

GEOLOGI DAN KENDALI SIFAT FISIK - MEKANIK TANAH TERHADAP POTENSI BENCANA GERAKAN TANAH DAERAH TANJUNGANOM, KECAMATAN SALAMAN, KABUPATEN MAGELANG, JAWA TENGAH

Muhammad Ferdian Nuur, Purwanto, Sugeng Raharjo
Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta
Jl. SWK 104, Condong Catur 55283, Yogyakarta, Indonesia
Fax/Phone : 0274-487816;0274-486403

SARI - Daerah penelitian secara administratif terletak di daerah Desa Tanjunganom, Kecamatan Salaman, Kabupaten Magelang, Provinsi Jawa Tengah. Zona UTM (*Universal Transverse Mercator*) termasuk pada zona 49M pada koordinat 400000mE-405000mE dan 9163000mN-9168000mN. Luas daerah telitian 5 km x 5 km atau 25 m² dengan skala peta 1:15.000. Pola pengaliran berupa subdendritik. satuan geomorfik daerah penelitian adalah Satuan Perbukitan Vulkanik Berlereng Curam (V1), Satuan Perbukitan Vulkanik Berlereng Miring (V2), Satuan Dataran Aluvial (F1), dan Tubuh Sungai (F2). Stratigrafi daerah penelitian dibagi menjadi empat satuan batuan tidak resmi. Urutan dari tua ke muda sebagai berikut: Satuan breksi monomik Kaligesing (Oligosen Akhir – Miosen Awal), satuan breksi laharik Sumbing Tua (Kuarter), satuan breksi piroklastik Sumbing Muda (Kuarter) dan satuan endapan aluvial (Holosen). Lingkungan pengendapan daerah telitian merupakan lingkungan darat dengan fasies vulkanik *medial*. Struktur geologi yang ditemukan pada daerah telitian berupa sesar mendatar kanan naik sempu dan nama *reverse right slip fault* yang berpola utara – selatan, dan kekar gerus berpasangan Kranjang Lor dengan arah tegasan utama barat daya – timur laut. Lingkungan pengendapan daerah telitian merupakan lingkungan darat dengan fasies vulkanik *medial*.

Hasil analisis kestabilan lereng pada lereng 1 Kranjang Lor diperoleh hasil kondisi lereng labil dengan FK 0,315 pada lereng bagian atas, kondisi lereng kritis dengan FK 1,083 pada lereng bagian tengah, dan kondisi lereng labil dengan FK 0,742 pada lereng bagian bawah. Padalereng 2 Klimbangan diperoleh hasil kondisi lereng labil dengan nilai FK 1,007. lereng 3 Planden diperoleh hasil kondisi lereng labil dengan FK1,03, lereng 4 Dukuh Lor diperoleh hasil kondisi lereng labil dengan FK1,034, lereng 5 Manggoran diperoleh hasil kondisi lereng labil dengan FK1,008, dan lereng 6 Sempu diperoleh hasil kondisi lereng kritis dengan FK1,21.

Kata-kata kunci: kestabilan lereng, gerakan tanah.

PENDAHULUAN

Gerakan tanah adalah perpindahan material pembentuk lereng, berupa batuan, tanah, bahan timbunan dan material campuran yang bergerak kearah bawah dan keluar dari lereng (*Varnes, 1978*). Gerakan tanah (longoran) merupakan salah satu peristiwa alam yang sering menimbulkan bencana dan kerugian material. Kondisi alam dan aktivitas manusia adalah merupakan salah satu faktor penyebab terjadi gerakan tanah tersebut. Gerakan tanah merupakan salah satu bencana alam yang sering melanda daerah perbukitan dan pegunungan khususnya pada daerah Kecamatan Salaman. Penyelidikan ini dilakukan pada daerah yang sudah mengalami gerakan tanah maupun daerah yang rawan terjadinya gerakan tanah, untuk memperkecil bencana yang disebabkan oleh bahaya gerakan tanah maka perlu diadakan penelitian dengan judul "Geologi dan Kendali Sifat Fisik dan Sifat Mekanik Tanah Terhadap Potensi Bencana Gerakan Tanah Daerah Tanjunganom dan Sekitarnya, Kecamatan Salaman, Kabupaten Magelang, Provinsi Jawa Tengah. Maksud penelitian ini adalah mengkaji gerakan tanah dengan penyelidikan geologi teknik dan penyelidikan geologi, khususnya yang menyangkut masalah bencana gerakan tanah yang disebabkan oleh proses alam maupun aktivitas manusia. Tujuan penelitian secara umum adalah untuk mengetahui kondisi geologi pada daerah kajian meliputi geomorfologi, stratigrafi, struktur geologi. Secara khusus kondisi geologi teknik yang ada di daerah Tanjunganom dan sekitarnya untuk melakukan analisa kestabilan lereng. Lokasi penelitian terletak secara administratif di Kecamatan Salaman, Kabupaten Magelang, Provinsi Jawa Tengah yang secara UTM zona 49M berada pada koordinat 400000mE-405000mE dan 9163000mN-9168000mN. Lokasi penelitian terletak pada peta RBI lembar Yogyakarta 1408-2, 1407-5 (**Gambar 1**).

Fisiografi Regional

Secara fisiografis daerah telitian termasuk dalam zona Pegunungan Kulon Progo memanjang dari selatan ke utara di bagian barat Daerah Istimewa Yogyakarta (**Gambar 2**). Pegunungan ini memiliki ketinggian berkisar antara 100-1200 meter di atas permukaan laut dengan kemiringan lereng antara 15°-60°. Kulon Progo merupakan tinggian berbentuk kubah dengan jarak sumbu panjang ±32 km berarah timur laut-barat daya. Sedangkan sumbu pendeknya kira-kira berjarak 15 km dengan arah barat laut-tenggara. Tinggian Kulon Progo dibatasi oleh tinggian dan rendahan Kebumen di bagian

barat dan rendahan Yogyakarta di bagian timur. Proses erosi secara umum sudah menjadi sangat intensif menghasilkan morfologi dewasa hingga tua dengan bentukan morfologi tererosi kuat oleh pola pengaliran (Van Bemmelen, 1949).



Gambar 1. Lokasi daerah telitian



Gambar 2. Fisiografi Pulau Jawa (Van Bemmelen, 1949)

Stratigrafi Regional

Geologi daerah penyelidikan tepatnya terletak pada jalur Pegunungan Selatan. Tidak semua formasi batuan tersier yang tersingkap di daerah penyelidikan, sehingga akan mempunyai kenampakan dan ciri khusus mengenai morfologi, stratigrafi dan keadaan struktur di daerah tersebut, jadi urutan litostratigrafi dari yang paling tua sampai termuda (Gambar 3).

Formasi Nanggulan, formasi ini merupakan batuan tertua di Pegunungan Kulon Progo dengan lingkungan pengendapannya adalah litoral pada fase genang laut. Litologi penyusun formasi ini terdiri dari batupasir dengan sisipan lignit, batunapal pasiran, batulempung dengan konkresi limonit, sisipan batunapal dan batugamping, batupasir dan tuf kaya foraminifera yang ketebalannya diperkirakan mencapai 350 meter. Berdasarkan atas studi foraminifera plankton formasi ini diperkirakan berumur Eosen Tengah sampai Oligosen Atas.

Formasi Kaligesing dan Formasi Dukuh, kedua formasi ini terbentuk pada zaman yang sama (Oligosen Akhir-Miosen Awal) dengan lingkungan pengendapan yang berbeda. Hubungan stratigrafi dari dua formasi ini berupa beda fasies menjemari. Formasi Kaligesing terbentuk pada lingkungan darat hasil dari aktivitas vulkanik gunung api purba. Formasi Kaligesing juga dikenal sebagai Formasi Andesit Tua (*Old Andesite Formation=OAF*) yang dicirikan oleh breksi

monomik dengan fragmen andesit, sisipan batupasir, dan lava andesit. Formasi dukuh terbentuk pada lingkungan laut terbuka dan kipas laut dalam dengan litologi breksi andesit, batupasir, dan batugamping.

