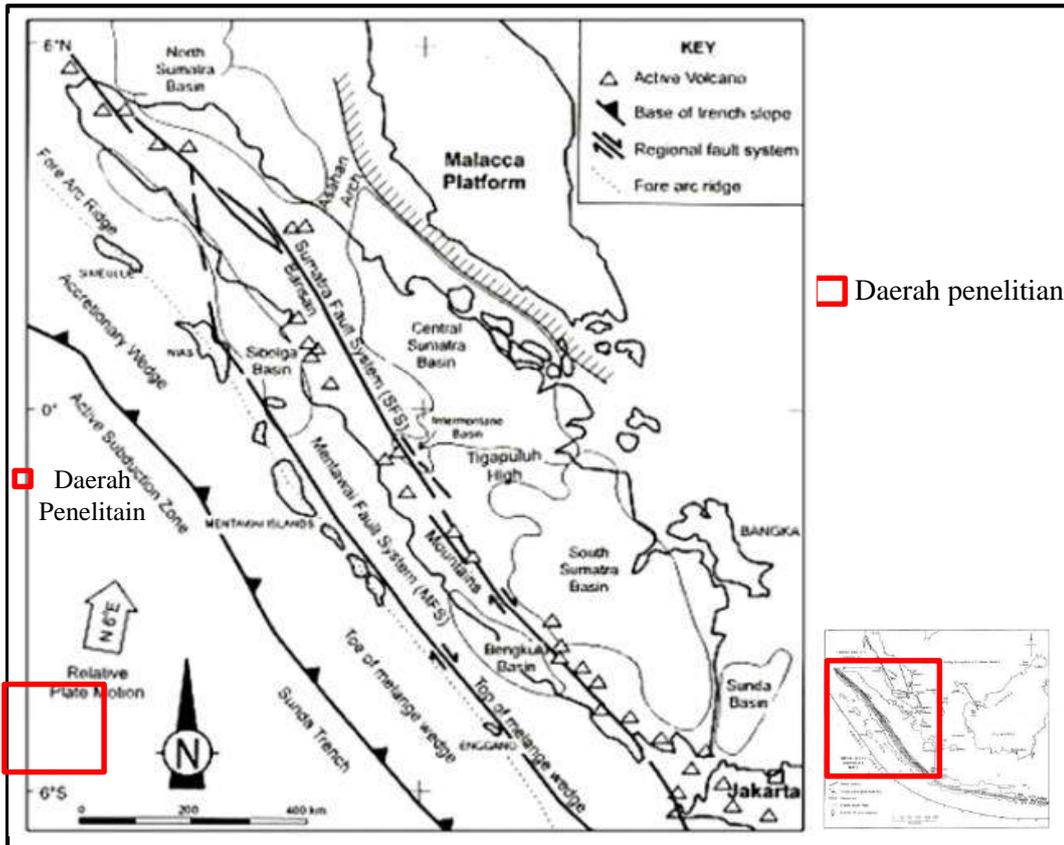


**Gambar 2.** Fisiografi Regional (Bemmelen, 1949)

### Tektonik dan Struktur Geologi

Pulau Sumatera dicirikan oleh tiga sistem tektonik (**Gambar 3**). Berurutan dari barat ke timur adalah sebagai berikut: zona subduksi *oblique* dengan sudut penunjaman yang landai, sesar Mentawai dan zona sesar besar Sumatera. Pulau Sumatera secara tektonik, merupakan hasil dari tumpukan-tumpukan (*amalgamated*) beberapa *microplate*. Terbukanya kerak samudera pada Gondwanaland. Struktur geologi yang berkembang di Sumatera bagian selatan

berupa sesar, struktur lipatan (baik antiklin dan sinklin) dan struktur kekar. Namun demikian, struktur perlipatan sangat jarang dijumpai di daerah ini mengingat sebagian besar daerah ini tersusun oleh batuan yang tidak mudah terlipat seperti tuf, breksi, lava dan produk vulkanik lainnya. Perlipatan yang tersingkap pada mulanya mempunyai arah Timur-Barat yang kemudian diikuti perlipatan tegak berarah barat-laut-tenggara pada batuan malihan kompleks Gunung Kasih.



**Gambar 3.** Tektonik Pulau Sumatera (Katili, 1975; dalam Hutchison, 1973)

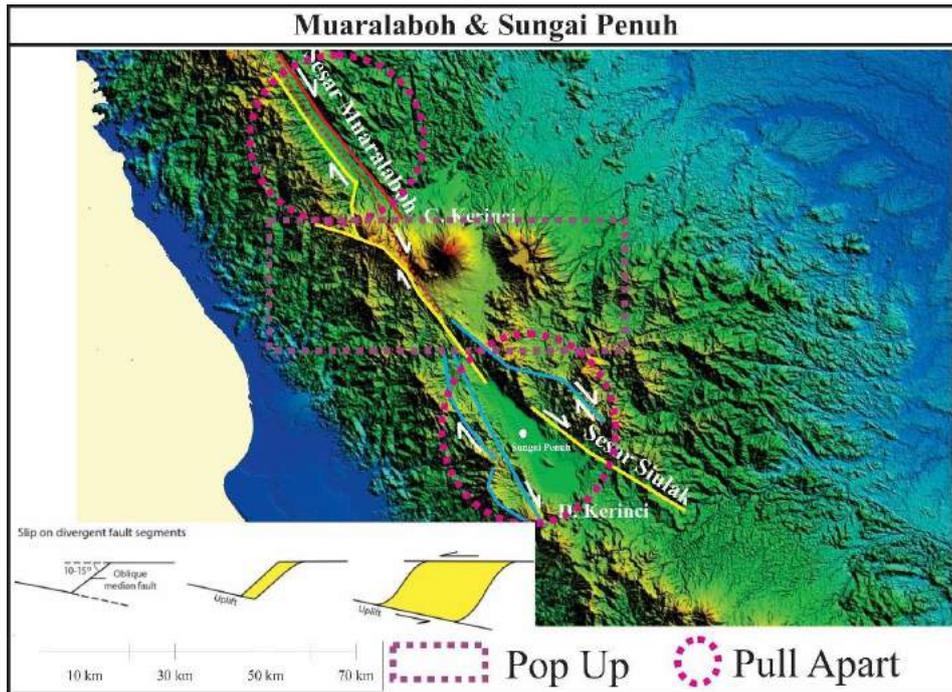
**Zona subduksi** merupakan zona tumbukan antara lempeng tektonik Australia dengan lempeng tektonik Asia. Zona gempa ini menunjam sampai kedalaman lebih dari 70 km. Zona tumbukan ini juga diperkirakan menyebabkan melelehnya batuan yang menjadi sumber magma gunung-gunung api sepanjang Sumatera hingga ke pulau Jawa.

**Zona Sesar Mentawai** berupa patahan naik akibat dari terpatahkannya lempeng Asia atau juga disebabkan oleh terpatahkannya batuan kumpulan (akresi) dari hasil tumbukan. Sesar Mentawai memanjang disekitar pulau-pulau Mentawai dari Utara Hingga ke Selatan. Diperkirakan tidak menerus tetapi terpotong-potong pada beberapa tempat.

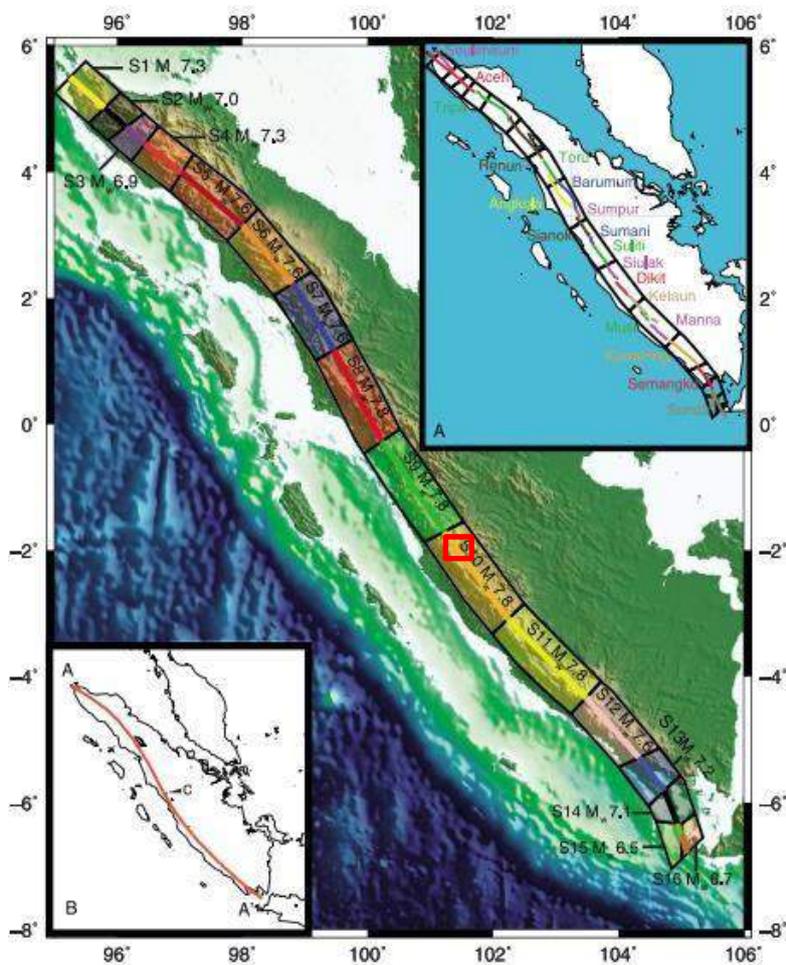
**Zona sesar Sumatera** zona patahan ini memanjang dibagian barat pulau Sumatera. Memanjang sepanjang 1900 km. Seringkali berupa dua tiga paralel. Menyebabkan terbentuknya beberapa danau di Sumatera termasuk danau Singkarak yang merupakan amblesan akibat pergeseran sesar ini.

Daerah penelitian termasuk kedalam sistem tektonik zona sesar Sumatera. Sesar Semangko merupakan bagian selatan dari sistem sesar besar Sumatera yang bergeser secara dekstral/menganan yang merupakan akibat subduksi atau konvergensi menyerong antara lempeng Indo-Australia dengan lempeng Eurasia. Segmen sesar Semangko membentang sepanjang lebih dari 80 km dari selat sunda sampai dengan daerah danau Ranau di utara. Sesar Sumatera merupakan sesar *strike slip* berarah dekstral yang terdiri dari 19 segmen utama sepanjang tulang punggung Sumatera (**Gambar 4**). Segmen-segmen sesar ini adalah Segmen Seulimeum, Segmen Aceh, Segmen Tripa, Segmen Renun, Segmen Angkola, Segmen Toru, Segmen Barumun, Segmen Sempur, Segmen Sianok, Segmen Sumani, Segmen Suliti, Segmen Siulak, Segmen Dikit, Segmen Ketaun, Segmen Musi, Segmen Manna, Segmen Kumering, Segmen Semangko dan Segmen Sunda (Kerry dan Natawidjaja, 2002).

Sesar Siulak merupakan sesar yang berada pada jalur vulkanisme kuartar yang masih aktif. Segmen sesar Siulak merupakan bagian dari sesar Sumatera, segmen ini berarah Baratlaut-Tenggara pergerakan dengan arah gaya kompresi Timurlaut-Baratdaya dan gaya ekstensional Baratlaut-Tenggara. Menurut Bellier dan Sebrier (1994) segmen sesar Siulak merupakan bagian dari pergerakan sesar Semangko yang bergerak menganan (*dextral*). Sedangkan menurut Kerry dan Natawidjaja (2000), sesar Siulak merupakan *dilational step overs* dan sesar ini memanjang sekitar  $\pm 70$  km, sesar inilah yang melintasi daerah penelitian. Pada Cekungan Sungai Penuh juga terdapat dua sistem sesar mayor yaitu Sesar Siulak Barat dan Sesar Siulak Timur dengan arah pergerakannya *Dextral Fault*.



