

KARAKTERISTIK, TIPE DAN BIDANG GELINCIR PADA ZONA LONGSOR CILOTO, JAWA BARAT BERDASARKAN ESTIMASI METODE GEODETIK

Vera Sadarviana¹, Hasanuddin Z. Abidin², Joenil Kahar², Djoko Santoso³

1 Jurusan Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Winaya Mukti,

Jl. Winaya Mukti 2, Jatinangor Sumedang 45363, Jawa Barat, INDONESIA, e-mail : verasadarviana@yahoo.com

2 Kelompok Keahlian Geodesi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung,

Jl. Ganesha 10, Bandung 40132, Jawa Barat, INDONESIA, e-mail : hzabidin@gd.itb.ac.id

3 Kelompok Keahlian Teknik Geofisika, Fakultas Ilmu Kebumihan dan Teknologi Mineral, Institut Teknologi Bandung,

Jl. Ganesha 10, Bandung 40132, Jawa Barat, INDONESIA, e-mail : dsantoso@indo.net.id

Sari

Saat ini, fenomena longsor dapat diamati dengan memanfaatkan teknologi satelit GPS sebagai suatu upaya mitigasi dan monitoring perpindahan material. Untuk itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik dan tipe longsor di wilayah studi serta melakukan estimasi bidang gelincir menggunakan data hasil survei GPS.

Pertama, estimasi bidang gelincir dilakukan dengan membagi profil permukaan lereng menjadi bagian-bagian yang berdasarkan kesamaan arah perpindahan titik pantau. Kesamaan arah perpindahan titik pantau berada pada bidang gelincir yang sama. Kedua, fungsi maksimum-minimum metode geodetik dan pendekatan polinomial, termasuk metode grafis dengan memplot garis kecenderungan kecepatan di tiap titik pantau untuk menemukan posisi titik pada bidang gelincir. Penentuan bidang gelincir ideal planar ditentukan dengan analisis lereng tak terhingga dan bidang gelincir sirkular dengan analisis busur lingkaran. Sementara estimasi bidang gelincir dari pendekatan metode geodetik tidak dapat dilakukan karena data geodetik hasil pengukuran di permukaan. Perpotongan dua garis kecenderungan kecepatan perpindahan titik dapat memberikan estimasi lokasi bidang gelincir. Berdasarkan pendekatan geodetik dapat diperoleh estimasi posisi gawir sebagai retakan awal dari suatu bidang gelincir. Posisi gawir pada profil vertikal permukaan lereng sama dengan hasil penelitian geologi di lokasi yang sama.

Longsor di zona longsor Ciloto, memiliki kecepatan rendah (5×10^{-5} - 5×10^{-7} mm/detik). Karakteristik arah perpindahan horisontal tidak sama untuk tiap titik pantau, begitu pula dengan arah perpindahan vertikal, ada yang berupa penurunan permukaan (amblesan) dan ada yang berupa gundukan (tonjolan). Dari penelitian ini diketahui bahwa zona longsor Ciloto memiliki tipe *multiple compound (rotational and translational) debris slide*.

Kata kunci : metode geodetik, survei GPS, karakteristik longsor, tipe longsor, bidang gelincir, longsor *multiple*, gawir

Abstract

Slip surface is delaminates between sliding material and undisturbed slope material. In limit equilibrium method, slip surface is used as reference for safety factor calculation. Landslides phenomenon can be observed using of GPS satellite technology to mitigation and material displacement monitoring. For that purpose, this research is carried out to estimate characteristic, type and slip surface position at Ciloto landslide zone by GPS survey.

First, estimation of slip surface is carried out by slope surface profile which referred to same direction of horizontal displacement of monitored points. The same direction of horizontal displacement at several monitored points indicate that the monitored points can be located at the same slip surface. Second, maximum-minimum function of geometric method and polynomial approach, including graphical method by velocity trend line plotting for each monitored point, were done to find out point position at slip surface. Ideal planar slip surface is determined by infinite slope analysis and circular slip surface is determined by circle arc analysis. Estimation of slip surface by geodetic method approach couldn't give result because geodetic data describe slope surface. By intersection of velocity trend line of monitored point, it can gave estimation of slip surface location. Geodetic approach could gave estimation of scarp position as well as crack which is indicate beginning of slip surface. Locations of scarp in vertical profile have suitability with result of geology research at same study area.

Ciloto landslide zone is classified in very slow velocity landslide (5×10^{-5} - 5×10^{-7} mm/second). The characteristic of horizontal displacement has various direction for each monitored point. Vertical displacements of monitored point have subsidence and uplift or bulging. That characteristic formed hummocky terrain and the other side of zone have gradual slope. From the research, the landslide type at Ciloto zone is multiple compound (rotational and translational) debris slides.

Keywords : geodetic method, GPS survey, landslide characteristic, landslide type, slip surface, multiple landslide, scarp

Pendahuluan

Longsor/*slide* merupakan salah satu tipe pergerakan massa/*mass movement/mass wasting* pada lereng, yang paling banyak dikenal orang. Dalam Abramson dkk (1996), definisi longsor menurut Cruden dan Varnes (1992), dinyatakan sebagai suatu pergerakan massa tanah ke bawah lereng yang terjadi di atas suatu bidang gelincir atau relatif terhadap zona regangan geser (*shear strain*) intensif. Longsor umumnya bersifat keruntuhan lokal. Tanda awal longsor adalah retakan di permukaan lereng tanah asli (*original ground surface*) di sepanjang gawir utama (*main scarp*). Bentuk gawir akan menunjukkan pula bentuk bidang gelincir yang ada, sehingga longsor dapat bersifat rotasional, translasional atau campuran (*compound slide*). Bencana longsor menyebabkan kerugian besar dalam perekonomian, bahkan mengancam keselamatan manusia. Bencana longsor, sebagian besar diawali oleh curah hujan lebat dan beberapa kejadian bencana longsor disertai banjir. Keadaan hutan yang gundul berubah menjadi tegalan, sehingga menjadi sorotan utama sebagai penyebab turunnya ketahanan material lereng terhadap meningkatnya tekanan air yang timbul dari infiltrasi air hujan. Selain itu terdapat bencana longsor di lokasi tempat pembuangan akhir sampah di Leuwi Gajah Cimahi Bandung, dan di Bantar Gebang telah menyebabkan hilangnya jiwa manusia, menghancurkan rumah, dan hilangnya harta benda. Oleh sebab itu upaya mitigasi perlu dilakukan untuk meminimalkan terjadinya bencana longsor.

Tujuan penelitian ini diharapkan dapat menentukan karakteristik, tipe longsor dan estimasi posisi bidang gelincir yang menggunakan metode geometrik dengan data hasil survei GPS (data geodetik). Survei GPS yang dilakukan secara periodik dapat merekam fenomena longsor melalui perpindahan posisi titik pantau. Penelitian ini dilakukan pada longsor yang mempunyai kecepatan relatif lambat. Karakteristik

