

**Ketelitian Model Kinematik untuk Memprediksi
Karakteristik Longsor
(Studi Kasus : Zona Longsor di Ciloto-Puncak, Jawa
Barat)**

Vera Sadarviana¹, Hasanuddin Z. Abidin¹, Joenil Kahar¹, Djoko Santoso²,
Wedyanto K.¹

¹ Geodesy Research Division, Faculty of Earth Sciences and Technology, Institut
Teknologi Bandung, Ganesha 10, Bandung 40132, West Java, INDONESIA

² Research Group of Geophysical Science and Engineering, Faculty of Earth Sciences
and Mineral, Institut Teknologi Bandung, Ganesha 10, Bandung 40132, West Java,
INDONESIA

Abstract. The geodetic approach based on extraterrestrial survey measurements can be used to study phenomenon, especially to monitoring of material movement characteristic. Landslide is one of prominent catastrophe that continuously affecting in Indonesia, especially in rainy season. In mountainous terrain and areas of steep slope of Indonesia, landslides are frequent, especially where land cover has been removed. Landslides destroy not only environment and property, but usually also cause deaths. Landslide mitigation is therefore very crucial and should be done properly.

The velocity and acceleration of several monitored point covering the landslide zone area can be estimated using the geodetic approach. Knowing the relation among these three variables in spatial and temporal domain will be useful for identifying the characteristics of landslide. This information can then be used for better strategy of landslide hazard mitigation.

Accuracy of the use of kinematic models for prediction of avalanche characteristics need to be validated so that mitigation will be done correctly. Validation is done by doing a comparison between model predictions and the size of the data and statistical tests for the feasibility of prediction of each point of the GPS monitor. Validation is known that the predicted results at some GPS monitor point is not suitable for use.

With the vector of the movement of materials, we know the direction and scalar, velocity and acceleration of material displacement. The movement of landslide materials at Ciloto Zone dominated north-west to south-easterly direction and speed to slow very slow (creep).

Keywords: *accuracy, characteristics, kinematic model, landslide.*

1 Pendahuluan

Longsor merupakan bencana alam yang sering mengancam morfologi lereng di kawasan berbukit atau pegunungan, khususnya di musim hujan. Bencana longsor menyebabkan kerugian besar dalam perekonomian, bahkan mengancam keselamatan manusia. Berdasarkan laporan tentang bencana longsor dari Direktorat Jenderal Geologi dan Sumberdaya Mineral Departemen Energi dan Sumberdaya Mineral (2005) diketahui bahwa Indonesia memiliki \pm 918 lokasi rawan longsor yang tersebar di 11 propinsi, yaitu Jawa Tengah 327 lokasi, Jawa Barat 276 lokasi, Sumatera Barat 100 lokasi, Sumatera Utara 53 lokasi, Yogyakarta 30 lokasi, Kalimantan Barat 23 lokasi dan sisanya tersebar di Nusa Tenggara Timur, Riau, Kalimantan Timur, Bali, dan Jawa Timur. Dalam kurun waktu tahun 2003 – 2005 telah terjadi 103 kejadian bencana longsor, seperti pada **Tabel 1**.

Tabel 1 Daftar Kejadian dan Korban Bencana Longsor Tahun 2003 – 2005

No.	Propinsi	Jml. Kejadian	Korban Jiwa		Rumah Hancur	Rumah Rusak	Rumah Terancam	Lhn Pertanian Rusak (Ha)	Jln Terputus (m)
			Tewas	Luka					
1.	Jawa Barat	77	166	108	198	1751	2290	140	705
2.	Jawa Tengah	15	17	9	31	22	200	1	75
3.	Jawa Timur	1	3	-	-	27	-	70	-
4.	Sumatera Barat	5	63	25	16	14	-	540	60
5.	Sumatera Utara	3	126	-	1	40	8	-	80
6.	Sulawesi Selatan	1	33	2	10	-	-	-	-
7.	Papua	1	3	5	-	-	-	-	-
Jumlah		103	411	149	256	1854	2498	751	920

Sumber : Direktorat Jenderal Geologi dan Sumberdaya Mineral Departemen Energi dan Sumberdaya Mineral

Dengan demikian pemantauan terhadap perilaku material penyusun lereng penting dilakukan sebagai upaya meminimalis bencana longsor. Metode-metode yang ada untuk memantau perilaku material penyusun lereng dengan menghitung faktor keamanan (*factor of safety*) sebagai nilai yang menyatakan kestabilan lereng. Perhitungan tersebut menggunakan besaran-besaran fisik, seperti geometrik lereng, ketahanan material penyusun lereng, hidrogeologi, cuaca, stratigrafi, dan struktur batuan geologi. Penggunaan besaran fisik dapat menghasilkan suatu keluaran yang realistik dalam mewakili fenomena longsor. Tetapi pengukuran besaran fisik di lapangan berkaitan dengan keberagaman material dan kondisi alam sehingga memerlukan perangkat yang relatif mahal dan tidak mudah pengadaannya.

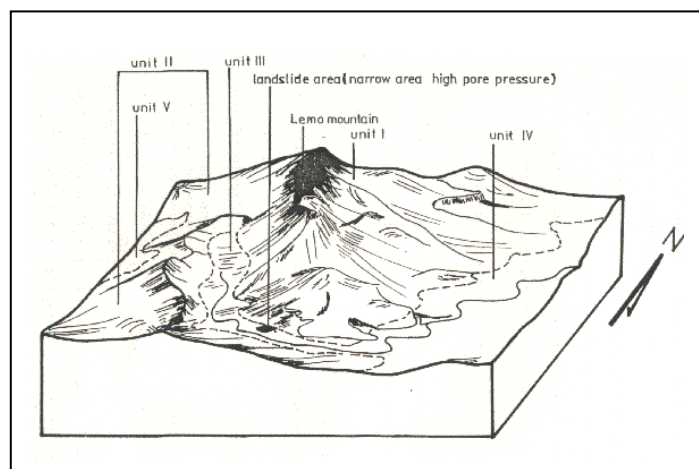
Dalam memantau pergerakan material longsor, pengukuran geodetik dapat lebih murah, praktis, dan mampu mencakup area yang lebih luas. Tetapi pemanfaatan metode geodetik belum dikembangkan hingga mampu berperan untuk

mengetahui perilaku material penyusun lereng atau karakteristik dari suatu fenomena longsor sehingga dapat memberikan kontribusi dalam rangka mitigasi bencana longsor. Perilaku material penyusun lereng dapat diketahui melalui status vektor perpindahan posisi titik pantau geodesi, kecepatan, dan percepatan. Arah dan besar perpindahan titik pantau geodesi, kecepatan, dan percepatan dapat dijadikan masukan bagi penentuan strategi mitigasi bencana longsor.

