

PENGARUH ALTERASI HIDROTERMAL TERHADAP KESTABILAN LERENG DAN MEKANISME GERAKAN TANAH DAERAH PATUHAWATI, PROVINSI JAWA BARAT

I Putu Krishna Wijaya

Staf Pengajar Teknik Geofisika, FTSP, ITS,
Kampus ITS, Sukolilo, Surabaya, 60111,
E-mail: krishna@geofisika.its.ac.id

Abstract

Landslide disaster that occurred in Dewata Tea Plantation has killed 70 people and more than 50 houses buried. This research project located at Patuhawati area which has a high susceptibility and vulnerability hazard. Most of Patuhawati area are covered by volcanic material of Mount Patuha that have been altered by intensive hydrothermal alteration. This research is carried out to explain about the influences of hydrothermal alteration to slope stability and the mechanism of landslide in such geologic condition.

Research methods consist of several stages. First step are preparing and collecting all secondary data which relate to the research topic, and the second is collecting the primary data by conducting some detail surface mapping, such as observing and measuring the slope of morphology, litology, landslide point scarp, alteration zone, geological structure and land use. The third stage is conducting several laboratory analysis of soil engineering properties, XRD and petrography.

AHP method is used as data analysis. As a semi quantitative method, AHP analysis is conducted by give some variation of weight value on matrix comparison to understand the most influence factor that controlling landslide. The result show that hydrothermal alteration factor is 2,68 times more influential than geological engineering, morphology, and structural geology factor, and 7,03 times more important than landuse factor. Each sub parameter is given score between 1-3 as their influence to landslide. Susceptibility weighted value then multiple by sub parameter score to conduct susceptibility map by using spatial analysis (weighted overlay) in ArcGIS. The verification result show that the most susceptible zone has the highest number of landslide point. The second conclusion is argilic alteration gives more influence than sub propilitic alteration to controlling landslide. It happens because of physical properties of clay mineral of argilic which is decreasing shear strength of slope material. Mechanism of landslide in Cicacing is rotational landslide where high level of rain fall infiltration as a main triggering factor, beside the earthquake.

Keywords : *Hydrothermal alteration, argilic alteration, landslide mechanism.*

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Salah satu wilayah di Indonesia yang sering mengalami bencana gerakan tanah adalah Provinsi Jawa Barat. Dari data survei

yang dilakukan pada tahun 2005 hingga 2007 tercatat telah terjadi bencana longsor sebanyak 44 kali pada tahun 2005, 98 kali pada tahun 2006 dan 77 kali pada tahun 2007. Bencana longSORan yang terjadi di daerah Perkebunan Teh Dewata pada tanggal 23 Februari 2010, berada tidak jauh dari lokasi penelitian

dengan susceptibility dan vulnerability hazard yang relatif sama. Berdasarkan data sumber PUSDALOPS BNPB, tercatat sedikitnya 70 orang tewas dan menimbun 50 rumah, begitu juga dengan bangunan pabrik dan fasilitas yang dimiliki. Untuk mencegah terjadinya kerugian sosial ekonomis akibat bencana yang serupa maka penelitian yang berkaitan dengan bencana gerakan tanah sangat penting untuk dilakukan.

1.2. Tujuan Penelitian

Maksud dari dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh alterasi hidrotermal terhadap gangguan kestabilan lereng. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk :

1. Membandingkan pengaruh faktor alterasi hidrotermal dengan keempat faktor pengontrol gerakan tanah yang lain (kelerengan, geologi teknik, struktur geologi, dan tata guna lahan) terhadap terjadinya gerakan tanah dengan menggunakan metode AHP.
2. Mengetahui tipe alterasi hidrotermal yang berpengaruh terhadap perubahan sifat keteknikan pada lereng di daerah penelitian.
3. Memprediksi mekanisme gerakan tanah akibat proses alterasi hidrotermal.

2. Metodologi

Tahapan penelitian meliputi pra-lapangan, lapangan dan pasca lapangan. Sebelum dilakukan pengamatan lapangan, maka didahului dengan analisis data sekunder yang didapatkan melalui pustaka, jurnal, prosiding dan sumber lain yang terkait dengan judul penelitian. Data dan sampel yang didapatkan dari hasil observasi lapangan kemudian diuji laboratorium berupa analisa geologi teknik untuk mengetahui sifat indeks tanah. Analisa XRD dan analisa petrografi untuk mengetahui komposisi dan litologi penyusun dan tingkat alterasi yang terjadi pada daerah penelitian. Hasil analisa laboratorium dan pengamatan lapangan kemudian dikombinasikan sehingga

dihasilkan peta kelerengan, peta geologi, peta struktur geologi, peta geologi teknik, peta zona alterasi hidrotermal, dan peta tata guna lahan. Untuk mengetahui pengaruh alterasi hidrotermal terhadap terjadinya gerakan tanah dibandingkan dengan faktor pengontrol yang lain, maka digunakan analisis AHP. Melalui analisis AHP tersebut maka didapatkan nilai bobot pada tiap-tiap parameter (alterasi hidrotermal, kelerengan, geologi teknik, struktur geologi, dan tata guna lahan). Selanjutnya dilakukan *scoring* pada setiap sub parameter, kemudian mengalikannya dengan nilai bobot pada tiap parameter sehingga dengan bantuan *software* ArcGIS, *spatial analyst (weighted overlay)* dapat dihasilkan peta kerentanan gerakan tanah.

Dengan metode-metode ini diharapkan mampu menjawab hipotesa bahwa alterasi hidrotermal sebagai faktor terpenting yang menyebabkan gangguan kestabilan lereng. Hasil analisa kelima faktor pengontrol gerakan tanah tersebut ditambah analisa curah hujan sebagai faktor pemicu terjadinya gerakan tanah diharapkan mampu menjelaskan mekanisme terjadinya gerakan tanah di daerah penelitian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Laporan Penelitian

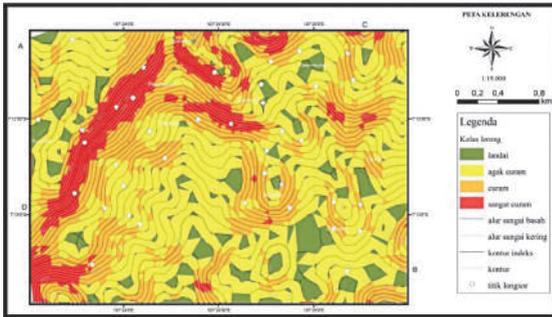
3.1.1. Kondisi Morfologi Daerah Penelitian

Pengklasifikasian satuan geomorfologi pada daerah pemetaan didasarkan atas aspek *morfometri* yang memperhitungkan sudut lereng. Perhitungan kemiringan lereng (*morfometri*) dilakukan secara langsung di lapangan.

