



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**PENENTUAN ZONA GERAKAN TANAH
DAN ANALISIS KEMANTAPAN LERENG
DI KECAMATAN KLEGO, KABUPATEN BOYOLALI, JAWA TENGAH**

EXECUTIVE SUMMARY

MONALISA ISMA RIKMA MARANI

21100112140074

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK GEOLOGI**

**SEMARANG
AGUSTUS 2018**



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**PENENTUAN ZONA GERAKAN TANAH
DAN ANALISIS KEMANTAPAN LERENG
DI KECAMATAN KLEGO, KABUPATEN BOYOLALI, JAWA TENGAH**

EXECUTIVE SUMMARY

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana

MONALISA ISMA RIKMA MARANI

21100112140074

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK GEOLOGI**

**SEMARANG
AGUSTUS 2018**

DAFTAR ISI

Halaman Sampul	
Halaman Judul	i
Daftar Isi	ii
BAB I PENDAHULUAN	1
Latar Belakang	1
Tujuan Penelitian	1
Rumusan Masalah	1
Batasan Masalah.....	2
Manfaat Penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
Geologi Regional Daerah Penelitian	3
Pengertian Gerakan Tanah	4
Faktor Pengontrol dan Pemicu Gerakan Tanah.....	4
Tipe-Tipe Gerakan Tanah	5
Tipologi Kawasan Rawan Bencana Longsor Berdasarkan Penetapan Zonasi	6
Prinsip Kestabilan Lereng	11
Upaya Penanggulangan Gerakan Tanah.....	13
BAB III METODELOGI PENELITIAN	14
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	15
Pemetaan Geologi	15
Zona Potensi Gerakan Tanah/ Longsor	21
Hasil Analisis Kemantapan Lereng	24
Faktor-Faktor Penyebab Gerakan Tanah/ Longsor di Daerah Penelitian.....	30
Rekomendasi	30
BAB V PENUTUP	31
Kesimpulan.....	31
Saran.....	31
DAFTAR PUSTAKA	32

BAB I PENDAHULUAN

Latar Belakang

Gerakan tanah/ longsor adalah proses perpindahan masa batuan atau tanah akibat gaya berat (gravitasi), dampaknya dapat menimbulkan banyak korban jiwa maupun harta benda (Noor, 2011). Pergerakan yang terjadinya disebabkan karena adanya faktor-faktor pengontrol dan pemicu yang bersifat alami maupun non-alami. Hal tersebut pada kondisi tertentu dapat menimbulkan terjadinya bencana gerakan tanah. Bencana gerakan tanah atau longsor tanah sering terjadi dimana bencana tersebut yang terjadi sangat merugikan, karena dapat merusak berbagai sarana infrastruktur. Sarana infrastruktur berguna dalam menunjang kebutuhan manusia.

Kecamatan Klego, Kabupaten Boyolali merupakan salah satu wilayah yang perkembangan sarana infrastrukturnya cukup tinggi dan mempunyai potensi terjadinya gerakan tanah/ longsor. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian mengenai gerakan tanah di lokasi tersebut.

Penelitian di wilayah ini dilakukan dengan melaksanakan pemetaan geologi untuk menentukan zona gerakan tanah dan analisis kemantapan lerengnya sehingga gerakan tanah/ longsor dapat diketahui tingkat kerentanan dan kestabilan lereng yang terdapat di Kecamatan Klego.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kondisi geologi meliputi jenis penyebaran tanah/ batuan, struktur geologi dan titik lokasi gejala gerakan tanah/longsor, faktor penyebab terjadinya gerakan tanah/ longsor, zona potensi gerakan tanah/ longsor, nilai faktor keamanan lereng yang aman ketika diberi beban tambahan dan rekomendasi yang tepat sebagai dasar dalam suatu pembangunan di daerah penelitian yang rentan terhadap gerakan tanah/ longsor.

Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan dapat diambil beberapa rumusan masalah pada penelitian ini, yaitu : bagaimana kondisi tanah/ batuan yang terdapat di daerah penelitian berdasarkan hasil pemetaan geologi ?; Apa zona potensi longsor yang terdapat di daerah penelitian ?; Bagaimana kondisi

tanah lereng terhadap beban tambahan yang terdapat di daerah penelitian ?; Berapa nilai faktor keamanan lereng di daerah penelitian yang aman ketika diberikan beban tambahan ?; Apa faktor penyebab gerakan tanah/ longsor yang mempengaruhi daerah penelitian ?; Apa rekomendasi yang paling tepat untuk dasar perencanaan suatu pembangunan di daerah penelitian yang rentan terhadap gerakan tanah / longsor ?

Batasan Masalah

Berdasarkan data yang sudah terkumpul, maka dilanjutkan dengan pengolahan dan analisis data dengan batasan masalah yaitu : data utama adalah hasil pemetaan geologi, perhitungan geometri lereng dan uji sampel tanah di laboratorium (uji *water content*, *unit weight*, *direct shear*, *specific gravity* dan *uniaxial/ compression strength*); Analisis kestabilan lereng dilakukan dengan asumsi pada nilai faktor keamanan yang aman ketika diberi beban; Permodelan dilakukan pada lapisan tanah/ batuan yang telah di hitung geometri lerengnya sesuai dengan yang ada dilapangan; Permodelan lereng yang diberi beban dengan memperhatikan stabilitas lereng; Pembagian zona potensi gerakan tanah menggunakan 7 parameter kriteria aspek fisik alami untuk zona berpotensi longsor tipe B berdasarkan ”Pedoman Penataan Ruang Kawasan Rawan Bencana Longsor” menurut Menteri Pekerjaan Umum tahun 2007.

Manfaat Penelitian

Dengan dilakukan penelitian ini, diharapkan dapat memberikan informasi kepada instansi pemerintahan, masyarakat dan mahasiswa, di antaranya :

a. Instansi Pemerintah setempat

Memberikan kemudahan bagi pemerintah setempat dalam mengetahui lokasi potensi gerakan tanah/ longsor dan mengetahui cara pemanfaatan/ pengendalian tata ruang kawasan berpotensi sebagai pedoman dalam membangun sarana infrastruktur.

b. Masyarakat setempat

Memberikan informasi bagi masyarakat setempat agar lebih waspada terhadap lokasi-lokasi yang berpotensi terjadinya gerakan tanah/ longsor

dan cara pemanfaatan/ pengendalian tata ruang kawasan berpotensi dengan baik.

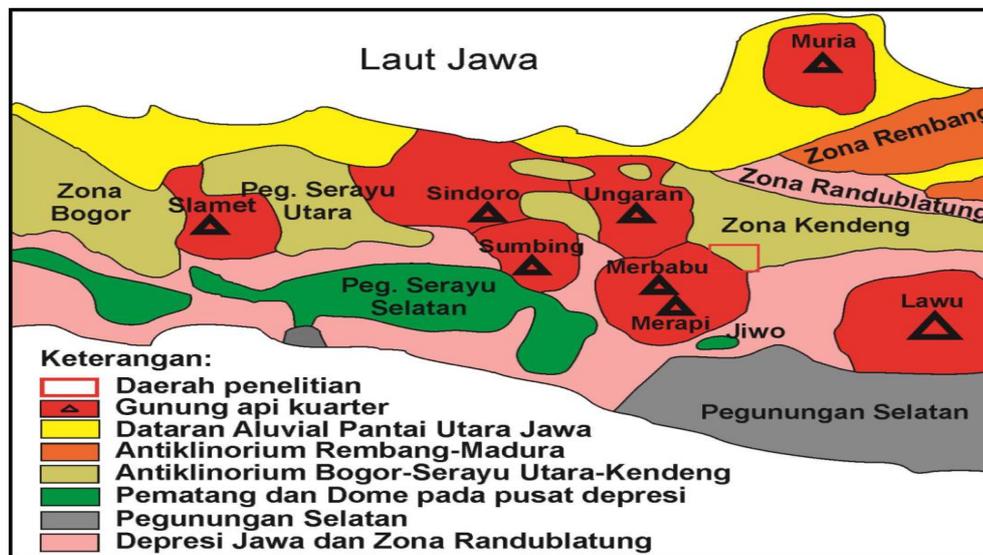
c. Mahasiswa

Menambah ilmu pengetahuan pada penulis berkenaan dengan potensi gerakan tanah/ longsor dan kemantapan lereng di daerah penelitian. Kemudian, dapat juga menjadi sumber referensi bagi para mahasiswa peneliti selanjutnya yang ingin meneliti tentang gerakan tanah/ longsor dan kemantapan lereng.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Geologi Regional Daerah Penelitian

Secara fisiografi, daerah penelitian di Kecamatan Klego, Kabupaten Boyolali termasuk ke dalam Zona Antiklinorium Kendeng, Gunungapi Kuarter (Gunung Merbabu) (Gambar 1) dan Endapan Permukaan (Rumbewas dkk, 2016).



Gambar 1. Peta Fisiografi Daerah Jawa Tengah dan Jawa Timur (Van Bemmelen, 1949)

Berdasarkan penelitian lapangan yang telah dilakukan, terdapat 2 (dua) Formasi dari Zona Kendeng, Gunungapi Kuarter Merbabu dan Endapan Permukaan yang terdapat di daerah penelitian, yaitu :

1. Formasi Kerek

Terdiri dari endapan turbidit dengan ketebalan 800 m, sebagian besar terbentuk oleh lapisan yang menghalus dan menipis keatas dengan tipe

struktur sedimen arus densitas. Litologinya terdiri atas batupasir tufaan, batulempung, napal, dan batugamping. Formasi ini berumur Miosen Awal – Miosen Akhir.

2. Formasi Notopuro

Terdiri dari endapan lahar, tuff dan batupasir tufaan berumur Pleistosen yang diendapkan pada lingkungan darat.

3. Gunungapi Kuarter Merbabu

Batuan penyusun Merbabu terdiri dari basalt (tersusun dari mineral olivine-augit) dan andesit (dengan mineral augit, serta andesit dengan mineral hornblend-hipersten-augit) (Sukardi dan Budhitrisna, 1992).

4. Alluvium

Terdiri dari kerakal, kerikil, pasir dan lempung (Sukardi dan Budhitrisna, 1992).

