

# MEKANISME GERAKAN MASSA BATUAN AKIBAT GEMPABUMI; TINJAUAN DAN ANALISIS GEOLOGI TEKNIK

## *THE MECHANISM OF ROCK MASS MOVEMENTS AS THE IMPACT OF EARTHQUAKE ; GEOLOGY ENGINEERING REVIEW AND ANALYSIS*

Dwikorita Karnawati <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Staf Pengajar Pascasarjana Jurusan Teknik Sipil dan Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik,  
Universitas Gadjah Mada. Email : [dwiko@indosat.net.id](mailto:dwiko@indosat.net.id); [dwiko@ugm.ac.id](mailto:dwiko@ugm.ac.id)

---

### ABSTRACT

*More than 150 events of rock mass movement (rock slides and rock falls) were recorded at the west and north parts of Southern Mountain, as the impact of earthquake last May 27, 2006 in Daerah Istimewa Yogyakarta. The susceptible areas for those rockslides and rockfalls were formed by steep volcanic rocks such as interbedded tuff sandstone – tuff claystone, andesitic breccia and limestone. One major fault with the direction of NE-SW with several corresponding micro faults were apparent to be the significant control on the stability of rock mass, which then lead to the movement through mechanism of rock falls and rock slides. One of the largest event occurred at the slope of tuffaceous sandstone situated in Desa Sengir, Kecamatan Prambanan where 2 hectares of land moved and resulted in 16 houses damaged. Interpretation of detailed aerial photograph ( 1 : 5,000) and geological site investigation by drilling through three bore holes with the total depth of 46 m were carried out to preliminary investigate the mechanism of rock mass movements and the major controlling factors. The movement of rock mass in Sengir occurred as the wedge rock sliding through the intersection of two joint sets (N 100° E and N 175° E) and the bedding dip of tuffaceous sandstone – mudstone with the direction of N 210°E/ 10°. The major controls of this rock sliding were rock joint existence and orientation, the direction of bedding plane at the slope and the difference of rock weathering grade. Those major controlling factors are important to be considered for establishment of landslide susceptibility map at the surrounding area.*

Keywords : *rock mass movements, earthquake, controlling factors, establishment of landslide.*

### PENDAHULUAN

Gerakan massa tanah/ batuan merupakan proses pergerakan material penyusun lereng meluncur atau jatuh ke arah kaki lereng karena kontrol gravitasi bumi (Crozier dan Glade, 2004). Dalam pengertian di atas, material penyusun lereng adalah tanah atau batuan pembentuk suatu lereng (Karnawati, 2005). Sebagai akibat dari gempabumi 27 Mei 2006 yang lalu, lebih dari 150 kejadian gerakan massa batuan terjadi di sepanjang tebing bagian barat dan utara Pegunungan Selatan yang berada di wilayah Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Menurut Karnawati dan Fathani (2006) penyebaran titik-titik luncuran/jatuhan tersebut sesuai dengan penyebaran jalur patahan di Pegunungan Selatan yang berarah umum timur laut – barat daya dan berarah barat-timur (Gambar 2). Dikhawatirkan massa batuan yang bergerak masih dapat bergerak lagi dan mengancam pemukiman di sekitarnya. Oleh karena itu, perlu dilakukan tinjauan dan analisis geologi tentang penyebab dan mekanisme gerakan tersebut, sehingga dapat direkomendasikan upaya antisipasinya.

### Penyebab Gerakan

Karnawati (2005) menjelaskan bahwa penyebab gerakan massa tanah/ batuan dapat dibedakan menjadi penyebab yang merupakan faktor kontrol dan merupakan proses pemicu gerakan (Gambar 1). Faktor kontrol merupakan faktor-faktor yang membuat kondisi suatu lereng menjadi rentan atau siap bergerak meliputi kondisi morfologi, stratigrafi (jenis batuan serta hubungannya dengan batuan yang lain di sekitarnya), struktur geologi, geohidrologi dan penggunaan lahan. Faktor pemicu gerakan merupakan proses-proses yang mengubah suatu lereng dari kondisi rentan atau siap bergerak menjadi dalam kondisi kritis dan akhirnya bergerak. Umumnya proses tersebut meliputi proses infiltrasi hujan, getaran gempa bumi ataupun kendaraan/ alat berat, serta aktivitas manusia yang mengakibatkan perubahan beban ataupun penggunaan lahan pada lereng.

Sementara itu Schumm (1979) menyatakan bahwa faktor pemicu gerakan massa tanah/ batuan umumnya merupakan faktor – faktor yang berasal dari luar lereng. Saveny (2002) menegaskan bahwa faktor-faktor yang berasal dari dalam lereng, seperti

