

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini diuraikan mengenai definisi gerakan tanah, factor-faktor yang mempengaruhi kestabilan lereng, kondisi geologi area penelitian, teori tentang resistivitas, HVSR, AHP dan mitigasi.

A. Definisi dan Klasifikasi Gerakan Tanah

Pengertian longsor (*landslide*) dengan gerakan tanah (*mass movement*) mempunyai kesamaan. Longsor/gerakan tanah adalah perpindahan massa tanah/batuan pada arah tegak, mendatar atau miring dari kedudukan semula. Dalam definisi ini termasuk juga deformasi lambat atau jangka panjang dari suatu lereng yang biasa disebut rayapan. Pada longsor tipe translasional maupun rotasional, ada batas antara massa yang bergerak dan yang diam (disebut bidang gelincir), kedalaman batas tersebut dari permukaan tanah sangat penting bagi deskripsi longsor. Terdapat 4 (empat) kelas kedalaman bidang gelincir (Fernandez & Marzuki, 1987) dalam Zakaria (2010), yaitu:

- i. Sangat dangkal (<1,5 m);
- ii. Dangkal (1,5 s.d. 5 m);
- iii. Dalam (antara 5 sampai 20 m);
- iv. Sangat dalam (>20 m).

Tabel 2.1. Laju kecepatan gerakan tanah (Hansen, 1984) dalam Zakaria (2010)

Kecepatan	Keterangan
>3 meter/detik	Ekstrim sangat cepat
3 meter/detik s.d. 0,3 m/menit	Sangat cepat
0,3 meter/menit s.d. 1,5 m/hari	Cepat
1,5 meter/hari s.d. 1,5 m/bulan	Sedang
1,5 meter/bulan s.d. 1,5 m/tahun	Lambat
0,06 meter/tahun s.d. 1,5 m/tahun	Sangat Lambat
< 0,06 m/tahun	Ekstrim sangat Lambat

Gerakan tanah berupa longsor (*landslide*) merupakan bencana yang sering membahayakan. Longsor seringkali terjadi akibat adanya pergerakan tanah pada kondisi daerah lereng yang curam, serta tingkat kelembaban (*moisture*) tinggi, tumbuhan jarang (lahan terbuka) dan material kurang kompak. Faktor lain untuk timbulnya longsor adalah rembesan dan aktifitas geologi seperti patahan, rekahan dan liniasi. Kondisi lingkungan setempat merupakan suatu komponen yang saling terkait. Lereng dapat dianalisis melalui perhitungan Faktor Keamanan Lereng dengan melibatkan data sifat fisik tanah, mekanika tanah (geoteknis tanah) dan bentuk geometri lereng. Secara khusus, analisis dapat dipertajam dengan melibatkan aspek fisik lain secara regional, yaitu dengan memperhatikan kondisi lingkungan fisiknya, baik berupa kegempaan, iklim, vegetasi, morfologi, batuan/tanah maupun situasi setempat. Kondisi lingkungan tersebut merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi gerakan tanah dan merupakan karakter perbukitan rawan longsor (Zakaria, 2011).

Pendekatan masalah tanah longsor dapat melibatkan kajian dampak akibat faktor-faktor di atas, penanganannya dapat didekati dengan pengelolaan lingkungan. Arah pengelolaan lingkungan dilakukan sebagai antisipasi untuk menanggulangi kemungkinan terjadinya dampak lingkungan negatif (Fandeli, 1992), yaitu dengan cara memperkecil dampak negatif dan memperbesar dampak positif (Soemarwoto, 1990), atau dengan kata lain meminimalkan faktor-faktor kendala kestabilan lereng dan memaksimalkan faktor-faktor pendukung lereng stabil.

Menurut Pedoman Pembuatan Peta Rawan Longsor (Dinas Pekerjaan Umum, 2012), pada prinsipnya tanah longsor terjadi bila gaya pendorong pada lereng lebih besar daripada gaya penahan. Gaya penahan umumnya dipengaruhi oleh kekuatan batuan dan kepadatan

tanah, sedangkan gaya pendorong dipengaruhi oleh besarnya sudut lereng, air, beban serta berat jenis tanah/batuan. Karakteristik area rawan longsor:

a) Memiliki intensitas hujan yang tinggi;

Musim kering yang panjang menyebabkan terjadinya penguapan air di permukaan tanah dalam jumlah besar. Hal ini mengakibatkan munculnya pori-pori atau rongga tanah sehingga tanah permukaan retak dan merekah. Ketika hujan turun dengan intensitas yang tinggi, air akan menyusup ke bagian yang retak membuat tanah menjadi jenuh dalam waktu singkat dan dapat terakumulasi di bagian dasar lereng sehingga menimbulkan gerakan lateral dan terjadi longsoran.

b) Tergolong sebagai area lereng/tebing yang terjal;

Lereng atau tebing yang terjal akan memperbesar gaya pendorong sehingga dapat memicu terjadinya longsoran.

c) Memiliki kandungan tanah yang kurang padat dan tebal;

Jenis tanah yang kurang padat adalah tanah lempung atau tanah liat dengan ketebalan lebih dari 2,5 m. Tanah jenis ini sangat rentan terhadap pergerakan tanah karena mudah menjadi lembek bila terkena air dan mudah pecah ketika hawa terlalu panas.

d) Memiliki batuan yang kurang kuat;

Batuan endapan gunung api dan batuan sedimen berukuran pasir dan merupakan campuran antara kerikil, pasir, dan lempung umumnya merupakan batuan yang kurang kuat. Batuan tersebut akan mudah menjadi tanah bila mengalami proses pelapukan, sehingga pada umumnya rentan terhadap tanah longsor.

e) Jenis tata lahan yang rawan longsor;

Tanah longsor banyak terjadi di daerah tata lahan persawahan dan perladangan. Pada lahan persawahan, akarnya kurang kuat untuk mengikat butir tanah sehingga membuat tanah menjadi lembek dan jenuh dengan air, oleh sebab itu pada lahan jenis ini mudah terjadi longsor. Sedangkan untuk daerah perladangan, akar pohonnya tidak dapat menembus bidang longsor yang dalam dan umumnya terjadi di daerah longsor lama.

f) Adanya pengikisan/erosi;

Pengikisan banyak dilakukan oleh air sungai ke arah tebing. Selain itu, penggundulan hutan di sekitar tikungan sungai menyebabkan tebing menjadi terjal dan menjadi rawan terhadap longsor.

g) Merupakan area bekas longsor lama;

Area bekas longsor lama memiliki ciri sebagai berikut :

- i. adanya tebing terjal yang panjang melengkung membentuk tapal kuda
- ii. umumnya dijumpai mata air, pepohonan yang relatif tebal karena tanahnya gembur dan subur
- iii. adanya longsor kecil terutama pada tebing lembah
- iv. adanya tebing-tebing yang relatif terjal
- v. adanya alur lembah dan pada tebingnya dijumpai retakan dan longsor kecil

h) Merupakan bidang diskontinuitas (bidang yang tidak selaras);

Bidang ini merupakan bidang lemah dan dapat berfungsi sebagai bidang luncuran tanah longsor dan memiliki ciri:

- i. bidang perlapisan batuan
- ii. bidang kontak antara tanah penutup dengan batuan dasar

- iii. bidang kontak antara batuan yang retak-retak dengan batuan yang kuat
- iv. bidang kontak antara batuan yang dapat melewatkan air dengan batuan yang tidak melewatkan air (kedap air)
- v. bidang kontak antara tanah yang lembek dengan tanah yang padat

B. Faktor yang Mempengaruhi Ketidakstabilan Lereng

Faktor-faktor yang menyebabkan ketidakstabilan secara umum diklasifikasikan sebagai faktor yang menyebabkan naiknya tegangan dan faktor yang menyebabkan turunnya kekuatan. Faktor yang menyebabkan naiknya tegangan, meliputi naiknya berat unit tanah karena pembasahan, adanya tambahan beban eksternal seperti bangunan, bertambahnya kecuraman lereng karena erosi alami atau karena penggalian, dan bekerjanya guncangan. Kehilangan kekuatan dapat terjadi dengan adanya adsorpsi air, kenaikan tekanan pori, beban guncangan atau beban berulang, pengaruh pembekuan dan pencairan, hilangnya sementasi material, proses pelapukan, hilangnya kekuatan karena regangan berlebihan pada lempung sensitif (Dunn, dkk.,1992)

Pelapukan dan erosi sangat dipengaruhi oleh iklim yang diwakili oleh kehadiran hujan di daerah setempat, curah hujan kadar air (*water content ; %*) dan kejenuhan air (*saturation; Sr, %*). Pada beberapa kasus longsor, hujan sering sebagai pemicu karena hujan meningkatkan kadar airtanah yang menyebabkan kondisi fisik/mekanik material tubuh lereng berubah. Kenaikan kadar air akan memperlemah sifat fisik-mekanik tanah dan menurunkan Faktor Kemanan lereng (Bowles, 1984; Zakaria, 2009). Penambahan beban di tubuh lereng bagian atas (pembuatan/peletakan bangunan, misalnya dengan membuat perumahan atau villa di tepi lereng atau di puncak bukit) merupakan tindakan berisiko mengakibatkan longsor. Demikian juga pemotongan lereng pada pekerjaan *cut & fill*, jika tanpa perencanaan dapat menyebabkan perubahan keseimbangan tekanan pada lereng.