Pengertian Gerakan Tanah

Gerakan tanah atau longsor tanah adalah proses perpindahan massa batuan atau tanah akibat gaya berat (gravitasi). Faktor internal yang menjadi penyebab terjadinya gerakan tanah tanah/ longsor adalah daya ikat (kohesi) tanah/batuan yang lemah. Sedangkan faktor eksternal yang menjadi pemicu longsor tanah dapat terdiri dari berbagai faktor yang kompleks seperti kemiringan lereng, perubahan kelembapan tanah/ batuan, tutupan lahan serta pola pengolahan lahan, pengikisan oleh air yang mengalir (air permukaan), ulah manusia seperti penggalian dan lain sebagainya (Noor, 2011).

Faktor Pengontrol dan Pemicu Gerakan Tanah

Faktor-faktor pengontrol ini umumnya merupakan fenomena alam (meskipun ada yang bersifat non alamiah) (Karnawati, 2005).

1. Kondisi geomorfologi (kemiringan lereng)
2. Kondisi geologi
3. Kondisi tanah/ batuan penyusun lereng
4. Kondisi iklim
5. Kondisi hidrologi lereng
6. Tata guna lahan

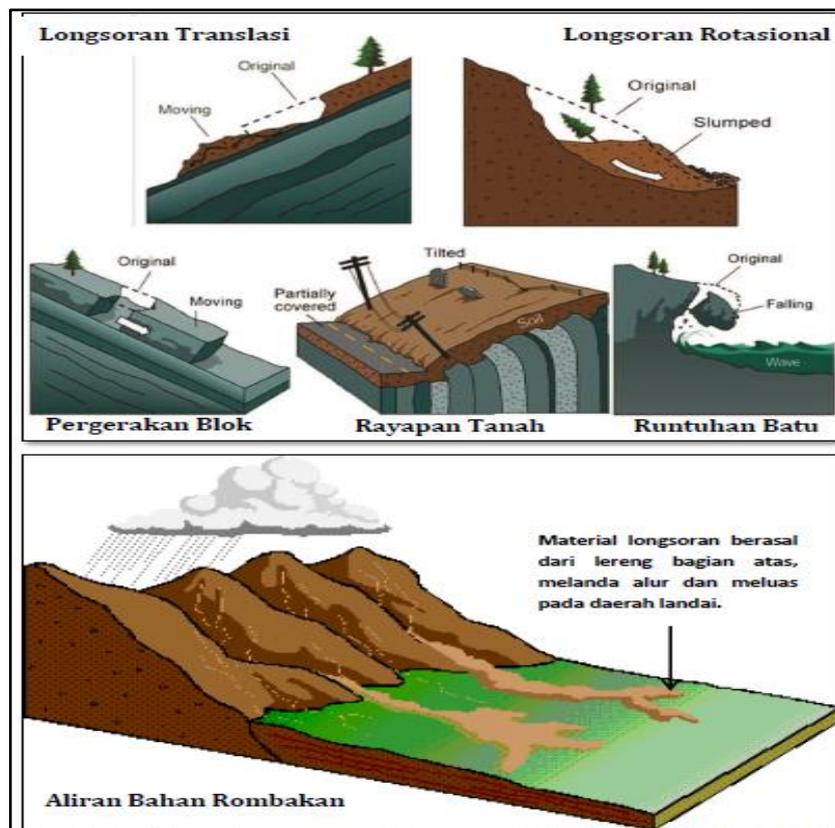
Pemicu gerakan tanah merupakan proses alamiah ataupun kombinasi keduanya, yang secara aktif mempercepat proses hilangnya kestabilan pada suatu lereng (Karnawati, 2005).

1. Infiltrasi air hujan ke dalam lereng
2. Getaran
3. Aktivitas manusia

Tipe-Tipe Gerakan Tanah

Berdasarkan tipenya, longsor tanah dapat dikelompokkan menjadi 6 (enam) tipe menurut Kementerian ESDM-PVMBG Tahun 2015 (Gambar 2) :

1. Longsor translasi
2. Longsor rotasi
3. Pergerakan blok
4. Runtuhan Batu
5. Rayapan tanah
6. Aliran bahan rombakan

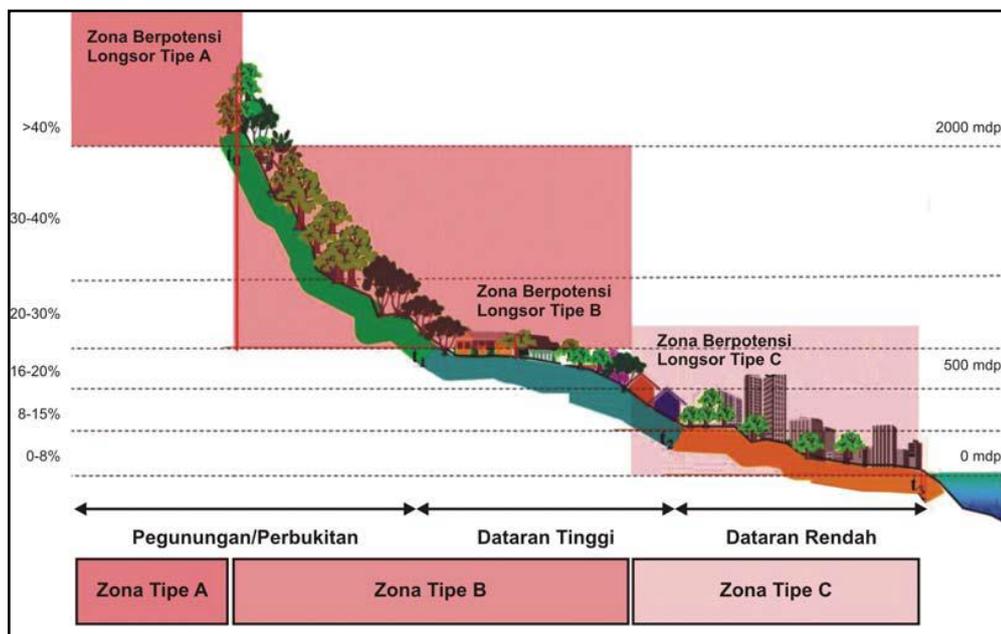


Gambar 2. Tipe – tipe gerakan tanah/ longsor (Kementerian ESDM -PVMBG, 2015)

Tipologi Kawasan Rawan Bencana Longsor Berdasarkan Penetapan Zonasi

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/2007* (Gambar 3), Kecamatan Klego Kabupaten Boyolali termasuk dalam zona berpotensi tipe B.



Gambar 3. Tipologi Zona Berpotensi Longsor (Departemen Pekerjaan Umum – Direktorat Jenderal Penataan Ruang, 2007)

Untuk 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. Nilai ini menunjukkan tingkat kerawanan pada masing-masing indikator (Tabel 1) untuk zona tipe B. Total nilai ini berkisar antara 1,00 sampai dengan 3,00.

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

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

Tabel 1. Kriteria dan Indikator Tingkat Kerawanan Untuk Zona Berpotensi Longsor Tipe B (Departemen Pekerjaan Umum – Direktorat Jenderal Penataan Ruang, 2007)

B1 : Kriteria Aspek Fisik Alami

No	Indikator	Bobot Indikator (%)	Servitas Tingkat Kerawanan	Verifer	Bobot Penilaian	Nilai Bobot Tertimbang Tingkat Kerawanan Longsor
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	Kemiringan Lereng	30%	Tinggi	Lereng relatif landai dengan kemiringan sekitar 36% - 40%.	3	0,90
			Sedang	Lereng dengan kemiringan landai (31% - 35%).	2	0,60
			Rendah	Lereng dengan kemiringan kurang dari 21% - 30%.	1	0,30
2	Kondisi Tanah	15%	Tinggi	Kondisi lereng tanah/batuan penyusun lereng : umumnya merupakan lereng yang tersusun oleh tanah lempung yang mudah mengembang apabila jenuh air (monmorillonit) dan terdapat bidang kontras dengan batuan dibawahnya.	3	0,45
			Sedang	Lereng tersusun oleh jenis tanah lempung yang mudah mengembang, tapi tidak ada bidang kontras dengan batuan di bawahnya.	2	0,30
			Rendah	Lereng tersusun oleh jenis tanah liat dan berpasir yang mudah, namun terdapat bidang kontras dengan batuan di bawahnya.	1	0,15
			Tinggi	Lereng tersusun oleh batuan dan terlihat banyak struktur retakan.	3	0,60
3	Batuan Penyusun Lereng	20%	Sedang	Lereng tersusun oleh batuan dan terlihat ada struktur retakan, tetapi lapisan batuan tidak miring ke arah luar lereng.	2	0,40
			Redah	Lereng tersusun oleh batuan dan tanah namun tidak ada struktur retakan/kekar pada batuan.	1	0,20

Tabel 1. Lanjutan

No	Indikator	Bobot Indikator (%)	Senvitas Tingkat Kerawanan	Verifer	Bobot Penilaian	Nilai Bobot Tertimbang Tingkat Kerawanan Longsor
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
4	Curah Hujan	15%	Tinggi	Curah hujan mencapai 70 mm/jam atau 100 mm/jam curah hujan tahunan mencapai lebih dari 2500 mm.	3	0,60
			Sedang	Curah hujan 30 - 70 mm/jam, berlangsung tidak lebih dari 2 jam dan hujan tidak setiap hari (1000 - 2000 mm).	2	0,40
			Rendah	Curah hujan kurang dari 30 - 70 mm/jam tidak lebih dari 2 jam dan hujan tidak setiap hari (kurang 1000 mm).	1	0,20
5	Tata Air Lereng	7%	Tinggi	Sering muncul rembesan-rembesan air atau mata air lereng, terutama pada bidang kontak antara batuan keap dengan lapisan tanah yang lebih <i>permeable</i> .	3	0,21
			Sedang	Jarang muncul rembesan-rembesan air atau mata air lereng, terutama pada bidang kontak antara batuan kedap dengan lapisan tanah yang lebih <i>permeable</i> .	2	0,14
			Rendah	Tidak terdapat rembesan air atau mata air pada lereng atau bidang kontak antara batuan kedap dengan lapisan tanah yang <i>permeable</i> .	1	0,07