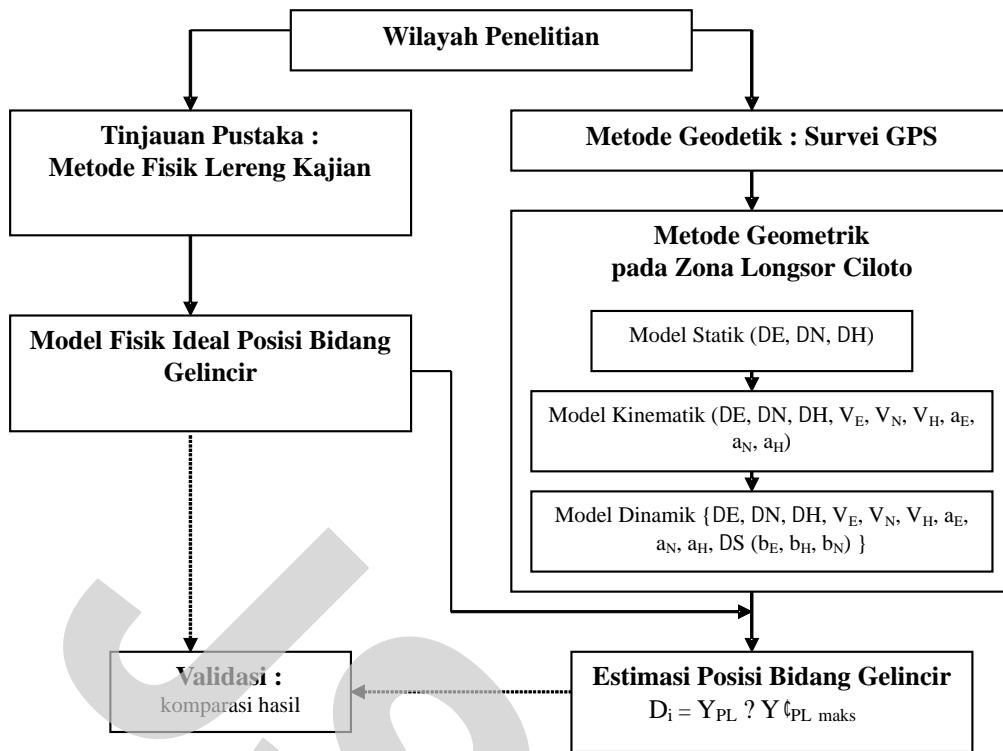
longsor didefinisikan sebagai pergerakan yang terjadi pada zona longsor diperoleh dari status vektor perpindahan posisi titik pantau geodesi. Tipe longsor didefinisikan dari jenis material yang bergerak dan mekanisme pergerakan materialnya. Hal ini berkaitan dengan anatomi longsor yang terdiri dari material yang bergerak, keberadaan bidang gelincir dan material yang tidak terganggu/ stabil. Bidang gelincir sebagai suatu batas antara material yang bergerak dan material stabil dan merupakan bidang tumpuan bagi material yang bergerak. Letak, bentuk dan besar bidang gelincir akan diestimasi menggunakan metode geometrik, seperti ilustrasi pada Gambar 2.

Lokasi penelitian secara geografis terletak antara $107^{\circ}00'00''$ - $107^{\circ}00'20''$ BT dan $06^{\circ}42'40''$ - $06^{\circ}43'00''$ LS, yang berada pada kilometer 88.1 jalur jalan Cianjur-Puncak di Kampung Baru-Puncak, Desa Ciloto, Kecamatan Pacet, Kabupaten Cianjur, Jawa Barat, dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4. Luas zona longsor pada lereng yang dikaji adalah \pm 40 hektar.

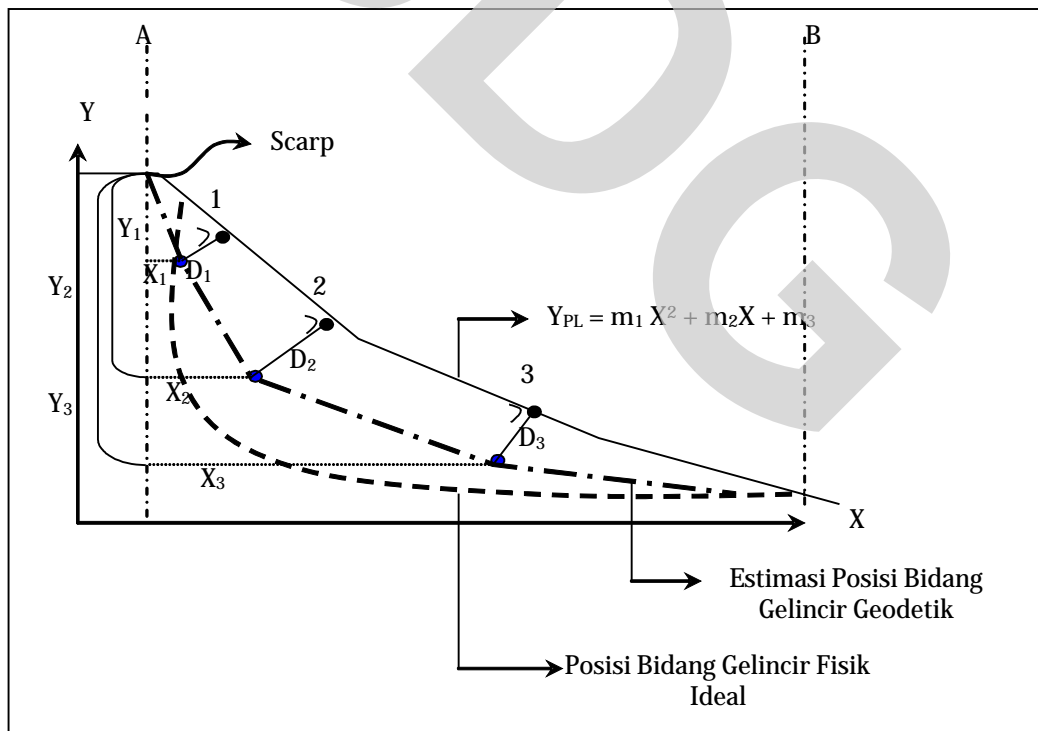
Manfaat Penelitian

Beberapa manfaat penelitian ini, adalah :

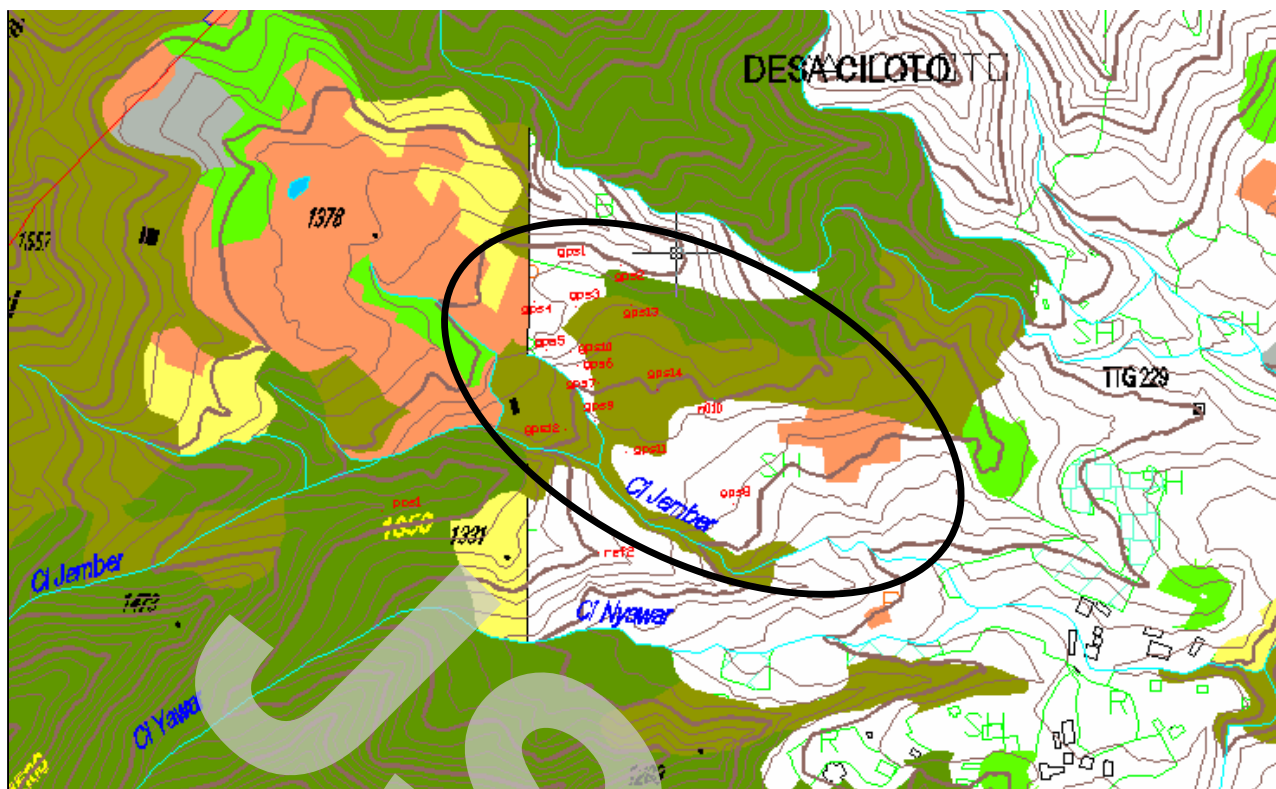
- Lokasi yang rentan mengalami longsor dan lokasi yang paling besar menerima pengaruh lingkungan sekitar dapat diketahui sehingga dapat dilakukan langkah-langkah rekayasa teknis untuk keperluan mitigasi bencana
- Memprediksi arah, besar dan kecepatan perpindahan material longsor berguna sebagai informasi awal bagi proses relokasi kawasan permukiman atau kawasan aktivitas manusia lainnya
- Mengetahui batas antara material yang bergerak dan material yang tidak terganggu/stabil



Gambar 1. Pelaksanaan Penelitian.