Penyebab lain dari kejadian longsor adalah gangguan-gangguan internal, yaitu yang datang dari dalam tubuh lereng sendiri terutama karena ikutsertanya peranan air dalam tubuh lereng; Kondisi ini tak lepas dari pengaruh luar, yaitu iklim yang diwakili oleh curah hujan. Jumlah air yang meningkat dicirikan oleh peningkatan kadar airtanah, derajat kejenuhan, atau muka airtanah. Kenaikan airtanah akan menurunkan sifat fisik dan mekanik tanah dan meningkatkan tekanan pori (μ) yang berarti memperkecil ketahanan geser dari massa lereng. Debit airtanah juga membesar dan erosi di bawah permukaan (*piping atau subaqueous erosion*) meningkat. Akibatnya lebih banyak fraksi halus (lanau) dari masa tanah yang dihanyutkan, lebih jauh ketahanan massa tanah akan menurun (Bell, 1984, dalam Hirnawan, 1993).

a. Gempa atau Getaran.

Gempa bumi adalah getaran atau getar-getar yang terjadi di permukaan bumi akibat pelepasan energi dari dalam secara tiba-tiba yang menciptakan rambatan energi yang disebabkan karena adanya gangguan di dalam kerak bumi misalnya adanya patahan atau adanya ledakan. Energi ini akan merambat ke seluruh bagian bumi dan dapat terekam oleh seismometer. Bencana tanah longsor di Tandikek ini dipicu oleh gempa pada tanggal 30 September 2009 (Saidi dkk., 2011), Gempabumi 30 September 2009 di Sumatera Barat dengan Skala 7,6 skala Mw atau 7.9 SR pemicu longsor pada endapan piroklastik jatuhan (Sumaryono dkk. 2014).

b. Cuaca / Iklim

Curah hujan sebagai salah satu komponen iklim, akan mempengaruhi kadar air (*water content; ω , %*) dan kejenuhan air (*Saturation; S_r , %*). Pada beberapa kasus longsor di Jawa Barat, air hujan seringkali menjadi pemicu terjadinya longsor. Hujan dapat meningkatkan kadar air dalam tanah dan lebih jauh akan menyebabkan kondisi

fisik tubuh lereng berubah-ubah. Kenaikan kadar airtanah akan memperlemah sifat fisik-mekanik tanah (mempengaruhi kondisi internal tubuh lereng) dan menurunkan Faktor Keamanan lereng (Bowles, 1984). Kondisi lingkungan geologi fisik sangat berperan dalam kejadian gerakan tanah selain kurangnya kepedulian masyarakat karena kurang informasi ataupun karena semakin merebaknya pengembangan wilayah yang mengambil tempat di daerah yang mempunyai masalah lereng rawan longsor.

c. Ketidakseimbangan Beban di Puncak dan di Kaki Lereng

Beban tambahan di tubuh lereng bagian atas (puncak) mengikutsertakan peranan aktifitas manusia. Pendirian atau peletakan bangunan, terutama memandang aspek estetika belaka, misalnya dengan membuat perumahan (*real estate*) atau villa di tepi-tepi lereng atau di puncak-puncak bukit merupakan tindakan ceroboh yang dapat mengakibatkan longsor. Kondisi tersebut menyebabkan berubahnya keseimbangan tekanan dalam tubuh lereng. Sejalan dengan kenaikan beban di puncak lereng, maka keamanan lereng akan menurun. Pengurangan beban di daerah kaki lereng berdampak menurunkan Faktor Keamanan. Makin besar pengurangan beban di kaki lereng, makin besar pula penurunan Faktor Keamanan lerengnya, sehingga lereng makin labil atau makin rawan longsor. Aktivitas manusia berperan dalam kondisi seperti ini. Pengurangan beban di kaki lereng diantaranya oleh aktivitas penambangan bahan galian, pemangkasan (*cut*) kaki lereng untuk perumahan, jalan dan lainlain, atau erosi (Hirnawan, 1993).

d. Vegetasi / Tumbuh-tumbuhan

Vegetasi sesuai dengan tipologinya baik berupa tajuk maupun perakarannya mempunyai peran penting dalam mengurangi kejadian logsor. Vegetasi mampu

menangkap (intersepsi) mampu menangkap air hujan, tanaman penutup mengurangi energi aliran, meningkatkan kekasaran sehingga mengurangi kecepatan aliran permukaan, perakaran tanaman meningkatkan stabilitas tanah dengan meningkatkan kekuatan tanah, granularitas dan porositas (Suripin, 2004).

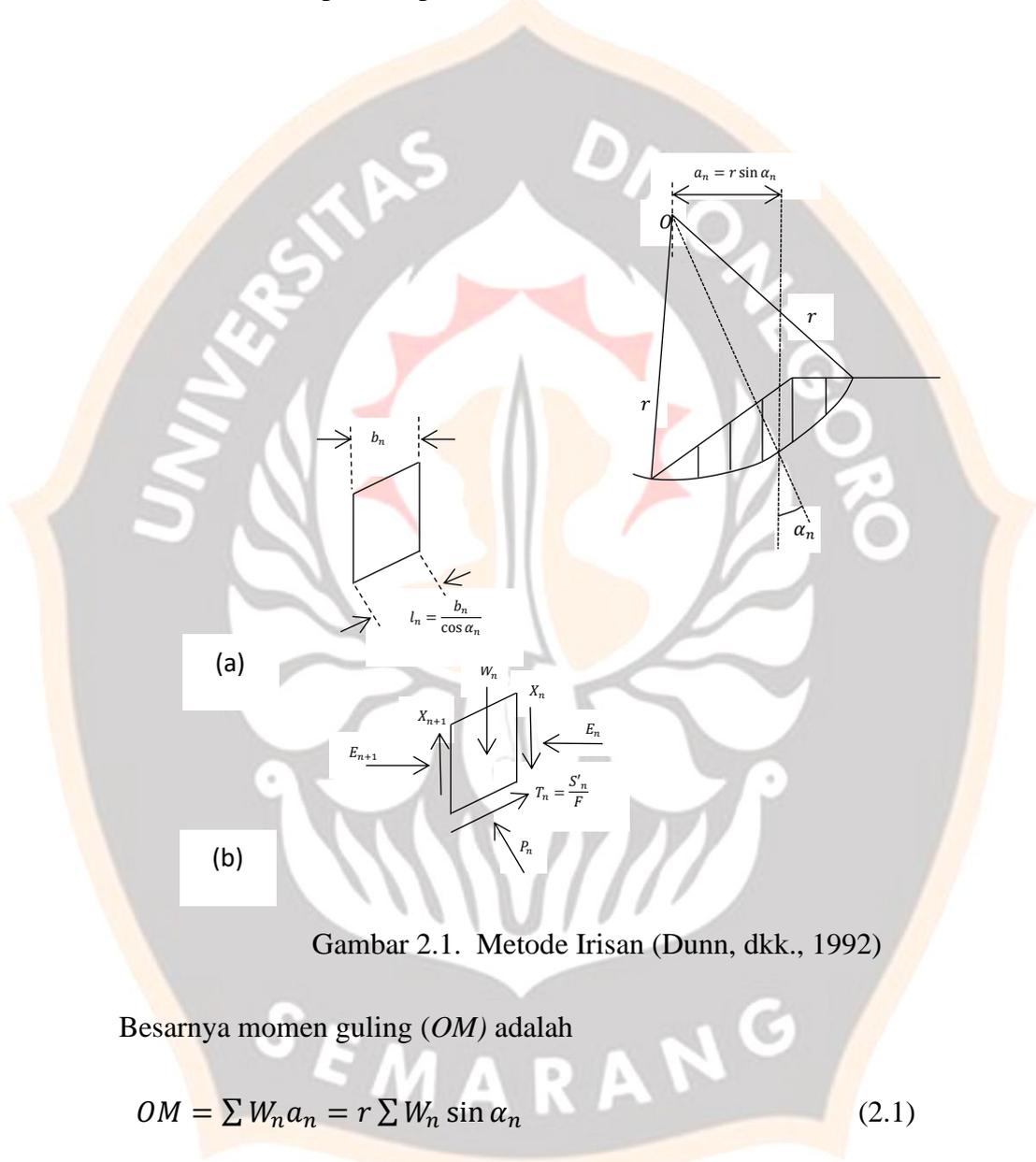
e. Naiknya Muka Airtanah

Kehadiran airtanah dalam tubuh lereng biasanya menjadi masalah bagi kestabilan lereng. Kondisi ini tak lepas dari pengaruh luar, yaitu iklim (diwakili oleh curah hujan) yang dapat meningkatkan kadar airtanah, derajat kejenuhan, atau muka airtanah. Kehadiran airtanah akan menurunkan sifat fisik dan mekanik tanah. Kenaikan muka airtanah meningkatkan tekanan pori (μ) yang berarti memperkecil ketahanan geser dari massa lereng, terutama pada material tanah. Semakin dekat jarak MAT terhadap permukaan tanah, maka semakin kecil nilai faktor keamanannya. (Handayani, dkk., 2014).

f. Faktor Keamanan Lereng.

Bentuk topografis permukaan bumi yang bervariasi hanya dimungkinkan karena kuat geser dari tanah atau batuan melampaui tegangan geser oleh beban gravitasi atau bahan lainnya. Normalnya lereng yang paling curam adalah yang paling tidak stabil, tetapi terdapat contoh keruntuhan yang terjadi pada lereng yang landai. Faktor faktor yang menyebabkan ketidakstabilan diklasifikasikan sebagai faktor yang menyebabkan naiknya tegangan dan faktor yang menyebabkan turunnya kekuatan. Keberadaan air adalah faktor dari kebanyakan keruntuhan lereng, karena adanya air menyebabkan naiknya tegangan maupun turunnya kekuatan (Dunn, dkk., 1992).

Dengan metode irisan ini busur runtuh cobaan dibagi menjadi sejumlah irisan seperti yang ditunjukkan Gambar 2.1. Momen guling ditentukan dengan menjumlahkan momen dari berat setiap irisan pusat cobaan, O .