Tabel 1. Lanjutan

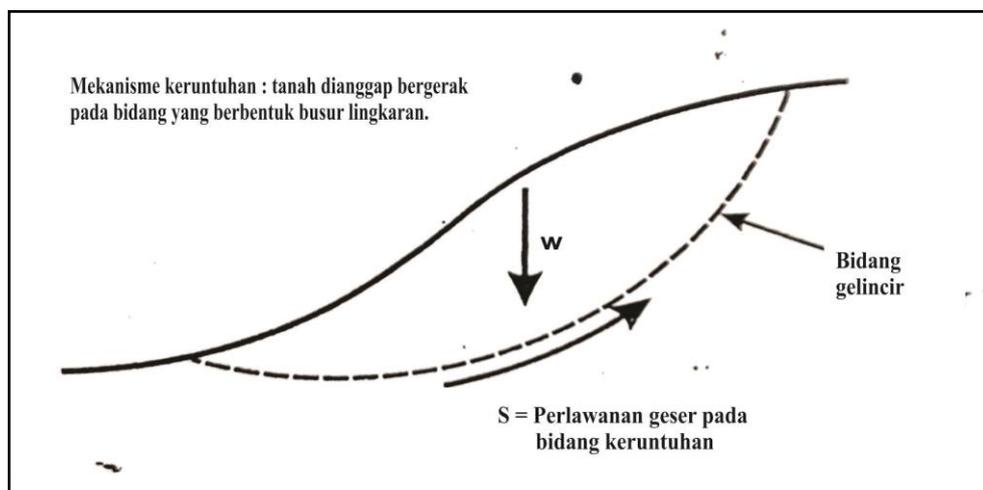
B1 : Kriteria Aspek Fisik Alami

No	Indikator	Bobot Indikator (%)	Senvitas Tingkat Kerawanan	Verifer	Bobot Penilaian	Nilai Bobot Tertimbang Tingkat Kerawanan Longsor
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
			Tinggi	Kawasan gempu.	3	0,09
6	Kegempuan	3%	Sedang	Frekuensi gempu jarang terjadi (1 -2 kali per tahun).	2	0,06
			Rendah	Lereng tidak termasuk daerah rawan gempu.	1	0,03
			Tinggi	Alang-alang, rumput-rumputan, tumbuhan, semak, perdu	3	0,03
			Sedang	Tumbuhan berdau jarum seperti cemara pinus.	2	0,02
7	Vegetasi	10%	Rendah	Tumbuhan berakar tunjang dengan perakaran menyebar seperti kemiri, laban, dlingsem, mindi, johar, bungur, banyan, mahoni, renghas, jati, kosambi, sonokeling, trengguli, tayuman, asam jawa dan pilang.	1	0,01
	Jumlah Bobot	100%				0,96 - 2,88 (1,00 - 3,00)

Prinsip Kestabilan Lereng

Keruntuhan akan terjadi jika tegangan geser melebihi kekuatan yang tersedia (Gambar 4). Kuat geser yang sebenarnya berlaku pada bidang keruntuhan pada lereng yang mantap akan lebih kecil dari kuat maksimum yang tersedia. Kemantapan lereng kemudian dinyatakan dengan istilah Faktor Keamanan, ditentukan sebagai berikut (Persamaan 2.1) (Wesley, 2010) :

$$FK = \frac{s}{s_m} \dots\dots\dots (2.1)$$



Gambar 4. 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, 1964 dalam Wesley, 2010). Dalam penelitian ini, analisis kemantapan lereng menggunakan analisis komputasi dengan 2 (dua) metode yaitu Metode Irisan Bishop yang Disederhanakan dan Metode Fellenius.

Kriteria nilai faktor keamanan lereng terhadap keruntuhan lereng pada penelitian ini dibagi menjadi dua kegunaan yaitu hubungan nilai faktor keamanan lereng dengan keruntuhan yang digunakan untuk analisis kemantapan lereng sebelum menggunakan beban dan sesudah menggunakan beban untuk melihat kejadian/ intensitas longsor, nilai FK yang dipakai adalah kriteria menurut Bowles

(1989), sedangkan kriteria nilai FK yang dipakai sebagai rekomendasi ketika menggunakan beban adalah kriteria nilai FK yang direkomendasikan oleh Departemen Pekerjaan Umum – Pedoman Konstruksi dan Bangunan (2005).

Tabel 2. Hubungan nilai faktor keamanan lereng dengan intensitas longsor (Bowles, 1989 dalam Zakaria, Geoteknik-D1F322, 2011)

Nilai Faktor Keamanan	Kejadian/ Intensitas Longsor
F kurang dari 1,07	Longsor terjadi biasa/ sering (lereng labil)
F antara 1,07 sampai 1,25	Longsor pernah terjadi (lereng kritis)
F diatas 1,25	Longsor jarang terjadi (lereng relatif stabil)

Tabel 3. Rekomendasi nilai faktor keamanan untuk lereng (Departemen Pekerjaan Umum – Pedoman Konstruksi dan Bangunan, 2005).

		Resiko terhadap nyawa manusia	Rekomendasi nilai faktor keamanan terhadap resiko kehilangan nyawa manusia		
			Tak diperhatikan	Rendah	Tinggi
Resiko Ekonomis					
Rekomendasi nilai faktor keamanan terhadap resiko kehilangan secara ekonomis	Diabaikan		1.1	1.2	1.5
	Rendah		1.2	1.2	1.5
	Tinggi		1.4	1.4	1.5
Catatan :					
<ol style="list-style-type: none"> Meskipun nilai faktor keamanan lerengnya 1,4, jika beresiko tinggi terhadap keselamatan orang-orang disekitarnya maka harus diubah menjadi 1.1 berdasarkan hasil prediksi kondisi air tanah terburuk. Faktor keamanan yang tercantum di dalam tabel ini adalah nilai-nilai yang direkomendasikan. Faktor keamanan yang lebih tinggi atau lebih rendah mungkin saja terjamin keamanannya pada situasi-situasi khusus dalam hubungannya dengan resiko kehilangan secara ekonomis. 					

Keterangan : 1.5 Rekomendasi nilai FK yang digunakan dalam penelitian.

Hal yang perlu dipertimbangkan dalam penentuan kriteria faktor keamanan adalah resiko yang dihadapi. Secara umum, beban tambahan (*surcharge load*) yang digunakan untuk memperhitungkan beban permukaan yang bekerja pada permukaan atas lereng adalah 10 kN/m^2 (Tabel 4) (Departemen Pekerjaan Umum – Pedoman Konstruksi dan Bangunan, 2005).

Tabel 4. Beban lalu lintas dan beban diluar jalan untuk analisis stabilitas (Departemen Pekerjaan Umum – Pedoman Konstruksi dan Bangunan, 2005)

Kelas Jalan	Beban lalu lintas (kPa)	Beban diluar jalan (*) (kPa)
I	15	10
II	12	10
III	12	10

Keterangan : (*) Beban dari rumah-rumah sekitar lereng

Nilai beban tambahan yang digunakan dalam penelitian

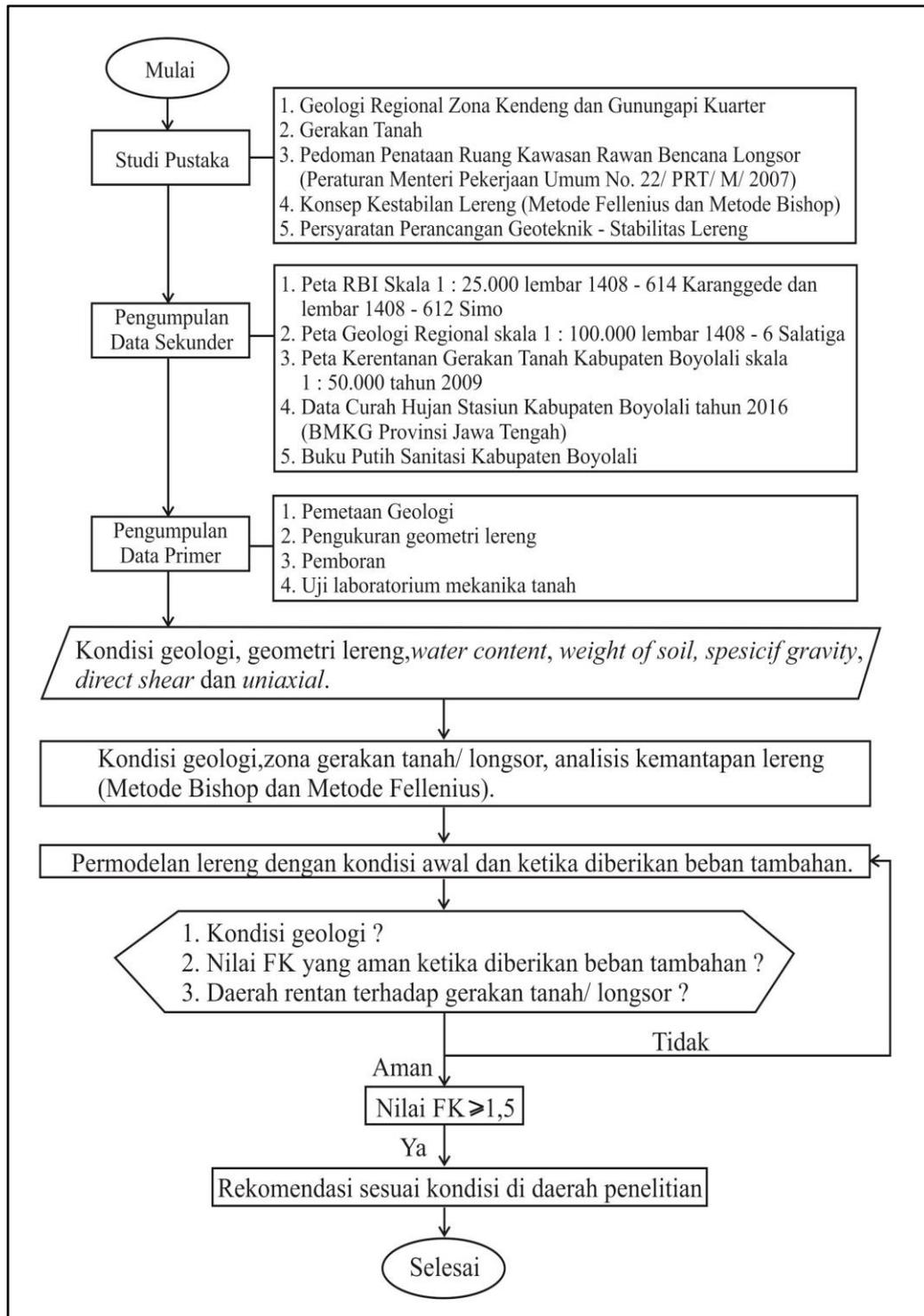
Upaya Penanggulangan Gerakan Tanah

Berikut dibawah ini adalah upaya penanggulangan dan pengendalian yang sesuai dengan kondisi di Kecamatan Klego, yakni :

1. Penanggulangan melalui rekayasa keteknikan
 - a. Mengubah geometri lereng yaitu dengan melandaikan lereng yang curam
 - b. Membuat parit permukaan yaitu diletakkan di bagian atas lereng pada bagian tanah lereng yang stabil.
 - c. Membuat dinding penahan dari batuan yaitu sebagai peyangga di bawah kaki lereng.
2. Pengendalian pemanfaatan ruang kawasan rawan bencana tanah longsor
 - a. Melakukan perlindungan sistem hidrologi kawasan dengan tetap mempertahankan pohon-pohon asli adan atau menanam kembali pohon-pohon asli.
 - b. Tidak layak dalam pembangunan industri/ pabrik, boleh dibangun hunian dan kegiatan transportasi lokal, boleh dilaksanakan kegiatan pertanian dan perkebunan (bersyarat).