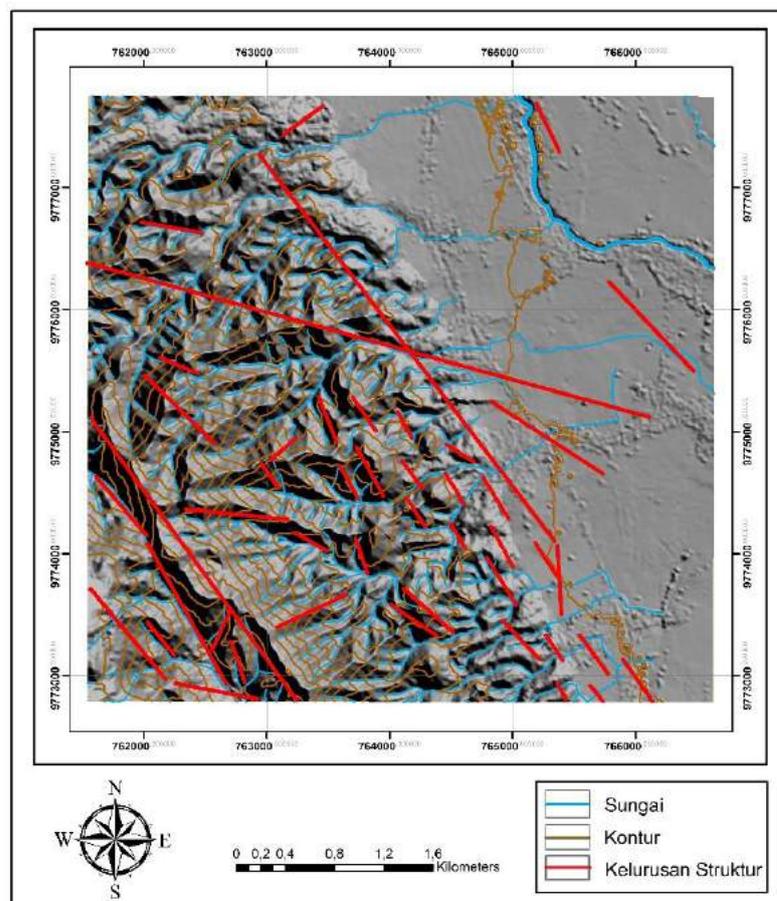
**Gambar 4.** Segmen Tengah Muara Labuh & Sungai Penuh (Hirofumi et al, 2010)



**Gambar 5.** Pembagian Segmen Sesar Sumatera (Kerry dan Natawidjaja, 2000)

Berdasarkan daerah penelitian merupakan bagian dari segmen sesar Siulak dan terban Kerinci. Segmen ini cenderung sebagai sesar *en eselon* yang bergerak menganan, berkaitan dengan segmen patahan sebelumnya. Segmen Siulak terutama terdiri dari terban *wedge shape* sepanjang 60 km dimana mengalir Sungai Siulak. Lebar depresi di bagian tenggara mencapai 9 km, sedangkan di bagian barat laut depresi tersebut menyempit berkurang hingga 5 km (Tjia, 1977).

Gempa tektonik yang dipicu akibat aktivitas sesar besar Sumatera tepatnya di segmen siulak ini berkekuatan 7,6 SR. Gempa ini jadi gempa darat terkuat yang mengawali abad ke-20 Masehi di Hindia Belanda. Peristiwa gempa Dahsyat ini banyak ditulis dan diberitakan dalam berbagai surat kabar pemerintah hindia-belanda. Jumlah korban jiwa meninggal akibat gempa tersebut sangat banyak mencapai lebih dari 230 orang, sementara korban luka ringan dan berat dilaporkan juga sangat banyak. Sejarah gempa dahsyat yang melanda Kerinci tahun 1909 kemudian terulang kembali tahun 1995 (Padang Ekspres, 2019).



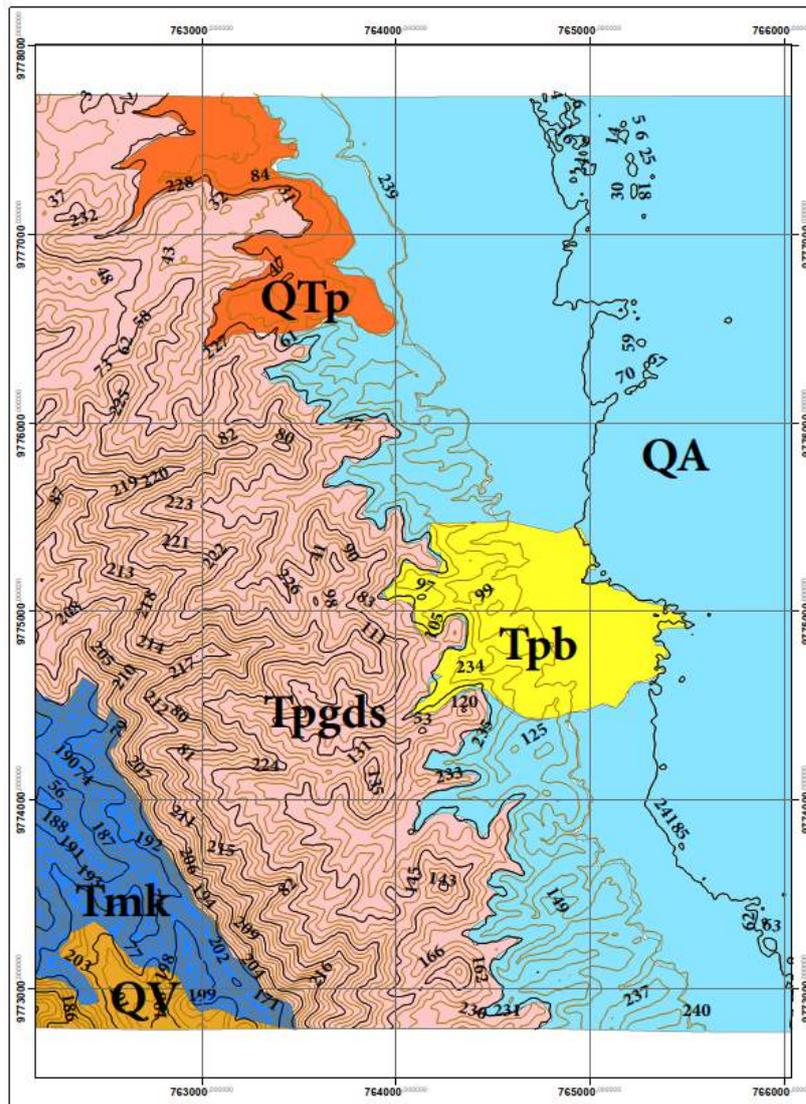
**Gambar 6.** Kelurusan Berarah Baratlaut-Tenggara yang Menunjukkan Kecenderungan Arah Struktur Geologi pada Daerah Penelitian di Desa Seberang dan Sekitarnya

Berdasarkan analisis peta DEM daerah penelitian dapat ditarik arah kelurusan struktur yang memiliki arah umum Baratlaut-Tenggara, dilihat dari arah zona sesar Sumatera dalam hal ini segmen sesar Siulak yang memiliki arah umum Baratlaut-Tenggara sesuai dengan interpretasi data DEM yang peneliti lakukan. Kelurusan berarah Timurlaut-Baratdaya ini karena dahulunya pulau Sumatera menyatu dengan pulau Jawa yang berarah Barat-Timur dan pulau Sumatera terpisah dengan pulau Jawa kemudian terjadi proses 3 blok di Sumatera dengan arah Timurlaut-Baratdaya setelah itu terjadi pergerakan segmen-segmen di Kerinci dimana mengalami *pop up* dan *pull apart*. Kelurusan geologi ini adalah cerminan morfologi yang teramati di permukaan bumi sebagai hasil dari aktifitas gaya geologi dari dalam bumi. Kelurusan geologi bisa diasumsikan berupa unsur struktur geologi yang belum mengalami pergerakan (*displacement*) yang sudah mengalami pergerakan dinamakan sesar (Fagustin, 2016).

### **Stratigrafi**

Urutan stratigrafi Lembar Sungaipenuh & Ketaun dapat dibagi menjadi tiga: urutan Pratersier, Tersier, dan Kuartar. Masing-masing satuan batuan telah dirinci secara litostratigrafi dan disesuaikan dengan sandi stratigrafi Indonesia (1975) dan panduan stratigrafi internasional (Hedberg, 1976).

Geologi lembar ini terutama meliputi satuan batuan zona busur depan dan zona busur magmatik Sumatera; serempat mencerminkan sebagai cekungan Bengkulu dan zona Barisan. Satuan ketiga yang disebut cekungan antara gunung hanya terdapat setempat disekitar danau Kerinci dibagian Utara lembar. Pengendapan masih terus berlangsung pada Lajur Bengkulu dan cekungan Antar Gunung (*Intramontane*) pada waktu yang selalu hampir bersamaan, yakni dengan diendapkannya Formasi Lemau dan Formasi Kumun pada Mio-Plio serta Formasi Bintunan dan Formasi Pengasih pada Plistosen. Aktivitas Batuan Terobosan Tektonik terjadi untuk ke 4 kalinya yakni penerobosan Granit, Granodiorit Sungaipenuh, Granodiorit Langkup dan Basal pada akhir Pliosen. Sementara itu aktivitas vulkanik pada lajur Barisan masih terus berlangsung hingga Holosen dimana diendapkan satuan batuan gunung api Rio-Andesit pada awal Plistosen diikuti oleh pengendapan Satuan Batuan Gunungapi Andesit-Basal dan Satuan Batuan Breksi Gunungapi-Tuff pada Holosen.



**Gambar 7.** Peta Geologi Tentatif Daerah Penelitian Berdasarkan Peta Geologi Lembar Sungai Penuh & Ketaun (Kusmana et al, 1992)

**Formasi Kumun (Tmk)** terdiri dari Batupasir, Konglomerat, Breksi dan Tuf dengan sisipan Lignit. Batupasir, kelabu kekuningan, terpilah buruk, butiran membundar tanggung, berbutir sedang-kasar, meliputi kuarsa, batuan terubah dan terutama bahan batuan beku. Diterobos oleh Granodiorit Sungai penuh, tak selaras menindih batuan alas malihan Mesozoikum dan ditindih takselaras oleh Qtp & Qv.

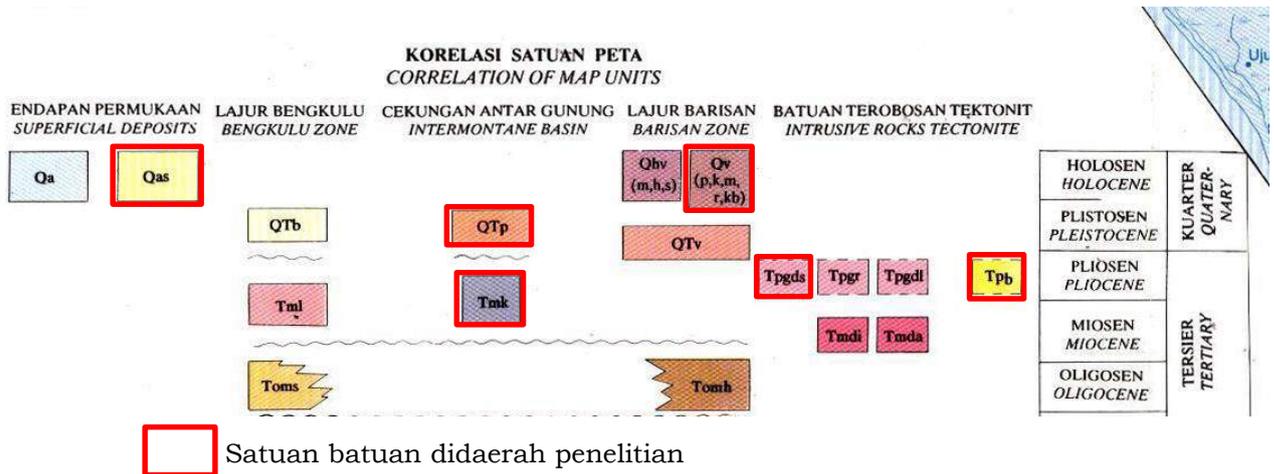
**Granit Sungai Penuh (Tpgds)** tersingkap di sepanjang jalur sesar Dikit-Seblat dan menerobos Formasi Hulusimpang yang berumur Oligosen-Miosen Awal. Satu-satunya pentarikan K/Ar menunjukkan umur  $3.48 \pm 0,5$  Juta tahun yang ditafsirkan sebagai umur gerakan utama sistem sesar Sumatera pada Plio-Plistosen. Kemungkinan umur satuan ini Miosen Tengah, tetapi belum dibuktikan.