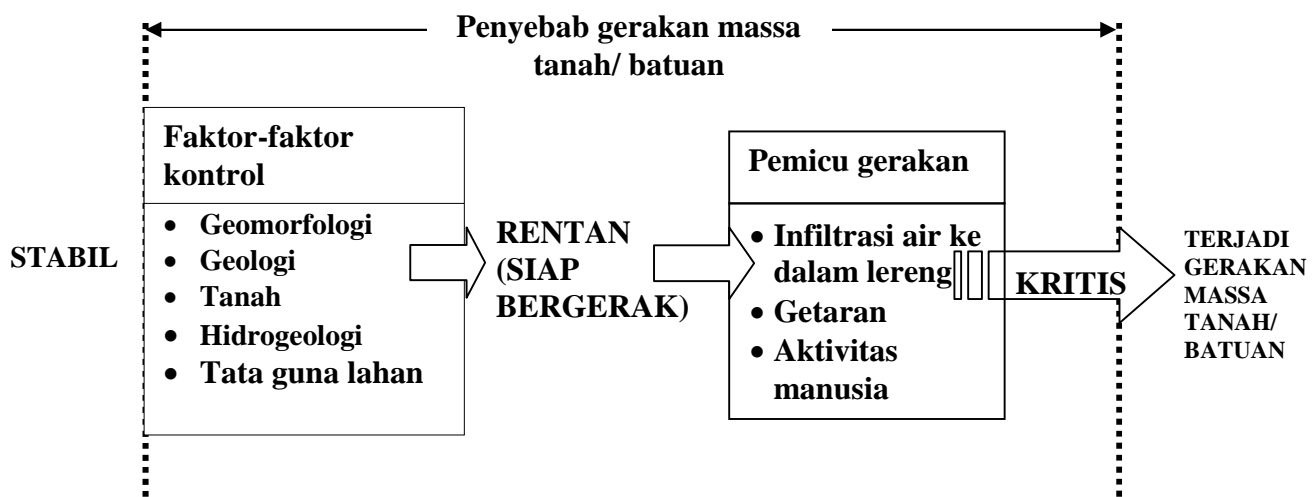
pelemahan batuan akibat pelapukan, dapat merupakan proses pemicu gerakan. Crozier dan Glade 2004 menjelaskan bahwa faktor pemicu gerakan merupakan proses yang mengawali suatu gerakan yaitu terjadinya perubahan kondisi pada lereng dari batas kestabilan marginal (*marginally stable*) menjadi tidak stabil (*actively unstable*).

**Jenis dan mekanisme gerakan**

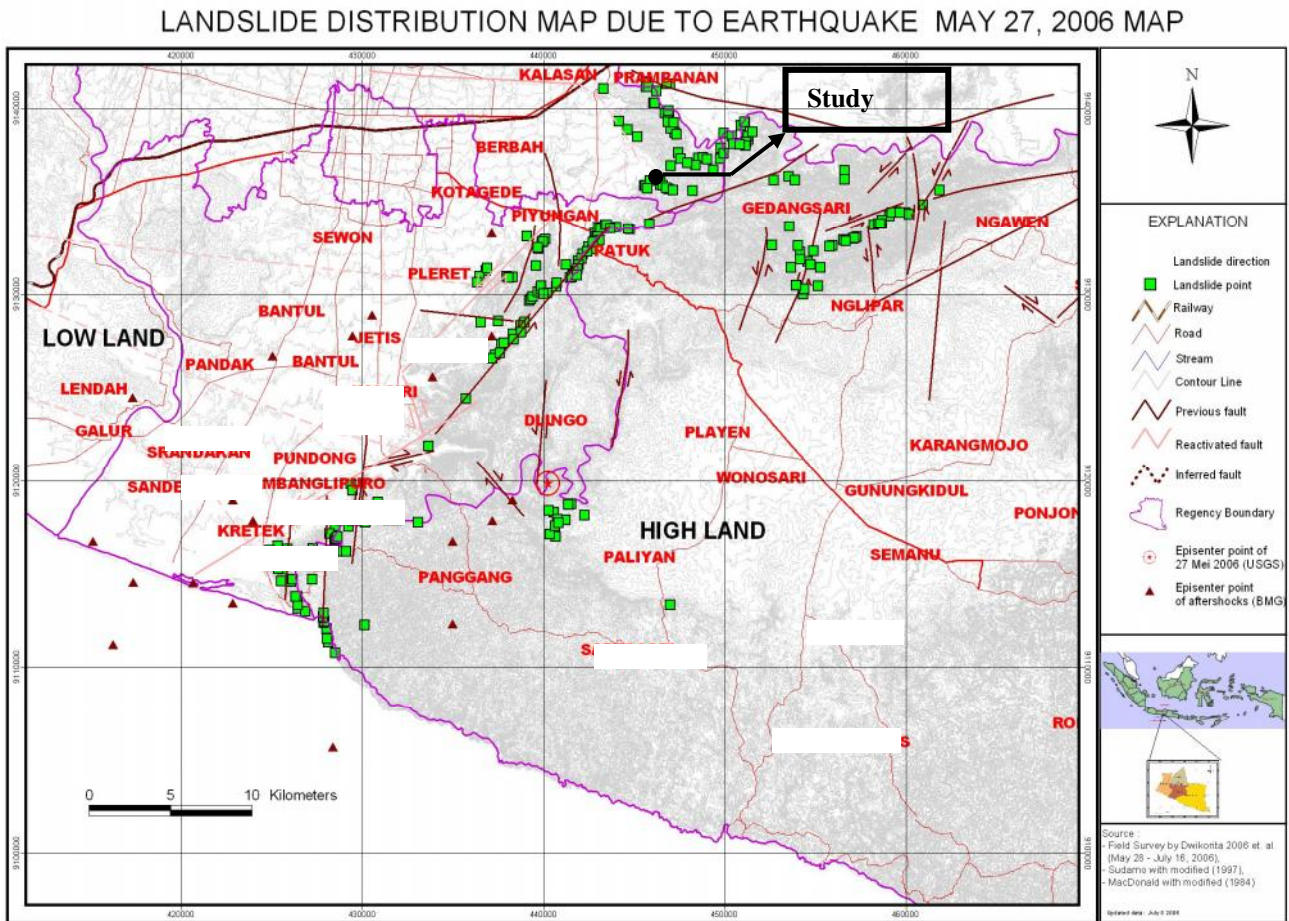
Varnes (1978) membuat klasifikasi jenis gerakan massa tanah/ batuan dapat berdasarkan