Kemiringan lereng juga bervariasi antara kurang dari 10° hingga lebih dari 40° sehingga dapat dibagi menjadi empat satuan *morfologi* yaitu satuan lereng landai (kemiringan $\leq 10^\circ$), lereng agak curam ($10^\circ < \text{kemiringan} \leq 20^\circ$), curam ($20^\circ < \text{kemiringan} \leq 40^\circ$), dan lereng sangat curam (kemiringan $> 40^\circ$) (Gambar 1).

Satuan lereng landai memiliki 2 titik longsor, satuan lereng agak curam 9

titik longsor, satuan lereng curam 18 titik longsor dan satuan sangat curam 9 titik longsor.



Gambar 1. Peta kelereng daerah penelitian

3.1.2. Kondisi Geologi Daerah Penelitian.

Litologi daerah penelitian tersusun atas formasi Qv (pJ), yang terdiri atas lava dan lahar Gunung Api Patuha.

a. Satuan Lava Andesit Hornblenda

Satuan ini memanjang dengan arah timur-laut barat daya, di sepanjang daerah timur Sukasari–Patuhawati–hingga Curug Cayunan. Lava andesit *hornblenda* ini juga tersingkap pada beberapa titik di daerah Bedengtilu.

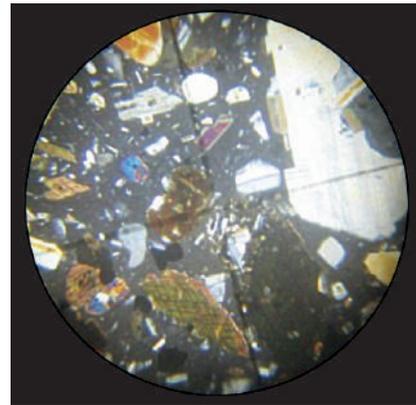
Secara megaskopis lava andesit *hornblenda* berwarna abu-abu kehitaman, memiliki tekstur *porfiroafanitik*, dengan *fenokris* berukuran (1 mm – 3 mm) dan massa dasarnya berukuran halus - sangat halus < 0,05 - 0,5 mm bentuk kristalnya *subhedra*. *Fenokris*nya berupa *plagioklas*, *hornblenda* dan *piroksen*, sedangkan massa dasarnya berupa mineral mafik dan pecahan *plagioklas* (Gambar 2).



Gambar 2. *Fenokris hornblenda* pada lava andesit hornblenda

b. Satuan Lava Andesit Piroksen

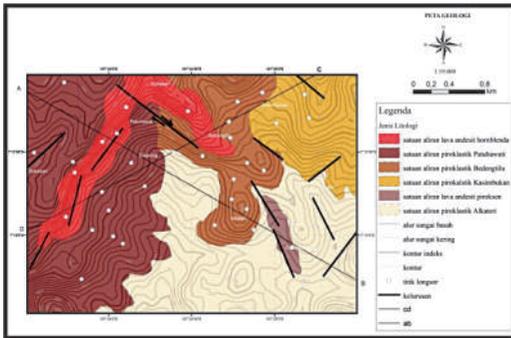
Satuan lava andesit *piroksen* tersingkap di sepanjang Sungai Ci Sintok dengan arah tenggara – barat laut. Secara *megaskopis* andesit *piroksen* berwarna hitam, tekstur *porfiroafanitik*, massa dasar berupa mineral-mineral *mafik* dan *fenokris* berupa *piroksen* (melimpah) dan *plagioklas* dengan ukuran sedang - kasar (sedikit melimpah). Secara *petrografi* berwarna abu-abu kecoklat- coklatan, *porfiritik*, *hipidiomorfik granular*, *hipokristalin*, ukuran kristal <0,03 mm–1,5 mm, komposisinya terdiri dari *plagioklas* yang melimpah, *piroksen* agak melimpah dan mineral opak dan gelas vulkanik yang kurang melimpah (Gambar 3).



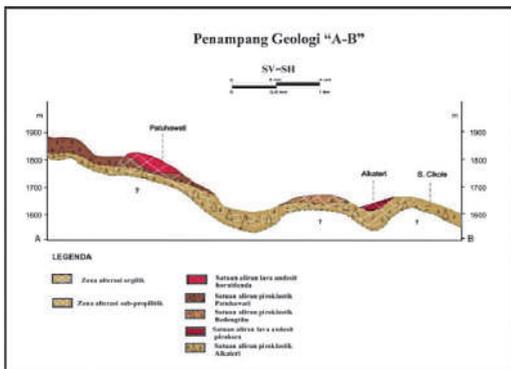
Gambar 3. *Fenokris piroksen* pada lava andesit piroksen

c. Breksi Andesit

Breksi andesit memiliki pelamparan yang sangat luas hampir melingkupi keseluruhan daerah penelitian yang sebagian besar telah melapuk menjadi tanah dengan ketebalan yang bervariasi antara 5-25 m. Breksi andesit tersebar dalam satuan aliran *piroklastik Bedengtilu*, satuan aliran *piroklastik Patuhawati*, satuan aliran *piroklastik Alkateri*. Terminologi *piroklastik* merupakan istilah di dalam suatu endapan vulkaniklastik eksplosif. *Piroklastik* merupakan istilah yang digunakan pada agregate atau sekumpulan partikel yang terbentuk oleh aktivitas vulkanik eksplosif yang kemudian terendapkan oleh proses transportasi segera setelah aktivitas tersebut terjadi (Cas and Wright, 1987).