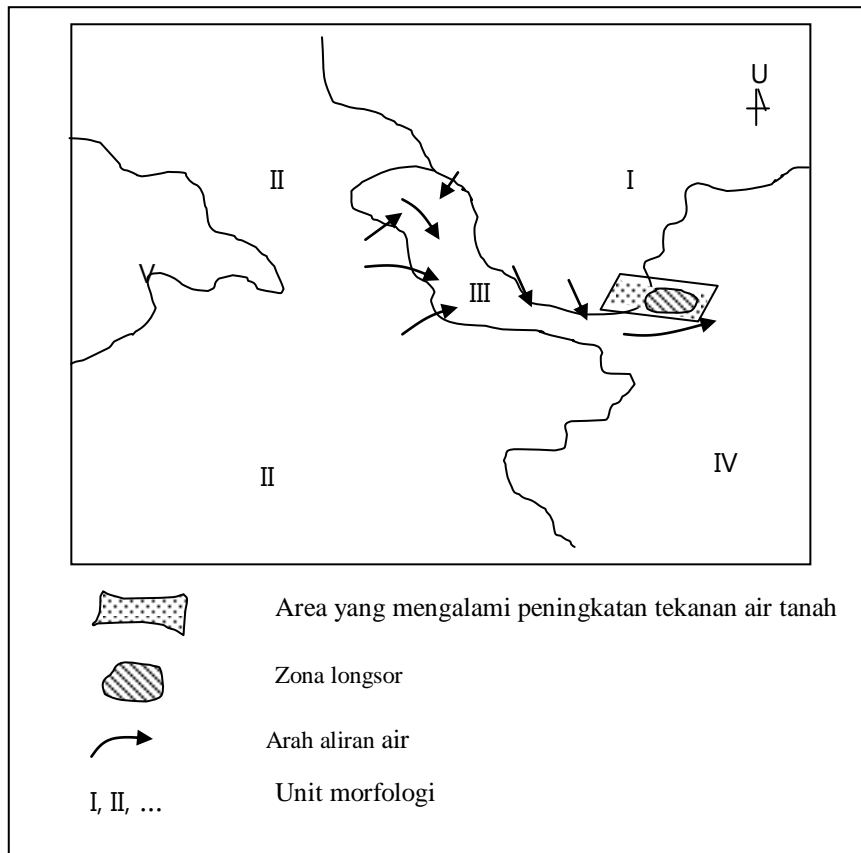
2 Area Studi dan Pengumpulan Data

Area studi yang dipilih adalah zona longsor pada lereng seluas ± 40 hektar yang berada pada posisi geografis $107^{\circ}00'00'' - 107^{\circ}00'20''$ 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.

Dalam Sugalang [13], kawasan puncak Ciloto dibagi menjadi lima unit morfologi, yaitu unit I yang meliputi area kompleks Gunung Lemo, unit II meliputi area kompleks Pondok Cikoneng, Gunung Mas, Gunung Gedogan, dan Gunung Joglok, unit III meliputi area Puncak, Jember, dan sekitarnya, unit IV meliputi area kompleks Sindanglaya, dan unit V merupakan lereng perbukitan area Cempaka, Tugu, dan sekitarnya, dapat dilihat pada gambar 1. Dengan adanya pembagian morfologi ini maka arah aliran air tanah dapat diketahui, termasuk area akumulasi air. Unit I dan II berperan sebagai area infiltrasi air dengan curah hujan tinggi dan unit III, IV, dan V merupakan area aliran air yang bersifat lokal. Zona longsor berada pada unit morfologi III, seperti pada gambar 2. Pada unit III, air tanah akan terakumulasi. Air tanah tersebut akan merembes melalui lapisan batuan permeabel (lapisan pasir) dan mencapai unit IV. Sebelum mencapai unit IV, air tanah akan melewati unit III. Hal ini akan meningkatkan tekanan air pori, sebagai ilustrasi dapat dilihat pada gambar 3. Oleh sebab itu yang paling mungkin mengalami longsor adalah unit III. Kondisi ini sebagai salah satu penyebab terjadinya longsor.

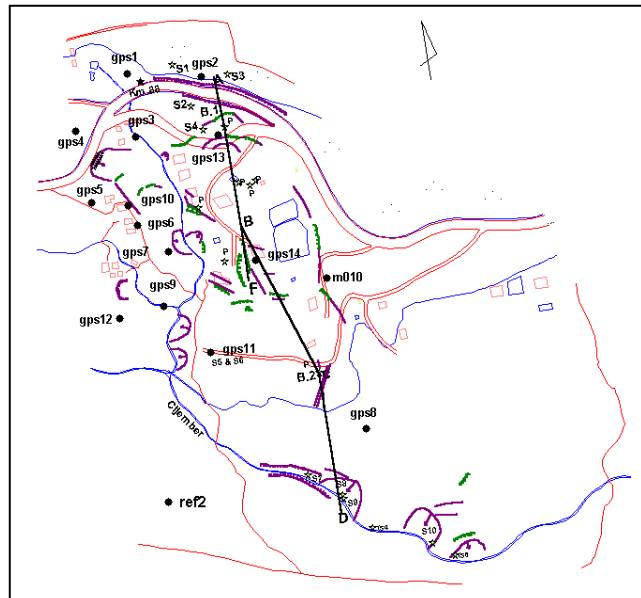


Gambar 1 Morfologi di Sekitar Zona Longsor



Gambar 2 Aliran Air di Sekitar Zona Longsor ¹³

Pemantauan terhadap zona longsor Ciloto dilakukan dengan survei GPS (2002 – 2005). Penentuan lokasi pemasangan titik-titik pantau GPS ini mengacu pada informasi geologi mengenai peta daerah longsor, hasil analisis obstruksi pengamatan satelit GPS, dan faktor kestabilan titik pantau yang sudah ada, dapat dilihat pada gambar 3. Berdasarkan jarak terhadap gawir utama, posisi titik GPS1, GPS2, GPS3, GPS4 dan GP13 berada pada bagian atas zona longsor, titik GPS5, GPS6, GPS7, GPS9, GP10, M010 berada pada bagian tengah zona longsor dan titik GPS8, GP11, GP12 berada pada bagian bawah zona longsor, dekat di sungai Cijember.