Gambar 2. Estimasi letak, bentuk dan besar bidang gelincir.



Gambar 3. Lokasi penelitian di Desa Ciloto.



Gambar 4. Zona Longsor di Ciloto (Abidin dr., 2005).

Metodologi

Estimasi karakteristik, tipe dan bidang gelincir dalam zona longsor menggunakan data geodetik yang terdiri dari hasil pengukuran terestris (1986-2001) sebanyak 9 periode dan hasil survei GPS (2002-2005) sebanyak 5 periode dengan tahap penelitian seperti pada Gambar 1. Posisi titik pantau dapat

dilihat pada Gambar 7. Dari pengolahan data pengamatan akan diperoleh koordinat posisi titik pantau geodesi (E, N, h) tiap periode pengamatan. Status vektor perpindahan posisi titik pantau geodesi diperoleh dari hasil perhitungan menggunakan metode geometrik, yang terdiri dari 3 model, yaitu model statik, model kinematik dan model dinamik.

Tabel 1. Metode Geometrik yang Digunakan untuk Perhitungan Status Vektor Perpindahan Posisi

Model	Masukan	Keluaran
Statik	Koordinat titik pantau (E, N, h) _{i-1} dan (E, N, h) _i , i=1,2,3,4,5 (kala pengamatan)	- Besar dan arah perpindahan posisi titik pantau
Kinematik	Koordinat titik pantau (E, N, h) _{i-1} dan (E, N, h) _i , i=1,2,3,4,5 (kala pengamatan)	Perpindahan posisi, kecepatan, percepatan terhadap waktu hasil prediksi
Dinamik	Koordinat titik pantau (E, N, h) _{i-1} dan (E, N, h) _i , i=1,2,3,4,5 (kala pengamatan) serta tinggi muka air tanah S _{i-1} dan S _i	Perpindahan posisi, kecepatan, percepatan, dan koefisien perubahan tinggi muka air tanah sebagai indikator untuk korelasi antara parameter fisik dan geometrik

perpindahan material untuk tiap posisi titik pantau.

Status vektor perpindahan posisi akan dianalisis dari dua arah, yaitu arah horisontal (yang merupakan fungsi dari koordinat *easting* dan *northing*) dan arah vertikal. Indikasi adanya gawir minor dapat dilakukan menggunakan kriteria perpindahan horisontal lebih kecil daripada perpindahan vertikal, atau perpindahan vertikal negatif yang dikelilingi

Persamaan model statik :

$$d_j = x_j^{(i)} - x_j^{(i-1)} \dots \dots \dots (1)$$

Persamaan model kinematik :

$$X_j^{(i)} = X_j^{(i-1)} + (t_i - t_{i-1})V_{xj} + \frac{1}{2}(t_i - t_{i-1})^2 a_{xj} \dots \dots \dots (2)$$

Persamaan model dinamik :

$$X_{(i,S_i)} = X_{(i-1,S_{i-1})} + \frac{\eta X}{\eta t} \Big|_{(i-1,S_{i-1})} Dt + \frac{\eta X}{\eta S} \Big|_{(i-1,S_{i-1})} DS + \frac{1}{2} \frac{\eta^2 X}{\eta t^2} \Big|_{(i-1,S_{i-1})} Dt^2 \dots \dots \dots (3)$$

Dimana d_j adalah perpindahan posisi titik pantau, $X_j^{(i)}$ adalah prediksi koordinat titik pantau j pada kala I , $X_j^{(i-1)}$ adalah koordinat pengamatan titik pantau j pada kala $i-1$, V_{xj} adalah kecepatan perpindahan titik pantau dari data pengamatan, a_{xj} adalah percepatan perpindahan titik pantau dari data pengamatan, t_i t_{i-1} adalah waktu pengamatan kala I dan $i-1$, t adalah beda waktu, S adalah perubahan tinggi muka air tanah.

Suatu bidang gelincir dapat diestimasi bila perpindahan horisontal titik pantau diklasifikasi berdasarkan kesamaan arahnya. Estimasi bidang gelincir dilakukan dengan menggunakan koordinat titik pantau, sehingga dapat digambarkan profil permukaan lereng dua dimensi. Selanjutnya ditentukan koordinat titik pantau saat memiliki kecepatan maksimum yang menggunakan fungsi maksimum-minimum. Pendekatan persamaan profil permukaan lereng pun dilakukan menggunakan fungsi polinomial yang dilanjutkan dengan fungsi maksimum-minimum sehingga diperoleh posisi material bergerak paling minimum. Penentuan letak, bentuk dan besar bidang gelincir juga dilakukan menggunakan garis kecenderungan kecepatan

oleh perpindahan vertikal positif. Keberadaan gawir merupakan perpotongan antara bidang gelincir dengan permukaan, lereng sehingga letak gawir dijadikan sebagai titik awal dari suatu bidang gelincir. Ujung (titik akhir) bidang gelincir diperkirakan berada pada titik yang mengalami perpindahan vertikal positif (*bulging*). Dengan adanya titik estimasi hasil fungsi maksimum-minimum atau perpotongan dua garis kecenderungan kecepatan perpindahan, maka letak, bentuk dan besar bidang gelincir dapat diketahui.

Setelah diketahuinya jenis material, hasil pengambilan sampel tanah dan batuan (dari penelitian geologi) serta letak, bentuk dan besar bidang gelincir, maka dapat ditentukan tipe longsor yang dimiliki zona longsor Ciloto.

Hasil dan Diskusi

Hasil

Hasil yang diperoleh dari metodologi ini adalah sebagai berikut :

- a. Perpindahan posisi titik pantau geodesi dipilih dalam 3 bagian agar karakteristik longsor dapat dianalisis. Bagian atas cenderung mengalami amblesan (perpindahan vertikal negatif besar dan perpindahan horisontal relatif kecil). Material bagian tengah cenderung menggelincir dengan perpindahan vertikal negatif kecil dan perpindahan horisontal besar. Sementara, material bagian bawah (toe) cenderung mengalami dorongan menjadi gundukan (*bulging*) sehingga perpindahan vertikal positif dan perpindahan horisontal kecil. Apabila suatu

titik pantau mengalami amblesan maka dapat diduga bahwa pada lokasi tersebut terdapat gawir minor (interpretatif) dan letak gawir minor di dalam profil vertikal (Gambar 5). Posisi gawir minor interpretatif kemudian dicek ke lapangan untuk memastikan kebenaran analisis. Dengan asumsi bahwa satu bidang gelincir menghasilkan arah perpindahan yang sama untuk satu zona, maka apabila satu titik pantau memiliki arah perpindahan berlainan maka diketahui bahwa zona longsor Ciloto memiliki lebih dari satu bidang gelincir.

- a. Berdasarkan peta zona longsor Ciloto dan posisi gawir minor yang sudah ada (hasil kajian Sugalang (1989)), kemudian hasil interpretasi gawir minor diplot pada peta yang sama, maka akan terlihat adanya gawir baru atau perkembangan dari longsor yang ada (*retrogressive*) (Gambar 7).
- b. Kecepatan perpindahan yang dimiliki material pada zona longsor Ciloto adalah $5 \times 10^{-5} - 5 \times 10^{-7}$ mm/detik (sangat lambat). Hubungan antara kecepatan dan perpindahan posisi titik pantau geodesi ditunjukkan pada Gambar 8. Kecepatan material memiliki pola sama dengan perpindahan material, hanya kecepatan memiliki gradient kurva lebih besar dibandingkan kurva perpindahan material. Oleh sebab itu pada saat kecepatan mencapai angka nol (berhenti) material masih mengalami perpindahan sampai beberapa saat
- c. Koefisien korelasi antara perubahan tinggi muka air tanah dan perpindahan posisi titik pantau geodesi adalah 0,91997 artinya berkorelasi kuat. Semakin besar perubahan tinggi muka air tanah semakin besar jarak perpindahan titik pantau geodesi. Tiap perubahan tinggi muka air tanah 1 cm material akan berpindah 0,91997 cm (Gambar 9).
- d. Hasil kuantifikasi perpindahan posisi titik pantau geodesi diperoleh bahwa 66% didominasi oleh arah dari barat laut ke tenggara, 17% dari arah timur laut ke barat daya, 9% dari arah barat daya ke timur laut dan sisa 8% dari arah tenggara ke barat laut. Hasil kuantifikasi dipadukan dengan pembagian unit morfologi zona longsor Ciloto, maka dapat diketahui pengaruh lingkungan (penggunaan lahan dan perubahan tinggi muka air tanah) terhadap zona longsor (Gambar 10).