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Adapun tahapan penelitian dapat dilihat pada diagram alir penelitian dibawah ini (Gambar 5).



Gambar 5. Diagram alir penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemetaan Geologi

Berikut dibawah ini adalah informasi geologi yang telah terkumpul dari hasil pemetaan geologi di Kecamatan Klego, Kabupaten Boyolali (Gambar 9) yaitu :

1. Jenis Litologi

a. Satuan Batulanau

Sekitar 30% daerah di Kecamatan Klego tersusun oleh Satuan Batulanau. Menurut Sukardi dan Budhistira (1992), satuan batulanau ini termasuk dalam Formasi Kerek. Satuan batuan ini mempunyai ciri-ciri berupa warna dominan abu-abu keputihan (*fresh*) dan warna coklat terang (lapuk), struktur perlapisan yang bervariasi, ukuran antara pasir sedang – lanau (Wentworth, 1922). Lapukan litologi ini adalah tanah lempung pasir. Kenampakan pada satuan ini berupa perlapisan yang relatif datar - miring, dengan dip relatif 60^0 ke atas. Pada satuan ini keterdapat struktur tidak terlalu banyak ditemui, hanya struktur geologi berupa perlapisan batuan.

b. Satuan Breksi Piroklastik

Sekitar 30% daerah di Kecamatan Klego tersusun oleh Satuan Breksi Piroklastik. Menurut Sukardi dan Budhistira (1992), satuan breksi piroklastik ini termasuk dalam Formasi Notopuro. Satuan Breksi ini mempunyai ciri-ciri warna dominan coklat kehitaman (*fresh*) dan warna lapuk adalah warna hitam, ukuran fragmen kerikil – bongkah (Wentworth, 1922), dengan bentuk fragmen yang bervariasi dari *sub – rounded* hingga *angular*. Sifat fisik dari batuan ini adalah kompak dan memiliki sortasi yang buruk, kehadiran matrik lebih dominan daripada fragmen, dimana matriknya terdiri dari material tuff. Hasil pelapukan dari satuan batuan ini adalah tanah pasir lempungan dan berwarna merah gelap.

c. Satuan Breksi Laharik

Sekitar 30% daerah di Kecamatan Klego tersusun oleh Satuan Breksi Laharik. Menurut Sukardi dan Budhistira (1992), satuan breksi laharik ini termasuk dalam Formasi Gunungapi Kuarter Merbabu. Satuan Breksi ini mempunyai ciri-ciri berupa warna dominan coklat (*fresh*) dan warna lapuk adalah warna coklat gelap kemerah-merahan, ukuran fragmen kerikil – bongkah (Wentworth, 1922), dengan bentuk fragmen yang bervariasi dari *sub – rounded* hingga *angular*. Sifat fisik dari batuan ini adalah kompak dan memiliki sortasi yang buruk, kehadiran fragmen lebih dominan daripada matrik, dimana matriknya terdiri dari batu andesit. Hasil pelapukan dari satuan batuan ini berwarna merah pekat.

d. Endapan Alluvium

Sekitar 10% daerah di Kecamatan Klego tersusun oleh Satuan Endapan Alluvium. Menurut Sukardi dan Budhistira (1992), satuan endapan ini termasuk dalam endapan permukaan. Satuan endapan alluvium ini merupakan satuan yang terdiri dari material lepasan dari hasil pelapukan batuan sekitar, dimana persebaran dari batuan ini meliputi daerah tebingan sungai. Satuan ini mempunyai ciri-ciri terdiri dari lanau, pasir, kerikil sampai berangkal. Pada satuan ini, tidak terdapat struktur geologi, karena berada pada daerah yang datar. Hasil pelapukan dari satuan ini bermacam-macam karena materialnya berasal dari batuan sumber yang berbeda-beda.

2. Struktur Geologi

Struktur geologi yang ditemukan di Kecamatan Klego mayoritas adalah struktur geologi berupa perlapisan batuan yang telah mengalami pelapukan. Selain struktur perlapisan batuan juga ditemukan, struktur geologi berupa struktur sesar geser sinistral yang masih terlihat jelas dan memiliki strike dan dip $N 325^{\circ} E/52^{\circ}$, serta bersifat minor. Struktur tersebut ditemukan di sungai utama antara Desa Gondanglegi dan Klego.

3. Lokasi Gerakan Tanah/ Longsor

Gejala longsor di ke-5 titik lokasi tersebut, terletak di dekat pemukiman warga, jalan penghubung antar Desa, jalan setapak yang menghubungkan warga dengan persawahan dan perkebunan warga. Jika melihat kondisi di lapangan, terdapat dua tipe gejala longsor yang di interpretasikan sebagai gerakan tanah/ longsor tipe Longsor Rotasional dan Runtuhan Batu. Tipe longsor Rotasional terdapat di Dkh. Gondanglegi-Ds. Gondanglegi, Dkh. Bulu-Ds. Tanjung, Dkh. Ngemplak-Ds. Tanjung dan Dkh. Penggung-Ds. Karanggatak, yaitu pergerakan massa tanah atau batuan pada bidang gelincir berbentuk cekung. Kemudian, tipe Runtuhan Batu terdapat di Dkh. Sendangrejo-Ds. Sendangrejo, yaitu luncuran jatuh bebas massa batuan akibat gravitasi. Pada longsor, massa yang berpindah dari tempat semula dan terpisah dari massa tanah yang teguh. Hal ini didukung oleh kondisi litologi pada gejala longsor yang homogen. Gejala longsor dengan tipe-tipe tersebut terjadi pada waktu yang relatif cepat sampai sangat cepat dan bertipe setempat.



Gambar 6. Gejala Longsor di Dukuh Gondanglegi, Desa Gondanglegi



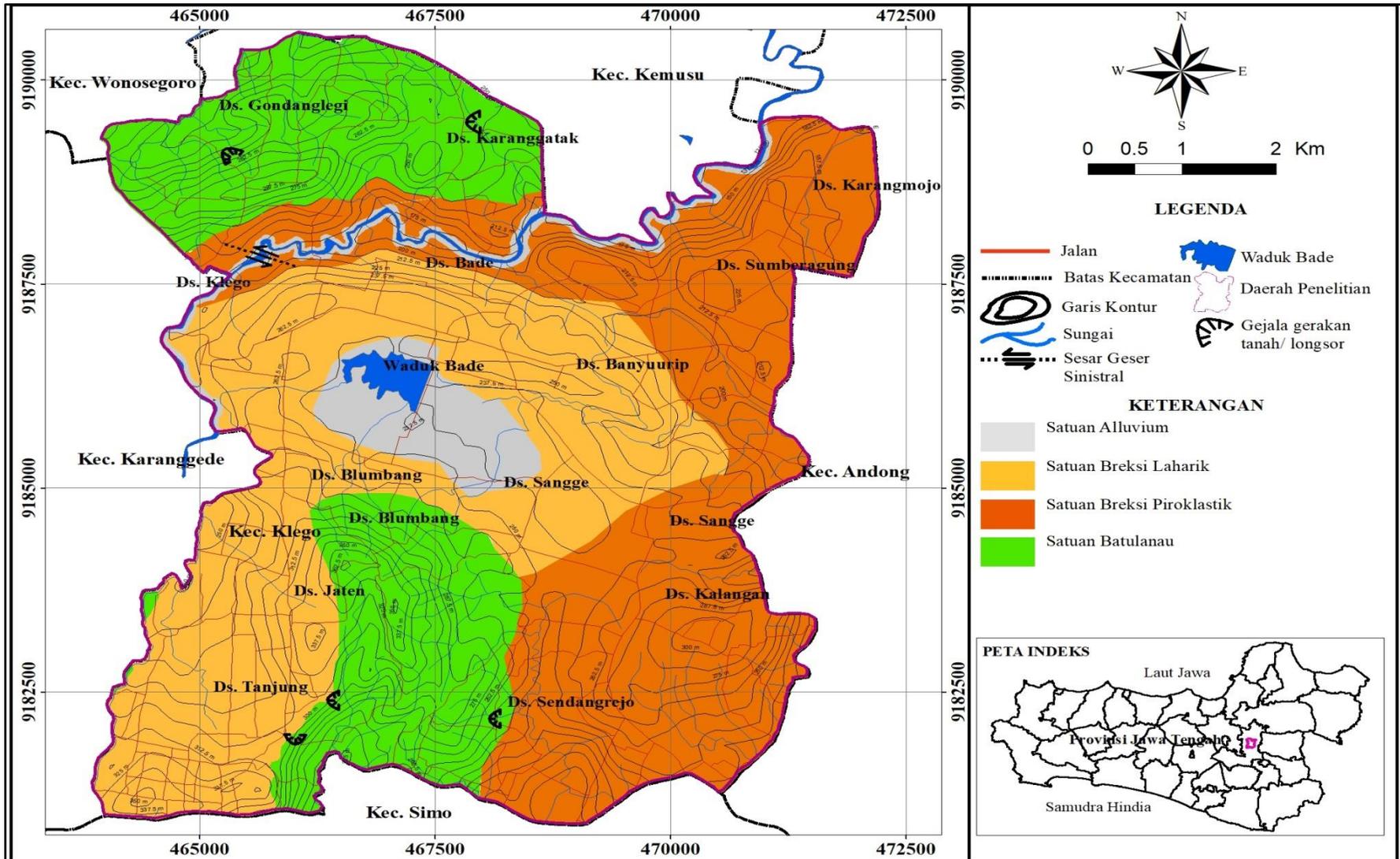
Gambar 7. Gejala Longsor di Dukuh Ngemplak, Desa Tanjung