Gambar 3 Sebaran Titik-Titik Pantau GPS

Survei GPS yang dilakukan menggunakan metode statik differensial dengan alat receiver geodetik frekuensi ganda (*dual frequency*), lama survei berkisar antara 4 – 6 jam dengan interval perekaman data per 30 detik dan sudut elevasi 15° sehingga terhindar dari *multipath*/sinyal pantulan (lihat tabel 2).

Tabel 2 Strategi Survei GPS

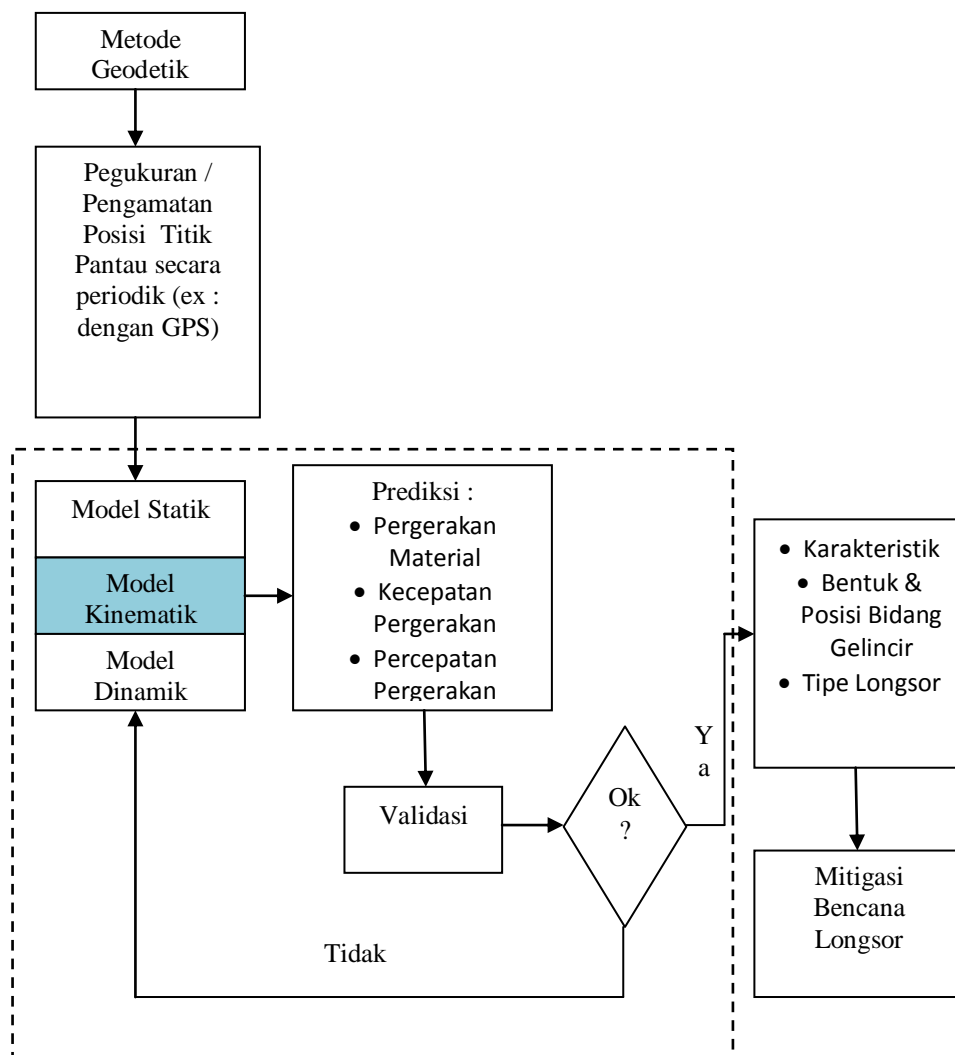
Metode Pengamatan	Statik differensial
Jenis Alat	Receiver tipe Geodetik <i>dual frequency</i>
Data yang digunakan	Kode P dan Kode C/A Gelombang Pembawa L1 dan L2
Lama Pengukuran	4 – 6 jam
Interval Epok	30 detik
Sudut Elevasi	15°

Survei GPS terhadap titik-titik pantau dilakukan secara periodik sebanyak 5 (lima) kala. Kala 1 dilakukan tanggal 21 – 22 Januari 2002, yang merupakan musim penghujan terhadap 15 titik pantau dengan 2 titik referensi, kala 2 dilakukan tanggal 4 – 5 April 2002, yang merupakan musim kemarau terhadap

15 titik pantau GPS yang diamati 15 buah, kala 3 dilakukan tanggal 10 Mei 2003, yang merupakan musim kemarau terhadap 12 titik pantau (3 titik pantau tidak diamati karena mempunyai obstruksi yang kurang bagus) dan 1 titik referensi, kala 4 dilakukan tanggal 14 – 15 Mei 2004, yang merupakan musim kemarau terhadap 12 titik pantau, dan terakhir kala 5 dilakukan tanggal 3 – 4 Juli 2005, yang merupakan musim kemarau terhadap 12 buah dan 1 titik referensi.

3 Metodologi

Pendekatan kerangka pikir yang digunakan dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 4 Kerangka Pikir

Apabila data pengukuran atau pengamatan yang dilakukan hanya dua periode waktu maka prediksi sangat diperlukan sehingga upaya mitigasi tetap dapat dilakukan dengan tepat.