Gambar 2.1. Metode Irisan (Dunn, dkk., 1992)

Besarnya momen guling (OM) adalah

$$OM = \sum W_n a_n = r \sum W_n \sin \alpha_n \quad (2.1)$$

Gaya samping pada setiap irisan tidak diikuti sertakan dalam persamaan momen, karena, apabila ditinjau semua irisan, momen netto dari gaya-gaya samping akan sama dengan nol. Momen yang dibutuhkan untuk keseimbangan diberikan oleh gaya tangensial $T_n = S'_n / F$ pada dasar setiap irisan. Gaya S'_n sama dengan jumlah dari kekuatan kohesif dan kekuatan gesekan pada dasar setiap irisan. Untuk stabilitas

$$r \sum W_n \sin \alpha_n = r \sum \frac{S'_n}{F} = \frac{r \sum (c_n l_n + P_n \tan \phi_n)}{F} \quad (2.2)$$

Dan Faktor keamanan F didefinisikan sebagai perbandingan momen penahan (RM) terhadap momen guling (OM).

$$F = \frac{RM}{OM} = \frac{r \sum (c_n l_n + P_n \tan \phi_n)}{r \sum W_n \sin \alpha_n} \quad (2.3)$$

Jika digunakan tegangan efektif \bar{c} dan $\bar{\phi}$, maka gaya normal dikurangi dengan gaya air pori $U = u_n l_n$ dimana u_n adalah tekanan pori rata rata pada dasar irisan. Faktor keamanan didasarkan pada parameter tegangan efektif .

$$F = \frac{RM}{OM} = \frac{\sum (\bar{c}_n l_n + (P_n - u_n l_n) \tan \bar{\phi}_n)}{\sum W_n \sin \alpha_n} \quad (2.4)$$

Metode irisan Bishop yang disederhanakan mengikutsertakan gaya-gaya samping horisontal untuk menghitung P_n .

Gambar 2.1.b) menunjukkan irisan tipikal termasuk gaya-gaya samping yang diwakili oleh komponen horisontal E dan komponen vertikal X . Gaya P_n dan oleh karenanya kekuatan pada dasar irisan akan berbeda daripada keadaan dimana gaya samping diabaikan. Setiap irisan dianggap mempunyai faktor keamanan F yang sama, dan kekuatan yang dibutuhkan T_n yang sama dengan kekuatan yang tersediapada dasar irisan dibagi dengan F .

$$T_n = \frac{S'_n}{F} = \frac{\bar{c}_n l_n}{F} = \frac{P_n - u_n l_n}{F} \tan \bar{\phi}_n \quad (2.5)$$

Sebagai penyempurnaan, Bishop menganggap bahwa jumlah gaya gaya samping vertikal pada masing masing irisan ($X_n + X_{n+1}$) disamakan dengan nol. Kemudian dari jumlahan gaya gaya vertikal.

$$\sum F_v = P_n \cos \alpha_n + T_n \sin \alpha_n - W_n = 0 \quad (2.6)$$

Mensubstitusikan pernyataan T_n ke dalam persamaan di atas , menyelesaikan P_n , dan mengurangi ul pada masing masing sisi persamaan menghasilkan persamaan

$$P_n - u_n l_n = \left(W_n - \frac{\bar{c}_n l_n}{F} \sin \alpha_n - u_n l_n \cos \alpha_n \right) \left(\frac{\sec \alpha_n}{1 + \left(\frac{\tan \bar{\phi}_n \tan \alpha_n}{F} \right)} \right) \quad (2.7)$$

Mensubstitusikan pernyataan ini bagi $P_n - u_n l_n$ kedalam persamaan (2.4), dan mengganti l_n dengan $b_n \sec \alpha_n$ akan diperoleh persamaan (2.8).

$$F = \frac{\sum \left\{ [\bar{c}_n b_n + (W_n - u_n b_n) \tan \bar{\phi}_n] \frac{\sec \alpha_n}{1 + \left(\frac{\tan \bar{\phi}_n \tan \alpha_n}{F} \right)} \right\}}{\sum W_n \sin \alpha_n} \quad (2.8)$$

Dengan

F =Faktor keamanan

c =kohesi (N/m^2)

b =panjang horisontal irisan (m)

W =Gaya akibat beban tanah (N)

α = sudut antara tengah bidang iris dengan titik pusat busur bidang longsor ($^\circ$)

ϕ =sudut geser dalam ($^\circ$)

u = tekanan pori (N/m^2)

C. Geologi Semarang

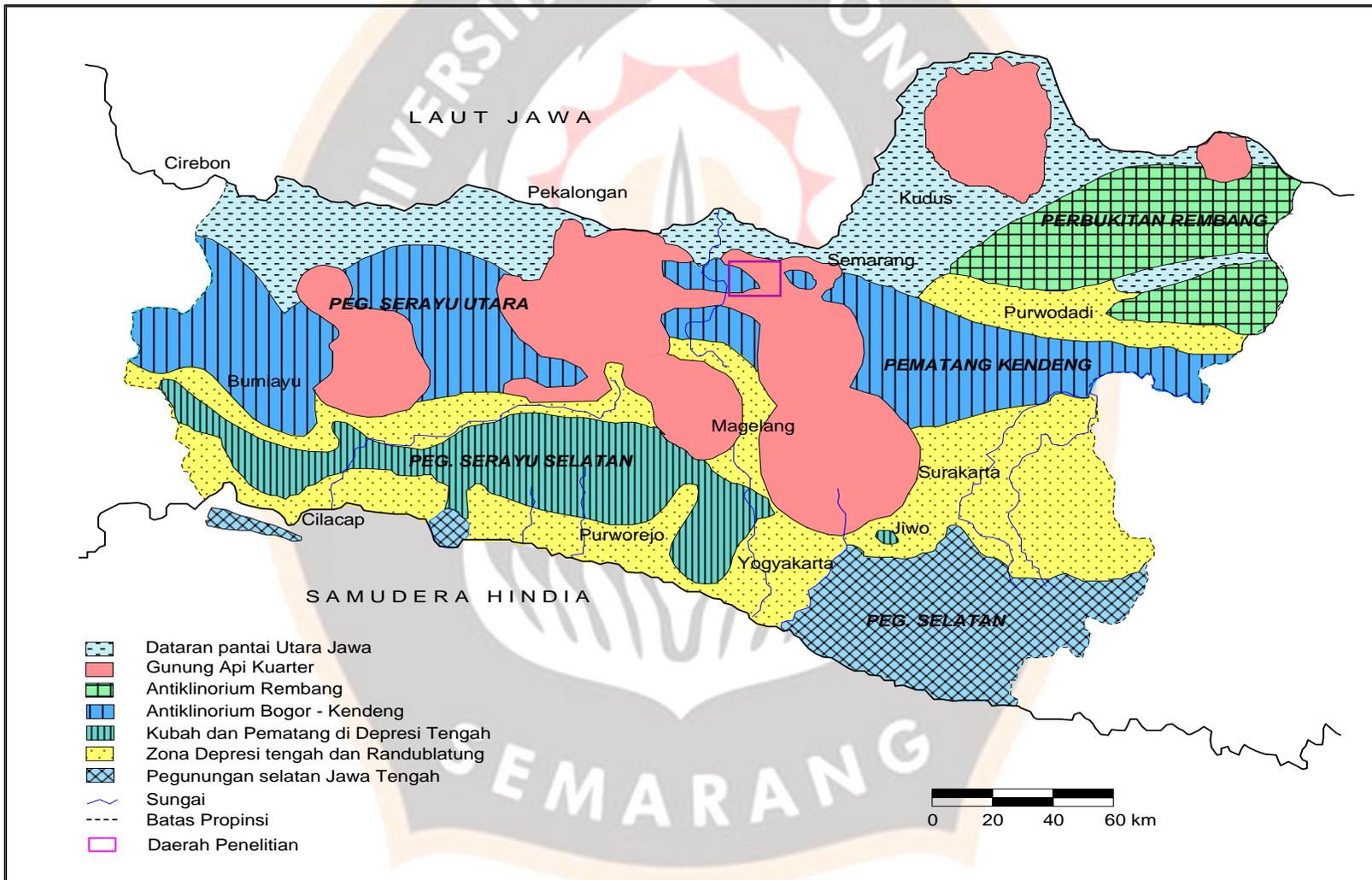
a. Fisiografi

Menurut pembagian zona fisiografi yang dikemukakan oleh Van Bemmelen (1949), Kota Semarang termasuk dalam Zona Dataran Pantai Utara yang terletak di sebelah utara dari Zona Gunung Api Kuarter dan Antiklinorium Bogor-Kendeng (Gambar 2.2). Zona Gunungapi Kuarter, secara tektonik terbentuk setelah terjadi gunungapi daratan (*Fore Arc Basin*) pada akhir zaman Tersier, dimulai dengan munculnya G. Rogojembangan pada kala Pleistosen. Pada kurun waktu berikutnya (Holosen) terbentuk G. Dieng, G. Ungaran, G. Slamet, G. Sundoro, G. Sumbing dan Gunung

Merapi yang masih aktif hingga sekarang. Sedangkan Antiklinorium Bogor-Kendeng merupakan antiklinorium yang berarah umum barat-timur sejajar dengan arah memanjang P. Jawa. Zona ini tersusun oleh batuan-batuan sedimen berumur Oligosen sampai Pleistosen yang didominasi oleh batuan berbutir halus.