Formasi Jonggrangan (Tmj), Litologi penyusun bagian bawah dari formasi ini adalah konglomerat yang ditindih oleh napal tufaan dan batupasir gampingan dengan sisipan lignit. Ketebalan formasi ini mencapai 250 meter. Formasi ini berumur Miosen Bawah, dan di bagian bawah menjemari dengan bagian bawah Formasi Sentolo.

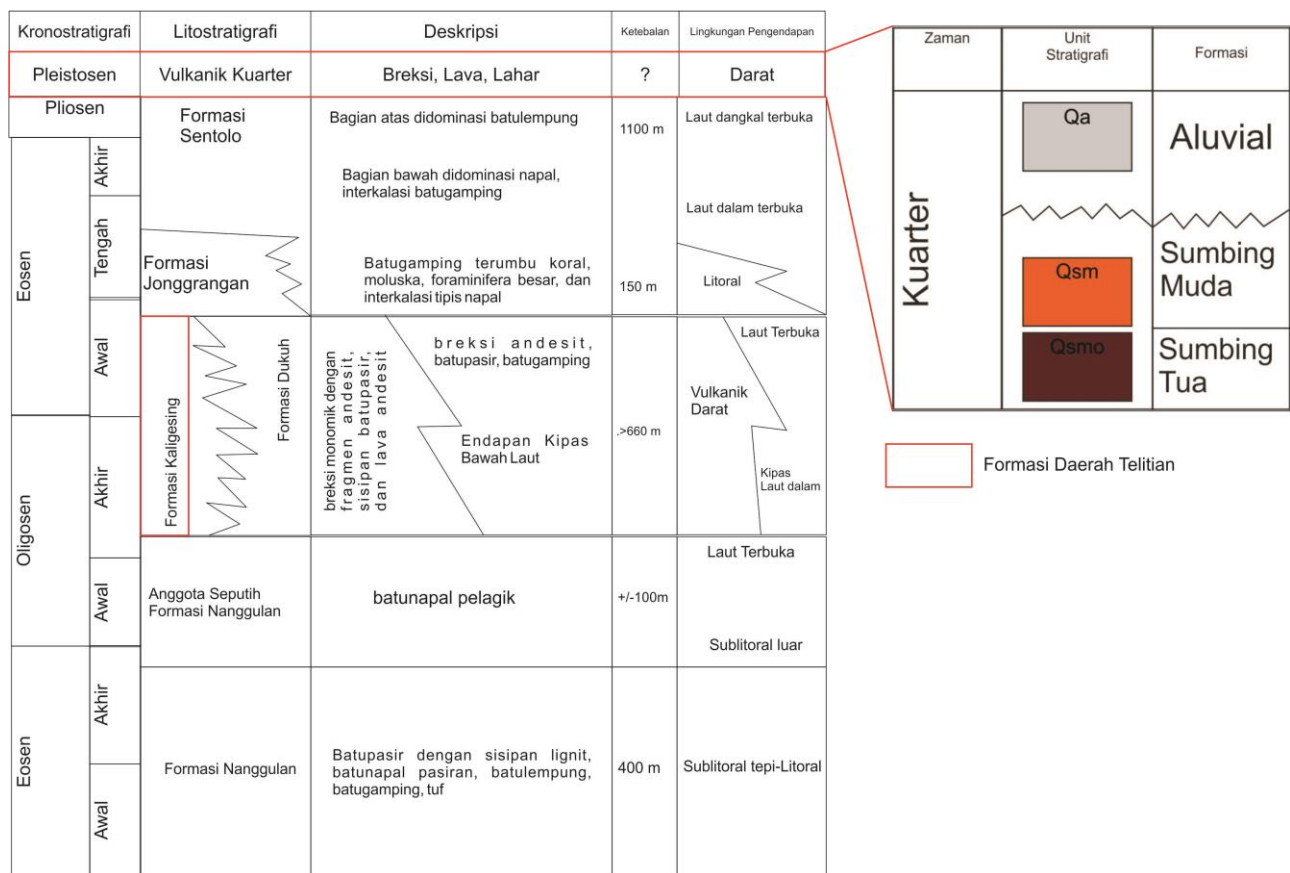
Formasi Sentolo (Tmps), Formasi ini tersusun oleh batugamping dan batupasir napalan. Bagian bawah dari formasi ini terdiri dari konglomerat yang ditumpuki oleh napal tufaan dengan sisipan tuf. Batuan ini ke arah atas berangsur-angsur berubah menjadi batugamping berlapis yang kaya akan fosil foraminifera.

Endapan Gunungapi Sumbing Tua (Qsmo)

Endapan ini terdiri dari breksi andesit, aglomerat dan tufa. Breksi andesit umumnya melapuk sedang berwarna kuning kecoklatan, komponen batuan andesitik (4 – 45 cm) agak segar, menyudut tanggung, tertanam pada masadasar pasir tufa berbutir kasar, agak padat sebagian mudah hancur.

Endapan Gunungapi Sumbing Muda (Qsm), endapan ini terdiri dari pasir tufaan, tuf pasiran dan breksi tufa.

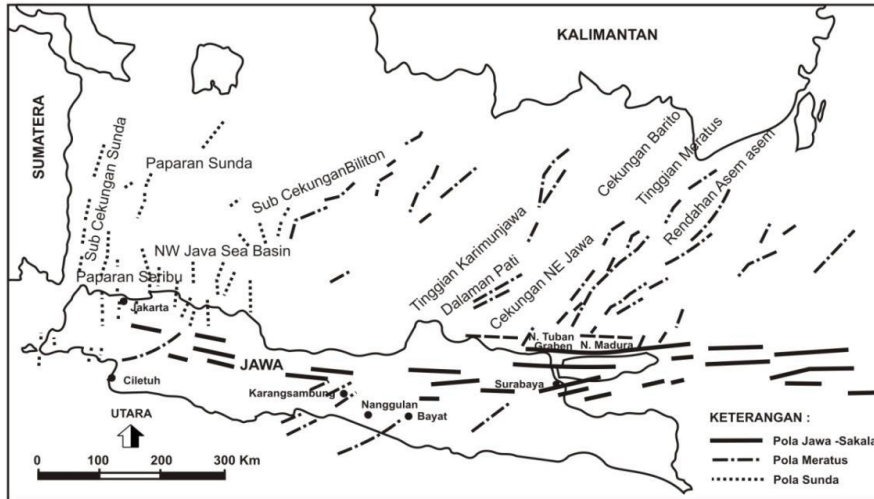
Endapan Aluvial (Qa), endapan aluvial ini terdiri dari kerakal, pasir, lanau, dan lempung sepanjang sungai yang besar dan dataran pantai.



Gambar 3. Kolom Stratigrafi Regional Kulonprogo (Pringgoprawiro and Riyanto, 1968) dan Gunungapi Kuarter Sumbing (Wartono Raharjo, 1995)