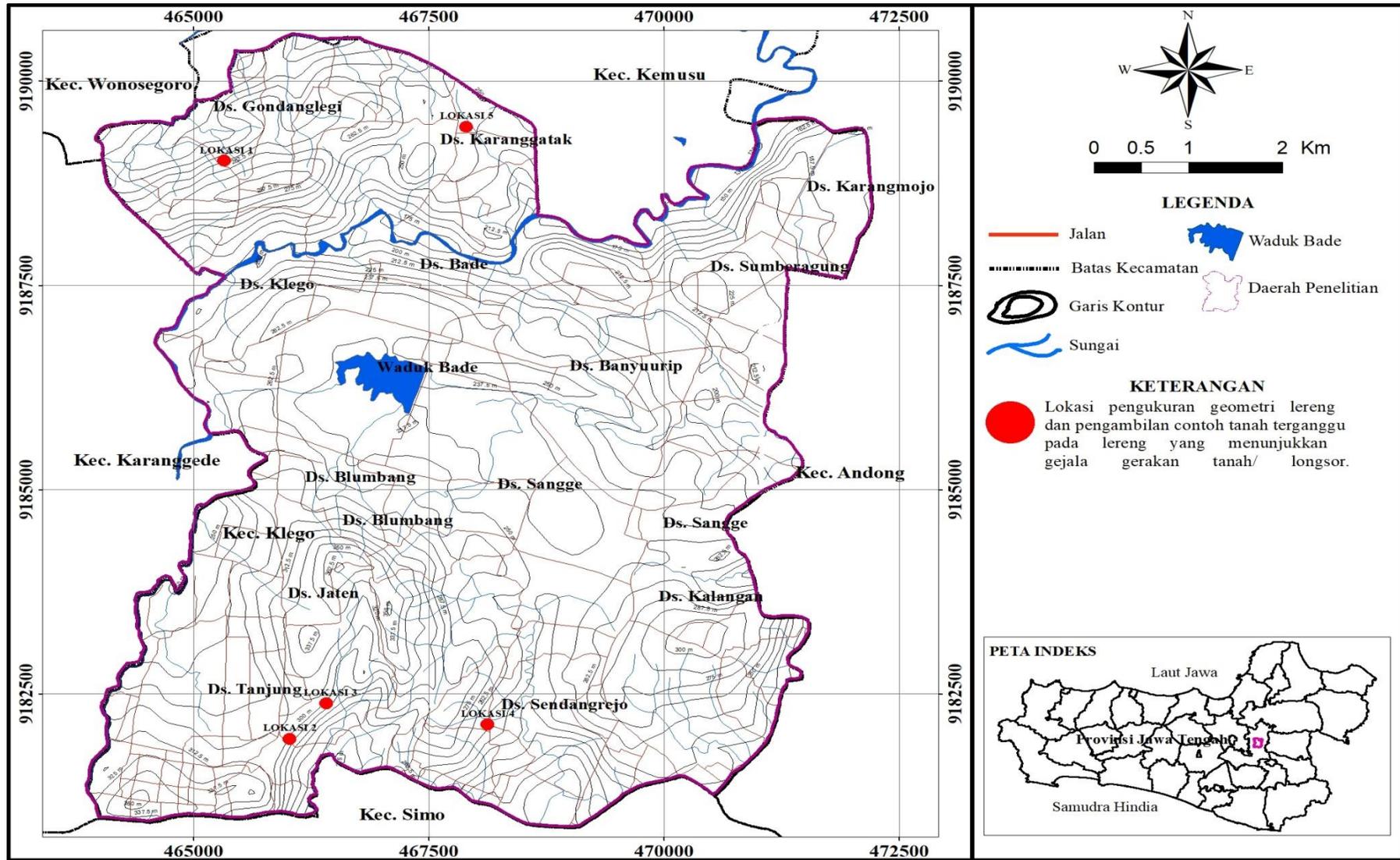
Gambar 8. Gejala Longsor di Dukuh Sendangrejo, Desa Sendangrejo



Gambar 9. Gejala Longsor di Dukuh Penggung, Desa Karanggatak



Gambar 9. Peta Geologi Kecamatan Klego, Kabupaten Boyolali



Gambar 10. Peta Lokasi Pengambilan Contoh Tanah dan Pengukuran Geometri Lereng di Daerah Penelitian

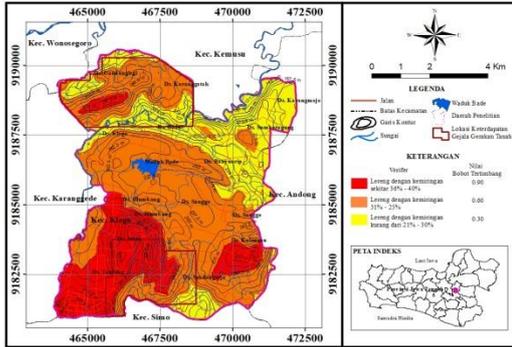
Zona Gerakan Tanah/ Longsor

Penilaian terhadap tingkat kerawanan Zona Berpotensi Longsor Tipe B berdasarkan aspek alami yang meliputi kemiringan lereng, kondisi tanah, batuan penyusun lereng, tata air lereng, curah hujan, vegetasi dan kegempaan, dilakukan dengan menjumlahkan nilai bobot tertimbang dari 7 (tujuh) indikator. Hasil dari penjumlahan nilai bobot tertimbang menghasilkan pengkelasan kriteria tingkat kerawanan zona berpotensi longsor, dengan nilai tertinggi 2.13 dan terendah 0.96. Berikut adalah kelas kriteria tingkat kerawanan zona berpotensi longsor di Kecamatan Klego yaitu :

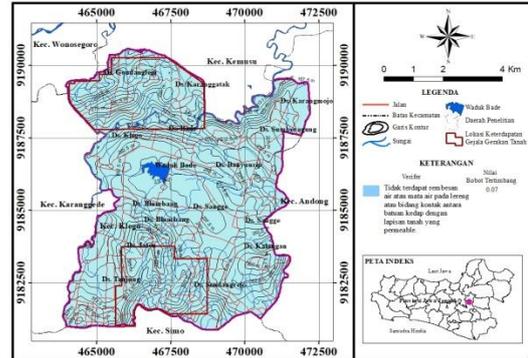
- a. Kawasan dengan tingkat kerawanan tinggi merupakan kawasan dengan potensi yang tinggi untuk mengalami gerakan tanah/ longsor, memiliki kemiringan lereng 25% - 40% ($18^0 - 25^0$) dengan perbedaan ketinggian 200 – 500 meter. Total nilai bobot tertimbang 2.40 – 3.00.
- b. Kawasan dengan tingkat kerawanan sedang merupakan kawasan dengan potensi yang juga tergolong tinggi untuk mengalami gerakan tanah/ longsor, memiliki kemiringan lereng 8% - 16% (berkisar $6^0 - 9^0$ dengan perbedaan ketinggian yang tidak beda jauh dari daerah tingkat kerawanan tinggi. Total nilai bobot tertimbang 1,70 – 2,39.
- c. Kawasan dengan tingkat kerawanan rendah merupakan kawasan yang berpotensi terjadinya gerakan tanah/ longsor tergolong rendah, memiliki kemiringan lereng 21% - 30% ($10^0 - 16^0$) dengan perbedaan ketinggian 75 – 300 meter, namun tidak ada resiko terjadinya korban jiwa terhadap manusia dan bangunan. Total nilai bobot tertimbang 1,00 – 1,69.

Berikut dibawah ini adalah 7 (tujuh) peta kriteria dan indikator tingkat kerawanan untuk zona berpotensi longsor tipe B yang menunjukkan setiap parameter dalam proses pembagian zona potensi gerakan tanah/ longsor di Kecamatan Klego, Kabupaten Boyolali, yakni :

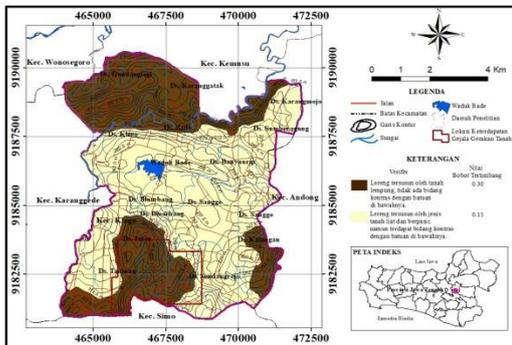
1. **Peta Kriteria dan Indikator Kemiringan Lereng**



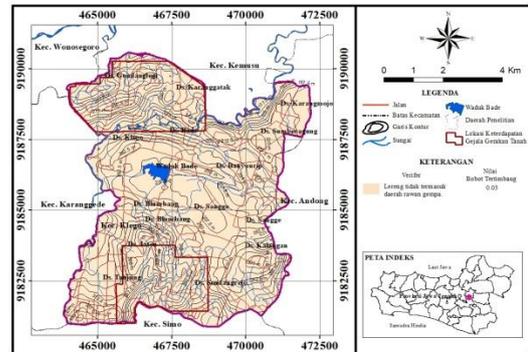
5. **Peta Kriteria dan Indikator Tata Air Lereng**



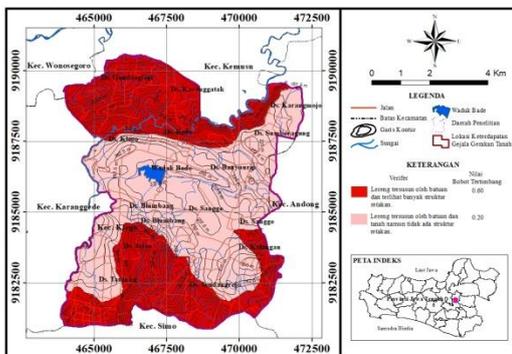
2. **Peta Kriteria dan Indikator Kondisi Tanah**