mekanisme gerakan serta tipe material yang bergerak (Tabel 1). Sementara itu, Karnawati (1996) menyusun klasifikasi gerakan massa tanah/ batuan di Indonesia, berdasarkan mekanisme gerakan dengan meninjau faktor-faktor kontrol gerakan tersebut (Tabel 2).

Dari pemahaman klasifikasi dan mekanisme gerakan massa tersebut, maka tinjauan dan analisis geologi terhadap penyebab dan mekanisme suatu kejadian gerakan tanah/ batuan dapat dilakukan secara tepat



Gambar 1. Proses terjadinya gerakan massa tanah/ batuan dan komponen-komponen penyebabnya (Karnawati, 2005).



Gambar 2. Sebaran titik lokasi gerakan massa batuan akibat gempa bumi (Karnawati dan Fathani, 2006, dikutip dari Karnawati dkk, 2006)

Tabel 1. Klasifikasi Gerakan Massa tanah/ batuan (Varnes, D.J., 1978)

| JENIS GERAKAN MASSA TANAH/<br>BATUAN |            |               | JENIS MATERIAL                               |   |  |
|--------------------------------------|------------|---------------|--|---|--|
|                                      |            |               | BATUAN                                       | TANAH   |  |
|                                      |            |               |  | Berbutir kasar                                  | Berbutir halus                             |
| RUNTUHAN                             |            |               | Runtuhan batuan                              | Runtuhan bahan rombakan                         | Runtuhan tanah                             |
| ROBOHAN                              |            |               | Robohan batuan                               | Robohan bahan rombakan                          | Robohan tanah                              |
| GERAKAN MASSA TANAH/<br>BATUAN       | ROTASI     | Beberapa unit | Nendatan batuan                              | Nendatan bahan rombakan                         | Nendatan tanah                             |
|                                      | TRANSLAS I |               | Gerakan massa tanah/ batuan blok batuan      | Gerakan massa tanah/ batuan blok bahan rombakan | Gerakan massa tanah/ batuan blok tanah     |
|                                      |            |               | Banyak unit                                  | Gerakan massa tanah/ batuan batuan              | Gerakan massa tanah/ batuan bahan rombakan |
| PENCARAN LATERAL                     |            |               | Pencaran batuan                              | Pencaran bahan rombakan                         | Pencaran tanah                             |
| ALIRAN                               |            |               | Aliran batuan (rayapan dalam)                | Aliran bahan rombakan                           | Aliran pasir/lanau basah                   |
|                                      |            |               |  | Solifluction                                    | Aliran pasir kering                        |
|                                      |            |               |  | Lawina bahan rombakan                           | Aliran tanah                               |
|                                      |            |               |  | Rayapan bahan rombakan                          | Aliran lepas                               |
|                                      |            |               |  | Aliran blok                                     |  |
| KOMPLEKS                             |            |               | Campuran dari dua (atau lebih) jenis gerakan |   |  |

**Tabel 2. Faktor kontrol Gerakan Massa tanah/ batuan (lanjutan)** (Karnawati 2005, penyempurnaan dari Karnawati, et al 2005 dan Karnawati, 1996)