- e. Perbandingan antara bidang gelincir geodetik (hasil estimasi metode geodetik) dan bidang gelincir hasil penelitian geologi menunjukkan kesamaan (Sugalang, 1989) di lokasi yang sama (Gambar 12).
- f. Jenis material hasil penelitian geologi menunjukkan jenis material dalam zona longsor Ciloto adalah kerakal campuran (*debris*)

Diskusi

Hasil yang diperoleh dari penelitian Karakteristik, Tipe dan Bidang Gelincir dalam Zona Longsor di Ciloto Jawa Barat berdasarkan Estimasi Metode Geodetik dibandingkan dengan penelitian geologi yang pernah dilakukan di lokasi yang sama adalah :

- o Fenomena longsor umumnya adalah perpindahan horisontal besar di bagian tengah dan perpindahan vertikal besar di bagian atas, sedangkan di bagian bawah zona bergerak dengan arah berlawanan. Fenomena tersebut tidak terlihat jelas pada zona longsor Ciloto. Hal ini disebabkan adanya suatu titik mempunyai posisi ganda, yaitu berposisi di bagian atas pada satu bidang gelincir minor dan terdapat di bagian tengah bidang gelincir mayor. Kenampakan ini didasarkan atas ditemukannya 6 (enam) posisi gawir hasil interpretasi, yaitu adanya perpindahan horisontal dan vertikal di sisi kiri zona longsor. Profil vertikal permukaan tanah sisi kiri yang bergelombang menunjukkan indikasi bentuk bidang gelincir sirkular/rotasional, sementara di sisi kanan tidak ditemui indikasi adanya gawir minor yang ditandai oleh permukaan tanah tidak bergelombang, menunjukkan bentuk bidang gelincir planar. Berdasarkan data geodetik, interpretasi posisi gawir di permukaan dapat dilakukan secara memadai. Adanya perpindahan posisi gawir intepretatif memberikan informasi bahwa daerah tersebut sudah mengalami perubahan. Pada peta tahun 1989 di sekitar titik pantau GPS2, GPS5, GP10 dan GP13 terdapat retakan, cutting slope, debris slide dan slumping. Perubahannya ditunjukkan oleh bertambahnya posisi gawir di sekitar titik GPS1, GPS4, GPS6, GPS7, GPS8 dan GP11. Adanya gawir minor baru pada titik pantau GPS7, GPS8 dan GP11 mengindikasikan adanya longsor retrogresif

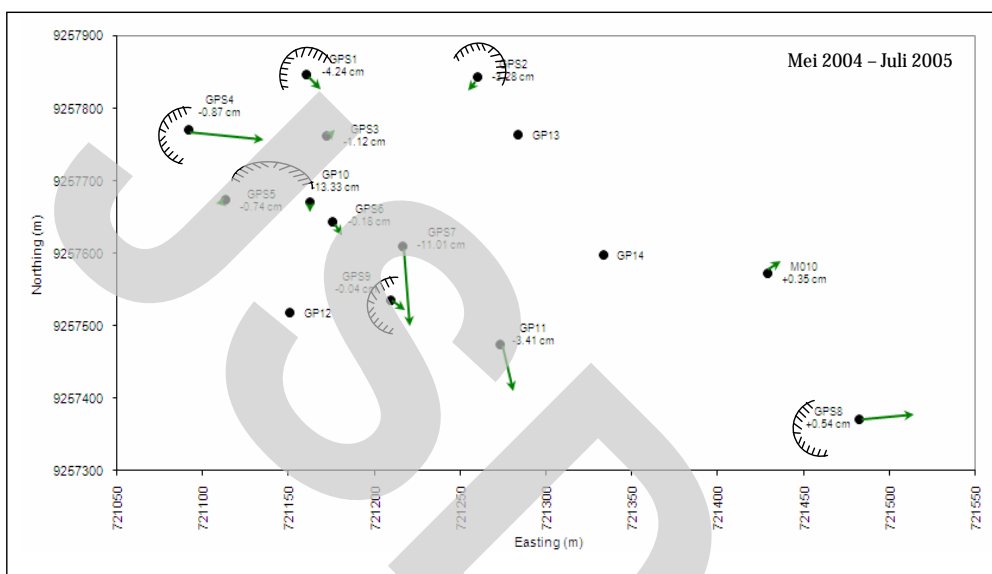
walaupun masih harus dikaji lagi (Gambar 7). Metode geometrik juga dapat memberi gambaran tentang mekanisme longsor, baik sebelum maupun setelah longsor. Sebelum longsor, vektor perpindahan posisi memperlihatkan terjadinya *bulging* sebagai akibat adanya akumulasi tekanan dari sekitarnya terhadap zona longsor, sedangkan sesudah longsor, vektor perpindahan posisi memperlihatkan adanya pergerakan dengan kecepatan yang besar dan perpindahan posisi berikutnya memperlihatkan adanya pengurangan titik-titik yang mengalami *bulging*, yang menunjukkan adanya perpindahan material. Karakteristik vektor perpindahan posisi dalam metode geometrik memang mengindikasikan keberadaan bidang gelincir di bagian bawah lebih dari satu.

- o Infiltrasi air berasal dari unit morfologi I dan II sangat mempengaruhi zona longsor yang berada pada unit morfologi III. Infiltrasi dari unit morfologi I (arah timur laut ke barat daya) cenderung menyebabkan akumulasi air pada zona longsor karena adanya perpindahan vertikal positif (*bulging*), selain itu adanya perpindahan posisi akibat rembesan yang terjadi di unit morfologi IV, ditandai perpindahan posisi dari arah tenggara di titik pantau bagian bawah zona longsor. Akumulasi air yang menyebabkan *bulging* menandakan adanya tekanan besar pada lokasi tersebut. Apabila batas maksimumnya terlampaui maka akan terjadi perpindahan posisi dari materialnya dimana kecepatan perpindahannya relatif kecil. Informasi kuantifikasi pengaruh aliran air terhadap perpindahan material, posisi gawir baru dan estimasi bidang gelincir, seperti posisi pengaruh tekanan besar, berkembangnya longsor baru, dan kedalaman dimana materialnya tidak terganggu akan sangat bermanfaat bagi penentuan rekayasa teknis dalam rangka mitigasi bencana longsor.
- o Untuk mengestimasi bidang gelincir, zona longsor dibagi menjadi 4 profil penampang vertikal (Gambar 11). Pada profil penampang vertikal 1 terdapat empat perpotongan garis kecenderungan kecepatan. Titik perpotongan dua garis kecenderungan kecepatan dianggap berada di satu persamaan permukaan, yaitu bidang gelincir.