Secara lebih rinci Fisiografi Kota Semarang dibagi dalam Garang Neogen, Bodri Neogen, Pengkol Neogen, Perbukitan Candi-Ngaliyan dan Dataran Aluvial Pantai. Garang Neogen, Bodri Neogen, dan Pengkol Neogen tersusun oleh sedimen marine yang telah terlipat, terutama berupa batulempung dan napal. Perbukitan Candi-Ngaliyan dicirikan oleh sedimen darat yang terlipat rebah pada kala Plio-Plistosen dan tersusun oleh endapan-endapan Formasi Damar dan Kaligetas yang didominasi batupasir, breksi, konglomerat, tuf dan batulempung. Sedangkan Dataran Aluvial Pantai yang merupakan kawasan pesisir Kota Semarang terdiri dari endapan alluvial pasir dan lempung yang menghampar dari barat ke timur dengan lebar 2,5 km di bagian barat dan mencapai 10 km di bagian timur. Kelerengan zona ini kurang dari 2 % dengan ketinggian maksimum 10 m diatas muka air laut rata-rata.

SEKOLAH PASCASARJANA



Gambar 2.2. Fisiografi Jawa Tengah (Van Bemmelen, 1949)

b. Stratigrafi

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Magelang dan Semarang yang disusun oleh Dinas Pertambangan dan Energi Provinsi Jawa Tengah (2004), tatanan stratigrafi daerah Semarang dan sekitarnya dapat dikelompokkan menjadi beberapa formasi (Gambar 2.3), yang secara umum berupa kelompok batuan sedimen dan kelompok batuan vulkanik.

i. Kelompok Batuan Sedimen.

Kelompok batuan sedimen yang dijumpai di daerah Kota Semarang dan sekitarnya terdiri dari beberapa formasi, yaitu :

- a. Formasi Kerek (Tmk) : Formasi ini terdiri dari perselingan batulempung napal, batupasir tufan, konglomerat, breksi vulkanik dan batugamping. Litologi batulempung berwarna abu-abu muda–tua, gampingan, sebagian bersisipan dengan batulanau, batupasir mengandung fosil moluska dan koloni koral. Formasi ini berumur Miosen Akhir, tersingkap di Banyumanik, sebelah timur Ungaran, lembah Kali Kreo, Kali Kripik dan Kali Garang serta di sekitar Jabungan.
- b. Formasi Kalibeng (Tmk) : Formasi ini terletak secara tidak selaras di atas Formasi Kerek dengan litologi terdiri dari napal pejal di bagian atas dan setempat mengandung karbon, napal sisipan batupasir tufan dan batugamping. Berdasarkan kandungan fosil foraminifera bentonik diketahui diendapkan dalam lingkungan laut dalam. Formasi ini berumur Miosen–Pliosen dan tersingkap di sekitar lembah Kali kreol, Kali kripik dan Kali Garang serta di sekitar wilayah Tembalang, Meteseh, Rowosari, Lembah Kali Pengkol dan lembah Kali Bade.

- c. Formasi Kaligetas (Qpkg) : Formasi ini terdiri dari breksi vulkanik antara lain lava, tufan dan batulempung. Umumnya telah mengalami pelapukan cukup intensif menghasilkan material tanah berwarna coklat kemerahan, tersingkap di Tembalang, Banyumanik, Grobogan, Wonorejo dan Pringsari.
- d. Formasi Damar (Qtd) : Formasi ini terletak tidak selaras diatas Formasi Kalibeng dan terdiri dari batupasir tufan, konglomerat, breksi vulkanik dan tufa. Batupasir terdiri dari mineral feldspar dan mineral mafik, sebagian tufan dan secara setempat gampingan. Sedangkan untuk breksi, fragmen umumnya berupa batuan vulkanik basa dan singkapan dijumpai di Kedung Mundu, Karanganyar, dan Ngadirejo. Umur formasi ini adalah Pliosen Akhir-Pleistosen Awal.
- e. Endapan Aluvium (Qa) : Terdiri dari kerikil, pasir. Kerakal dan lanau dengan tebal 1-3 m yang merupakan endapan sungai. Tersingkap di lembah Kali Pengkol dan sekitarnya.

ii. Kelompok Batuan Vulkanik

Kelompok batuan hasil kegiatan gunung api terdiri dari beberapa satuan yaitu :

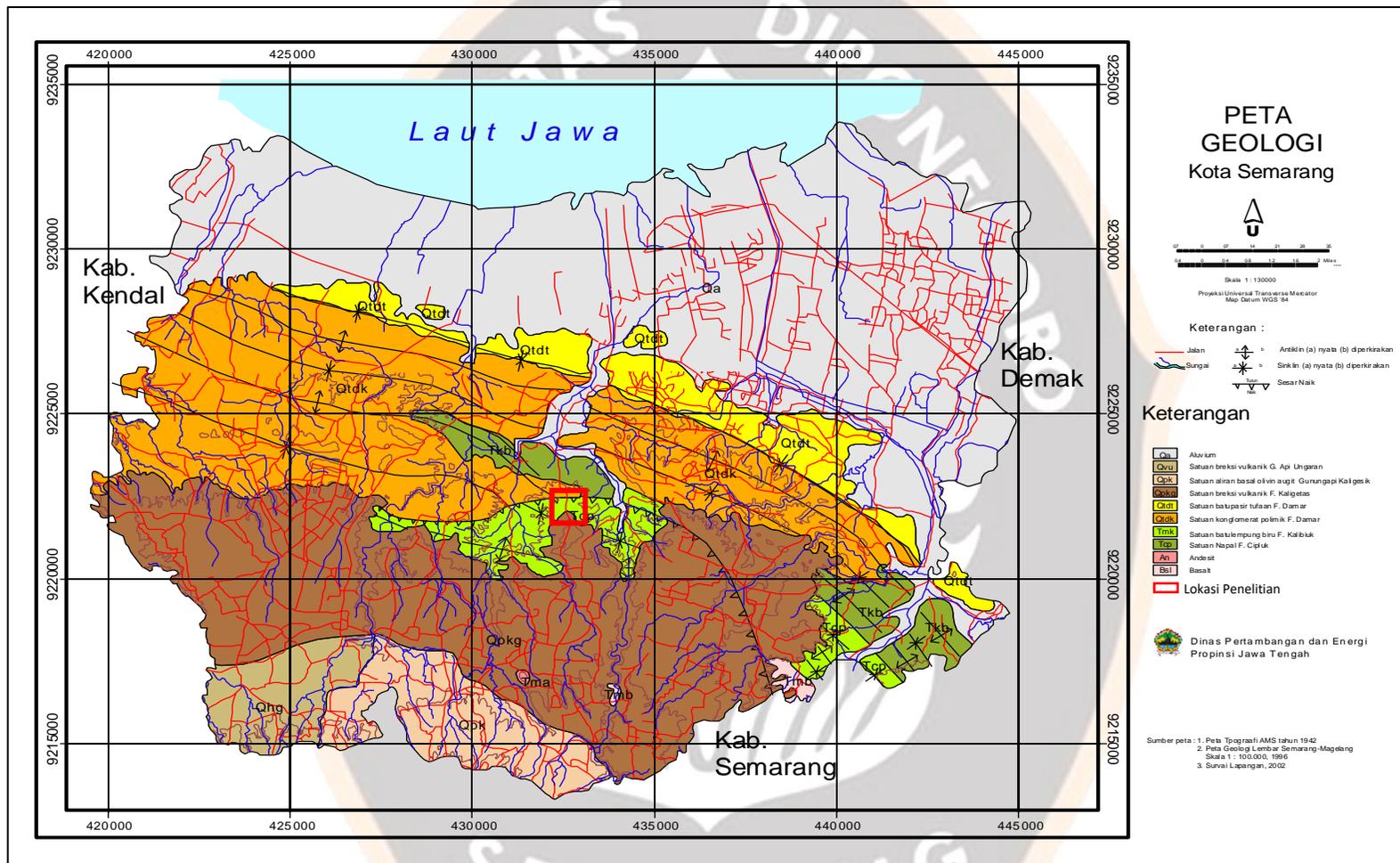
- a. Batuan Gunungapi Kaligesik (Qpk). Batuan ini merupakan hasil aktivitas gunungapi berupa aliran basal olivin augit, tersingkap di lereng utara G. Ungaran.
- b. Batuan Gunungapi Gajah Mungkur (Qhg). Terdiri dari andesit hornblende augit yang umumnya berupa aliran lava dan tersingkap di puncak Gunung Ungaran serta mengelilingi sebaran Batuan Gunungapi Kemalon dan Sangku.
- c. Batuan Beku Andesit (Tma). Merupakan batuan terobosan batuan beku asam tipe andesit hornblende augit, tersingkap di sekitar Mangunsari, Gunung Turun dan Pudak Payung.

d. Batuan Beku Basalt (Tmb). Batuan ini berupa basal augit dan ditemukan di G Klesem sebagai retas. Di Gunung Sitapel dijumpai berupa porfir plagioklas dan di Gunung Mergi berupa basal andesitan olivin-augit.

Struktur geologi yang cukup mencolok di wilayah Kota Semarang berupa kelurusan-kelurusan dan kontak batuan yang tegas dan merupakan pencerminan struktur sesar baik geser mendatar dan normal cukup berkembang di bagian tengah dan selatan kota. Jenis sesar yang ada secara umum terdiri dari sesar normal, sesar geser dan sesar naik. Sesar normal relatif ke arah barat-timur sebagian agak cembung ke arah utara, sesar geser berarah utara selatan hingga barat laut-tenggara, sedangkan sesar normal relatif berarah barat - timur. Sesar-sesar tersebut umumnya terjadi pada batuan Formasi Kerek, Formasi Kalibeng dan Formasi Damar yang berumur kuartar dan tersier.