| MEKANISME GERAKAN                          | RUNTUHAN, (JATUHAN, ROBOHAN)  | GERAKAN MASSA TANAH/ BATUAN  |  | RAYAPAN  |
|--|---|--|--|--|
|  |   |  | LUNCURAN (melalui bidang luncur lurus)   | NENDATAN (melalui bidang luncur lengkung)  |
| <b>FAKTOR PENGONTROL</b>                   | Apabila terendapkan pada bagian lereng dengan gradien yang masih tinggi, endapan tersebut masih dapat bergerak ke arah bawah lereng sebagai ALIRAN TANAH, ALIRAN BATUAN, <i>DEBRIS AVALANCHE</i> (luncuran bahan rombakan percampuran antara tanah dan batu), atau ALIRAN BAHAN ROMBAKAN. BANJIR BANDANG dapat terjadi apabila disertai jebolnya bendungan yang terbentuk oleh massa tanah/ batuan yang terendapkan pada lembah sungai yang sempit. |  |  |  |
| 1. Kondisi Lereng (kemiringan lereng)      | Umumnya kemiringan lereng $\geq 40^\circ$   | Umumnya kemiringan lereng $> 20^\circ$ sampai $40^\circ$ .   |  | Kemiringan ( $10^\circ$ - $20^\circ$ ), umumnya berada di kaki bukit atau kaki gunung. |
| 2. Tanah/ batuan penyusun lereng           |   |  |  |  |
| a. Massa yang bergerak                     | Batuan yang terpotong-potong oleh bidang-bidang retakan atau kekar. Umumnya berupa blok-blok batuan   | 1. Tanah residual (misal Latosol & Andosol).<br>2. Endapan koluvial<br>3. Batuan vulkanik yang Lapuk   | 1. Tanah residual (misal Latosol dan Andosol).<br>2. Endapan koluvial<br>3. Batuan vulkanik yang lapuk | Tanah lempung jenis smectit (motmorilonit dan vermicullite).                           |
| b. Bidang gelincir.                        | Tanpa bidang gelincir   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kontak antara material penutup yang bersifat lepas-lepas dan lolos air dengan lapisan tanah/batuan yang mengalasinya yang bersifat lebih kompak dan kedap air.</li> <li>- Zona yang merupakan batas perbedaan tingkat pelapukan batuan.</li> <li>- Bidang-bidang diskontinuitas (bidang kekar, celah atau lapisan batuan. Lapisan batulempung jenis smektit (montmorilonit), lapisan batulanau, serpih dan tuf seringkali menjadi bidang gelincir gerakan.</li> </ul> |  |  |
| c. Massa tanah/ batuan yang tidak bergerak | c. Blok-blok batuan yang masih stabil.  | Tanah/batuan dasar yang bersifat lebih kompak dan lebih masif, misalnya batuan dasar berupa breksi andesit dan andesit.  |  |  |

## METODE PENELITIAN

Untuk dapat mengidentifikasi dan analisis secara tepat mengenai jenis, mekanisme dan penyebab gerakan tanah di lokasi tinjauan, perlu dilakukan penyelidikan geologi teknik yang meliputi beberapa kegiatan berikut :

1. interpretasi foto udara dan kajian data geologi regional (studi terdahulu),
2. penyelidikan di lapangan (permukaan dan bawah permukaan),
3. analisis geologi teknik.

Berdasarkan tahap kegiatan tersebut, diperoleh gambaran (model) kondisi geologi permukaan dan bawah permukaan, serta faktor-faktor geologi yang dominan penyebab gerak massa batuan. Mekanisme dan geometri/ dimensi longsoran analisis didasarkan hasil interpretasi foto udara skala 1 : 5000, serta didukung dengan analisis kondisi geologi bawah permukaan, yang diperoleh dari korelasi antar lubang bor. Untuk menunjang analisis tersebut telah dilakukan pemboran inti melalui tiga buah lubang bor dengan kedalaman total 70 m.

Dari hasil penyelidikan dan analisis ini diharapkan dapat direkomendasikan langkah-langkah antisipasi longsor batuan di daerah tersebut.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kondisi Geologi Regional

Pegunungan Selatan merupakan morfologi yang terbentuk oleh patahan naik dengan arah timur laut – barat daya dan tersusun oleh batuan vulkanik tersier Formasi Semilir (Tmf) pada Kala Oligocene Akhir – Awal Miosen. Variasi batuan dalam formasi tersebut meliputi perselang selingan batupasir tuf - batulempung tuff, breksi pumis, dasit dan andesit. Pada Kala Miosen Awal secara tidak selaras di atas formasi batuan tersebut terendapkan breksi andesit Formasi Nglanggran (Tmng). Akhirnya pada Kala Miosen Akhir – Pliosen terbentuk Formasi Wonosari – Punung (Tmwl) yang tersusun dari batugamping koral – batugamping klastik. Kondisi Geologi di lokasi gerakan massa batuan dan sekitarnya digambarkan pada Gambar 3.

### Sifat Teknik Batuan

Sebagian besar gerakan massa terjadi pada batupasir tuf – batulempung tuf, breksi andesit dan batugamping. Sifat teknik batuan dapat terukur berdasarkan penyelidikan di lapangan dan pemboran, serta uji di laboratorium (Departemen Pekerjaan Umum, 2004). Nilai SPT (*Standard Penetration*

*Test*) batuan relatif cukup tinggi, yaitu 40 pada batupasir – batulempung tufaan, dan mencapai 60 pada breksi andesit. Sebaliknya, batuan-batuan tersebut mempunyai nilai RQD (*Rock Quality Designation*) relatif rendah, yaitu 50% dengan nilai kelulusan air relatif tinggi ( $1.06 \times 10^{-6}$  m/detik). Hal ini disebabkan oleh kekar-kekar batuan yang intensif (rapat), dengan spasi antara 10 cm – 50 cm. Batuan tersebut juga telah lapuk di bagian permukaannya dan mempunyai nilai SPT rendah (kurang dari 30). Tebal zona pelapukan tanah mencapai 1.5 m s.d. 8 m.