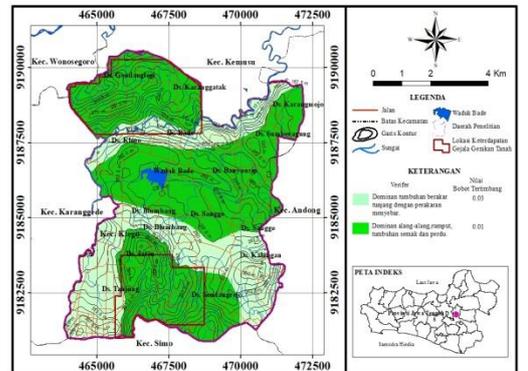
6. **Peta Kriteria dan Indikator Kegempaan**



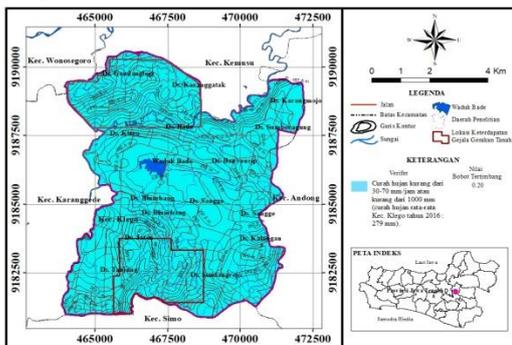
3. **Peta Kriteria dan Indikator Batuan Penyusun Batuan**



7. **Peta Kriteria dan Indikator Vegetasi**



4. **Peta Kriteria dan Indikator Curah Hujan**



Hasil Analisis Kemantapan Lereng

Lokasi rencana analisis kemantapan lereng adalah lokasi yang telah mengalami gejala gerakan tanah/ longsor dan merupakan lokasi tempat pengambilan contoh tanah untuk keperluan uji laboratorium yang terdapat di daerah bagian utara (Desa Gondanglegi dan Desa Karangatak) dan bagian selatan (Desa Tanjung dan Desa Sendangrejo) Kecamatan Klego.

Dalam analisis kemantapan lereng ini, digunakan *software Slide Ver. 6.0* dengan metode analisis menggunakan metode Bishop dan metode Fellenius (*Ordinary*). Analisis dilakukan pada 5 (lima) titik lokasi gejala gerakan tanah/ longsor, untuk mengetahui nilai faktor keamanan yang aman ketika diberikan beban tambahan.

Kriteria nilai FK sebelum dan sesudah menggunakan beban tambahan terbagi menjadi 3 kelompok yang ditinjau dari intensitas kelongsorannya yaitu FK < 1,07 tergolong lereng labil, FK 1,07 sampai 1,25 tergolong lereng kritis dan FK > 1,25 tergolong lereng relatif stabil (Bowles, 1989 dalam Zakaria, Geoteknik-D1F322, 2011). Kriteria perencanaan untuk pekerjaan penanggulangan keruntuhan lereng meliputi faktor keamanan dan pembebanan. Faktor keamanan yang direkomendasikan adalah 1,5 yang dilihat dengan mempertimbangkan akibat yang ditimbulkan oleh adanya pembebanan pada lereng terhadap adanya korban jiwa dan atau kerugian secara ekonomis (Departemen Pekerjaan Umum – Pedoman Konstruksi dan Bangunan, 2005). Kriteria pembebanan dalam analisis stabilitas lereng harus mempertimbangkan beban lalu lintas, diluar lalu lintas dan gempa. Beban tambahan (*surchage load*) yang digunakan dalam analisis ini adalah sebesar 10 kN/m², besar nilai beban yang digunakan merupakan nilai beban diluar jalan atau beban dari bangunan rumah-rumah sekitar lereng (Departemen Pekerjaan Umum – Pedoman Konstruksi dan Bangunan, 2005) dan sesuai dengan kondisi dilapangan (daerah penelitian).

Adapun tiga parameter utama dari hasil uji material di laboratorium (Tabel 5) yang digunakan dalam analisis kemantapan lereng di daerah penelitian, dimana ketiga data tersebut merupakan data utama yang dibutuhkan pada *software Slide Ver. 6.0*. Data utama tersebut adalah nilai berat isi material dalam keadaan basah

(γ_{Wet}), kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ). Sebelum melakukan analisis, nilai satuan berat isi dan kohesi harus dikonversikan, karena hasil uji laboratorium menggunakan satuan kg/cm^3 untuk nilai berat isi dan g/cm^3 untuk nilai kohesi, sedangkan dalam analisis *Slide. 6.0* menggunakan satuan kN/m^3 .

Tabel 5. Sifat Keteknikan Material Tanah/ Batuan

No.	Lokasi Gejala Gerakan Tanah/ Longsor	Sifat Keteknikan Material Tanah/ Batuan
1.	Dkh. Gondanglegi, Ds. Gondanglegi	$\gamma = 16,5 \text{ kN/m}^3$, $C = 19,3 \text{ kN/m}^2$, $\phi = 22,20^\circ$
2.	Dkh. Bulu, Ds. Tanjung	$\gamma = 15,8 \text{ kN/m}^3$, $C = 10,2 \text{ kN/m}^2$, $\phi = 27,14^\circ$
3.	Dkh. Ngemplak, Ds. Tanjung	$\gamma = 15,8 \text{ kN/m}^3$, $C = 10,2 \text{ kN/m}^2$, $\phi = 27,14^\circ$
4.	Dkh. Sendangrejo, Ds. Sendangrejo	$\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$, $C = 133 \text{ kN/m}^2$, $\phi = 18,092^\circ$
5.	Dkh. Penggung, Ds. Karanggatak	$\gamma = 17,4 \text{ kN/m}^3$, $C = 17,8 \text{ kN/m}^2$, $\phi = 8,55^\circ$

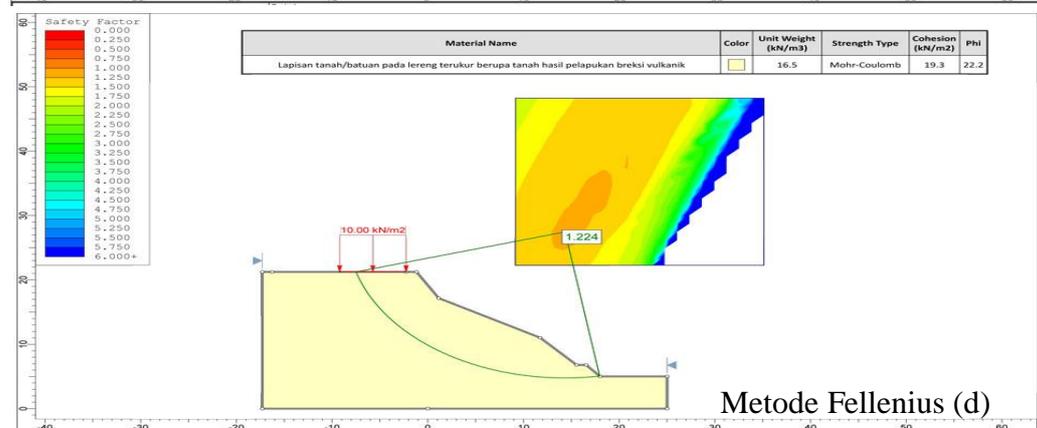
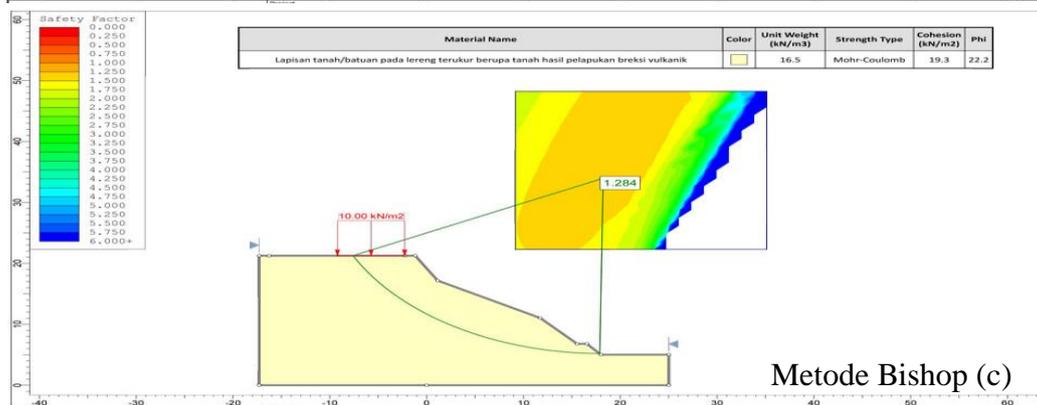
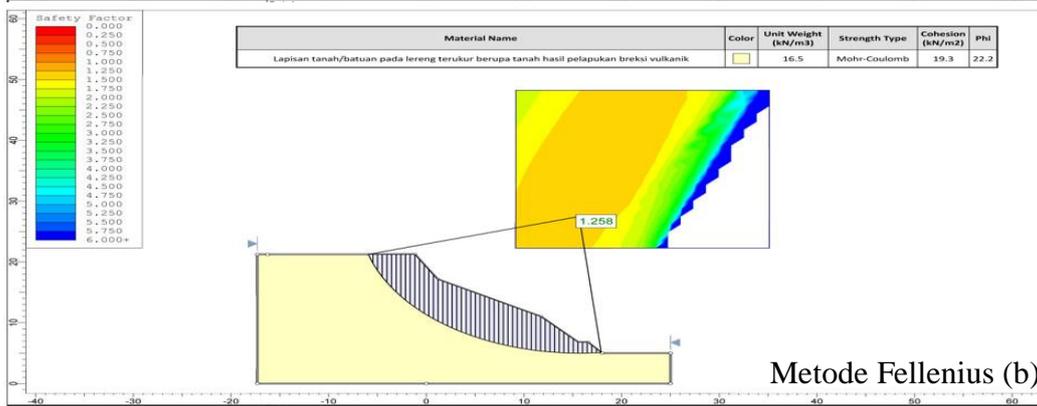
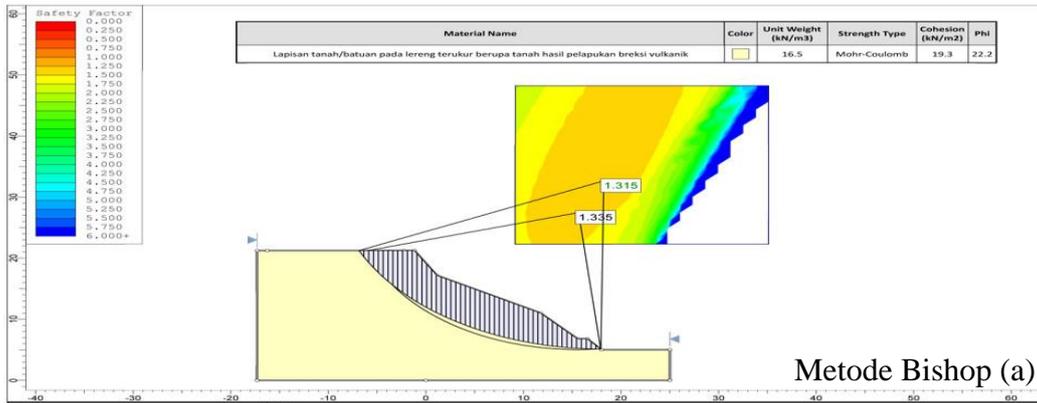
Berdasarkan hasil analisis menggunakan *software Slide Ver. 6.0* pada 5 (lima) titik lokasi gejala gerakan tanah/ longsor, kondisi lereng pada setiap lokasi (Tabel 6) adalah kondisi yang menunjukkan keadaan lereng sebelum dan sesudah menggunakan beban tambahan, dimana nilai FK yang dihasilkan dari ke-5 titik lokasi menunjukkan kondisi lereng yang berbeda-beda (sebagai acuan dari hasil analisis ditunjukkan pada Gambar 12, 13 dan 14). Kondisi lereng relatif stabil adalah kondisi lereng dengan intensitas terjadinya gerakan tanah/ longsor tergolong jarang terjadi, kondisi lereng tersebut terdapat pada Dkh. Gondanglegi - Ds. Gondanglegi, Dkh. Bulu - Ds. Tanjung dan Dkh. Sendangrejo - Ds. Sendangrejo, tetapi pada kondisi jika menggunakan beban tambahan, lereng di Dkh. Gondanglegi - Ds. Gondanglegi dan Dkh. Bulu - Ds. Tanjung tergolong tidak aman. Kemudian, untuk kondisi lereng labil adalah kondisi yang dengan intensitas terjadinya gerakan tanah/ longsor tergolong biasa/ sering terjadi, kondisi lereng tersebut terdapat pada Dkh. Ngemplak - Ds. Tanjung dan Dkh. Penggung - Ds. Karanggatak, lereng-lereng tersebut tidak labil baik pada penggunaan beban tambahan. Walaupun lereng di 4 (empat) titik relatif stabil tetapi tidak menutup kemungkinan untuk mengalami gerakan tanah/ longsor, karena gejala fisik yang