Berdasarkan struktur geologi yang ada di Kota Semarang terdiri atas tiga bagian yaitu struktur joint (kekar), patahan (*fault*), dan lipatan. Daerah patahan tanah bersifat erosif dan mempunyai porositas tinggi, struktur lapisan batuan yang diskontinyu (tak teratur), heterogen, sehingga mudah bergerak atau longsor. Pada daerah sekitar aliran Kali Garang merupakan patahan Kali Garang, yang membujur arah utara sampai selatan, di sepanjang Kaligarang yang berbatasan dengan Bukit Gombel. Patahan ini bermula dari Ondorante, ke arah utara hingga Bendan Duwur. Patahan ini merupakan patahan geser, yang memotong formasi Notopuro, ditandai adanya zona sesar, tebing terjal di Ondorante, dan pelurusan Kali Garang serta beberapa mata air di Bendan Duwur. Daerah patahan lainnya adalah Meteseh, Perumahan Bukit Kencana Jaya, dengan arah patahan melintas dari utara ke selatan.

SEKOLAH PASCASARJANA



Gambar 2.3. Peta Geologi Kota Semarang (Dinas Pertambangan dan Energi Prov. Jateng, 2004)

D. Geolistrik Resistivitas

Metode geolistrik adalah suatu metode yang mempelajari gejala kelistrikan di bawah permukaan bumi dengan cara mendeteksi responnya di permukaan bumi. Sifat-sifat kelistrikan yang diukur pada metode geolistrik ini meliputi arus listrik, tegangan listrik, dan medan elektromagnet. Pengukuran menggunakan metode geolistrik dapat dilakukan menggunakan sumber dari alam (pengukuran pasif) dan sumber buatan yaitu dengan menginjeksikan arus ke bawah permukaan bumi (pengukuran aktif). Oleh sebab itu, metode geolistrik dibagi menjadi beberapa macam antara lain : metode potensial diri/self potential (SP), potensial terimbas, metode resistivity (tahanan jenis), arus telluric, dan Magnetotelluric (Reynolds, 1997).

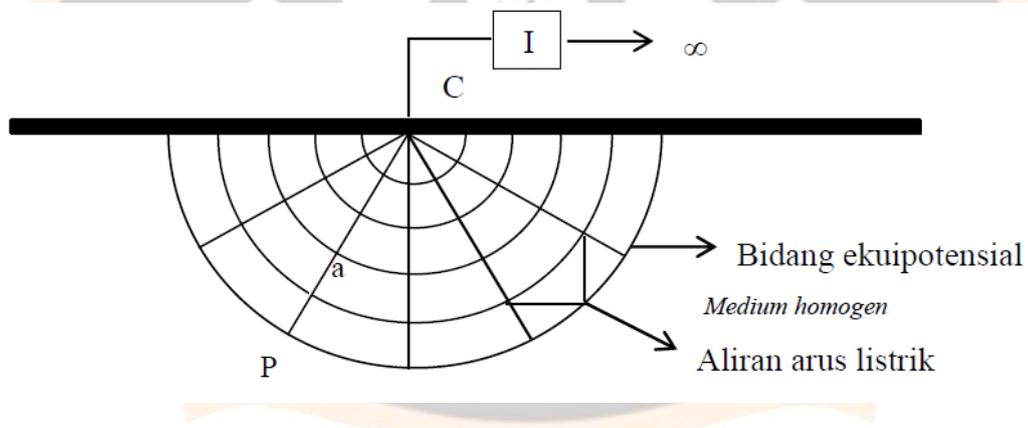
Salah satu metode yang digunakan dalam eksplorasi geofisika adalah metode geolistrik hambatan jenis. Geolistrik hambatan jenis memanfaatkan sifat resistivitas listrik batuan untuk mendeteksi dan memetakan formasi bawah permukaan. Metode ini dilakukan melalui pengukuran beda potensial yang ditimbulkan akibat injeksi arus listrik ke dalam bumi. Perbedaan potensial yang terukur merefleksikan keadaan di bawah permukaan bumi. Sifat-sifat suatu formasi dapat digambarkan oleh tiga parameter dasar yaitu konduktivitas listrik, permeabilitas magnet, dan permitifitas dielektrik (Williams, 1986).

Pada dasarnya metode ini didekati dengan menggunakan konsep perambatan arus listrik di dalam medium anomaly isotropis, dimana arus listrik bergerak kesegala arah dengan nilai yang sama besar. Dari hasil pengukuran ini akan diperoleh informasi tentang distribusi tahanan jenis bawah permukaan. Harga tahanan jenis batuan ditentukan oleh masing-masing tahanan jenis unsur batuan. Hantaran listrik pada batuan sebagian besar ditentukan oleh distribusi elektrolit yang ada di dalam pori-pori batuan tersebut. Untuk mengetahui struktur bawah permukaan yang lebih dalam, maka jarak masing-masing elektroda arus dan elektroda potensial ditambah secara bertahap. Semakin besar spasi elektroda maka efek penembusan arus ke bawah semakin dalam, sehingga batuan yang lebih dalam akan dapat diketahui sifat-sifat fisisnya.

Interpretasi pengukuran didasari atas asumsi bahwa permukaan terdiri dari sejumlah lapisan yang berbeda tahanan jenisnya. Tiap-tiap lapisan oleh suatu bidang batas horisontal dan tiap lapisan merupakan medium homogen isotropik. Untuk menentukan tahanan jenis lapisan dan kedalam bidang batas berdasarkan hasil pengukuran yang berupa beda potensial dan jarak spasi elektroda, maka harus diketahui hubungan matematis antara parameter yang diukur dengan parameter yang mendefinisikan distribusi lapisan bawah permukaan (Telford, dkk., 1990).

a. Titik Arus di Dalam Bumi

Pada media yang homogen isotropis, apabila arus searah dimasukkan melalui elektroda arus di permukaannya dan keluar secara radial dari titik arus menyebar ke segala arah dengan besar yang sama, sedangkan elektroda dapat dipandang sebagai sebuah sumber arus yang berbentuk titik, maka penyebaran arus pada tanah yang homogen isotropis mempunyai simetri bola seperti gambar 2.4.



Gambar 2.4. Sumber arus berupa titik pada permukaan medium homogen (Telford, dkk., 1990).

Andaikan tanah yang homogen isototrop itu resistivitasnya ρ , arus yang dimasukkan ke dalamnya I ampere, dan potensialnya merupakan fungsi jarak (r), maka persamaan Laplace dalam sistem koordinat bola dapat disederhanakan menjadi persamaan (2.9) :

$$\frac{\partial^2 V}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial V}{\partial r} = 0 \quad (2.9)$$

Dengan demikian penyelesaian untuk kasus ini sesuai dengan persamaan (2.10) :

$$V = -\frac{A}{r} + B \quad (2.10)$$

Dengan A dan B adalah tetapan yang dicari dengan syarat-syarat batas, pada r mendekati tak terhingga, V mendekati 0 maka B = 0. Arus I mengalir melalui tanah menurut garis-garis arus yang tegak lurus pada bidang eksponensial yang berbentuk bola.

Sehingga jumlah arus yang keluar melalui permukaan bola dengan jari-jari r sesuai dengan persamaan (2.11) :

$$I = 4\pi r^2 J$$

$$I = 4\pi r^2 \left[-\sigma \frac{\partial V}{\partial r} \right]$$

$$I = -4\pi \sigma A \quad (2.11)$$

apabila

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

maka

$$I = -4\pi \frac{A}{\rho} \quad (2.12)$$

sehingga

$$A = -\frac{I\rho}{4\pi} \quad (2.13)$$

Substitusikan persamaan (2.13) ke dalam persamaan (2.10), sehingga diperoleh persamaan (2.14) :

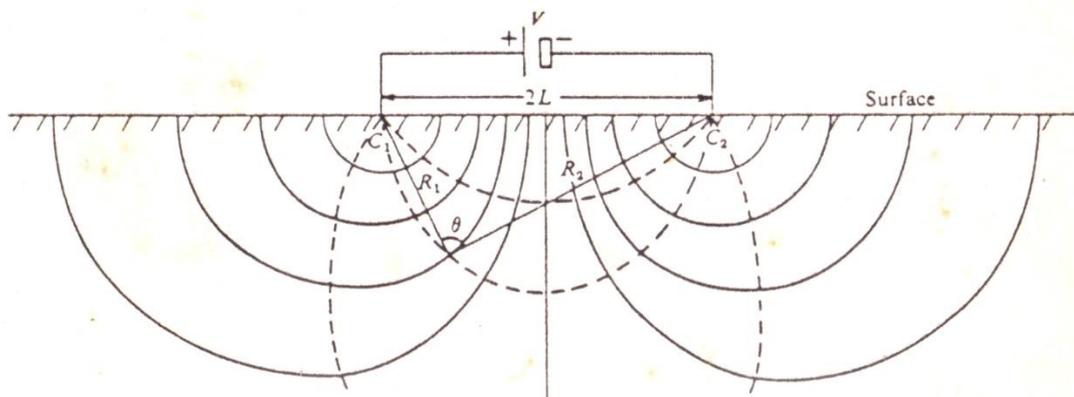
$$V = \frac{I\rho}{4\pi r}$$

$$\rho = 4\pi r \frac{V}{I}$$

atau
$$I = 4\pi r \frac{V}{\rho} \quad (2.14)$$

b. Dua Titik Arus Pada Permukaan Bumi

Gambar 2.5, memperlihatkan bahwa permukaan berpotensi merupakan setengah bola dengan A dan B merupakan elektroda arusnya, sedangkan M dan N adalah elektroda potensialnya.



Gambar 2.5. Arah penjalaran arus dengan dua titik injeksi di permukaan bumi (Telford, dkk., 1990).