### Kondisi gerakan massa batuan dan faktor kontrol.

Sebagian besar gerakan massa batuan terjadi pada lereng batupasir tufan-batulempung tufan, breksi andesit dan batugamping dengan kemiringan lebih dari  $40^\circ$ , dengan kekar relatif rapat (spasi kekar 20 cm – 50 cm). Gerakan massa batuan terjadi dengan mekanisme luncuran atau jatuhan, melalui perpotongan bidang-bidang kekar batuan, atau melalui perpotongan bidang kekar dengan perlapisan batuan. Lebar mahkota luncuran/ jatuhan bervariasi, mulai dari 10 m – 500 m dan diameter bongkah batuan yang meluncur mencapai 1,50 m (Gambar 4). Sebaran lokasi luncuran/ jatuhan batuan ini tampak mengikuti sebaran patahan di Pegunungan Selatan, dengan arah umum timur laut – barat daya (Gambar 2). Jadi kehadiran bidang-bidang kekar pada lereng, kecuraman lereng dan arah kemiringan perlapisan batuan merupakan faktor-faktor kontrol penting terhadap kejadian luncuran/ jatuhan batuan tersebut. Jenis batuan bukan merupakan faktor kontrol penting gerakan, karena jatuhan/ luncuran batuan ini dapat terjadi di berbagai jenis batuan, yaitu breksi andesit, batupasir tufan dan batugamping.

### Kasus Gerakan Massa Batuan di Desa Sengir

Salah satu gerakan massa batuan terbesar telah terjadi di Desa Sengir, Kecamatan Prambanan, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Luas area pada blok massa batuan yang bergerak mencapai 2 hektar dan mengakibatkan 16 rumah rusak atau roboh, sehingga terpaksa dilakukan relokasi ke daerah yang lebih aman. Dikhawatirkan massa batuan yang telah bergerak ini masih dapat bergerak lagi, apabila terjadi getaran gempa susulan, atau terjadi kenaikan tekanan air dalam retakan batuan akibat infiltrasi air hujan.

#### a. Bidang gelincir

Dari hasil interpretasi foto udara (Gambar 5) dan penyelidikan di lapangan terlihat bahwa

longsoran ditandai dengan bentuk tebing curam (kemiringan lereng berkisar 70°- 90°) sebagai mahkota longsoran. Mahkota longsoran ini berbentuk seperti baji sebagai akibat perpotongan 2 bidang kekar yang berarah N 100°E dan N 175°E. Jadi arah umum gerakan adalah N 210°E, yang merupakan resultante dari dua arah orientasi kekar tersebut. Tepat di bawah tebing curam ini terbentuk dua segmen lembah baru yang berpotongan relatif saling menyiku (Gambar 5 dan 6). Kedalaman lembah yang baru terbentuk adalah bervariasi dari 2 - 5 meter, dengan lebar lembah sekitar 5 meter.