**Batuan Terobosan Tersier Basalt (Tpb)** tersingkap di sepanjang jalur sesar Dikit-Seblat dan menerobos Formasi Hulusimpang yang berumur Oligosen-Miosen Awal. Satu-satunya pentarikan K/Ar menunjukkan umur  $3.48 \pm 0,5$  Juta tahun yang ditafsirkan sebagai umur gerakan utama sistem sesar Sumatera pada Plio-Plistosen.

**Formasi Pengasih (Qtp)** terdiri dari Batulempung, Batulanau, Batupasir dan Konglomerat polimik dengan sisipan Lignit. Batulempung, putih kekuningan sampai coklat, mengandung karbonat dan/atau Batuapung; terdapat kongkresi oksidasi besi. Umumnya terdapat perlapisan sejajar. Fosil belum pernah ditemukan. Ditafsirkan mungkin endapan danau dan dikorelasikan dengan Fm. Kasai dan Fm.

**Batuan Gunungapi Andesitan Basal (Qv)** lava andesitan-basaltan, tuf dan breksi gunungapi. Andesit, hitam sampai kelabu tua, afanitan sampai porfiritan dengan fenokris plagioklas & augit. Basal, Kelabu tua, afanitan, struktur buruk. Tuf, jenis-jenis hablur dan sela, kelabu kecoklatan, pecahan kaca gunungapi, fragmen andesit-basal & sedikit breksi, oksida besi umum terdapat. **Alluvium (Qa)** Bongkahan, Krakal, Pasir, Lumpur dan Lempung.

Berikut satuan stratigrafi daerah penelitian yang terletak di desa Seberang dan sekitarnya kecamatan Pesisir Bukit Kota Sungai Penuh:



**Gambar 8.** Korelasi Satuan Batuan Daerah Penelitian Berdasarkan Peta Geologi Lembar Sungai Penuh & Ketaun (Kusmana et al, 1992)

Berdasarkan korelasi satuan batuan pada daerah penelitian maka dapat diketahui jenis litologi batuan yang ada serta penyebaran batuan tersebut didaerah penelitian dalam bentuk formasi-formasi yang ada serta kedudukan batuan tersebut dimulai dari yang tertua sampai endapan batuan yang paling muda dimana proses-proses geologi berperan penting ini terlihat dari adanya batuan terobosan yang menerobos Formasi Hulusimpang yang dikatakan bahwa daerah penelitian termasuk kedalam daerah vulkanik aktif.

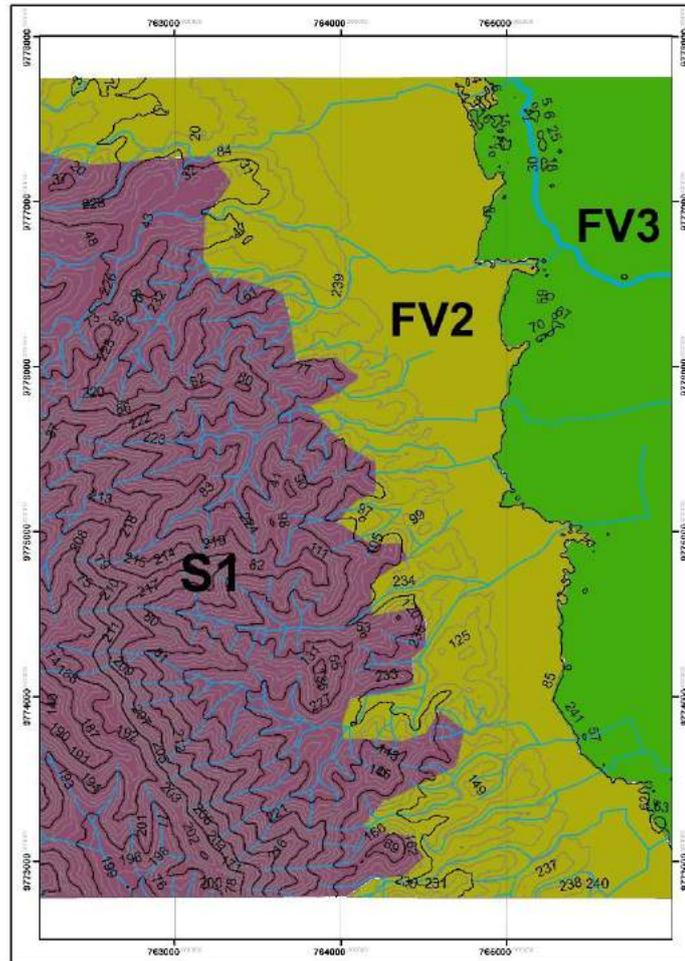
### **Geomorfologi**

Poedjoprajitno (2010), daerah lembah Kerinci merupakan bagian dari rangkaian satuan geomorfologi bentukan asal gunungapi (V) yang berbatasan dengan satuan geomorfologi bentukan asal struktur (S) wilayah pulau Sumatera bagian Barat. Verstappen (1973), menyatakan daerah penelitian adalah dataran antar gunung yang berada di lingkungan median graben berbentuk memanjang dan menyempit (berakhir) di kaki selatan kerucut Gunung api Kerinci. Lebih lanjut geomorfologi lembah Kerinci berdasarkan hasil interpretasi potret udara, dapat dibagi menjadi empat satuan bentukan asal, yaitu: bentukan asal struktur, bentukan asal gunung api, bentukan fluvial dan bentukan asal fluvio-gunung api. Daerah penelitian termasuk kedalam bentukan asal struktur dengan bentukan lahan pegunungan bongkah sesar dan bentukan asal fluvio gunung api dengan bentuk lahan kipas fluvio gunung api muda dan kipas fluvio tua (**Gambar 9**).

**Bentuk lahan pegunungan bongkah sesar** merupakan morfologi yang tampak menyerupai blok-blok memanjang dengan arah batarlaut tenggara, batas antara blok ditafsirkan sebagai gawir sesar. Menurut Zuidam (1985), bentuklahan ini berlereng agak curam hingga curam, dengan besaran sudut lereng antara 15° sampai 30°. Permukaan bentuklahan ini tertoreh sedang sampai kuat, tersusun dari batuan berumur tua (Kapur) hingga muda (Kwartir-Holosen).

**Bentuk Lahan Fluvio Gunungapi** Bentuklahan ini dibangun terutama oleh media sungai dengan material hampir sepenuhnya hasil gunungapi di sekitarnya, membentuk kipas aluvial gunungapi (FV). Pertumbuhan kipas aluvial di lembah ini sangat tergantung kegiatan tektonik setempat. Bentuklahan kipas alluvial gunung api ini tersusun oleh material lepas yang ada di sekitar, berbentuk membulat dan terpilah sedang, mempunyai penutup yang tebal (*soil*). Bentuklahan

dapat dipisahkan menjadi tiga, yaitu: kipas fluvio gunung api tertua (FV1), kipas fluvio gunung api tua (FV2) dan kipas fluvio gunung api muda (FV3). Kipas aluvial gunung api muda biasanya aktifnya proses sedimentasi.



**Gambar 9.** Peta Geomorfologi Tentatif Lembah Kerinci, Kabupaten Kerinci, Propinsi Jambi, Berdasarkan Potret Udara (Poedjopradjitno, 2012)

Hasil analisis potret udara menunjukkan, bentangalam lembah Kerinci merupakan hasil kegiatan struktur, dibuktikan adanya sejumlah elemen morfologi struktur hasil kegiatan tektonik, yaitu gawir sesar utama (*main fault scarp*) maupun gawir sesar kecil (*scarplet*), undak struktur, pergeseran alur sungai, pergeseran bukit, kolam sesar (*sagpond*) dan kelurusan lembah.

Bentangalam lembah Kerinci merupakan bentangalam hasil proses tektonik yang didominasi gerak vertikal, secara geomorfologi disebut dengan bentangalam lembah terban yang diekspresikan di permukaan daratan sebagai lembah terban berjenjang (Poedjopradjitno, 2012).

Peta geomorfologi ini dapat digunakan peneliti untuk menginterpretasikan daerah penelitian termasuk kedalam jenis perbukitan seperti apa dengan mengetahui demikian maka dapat diketahui jenis lotologi, tingkat kerawan lereng untuk melihat potensi longsor pada daerah penelitian. Penyusunan peta geomorfologi setidaknya akan sangat terkait dengan pengumpulan data-data terkait dengan empat aspek utama bentuklahan. Data terkait dengan morfologi dan morfoaransemen diperoleh dari data citra penginderaan jauh dan peta rupa bumi Indonesia (data topografi). Delineasi dari morfologi ini kemudian dijadikan dasar sebagai batas masing-masing bentuklahan.

Hasil dari analisis keempat aspek bentuklahan dari data sekunder sebelumnya menghasilkan peta geomorfologi tentatif. Hasil pemetaan tersebut kemudian digunakan untuk panduan survei guna menyusun peta geomorfologi yang diharapkan. Survei lapangan dilakukan dengan melakukan analisis pada masing-masing bentuklahan sintetik untuk melakukan analisis yang lebih detail dan cek lapangan terhadap hasil interpretasi.

## **2.2 Dasar Teori**

### **Bencana Geologi**

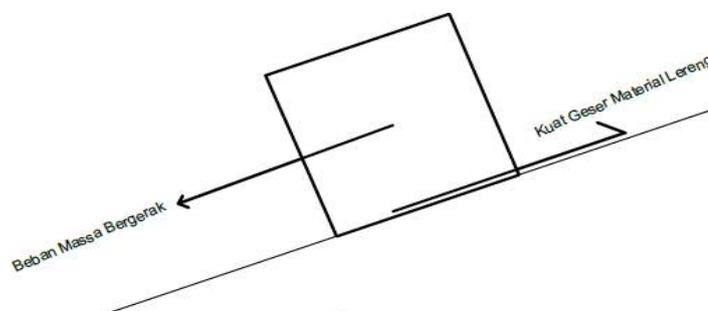
Bencana Geologi adalah semua peristiwa atau kejadian di alam yang berkaitan dengan siklus-siklus yang terjadi di bumi atau segala sesuatu yang disebabkan oleh faktor-faktor geologi. Faktor-faktor geologi tersebut dapat berupa struktur dan tekstur tanah dan batuan, jenis tanah dan batuan, pola pengaliran sungai, topografi, struktur geologi (lipatan dan patahan), tektonik maupun gunungapi. Faktor-faktor geologi tersebut selain menyebabkan adanya potensi bencana, pada kenyataannya faktor-faktor geologi tersebut memberi arti penting dalam kehidupan dan siklus kehidupan di bumi. Dampak negatif ini akibat timbulnya bahaya dan bahkan bencana geologi (*geological hazards*), seperti tanah longsor, letusan gunung berapi, gempa bumi, tsunami, erosi, salinasi, dan banjir. Bencana geologi berdampak buruk bagi aktivitas manusia yaitu dapat menyebabkan korban jiwa dan kerugian material (harta benda) (Noor, 2009).

Berikut adalah beberapa bencana yang umum disebabkan oleh Faktor-faktor Geologi:

1. Kekeringan, Bencana kekeringan merupakan fenomena alam yang dapat diakibatkan oleh kondisi geologi (batuan) suatu wilayah.
2. Longsor, Secara umum longsor dapat dibedakan menjadi beberapa tipe berdasarkan tipe pergerakannya, yaitu: Longsoran Translasi, Longsoran Rotasi, Pergerakan Blok, Runtuhan Batu, Rayapan Tanah, Aliran Material Rombakan.
3. Banjir dan Banjir Bandang, erat kaitannya dengan kapasitas area tangkapan air di daerah hulu.
4. Gunung Meletus, keindahan dan kesuburan lahan yang luar biasa, namun disamping itu juga menyimpan potensi bencana khususnya letusan gunungapi.
5. Gempa Bumi, Aktifitas gempabumi sangat erat kaitannya dengan aktifitas tektonik yang berlangsung di permukaan bumi yang menyebabkan adanya jalur-jalur patahan yang rawan terjadi gempa.
6. Tsunami, umum terjadi pada tipe patahan yang memiliki lentingan vertikal (patahan naik), dimana bagian lempeng yang tertekan melenting ke atas saat terjadi perlepasan energi saat gempa.