Gambar 4. Peta geologi daerah penelitian



Gambar 5. Penampang geologi A-B

3.1.3. Zona Alterasi Daerah Penelitian

Aktivitas hidrothermal mengakibatkan terjadinya proses alterasi hidrothermal di sepanjang zona struktur yang telah berkembang sebelumnya melalui bidang kekar dan sesar. Air meteorik yang jatuh dan terinfiltrasi kemudian mengalami pemanasan dari sumber panas geothermal. Air selanjutnya bergerak ke atas kembali, melalui celah yang ada kemudian mengubah komposisi batuan yang ada di atasnya yaitu batuan berumur kuartar hasil material erupsi Gunung Patuha berupa lava andesit *hornblenda*, lava andesit *piroksen*, dan breksi *piroklastik*.

Berdasarkan kumpulan mineralnya (*mineral assemblage*), daerah penelitian terbagi menjadi dua zona alterasi, yaitu *argilik* dan *sub-propilitik*. Untuk menentukan tipe alterasi tersebut digunakan dua pendekatan

metode analisa, yaitu analisa XRD dan analisa petrografi. Analisa XRD menggunakan dua tipe pengujian yaitu analisa *bulk* dan analisa lempung (*clay analysis*). Analisa XRD dilakukan pada tujuh titik pengambilan sampel yang tersebar pada masing – masing satuan litologi. Sedangkan analisa petrografi digunakan untuk mengetahui origin dari sampel yang telah teralterasi.

a. Zona Alterasi Argilik

Penciri alterasi *argilik* berupa terbentuknya mineral lempung dalam batuan akibat proses hidrolisis yang cukup intensif, berupa *kaolin* (*haloisit*, *kaolinit*, *dickit*) dan *ilit*, *smektit*, *interlayer illite-smectite*, serta asosiasi kumpulan mineral transisi yang terbentuk pada pH rendah–sedang (5-6) dan suhu rendah (kurang dari 200°C hingga 2.500°C).

Jumlah titik longsor pada zona alterasi *argilik* adalah 19 titik longsor.

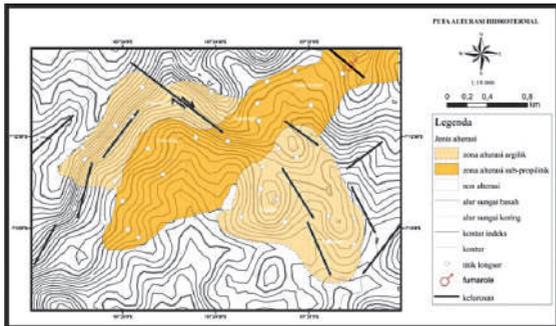


Gambar 6. Singkapan batuan teralterasi argilik di Sungai Ci-Sintok

b. Zona Alterasi Sub-Propilitik

Zona alterasi *sub-propilitik* terdiri atas kelompok mineral *klorit* hingga *zeolit*. Alterasi *sub-propilitik* umumnya berlangsung pada temperatur yang rendah dan pada pH yang asam. Kumpulan mineral yang sering dijumpai pada zona alterasi ini adalah; *klorit*, *klorit/smektit*, *silika*, *kalsedon*, *kuarsa*, *actinolite/albite*, *karbonat* (Ca, Mg, Mn, Fe).

Jumlah titik longsor pada zona alterasi sub - propilitik adalah 13 titik longsoran.

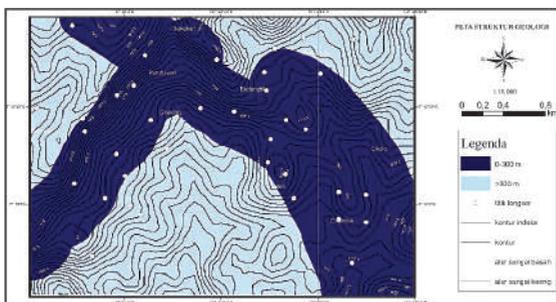


Gambar 7. Peta alterasi hidrotermal daerah penelitian

3.1.4. Kondisi Struktur Geologi Daerah Penelitian

Struktur geologi merupakan salah satu parameter yang menentukan zona kerentanan gerakan tanah. Data struktur geologi berdasarkan data lapangan sedangkan penentuan kelurusan dibantu oleh citra satelit. Struktur geologi berupa sesar dekstral diperkirakan berada di daerah Patuhawati. Sedangkan pola kelurusan menunjukkan arah Timurlaut - Baratdaya dan Baratlaut - Tenggara.

Zona struktur geologi pada daerah penelitian dibagi menjadi dua zona yaitu zona 0 - 300 m, yang merupakan zona yang paling berpengaruh terhadap terjadinya gerakan tanah, dan zona > 300 m yang merupakan zona kurang berpengaruh. Titik gerakan terbanyak terdapat pada zona 0 - 300 m, yaitu sebanyak 27 titik.

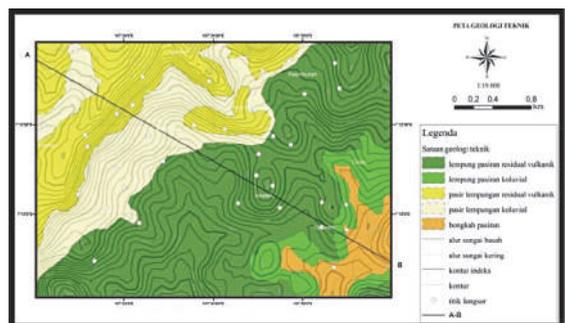


Gambar 8. Peta struktur geologi daerah penelitian

3.1.5. Kondisi Geologi Teknik Daerah Penelitian

Daerah penelitian tersusun atas endapan vulkaniklastik berupa lava andesit *hornblenda*, lava andesit *piroksen*, breksi *piroklastik* yang sebagian besar berada dalam kondisi melapuk dan telah berubah menjadi soil dengan ketebalan yang bervariasi. Berdasarkan ukuran butir tanah dan genesanya, daerah penelitian dibagi menjadi lima satuan, yaitu:

1. Satuan pasir-lempungan residual vulkanik.
2. Satuan pasir-lempungan koluvial.
3. Satuan lempung-pasiran residual vulkanik.
4. Satuan lempung-pasiran koluvial.
5. Satuan bongkah pasiran.