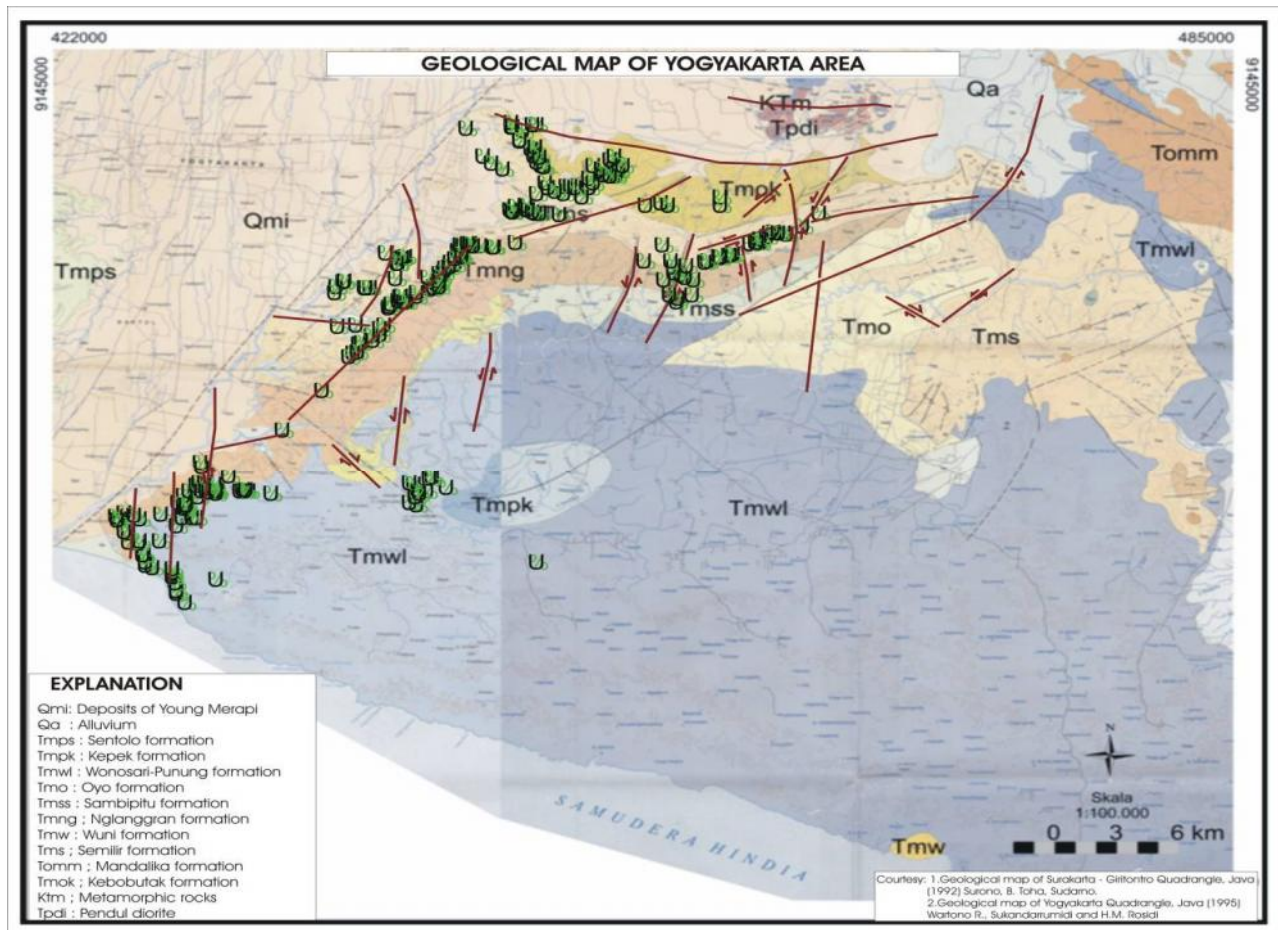
**b. Mekanisme gerakan**

Berdasarkan analisis morfologi dan korelasi antar lubang bor dapat diidentifikasi bahwa gerakan massa batuan terjadi dengan mekanisme luncuran (Gambar 5). Bentuk geometri luncuran batuan tersebut adalah berbentuk baji dengan volume luncuran diperkirakan mencapai 140 000 m<sup>3</sup>. Bidang luncur batuan yang terbentuk ini berpotongan dengan

bidang perlapisan batupasir tufan – batulempung tufan yang berarah N 210°E dengan kemiringan perlapisan sekitar 10°. Bidang luncur ini juga merupakan bidang kontak antara zona batuan yang telah lapuk lanjut hingga menengah (*Nilai SPT 20 s/d 40*) dengan zona batuan yang masih segar atau lapuk ringan (*nilai SPT ≥ 60*).

**c. Dampak luncuran**

Komponen gerak vertikal pada luncuran blok massa batuan tampak dominan, sehingga berakibat terbentuk lembah dan beberapa amblesan lokal. Kedalaman maksimum amblesan tanah mencapai 4m (Gambar 7a). Luncuran batuan yang disertai pembentukan lembah dan amblesan tanah ini juga mengakibatkan 16 rumah roboh ataupun rusak. Terlihat pula bahwa zona kerusakan rumah-rumah tersebut berada pada zona ekstensi di bagian ujung atas zona blok batuan yang bergerak, serta pada zona kompresi di bagian ujung bawah blok batuan yang bergerak (Gambar 5 dan 7b).



Ket : = Rockfall/slide site

Gambar 3. Peta Geologi Wilayah Pegunungan Selatan (dimodifikasi dari Wartono, 1995 dan Sudarno, 1997)



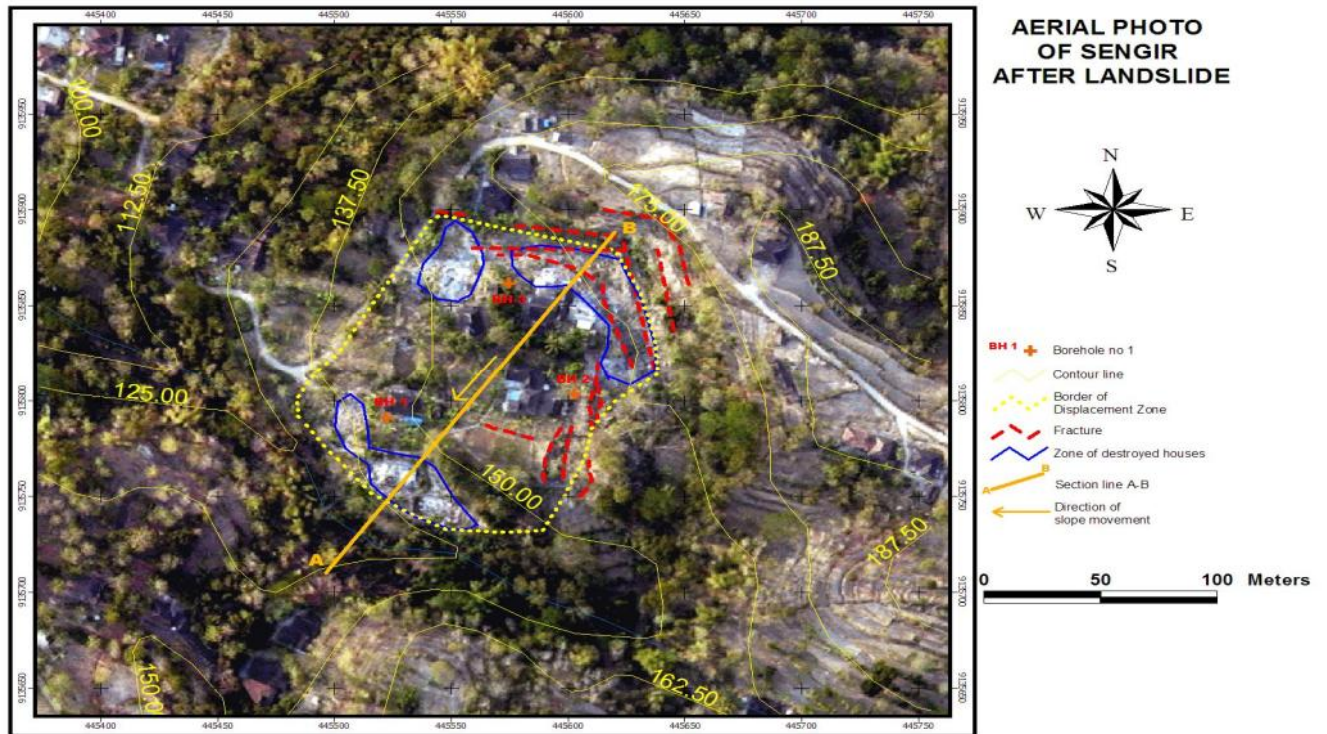
Gambar 4(a). Retakan pada tebing batupasir tufan