### Lereng

Lereng adalah permukaan bumi yang membentuk sudut kemiringan tertentu dengan bidang horizontal. Lereng dapat terbentuk secara alamiah karena proses geologi atau karena dibuat oleh manusia. Menurut proses terbentuknya lereng terbagi menjadi 2 yaitu lereng alami dan lereng buatan. Lereng alami terbentuk secara alamiah yang biasanya terdapat di daerah perbukitan. Sedangkan lereng buatan terbentuk oleh manusia biasanya untuk keperluan konstruksi, seperti tanggul sungai, bendungan tanah, tanggul untuk badan jalan kereta api (Arief, 2007).

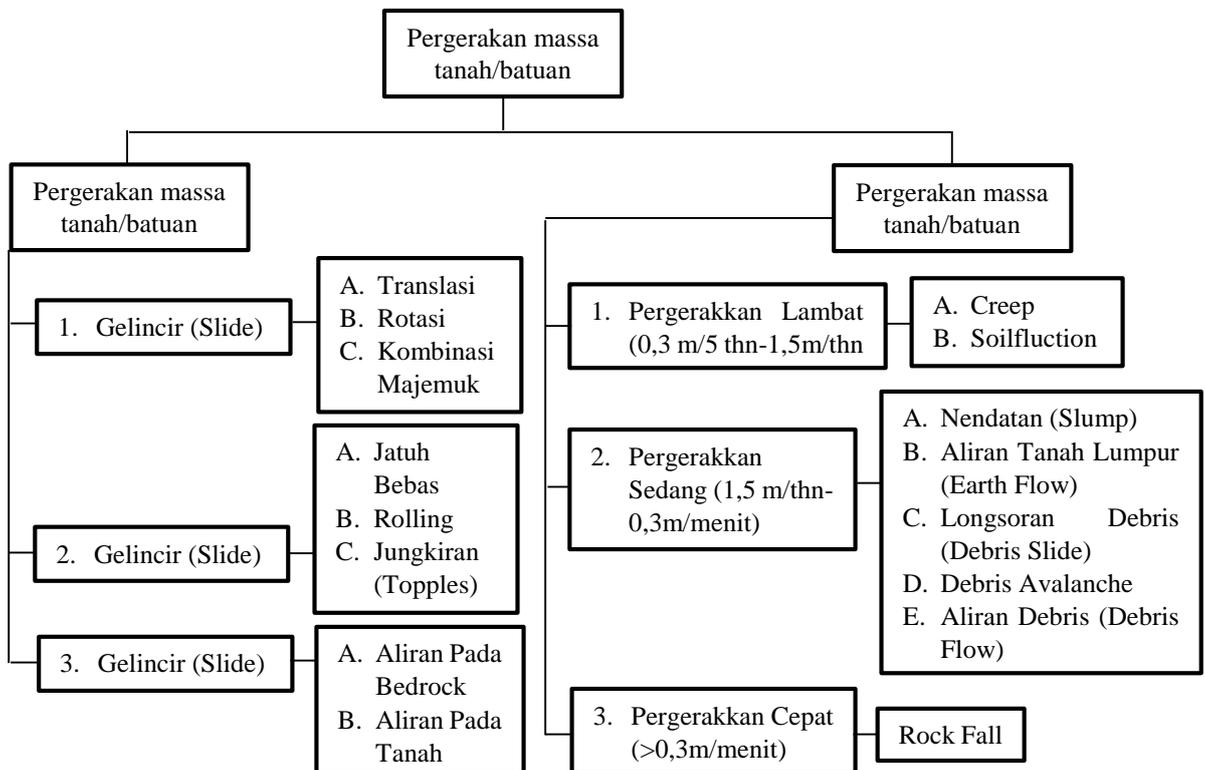


**Gambar 10.** Analogi Gerakan Massa Di Lereng (Dep. PU, 2005)

## Gerakan Massa

Pengertian gerakan tanah (*mass movement*) dengan longsoran (*Landslide*) mempunyai kesamaan. Gerakan tanah adalah perpindahan massa tanah atau batu pada arah tegak, mendatar atau miring dari kedudukan semula, gerakan tanah mencakup gerak rayapan dan aliran maupun longsoran. Dari definisi gerakan tanah dapat disimpulkan bahwa longsoran adalah bagian dari gerakan tanah. Bergeraknya material tanah/batuan dalam bentuk padat atau semi-*viscous* disebut sebagai pergerakan massa. Pergerakan massa ini dianalogikan dengan bergerak suatu blok pada bidang miring. Apabila gaya akibat gravitasi (beban bergerak) melebihi kuat geser penahan lereng, maka material akan bergerak.

Klasifikasi gerakan massa tanah/batuan dibagi ke dalam dua kelompok berdasarkan pola pergerakan dan kecepatan pergerakan (**Gambar 11**).



**Gambar 11.** Klasifikasi Pergerakan Massa Tanah/Batuan (Dep. PU, 2005)

Untuk memudahkan identifikasi di lapangan dapat digunakan untuk melihat tipe gerakan tanah yang mungkin terjadi dikorelasikan dengan jenis batuan dasar, ini dimaksudkan agar bisa mengetahui jenis tipe keruntuhan longsor, bukan hanya berdasarkan jenis batuan nya saja tetapi juga dalam bentuk aspek geologi lainnya seperti material tanah (Dep. PU, 2005).

**Tabel 2.** Jenis Tanah/Batuan dan Tipe Gerakan yang Mungkin Terjadi (Dep. PU, 2005)

Geologi	Bentuk dan tipe keruntuhan lereng
Massa batuan (beku, sedimen ataupun lava)	- Runtuhan, baji dan jungkiran - Keruntuhan di sepanjang kekar, rekahan, perlapisan - Luncuran bongkah ( <i>blockguide</i> )
Batuan metamorf (filit, slate, sekis)	Keruntuhan lereng di sepanjang struktur fol
Batuan sedimen berlapis	- Pengaruh derajat pelapukan sangat tinggi
• Lapisan datar	- Rotasi, longsor di sepanjang bidang lapisan
• Lapisan miring	- Luncuran bidang di sepanjang bidang perlapisan
• Serpih dan lempung pantai	- Luncuran bongkah lapisan akibat retakan - Rotasi
Tanah residual dan koluvial	- Rotasi
• Lapisan tebal	- Keruntuhan lereng debris, <i>avalanche</i> atau rayapan
• Lapisan tipis menumpang di atas lapisan batuan	
Tanah alluvial	- Aliran atau rayap
• Non kohesif	- Rotasi dan translasi
• kohesif	

### Longsor

Longsor merupakan salah satu bentuk hasil gerakan massa (*mass movement*) di sepanjang bidang luncurnya (bidang longsornya) kritis. Gerakan massa adalah perpindahan massa batuan, regolit dan tanah dari tempat yang tinggi ke tempat yang rendah karena pengaruh gaya gravitasi (Tim Bejis Project, 2005). Kejadian bahaya longsor (gerakan massa tanah) sering terjadi di daerah lereng curam/terjal. Terbentuknya longsor adalah akibat perpindahan material pembentuk lereng seperti batuan, bahan rombakan, tanah yang bergerak dari lereng bagian atas meluncur ke bawah. Secara prinsip longsor terjadi jika gaya pendorong pada lereng bagian atas lebih besar dari pada gaya penahan. Gaya pendorong dipengaruhi oleh intensitas hujan yang tinggi, keterjalan lereng, beban, ketebalan solum tanah, dan berat jenis tanah (Karnawati, 2007).

#### A. Jenis-jenis Longsor

Varnes (1978) mengklasifikasi longsor menjadi 6 jenis yaitu runtuh (*fall*), robohan (*topple*), longsor (*slides*), pencaran lateral (*lateral spread*), aliran (*flow*) dan gabungan. Klasifikasi tersebut diuraikan sebagai berikut:

**Runtuhan (*falls*)** adalah runtuhnya sebagian massa batuan pada lereng yang terjal. Jenis ini memiliki ciri yaitu sedikit atau tanpa disertai terjadinya pergeseran antara massa yang runtuh dengan massa yang tidak runtuh. Runtuhnya massa batuan umumnya dengan cara jatuh bebas, meloncat atau menggelinding tanpa melalui bidang gelincir. Penyebab terjadinya runtuhan adalah adanya bidang-bidang diskontinyu seperti retakan-retakan pada batuan.



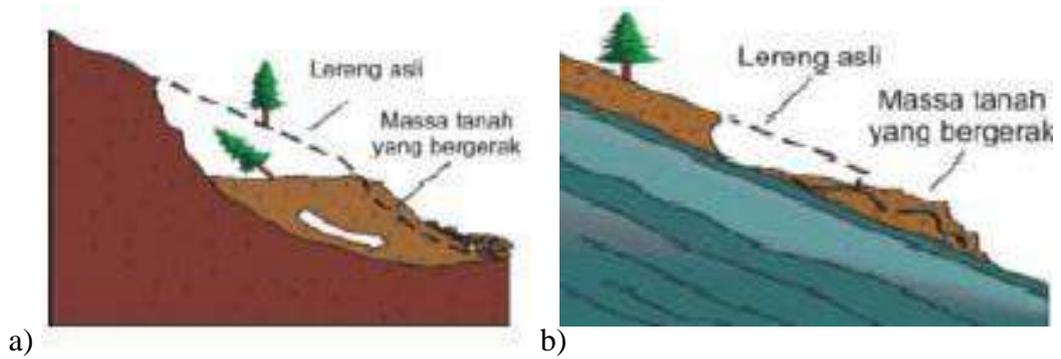
**Gambar 12.** Runtuhan Batuan (Rahmawati, 2009)

**Robohan (*topples*)** adalah robohnya batuan umumnya bergerak melalui bidang-bidang diskontinyu yang sangat tegak pada lereng. Bidang diskontinyu ini berupa retakan pada batuan seperti pada runtuhan. Robohan ini terjadi pada batuan dengan kelerengan sangat terjal sampai tegak.



**Gambar 13.** Robohan Batuan (Rahmawati, 2009)

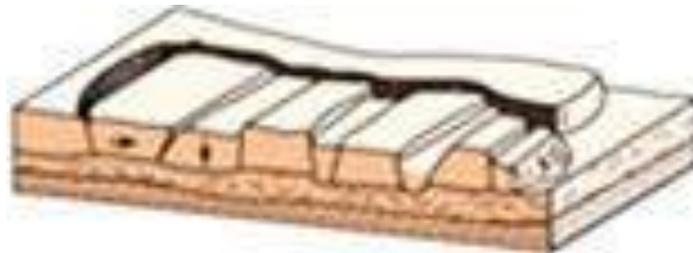
**Longsoran (*Slide*)** adalah gerakan menuruni lereng oleh material penyusun lereng, melalui bidang gelincir pada lereng. Seringkali dijumpai tanda-tanda awal gerakan berupa retakan berbentuk lengkung tapal kuda pada bagian permukaan lereng yang mulai bergerak. Bidang gelincir ini dapat berupa bidang yang relatif lurus (translasi) atau bidang lengkung ke atas (rotasi).



**Gambar 14.** (a) Rotasi Batuan (b) Luncuran Batuan (Rahmawati, 2009)

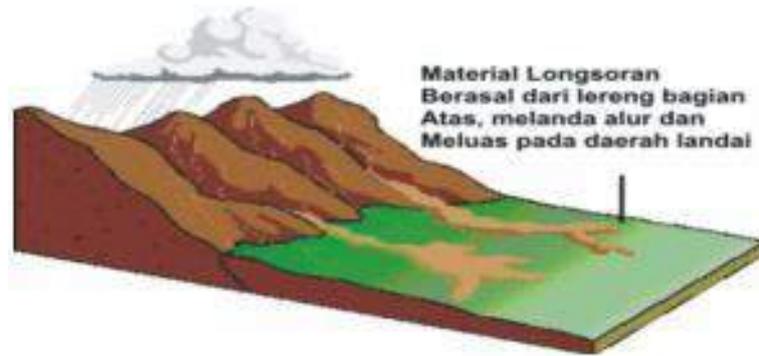
Kedalaman bidang gelincir pada longsor jenis translasi lebih dangkal daripada kedalaman bidang gelincir longsor rotasi. Material yang bergerak secara translasi dapat berupa blok (*rock block slide*). Longsor yang bergerak secara rotasi melalui bidang gelincir lengkung disebut nendatan (*slump*).