Perpindahan posisi titik pantau diperoleh dengan menghitung selisih dua koordinat dari dua kala yang berurutan sehingga dihasilkan vektor perpindahan posisi titik pantau dalam arah *easting*, *northing*, dan beda tinggi, yang disebut sebagai model statik.

$$d_j = x_j^{(1)} - x_j^{(2)} \quad (1)$$

Dalam Yalcinkaya dkk [15], untuk memperoleh nilai kecepatan dan percepatan perpindahan material lereng digunakan model kinematik yang diaplikasikan terhadap data survei GPS. Dari model statik kemudian dikembangkan menjadi model kinematik, yang merupakan fungsi dari perpindahan posisi, kecepatan, dan percepatan titik pantau. Apabila disajikan dalam bentuk persamaan, dapat dilihat pada persamaan berikut ini :

$$\begin{aligned} E_j^{(i)} &= E_j^{(i-1)} + (t_i - t_{i-1})V_{Ej} + \frac{1}{2}(t_i - t_{i-1})^2 a_{Ej} \\ N_j^{(i)} &= N_j^{(i-1)} + (t_i - t_{i-1})V_{Nj} + \frac{1}{2}(t_i - t_{i-1})^2 a_{Nj} \\ h_j^{(i)} &= h_j^{(i-1)} + (t_i - t_{i-1})V_{hj} + \frac{1}{2}(t_i - t_{i-1})^2 a_{hj} \end{aligned} \quad (2)$$

Persamaan [1] disusun berdasarkan parameter yang akan dicari maka dibentuk persamaan berikut :

$$\begin{aligned} E_j^{(i)} &= E_j^{(i-1)} + (t_i - t_{i-1})V_{Ej} + \frac{1}{2}(t_i - t_{i-1})^2 a_{Ej} \\ N_j^{(i)} &= N_j^{(i-1)} + (t_i - t_{i-1})V_{Nj} + \frac{1}{2}(t_i - t_{i-1})^2 a_{Nj} \\ h_j^{(i)} &= h_j^{(i-1)} + (t_i - t_{i-1})V_{hj} + \frac{1}{2}(t_i - t_{i-1})^2 a_{hj} \\ V_{Ej}^i &= V_{Ej} + \frac{1}{2}(t_i - t_{i-1})^2 a_{Ej} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
V_{Nj}^i &= V_{Nj} + \frac{1}{2}(t_i - t_{i-1})^2 a_{Nj} \\
V_{hj}^i &= V_{hj} + \frac{1}{2}(t_i - t_{i-1})^2 a_{hj} \\
a_{Ej}^i &= a_{Ej} \\
a_{Nj}^i &= a_{Nj} \\
a_{hj}^i &= a_{hj}
\end{aligned} \tag{3}$$

Kecepatan longsor titik pantau diperoleh dari perpindahan posisi dua kala dibagi dengan selang waktu antara dua kala survei GPS, sementara percepatan longsor titik pantau diperoleh dari perpindahan posisi dua kala dibagi dengan kuadrat selang waktu antara dua kala survei GPS. Untuk memprediksi koordinat posisi titik pantau, kecepatan dan percepatan maka persamaan disusun dalam bentuk matriks :

$$\bar{Y}_{i,1} = \begin{bmatrix} E \\ N \\ h \\ V_E \\ V_N \\ V_h \\ a_E \\ a_N \\ a_h \end{bmatrix}_{i,1} = \begin{bmatrix} I_{3,3} & I_{3,3}(t_i - t_{i-1}) & I_{3,3} \frac{(t_i - t_{i-1})^2}{2} \\ 0_{3,3} & I_{3,3} & I_{3,3}(t_i - t_{i-1}) \\ 0_{3,3} & 0_{3,3} & I_{3,3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E \\ N \\ h \\ V_E \\ V_N \\ V_h \\ a_E \\ a_N \\ a_h \end{bmatrix}_{(i-1),1} \tag{4}$$

$$\bar{Y}_{i,1} = T_{i,(i-1)} \hat{Y}_{(i-1),1} \tag{5}$$

$$Q_{Y_i, Y_i} = T_{i,(i-1)} Q_{Y_{(i-1)}, Y_{(i-1)}} T_{i,(i-1)}^T \tag{6}$$

$$\hat{L}_{i,1} = L_{i,1} + v_{Li,1} = A_{i,i} \hat{Y}_{i,1} \tag{7}$$

$$\hat{L} = F(dE, dN, dh, V_E, V_N, V_h, a_E, a_N, a_h);$$

terdiri dari jarak \hat{J}_i dan beda waktu $\Delta \hat{t}_{i,i-1}$

$$\hat{J}_i = \sqrt{(dE^2 + dN^2 + dh^2)} ;$$

$$\Delta \hat{t} = \frac{\sqrt{(V_E^2 + V_N^2 + V_h^2)}}{\sqrt{(a_E^2 + a_N^2 + a_h^2)}} ;$$