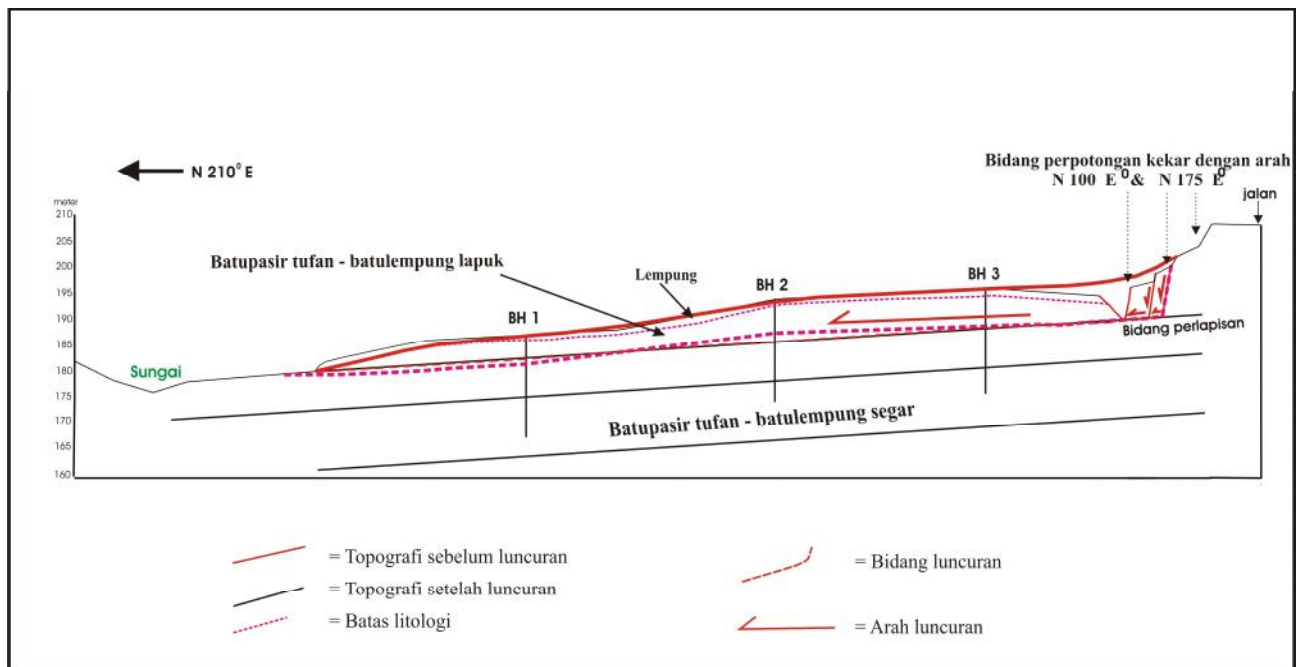
Gambar 4(b). Bongkah batu yang meluncur



## CITRA FOTO UDARA DAERAH SENGIR SETELAH LONGSOR



Gambar 5. Foto udara daerah Desa Sengir dan sekitarnya.



Gambar 6. Penampang melintang zona luncuran batuan di Desa Sengir.



Gambar 7. a) Retakan dan amblesan tanah



Gambar 7. b) Lembah yang terbentuk akibat luncuran blok massa batuan

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Dari hasil tinjauan dan analisis geologi yang telah dipaparkan di atas maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. gerakan massa batuan di lereng barat dan utara Pengunungan Selatan terjadi dengan mekanisme luncuran blok massa batuan dengan bentuk baji, dengan bidang-bidang kekar atau perpotongan bidang kekar dengan perlapisan batuan. Khusus
2. untuk luncuran batuan di Desa Sengir, Kecamatan Prambanan dengan bidang kekar berarah  $N 100^{\circ} E$  dan  $N 175^{\circ} E$  serta bidang perlapisan batupasir tufaan – batulempung tufaan dengan arah kemiringan  $N 210^{\circ} E / 10^{\circ}$ . Gerakan tersebut terjadi akibat pengaruh getaran gempabumi pada tanggal 27 Mei 2006,

perlu dipertimbangkan lebih lanjut dalam upaya pemetaan tingkat kerentanan gerakan massa batuan di daerah studi dan sekitarnya.