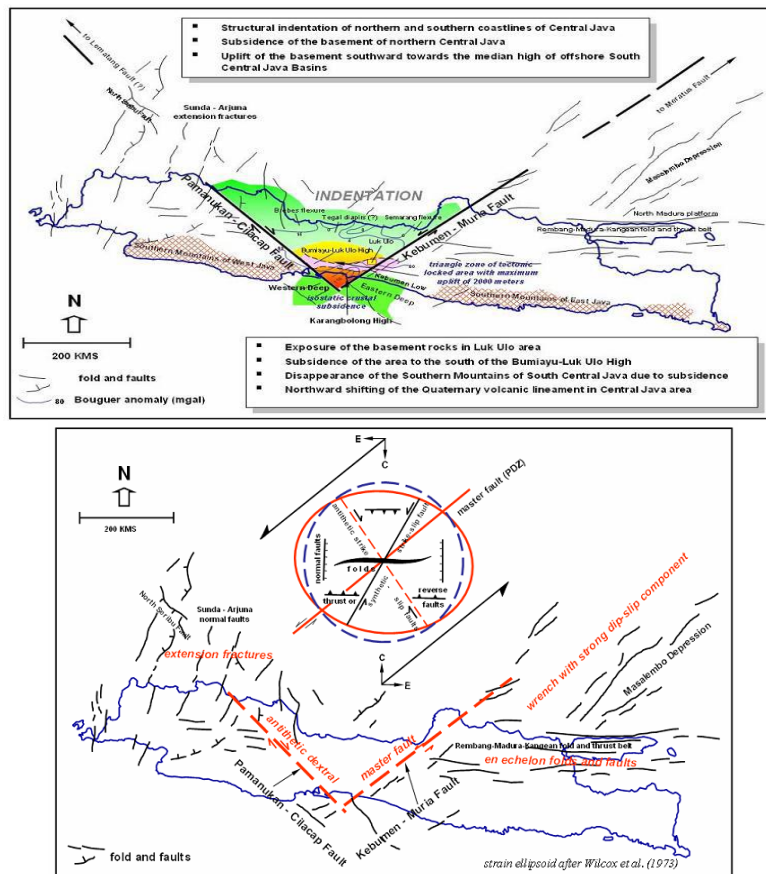
Struktur Geologi Regional

Secara regional aktivitas tektonik yang terjadi di Pulau Jawa mengakibatkan berkembangnya struktur geologi yang bervariasi. Pola struktur yang terbentuk merupakan cerminan dari pola tegasan suatu gaya dominan dari proses tektonik dengan variasi arah tertentu. Secara umum pola tegasan yang terbentuk berupa kekar, sesar dan lipatan dengan skala yang bervariasi dari skala regional hingga skala yang terkecil. Pulau Jawa dikontrol oleh sejumlah struktur utama yang mencerminkan evolusi tektoniknya (Pulunggono & Martodjoyo, 1994) (**Gambar 4**). Struktur utama Pulau Jawa terdiri dari struktur Meratus yang berarah Timurlaut-Baratdaya, struktur Sumatra berarah Barat laut-Tenggara, struktur Sunda berarah Utara-Selatan dan struktur Jawa berarah Barat-Timur.



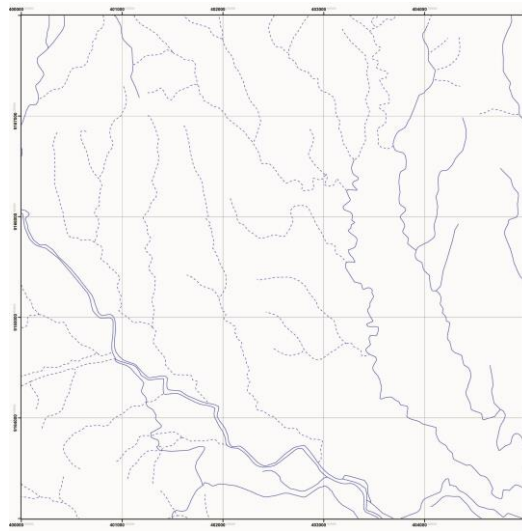
Gambar 4. Pola struktur utama Pulau Jawa, Pulunggono & Martodjoyo, (1994).

Jawa Tengah dikontrol oleh struktur-struktur berarah Timurlaut-Baratdaya dan Baratlaut-Tenggara. Selain itu di Jawa Tengah juga dikenali terdapatnya dua struktur sesar utama yang mengapit bagian barat dan timur Jawa Tengah. Sesar utama bagian timur disebut sesar Kebumen-Muria dan bagian barat disebut sesar Pamanukan-Cilacap, kedua sesar tersebut dianggap sebagai faktor yang membuat Jawa Tengah secara fisiografi berbeda dengan Jawa Barat dan Jawa Timur (Satyana, 2007) (**Gambar 5**).



Gambar 5 (a) dan (b). Struktur utama Pulau Jawa dan kinematikanya (Satyana, 2007)

Pola aliran subdendritik ini merupakan pola ubahan dari pola aliran dendritik. Pola aliran ini dikontrol oleh tingkat kelerengan, litologi, dan struktur geologi dimana tingkat kelerengannya miring-agak curam dan kondisi batumannya memiliki tingkat resistensi yang relatif seragam, berbutir sedang-kasar (**Gambar 6**).



Gambar 6. Peta pola pengaliran daerah penelitian

Satuan Geomorfologi Daerah Tanjunganom

Satuan geomorfologi daerah telitian dibagi menjadi satuan geomorfik perbukitan berlereng curam (V1), Satuan Geomorfik Perbukitan Vulkanik Berlereng Miring (V2), Satuan Geomorfik Dataran Aluvial (F1), Satuan Geomorfik Tubuh Sungai (F2). Pembagian satuan bentuk lahan dan aspek geomorfologi daerah penelitian terlihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Pembagian satuan bentuk lahan dan aspek geomorfologi daerah penelitian.

Bentuk Asal		Vulkanik		Fluvial	
Simbol		V1	V2	F1	F2
MORFOLOGI	Morfo grafi	Perbukitan	Perbukitan	Dataran	Lembah
	Morfo metri	Curam Luasan 35%	Miring Luasan 35%	Landai Luasan 25%	Landai-Miring Luasan 5%
Morfogenesis	Morfo struktur Aktif	Kekar, Sesar	Kekar, Sesar	-	-
	Morfo struktur Pasif	Breksi Laharik resistensi sedang-kuat	Breksi piroklastik resistensi lemah-sedang	soil dan endapan aluvial	Material lepas ukuran pasir kasar-bongkah hasil erosi
	Morfo struktur Dinamis	Erosi dan pelapukan	Erosi dan pelapukan	Pengendapan	Erosi dan pengendapan
Bentuk Lahan		Perbukitan sisa vulkanik berlereng curam	Perbukitan sisa vulkanik berlereng miring	Dataran Aluvial	Tubuh Sungai
Pola Pengaliran		Subdendritik			

Modifikasi klasifikasi dari Verstappen (1985) dan Van Zuidam (1983)

Satuan Geomorfik Perbukitan Vulkanik Berlereng Curam (V1)

Satuan bentuk lahan ini terdapat hampir keseluruhan di daerah penelitian dan menempati luasan 35% dari seluruh daerah penelitian. Satuan ini dicirikan dengan morfologi berupa perbukitan dengan kemiringan lereng curam (21%-55%) berdasarkan klasifikasi Van Zuidam, (1983) dan memiliki relief antara 325–515,58 mdpl (**Gambar 7**) dengan bentuk lembah “U-V. Pola pengaliran yang berkembang berupa subdendritik. Morfostruktur pasif dengan litologi berupa satuan breksi laharik Sumbing Tua, satuan breksi piroklastik Sumbing Muda, dan satuan breksi monomik Kaligesing dengan resistensi sedang-kuat. Morfostruktur aktif atau aspek yang berhubungan dengan struktur geologi pada satuan bentuk lahan ini berupa kekar dan sesar mendatar.



Gambar 7. Kenampakan satuan geomorfik perbukitan vulkanik berlereng curam (V1) dan perbukitan vulkanik berlereng miring (V2) (Azimut Foto N 20° E)

Satuan Geomorfik Perbukitan Vulkanik Berlereng Miring (V2)

Satuan bentuk lahan ini menempati luasan 35% dari seluruh daerah penelitian. Satuan ini dicirikan dengan morfologi berupa perbukitan dengan kemiringan lereng miring (8%-13%) berdasarkan klasifikasi Van Zuidam, (1983) dan memiliki relief antara 287,5–487,5 mdpl dengan bentuk lembah “U-V. Pola pengaliran yang berkembang subdendritik. Morfostruktur pasif dengan litologi berupa satuan breksi laharik Sumbing Tua, satuan breksi piroklastik Sumbing Muda, dan satuan breksi monomik Kaligesing dengan resistensi lemah-sedang. Morfostruktur aktif atau aspek yang berhubungan dengan struktur geologi pada satuan bentuk lahan ini berupa kekar dan sesar mendatar.