terlihat di lapangan menunjukkan bahwa lereng-lereng tersebut bersifat rentan untuk bergerak.

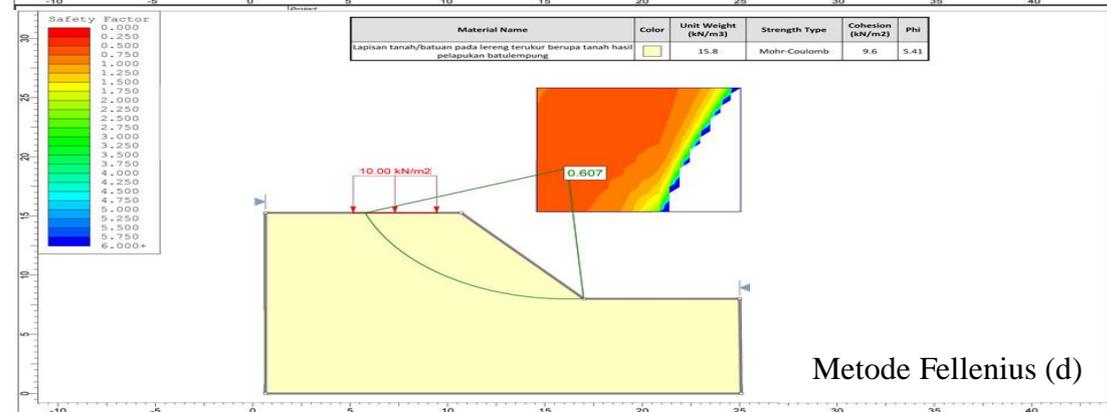
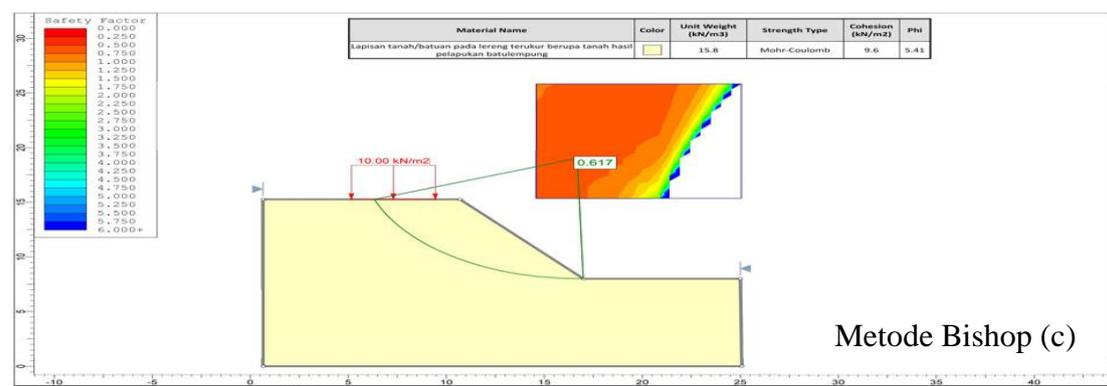
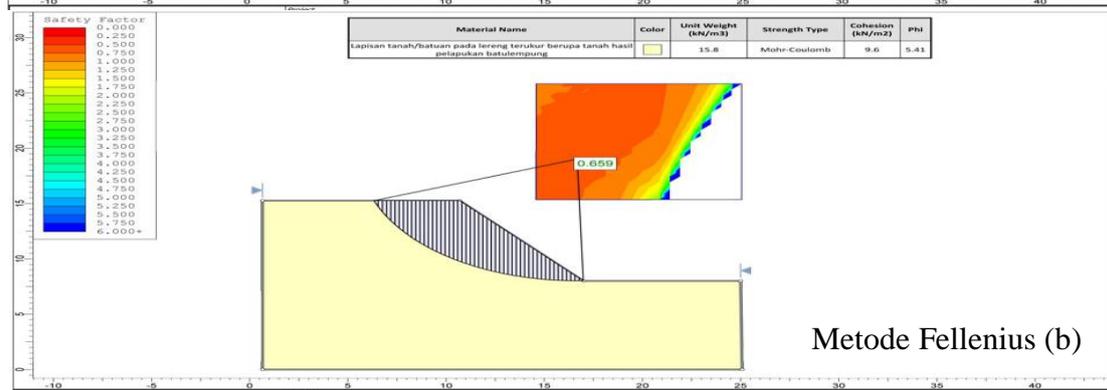
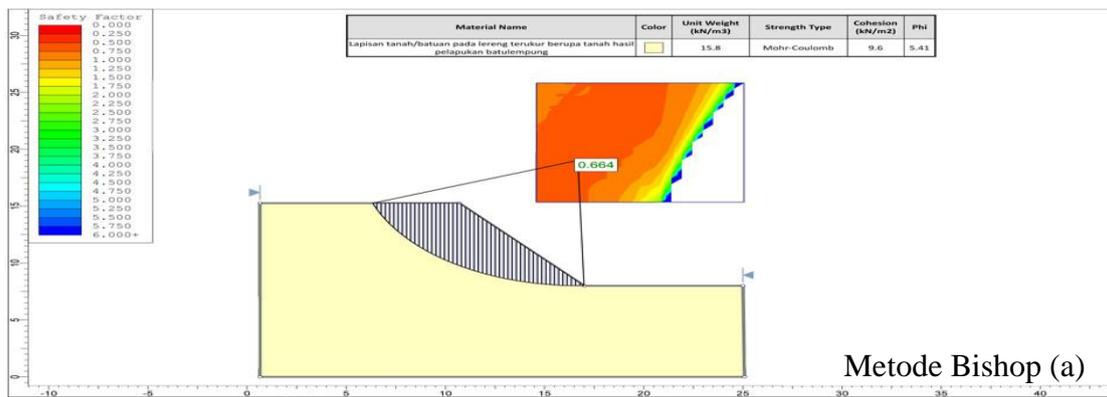
Tabel 6. Nilai Faktor Keamanan Sebelum dan Sesudah Menggunakan Beban Tambahan

No.	Lokasi	Nilai FK (kondisi tidak menggunakan beban)	Kondisi/Intensitas Longsor	Nilai FK (kondisi menggunakan beban tambahan)
1.	Dkh. Gondanglegi, Ds. Gondanglegi	1,32-1,26	Lereng relatif stabil	1,28 -1,22
2.	Dkh. Bulu, Ds. Tanjung	1,68-1,65	Lereng relatif stabil	1,54-1,49
3.	Dkh. Ngemplak, Ds. Tanjung	0,66-0,65	Lereng labil	0,62-0,61
4.	Dkh. Sendangrejo, Ds. Sendangrejo	6,45-6,52	Lereng relatif stabil	5,68-5,71
5.	Dkh. Penggung, Ds. Karangatak	0,71-0,73	Lereng labil	0,66-0,68