**Pencaran lateral (*lateral spread*)** adalah material tanah atau batuan yang bergerak dengan cara perpindahan translasi pada bagian dengan kemiringan landai sampai datar. Pergerakan terjadi pada lereng yang tersusun atas tanah lunak dan terbebani oleh massa tanah di atasnya. Pembebanan inilah yang mengakibatkan lapisan tanah lunak tertekan dan mengembang ke arah lateral.



**Gambar 15.** Pencaran Batuan (Rahmawati, 2009)

**Aliran (*flows*)** yaitu aliran massa yang berupa aliran fluida kental. Aliran pada bahan rombakan dapat dibedakan menjadi aliran bahan rombakan (*debris*), aliran tanah (*earth flow*) apabila massa yang bergerak didominasi oleh material tanah berukuran butir halus (butir lempung) dan aliran lumpur (*mud flow*) apabila massa yang bergerak jenuh air. Jenis lain dari aliran ini adalah aliran kering yang biasa terjadi pada endapan pasir (*dry flow*).

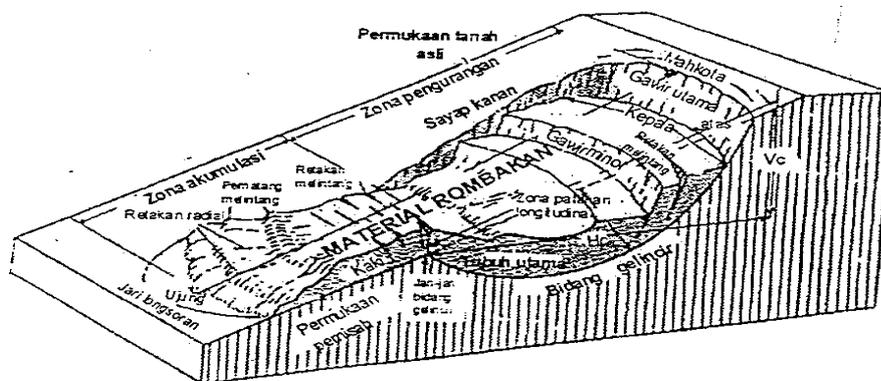


**Gambar 16.** Aliran Batuan (Rahmawati, 2009)

Di alam sering terjadi tanah longsor dengan mekanisme gabungan dari dua atau lebih jenis tanah longsor. Tanah longsor tersebut diklasifikasikan sebagai tanah longsor gabungan atau kompleks.

**B. Bagian-Bagian Longsor**

Di Indonesia, longsor dengan bidang gelincir melengkung banyak terjadi, terutama pada lereng dengan tanah lempung atau lempung pasir. Untuk itu perlu adanya pemahaman istilah teknis tentang bagian-bagian pada geometri suatu longsor. Pemahaman tentang bagian-bagian geometri longsor ini diperlukan dalam upaya pencegahan dan penanggulangan longsor.



**Gambar 17.** Bagian-Bagian Longsor (Varnes, 1978; dalam BAPEKOINDA, 1996)

**Tabel 3.** Bagian-Bagian Longsor (Varnes, 1978 dalam BAPEKOINDA, 1996)

Nama	Definisi
Mahkota Longsor	Daerah yang tidak bergerak dan berdekatan dengan bagian tertinggi dari tebing atau gawir utama longsor
Tebing atau gawir utama longsor	Permukaan lereng yang curam pada tanah yang tidak terganggu dan terletak pada bagian atas dari longsor
Puncak Longsor	Titik tertinggi terletak di antara kontak material yang bergerak atau pindah dengan tebing atau gawir utama Longsor

Nama	Definisi
Kepala Longsoran	Bagian atas dari longsoran sepanjang kontak antara aterial yang bergerak atau pindah dan tebing atau gawir utama longsoran
Tebing atau gawir minor	Permukaan yang curam pada material yang bergerak atau pindah yang dihasilkan oleh pergerakan ikutan dari material longsoran
Tubuh Utama	Bagian longsoran yang terletak pada material yang bergerak yang merupakan tampalan antara bidang gelincir, tebing utama longsoran dan jari bidang gelincir
Kaki Longsoran	Bagian dari longsoran yang bergerak mulai dari jari bidang gelincir dan bertampalan dengan permukaan tanah asli
Ujung Longsoran	Titik pada jari kaki longsoran yang letaknya paling jauh dari puncak longsoran
Jari Kaki Longsoran	Bagian paling bawah longsoran yang biasanya berbentuk lengkung, berasal dari material longsoran yang bergerak dan letaknya paling jauh dari tebing Utama
Bidang Gelincir	Bidang kedap air yang menjadi landasan Bergeraknya massa tanah
Jari dari bidang gelincir	Tampalan antara bagian bawah dari bidang gelincir longsoran dengan permukaan tanah asli
Permukaan Pemisah	Bagian dari permukaan tanah asli yang bertampalan dengan kaki longsoran
Material yang bergerak	Material yang bergerak dari posisi asli yang digerakkan oleh longsoran yang dibentuk oleh massa yang tertekan dan akumulasi massa
Daerah yang tertekan	Daerah dari longsoran yang terdapat di dalam material yang bergerak dan terletak di bawah permukaan tanah asli
Zona akumulasi	Daerah dari longsoran yang terdapat di dalam material yang bergerak dan terletak di atas permukaan tanah asli
Penekanan	Volume yang dibentuk oleh tebing utama longsoran, massa yang tertekan dan permukaan asli
Massa yang tertekan	Volume dari material yang bergerak bertampalan dengan bidang gelincir tetapi berada di bawah permukaan tanah asli
Akumulasi	Volume dari material yang bergerak dan terletak di atas permukaan tanah asli
Sayap	Material yang tidak mengalami pergerakan yang berdekatan dengan sisi samping bidang gelincir
Permukaan tanah yang asli	Permukaan lereng sebelum terjadi longsoran

## Kestabilan Lereng

Kestabilan/kemantapan lereng adalah suatu kondisi atau keadaan yang mantap atau stabil terhadap suatu bentuk dan dimensi lereng. Analisa kestabilan lereng bertujuan untuk menentukan faktor keamanan dari bidang longsor yang berpotensi. Analisis kestabilan lereng ini sering dijumpai pada perancangan-perancangan bangunan seperti jalan raya, rel kereta api, tempat pemukiman penduduk, saluran air dan bendungan. Analisis kestabilan lereng ini dilakukan untuk mengecek keamanan dari lereng alam, lereng galian (Hardiyatmo, 1994).

Pemahaman kondisi geologi lokal memberikan unsur yang sangat penting untuk memecahkan masalah lereng karena evaluasi kestabilan lereng membutuhkan pendekatan dan pengetahuan mengenai geologi teknik, mekanika tanah dan mekanika batuan. Beberapa aspek geologi yang perlu untuk diketahui antara lain: struktur geologi seperti kekar dan sesar yang berkembang di daerah penelitian, kegempaan, pelapukan, air tanah dan aktivitas gerakan tanah yang terdahulu.

Metode analisis kestabilan lereng ini diantaranya digunakan untuk memberikan tinjauan kestabilan lereng dari berbagai jenis lereng yang terjadi di alam maupun buatan manusia, memberikan evaluasi terhadap potensi gerakan tanah dari lereng yang ada, menganalisa gerakan tanah yang telah terjadi, memberikan kemungkinan *re-design* dari lereng yang baru, mengkaji pengaruh dari beban yang tak terduga seperti gempa dan beban lalu lintas.

Kestabilan suatu lereng dapat diperhitungkan dengan cara membandingkan antara gaya yang menahan dan gaya yang melongsorkan atau meluncurkan (Bowles, 1991). Perbandingan tersebut dirumuskan sebagai berikut.

$$FK = \frac{\text{Gaya Penahan Gerakan}}{\text{Gaya Penggerak}}$$

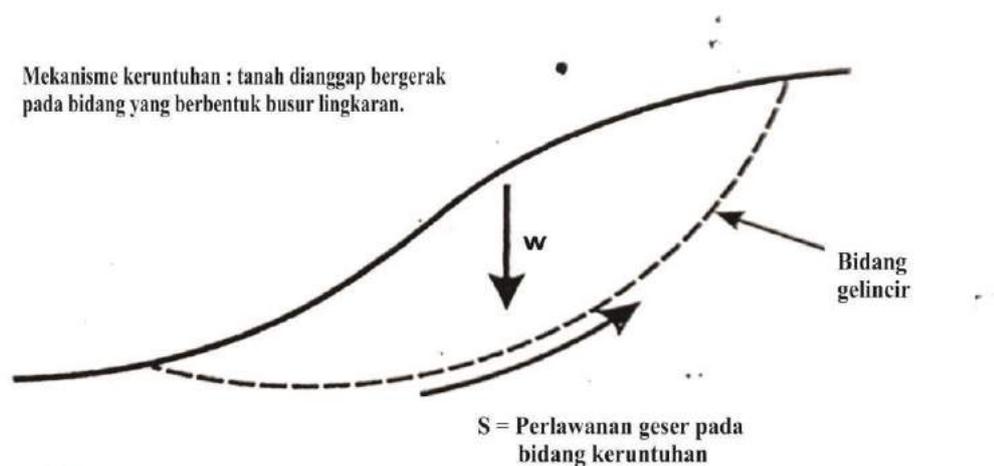
Gaya penahan umumnya selain dipengaruhi oleh geometri atau ukuran lereng juga dipengaruhi oleh faktor-faktor yang membentuk gaya-gaya penahan yang lain, faktor-faktor seperti jenis batuan apakah batuan beku, batuan sedimen dan batuan metamorf umumnya memberikan kestabilan yang baik dan kekuatan batuan. Batuan utuh yang mempunyai kuat tekan tinggi dan mempunyai sudut geser dalam tinggi merupakan batuan yang sangat stabil terhadap gerakan tanah.

Gaya penggerak umumnya dipengaruhi oleh gravitasi sedangkan berat dari bagian lereng yang bersangkutan dipengaruhi oleh faktor-faktor antara lain:

**Berat Isi.** Batuan dengan berat isi yang besar akan memberikan beban atau gaya yang lebih besar pada lereng.

**Kandungan air tanah.** Keberadaan air pada lereng yang bersangkutan akan memberikan tambahan beban yang besar pada lereng.

**Sudut Lereng.** Sudut lereng yang besar akan memberikan volume material atau batuan yang besar. Dimana material atau batuan tersebut memberikan beban yang lebih besar juga.



**Gambar 18.** Mekanisme Keruntuhan Pada Lereng (Wesley, 2010)

Dimana  $s$  merupakan kekuatan yang ada dan  $s_m$  merupakan kekuatan yang dibutuhkan untuk menjaga kemantapan. Faktor keamanan adalah perbandingan antara kekuatan geser maksimum (*peak*) dan kekuatan geser yang diperlukan untuk menahan kemantapan, yaitu kekuatan pada keadaan keseimbangan batas (Bishop, 1955 dalam Wesley, 2010).

Hubungan nilai faktor keamanan lereng dengan keruntuhan yang digunakan untuk analisis kemantapan lereng menggunakan beban dan sesudah menggunakan beban untuk melihat kejadian/intensitas longsor, nilai FK yang dipakai adalah kriteria menurut Bowles (1991).

Bowles (1991), membagi faktor keamanan (FK) lereng berdasarkan intensitas kelongsorannya menjadi 3 kelas (**Tabel 4**).