Satuan Geomorfik Dataran Aluvial (F1)

Satuan bentuk lahan ini terdapat pada bagian tenggara daerah penelitian dan menempati luasan 25 % dari seluruh daerah penelitian. Satuan ini dicirikan dengan morfologi berupa dataran dengan kemiringan lereng landai (3 - 7%) berdasarkan klasifikasi Van Zuidam, (1983) dengan bentuk lembah “U”. Pola pengaliran yang berkembang adalah subdendritik. Morfostruktur pasif berupa sedimentasi dari material lepas dan endapan aluvial. Morfostruktur dinamik yang berhubungan dengan pelapukan dan juga erosi.

Satuan Geomorfik Tubuh Sungai (F2)

Satuan bentuk lahan ini menempati luasan 5 % dari seluruh daerah penelitian. Satuan ini dicirikan dengan morfologi berupa dataran dengan kemiringan lereng landai - miring (3% - 13%) berdasarkan klasifikasi Van Zuidam, (1983) (**Gambar 8**) dengan bentuk lembah “U”. Pola pengaliran yang berkembang adalah subdendritik. Morfostruktur pasif berupa sedimentasi dari material lepas. Morfostruktur dinamik yang berhubungan dengan pelapukan dan juga erosi.



Gambar 8. Kenampakan satuan geomorfik tubuh sungai (F2), (Azimut Foto N 100° E)

Stratigrafi Daerah Tanjunganom

Kesebandingan dalam pembagian satuan batuan daerah Tanjunganom, peneliti mengacu pada stratigrafi daerah Magelang pada peta geologi lembar Yogyakarta, Jawa Tengah (Rahardjo, dkk., 1995) dan stratigrafi regional Kulonprogo (Pringgoprawiro dan Riyanto, 1968). Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan geologi daerah telitian kolom kesebandingan satuan batuan terlihat seperti pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Kolom kesebandingan satuan batuan daerah Tanjunganom dan sekitarnya

KOLOM KESEBANDINGAN

Umur Geologi		Lithostratigrafi		Vulkanostratigrafi		Batuan/Endapan					
		Satuan Batuan	Simbol	Khuluk	Gemuk	Primer					Sekunder
						Surge	Lava	Kubah lava	Jatuhan	Aliran piroklastik	Aluvium
KUARTER	Holosen	Endapan Aluvial	Qa		Sungai Kebonrejo						Ha
	Pleistosen	breksi piroklastik Sumbing Muda	Qsm	Kuartar	Gunung Sumbing Muda				Ksbm		
		breksi laharik Sumbing Tua	Qst		Gunung Sumbing Tua					Ksbt	
TERSIER	Miosen	breksi monomik Kaligesing	Tmok	Pra Kuartar	Kaligesing	Tkg1				Tkg2	
	Oligosen										

Satuan Breksi Monomik Kaligesing

Satuan breksi monomik Kaligesing disusun oleh batuan sedimen yakni breksi monomik, warna fresh abu-abu, warna lapuk coklat, ukuran butir pasir kasar-bongkah (1-256 mm), derajat pembundaran agak menyudut, derajat pemilahan terpilah buruk, kemas terbuka, fragmen andesit, matriks tuff pasir, semen silika, dengan struktur masif (**Gambar 9**). Pada satuan ini setempat tersingkap lava andesit dan juga tuf.



Gambar 9. Kenampakan singkapan breksi monomik Kaligesing pada Lp 66 dengan arah lensa N 240° E

Satuan breksi monomik Kaligesing ini memiliki persebaran kurang lebih meliputi $\pm 12\%$ dari daerah penelitian dan menempati bagian selatan dan barat daya. Satuan batuan ini berada pada bentuklahan perbukitan vulkanik yang mempunyai nilai kelerengan miring – agak curam. Penentuan ketebalan satuan ini berdasarkan pendekatan dengan penampang geologi dengan ketebalan berkisar antara 15 m – 300 m. Satuan ini merupakan endapan darat sehingga tidak dijumpai fosil sebagai acuan dalam menentukan umur. Penentuan umur dari satuan ini mengacu pada peneliti terdahulu yaitu Pringgoprawiro dan Riyanto, 1968 yang mengatakan bahwa umur satuan ini berkisar antara oligosen akhir-miosen awal (33 jtl-15 jtl). Hubungan stratigrafi dengan satuan di atasnya yaitu satuan breksi laharik Sumbing Tua dan breksi piroklastik Sumbing Muda berupa ketidakselarasan berdasarkan perbedaan umur yang jauh antara endapan tersier dan endapan kuartar. Selain itu, satuan ini termasuk dalam zona fisiografi Pegunungan Selatan Kulonprogo. Berbeda dengan satuan-satuan lainnya yang termasuk dalam zona Endapan Gunungapi Kuartar.

Satuan breksi laharik Sumbing Tua

Satuan breksi laharik Sumbing Tua ini tersusun oleh breksi warna fresh abu - abu, warna lapuk coklat muda, ukuran butir pasir kasar-bongkah (1 - 256 mm), agak menyudut, terpilah buruk, kemas terbuka, fragmen berupa andesit dan tuff yang mengambang pada massa dasar tuf pasir dengan semen silika, struktur masif (Gambar 10).



Gambar 10. Kenampakan breksi laharik Sumbing Tua pada Lp 7. arah lensa N 285°E

Satuan breksi laharik Sumbing Tua ini memiliki persebaran kurang lebih meliputi $\pm 36\%$ dari daerah penelitian. Satuan batuan ini berada pada bentuklahan perbukitan vulkanik berlereng curam. Penentuan ketebalan satuan batuan ini berdasarkan pada penampang geologi dengan ketebalan berkisar antara 60-210 m. Satuan batuan ini merupakan produk dari endapan darat sehingga tidak dijumpai fosil sebagai acuan untuk menentukan umurnya. Dalam penentuan umur mengacu pada peneliti terdahulu oleh Rahardjo, 1995 yang menyatakan bahwa satuan batuan ini berumur kuartar. Hubungan stratigrafi dengan satuan batuan di atasnya yaitu endapan sumbing muda adalah selaras karena diperkirakan terjadi aktivitas vulkanisme secara menerus selama awal zaman kuartar hingga pertengahan zaman kuartar.

Satuan breksi piroklastik Sumbing Muda

Satuan breksi piroklastik Sumbing Muda disusun oleh breksi dengan warna *fresh* abu-abu, lapuk hitam, ukuran butir pasir kasar-kerakal (1 - 64 mm), agak menyudut, terpilah buruk, kemas terbuka, fragmen berupa tuff, matriks tuff pasir, semen silika, struktur masif (**Gambar 11**).



Gambar 11. Kenampakan singkapan breksi piroklastik Sumbing Muda pada LP 18, dengan arah lensa N 30° E

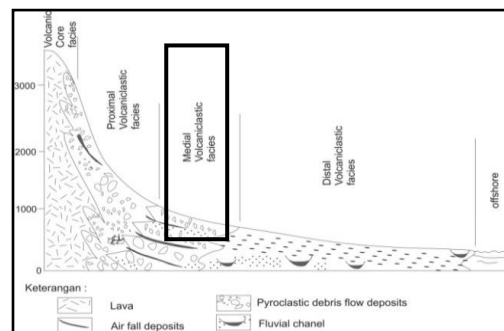
Satuan breksi piroklastik Sumbing Muda memiliki persebaran kurang lebih meliputi ± 50 % dari daerah penelitian. Satuan batuan ini berada pada bentuklahan perbukitan vulkanik berlereng miring. Penentuan ketebalan satuan batuan ini berdasarkan pada penampang geologi dengan ketebalan berkisar antara 45-90 m. Sama seperti satuan breksi laharik Sumbing Tua, satuan batuan ini juga produk dari endapan darat sehingga tidak dijumpai fosil sebagai acuan untuk menentukan umurnya. Dalam penentuan umur mengacu pada peneliti terdahulu oleh Rahardjo, 1995 yang menyatakan bahwa satuan batuan ini berumur kuarter. Hubungan stratigrafi dengan satuan di atasnya yaitu endapan aluvial diperkirakan tidak selaras karena kemungkinan terbentuknya satuan batuan ini tidak menerus hingga akhir kala Pleistosen sehingga adanya sedikit perbedaan umur dengan satuan Endapan Aluvial yang berumur Holosen.