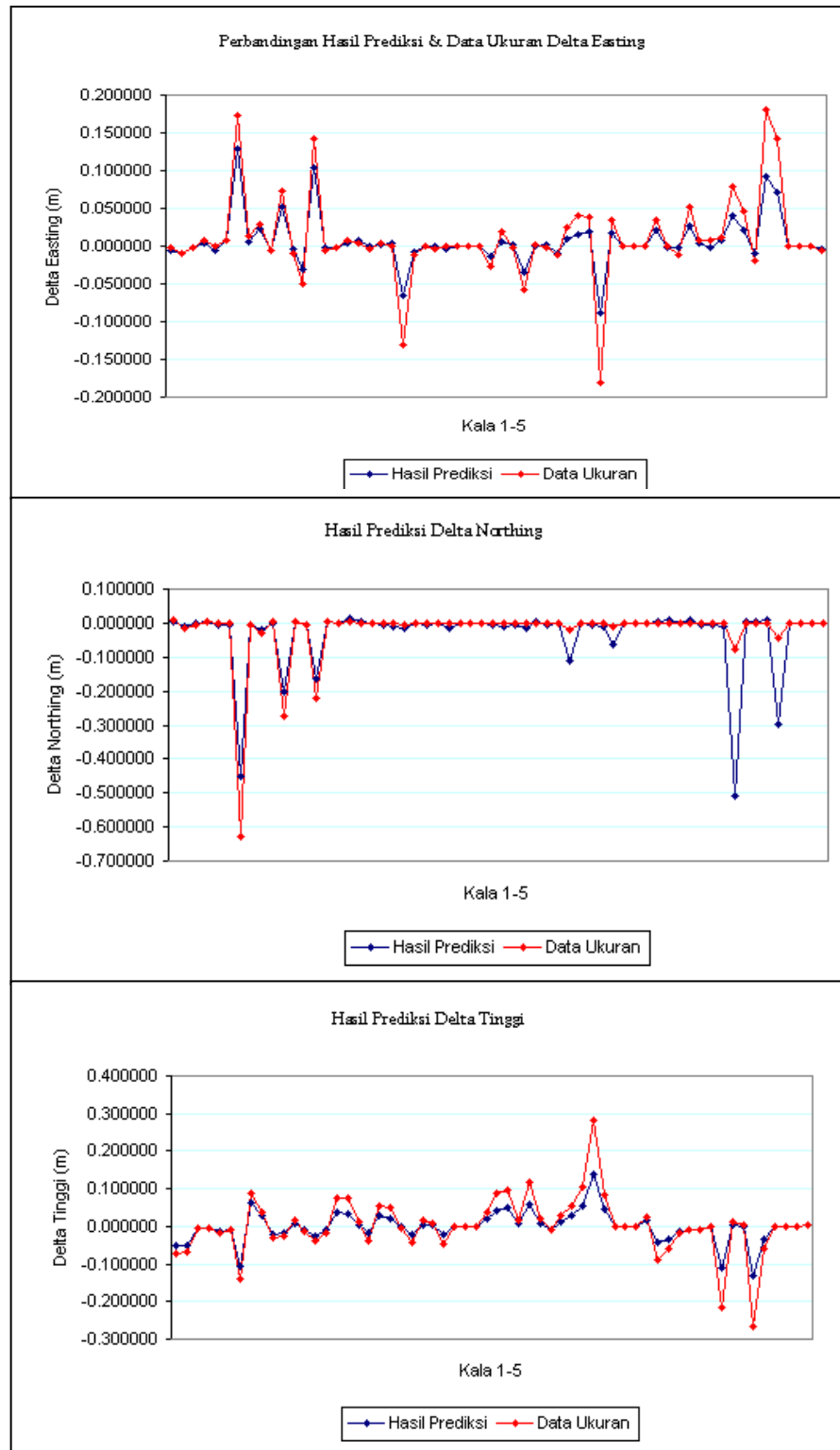
Sehingga persamaan [7] dapat ditulis sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} v_{J_i} \\ v_{\Delta t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{dE}{J} & \frac{dN}{J} & \frac{dh}{J} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{V_E}{V.a} & \frac{V_N}{V.a} & \frac{V_h}{V.a} & \frac{-a_E V}{a^3} & \frac{-a_N V}{a^3} & \frac{-a_h V}{a^3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dE \\ dN \\ dh \\ V_E \\ V_N \\ V_h \\ a_E \\ a_N \\ a_h \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} J_i - J_i^\circ \\ \Delta t - \Delta t_{i,i-1}^\circ \end{bmatrix}$$

Pada perhitungan awal, nilai pendekatan jarak J_i° dan beda waktu $\Delta t_{i,i-1}^\circ$ dianggap sama dengan nol. Perhitungan dilakukan menggunakan metode *Kalman Filtering*.