**Tabel 4.** Faktor Keamanan Ditinjau dari Intensitas Kelongsorannya Bowles (1991)

Nilai Faktor Keamanan	Intensitas Longsor
FK < 1,07	Longsor terjadi biasa / sering (kelas labil)
FK 1,07 – 1,25	Longsor pernah terjadi (kelas kritis)
FK > 1.25	Longsor jarang terjadi (kelas stabil)

### **Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kestabilan Lereng**

**Geometri Lereng** yang dapat mempengaruhi kestabilan lereng yaitu tinggi lereng, kemiringan lereng dan lebar jenjang, baik itu lereng tunggal maupun lereng keseluruhan. Suatu lereng disebut lereng tunggal jika dibentuk oleh satu jenjang saja dan disebut lereng keseluruhan jika dibentuk oleh beberapa jenjang. Kemiringan dan tinggi suatu lereng sangat mempengaruhi kestabilannya. Semakin besar kemiringan dan ketinggian suatu lereng, maka kestabilan lerengnya semakin berkurang.

**Struktur Geologi** yang berpengaruh terhadap kestabilan lereng antara lain sesar (*fault*), kekar (*joint*), lipatan (*fold*), rekahan (*crack*), dan bidang perlapisan (*bedding plane*). Struktur-struktur geologi tersebut selain lipatan selanjutnya dikenal sebagai bidang lemah. Untuk mengetahui karakteristik bidang lemah tersebut, perlu dilakukan pengukuran kemiringan (*dip*) serta arah (*dip direction*) dari bidang lemah tersebut. Adanya bidang lemah tersebut akan mengurangi kekuatan massa batuan dan dapat berfungsi sebagai jalur rembesan air yang dapat mengakibatkan terjadinya rekahan tarik (*tensile crack*) pada massa batuan dimana hal tersebut dapat mengurangi nilai *safety factor* dari lereng.

**Sifat Fisik dan Mekanis Tanah** yaitu sifat yang berhubungan dengan elemen penyusunan massa tanah yang ada. Sedangkan sifat mekanis tanah merupakan sifat perilaku dari struktur massa tanah pada dikenai suatu gaya atau tekanan yang dijelaskan secara teknis mekanis.

**Sampel Tanah *Undisturbed*** yaitu tanah yang masih alami yang tidak terganggu oleh lingkungan luar. Sampel tanah yang diambil merupakan sampel tanah yang mewakili tanah di lokasi pengambilan sampel. Data yang diperoleh ialah kadar air ( $w$ ), berat volume tanah kering ( $\gamma_k$ ), batas plastis (PL), batas cair (LL), indeks piastisitas (IP), batas susut (SL), indeks kompresi (Cc), kuat tekan tanah ( $q_u$ ), kohesi ( $c$ ) dan sudut gesek dalam ( $\phi$ ).

### A. Sifat Fisik Tanah untuk Lereng

**Uji Saringan** adalah penentuan persentase berat butiran tanah yang lolos dari satu set saringan. Analisis saringan digunakan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) tanah dengan tujuan untuk memperoleh distribusinya.

$$P_i = \frac{W_{bi} - W_{ci}}{W_{tot}} \times 100\%$$

Dimana :

$P_i$  = Berat tanah yang tertahan disaringan (%)

$W_{bi}$  = Berat saringan dan sampel (gram)

$W_{ci}$  = Berat saringan (gram)

$W_{tot}$  = Berat total sampel (gram)

**Berat jenis** adalah perbandingan massa butiran tanah dengan volume dari butiran tanah tersebut.

$$GS = \frac{W_s}{V_s} \times \frac{1}{\gamma_w}$$

*Specific gravity* digunakan untuk menghitung angka pori dari sedimen tanah yang selanjutnya digunakan sebagai data dalam perhitungan penurunan tanah akibat beban. Setiap jenis partikel tanah, nilai *specific gravity* mempunyai rentang yang tidak besar.

**Tabel 5.** Nilai *Specific Gravity* Beberapa Jenis Tanah (Das, 1995)

Jenis Tanah	Nilai G <sub>s</sub>
Kerikil	2.65 – 2.68
Pasir	2.65 – 2.68
Lanau	2.62 – 2.68
Lempung Organik	2.58 – 2.65
Lempung Non Organik	2.68 – 2.75

**Kadar Air (w)** merupakan perbandingan berat air yang ada dalam sampel tanah dengan berat dari partikel tanah kering. Kadar air mempunyai satuan persen (%), namun dalam pemakaiannya terkadang satuan ini tidak dituliskan. Parameter kadar air tidak dapat dipakai secara langsung dalam analisis stabilitas lereng, tetapi nilai kadar air menjadi patokan dalam menentukan kekuatan dan perilaku tanah terutama tanah yang berbutir halus. Dalam bentuk persamaan matematis kadar air dapat dituliskan sebagai berikut:

$$W = \frac{W_w}{W_s} \times 100\%$$

Pengujian kadar air sangat penting dalam mempelajari sifat lempung terhadap pengaruh air. Nilai keaktifan lempung dalam berinteraksi dengan air sering dinyatakan sebagai indeks plastis ( $I_p$ ) yang merupakan selisih dari kadar air dalam kondisi di batas perilaku cairnya (*Liquid Limit*,  $W_{LL}$ ) dengan kadar air dalam kondisi dibatas keplastisannya (*plastic limit*,  $W_{PL}$ ). Sedangkan, untuk tanah dalam keadaan aslinya di lapangan, kadar air yang dikandungnya dikenal dengan kadar air asli ( $W_N$ ). Jika kadar air asli hampir mendekati kadar air batas cair, maka umumnya tanah tersebut dalam keadaan tidak terkonsolidasi. Pada keadaan ini, tanah akan berperilaku seperti cairan kental. Tanah dibawah muka airtanah dengan kadar air mendekati batas plastis, tanah telah terkonsolidasi sebelumnya.

*Atterberg Limit* adalah uji pada tanah berbutir halus sebagai petunjuk sifat tanah lempung atau lanau terhadap perubahan kadar air dalam tanah. Dari uji *atterberg limit* diketahui sifat fisik tanah seperti padat, semi-padat, plastik dan cair. Dalam analisa *atterberg* terdapat 3 komponen penting yaitu batas cair, batas plastis dan indeks plastis (Wesley, 2010).

### 1. Batas Cair

Batas cair tanah adalah kadar air minimum di mana sifat suatu tanah berubah dari keadaan cair menjadi plastis. Pada cara uji ini, tanah yang telah lolos saringan no.40 dicampur dengan air suling, lalu dimasukkan ke mangkok *Casagrande*, lalu putar alat *Liquid Limit* dan hitung jumlah ketukan yang diperlukan untuk menutup celah tanah, lalu ambil sebagian tanah dan masukkan ke dalam oven selama 24 jam untuk menghitung kadar airnya.

$$LL = \frac{W_1 - W_2}{PI \log \frac{N_2}{N_1}}$$

### 2. Batas Plastis

Batas plastis (*plastic limit/PL*) adalah kadar air dimana suatu tanah berubah dari keadaan plastis keadaan semi solid. Pada cara uji ini, material tanah yang lolos saringan ukuran 0.425 mm atau saringan No.40, diambil untuk dijadikan benda uji kemudian dicampur dengan air suling hingga menjadi cukup plastis untuk digeleng/dibentuk bulat panjang hingga mencapai diameter 3 mm.

$$LI = \frac{w - PL}{PI}$$

LI = *Liquidity Indeks*       $\omega$  = Kadar Air (%)      PI = *Plastic Indeks*  
PL = Batas Plastis

### 3. Indeks Plastis

Indeks plastis merupakan parameter ketiga dari batas *atterberg limit* (PI). Indeks plastis ditentukan berdasarkan batas cair dan batas plastis. Indeks plastis adalah jangkauan kadar air dimana tanah bersifat plastis,

$$PI = LL - PL$$

### B. Sifat Mekanik Tanah untuk Lereng

**Kuat Geser Tanah.** Keamanan lereng akan ditentukan oleh nilai perbandingan antara kekuatan tanah yang menahan beban geser dengan tegangan yang dapat menyebabkan pergerakan. Kekuatan geser tanah adalah bagian yang lemah dari tanah untuk menahan beban. Artinya bahwa butir-butir tanah lebih cenderung lepas bergeser ketimbang hancur tertekan. Selain itu, tanah merupakan material berbutir yang saling lepas dimana bila diberi tekanan, masing-masing butir akan lebih mudah untuk saling bergeser. Sebenarnya, selain terjadi geser antar butiran tanah, terjadi pula tekanan pada butiran itu sendiri. Namun, biasanya akibat beban yang bekerja, tahanan geser antar butir tanah akan terlampaui terlebih dahulu sebelum butirannya hancur tertekan.

Parameter kuat geser tanah dinyatakan dalam bentuk kerekatan ( $c$ =kohesi) antar partikel tanah dan sudut geser dalam tanah ( $\phi$ ). Kohesi yang ada di dalam tanah diakibatkan oleh kekuatan tarikan ion-ion yang membentuk mineral tanah. Kohesi ditentukan sebagai kekuatan geser tanah tanpa adanya tegangan normal yang bekerja atau potongan garis keruntuhan dengan sumbu tegangan geser. Sudut geser dalam tanah adalah sudut yang dibuat di atas kertas dalam menggambarkan tegangan-tegangan yang terjadi pada tanah. Sudut geser dalam tanah merupakan sudut yang dibentuk oleh garis batas keruntuhan dengan sumbu mendatar (tegangan normal).

Kuat geser tanah bergantung pada beberapa hal dan kondisi yaitu materi yang membentuk tanah (mineral tanah), ukuran buir tanah (termasuk bentuk permukaan butiran), kadar air, tegangan yang terjadi dan cara pengujian.

Pengujian kuat geser tanah dapat dilakukan secara langsung di lapangan ataupun di laboratorium. Tujuan dilakukannya pengujian kuat geser tanah yaitu

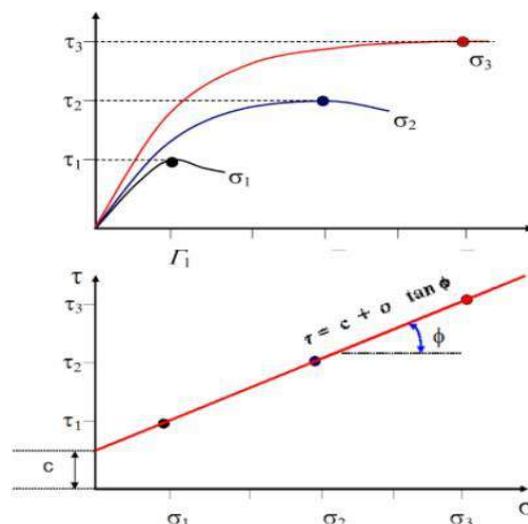
untuk menentukan keamanan lereng dan peningkatan keamanan lereng. Pada pengujian kuat geser tanah di laboratorium, terdapat tiga jenis pengujian yang sering dilakukan yaitu uji tekan bebas, uji geser langsung dan uji triaksial.

### 1) Uji Tekan Bebas

Uji tekan bebas (*Unconfined Compression Shear Test/UCST*) hanya dapat dilakukan untuk tanah berkohesi karena tanah tanpa kohesi tidak dapat dibentuk sebagai sampel untuk di test tanpa tegangan di sekelilingnya. Nilai yang di dapat dari pengujian ini adalah tegangan batasnya yaitu tegangan maksimum selama pengujian dan dilambangkan dengan  $q_u$ . Pengujian UCST sebaiknya diikuti dengan pengujian kadar air karena kekuatan tanah lempung sangat dipengaruhi oleh kadar airnya. Pada tanah yang sama di lapangan terutama yang berada diatas muka air tanah minimum, kekuatannya akan berubah dari waktu ke waktu tergantung dari kadar air yang dikandungnya.

### 2) Uji Geser Langsung (*Direct Shear Test*)

Uji geser langsung adalah pengujian yang dapat dilakukan pada hampir semua jenis tanah. Uji geser langsung dilakukan sebanyak 3 kali pada tanah yang sama dan diberi beban normal yang berbeda. Kemudian digeser dengan memberikan gaya dari arah tegak lurus terhadap gaya normal sebelumnya. Selama pemberian beban normal tersebut ( $\sigma$ ), perpindahan ( $T$ ) dan besarnya gaya geser ( $T$ ) dicatat hingga terjadi keruntuhan. Data-data di plotkan dalam bentuk kurva tegangan dan tegangan normal-geser untuk menentukan parameter  $c$  dan  $\phi$ .