Endapan Aluvial

Endapan Aluvial merupakan endapan paling muda berupa material lepas hasil pelapukan dan erosi dari batuan yang lebih tua. Satuan ini tersusun oleh material lepas yang belum terlitifikasi (*unconsolidate*). Satuan ini memiliki persebaran meliputi ± 2% dari daerah penelitian. Berada pada bentuklahan dataran aluvial. Satuan ini terdapat di sebelah tenggara daerah penelitian. Tebal satuan endapan aluvial diperkirakan kurang dari 15 m. Satuan Endapan Aluvial terdiri dari material lepas hasil erosi dan pelapukan terhadap batuan yang lebih tua dan proses ini sedang berlangsung hingga sekarang sehingga dikatakan berumur holosen (10.000 tahun yang lalu – sekarang). Hubungan stratigafi dengan satuan batuan lain yang lebih tua tidak selaras karena adanya perbedaan umur antara kala Holosen dengan kala Pleistosen serta zaman Tersier.

Lingkungan Pengendapan

Berdasarkan ciri-ciri fisik di lapangan, daerah telitian merupakan daerah vulkanik yang terbentuk pada lingkungan darat. Dalam penentuan lingkungan pengendapan mengacu pada fasies vulkanik (Vessel dan Davies, 1981). Material penyusun terdiri dari material piroklastik dan endapan laharik sehingga daerah telitian termasuk dalam zona fasies vulkanik medial (**Gambar 12**).



Gambar 12. Model fasies berdasarkan posisi relatif terhadap sumber pada gunungapi (Vessel dan Davies, 1981).

Struktur Geologi Daerah Tanjunganom

Struktur geologi pada daerah telitian tidak terlalu berkembang. Pada daerah telitian banyak didominasi oleh endapan kuarter sehingga masih sedikit terdapat pengaruh struktur. Struktur yang dijumpai pada daerah telitian berupa kekar gerus berpasangan pada LP 80 dan sesar mendatar pada LP 28.

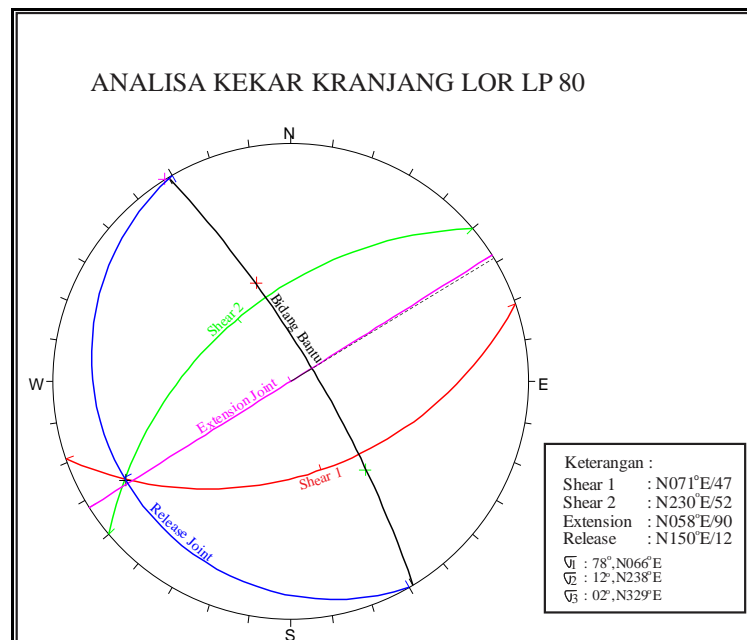
Kekar Kranjang Lor LP 80

Struktur kekar pada LP 80 (**Gambar 13**) ini berada pada tubuh lereng dan bisa jadi merupakan faktor penyebab gerakan tanah karena menjadi tempat masuknya air yang bisa terakumulasi dan mempengaruhi sifat fisik dan mekanik tanah.



Gambar 13. Foto kenampakan kekar shear 1 dengan arah lensa N 268°E dan shear 2 dengan arah lensa N 272°E

Kekar pada daerah Kranjang lor merupakan kekar gerus berpasangan dengan arah umum shear 1 N 071°E/47° dan shear 2 N 230°E/52°. Dari kedua arah umum tersebut, dapat ditentukan arah tegasan utama (*Extension Joint*) dan juga *Release Joint* berdasarkan analisa proyeksi stereografis (**Gambar 14**).

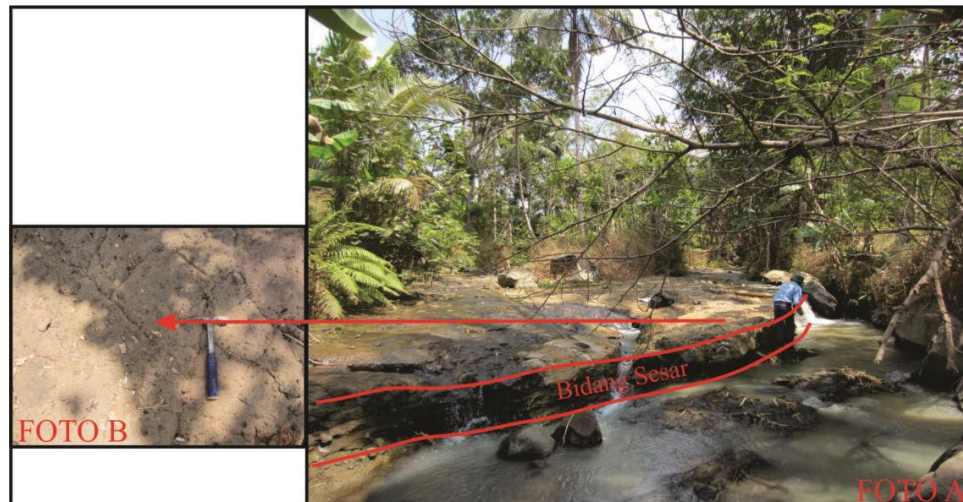


Gambar 14. Proyeksi Stereografis analisa kekar pada LP 80

Berdasarkan hasil analisa proyeksi stereografis, diperoleh arah tegasan utama (*Extension Joint*) N 058°E/90° dengan arah relatif Barat daya-Timur Laut dan *Release Joint* N 0150°E/12° dengan arah relatif Barat Laut-Tenggara.

Sesar Mendatar Kanan Naik Sempu

Struktur Geologi berupa sesar mendatar (**Gambar 15**). Berada pada percabangan sungai di sekitar dusun Sempu dengan arah relatif utara - selatan. Kedudukan sesar berdasarkan hasil pengukuran di lapangan N354°E/76° dengan arah *net slip* 21°, N359°E dan rake 20 °.



Gambar 15. Kenampakan bidang sesar pada LP 28 (foto A) dan kekar (foto B). Arah kamera N 273°E.

Berdasarkan hasil analisa sesar dengan proyeksi stereografis, nama sesar pada LP 28 adalah *Reverse Right Slip Fault* (Sesar Mendatar Kanan Naik)

Sejarah Geologi

Gambaran mengenai sejarah geologi pada daerah telitian mengacu pada pengamatan ciri litologi, umur, lingkungan pengendapan, pola struktur, dan mekanisme pembentukannya.

Oligosen Akhir-Miosen Awal (Terbentuknya *Old Andesite Formation*)

Fase awal dimulai pada Kala Oligosen Akhir-Miosen Awal (33-15 juta tahun yang lalu) dimana terjadi aktivitas vulkanik yang intensif pada zona *magmatic arc* di sepanjang pulau Jawa bagian selatan. Daerah telitian berada pada tinggian Kulonprogo, termasuk dalam zona *magmatic arc* dan berada pada lingkungan darat dengan fasies vulkanik *medial*. Aktivitas vulkanik memberikan suplai material dengan jumlah yang besar dan mencapai daerah telitian membentuk Formasi Andesit Tua/ *Old Andesite Formation (OAF)* berupa satuan breksi monomik Kaligesing.