Gambar 9. Peta geologi teknik daerah penelitian

3.1.6. Tata Guna Lahan

Daerah penelitian memiliki beberapa bentuk penggunaan lahan, yaitu perkebunan, hutan lindung, semak belukar, ladang, dan pemukiman. Masing-masing penggunaan lahan memiliki dampak tersendiri terhadap kondisi kestabilan lereng.

a. Perkebunan

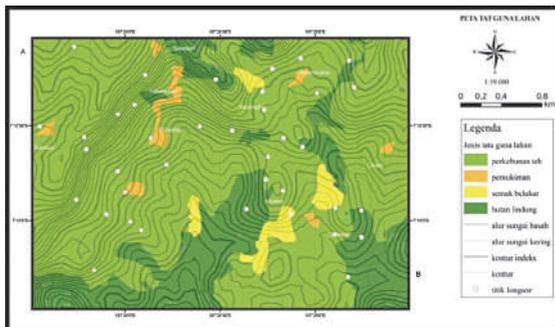
Perkebunan merupakan penggunaan lahan yang paling dominan di daerah penelitian, dengan luas pelamparan 68,9%. Tercatat terdapat 16 titik gerakan tanah dan 10 titik yang berpotensi untuk terjadinya gerakan tanah. Terdapat 6 buah longsoran bertipe *creeping*, 5 buah longsoran translasional, dan 6 buah longsoran rotasional.

b. Pemukiman

Pemukiman hanya tersebar pada beberapa titik dari seluruh daerah penelitian terutama pada daerah satuan morfologi landai-agak curam. Terdapat dua titik longsor pada satuan pemukiman ini.

c. Hutan Lindung dan Semak Belukar

Hutan lindung merupakan tata guna lahan yang kurang rentan terhadap terjadinya gerakan tanah. Hal ini didukung oleh tanaman yang berkembang pada satuan hutan lindung lebih banyak berupa tanaman berakar tunggang dan dalam. Hutan lindung memiliki pelamparan yang cukup luas yaitu sekitar 21,1%. Pada masing-masing satuan ini terdapat dua titik longsor.



Gambar 11. Peta tata guna lahan daerah penelitian

3.2. Artikel Ulasan

3.2.1. Pengaruh Alterasi Hidrotermal Terhadap Terjadinya Gerakan Tanah Dibandingkan Dengan Faktor-faktor Pengontrol Gerakan Tanah Yang Lain.

Aktivitas *hydrothermal* Patuha mengakibatkan terjadinya proses alterasi hidrotermal di sepanjang zona stuktur yang telah berkembang sebelumnya melalui bidang kekar dan sesar. Air meteorik yang jatuh dan terinfiltrasi kemudian mengalami pemanasan dari sumber panas *geothermal*. Air selanjutnya bergerak ke atas kembali, melalui celah-celah yang terbentuk kemudian mengubah komposisi batuan yang ada di

atasnya yaitu batuan berumur kuartar hasil material erupsi Gunung Patuha berupa lava andesit *hornblenda*, lava andesit *piroksen*, dan breksi *piroklastik*.

Alterasi hidrotermal yang berlangsung intensif melalui zona patahan dan kekar mampu menghasilkan soil yang tebal. Mineral yang terbentuk sebagai hasil aktivitas hidrotermal ini sebagian besar berupa mineral lempung yang memiliki tingkat *swelling index* yang tinggi, seperti *smektit*, dan *mixed layer I/S*. Kondisi soil yang cukup tebal dan menumpang di atas zona alterasi mineral lempung yang lebih kedap air akan mengakibatkan air yang meresap ke dalam tanah sulit menembus lapisan alas di bawahnya dan hanya terakumulasi dalam lapisan breksi andesit dan lava andesit yang teralterasi menjadi mineral lempung (*impermeable*) dengan massa tanah di atasnya yang lebih permeable akan menjadi suatu bidang gelincir gerakan tanah.

Faktor alterasi hidrotermal bukan satu-satunya faktor yang mengontrol terjadinya gerakan tanah di daerah penelitian. Berdasarkan interpretasi dan pengamatan lapangan terdapat beberapa faktor lain yang turut mengontrol terjadinya gerakan tanah, diantaranya faktor kelerengan, geologi teknik, struktur geologi dan tata guna lahan. Faktor litologi tidak disertakan dalam analisis faktor pengontrol yang paling berpengaruh terhadap terjadinya gerakan tanah, karena sebagian besar batuan di daerah penelitian berada pada kondisi lapuk-sangat lapuk. Sehingga faktor geologi teknik dianggap lebih tepat digunakan untuk menggambarkan kondisi sesungguhnya di lapangan.

Untuk mengetahui faktor yang paling berpengaruh terhadap terjadinya gerakan tanah diperlukan analisis AHP, karena *level of importance*-nya bersifat hipotetis atau subyektif. Langkah awal yang harus dilakukan adalah melakukan variasi pemberian nilai pada tahap pertama (matriks perbandingan berpasangan), sehingga didapatkan beberapa alternatif nilai bobot parameter. Selanjutnya dilakukan analisis rasio

konsistensi yang berfungsi untuk memeriksa konsistensi dalam penentuan pembobotan. Analisis konsistensi bertujuan mencari nilai rasio konsistensi (*Consistency Ratio/CR*). Nilai CR dapat dikoreksi melebihi 10%. Jika nilai CR lebih dari 0,10, maka perlu dilakukan pertimbangan kembali terhadap pemberian skala pada matriks.

Untuk mendapatkan nilai CR terkecil, maka dilakukan beberapa variasi pemberian nilai matriks perbandingan berpasangan. Semakin kecil nilai CR, maka akan semakin meningkatkan nilai konsistensi. Sesuai

pengamatan lapangan dan interpretasi, maka nilai parameter alterasi hidrotermal dan struktur geologi diberikan nilai tertinggi secara bergantian dan diberikan nilai yang sama. Variasi yang lain adalah memberikan nilai yang sama kepada faktor struktur geologi, alterasi hidrotermal, geologi teknik, kelerengan atau memberikan nilai lebih pada salah satunya dan memberikan nilai terkecil pada faktor tata guna lahan. Tabel di bawah ini memperlihatkan beberapa alternatif nilai bobot peta parameter.