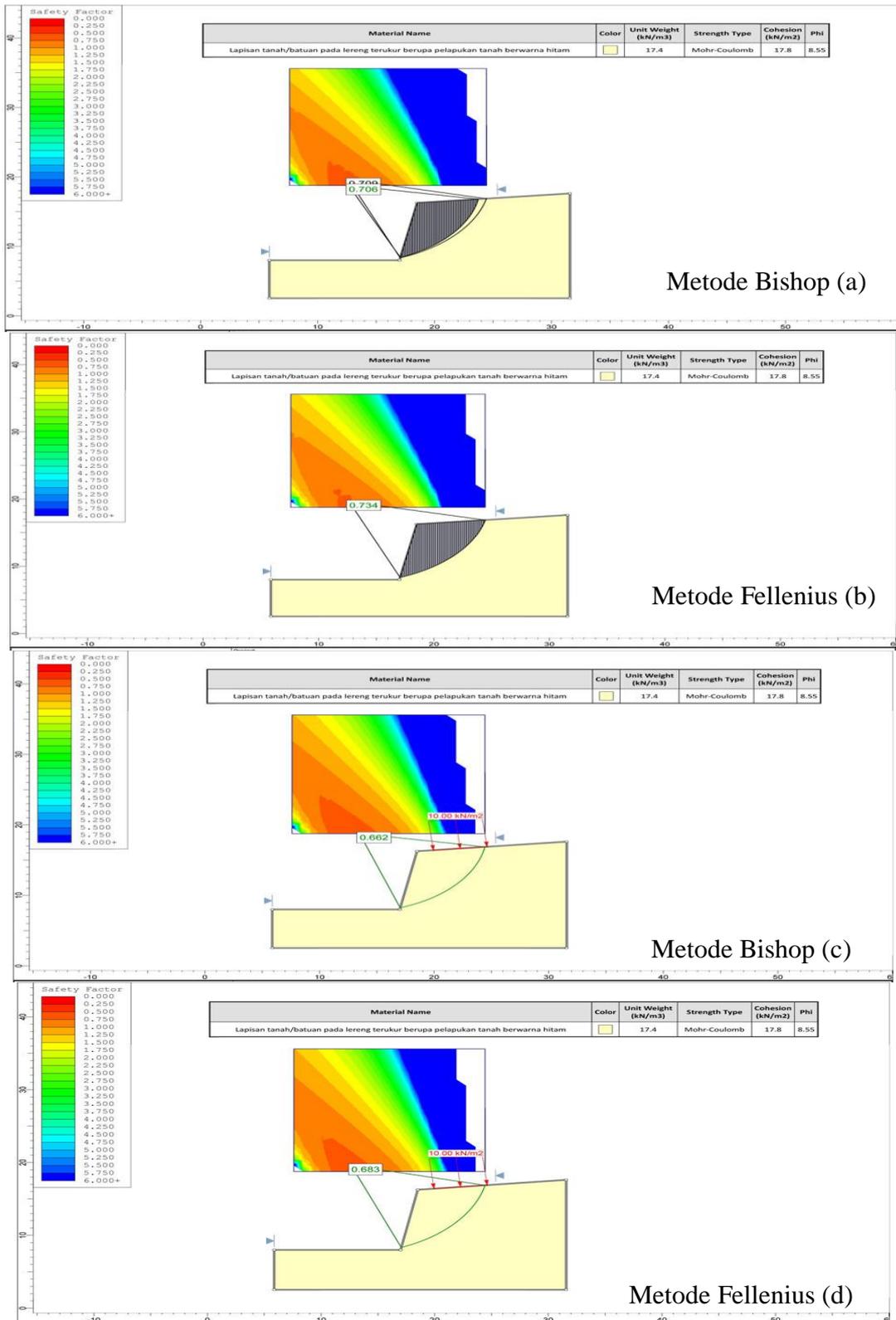
Melihat kondisi geologi, kemiringan lereng dan juga kondisi pengontrol lainnya yang ada di Kecamatan Klego, maka nilai FK yang aman ketika suatu lereng di Kecamatan Klego menggunakan beban tambahan adalah direkomendasikan sebesar 1,5. Jika pada lereng nilai FK - nya kurang dari 1,5, maka tidak direkomendasikan untuk adanya proses pembangunan karena resiko kerugian baik terhadap nyawa, harta dan benda warga sekitarnya sangat besar.



Gambar 12. Analisis kestabilan lereng menggunakan Metode Bishop dan Metode Fellenius di Dkh. Gondanglegi, Ds. Gondanglegi ; (a,b) kondisi awal ; (c,d) menggunakan beban tambahan.



Gambar 13. Analisis kestabilan lereng menggunakan Metode Bishop dan Metode Fellenius di Dkh. Ngemplak, Ds. Tanjung ; (a,b) kondisi awal ; (c,d) menggunakan beban tambahan.



Gambar 14. Analisis kestabilan lereng menggunakan Metode Bishop dan Metode Fellenius di Dkh. Penggung, Ds. Karangtatak ; (a,b) kondisi awal ; (c,d) menggunakan beban tambahan.

Faktor-Faktor Penyebab Gerakan Tanah di Daerah Penelitian

Berdasarkan analisis kestabilan lereng yang dilakukan, diketahui bahwa area yang rawan akan gerakan tanah/ longsor jika diurutkan dari yang sangat rawan-rawan-aman adalah Dkh. Ngemplak Ds. Tanjung, Dkh Penggung Ds. Karanggatak, Dkh. Gondanglegi Ds. Gondanglegi, Dkh. Bulu Ds. Tanjung dan Dkh. Sendangrejo Ds. Sendangrejo. Dari pengamatan langsung di lapangan juga diketahui juga adanya gejala gerakan tanah/ longsor pada area tersebut. Area rawan tersebut memang termasuk dalam daerah zona gerakan tanah/ longsor tingkat tinggi.

Berikut faktor yang bersifat sebagai pengontrol dalam menyebabkan gerakan tanah/ longsor di Kecamatan Klego, Kabupaten Boyolali, yaitu :

- a. Faktor Penyebab : Kemiringan lereng, material penyusun lereng
- b. Faktor Pemicu : Infiltrasi air ke dalam lereng secara berlebihan, aktivitas manusia (tidak terlalu berpengaruh).

Rekomendasi

Upaya penanggulangan dan pengendalian yang sesuai dengan kondisi di Kecamatan Klego, yakni :

1. Penanggulangan melalui rekayasa keteknikan
 - a. Mengubah geometri lereng yaitu dengan melandaikan lereng yang curam
 - b. Membuat parit permukaan yaitu diletakkan di bagian atas lereng pada bagian tanah lereng yang stabil.
 - c. Membuat dinding penahan dari batuan yaitu sebagai peyangga di bawah kaki lereng.
2. Pengendalian Pemanfaatan Ruang Kawasan Rawan Bencana Gerakan Tanah/ Longsor.
 - a. Melakukan perlindungan sistem hidrologi kawasan, dengan tetap mempertahankan pohon- pohon asli dan pohon-pohon berakar tunggang yang sudah ada
 - b. Tidak layak dalam pembangunan industri/ pabrik, boleh dibangun hunian dan kegiatan transportasi lokal, boleh dilaksanakan kegiatan pertanian dan perkebunan (bersyarat).

BAB V KESIMPULAN

Kesimpulan

1. Kondisi geologi, terdiri dari :
 - a. Jenis litologi : Satuan Batulanau, Satuan Breksi Laharik, Satuan Breksi Piroklastik dan Endapan Alluvium.
 - b. Struktur Geologi : Perlapisan batuan dan Sesar Geser Sinistral N 325 E/ 52^0
 - c. Terdapat 5 titik lokasi gerakan tanah/ longsor.
2. Faktor penyebab dan pemicu terjadinya gerakan tanah/ longsor :
 - c. Faktor Penyebab : Kemiringan lereng, material penyusun lereng
 - d. Faktor Pemicu : Infiltrasi air ke dalam lereng secara berlebihan, aktivitas manusia (tidak terlalu berpengaruh).
3. Terdapat 3 zona rawan berpotensi longsor Tipe B :
 - a. Zona Tinggi meliputi dengan kemiringan 25%-40%
 - b. Zona Sedang meliputi daerah kemiringan 8%-16%
 - c. Zona Rendah meliputi daerah kemiringan 21%-31%
4. Nilai Faktor Keamanan yang aman ketika di berikan beban adalah sebesar 1,5

Saran

Kecamatan Klego, Kabupaten Boyolali, Jawa Tengah merupakan kawasan yang rentan terhadap bahaya gerakan tanah/ longsor, khususnya untuk daerah yang berada di bagian perbukitan-perbukitan (bagian utara dan selatan Kecamatan Klego), maka untuk melakukan pencegahan pada lereng yang tidak stabil dan atau yang kritis, harus dilakukan dengan membuat parit permukaan pada bagian lereng yang jauh dari lereng tidak stabil, kemudian mengubah geometri lereng dengan memindahkan bagian yang tidak stabil dan membuat dinding penahan berstruktur batuan pada kaki lereng, melihat rekayasa keteknikan tersebut lebih mudah dari segi biaya, keterdapatannya bahannya dan juga proses pelaksanaannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Geologi, Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, 2015, *Buklet Gerakan Tanah*, Bandung : Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Bemmelen, V.R.W., 1949, *The Geology Of Indonesia Volume IA*, *Government Printing Office, The Hague*.
- Das, M.B., 1985 dalam Endah, N., dan Mochtar, B.I., 1994, *MEKANIKA TANAH (Prinsip – prinsip Rekayasa Geoteknis)*, Jilid 2, Jakarta : PT Gelora Aksara Pratama.
- Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Penataan Ruang, 2007, *Pedoman Penataan Ruang Kawasan Rawan Bencana Longsor – Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 22/ PRT/ M/ 2007*, Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum, 2005, *Pedoman Konstruksi dan Bangunan – Rekayasa Penanganan Keruntuhan Lereng pada Tanah Residual dan Batuan*, Pd T – 09 – 2005 – B.
- Djarwadi, D., 2017, *Stabilitas Lereng Timbunan dan Galian*, dalam *Sosialisasi SNI Geoteknik*, Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia.
- Karnawati, D., 2005, *Bencana Alam Gerakan Massa Tanah di Indonesia dan Upaya Penanggulangannya*, Yogyakarta : Jurusan Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- Noor, D., 2011, *Geologi Untuk Perencanaan*, Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Rumbewas, S., Luthfi, M., dan Sukamto, D., 2016, *Pemetaan Daerah Wonorego dan Sekitarnya, Kecamatan Wonorego, Kabupaten Boyolali, Provinsi Jawa Tengah*, Bogor : Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Geologi, Universitas Pakuan.
- Sukardi, dan Budhitrisna, T., 1992, *Peta Geologi Lembar Salatiga, Jawa, Bandung : Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi*, Skala 1 : 100.000.
- Wesley, D.L., 2010, *Mekanika Tanah untuk Tanah Endapan dan Residu*, Yogyakarta : ANDI.
- Zakaria, Z., 2011, *Analisis Kestabilan Lereng Tanah*, Staff Laboratorium Geologi Teknik. FMIPA – UNPAD, Diambil dari <http://blogs.unpad.ac.id/zufialdizakaria/files/2009/11/zufialdi-zakaria-Analisis-Kestabilan-Lereng-20111.pdf>