Miosen Awal-Pliosen (Terhentinya Aktivitas Vulkanik)

Intensitas aktivitas vulkanik di Pegunungan Selatan Mulai mengalami penurunan dan berhenti pada Kala Miosen Awal-Pliosen (15-1,8 juta tahun yang lalu). Suplai material berkurang dan tidak terjadi proses pengendapan pada daerah telitian sehingga tidak dijumpai satuan batuan yang berumur Miosen Awal-Pliosen

Aktivitas Vulkanik Kuartir Sumbing Tua

Menjelang awal zaman Kuartir, aktivitas vulkanik mulai kembali aktif dengan terbentuknya gunungapi kuartir. Salahsatunya adalah Gunung Sumbing dengan aktivitas vulkanik yang intensif memberikan suplai material vulkanik dan mencapai daerah telitian membentuk satuan breksi laharik Sumbing Tua dengan hubungan stratigrafi yang tidak selaras dengan breksi monomik Kaligesing.

Aktivitas Vulkanik Kuartir Sumbing Muda

Pada pertengahan zaman Kuartir, aktivitas vulkanik masih terus berlangsung, namun tipe erupsi menjadi lebih eksplosif berupa letusan-letusan besar yang melontarkan material piroklastik berukuran pasir halus sampai kerikil. Material piroklastik kemudian terbawa melalui media udara dan jatuh ke bawah oleh pengaruh gravitasi mencapai daerah telitian dan membentuk satuan breksi piroklastik Sumbing Muda selaras dengan breksi laharik Sumbing Tua dan tidak selaras dengan breksi monomik Kaligesing. Aktivitas vulkanik terus berlangsung selama Kala Plistosen namun tidak menerus hingga Kala Holosen.

Holosen

Aktivitas vulkanik Gunung Sumbing mulai berkurang dan berhenti pada Kala Holosen 10.000 tahun yang lalu-sekarang) dan suplai material vulkanik berkurang. Pada daerah telitian sedang terjadi erosi dan pelapukan terhadap satuan batuan

yang lebih tua menghasilkan material lepas yang kemudian terbawa arus sungai membentuk Endapan Aluvial. Proses ini berlangsung hingga sekarang.

Potensi Gerakan Tanah

Berdasarkan pengamatan di lapangan, terdapat enam lokasi yang rentan terhadap gerakan tanah. Enam lokasi itu adalah Dusun Kranjang Lor, Dusun Klimbangan, Dusun Planden, Dusun Dukuh Lor, Dusun Manggoran, dan Dusun Sempu. Jenis gerakan tanah dari enam lokasi tersebut adalah *rotational slide* karena terdiri dari material yang homogen.

Identifikasi Potensi Gerakan Tanah 1 Dusun Kranjang Lor

Terdapat tiga jenjang lereng pada lokasi ini. Tiap jenjang pada lereng terdapat pemukiman warga. Paling banyak terdapat pada jenjang tengah dan jenjang bawah. Material penyusun lereng berupa endapan vulkanik yang berasal dari erupsi Gunung Sumbing. Terdapat retakan pada rumah warga yang disebabkan oleh gempa Yogyakarta tahun 2006. Selain itu juga terdapat struktur berupa rekahan pada tubuh lereng bagian atas. Retakan dan struktur rekahan yang ada bisa menjadi celah tempat masuknya air pada saat musim hujan sehingga tanah pada lereng mengalami penjuhan dan penampahan bobot tanah dan berdampak pada terganggunya keseimbangan gaya kestabilan lereng. Pada bagian jenjang tengah juga terdapat kolam milik warga sekitar. Adanya kolam berdampak buruk karena menambah beban sebagai gaya penggerak

Identifikasi Potensi Gerakan Tanah 2 Dusun Klimbangan

Lokasi kedua terletak di Dusun Klimbangan, Desa Purwosari Kecamatan Salaman, Kabupaten Magelang. Litologi yang berkembang di lereng ini berupa soil breksi hasil pelapukan. Tata guna lahan berupa pemukiman penduduk dan jalan penghubung antar desa. Terdapat bekas longsoran pada bagian tepi jalan dan juga retakan jalan di sekitar bekas longsoran. Adanya bekas longsoran diperkirakan karena pengaruh peningkatan kadar air pada tanah pada saat musim hujan sehingga mengurangi nilai kohesi dan kuat geser pada tanah sedangkan adanya retakan jalan di sekitar longsoran dipengaruhi oleh lalu lintas kendaraan yang melalui jalan tersebut dan menjadi beban yang memberikan gaya tekan pada tanah (**Gambar 16 dan 17**).



Gambar 16. Bekas longsoran di tepi jalan



Gambar 17. Retakan di sepanjang jalan

Identifikasi Potensi Gerakan Tanah 3 Dusun Planden

Lokasi ketiga terletak di Dusun Planden, Desa Jebengsari, Kecamatan Salaman, Kabupaten Magelang. Litologi yang berkembang di lereng ini adalah berupa lapukan breksi. Arah longsoran yang diperkirakan adalah ke arah barat daya. Tata guna lahan di sekitar lereng berupa rumah pada bagian atas dan jalan penghubung antar desa pada bagian bawah. Berdasarkan pengamatan di lapangan, sistem drainase yang buruk bisa menyebabkan penjuhan kadar air pada tanah yang bisa mengurangi kohesivitas dan kuat geser tanah sehingga bisa terjadi longsor.

Identifikasi Potensi Gerakan Tanah 4 Dusun Dukuh Lor

Lokasi keempat terletak di Dusun Dukuh Lor, Desa Ngendrosari, Kecamatan Salaman, Kabupaten Magelang. Litologi yang berkembang di lereng ini adalah berupa lapukan breksi. Arah longsoran yang diperkirakan adalah ke arah barat. Tata guna lahan di sekitar lereng berupa rumah pada bagian bawah dan jalan penghubung antar desa pada bagian atas. Berdasarkan pengamatan di lapangan, sistem drainase yang buruk bisa menyebabkan penjuhan kadar air pada tanah yang bisa mengurangi kohesivitas dan kuat geser tanah sehingga bisa terjadi longsor.

Identifikasi Potensi Gerakan Tanah 5 Dusun Manggoran

Lokasi kelima terletak di Dusun Manggoran, Desa Lesanpuro, Kecamatan Salaman, Kabupaten Magelang. Litologi yang berkembang di lereng ini adalah berupa lapukan breksi. Arah longsoran yang diperkirakan adalah ke arah barat daya. Tata guna lahan di sekitar lereng berupa jalan penghubung antar desa pada bagian atas. Adanya longsoran disebabkan oleh tekanan yang telah melebihi kapasitas kuat tekan tanah berupa beban seperti kendaraan dan juga penjuhan kadar air yang mempengaruhi kohesivitas pada tanah.

Identifikasi Potensi Gerakan Tanah 6 Dusun Sempu

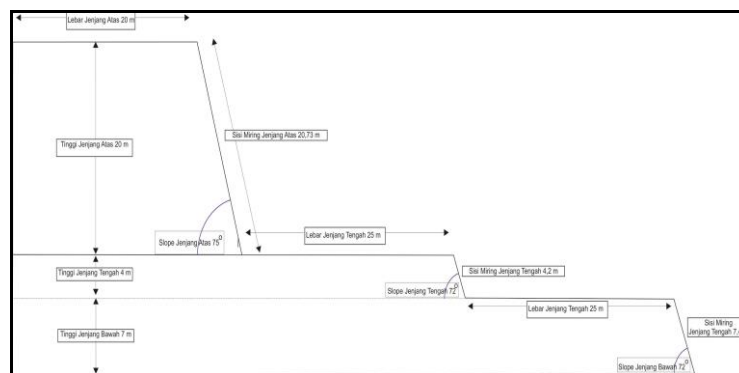
Lokasi keenam terletak di Dusun Sempu, Desa Lesanpuro, Kecamatan Salaman, Kabupaten Magelang. Litologi yang berkembang di lereng ini adalah berupa lapukan breksi. Arah longsoran yang diperkirakan adalah ke arah barat daya. Tata guna lahan di sekitar lereng berupa jalan penghubung antar desa pada bagian atas. Adanya longsoran disebabkan penjuhan kadar air yang mempengaruhi kohesivitas pada tanah.