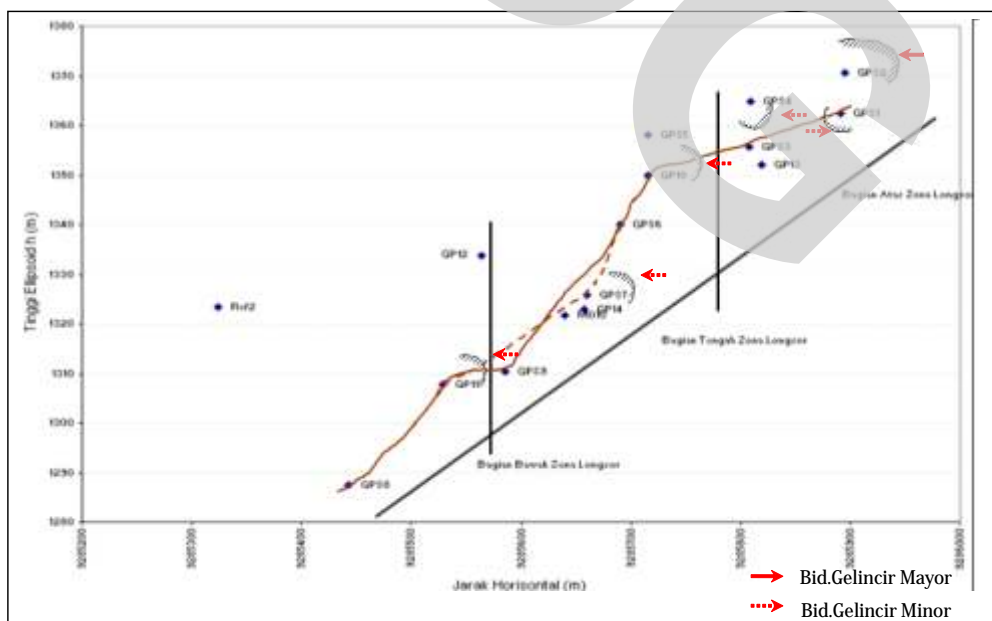
Berdasarkan kedalaman grafis, diperoleh tiga buah bidang gelincir. Bidang gelincir terdekat berada pada kedalaman 5 meter di bawah titik pantau GPS6 dan kedalaman 10 meter di bawah titik GPS9 dan GP10. Bidang gelincir kedua berada di kedalaman 15 meter di bawah titik pantau GPS4 dengan arah sejajar dengan garis kecenderungan bidang gelincir planar (profil penampang vertikal 2 dan 4). Bidang gelincir ketiga berada di kedalaman 60 meter di bawah titik pantau GPS4 dengan arah sejajar dengan bidang gelincir planar. Titik awal bidang gelincir berada di sekitar titik pantau GPS4, GP10 dan GPS7. Pada profil penampang vertikal 1 terlihat bahwa titik pantau GP12 mengalami kenaikan permukaan (*bulging*) akibat adanya akumulasi tekanan sekitarnya, sementara titik pantau GP11 tidak ikut mengalami. Kondisi ini dapat memberi gambaran bahwa posisi titik pantau GP11 mempunyai kestabilan lebih baik, dan pada penarikan garis ketinggian diperhatikan sebagai posisi *breakline*. Profil penampang vertikal 2 hanya memiliki satu titik potong sehingga tidak dapat ditarik satu garis. Kedalaman titik potong pada titik pantau M010 adalah 20 meter. Profil penampang vertikal 3 memiliki dua bidang gelincir dengan kedalaman berbeda. Titik awal bidang gelincir pertama berada di sekitar titik GP12 dan GP11 yang berada 5 meter di bawah titik pantau GP11. Bidang gelincir kedua berada di bawah titik pantau GP12 pada kedalaman 45 meter. Profil penampang vertikal 4 memiliki satu titik potong, yaitu pada titik pantau GP14 yang berada pada kedalaman 25 meter. Karena hanya ada satu titik potong maka arahnya diasumsikan sama dengan profil permukaan. Sementara estimasi bidang gelincir geodetik yang dilakukan secara grafis menggunakan garis kecenderungan kecepatan tiap titik pantau memberikan informasi posisi bidang gelincir, walaupun bentuk bidang gelincir belum sesuai dengan konsep ideal. Apabila dibandingkan dengan hasil penelitian Sugalang (1989), terdapat satu bidang gelincir major dan tiga bidang gelincir minor, maka hasil cara grafis garis kecenderungan kecepatan dapat dikatakan memiliki kesesuaian. Sebagai proses validasi maka hasil estimasi bidang gelincir geodetik akan dibandingkan dengan hasil

penelitian geologi yang sudah dilakukan oleh Sugalang 1989. Kesesuaian estimasi bidang gelincir geodetik dan bidang gelincir hasil penelitian sebelumnya berdasarkan bentuk atau kedalaman dan jumlah bidang gelincir. Berdasarkan estimasi bidang gelincir geodetik diperoleh satu bidang gelincir dengan kedalaman 85 meter, yaitu di bawah titik GP10. Dalam proses estimasi ini, posisi gawir sangat penting karena menjadi acuan penarikan bidang gelincir geodetik. Kedalaman posisi lengkung awal dan

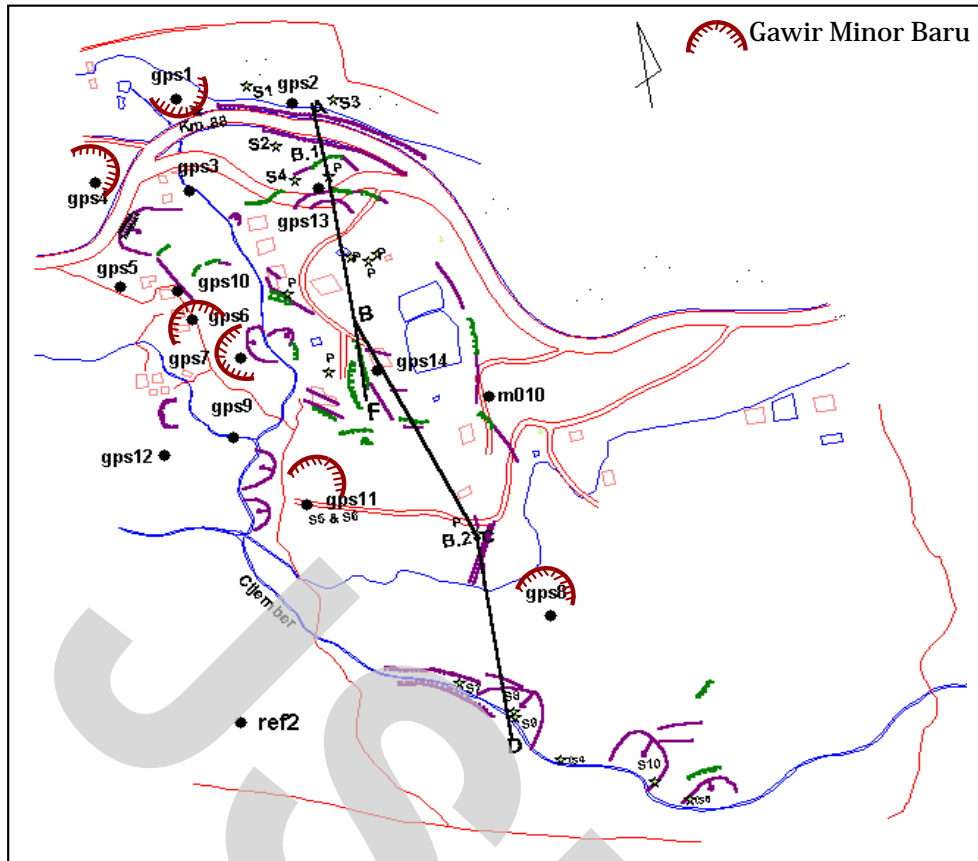
akhir bidang gelincir dari di bor B.1 dan B.2 adalah di delapan (8), sembilan (9) meter, dan 15 meter, tetapi posisi lengkung tengah bidang gelincir tidak terukur karena tidak ada pemboran. Apabila dibandingkan hasil posisi bidang gelincir geodetik (cara grafis garis kecenderungan kecepatan dari tiap titik) dan penelitian geologi maka hasil yang diperoleh memiliki kesesuaian. Bidang gelincir yang terbentuk dapat lebih realistis, karena sesuai dengan kecepatan pergerakan materialnya.