Tabel 1. Matriks Timbal Balik dan Normalisasi

Parameter	Alterasi Hidrotermal	Struktur Geologi	Geologi Teknik	Kelerengan	Tata Guna Lahan	Jumlah
Alterasi Hidrotermal	1.00	3.00	3.00	3.00	5.00	15.00
Struktur Geologi	0.33	1.00	1.00	1.00	3.00	6.33
Geologi Teknik	0.33	1.00	1.00	1.00	3.00	6.33
Kelerengan	0.33	1.00	1.00	1.00	3.00	6.33
Tata Guna Lahan	0.20	0.33	0.33	0.33	1.00	2.19
Jumlah	2.19	6.33	6.33	6.33	15.00	36.18

Matriks Ternormalisasi

Parameter	Alterasi hidrotermal	Struktur Geologi	Geologi Teknik	Kelerengan	Tata Guna Lahan	Jumlah	Nilai Prioritas
Alterasi Hidrotermal	0.46	0.47	0.47	0.47	0.33	2.21	44.24%
Struktur Geologi	0.15	0.16	0.16	0.16	0.20	0.82	16.49%
Geologi Teknik	0.15	0.16	0.16	0.16	0.20	0.82	16.49%
Kelerengan	0.15	0.16	0.16	0.16	0.20	0.82	16.49%
Tata Guna Lahan	0.09	0.05	0.05	0.05	0.07	0.31	6.29%
Jumlah	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	5.00	100.0%

lambda max 5.0438
consistency index (CI) 1.10%
consistency ratio (CR) 0.98%

Berdasarkan tabel-tabel matriks timbal-balik dan ternormalisasi di atas nilai CR terkecil atau yang memiliki rasio nilai konsistensi terbaik adalah pada Tabel 1, dengan nilai CR < 1%, yaitu 0.98 %. Pada tabel 1, masing-masing nilai parameter diberi skala terhadap parameter lainnya. Parameter alterasi hidrotermal mendapat skala sedikit lebih penting (3) terhadap parameter struktur geologi, geologi teknik, kelerengan dan skala lebih penting (5) terhadap parameter tata guna lahan. Karena nilai CR (0.98%) maka nilai rasio konsistensi ini masuk kedalam batasan toleransi nilai rasio konsistensi yang maksimal 10%, oleh karena itu hasilnya dapat diterima.

Berdasarkan normalisasi bobot parameter pada tabel 1, diketahui bahwa parameter alterasi hidrotermal 2,68 kali lebih berpengaruh terhadap terjadinya gerakan tanah dibandingkan faktor struktur geologi, geologi teknik dan kelerengan, dan 7,03 kali lebih penting dibandingkan parameter tataguna lahan.

Tabel 2. Perbandingan bobot parameter ternormalisasi pada alterasi hidrotermal terhadap keempat parameter yang lain

alterasi hidrotermal : struktur geologi, geologi teknik, dan kelerengan	2,68
alterasi hidrotermal : tata guna lahan	7,03

3.2.2. Pembuatan Peta Kerentanan Gerakan Tanah

Parameter yang mempengaruhi penilaian zona kerentanan gerakan tanah berdasarkan tinggi rendahnya bobot parameter pada tabel 1 adalah (alterasi hidrotermal 44,24%, struktur geologi, geologi teknik, kelerengan 16,49% dan tata guna lahan 6,29%. Kemudian dilakukan penentuan nilai-nilai (pembobotan) masing-masing kelas pada tiap parameter. Penentuan nilai dilakukan secara subyektif didukung oleh masukan dari data sekunder dan sebaran titik gerakan massa yang ditampilkan pada setiap peta parameter. Nilai yang diberikan

menunjukkan seberapa besar pengaruh parameter tersebut terhadap pergerakan tanah. Nilai skor yang digunakan mulai dari 1 (satu) sampai 3 (tiga), sesuai dengan ketentuan penilaian/skor pada peraturan menteri pekerjaan umum No. 22/PRT/M/2007. Semakin tinggi nilai skor akan semakin tinggi pula pengaruh parameter tersebut terhadap kerentanan gerakan tanah.

3.2.2.1. Penentuan Nilai Kelas-kelas pada Masing-masing Parameter

A. Alterasi Hidrotermal.

Gerakan tanah terbanyak terjadi pada zona alterasi *argilik* dan zona alterasi sub-*propilitik*. Zona alterasi *argilik* memiliki jumlah titik longsor yang lebih tinggi dibandingkan zona alterasi sub-*propilitik*. Hal ini mempengaruhi skor masing-masing kelas di dalam parameter alterasi *hidrotermal*. Sehingga zona alterasi *argilik* memiliki skor 3, sub *propilitik* 2, dan non *alterasi* 1.

B. Struktur Geologi.

Gerakan tanah cenderung terjadi pada zona struktur geologi 0 - 300 m. Hal ini terlihat dari jumlah titik longsor. terbanyak terdapat pada satuan ini, yaitu sebanyak 27 titik longsor, sedangkan zona > 300 m hanya memiliki 11 titik longsor.

Pembuatan zona-zona tersebut menjelaskan bahwa semakin ke bagian tengah zona struktur, maka akan semakin banyak retakan yang terjadi. Semakin banyak retakan maka akan menghasilkan zona lemah yang lebih rentan terhadap terjadinya gerakan tanah. Sehingga nilai skoring pada zona 0 - 300 m (3) sedangkan > 300 m (1).

C. Geologi Teknik

Pemilihan penggunaan parameter geologi teknik dibandingkan parameter geologi, karena sebagian besar litologi di daerah penelitian berada dalam kondisi melapuk, sehingga material yang bergerak didominasi oleh material tanah. Jenis satuan geologi teknik yang paling berpotensi terhadap terjadinya

gerakan tanah adalah satuan lempung pasiran residual vulkanik dan satuan pasir lempungan residual vulkanik, sehingga mendapatkan skor 3. Satuan pasir lempungan koluviyal mendapatkan skor 2, sedangkan satuan lempung pasiran koluviyal dan satuan bongkah pasiran mendapatkan skor 2.