**Gambar 19.** Hasil Olah Data Uji Geser Langsung (Hakam, 2010)

Besarnya nilai kadar air pada daerah penelitian memungkinkan untuk terjadinya gerakan tanah, karena akan mempengaruhi sifat fisik dan mekanik batuan. Apabila sifat fisik dan mekanik ini tidak dapat membentuk suatu harga tahanan geser yang cukup besar di dalam tubuh lereng, sampai harga batas maksimal harga kadar air tertentu, maka akan menyebabkan lereng menjadi labil (longsor).

Kecilnya nilai sudut geser dalam pada daerah penelitian memungkinkan terjadi gerakan tanah, karena semakin besar sudut geser dalam, maka material tersebut akan lebih tahan menerima tegangan luar yang dikenakan terhadapnya selain itu rendahnya nilai kohesifitas pada daerah penelitian juga memungkinkan terjadinya gerakan tanah karena gaya tarik menarik antar partikel dalam.

Faktor pengaruh struktur geologi berupa kekar dan bidang perlapisan batuan, akan sangat besar peranannya terhadap peristiwa gerakan tanah. Batuan yang terkekarkan, merupakan zona lemah, yang merupakan salah satu jalan masuknya air kedalam tanah, akibat adanya zona lemah akan menyebabkan berkurangnya kekuatan geser batuan dalam menahan gerakan serta penjumlahan air dalam tanah/batuan yang dapat meningkatkan atau memicu kenaikan tekanan air pori dalam masa tanah/batuan, dan akhirnya mendorong massa bergerak longsor.

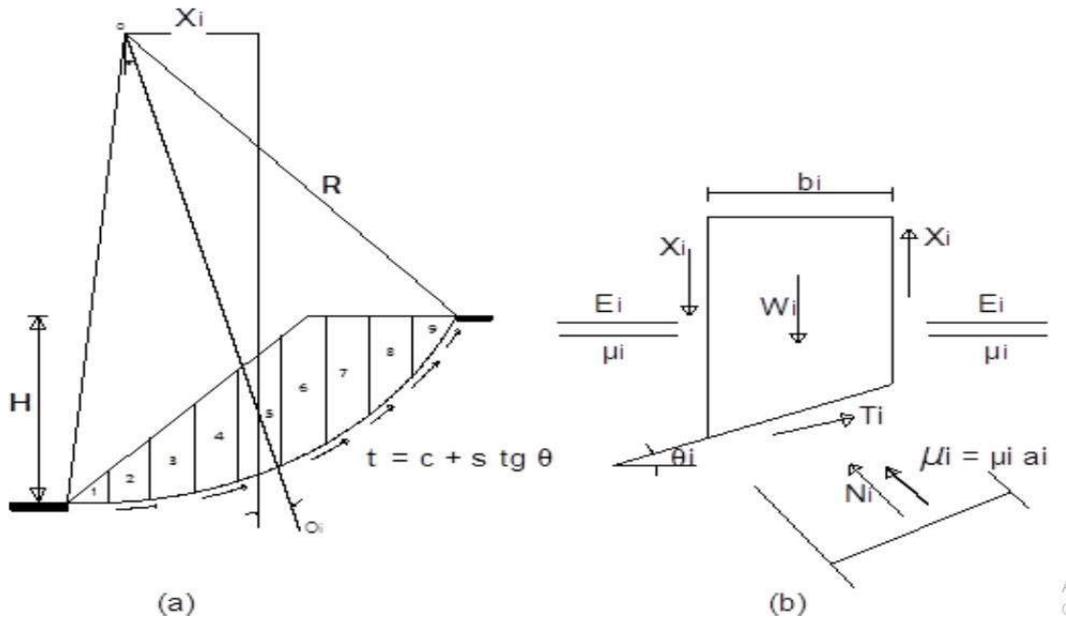
Curah hujan sebagai salah satu komponen iklim, akan mempengaruhi kadar air dan kejenuhan air. Hujan dapat meningkatkan kadar air dalam tanah lebih jauh akan menyebabkan kondisi fisik tubuh lereng berubah-ubah. Kenaikan kadar air akan memperlemah sifat fisik mekanik batuan, sehingga mempengaruhi kondisi internal tubuh lereng dan menurunkan faktor keamanan lereng. Pengaruh air saat hujan lebat akan menyebabkan perubahan terhadap sifat fisik batuan, yaitu menurunnya harga kohesi batuan, sehingga kekuatan geser batuan berkurang, tetapi bobot masa batuan bertambah (Rizky et al, 2014).

## **Metode-Metode Analisis Kestabilan Lereng**

### **Metode *Bishop***

Bishop (1955) menyatakan bahwa metode ini mengabaikan gaya gesek antar irisan dan kemudian mengasumsikan bahwa gaya normal cukup untuk mendefinisikan gaya-gaya antar irisan (**Gambar 20**). Gaya normal di dasar dan tiap irisan ditentukan dengan menjumlahkan gaya-gaya dalam arah vertikal.

Untuk mendapatkan nilai Faktor Keamanan (FK) minimum dengan lingkaran kritis, dibuat dengan cara mengubah letak pusat lingkaran yang dicoba. Pengaruh air dalam batuan atau tanah adalah timbulnya gaya angkat air karena tekanan air pori yang berakibat berkurangnya gaya normal pada dasar irisan, sehingga analisa kestabilan lereng dilakukan dalam kondisi tegangan efektifnya.

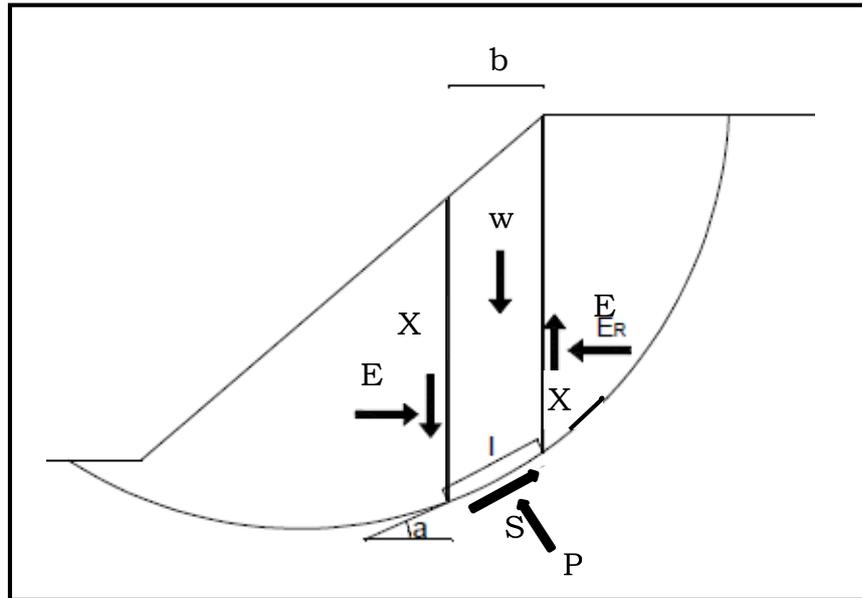


**Gambar 20.** Gaya-Gaya yang Bekerja Pada Metode Bishop (Bishop, 1955)

Pada cara Bishop, besarnya  $P$  (gaya normal pada dasar irisan) diperoleh dengan menguraikan gaya-gaya yang bekerja pada irisan dalam arah gaya berat ( $W$ ) atau semua resultan gaya pada batas vertikal irisan bekerja dalam arah horizontal, untuk menghitung besarnya FK.

### Metode Janbu

Asumsi yang digunakan dalam metode ini yaitu gaya geser antar irisan sama dengan nol. Metode ini memenuhi kesetimbangan gaya dalam arah vertikal untuk setiap irisan dan kesetimbangan gaya dalam horizontal untuk semua irisan, namun kesetimbangan momen tidak dapat dipenuhi. Sembarang bentuk bidang runtuh dapat dianalisis dengan metode ini. Dengan mensubstitusikan persamaan ke dalam persamaan diatas maka diperoleh persamaan untuk menghitung FK sebagai berikut:

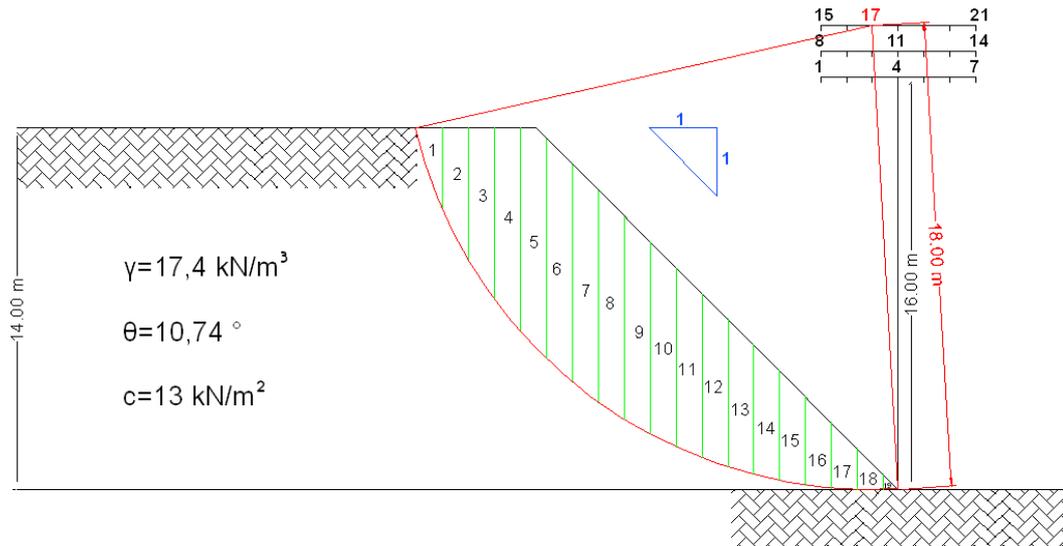


**Gambar 21.** Gaya-Gaya yang Bekerja Pada Metode Janbu yang Disederhanakan

Pada tahun 1954 Janbu membuat suatu metode analisa yang dapat digunakan pada permukaan longsor yang berbentuk circular dan non circular. Rumus-rumus dasar telah dikembangkan untuk menganalisa daya dukung dan masalah tekanan tanah oleh Janbu 1957. Ini merupakan metode irisan (*slice*) pertama dimana seluruh keseimbangan gaya dan keseimbangan momen dipenuhi. Janbu merumuskan persamaan umum keseimbangan dengan menyelesaikan secara vertikal dan sejajar pada dasar tiap-tiap irisan.

### Metode Fellenius

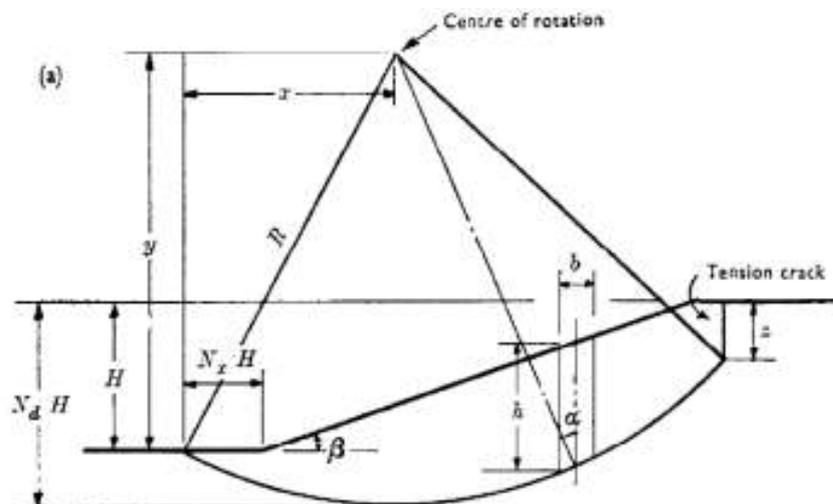
Metode Fellenius (*Ordinary Method of Slice*) diperkenalkan pertama oleh Fellenius pada tahun 1927, menjelaskan bahwa gaya memiliki sudut kemiringan paralel dengan dasar irisan FK dihitung dengan keseimbangan momen. Fellenius mengasumsikan bahwa keruntuhan terjadi melalui rotasi dari suatu blok tanah pada permukaan longsor. Metode ini juga menganggap bahwa gaya normal  $P$  bekerja ditengah-tengah *slice*. Diasumsikan juga bahwa resultan gaya-gaya antar irisan pada tiap irisan adalah sama dengan nol, atau dengan kata lain bahwa resultan gaya-gaya antar irisan diabaikan.