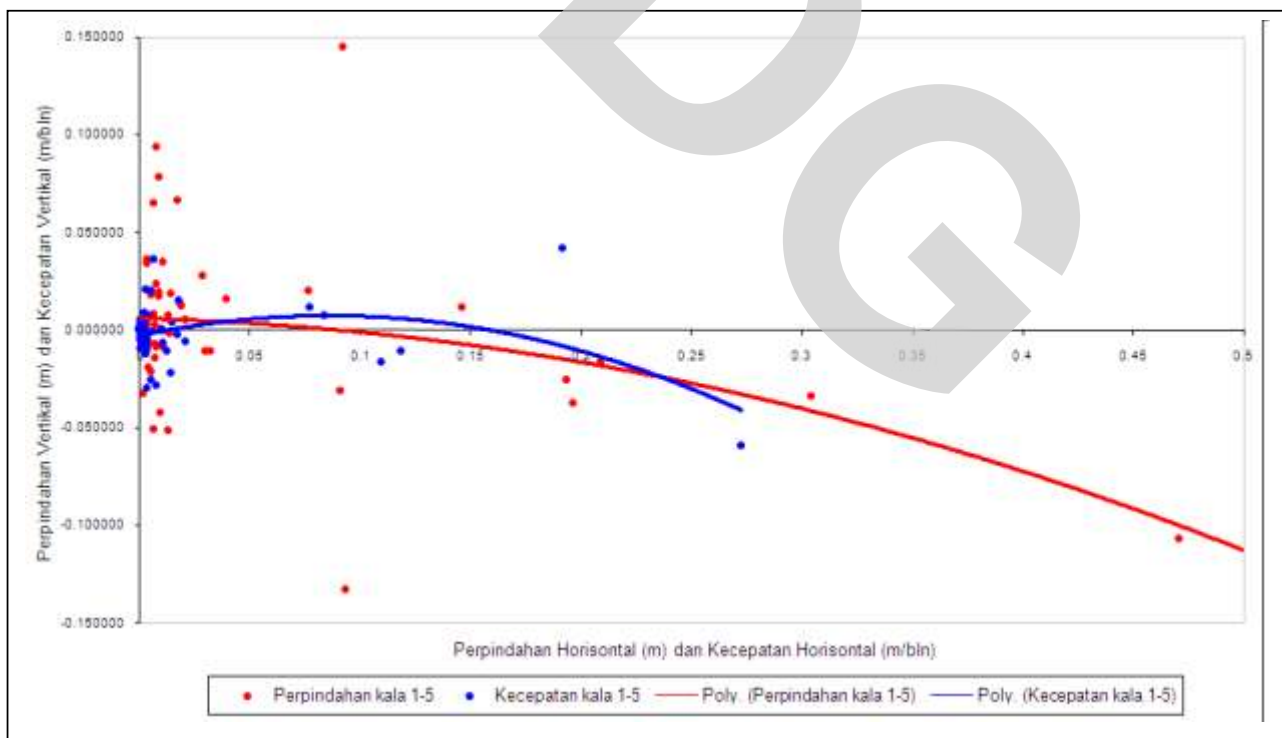
Gambar 5. Perpindahan posisi titik pantau geodesi dan letak gawir minor.



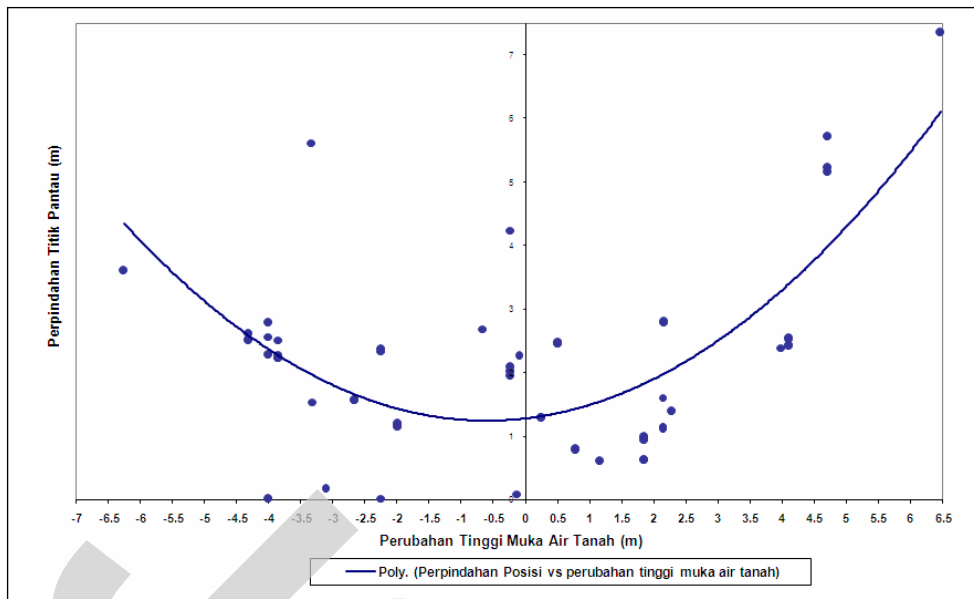
Gambar 6. Letak gawir minor dalam profil vertikal.



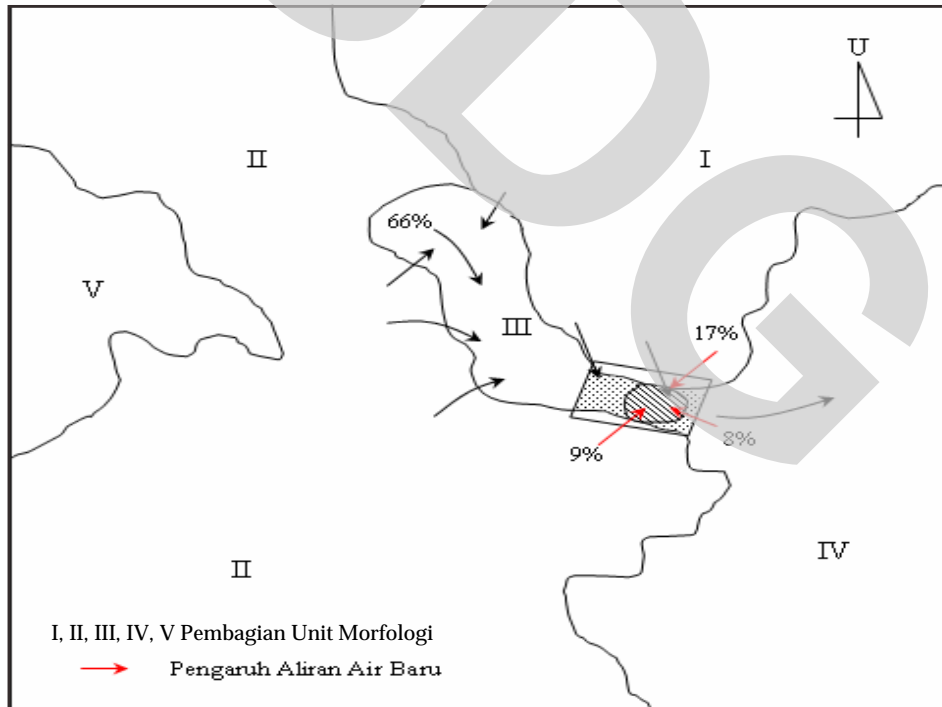
Gambar 7. Posisi gawir minor baru (interpretatif).



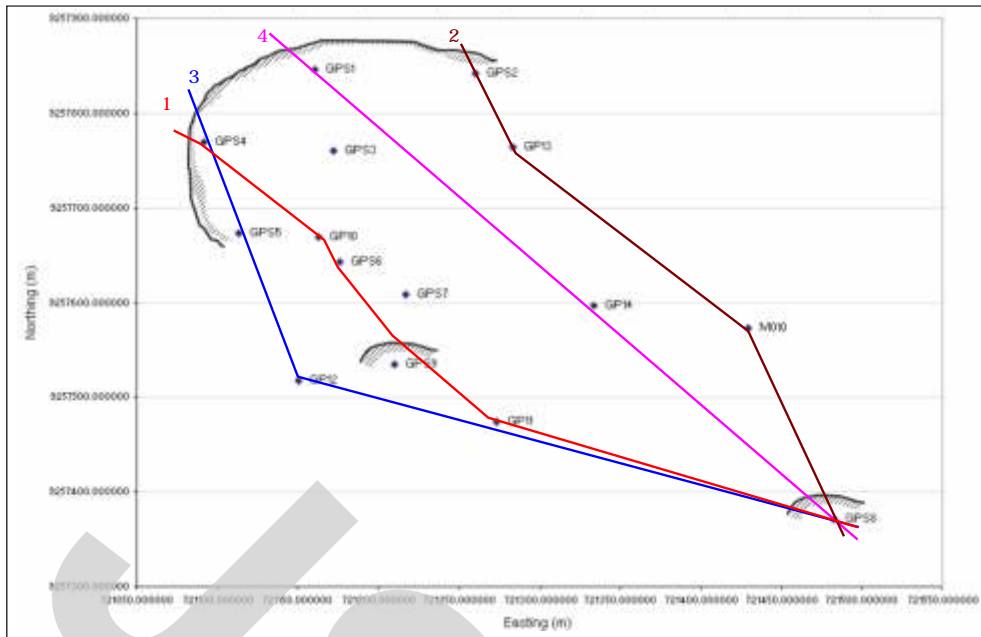
Gambar 8. Hubungan antara kecepatan dan perpindahan posisi titik pantau geodesi.