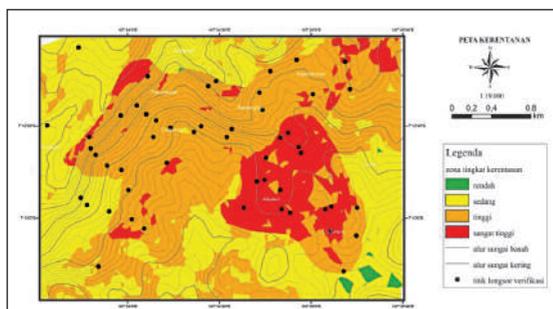
D. Kelerengan

Gerakan tanah cenderung terjadi pada kelas lereng $10^\circ < \text{kelerengan} \leq 20^\circ$ dan $20^\circ < \text{kelerengan} \leq 40^\circ$. Hal ini mempengaruhi skor masing-masing kelas di dalam parameter kelerengan. Kelas lereng landai mendapatkan skor 1. Kelas lereng agak curam mendapatkan skor 2. Kelas lereng curam mendapatkan skor 3 sedangkan satuan lereng sangat curam mendapatkan skor 2.

E. Tata Guna Lahan

Berdasarkan jumlah persebaran longsor dapat diketahui bahwa kecenderungan terjadinya gerakan tanah pada satu jenis tata guna lahan, yaitu perkebunan. Sub parameter perkebunan memiliki jumlah titik longsoran tertinggi dibandingkan sub parameter yang lain. Hal ini mempengaruhi skor masing-masing kelas di dalam parameter tata guna lahan. Sehingga sub parameter perkebunan mendapatkan skor 3, hutan lindung 2, pemukiman dan semak belukar masing-masing 1.

Nilai skor pada masing-masing sub parameter kemudian dikalikan dengan nilai bobot parameter, dalam analisa spasial (*weighted overlay*) dengan *software* ArcGIS.



Gambar 11. Peta kerentanan daerah penelitian

3.2.3. Verifikasi

Proses verifikasi dilakukan dengan menampilkan peta kerentanan gerakan tanah yang telah dibuat terhadap sebaran titik gerakan tanah (Gambar 11). Zona kerentanan sangat tinggi memiliki sebaran titik longsor yang paling banyak. Kemudian zona kerentanan tinggi dengan 28 titik longsoran dan zona kerentanan tingkat sedang memiliki 5 titik longsoran. Hal ini sesuai dengan dasar teori bahwa semakin tinggi tingkat kerentanan suatu daerah maka akan semakin rentan untuk terjadinya longsor.

3.2.4. Jenis Alterasi yang Lebih Berpengaruh Terhadap Terjadinya Gerakan Tanah.

Seperti dijelaskan sebelumnya pada bab pengutaraan data, jenis alterasi hidrotermal terbagi menjadi dua jenis, yaitu tipe alterasi *argilik* dan tipe alterasi sub *propilitik*. Pengklasifikasian ini berdasarkan kumpulan mineralnya (*mineral assemblage*), menggunakan analisa XRD dan analisa *petrografi*. Analisa XRD menggunakan dua tipe pengujian yaitu analisa *bulk* dan analisa lempung (*clay analysis*).

Zona alterasi argilik di daerah penelitian terdiri atas mineral *smektit*, *interlayer illite-smectite*, *kaolinit*, *haloisit*, *kristobalit* dan *kuarsa*. Mineral *smektit* termasuk ke dalam kelompok mineral *montmorilonit*, umumnya berukuran sangat halus dan komponen dalam lapisannya tidak terikat kuat. Jika bersentuhan dengan air maka ruang di antara lapisan mineral mengembang sehingga menyebabkan volume tanah berlipat ganda. Mineral *haloisit* bersifat plastis jika basah dan retak jika kering. *Haloisit* juga memiliki kemampuan mengembang bila terkena air. Karakteristik mineral-mineral lempung penciri alterasi *argilik* tersebut menyebabkan penurunan kuat geser pada lereng sehingga lebih rentan untuk terjadinya gerakan tanah. Hal ini terlihat dari jumlah titik longsor yang lebih banyak daripada jumlah titik longsor di zona alterasi sub propilitik, yaitu sebanyak 19 titik longsoran berbanding 13 titik longsor.

Zona sub propilitik di daerah penelitian

terdiri atas mineral *mixed layer C/S*, *mixed layer I/S*, *mordenit*, *kristobalit*, dan *kuarsa*. Mineral *klorit* dibentuk oleh satu lembaran aluminium *oktahedral* yang terikat di antara dua lembaran *silika tetrahedron*. Lapisan tersebut bersifat menerus dan membentuk tiga susunan, dimana satu lapisan dasar mempunyai tebal 14Å, sehingga air susah menembus lapisan ini. Ilit terbentuk oleh satu lembaran aluminium *oktahedral* yang terikat di antara dua lembaran *silika tetrahedron*. Lembaran aluminium dan silika terikat oleh ikatan lemah *ion kalium*. Ikatan dengan *ion kalium* (K+) lebih lemah daripada ikatan hidrogen pada *kaolinit*, tetapi lebih kuat daripada ikatan ion pada *montmorilonit*, sehingga *ilit* lebih sukar mengembang dibandingkan *kaolinit*. Berdasarkan karakteristik mineral-mineral lempung tersebut maka penurunan kuat geser pada zona alterasi sub *propilitik* yang lebih rendah dibandingkan alterasi *argilik*. Hal ini juga terlihat dari jumlah titik longsor pada zona alterasi sub *propilitik* yang berjumlah 13 titik longsor, sedangkan zona alterasi *argilik* berjumlah 19 titik longsor.