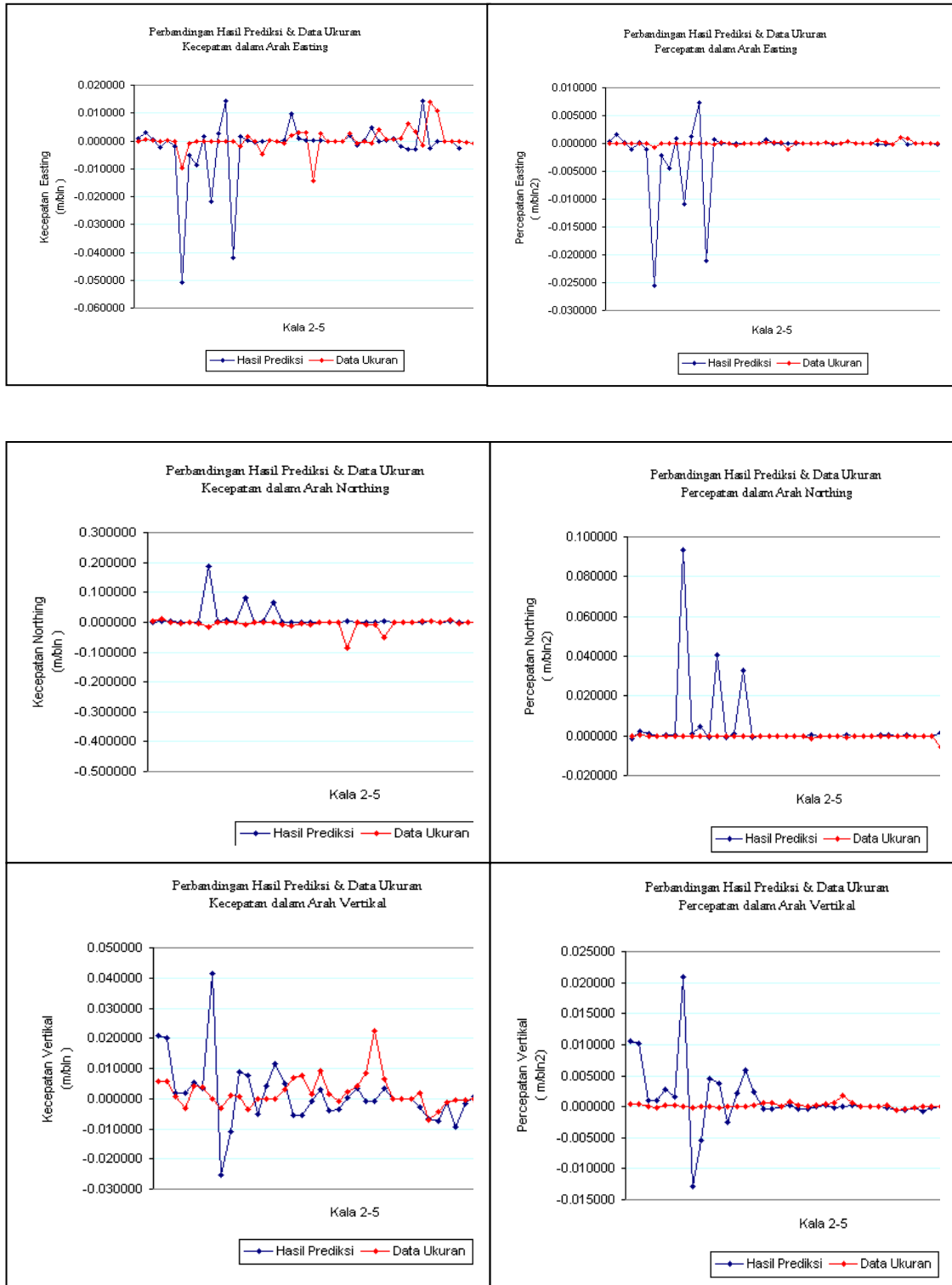
4 Hasil dan Diskusi

Untuk mengetahui ketepatan model matematika dalam memprediksi parameter yang dicari maka dilakukan komparasi hasil prediksi menggunakan model dengan hasil pengukuran. Hasil prediksi posisi (E,N,h) dapat dibandingkan dengan data ukuran dari kala yang sama. Prediksi koordinat, kecepatan dan percepatan pada titik pantau GP12, GP13 dan GP14 dilakukan menggunakan data kala 1-2 karena survei GPS di titik tersebut mengalami obstruksi. Standar deviasi pada ketiga titik tersebut mengalami loncatan nilai sehingga diputuskan untuk tidak menggunakannya pada tahap selanjutnya. Pada grafik dalam gambar 5, nilai posisi titik pantau hasil prediksi memiliki nilai lebih kecil dibandingkan dengan hasil pengukuran tetapi memiliki kecenderungan garis kurva yang sama dengan data ukuran.



Gambar 5 Prediksi vs Data Ukuran Status Vektor

Status kecepatan dan percepatan prediksi pada beberapa titik pantau memiliki loncatan nilai, yaitu titik pantau GPS7, GP11 dan GP14 secara horisontal, sementara titik pantau GPS7 dan GP10 memiliki loncatan nilai secara vertikal, seperti pada gambar 7.



Gambar 7 Kecepatan & Percepatan Prediksi vs Data Ukuran

Dalam Abidin dkk [2], untuk mengetahui hasil perhitungan parameter (perubahan posisi, kecepatan dan percepatan) suatu titik signifikan atau tidak maka dilakukan uji statistik T-Student. Hipotesa nol : tidak ada pergerakan sehingga persamaannya menjadi :

$$H_0 : d_j = x_j^{(1)} - x_j^{(2)} = 0$$

Hipotesa tandingan :

$$H_1 : d_j \neq 0 \quad (8)$$

Untuk melakukan test hipotesa nol maka dilakukan perhitungan nilai dengan sebaran T-Student. Sebaran T-student untuk perubahan posisi dihitung dengan persamaan :

$$T = \delta d_{12} / (\sigma \delta d_{12}) \quad (9)$$

$$\delta d_{12} = \sqrt{(dE_{12}^2 + dN_{12}^2 + dh_{12}^2)}$$

$$\sigma \delta d_{12} = \sqrt{\frac{(dE_{12}^2 \sigma dE_{12}^2 + dN_{12}^2 \sigma dN_{12}^2 + dh_{12}^2 \sigma dh_{12}^2)}{\delta d_{12}^2}}$$

Untuk Kecepatan :

$$T = \delta V_{12} / (\sigma \delta V_{12}) \quad (10)$$

$$\delta V_{12} = \sqrt{(V_{E_{12}}^2 + V_{N_{12}}^2 + V_{h_{12}}^2)}$$

$$\sigma \delta V_{12} = \sqrt{\frac{(V_{E_{12}}^2 \sigma V_{E_{12}}^2 + V_{N_{12}}^2 \sigma V_{N_{12}}^2 + V_{h_{12}}^2 \sigma V_{h_{12}}^2)}{\delta V_{12}^2}}$$

Untuk Percepatan :

$$T = \delta a_{12} / (\sigma \delta a_{12}) \quad (11)$$

$$\delta a_{12} = \sqrt{(a_{E_{12}}^2 + a_{N_{12}}^2 + a_{h_{12}}^2)}$$

$$\sigma \delta a_{12} = \sqrt{\frac{(a_{E_{12}}^2 \sigma a_{E_{12}}^2 + a_{N_{12}}^2 \sigma a_{N_{12}}^2 + a_{h_{12}}^2 \sigma a_{h_{12}}^2)}{\delta a_{12}^2}}$$

Dalam Abidin dkk [3], apabila $|T| > t_{df, \alpha/2}$ maka hipotesa nol tidak benar dan hipotesa tandingan yang benar maka dapat dikatakan bahwa perubahan koordinat sebagai indikasi adanya longsor bersifat signifikan. Dalam survei GPS ini nilai perpindahan posisi diturunkan dari data pengamatan beberapa satelit selama empat sampai enam jam dengan interval waktu perekaman 30 detik maka dapat diasumsikan bahwa $df = \infty$. Dengan tingkat kepercayaan 99% ($\alpha = 1\%$) maka $t_{\infty, 0.005}$ adalah 2.576.