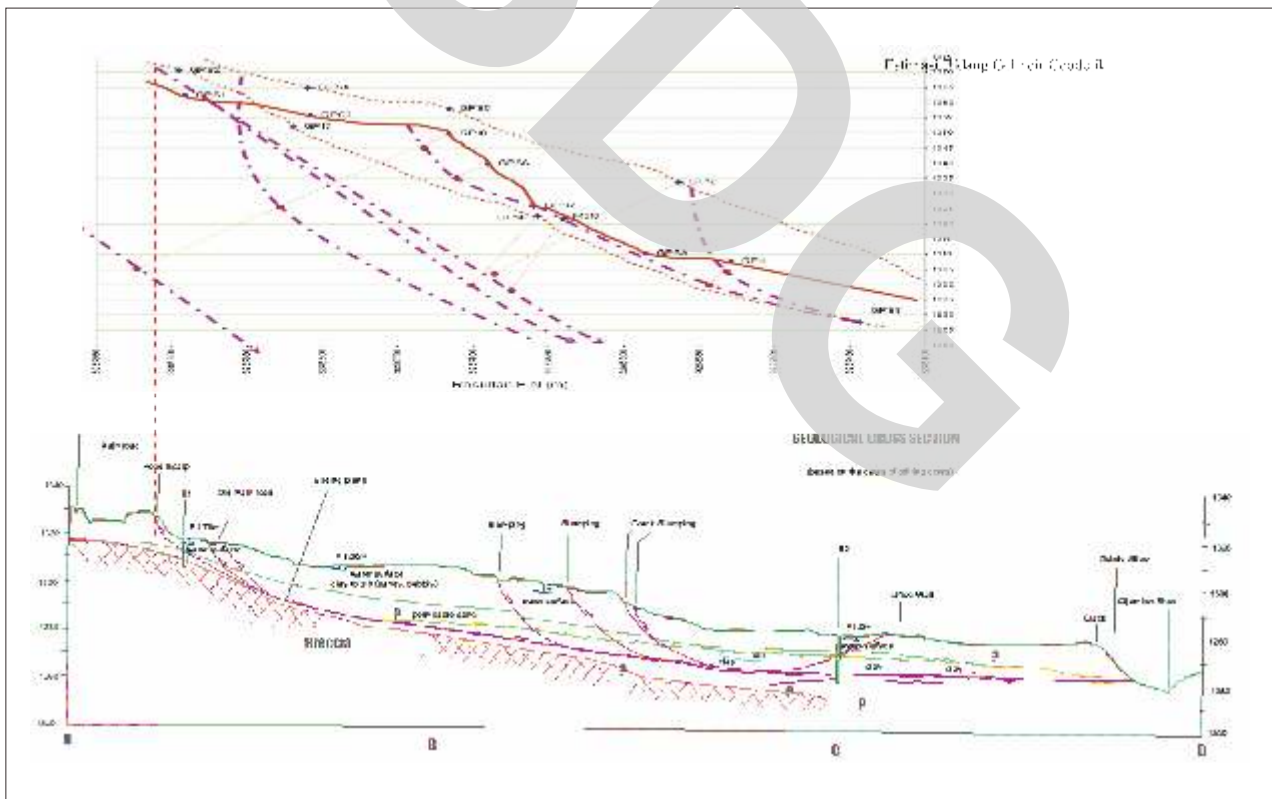
Gambar 9. Korelasi antara perubahan tinggi permukaan air tanah dan perpindahan posisi titik pantau geodesi.



Gambar 10. Prosentase besar perpindahan material di zoa longsor.



Gambar 11. Garis penampang untuk profil vertikal bidang gelincir.



Gambar 12. Perbandingan bidang gelincir dari penelitian geologi dan bidang gelincir geodetik.

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Karakteristik zona longsor Ciloto :

- a. Pada material yang berada di bagian tengah zona longsor memiliki kecepatan horisontal yang lebih besar (70%) dibandingkan material yang berada di bagian atas zona (10%) dan bagian bawah zona (20%)
- b. Dari model kinematik diketahui bahwa kecepatan besar cenderung dimiliki oleh perpindahan material vertikal negatif dibandingkan dengan perpindahan material vertikal positif.
- c. Kecepatan perpindahan material termasuk dalam kategori sangat lambat 5×10^{-5} – 5×10^{-7} mm/detik
- d. Dengan data geodetik maka perpindahan material yang terjadi dapat dikuantifikasi, dapat diidentifikasi adanya pengaruh baru dari lingkungan sekitar zona longsor, kecepatan (besar dan arah) perpindahan material dan adanya retakan atau gawir baru.

Estimasi Bidang Gelincir :

Metode geometrik untuk mengestimasi posisi (letak, bentuk dan besar) bidang gelincir dapat dilakukan menggunakan garis kecenderungan kecepatan dari tiap titik pantau. Hasilnya memiliki kesesuaian dengan hasil penelitian menggunakan metode fisik. Untuk memperbaiki hasil estimasi posisi bidang gelincir dapat dilakukan dengan mengkombinasikan data geodetik dan data kecepatan pergerakan material di bawah permukaan.

Tipe zona longsor Ciloto :

Bentuk bidang gelincir zona longsor Ciloto ada dua, yaitu planar dan sirkular, sehingga tipe zona longsor Ciloto adalah *multiple compound (rotational and translational) debris slide*.

Saran

- o Karakteristik, tipe dan bidang gelincir pada zona longsor berdasarkan estimasi metode geodetik masih perlu diujicobakan pada zona longsor lainnya.

- o Metode tersebut di atas masih memerlukan validasi hasil untuk mengetahui tingkat akurasi, yaitu dengan mengkombinasikan dengan metode geologi.

Ucapan Terima Kasih

Penulis sangat berterima kasih pada Dr. Ir. Hasanuddin Z. Abidin sebagai ketua Tim Pembimbing, atas segala saran, bimbingan, pengertian, kepercayaan dan nasehatnya selama penelitian berlangsung dan selama penulisan disertasi ini.

Penulis juga berterima kasih atas *saran, kritik, bimbingan, dukungan dan nasihat dari anggota Tim Pembimbing Prof. Dr. Ir. Djoko Santoso, M.Sc. dan Dr. Ir. Joenil Kahar.*

Terima kasih pula atas masukan dan koreksi dari tim reviewer dan penguji, yaitu Dr. Ir. Wedyanto Kuntjoro, M.Sc., Dr. Ir. Imam Sadisun, M.Sc., Dr. Ir. Widyo Nugroho Sulasdi dan Dr. Ir. Mhd. Wafid A. N., M.Sc.

Terima kasih kepada rekan-rekan kerja di Universitas Winaya Mukti dan teman-teman yang tidak dapat disebutkan satu per satu atas doa dan dukungannya kepada penulis selama dilakukannya proses penelitian ini.