3.2.5. Mekanisme Terjadinya Gerakan Tanah di Daerah Cicacing

Longsor yang terjadi di daerah Cicacing merupakan integrasi dari faktor alterasi hidrotermal, struktur geologi, geologi teknik, kelerengan dan tata guna lahan. Sesuai dengan hasil analisis AHP pada matriks perbandingan, faktor alterasi hidrotermal merupakan faktor yang lebih berperan dibandingkan empat pengontrol gerakan tanah yang lain. Daerah Cicacing terletak pada zona alterasi argilik yang kaya akan mineral lempung berjenis *haloisit* dan *kaolinit*. *Haloisit* merupakan mineral yang terbentuk dari alterasi hidrotermal atau pelapukan dari mineral *alumino silikat* seperti *feldspar* yang sering dijumpai pada batuan vulkanik. *Haloisit* memiliki bentuk *elongate* atau *fibrous* sehingga permeabilitasnya lebih tinggi dibandingkan mineral lempung lain yang memiliki bentuk *platy*. *Haloisit* dibedakan dari *kaolinit* ($2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) dari sifatnya yang mengembang bila menyerap air. *Haloisit*

bersifat plastis jika basah dan retak-retak pada saat kering. Karakteristik dari *haloisit* yang memiliki permeabilitas yang tinggi serta bersifat mengembang bila terkena air akan menjadi bidang gelincir saat terjadinya gerakan tanah.

Daerah Cicacing berada pada zona struktur 0 - 300 m, dan berada pada zona sesar geser dekstral sehingga dihasilkan banyak kekar-kekar gerus yang justru akan melemahkan kekuatan geser tanah maupun batuan. Selain itu, zona kekar dan retakan ini merupakan jalur masuk air ke dalam lereng. Apabila semakin banyak air masuk melewati retakan atau kekar tersebut, maka tekanan air juga akan semakin meningkat sehingga dengan mudah tekanan air ini akan menggerakkan lereng melalui jalur tersebut.

Kondisi kelerengan daerah Cicacing berada pada kemiringan lereng 34° yang termasuk kedalam satuan lereng curam. Semakin curam sudut lereng (α), maka akan semakin meningkatkan tenaga penggerak dari suatu lereng (*driving mass*). Ketika tenaga penggerak ($W \sin \alpha$) > tenaga penahan ($W \cos \alpha$) maka F_s (*factor of safety*) akan < 1 , sehingga kestabilan lereng terganggu. Kondisi kemiringan lereng ini mengakibatkan terbentuknya longSORan bertipe luncuran rotasional di bagian atas dan berkembang menjadi longSORan tipe aliran di bagian bawah yang memiliki kemiringan lereng lebih landai.

Kondisi geologi teknik daerah Cicacing berupa tanah residual vulkanik hasil pelapukan lava dan breksi andesit dengan ketebalan mencapai 25 m dan berukuran pasir lempungan. Tanah tersebut memiliki koefisien kohesi sebesar $0,02 \text{ kg/cm}^2$ dan sudut gesek dalam sebesar $27,02^\circ$.

Faktor-faktor pengontrol tersebut menyebabkan lereng menjadi rentan untuk bergerak dan ketika faktor pemicu berupa infiltrasi air hujan hadir dalam intensitas yang tinggi pada bulan februari 2010 mencapai 944,5 mm dalam 25 hari, sehingga membuat lereng berada pada kondisi kritis dan pada saat terlampaui ($F_s < 1$) akhirnya akan terjadi gerakan tanah. Infiltrasi air hujan ke dalam lereng merupakan faktor pemicu utama terjadinya gerakan tanah pada daerah Cicacing.

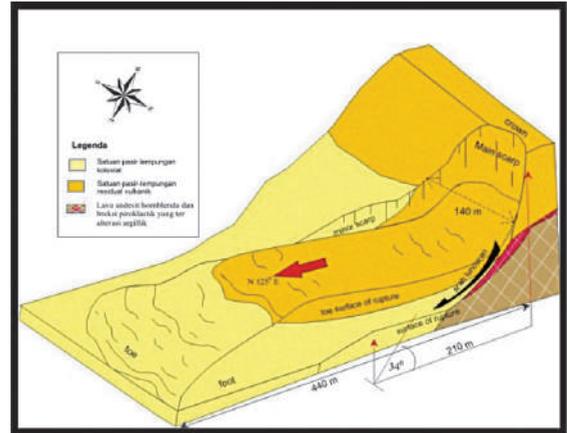
Faktor pemicu kedua yang kemungkinan besar mempengaruhi terjadinya gerakan tanah pada titik tersebut adalah getaran akibat adanya gempa bumi. Titik longsor yang berada pada zona struktur 0 - 300 m akan menerima getaran yang hebat pada saat terjadinya gempa bumi, getaran tersebut akan menyebabkan butiran-butiran pada tanah saling menekan dan kandungan airnya akan mempunyai tekanan yang besar terhadap lapisan di atasnya. Meningkatnya tekanan air pori ini menyebabkan gaya kontak (*contact forces*) di antara butiran-butiran penyusun tanah berkurang. Akibat peristiwa tersebut, lapisan di atasnya akan seperti mengambang dan tidak mempunyai kekuatan sehingga dapat mengakibatkan perpindahan massa dengan cepat.



Gambar 12. Longsor masa lampau daerah Cicacing

Sehingga dari uraian di atas dapat diinterpretasikan bahwa pada saat awal, sebelum terdapatnya faktor pemicu tersebut, integrasi dari beberapa faktor pengontrol gerakan tanah akan membentuk potential *surface failure*. Ketika intensitas hujan mulai meningkat, terjadi peningkatan tekanan air pori dalam tanah, peningkatan berat isi tanah (peningkatan beban massa tanah), pengurangan atau penghilangan tegangan *suction* (tegangan hisap) di zona tidak jenuh air, yang pada akhirnya mengakibatkan pengurangan kuat geser tanah pada lereng sehingga *potential surface failure* tersebut mulai bergerak karena gaya penggerak lebih besar dibandingkan gaya penahannya dan membentuk *surface of rupture* dengan bentuk

melengkung (longsor rotasional), (Gambar 12 dan 13).