Analisis Kestabilan Lereng

Setelah memperoleh parameter uji fisik dan mekanik tanah. Selanjutnya parameter tersebut hasilnya dipakai untuk analisis dan perhitungan faktor keamanan lereng untuk menentukan apakah lereng tersebut aman dari gerakan longsor atau tidak, agar dapat dipertimbangkan dalam penanggulangannya dan penyelesaian masalah gerakan tanah yang mendasarkan pada klasifikasi Bowles (1991).

Lereng 1 Kranjang Lor

Lereng ini memiliki tiga jenjang. Pemukiman penduduk paling banyak terdapat pada jenjang bagian tengah dan bagian bawah (**Gambar 18**). Kondisi lereng curam dan terdapat struktur rekahan pada tubuh lereng bagian atas yang bisa menjadi celah tempat masuknya air. Selain itu juga terdapat genangan air berupa kolam milik warga yang bisa memicu terjadinya gerakan tanah.



Gambar 18. Geometri Lereng 1 Kranjang Lor

Berdasarkan analisis dengan *software SLIDE 6.0* diperoleh (**Gambar 19**) nilai FK = 0,315 pada jenjang bagian atas. Dalam klasifikasi Bowles(1991)berarti longsoran sering terjadi di lereng tersebut dan statusnya adalah lereng labil. Jenis gerakan tanahnya adalah *Debris Slide* (Gelinciran Bahan Rombakan). Berdasarkan analisis dengan *software SLIDE 6.0* diperoleh nilai FK = 1,083 pada jenjang bagian tengah. Dalam klasifikasi Bowles(1991)berarti longsoran sering terjadi di lereng tersebut dan statusnya adalah lereng kritis. Jenis gerakan tanahnya adalah *Debris Slide* (Gelinciran Bahan Rombakan).

Zonasi Kerentanan Bencana Gerakan Tanah Daerah Tanjunganom

Zonasi kerentanan gerakan tanah memberikan gambaran mengenai potensi tingkat kerentanan gerakan tanah dan dampaknya terhadap tata guna lahan yang ada di sekitarnya. Penentuan zona tingkat kerentanan gerakan tanah berdasarkan pada empat aspek yang meliputi pola sebaran litologi, kemiringan lereng, struktur geologi, dan pengaruhnya terhadap tata guna lahan. Data peta tata guna lahan diperoleh dari Dinas Energi dan Sumberdaya Mineral (ESDM) dan Pekerjaan Umum (PU) Kabupaten Magelang. Terdapat tujuh tata guna lahan pada daerah telitian, yaitu pemukiman, sawah tadah hujan, sawah irigasi, ladang, kebun, air tawar, dan rumput. Dampak potensi gerakan tanah berbeda-beda terhadap setiap tata guna lahan. Zonasi kerentanan meliputi tingkat kerentanan tinggi, menengah, dan rendah.

Zona Kerentanan Gerakan Tanah Tinggi

Pada zona ini selain paling rawan terhadap gerakan tanah juga berdampak terhadap tata guna lahan berupa pemukiman, sawah tadah hujan, dan sawah irigasi. Zona ini mencakup luasan sekitar 25% dari daerah telitian meliputi Desa Sidosari, Ngampelbento, Purwosari, Jebengsari, Krasak, Sawangargo, Ngargosari, Lesanpuro, dan Banjaretno. Terdapat beberapa titik lokasi gerakan tanah dan dengan pengaruh curah hujan yang tinggi diperkirakan masih aktif terjadi gerakan tanah. Kemiringan lereng curam-agak curam pada pemukiman dan sawah tadah hujan dan agak curam pada sawah irigasi. Litologi terdiri dari breksi laharik, breksi piroklastik, dan breksi monomik. Terdapat struktur geologi berupa kekar, dan sesar mendatar.

Zona Kerentanan Gerakan Tanah Menengah

Potensi gerakan tanah pada zona ini berdampak pada tata guna lahan berupa pemukiman, sawah tadah hujan, dan sawah irigasi dengan kemiringan lereng yang miring serta kebun dan ladang dengan kemiringan lereng yang agak curam-curam. Zona ini mencakup luasan sekitar 50% dari daerah telitian yang mencakup Desa Sidosari, Ngampelbento, Purwosari, Kalisari, Tanjunganom, Jebengsari, Sriwedari, Krasak, Sawangargo, Ngendrosari, Wadas, dan Banjaretno. Terdapat beberapa titik lokasi gerakan tanah yang dipengaruhi oleh curah hujan yang tinggi dan aktivitas manusia. Litologi terdiri dari breksi laharik, breksi piroklastik, breksi monomik, tuf, dan lava andesit.

Zona Kerentanan Gerakan Tanah Rendah

Pada zona ini tidak dijumpai lokasi titik gerakan tanah. Tata guna lahan berupa pemukiman, sawah tadah hujan, dan sawah irigasi aman terhadap dampak potensi gerakan tanah karena berada pada kemiringan lereng yang landai. Tata guna lahan berupa rumput dan air tawar berada pada kemiringan lereng yang miring dan tidak berakibat fatal ketika terjadi gerakan tanah pada tata guna lahan ini. Litologi terdiri dari breksilaharik, breksi piroklastik, dan endapan aluvial.

Sistem Penanggulangan

Sistem penanggulangan bencana alam atau mitigasi adalah upaya untuk mengurangi dampak bencana terhadap manusia dan harta benda. Sistem penanggulangan yang baik adalah penanggulangan yang dapat mengatasi masalah secara tuntas dan mudah pelaksanaannya.

Penanggulangan Gerakan Tanah 1 Kranjang Lor

Lereng pada lokasi ini merupakan lereng dengan tiga jenjang dan berdasarkan nilai faktor keamanan, semuanya termasuk lereng yang labil. Rekomendasi penanggulangan pada lereng ini yaitu :

1. Memperkecil gaya penggerak:
 - Mengendalikan air permukaan (*drainase*)
 - Mengurangi beban pada lereng pada bagian jenjang atas dan jenjang tengah
2. Memperbesar gaya tahanan:
 - Memasang dinding penahan
 - Memasang alat pantau gerakan tanah

Mengendalikan air permukaan (*drainase*).

Fungsi dari *drainase* adalah mengatur aliran air agar tidak terakumulasi secara berlebihan pada tubuh lereng

Mengurangi Beban Pada Lereng Pada Jenjang Bagian Atas dan Tengah

Beban yang dapat dikurangi adalah vegetasi berupa tumbuhan berbatang keras dengan bobot yang besar.

Memasang Dinding Penahan

Dinding penahan berfungsi sebagai penahan gerakan tanah dengan meningkatkan tahanan geser. Dinding penahan terbuat dari batu, beton, atau beton bertulang. Dinding penahan juga berfungsi sebagai pelindung bangunan dari runtuhnya. Dinding penahan juga harus disertai dengan fasilitas drainase berupa lubang penates (*weep hole*) dan pipa salir yang diberi bahan penyaring (*filter*) untuk mengatur aliran air supaya tidak tersumbat sehingga tidak menimbulkan tekanan hidrostatis yang besar.

Memasang Alat Pantau Gerakan Tanah/EWS (*Early Warning System*)

Alat pantau gerakan tanah disebut *EWS (Early Warning System)* atau Sistem Peringatan Dini. *EWS* dipasang pada lokasi yang dianggap rentan terhadap gerakan tanah. Tujuannya untuk memantau aktivitas pergerakan tanah dan memberi peringatan dini sebagai tanda bahaya jika sewaktu-waktu terjadi gerakan tanah yang besar.

Penanggulangan Gerakan Tanah 2 Klimbangan

Berdasarkan nilai faktor keamanan dari analisis kestabilan lereng, lereng pada lokasi ini termasuk dalam kategori labil. Rekomendasi penanggulangan tanah pada lokasi ini yaitu :

1. Memperbesar gaya tahanan:
 - Memasang dinding penahan

Memasang Dinding Penahan

Faktor penyebab gerakan tanah pada lokasi ini adalah akumulasi air tanah yang berlebihan dan beban berupa kendaraan yang melintas pada bagian atas lereng. Pemasangan tembok penahan bertujuan untuk menahan tegangan geser pada lereng yang berasal dari beban berupa kendaraan. Tembok penahan juga disertai dengan lubang penates (*weep hole*), dan pipa salir untuk mengatur aliran air pada tubuh lereng.