ACUAN

- Abidin H.Z., Andreas H., Gamal M., Kusuma M.A., Darmawan D., Surono, Hendrasto M., dan Suganda O.K., (2005) : Studying Landslide Displacements in Ciloto Area (Indonesia) Using GPS Survey Method, *Jurnal, Spatial Science*
- Abidin H.Z., Andreas H., Gamal M., Surono, dan Hendrasto M., (2004a) : Studi Gerakan Tanah di Kawasan Rawan Longsor Ciloto (Jawa Barat) dengan Survei GPS, *Jurnal, Journal JTM* Vol. XI, No.1. pp. 33-40
- Abidin H.Z., Andreas H., Gamal M., Surono, dan Hendrasto M., (2004b) : Studying Landslide Displacement in Megamendung (Indonesia) Using GPS Survey Method, *Jurnal, Proc ITB Eng. Science*. Vol 36B, No.2.pp. 109-123
- Abidin H.Z., Jones A., dan Kahar J., (1995) : Survai dengan GPS, Jakarta, Pradnya Paramita, edisi I, 153 Hal.
- Abramson L.W., Thomas S. L., Sharma S., dan Boyce G.M., (1996) : *Slope Stability and Stabilization Methods*, Kanada, John Wiley & Sons Inc, Edisi I, 629 Hal.
- Anghel S., R. Paulica, B. Nicolae, L.Irina, (2001) : New Concept in Slope stability analysis, *Jurnal, Technical University Gh.Asachi, Romania*, <http://www.ins.itu.edu.tr/2001/abstract%5c2317.htm>, tgl 06/04/2002.
- Bowles.J.E., dan Hainim J.K., (1984) : *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*, Jakarta, Penerbit Erlangga, Edisi 2, 578 Hal.
- Coe J.A., Ellis W.L., Godt J.W., Savage W.Z., Savage J.E., Michael J.A., Kibler J.D., Powers P.S., Lidke D.J., dan Debray S., (2003) : Seasonal Movement of the Slumgullion Landslide Determined from Global Positioning System Surveys and Field Instrumentation July 1998-March 2002, *Jurnal, Engineering Geology* 68 (2003) 67-101.
- Dikau R., Brunnsden D., Schrott L., dan Ibsen M.L., (1996) : Landslide Recognition-Identification, Movement and Causes, Report No.1 of the European Comission Enviroment Programme, John Wiley and Sons, Chichester- Inggris.
- Direktorat Geologi Tata Lingkungan (GTL), (1984) : Hasil Pemeriksaan Gerakan Tanah di Kampung Baru Puncak, Desa Ciloto-Kecamatan Pacet-Kabupaten Cianjur-Jawa Barat, Laporan, Direktorat Geologi Tata Lingkungan, Sub Direktorat Geologi teknik, Direktorat Jenderal Geologi dan Sumberdaya Mineral, Departemen Pertambangan dan Energi.
- Environmental Geology Laboratory (elab), (2002) : Anatomy of Landslide, <http://www.mnsfld.edu/depts/geogeol/elab/lsanat.htm>, Department of Geology, tanggal 02/07/2002.
- Gili J.A., Jordi C, Joan Rius, (2000) : Using Global Positioning System Techniques in Landslide Monitoring, *Jurnal, Engineering Geology* 55 (2000) 167-192.
- Hartinger H. dan F.K.Brunner, (2003) : Development of a Monitoring System of Landslide Motion Using GPS, *Proceeding 9th FIC Symposium on Deformation Monitoring Glsztyn* pp 29-38.
- Hofmann-Wellenhof B., H. Lichtenegger, J.Collins, (1992) : Global Positioning System Theory and Practice, New York, Springer-Verlag wien, 326 Hal.
- Japan Landslide Society (JLS), (1995) : Landslide in Japan, *Jurnal, National conference of landslide control*, <http://www.tuat.ac.jp/~sabo/lj/image/ljhome.gif>, tanggal 26/03/2002.
- Laouafa F. dan F.Darve, (2001) : Modelling of Slope Failure by a Material Instability Mechanism, *Makalah, Laboratoire Sols, Solides, Structures, Geomaterial, France*.
- Moss J.L, (2000) : Using the Global Positioning System to Monitor Dynamic Ground Deformation Networks on Potentially Active Landslides, *Jurnal, JAG, Volume 2*.
- Nelson Stephen A., (2002), Mass Wasting and Mass Wasting Processes, *Jurna, Geology* 204, Natural Disaster, Tulane University .

- Owen D.R.J. dan E.Hinton, (1980) : *Finite Element in Plasticity : Theory and Practice*, United Kingdom, Pineridge Press Limited Swansea, 594 Hal.
- Pangabean J. dan Agoes Darsoatmodjo, (1998) : Hasil Pemantauan Bencana Alam Gerakan Tanah di Daerah Ciloto dan Cianjur Selatan, Daerah Tingkat II Kabupaten Cianjur Propinsi Jawa Barat, Laporan, Bandung, Direktorat Geologi Tata Lingkungan, Direktorat Jenderal Geologi dan Sumberdaya Mineral, Departemen Pertambangan dan Energi.
- Purnomo H., (1993) : Hasil Pemantauan Gerakan Tanah Daerah Ciloto, Kabupaten DATI II Cianjur Jawa Barat, Laporan, Bandung, Direktorat Geologi Tata Lingkungan, Direktorat Jenderal Geologi dan Sumberdaya Mineral, Departemen Pertambangan dan Energi.
- Rachman S., Gatot M.S., Agoes D., Anas L., Supriyadi, (2001) : Pemantauan Bencana Alam Tanah Longsor di Kecamatan Pacet, Kabupaten Cianjur-Propinsi Jawa Barat, Laporan, Bandung, Direktorat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Direktorat Jenderal Geologi dan Sumberdaya Mineral, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Rizzo V., (2002) : GPS Monitoring and New Data on Slope Movement in the Maratea Valley (Potenza, Basilicata), *Jurnal, Physics and Chemistry of the Earth* 27 (2002) 1535-1544.
- Santoso Djoko, (1990) : Longsor pada Jalur Lipatan Kuat Batuan Sedimen Turbidit Jawa Barat sebagai Kasus Khusus Gerakan Tanah dengan Longsor di Desa Cikareo-Majalengka sebagai Model, *Disertasi*, Bandung, Institut Teknologi Bandung, 170 Hal.
- Schuster Robert L. dan Raymond J.K., (1978) : *Landslides Analysis and Control*, Washington, National Academy of Sciences, 234 Hal.
- Seeber Gunter, (1993) : *Satellite Geodesy Foundation, Methods and Applications*, Berlin, Walter de Gruyter & Co., 531 Hal.
- Selby M.J., (2000) : *Hillslope Materials and Processes*, Oxford university press, Oxford, Edisi 2, 520 Hal.
- Selby M.J., (1985) : *Earth Earth's changing surface - An Introduction to geomorphology*, Oxford university press, Oxford, Edisi 1, 607 Hal.
- Sugalang, (1989) : Landslide in Ciloto Area West Java Indonesia, *Tesis*, Sweden, Department of Soil Mechanics, Luleå University of Technology, 72 Hal.
- Takhmat U., Y. Sudibyo dan Edi Murtianto, (1995) : Peta Hidrogeologi Indonesia 1:100.000 Catatan Penerangan Lembar 1209-1 Bogor, Laporan, Bandung, Direktorat Geologi Tata Lingkungan, Direktorat Jenderal Geologi dan Sumberdaya Mineral, Departemen Pertambangan dan Energi.
- Tzenkov T dan Slaveiko G, (2003), Geometric Analysis of Geodetic Data for Investigation of 3D Landslide Deformations, *Makalah*, Natural Hazards Review 10.1061/(ASCE) 1527-6988(2003)4:2(78).
- Wahjono, Agoes D. dan Gatot M.S., (1996) : Hasil Pemantauan Gerakan Tanah di Daerah Pacet, Kabupaten Cianjur-Jawa Barat, Laporan, Bandung, Direktorat Geologi Tata Lingkungan, Direktorat Jenderal Geologi dan Sumberdaya Mineral, Departemen Pertambangan dan Energi.
- Wahjono, A.Darsoatmojo, G.M. Soedrajat, (1996) : *Laporan Hasil Pemantauan Gerakan Tanah Daerah Ciloto Kabupaten Dati II Cianjur Jawa Barat*, Proyek Penyelidikan Geologi Tata Lingkungan dan Geologi Teknik, Direktorat Geologi Tata Lingkungan.
- Yalcinkaya M. dan T. Bayrak, (2004) : Comparison of Static, Kinematic and Dynamic Geodetic Deformation Models for Kutlugün Landslide in Northeastern Turkey, *Jurnal*, Natural Hazard 34, Hal 91-95.
- Záruba Q. dan Vojtěch Mencl., (1969) : *Landslides and their Control*, Prague, Czechoslovak Academy of Sciences, 193 Hal.