3. gerak luncuran blok massa batuan di Desa Sengir masih berpotensi terjadi apabila dipicu oleh hujan atau getaran gempa susulan.

### Saran

Dari kesimpulan diatas disarankan agar dilakukan pemetaan tingkat kerentanan dan analisis resiko gerakan tanah di wilayah studi dan sekitarnya, dengan mempertimbangkan beberapa kontrol utama terjadinya gerakan. Hasil pemetaan dan analisis resiko ini diperlukan dalam antisipasi bahaya gerakan tanah.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada ASEAN University Network/ South East Asia Engineering Education Network – Japan International Corporation Agency (AUN/SEED Net – JICA) yang telah membantu mendanai kegiatan peninjauan dan studi awal ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Bapak Ir. Suharyadi, M.S., Dr. Subagyo Pramumijoyo, DEA, dan Ir. Ign. Sudarno, M.T. atas segala masukan dan diskusi di lapangan, serta Sdr. M. Sito Cahyono, ST dan Sdr. Sutrisno, ST yang telah membantu selama proses pekerjaan lapangan.

### DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2004, *Penyelidikan Geologi Awal untuk Konstruksi Terowongan di Wilayah Piyungan – Patuk*, Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Departemen Pekerjaan Umum. Tidak dipublikasikan.
- Anonim, 2007, *Report of the Earthquake Emergency Response; development of micro hazard zonation and disaster preparedness*. Geological Engineering Department, Faculty of Engineering, Gadjah Mada University and Asean University Network/ South East Asia Engineering Education Network – Japan International Corporation Agency (AUN/SEED Net – JICA). Unpublished.
- Crozier, M.J and Glade T., 2004, *Landslide Hazard and Risk : Issues, Concepts and Approach in Landslides Hazard and Risk* Edited by Thomas Glade, Malcolm Anderson and Michael J. Crozier, John Wiley and Sons, pp. 1-35.
- Karnawati, D and T.F. Fathani, 2006, *Mechanism and Impact of Earthquake Induced Landslides*

in Yogyakarta Province, Indonesia. *Proc. of the 3<sup>rd</sup> Int. Symposium on Earth Resources and Engineering Geological Education*, Field of Geological Engineering - Asian University Network/ South East Asian Engineering Education Development Network– Japan International Corporation Agency (AUN/SEED Net – JICA), Yogyakarta, August 3-4, 2006.

- Karnawati, D., Pramumijoyo, S., Sudarno, I., Suharyadi, dan Wartono, R., 2006, *Survey Tinjauan Geologi Pasca Gempabumi di DIY*. Jurusan Teknik Geologi, tidak dipublikasikan.
- Karnawati, D., I. Ibriam, Anderson, M.G., Holcombe, E. A., Mummery, G.T., Renaud, J-P, and Wang, Y., 2005, *An initial approach to identifying slope stability controls in Southern Java and to providing community-based landslide warning information*, *Landslide Hazard and Risk*, Ed; Thomas Glade, M.G. Anderson and Michael J. Crozier, John Wiley and Sons, pp. 733-763.
- Karnawati, D., 2005, *Bencana Alam Gerakan Massa Tanah di Indonesia dan Upaya Penanggulangannya*. Jurusan Teknik Geologi, Universitas Gadjah Mada, Indonesia. ISBN 979-95811-3-3.
- Karnawati, D., 1996, *Mechanism of Rain-induced Landslide in Allophonic and Halloysitic Soil in Java*. *Ph.D Thesis*. Leeds University, unpublished.
- Mc. Saveny, M.J., 2002, *Recent rockfalls and rock avalanches in Mount Cook National park, New Zealand*, in S.G. Evans and J.V. DeGraff(eds), *Catastrophic Landslides : Effects, Occurrence, and Mechanism* (Boulder, CO : Geological Society of America), 15, 35-70 vide *Landslides Hazard and Risk* Edited by Thomas Glade, Malcolm Anderson and Michael J. Crozier, John Wiley and Sons.
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi, and Rosidi H.M.D., 1995, *Peta Geologi Lembar Yogyakarta*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Schumm, S.A., 1979, *Geomorphic thresholds : the concept and its application*, *Transactions Institute of British Geographers* (New Series), 4, 485-515 vide *Landslides Hazard and Risk* Edited by Thomas Glade, Malcolm Anderson and Michael J. Crozier, John Wiley and Sons.
- Sudarno, Ign., 1997, *Kendali Tektonik di Pegunungan Selatan*, Thesis Magister Teknik, Program Studi Geologi, FTM ITB, (unpublished)
- Sudarno, Ign., 1997, *Indikasi Reaktivasi Patahan di Sungai Opak, Pegunungan Jiwo dan Bagian Utara Kaki Pegunungan Selatan* *Media*

*Teknik. No. 1 Tahun XIX, Februari 1997, pp. 13-19.*

Varnes, D.J., 1978, Slope movement types and processes, *Special Report 176; Landslides; Analysis and Control*, Eds: R.L. Schuster dan R.J. Krizek, *Transport Research Board*, National Research Council, Washington , D.C., 11-33.