Gambar 13. Kondisi lereng di daerah Cicacing setelah terjadinya longsor.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil integrasi antara pengutaraan data dan pembahasan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, maka kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

Faktor alterasi hidrotermal lebih penting dibandingkan empat pengontrol gerakan tanah yang lain dalam menyebabkan terjadinya gerakan tanah di daerah penelitian. Faktor alterasi hidrotermal 2,68 kali lebih penting dibandingkan faktor struktur geologi, geologi teknik, kelerengan dan 7,03 kali lebih penting dari faktor tata guna lahan.

Jenis alterasi argilik lebih berpengaruh terhadap terjadinya gerakan tanah dibandingkan jenis alterasi sub propilitik, karena karakteristik mineral penciri alterasi argilik (*smektit*, *interlayer illite-smectite*, *haloisit*, dan *kaolinit*) memiliki kemampuan yang lebih dalam mengurangi kuat geser tanah pada lereng, dibandingkan mineral penciri alterasi sub *propilitik* (*mixed layer C/S*, *mixed layer I/S*, *kristobalit*, dan *kuarsa*).

Mekanisme gerakan tanah di daerah penelitian terbentuk dari integrasi faktor alterasi hidrotermal, struktur geologi, geologi teknik,

kelerengan dan tata guna lahan. Faktor pemicu longsor berupa intensitas hujan yang tinggi saat bulan februari 2010 (944,5 mm), aktifitas manusia dan getaran. Tipe longsor yang terjadi bertipe luncuran (*slide*) dan berkembang menjadi aliran (*flow*) di bagian bawah lereng.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih ditujukan kepada Prof. Dwikorita Karnawati, M.Sc., PhD dan Dr. Doni Prakasa Eka Putra yang banyak memberikan bantuan dan saran dalam penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbott, L.P., 2004, *Natural Disasters*, San Diego University, United States of America.
- Alhamid, I., 1989, *The Resources Potential of The G. Patuha Geothermal Area, West Java*, Proceedings Indonesian Petroleum Association, 89-14.01.
- Ayalew, L., Yamagishi, H., Marui, H., and Kanno, T., 2005, *Landslides In Sado Island Of Japan: Part II. GIS-Based Susceptibility Mapping With Comparisons Of Results From Two Methods and Verification*: Elsevier, Engineering Geology 81: 432-445.
- Bell, F.G., 1999, *Geological Hazard*, Taylor & Frincise Library, New York.
- Bell, F.G., 2007, *Engineering Geology*, Elsevier, Great Britain.
- Bronto, S., 2006, *Stratigrafi Gunung Api Daerah Bandung Selatan, Jawa Barat*, Jurnal Geologi Indonesia, Vol. 1 No. 2 Juni 2006: 89-101.
- Cas, R.A.F., dan Wright, J.V., 1987, *Volcanic Succession Modern and Ancient*, Allen Unwin, London.
- Corbett dan Leach, 1998, SW Pacific Rim Au/Cu Systems; *Structure, Alteration and Mineralization*.
- Crozier, M.J., dan Glade, T., 2004, *Landslide Hazard and Risk: Issues, Concepts and Approach*, John Wiley and Sons, West Sussex.
- Gillot, J.E., 1968, *Clay in Engineering Geology*, Elsevier Publishing Company, Amsterdam.
- Hakim, M.R., dan Laya, K.P., 2006, *Bandung Basins Tectonics, Stratigraphy and Geothermal Prospects Based on Water Geochemistry Analysis*. Proceedings, Jakarta 2006 International Geosciences Conference And Exhibition Jakarta, SOT-09.
- Hardiyatmo, H.C., 2002, *Mekanika Tanah I*, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Highland, L.M., dan Bobrowsky, P., 2008, *The Landslide Handbook-A Guide to Understanding Landslides*, USGS, Virginia
- Jones, D.K., dan Lee, E.M., 2004, *Landslide Risk Assesment*, Thomas Telford, London.
- Karnawati, D., 2005, *Bencana Alam Gerakan Massa Tanah di Indonesia dan Upaya Penanggulangannya*, Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Koesmono, M., Kusnama, Suwarna, N., 1972, *Peta Geologi Lembar Sindangbarang & Bandarwaru*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- McPhie, J., Doyle, M., dan Allen, R.J., 1993, *Volcanic Textures, Centre of Deposit & Exploration Studies*, University of Tazmania, Tazmania.
- Moore, D., N., dan Reynolds, R., C., 1997, *X-Ray Diffraction and Identification and Analysis of Clay Minerals*, Oxford University Press, Oxford.
- Morisson, K., 1996. *Magmatic-Realated Hydrothermal System: The Basic Model*. Short Course Manual. Australia.
- Nicholson, K., 1993, *Geothermal Fluids, Chemistry and Exploration Techniques*, Springer Verlag, Inc, Berlin.
- Pulunggono, A., dan Martodjojo, S., 1994, *Perubahan tektonik Paleogen – Neogen merupakan peristiwa tektonik terpenting di Jawa*, Proceeding Geologi dan Geotektonik Pulau Jawa, Nafiri,

Yogyakarta.

- Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, 2009, *Wilayah Potensi Gerakan Tanah di Provinsi Jawa Barat bulan September 2009*. Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia.
- Risyad, R. B., 2010, *Pemetaan Zona tingkat Kerentanan Gerakan Tanah di Desa Girimukti Kecamatan Campaka dan Desa Cibokor Kecamatan Cibeber, Kabupaten Cianjur, Propinsi Jawa Barat*, Skripsi Jurusan Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. (Tidak dipublikasikan).
- Schmincke, H-U, 2004, *Volcanism*, Springer-Verlag, Berlin Heidenberg, Germany
- Turner, Keith A., dan Schuster, Robert L., 1996, *Landslide Hazard and Mitigation*, National Academy of Sciences, USA.
- Tim KKN PPM UGM 2010 Unit 107 (Ciwidey), 2010, *Modul Penanggulangan Bencana Longsor di RW 07, Desa Sugihmukti, Kecamatan Pasir Jambu, Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat*.
- Van Bemmelen, R.W., 1949, *The Geology of Indonesia vol 1A: The Haque*, General Geology Martinus Nijhof.
- Velde, B., 1995, *Origin and Mineralogy of Clays*, Springer, Berlin Heidelberg.
- Yalcin, A., 2007, *the Effect of Clay on Landslide*, Aksaray University, Turkey.