Tabel 3 Hasil Uji Statistik T-Student pada Model Kinematik

	kala 1-2	$T > t_{df, \alpha/2}$	kala 2-3	$T > t_{df, \alpha/2}$	kala 3-4	$T > t_{df, \alpha/2}$	kala 4-5	$T > t_{df, \alpha/2}$
Nama Ttk	Tposisi		Tposisi		Tposisi		Tposisi	
GPS1	25.7231766	Ya	2832854824	Ya	2861435868	Ya	2584545401	Ya
GPS2	13.0810104	Ya	2449475248	Ya	2702174053	Ya	1368915708	Ya
GPS3	8.19783237	Ya	1922928874	Ya	10047705323	Ya	6360778003	Ya
GPS4	4.57127306	Ya	2202379446	Ya	6280362494	Ya	1464648930	Ya
GPS5	10.2253675	Ya	3389589462	Ya	1112137090	Ya	1275589491	Ya
GPS6	1.3775635	Tidak	1219610064	Ya	1932866205	Ya	3986442841	Ya
GPS7	534.918693	Ya	1.2401E+10	Ya	19398099280	Ya	93152547433	Ya
GPS8	50.2529238	Ya	3565465078	Ya	5725118568	Ya	6287505597	Ya
GPS9	15.761611	Ya	516615294	Ya	4649802232	Ya	2461097835	Ya
GP10	9.57030623	Ya	486496848	Ya	11503100254	Ya	8059020225	Ya
GP11	511.963816	Ya	5354963508	Ya	18043916165	Ya	1.19046E+11	Ya
GP12	9.74088545	Ya	4892811108	Ya	2857835840	Ya	1993448213	Ya
GP13	0.82880567	Tidak	603454273	Ya	357404994.8	Ya	249335347.8	Ya
GP14	274.444431	Ya	1.3535E+11	Ya	80520142640	Ya	56170536122	Ya
M010	4.989052	Ya	3250863908	Ya	3896110135	Ya	602967563.7	Ya
Nama Ttk	Tkec		Tkec		Tkec		Tkec	
GPS1	4504845554	Ya	7680880877	Ya	7179918325	Ya	8145482290	Ya
GPS2	3616156389	Ya	7916762519	Ya	5217041397	Ya	3397313270	Ya
GPS3	1058732695	Ya	2074929931	Ya	19520909033	Ya	16352338442	Ya
GPS4	1336724122	Ya	7624774602	Ya	14470093828	Ya	4839013306	Ya
GPS5	1749089256	Ya	1.0882E+10	Ya	2598964854	Ya	2238874274	Ya
GPS6	342229009	Ya	7785891080	Ya	2599025577	Ya	7745422790	Ya
GPS7	8.7481E+10	Ya	3.3928E+10	Ya	50200236754	Ya	3.83932E+11	Ya
GPS8	1.0934E+10	Ya	1.0711E+10	Ya	14879304853	Ya	27086732826	Ya
GPS9	4178349706	Ya	1626080465	Ya	11624851533	Ya	8822291060	Ya
GP10	2563452393	Ya	1501545085	Ya	21137487427	Ya	21786579186	Ya
GP11	1.1229E+11	Ya	1.2843E+10	Ya	43081173454	Ya	4.45475E+11	Ya
GP12	2305720479	Ya	5242915324	Ya	4048118201	Ya	3896181994	Ya
GP13	288415257	Ya	655823225	Ya	506357830.3	Ya	487361157	Ya
GP14	6.4972E+10	Ya	1.4774E+11	Ya	1.14071E+11	Ya	1.09785E+11	Ya
M010	1613823564	Ya	1.0992E+10	Ya	7479563039	Ya	2512842985	Ya
Nama Ttk	Tperc		Tperc		Tperc		Tperc	
GPS1	7709130376	Ya	1.0924E+10	Ya	10219349827	Ya	11586862646	Ya
GPS2	6188851210	Ya	1.126E+10	Ya	7425662454	Ya	4832689848	Ya
GPS3	1811779576	Ya	2951078106	Ya	27784140700	Ya	23260759699	Ya
GPS4	2287547631	Ya	1.0844E+10	Ya	20595740480	Ya	6883454358	Ya
GPS5	2993248579	Ya	1.5476E+10	Ya	3698998324	Ya	3184794632	Ya
GPS6	585655262	Ya	1.1074E+10	Ya	3699232897	Ya	11018150477	Ya
GPS7	1.4971E+11	Ya	4.8254E+10	Ya	71454905074	Ya	5.46141E+11	Ya
GPS8	1.85E+10	Ya	1.5234E+10	Ya	21178050013	Ya	38531095697	Ya
GPS9	7150562551	Ya	2312649503	Ya	16545833614	Ya	12550111319	Ya
GP10	4385689154	Ya	2135585385	Ya	30086610038	Ya	30991823001	Ya
GP11	1.9216E+11	Ya	1.8267E+10	Ya	61317246526	Ya	6.33684E+11	Ya
GP12	3945865786	Ya	5500023117	Ya	4132405223	Ya	3945865786	Ya
GP13	493564263	Ya	687962281	Ya	516893016.9	Ya	493564263.2	Ya
GP14	1.1119E+11	Ya	1.5498E+11	Ya	1.16445E+11	Ya	1.11189E+11	Ya
M010	2761660645	Ya	1.5634E+10	Ya	10645923506	Ya	3574582946	Ya

Dari hasil uji statistik dengan T-Student terhadap status vektor prediksi menggunakan model kinematik diketahui bahwa hipotesa nol ditolak atau hipotesa tandingan diterima untuk dua belas titik pantau GPS, kecuali GPS6 dan GP13 pada kala 1-2.

5 Kesimpulan

Dengan uji statistika maka diketahui bahwa hasil prediksi sebagian besar titik pantau dapat digunakan sebagai data untuk dianalisis, kecuali titik pantau GPS6 dan GP13 pada kala 1-2. Dari vektor pergerakan material longsor akan diketahui arah dan besar perpindahannya, kecepatan dan percepatan geraknya.

Perpindahan horizontal titik pantau yang diperoleh survei GPS dipengaruhi oleh tekanan akibat aliran air dari unit morfologi I, II, dan V serta terlihat adanya tekanan dari unit morfologi IV, sebagai rembesan. Tekanan air yang terbesar berasal dari unit morfologi II dan V. Pengaturan aliran air dari unit morfologi tersebut dapat menjadi suatu upaya pencegahan berlanjutnya tanah longsor di Ciloto. Tekanan air yang disebabkan oleh morfologi sekitar zona longsor tersebut mempengaruhi perpindahan vertikal material lereng. Dominasi arah perpindahan material dapat diperkirakan, yaitu dari arah barat laut ke tenggara.

Kecepatan perpindahan material lereng Ciloto termasuk dalam kelompok lambat sampai sangat lambat. Akibat yang akan ditimbulkan pada lingkungan sekitar adalah melengkungnya retakan tanah dan bangunan serta batang pepohonan yang melengkung. Kecepatan bergerak yang terbesar adalah pada bagian tengah zona longsor sehingga penggunaan lahan yang berada di bagian tersebut harus diatur sedemikian rupa sehingga tidak merugikan perekonomian dan jiwa manusia.