Beda potensial yang terjadi antara MN yang diakibatkan oleh injeksi arus pada AB adalah :

$$\Delta V = V_m - V_n = \frac{I\rho}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \right] \quad (2.15)$$

$$\rho = 2\pi \left[\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \right]^{-1} \frac{\Delta V}{I} \quad (2.16)$$

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2.17)$$

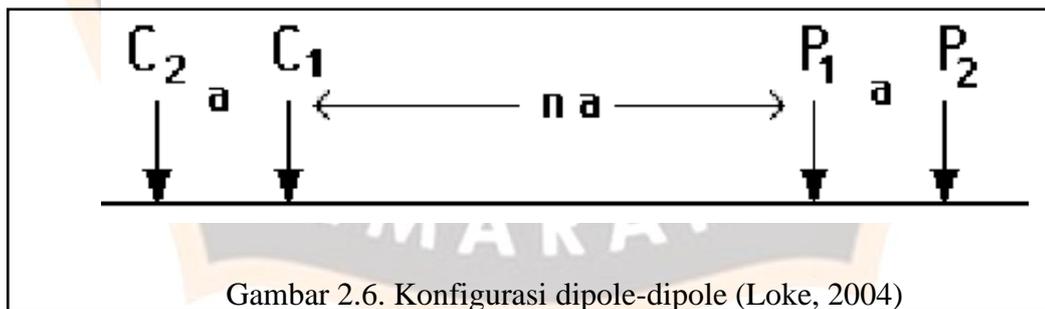
dengan
$$K = 2\pi \left[\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \right]^{-1} \quad (2.18)$$

c. Konfigurasi Dipole Dipole

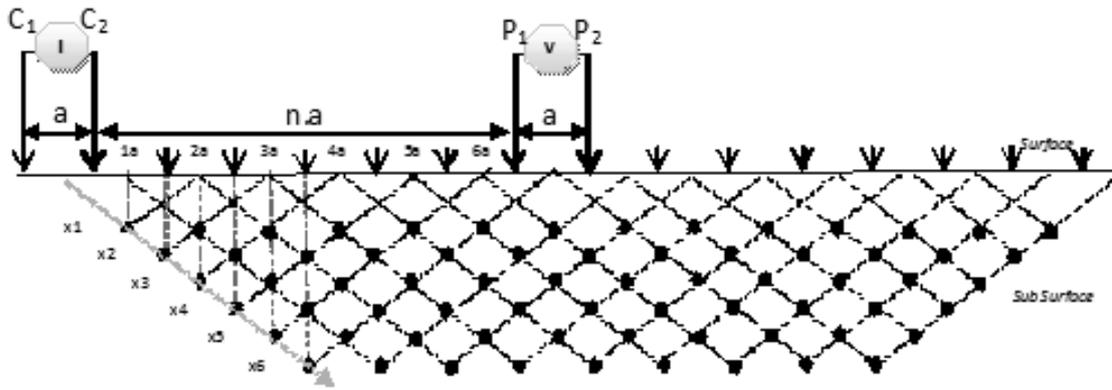
Nilai resistivitas semu tergantung pada geometri dari susunan elektroda yang digunakan, yang didefinisikan dengan faktor geometri K. Ada tiga tipe utama konfigurasi

elektroda, dua diantaranya dinamai dengan nama penggagasnya yaitu Frank Wenner dan Schlumberger. Sedangkan metode yang ketiga adalah dipole-dipole. Konfigurasi Dipole-dipole Pada prinsipnya menggunakan 4 buah elektroda yaitu pasangan elektroda arus (AB) yang disebut '*Current Dipol*' dan pasangan elektroda potensial (MN) yang disebut '*potential Dipol*' pada konfigurasi ini elektroda arus dan elektroda potensial bisa terletak tidak segaris dan tidak simetri.

Rangkaian elektroda susunan *dipole-dipole* dapat dilihat pada gambar 2.6. Jarak antara pasangan elektroda arus adalah "a" yang besarnya sama dengan jarak pasangan elektroda potensial. Terdapat besaran lain dalam susunan ini yakni "n". Ini adalah perbandingan antara kedua pasang elektroda arus atau potensial. Besarnya "a" dibuat tetap serta factor "n" meningkat mulai dari 1 ke 2 ke3 sampai 6 untuk meningkatkan *depth of investigation*. Konfigurasi ini sangat cocok untuk penyelidikan batas vertikal longsoran atau mendapatkan bidang gelincir (Perrone, dkk., 2014)



Setiap susunan elektroda memiliki harga sensitivitas yang menunjukkan keakuratan data yang terukur berkenaan dengan besarnya faktor "n" yang digunakan. Gambar 2.7 menunjukkan sensitivitas susunan ini untuk "n" mulai 1 sampai 6 yang disebut pengukuran tahanan jenis 2 Dimensi.



Gambar 2.7. Variasi harga n terhadap *depth of investigation* (Loke.2004)

Untuk menambah kedalaman penetrasi maka jarak antara ‘*Current Dipol*’ dan ‘*potential Dipol*’ atau nilai “ n ” di perpanjang, sedangkan jarak jarak elektroda arus dan elektroda tegangan tetap. Dan ini merupakan keunggulan konfigurasi *dipole-dipole* di bandingkan dengan konfigurasi *schlumberger* dan *wenner*, karena tanpa memperpanjang kabel bisa mendeteksi batuan yang lebih dalam. Untuk resistivitas semu dijelaskan menurut rumus dibawah ini,

$$\rho_a = \frac{V}{I} \pi a (n+1)(n+2) \quad (2.19)$$

dengan :

ρ_a = resistivitas semu (*apparent resistivity*) (Ωm)

a = spasi elektroda (jarak antara elektroda C1 dan P1) (m)

V = beda tegangan yang terukur langsung di lapangan (mV)

I = Arus listrik yang terukur langsung di lapangan (mA)

SEKOLAH PASCASARJANA

E. *Horizontal to Vertical Spectral Ratio*

a) Kerentanan Seismik

Nakamura (1989) menyatakan bahwa Indeks Kerentanan Tanah mengidentifikasi tingkat kerentanan suatu lapisan tanah yang mengalami deformasi akibat gempa bumi. Indeks kerentanan seismik diperoleh dengan mengkuadratkan nilai puncak spektrum mikrotremor dibagi frekuensi resonansi yang dapat dituliskan sebagai:

$$K_g = \frac{A_o^2}{f_o} \quad (2.20)$$

Dengan K_g adalah nilai indeks kerentanan seismik, A_o adalah nilai puncak spektrum mikrotremor (Amplitudo), dan f_o adalah besar frekuensi resonansi. Kerentanan menunjukkan kestabilan struktur tanah, semakin besar nilai K_g maka kestabilan struktur tanah semakin kecil sehingga kerusakan yang akan terjadi apabila terjadi gempa bumi akan semakin besar. Nilai kerentanan dipengaruhi oleh frekuensi dominan (f_o) dan nilai amplifikasi (A_o) serta gelombang permukaan (V_s). Semakin besar nilai frekuensi dan gelombang permukaan maka semakin kecil nilai kerentanan, sedangkan semakin besar nilai amplifikasi maka semakin besar nilai kerentanan.

PGA merupakan suatu parameter yang mempresentasikan percepatan getaran gempa di tanah. *Acceleration* atau percepatan adalah parameter yang menyatakan perubahan kecepatan mulai dari keadaan diam sampai pada kecepatan tertentu. Percepatan getaran tanah maksimum adalah nilai percepatan getaran tanah terbesar yang pernah terjadi di suatu tempat yang diakibatkan oleh gelombang gempa bumi. Nilai PGA di suatu daerah bukanlah termasuk ke dalam pengukuran terhadap besar energi suatu gempa bumi. PGA merupakan pengukuran kuat guncangan tanah suatu daerah. Percepatan tanah pada permukaan menjadi maksimum dengan besarnya nilai perbesaran gelombang dengan fungsi periode maka dapat dituliskan sebagai:

$$\alpha_g = \frac{5}{\sqrt{T_g}} 10^{(0,61M - (1,66 + \frac{3,66}{R}) \log R + 0,167 \frac{1,83}{R})} \quad (2.21)$$

dengan α_g nilai percepatan getaran tanah titik pengamatan (gal), T_g adalah periode dominan tanah titik pengamatan (s), M adalah Moment Magnitude, R adalah jarak episenter (km), dan α_o adalah percepatan tanah pada *bed rock* (gal).

b) *Ground Shear Strain*

Ground Shear Strain merupakan kemampuan suatu material lapisan tanah untuk meregang atau bergeser saat terjadi gempa bumi. Daerah-daerah yang memiliki nilai *ground shear strain* tinggi memiliki risiko tinggi terhadap gerakan tanah akibat gempa bumi seperti penurunan tanah dan likuifaksi. Tabel 2.2 menunjukkan hubungan antara regangan dengan sifat dinamis tanah menurut Ishihara (1978) Op.cit Nakamura (1997).

Tabel 2.2. hubungan antara regangan dengan sifat dinamis tanah

Nili regangan (γ)	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}
Fenomena	Gelombang, getaran		Retak, penurunan tanah	Longsor, Penurunan tanah, likuifaksi		
Sifat dinamis	Elastis		Plastis Elastis	Keruntuhan		

Besar *ground shear strain* dituliskan sebagai:

$$\gamma = \frac{A_g d}{H} \quad (2.22)$$

Dengan A_g adalah faktor amplifikasi, d adalah pergeseran gelombang seismik di bawah permukaan tanah dan H adalah ketebalan lapisan tanah. Terdapat kecepatan pergeseran gelombang di bawah permukaan tanah dan pada permukaan tanah (V_b dan V_s). besarnya kecepatan gelombang di bawah permukaan tanah (V_b) dituliskan pada Persamaan 2.23.

$$V_b = 4 A_g H f_o \quad (2.23)$$

Sehingga ketebalan lapisan dapat dituliskan

$$H = \frac{V_b}{4A_g f_o} \quad (2.24)$$

$$\text{Jika } V_s = \frac{V_b}{A_g}$$

Maka ketebalan lapisan :

$$H = \frac{V_s}{A_g} \quad (2.25)$$

Percepatan di bawah permukaan tanah (a_g) dinyatakan dengan persamaan

$$a_g = (2\pi f_o)^2 d \quad (2.26)$$

Sehingga

$$d = \frac{a_g}{(2\pi f_o)^2} \quad (2.27)$$

$$\gamma = \frac{A_g \alpha_g}{\pi^2 V_s f_o} \quad (2.28)$$

$$\text{Jika } K_g = \frac{A_g}{\pi^2 V_s f_o}$$

Maka *Ground shear strain* menjadi

$$\gamma = K_g \alpha_g \quad (2.29)$$

Semakin tinggi nilai kerentanan seismik (K_g) maka nilai *Ground Shear Strain* semakin besar.