Penanggulangan Gerakan Tanah 3 Planden

Lereng pada lokasi ini termasuk lereng yang labil dengan tingkat kerentanan gerakan tanah yang tinggi. Rekomendasi penanggulangan gerakan tanah pada lokasi ini yaitu:

1. Memperkecil gaya penggerak:
 - Mengendalikan air permukaan (*drainase*)
2. Memperbesar gaya tahanan:
 - Cara mekanis : Penambatan

Mengendalikan Air Permukaan (*drainase*)

Kestabilan lereng pada lokasi ini dipengaruhi oleh air permukaan. Selain curah hujan yang tinggi, terdapat beberapa rumah warga pada bagian atas lereng. adanya aktivitas rumah tangga menghasilkan limbah berupa air buangan. Air buangan ini meresap pada tubuh lereng dan mempengaruhi kestabilan lereng. Karena itu perlu adanya sistem *drainase* yang baik untuk mengatur aliran air agar tidak terakumulasi berlebihan pada tubuh lereng.

Cara Mekanis (Penambatan)

Pengaruh beban berupa rumah juga berpengaruh terhadap kestabilan lereng. Karena itu perlu dilakukan pemasangan dinding penambat untuk memperkuat tahanan geser tanah.

Penanggulangan Gerakan Tanah 4 Dukuh Lor

Lokasi ini termasuk dalam zona kerentanan gerakan tanah yang tinggi dan lereng yang labil. Gerakan tanah pada lokasi ini dipengaruhi oleh akumulasi air tanah yang berlebihan pada tubuh lereng. Rekomendasi penanggulangan gerakan tanah pada lokasi ini yaitu :

1. Memperkecil gaya penggerak:
 - Mengendalikan air permukaan (*drainase*)

Mengendalikan Air Permukaan (*Drainase*)

Tujuan dari pembuatan drainase pada lokasi ini adalah untuk mengatur aliran air pada tubuh lereng sehingga air tidak terakumulasi secara berlebihan.

Penanggulangan Gerakan Tanah 5 Manggoran

Pada lokasi ini telah terjadi longsor di tepi jalan. Longsor tersebut disebabkan oleh beban berupa kendaraan yang melintas pada bagian atas lereng. Rekomendasi penanggulangan pada lokasi ini yaitu :

1. Memperbesar gaya tahanan:
 - Memasang dinding penahan

Memasang Dinding Penahan

Faktor penyebab gerakan tanah pada lokasi ini adalah akumulasi air tanah yang berlebihan dan beban berupa kendaraan yang melintas pada bagian atas lereng. Pemasangan tembok penahan bertujuan untuk menahan tegangan geser pada lereng yang berasal dari beban berupa kendaraan. Tembok penahan juga disertai dengan lubang penates (*weep hole*), dan pipa salir untuk mengatur aliran air pada tubuh lereng.

Penanggulangan Gerakan Tanah 6 Sempu

Lereng pada lokasi ini termasuk dalam kategori kritis. Adanya rumah pada bagian atas lereng bisa mempengaruhi kestabilan lereng karena selain menjadi beban, air buangan sisa aktivitas rumah tangga juga meresap pada tubuh lereng. Rekomendasi penanggulangan pada lereng ini yaitu :

1. Memperkecil gaya penggerak:
 - Mengendalikan air permukaan (drainase)

Mengendalikan Air Permukaan (*drainase*).

Tujuan dari pembuatan drainase pada lokasi ini adalah untuk mengatur aliran air pada tubuh lereng sehingga air tidak terakumulasi secara berlebihan.

KESIMPULAN

1. Geomorfologi daerah telitian dipengaruhi oleh aktivitas vulkanik Gunung Sumbing, erosi, dan juga pelapukan dengan bentuk asal vulkanik dan fluvial.
2. Sebaran satuan batuan pada daerah telitian berasal dari aktivitas vulkanik gunungapi purba (breksi monomik Kaligesing), dan gunungapi kuartar (breksi laharik Sumbing Tua, breksi piroklastik Sumbing Muda) dengan lingkungan pengendapan mengacu pada fasies vulkanik yaitu *medial*.
3. Struktur geologi pada daerah telitian tidak terlalu berkembang karena banyak didominasi oleh endapan kuartar. Struktur geologi yang dijumpai berupa kekar gerus berpasangan Kranjang Lor pada LP 80 dan sesar mendatar kanan naik Sempu pada LP 28.
4. Daerah telitian memiliki zona kerentanan yang tinggi terhadap gerakan tanah cukup luas, yaitu mencakup 25% dari luas daerah telitian yang berpengaruh terhadap pemukiman, sawah tadah hujan, dan sawah irigasi. Terdapat beberapa lokasi gerakan tanah dengan kondisi lereng labil-kritis.
5. Penanggulangan gerakan tanah dilakukan dengan meningkatkan nilai faktor keamanan pada lereng, yaitu dengan memperkuat gaya penahan (memasang dinding penahan, penambat) dan mengurangi gaya penggerak (mengendalikan air permukaan, revegetasi).
6. Perlu adanya alat pantau gerakan tanah pada lokasi yang memiliki kerentanan gerakan tanah yang tinggi untuk memantau aktivitas gerakan tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Bappeda Kabupaten Magelang. 2013. Kabupaten Magelang Dalam Angka, Pemerintah Kabupaten Magelang.
- Bappeda Kabupaten Magelang. 2012. Kabupaten Magelang Dalam Angka, Pemerintah Kabupaten Magelang.
- Bappeda Kabupaten Magelang. 2011. Kabupaten Magelang Dalam Angka, Pemerintah Kabupaten Magelang.
- Bappeda Kabupaten Magelang. 2010. Kabupaten Magelang Dalam Angka, Pemerintah Kabupaten Magelang.
- Bappeda Kabupaten Magelang. 2009. Kabupaten Magelang Dalam Angka, Pemerintah Kabupaten Magelang.
- Bowles J.E. 1991. *Sifat – Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*, Edisi Kedua, Erlangga, Jakarta.
- Braja, M.D. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik)*, Jilid 2, Erlangga, Jakarta. Craig R.F., 1994, *Mekanika Tanah*, Edisi Keempat, Erlangga, Jakarta.
- Howard, A.D. 1966. *Drainage Analysis in Geology Interpretation*, AAPG Bull Vol 51 no II.
- Hansen, M.J. 1984. Strategies for Classification of Landslides, (ed. : Brunsden, D, & Prior, D.B., 1984, Slope Instability, John Wiley & Sons, p.1-25
- Pangular, D. 1985. Petunjuk Penyelidikan & Penanggulangan Gerakan Tanah, Pusat Penelitian dan Pengembangan Pengairan, Balitbang Departemen Pekerjaan Umum, 233 hal.
- Sandi Stratigrafi Indonesia, 1996.
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi., Rosidi, H.M.D. 1995. Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa, skala 1:100.000, Edisi ke 2. Puslitbang Geologi, Bandung.
- Van Bemmelen, R.W. 1949. *The Geology of Indonesia*, Volume I-A, Government Printing Office, Martinus Nijhoff The Hague.
- Van Zuidam, R.A. 1979. *Guide to Geomorphology Aerial Photographic Interpretation and Mapping*; I. T. C, Enschede the Netherland.
- Verhoef, P.N.W., 1991. Geologi untuk Teknik Sipil, Penerbit Erlangga, 322 hal.
- Vessel, R.K., Davies, D.K., 1981. *Stratigraphy and geochemistry of Merapi volcano, Central Java, Indonesia*, University of Auckland.
- Zakaria, Z. 2000. Peran Identifikasi Longsoran dalam Studi Pendahuluan Permodelan Sistem STARLET Untuk Mitigasi Bencana Longsor, YEAR BOOK MITIGASI BENCANA 1999, Januari 2000, BPPT, hal. I.105 - I.123