**Gambar 22.** Gaya-Gaya yang Bekerja Pada Metode Fellenius

### Metode Spencer

Metode spencer merupakan metode yang dapat digunakan untuk sembarang bentuk bidang longsor dan memenuhi semua kondisi kesetimbangan gaya dan kesetimbangan momen pada setiap irisan. Spencer mengamsusikan bahwa gaya-gaya yang bekerja disekitar bidang irisan adalah parallel sehingga gaya-gaya tersebut memiliki sudut kemiringan yang sama.

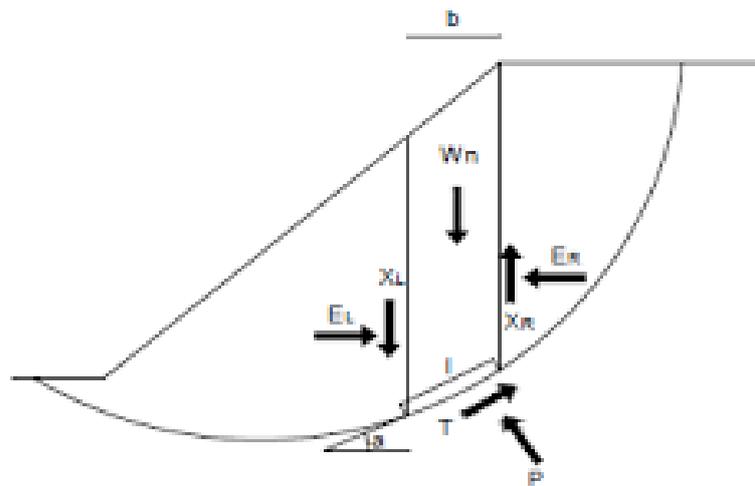


**Gambar 23.** Gaya-Gaya yang Bekerja Pada Metode Spencer

### Metode Morgenstern-Price

Metode ini adalah salah satu metode yang berdasarkan prinsip kesetimbangan batas yang dikembangkan oleh Morgenstern dan Price pada tahun 1965, dimana proses analisisnya merupakan hasil dari kesetimbangan setiap gaya-

gaya normal dan momen yang bekerja pada tiap irisan dari bidang kelongsoran lereng tersebut baik gaya. Dalam metode ini, dilakukan asumsi penyederhanaan untuk menunjukkan hubungan antara gaya geser di sekitar irisan ( $X$ ) dan gaya normal di sekitar irisan ( $E$ ). Dalam metode ini analisa faktor keamanan dilakukan dengan dua prinsip yaitu kesetimbangan momen ( $F_m$ ) dan kesetimbangan gaya ( $F_f$ ). Faktor keamanan dari prinsip kesetimbangan momen adalah untuk bidang kelongsoran circular

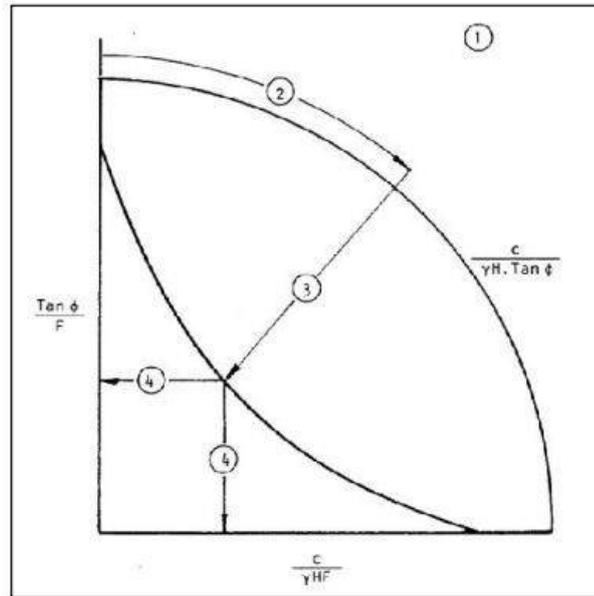


**Gambar 24.** Gaya-Gaya yang Bekerja Pada Metode Morgenstern-Price

### Metode Hoek and Bray

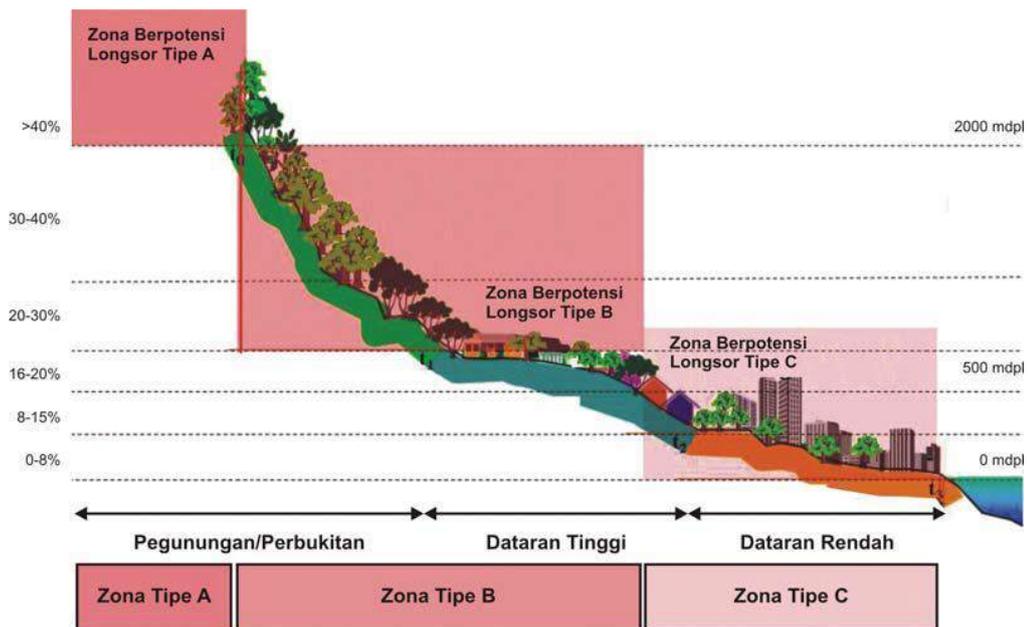
Metode Hoek and Bray adalah salah satu metode grafik yang menggambarkan lima buah pola aliran tanah dari kondisi kering sampai kondisi jenuh. Metode Hoek dan Bray tergantung pada jenis tanah dan batuan, dalam hal ini tanah dan batuan dianggap homogen dan kontinu, longsoran yang dapat terjadi menghasilkan bidang lurus berupa busur lingkaran, dan tinggi permukaan air pada lereng. Metoda ini dapat digunakan untuk menganalisis keempat macam longsoran pada lereng batu: khusus untuk longsoran busur karena longsoran tidak terjadi pada batuan segar. Metode *Hoek and Bray* tergantung pada:

1. Jenis tanah dan batuan, dalam hal ini tanah dan batuan dianggap homogen dan kontinu.
2. Longsoran yang dapat terjadi menghasilkan bidang lurus berupa busur lingkaran.
3. Tinggi permukaan air tanah pada lereng



**Gambar 25.** Gaya-Gaya yang Bekerja Pada Metode Hoek And Bray

### Tipologi Kawasan Rawan Bencana Longsor Berdasarkan Penetapan Zonasi



**Gambar 26.** Tipologi Zona Berpotensi Longsor (Departemen Pekerjaan Umum – Direktorat Jenderal Penataan Ruang, 2007)

Zona berpotensi longsor adalah daerah/kawasan yang rawan terhadap bencana longsor dengan kondisi *terrain* dan kondisi geologi yang sangat peka terhadap bencana longsor luar, baik yang bersifat alami maupun aktifitas manusia sebagai faktor pemicu gerakan tanah, sehingga berpotensi terjadinya longsor. Berdasarkan tipologi zona berpotensi longsor sesuai dengan Pedoman Penataan

Ruang Kawasan Rawan Bencana Longsor–Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No.22/PRT/M/.

Mengukur tingkat kerawanan berdasarkan aspek fisik alami ditetapkan 7 (tujuh) indikator yakni faktor-faktor: kemiringan lereng, kondisi tanah, batuan penyusun lereng, curah hujan, tata lereng, kegempaan, dan vegetasi. Penilaian bobot tertimbang setiap indikator dihitung melalui perkalian antara bobot indikator dengan bobot penilaian tingkat kerawanan setiap indikator.

Sedangkan untuk menetapkan tingkat kerawanan zona tersebut dalam aspek fisik alami, digunakan kriteria sebagai berikut :

1. Tingkat kerawanan Zona Berpotensi longsor tinggi apabila total nilai bobot tertimbang berada pada kisaran 2,40-3,00.
2. Tingkat kerawanan Zona Berpotensi longsor sedang bila total nilai bobot tertimbang berada pada kisaran 1,70-2,39.
3. Tingkat kerawanan Zona Berpotensi Longsor rendah apabila total nilai bobot tertimbang berada pada kisaran 1,00-1,69.

Berdasarkan Prahara et al (2017), hasil penelitiannya mengenai analisis kestabilan lereng pada Jalur transek Liwa-Ranau menyatakan Tuf pasiran dengan kenampakan secara megaskopis berwarna abu-abu, terpilah baik, dan lepas-lepas serta berdasarkan klasifikasi USCS termasuk kedalam pasir dengan gradasi baik memiliki nilai indeks plastisitas besar serta memiliki kohesi dan sudut geser dalam yang sedang. Sedangkan Lempung coklat penyusun jalur transek Liwa-Ranau merupakan jenis tanah residu yang berwarna coklat kekuningan dan lepas-lepas memiliki nilai indeks plastisitas besar serta memiliki kohesi dan sudut geser dalam yang lebih besar daripada tuf pasiran. Nilai indeks plastisitas yang dimiliki oleh tanah residu coklat menggambarkan bahwa tanah ini memiliki kapasitas mengembang yang tinggi. Dalam mengkaji faktor keamanan lereng pada daerah yang dipengaruhi oleh sesar yang dapat menimbulkan gempa bumi diperlukan nilai percepatan maksimum pada batuan dasar.

Pemodelan geometri lereng berdasarkan pengamatan langsung di lapangan. Masing-masing model memperlihatkan adanya penurunan angka faktor keamanan lereng (SF). Pada lereng tuf pasiran nilai faktor keamanan lereng tanpa beban gempa bumi yaitu 1,713 dan ketika ditambahkan beban gempa bumi menjadi

1,300. Sedangkan pada lereng tanah residu coklat nilai faktor keamanan lereng tanpa beban gempa bumi yaitu 1,3493 dan ketika ditambahkan beban gempa bumi menjadi 1,171. Penurunan angka aman lereng berkisar dari 0,4 sampai dengan 0,17. Lereng tersebut termasuk lereng yang stabil bila tidak ada penambahan beban gempa bumi dan jika ditambahkan beban gempa bumi lereng yang tersusun oleh tanah residu coklat akan termasuk kedalam lereng yang kritis.

Berdasarkan Anastasia et al (2019), hasil penelitian yang dilakukan mengenai zonasi daerah rawan longsor di wilayah Desa Hargotirto, Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, DIY zona kerentanan longsor digunakan metode *Analytical Hierarchy rocess* (AHP) yang diperkenalkan oleh Saaty et al (2008). Nilai bobot masing-masing parameter ditentukan berdasarkan kondisi geologi di lapangan. Berdasarkan pengamatan dan pengumpulan data di lapangan, parameter yang digunakan untuk menentukan zona kerentanan longsor dari yang paling berpengaruh hingga yang kurang berpengaruh adalah kondisi alterasi, jenis penutup lahan, struktur massa batuan, dan kemiringan lereng.