6 Nomenclature

a_E	=	percepatan dalam arah sumbu koordinat x (<i>Easting</i>), satuan meter/bulan ²
a_N	=	percepatan dalam arah sumbu koordinat y (<i>Northing</i>), satuan meter/bulan ²
a_h	=	percepatan dalam arah vertikal, satuan meter/bulan ²
$A_{i,l}$	=	matriks desain, yang berisi turunan terhadap parameter
d_j	=	vektor perubahan koordinat titik pantau atau mewakili pergerakan material longsor

E	=	<i>Easting</i> ; nilai posisi titik dalam arah sumbu koordinat x (timur) dalam proyeksi UTM, satuan meter
h	=	<i>height</i> ; tinggi titik di atas ellipsoid referensi GRS'80, satuan meter
i	=	kala survei GPS 1, 2, 3, ...
j	=	nomor titik pantau GPS1, GPS2, M010, ...
\hat{J}_i	=	jarak
$\hat{L}_{i,1}$	=	matriks data survei GPS yang dianggap benar, yang merupakan fungsi dari prediksi status vektor kala i atau parameter
N	=	<i>Northing</i> ; nilai posisi titik dalam arah sumbu koordinat y (utara) dalam proyeksi UTM, satuan meter
$Q_{Y(i-1),Y(i-1)}$	=	matriks kofaktor status vektor kala (i-1)
Q_{Y_i,Y_i}	=	matriks kofaktor prediksi status vektor kala i
t	=	selang kala survei GPS
$\Delta t_{i,i-1}^\circ$	=	beda waktu
$T_{i,(i-1)}$	=	matriks prediksi
V_E	=	kecepatan dalam arah sumbu koordinat x (<i>Easting</i>), satuan meter/bulan
V_N	=	kecepatan dalam arah sumbu koordinat y (<i>Northing</i>), satuan meter/bulan
V_h	=	kecepatan dalam arah vertikal, satuan meter/bulan
$v_{L_i}, v_{J_i}, v_{\Delta t}$	=	matriks koreksi data survei GPS, matriks koreksi jarak dan matriks koreksi beda waktu
$x_j^{(1)}, x_j^{(2)}$	=	vektor koordinat titik dari periode 1 dan 2 (E, N, h) ⁽¹⁾ dan (E, N, h) ⁽²⁾
$\hat{Y}_{(i-1),1}$	=	matriks status vektor (posisi, kecepatan dan percepatan) kala (i-1)
$\bar{Y}_{i,1}$	=	matriks prediksi status vektor kala i

7 Daftar Pustaka

- [1] Abidin, H.Z., H. Andreas, M. Gamal, M.A. Kusuma, D. Darmawan Surono, M. Hendrasto, O. K. Suganda, *Studying Landslide Displacements in Ciloto Area (Indonesia) Using GPS Survey Method*, Spatial Science, 2005.
- [2] Abidin, H.Z., H.Andreas, M.Gamal, Surono, M.Hendrasto, *Studi Gerakan Tanah di Kawasan Rawan Longsor Ciloto (Jawa Barat) dengan Survei GPS*, Journal JTM Vol. XI, No. 1. pp. 33-40, 2004.
- [3] Abidin, H.Z., H.Andreas, M.Gamal, Surono, M.Hendrasto, *Studying Landslide Displacement in Megamendung (Indonesia) Using GPS Survey Method*, Proc ITB Eng. Science. Vol 36B, No. 2. pp. 109-123, 2004.
- [4] Abramson, Lee W., Thomas S. Lee, Sunil Sharma, Glenn M. Boyce, *Slope Stability and Stabilization Methods*, 1st ed., John Wiley & Sons Inc, pp. 629, 1996.
- [5] Bowles, J. E. & Johan K. Hainim, *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*, 2nd ed., Penerbit Erlangga, pp. 578, 1984.
- [6] Dikau, Richard, Denys Brunsden, Lothar Schrott, Maia-Laura Ibsen, *Landslide Recognition-Identification, Movement and Causes*, Report No.1 of the European Comission Enviroment Programme, John Wiley and Sons, 1996.
- [7] Hartinger, H., F. K. Brunner, *Development of a Monitoring System of Landslide Motion Using GPS*, 9th FIC Symposium on Deformation Monitoring Glsztyn, pp. 29-38, 2003.
- [8] Philip, P., *Large Landslides Monitored in Real Time on the World Wide Web*, 1999.
- [9] Santoso, Djoko, *Longsor pada Jalur Lipatan Kuat Batuan Sedimen Turbidit Jawa Barat sebagai Kasus Khusus Gerakan Tanah dengan Longsor di Desa Cikareo-Majalengka sebagai Model*, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 1990.
- [10] Schuster, Robert L. & Raymond, J. K., *Landslides Analysis and Control*, National Academy of Sciences, pp. 234, 1978.
- [11] Selby, M. J., *Hillslope Materials and Processes*, Oxford university press, 2nd ed., pp. 520, 2000.
- [12] Selby, M. J., *Earth Earth's Changing Surface - An Introduction to Geomorphology*, Oxford University Press, 1st ed., pp. 607, 1985.
- [13] Sugalang, *Landslide in Ciloto Area West Java Indonesia*, theses, Department of Soil Mechanics, Luleå University of Technology, 1989.
- [14] Tzenkov, T. & Slaveiko, G., *Geometric Analysis of Geodetic Data for Invegtigation of 3D Landslide Deformations*, Natural Hazards Review 10.1061/(ASCE) 1527-6988 (2003) 4:2 (78), 2003.

- [15] Yalcinkaya, Mualla & Temel, Bayrak, *Comparison of Static, Kinematic and Dynamic Geodetic Deformation Models for Kutlug n Landslide in Northeastern Turkey*, Natural Hazard 34. pp 91-95, 2004.
- [16] Z ruba, Q., & Vojt ch, Mencl., *Landslides and Their Control*, Czechoslovak Academy of Sciences, pp. 193, 1969.