F. *Analytic Hierarchy Process*

AHP merupakan suatu model pendukung keputusan yang dikembangkan oleh Thomas L.

Saaty. Model pendukung keputusan ini akan menguraikan masalah multi faktor atau multi kriteria yang kompleks menjadi suatu hirarki, menurut Saaty (2004), hirarki didefinisikan

sebagai suatu representasi dari sebuah permasalahan yang kompleks dalam suatu struktur *multi level* dimana *level* pertama adalah tujuan, yang diikuti *level* faktor, kriteria, sub kriteria, dan seterusnya ke bawah hingga *level* terakhir dari alternatif. Dengan hirarki, suatu masalah yang kompleks dapat diuraikan ke dalam kelompok-kelompoknya yang kemudian diatur menjadi suatu bentuk hirarki sehingga permasalahan akan tampak lebih terstruktur dan sistematis.

AHP merupakan metode pengukuran yang digunakan untuk menentukan skala rasio dari perbandingan pasangan baik diskrit maupun kontinu, yang diperoleh dari ukuran aktual ataupun preferensi.

Penggunaan model AHP menghasilkan citra yang menunjukkan kerentanan longsor menggunakan parameter data kemiringan, penggunaan lahan, litologi, elevasi oleh Kezhri (2011), Jazouli (2019) Othmana, dkk., (2011) menggunakan Sistem Informasi Geografis dan teknik *Multi-criteria Decision Making Analytical* untuk memetakan Zona bahaya longsor berdasarkan AHP dan Feizizadeh, dkk., (2011) menggunakan AHP untuk menentukan bobot masing-masing parameter yang digunakan dalam pemetaan daerah bahaya longsor di Negara Bostan Abad, Iran

AHP didasarkan atas 3 prinsip dasar yaitu:

a. Dekomposisi

Dengan prinsip ini struktur masalah yang kompleks dibagi menjadi bagian-bagian secara hierarki. Tujuan didefinisikan dari yang umum sampai khusus. Dalam bentuk yang paling sederhana struktur akan dibandingkan tujuan, kriteria dan *level* alternatif.

Tiap himpunan alternatif mungkin akan dibagi lebih jauh menjadi tingkatan yang lebih detail, mencakup lebih banyak kriteria yang lain. *Level* paling atas dari hirarki merupakan tujuan yang terdiri atas satu elemen. *Level* berikutnya mungkin mengandung beberapa elemen, di mana elemen-elemen tersebut bisa dibandingkan,

memiliki kepentingan yang hampir sama dan tidak memiliki perbedaan yang terlalu mencolok. Jika perbedaan terlalu besar harus dibuatkan *level* yang baru.

b. Perbandingan penilaian/pertimbangan (*comparative judgments*).

Dengan prinsip ini akan dibangun perbandingan berpasangan dari semua elemen yang ada dengan tujuan menghasilkan skala kepentingan relatif dari elemen. Penilaian menghasilkan skala penilaian yang berupa angka. Perbandingan berpasangan dalam bentuk matriks jika dikombinasikan akan menghasilkan prioritas.

c. Sintesa Prioritas

Sintesa prioritas dilakukan dengan mengalikan prioritas lokal dengan prioritas dari kriteria bersangkutan di level atasnya dan menambahkannya ke tiap elemen dalam level yang dipengaruhi kriteria. Hasilnya berupa gabungan atau dikenal dengan prioritas global yang kemudian digunakan untuk memboboti prioritas lokal dari elemen di level terendah sesuai dengan kriterianya

AHP mengukur seluruh konsistensi penilaian dengan menggunakan *Consistency Ratio* (CR), yang dirumuskan:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2.30)$$

Dengan nilai Consistency Index (CI)

$$CI = \frac{\lambda_{maks} - n}{n - 1} \quad (2.31)$$

λ_{maks} adalah nilai eigen maksimum dari matriks *pairwise comparisons*.

Tabel 2.3. Nilai *Random Index* (RI) (Saaty, 2004)

Orde	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Matrik									
RI	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45

G. Mitigasi dampak longsor

Berdasarkan Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Nomor: 15 Tahun 2011 Tentang Pedoman Mitigasi Bencana Gunungapi, Gerakan Tanah, Gempabumi, dan Tsunami, Lampiran II. Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral nomor : 15 Tahun 2011 Tanggal : 9 September 2011, Mitigasi bencana gerakan tanah dilakukan melalui kegiatan pengurangan risiko dan peningkatan kesiapsiagaan pada tahap prabencana, saat tanggap darurat, dan pascabencana.

Kegiatan Prabencana dilakukan dalam situasi sebelum terjadi bencana dan dalam situasi terdapat potensi terjadinya bencana gerakan tanah. Hal ini dilakukan untuk mengurangi risiko bencana, baik melalui pengurangan ancaman bencana maupun kerentanan pihak yang terancam bencana. Kegiatan tersebut antara lain:

- a) Penyediaan informasi gerakan tanah
- b) Pemetaan
- c) Penyelidikan gerakan tanah
- d) Pemantauan
- e) Peringatan dini bencana gerakan tanah
- f) Diseminasi
- g) Penguatan ketahanan masyarakat

Kegiatan saat tanggap darurat dilakukan dalam situasi ketika terjadi bencana gerakan tanah. Hal ini dilakukan untuk mengurangi risiko bencana, baik melalui pengurangan ancaman maupun kerentanan pihak yang terancam bencana.

Kegiatan Pascabencana dilakukan dalam situasi setelah terjadi bencana gerakan tanah. Kegiatan pascabencana dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral antara lain melakukan penyelidikan, evaluasi zona kerentanan gerakan tanah di daerah bencana untuk

memberikan rekomendasi teknis rehabilitasi lingkungan, perbaikan dan pembangunan kembali sarana dan prasarana/relokasi pemukiman di daerah yang aman terhadap bencana gerakan tanah.

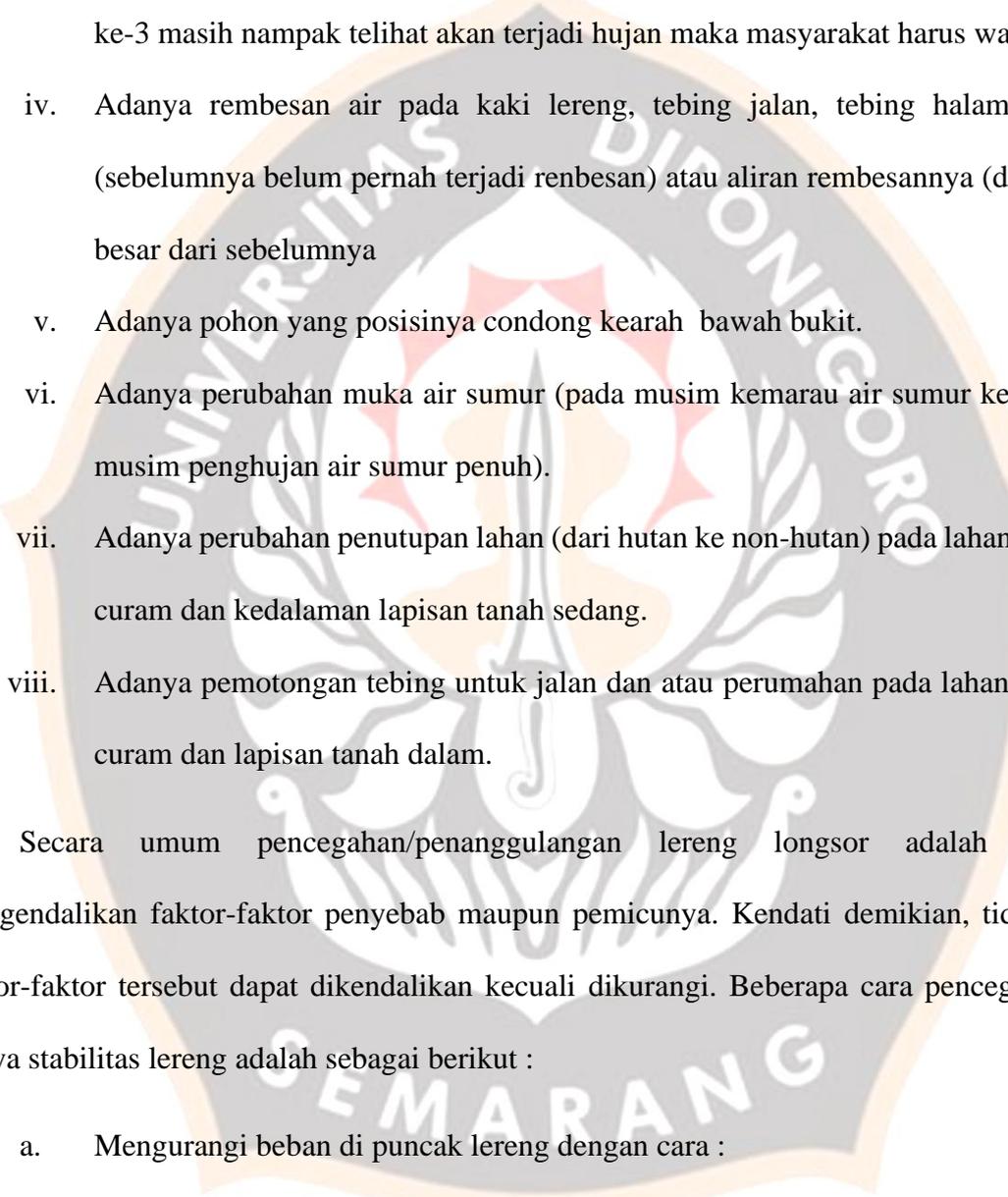
Menurut Paimin, dkk., (2009), beberapa hal yang perlu diperhatikan pada daerah longsor maupun rawan longsor adalah sebagai berikut:

- i. Pembentukan lereng lahan menjadi lebih landai pada daerah yang potensial longsor.
- ii. Penguatan lereng terjal dengan bronjong kawat pada kaki lereng.
- iii. Penutupan rekahan/retakan tanah dengan segera karena pada musim penghujan rekahan bisa diisi oleh air hujan yang masuk ke dalam tanah sehingga menjenuhi tanah di atas lapisan kedap.
- iv. Bangunan rumah dari konstruksi kayu (semi permanen) lebih tahan terhadap retakan tanah dibanding dengan bangunan pasangan batu/bata pada lahan yang masih akan bergerak

Pengurangan risiko bencana tanah longsor/gerakan tanah, melalui pengurangan ancaman bencana secara teknik antara lain berupa pengurangan/penutupan rekahan, *reshaping* lereng, bronjong kawat, perbaikan drainase, baik drainase permukaan seperti saluran pembuangan air (*waterway*) maupun drainase bawah tanah. Untuk mengurangi aliran air (drainase) bawah tanah dilakukan dengan cara mengalirkan air secara horizontal melalui terowongan air seperti paritan (*trench*) dan sulingan (pipa perforasi)

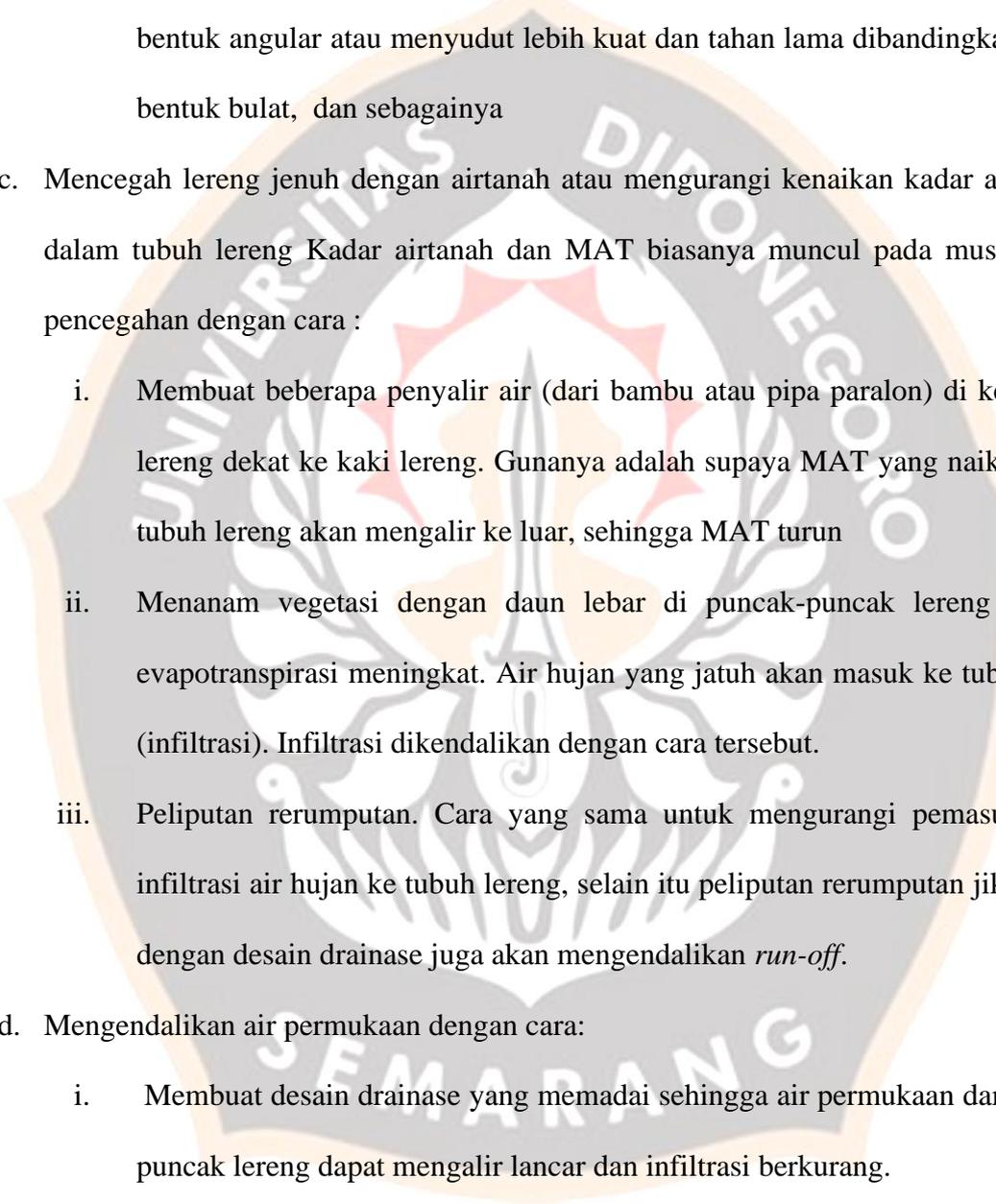
Teknik peringatan dini dalam memitigasi tanah longsor secara umum dapat diketahui sebagai berikut (d disesuaikan dengan jenis potensi tanah longsor yang ada):

- i. Adanya retakan-retakan tanah pada lahan (pertanian, hutan, kebun, pemukiman) dan atau jalan yang cenderung semakin besar, dengan mudah bisa dilihat secara visual.

- 
- ii. Adanya penggelembungan/amblesan pada jalan aspal - terlihat secara visual.
 - iii. Pemasangan penakar hujan di sekitar daerah rawan tanah longsor. Apabila curah hujan kumulatif secara berurutan selama 2 hari melebihi 200 mm sedangkan hari ke-3 masih nampak terlihat akan terjadi hujan maka masyarakat harus waspada.
 - iv. Adanya rembesan air pada kaki lereng, tebing jalan, tebing halaman rumah (sebelumnya belum pernah terjadi rembesan) atau aliran rembesannya (debit) lebih besar dari sebelumnya
 - v. Adanya pohon yang posisinya condong kearah bawah bukit.
 - vi. Adanya perubahan muka air sumur (pada musim kemarau air sumur kering, pada musim penghujan air sumur penuh).
 - vii. Adanya perubahan penutupan lahan (dari hutan ke non-hutan) pada lahan berlereng curam dan kedalaman lapisan tanah sedang.
 - viii. Adanya pemotongan tebing untuk jalan dan atau perumahan pada lahan berlereng curam dan lapisan tanah dalam.

Secara umum pencegahan/penanggulangan lereng longsor adalah mencoba mengendalikan faktor-faktor penyebab maupun pemicunya. Kendati demikian, tidak semua faktor-faktor tersebut dapat dikendalikan kecuali dikurangi. Beberapa cara pencegahan atau upaya stabilitas lereng adalah sebagai berikut :

- a. Mengurangi beban di puncak lereng dengan cara :
 - i. Pemangkasan lereng; Pemotongan lereng atau *cut*;
 - ii. biasanya digabungkan dengan pengisian/pengurugan atau *fill* di kaki lereng;
 - iii. Pembuatan undak-undak, dan sebagainya
- b. Menambah beban di kaki lereng dengan cara :
 - i. Menanam tanaman keras (biasanya pertumbuhannya cukup lama).

- 
- ii. Membuat dinding penahan (bisa dilakukan relatif cepat; dinding penahan atau retaining wall harus didesain terlebih dahulu)
 - iii. Membuat bronjong atau batu-batu bentuk menyudut diikat dengan kawat, bentuk angular atau menyudut lebih kuat dan tahan lama dibandingkan dengan bentuk bulat, dan sebagainya
- c. Mencegah lereng jenuh dengan airtanah atau mengurangi kenaikan kadar airtanah di dalam tubuh lereng. Kadar airtanah dan MAT biasanya muncul pada musim hujan, pencegahan dengan cara :
- i. Membuat beberapa penyalir air (dari bambu atau pipa paralon) di kemiringan lereng dekat ke kaki lereng. Gunanya adalah supaya MAT yang naik di dalam tubuh lereng akan mengalir ke luar, sehingga MAT turun
 - ii. Menanam vegetasi dengan daun lebar di puncak-puncak lereng sehingga evapotranspirasi meningkat. Air hujan yang jatuh akan masuk ke tubuh lereng (infiltrasi). Infiltrasi dikendalikan dengan cara tersebut.
 - iii. Peliputan rerumputan. Cara yang sama untuk mengurangi pemasukan atau infiltrasi air hujan ke tubuh lereng, selain itu peliputan rerumputan jika disertai dengan desain drainase juga akan mengendalikan *run-off*.
- d. Mengendalikan air permukaan dengan cara:
- i. Membuat desain drainase yang memadai sehingga air permukaan dari puncak-puncak lereng dapat mengalir lancar dan infiltrasi berkurang.
 - ii. Penanaman vegetasi dan peliputan rerumputan juga mengurangi air larian (*run-off*) sehingga erosi permukaan dapat dikurangi

SEKOLAH PASCASARJANA