

# INTEGRASI ANALISIS MODEL MEDAN DIGITAL DAN PEDOGEOFORFIK UNTUK IDENTIFIKASI KEJADIAN BENCANA LONGSORLAHAN\*)

Kuswaji Dwi Priyono\*\*)

Dosen Mata Kuliah Geomorfologi Kebencanaan Fakultas Geografi Universitas Muhammadiyah Surakarta E-mail: kuswaji@yahoo.com

## ABSTRAK

Bencana longsorlahan terjadi akibat gangguan keseimbangan pada suatu lereng perbukitan/pegunungan, apabila berat massa tanah/batuan pada suatu lereng yang berupa tegangan geser melampaui besar tahanan gesernya. Pengaruh gaya berat menyebabkan massa tanah/batuan bergerak cepat ke arah bawah yang menyebabkan peristiwa bencana.

Tulisan ini bertujuan untuk mendeskripsikan pentingnya integrasi analisis model medan digital dan pedogeomorfik kejadian longsorlahan di wilayah rawan bencana longsorlahan. Hasil analisis berupa satuan medan/lereng yang berpotensi terjadinya bencana longsorlahan. Manfaat kajian ini untuk kegiatan pencegahan dan mitigasi bencana longsorlahan.

Model Medan Digital merupakan metode yang cukup baik untuk menyadap data mengenai lereng (kemiringan, panjang, dan ketinggian) dengan kemampuan menampilkan pandangan secara tiga dimensional yang lebih jelas menggambarkan topografi medan/lereng. Didukung oleh data analisis pedogeomorfik kejadian longsorlahan aktual dapat dihasilkan karakteristik lokasi kejadian bencana longsorlahan. Data tersebut dapat diperoleh dari olahan data penginderaan jauh dan survey lapangan. Penggunaan Sistem Informasi Geografis (SIG) dengan teknik perhitungan peta diperoleh hasil peta kerawanan bencana longsorlahan. Kemampuan Model Medan Digital, Sistem Informasi Geografis, teknik penginderaan jauh, dan penerapan prinsip pedogeomorfik dapat dikembangkan untuk identifikasi wilayah potensial bencana longsorlahan yang dapat memperkecil waktu, biaya, tenaga, dan peralatan yang digunakan.

*Kata kunci: Model Medan Digital, Pedogeomorfik, Bencana longsorlahan.*

## Pendahuluan

Longsorlahan (*landslides*) mewakili bencana yang luas pada wilayah pegunungan dan perbukitan di dunia yang telah menyebabkan hilangnya nyawa dan kerusakan material (Kjekstad, 2008). Berdasarkan kajian terbaru dari Bank Dunia (Dille et al, 2005 dalam Kjekstad, 2008) diperkirakan longsorlahan telah menyingkap lahan di dunia seluas 3,7 juta km<sup>2</sup>, 300 juta (5%) penduduk dunia, luasan lahan yang beresiko tinggi seluas 820.000 km<sup>2</sup>, dan kehidupan penduduk di wilayah resiko tinggi sebanyak 66 juta jiwa. Sepanjang tahun 2007 di Indonesia telah terjadi 205 kali bencana alam yang mengakibatkan krisis kesehatan yang tersebar di 28 propinsi dengan frekuensi yang bervariasi, bencana banjir disertai tanah longsor menempati frekuensi tertinggi yang menyebabkan kematian sebanyak 265 jiwa (Pusat Penanggulangan Krisis, Dep.Kes., 2007).

Kejadian longsorlahan tersebut akan terus berulang, menurut Direktorat Geologi dan Mitigasi Bencana Bandung di Pulau Jawa selama 16 tahun ini (1990-2005) telah terjadi kejadian longsorlahan lebih daripada 1.000 kejadian yang menyebabkan 1.112 penduduk meninggal dan 395 terluka, dengan 62 kejadian setiap tahunnya (Hadmoko, 2007; Sartohadi, 2008). Bencana alam itu tidak lain adalah bagian dari proses geomorfologi yang menimbulkan kerugian bagi kehidupan manusia dan pada saat ini semakin sering terjadi dengan skala akibatnya juga dirasakan semakin besar (Sartohadi, 2007). Oleh karena itu, pemahaman karakter wilayah rawan longsorlahan sangat diperlukan agar kerusakan yang dialami dapat diperkecil atau bahkan dihindari.

Longsorlahan merupakan salah satu proses geomorfologi yang beroperasi pada suatu lereng perbukitan atau pegunungan. Kajian tentang proses yang beroperasi pada lereng perbukitan atau pegunungan ini bukanlah hal yang baru. Banyak geologis pada abad ke-19 telah menyadari bahwa proses ini secara signifikan mempengaruhi perkembangan bentanglahan (Goudie, 1981). Davis (1850-1934), mengemukakan bahwa proses geomorfologi sebagai agen erosi bertanggungjawab terhadap perubahan bentanglahan. Penyelidikan tentang bahaya dan

kemungkinan bahaya longsorlahan hingga akhir dekade ini masih menjadi perhatian utama oleh komunitas peneliti di dunia (Glade, T., 2005).

Cooke dan Doornkamp (1994) menjelaskan kontribusi geomorfologi terhadap penilaian kejadian longsorlahan. Dijelaskan adanya beberapa faktor yang perlu diketahui untuk penilaian kejadian longsorlahan, yaitu: lereng, drainase, batuan dasar, tanah, bekas-bekas kejadian longsor sebelumnya, iklim, dan pengaruh aktivitas manusia. Komponen lereng yang memiliki pengaruh besar pada kejadian longsorlahan adalah kemiringan, panjang, bentuk, dan ketinggian (Cooke & Doornkamp, 1994; Van Zuidam, 1979; Dackombe & Gardier, 1983). Aspek batuan yang berpengaruh adalah struktur pelapisan batuan dan kerapatan kekar. Aspek tanah yang berpengaruh terhadap stabilitas lereng ditentukan oleh aspek permeabilitas, tekstur, indeks plastisitas, sudut gesek dalam, tekanan normal efektif, tekanan pori, dan kohesi (Cooke & Doornkamp, 1994). Proses geomorfologi yang berpengaruh terhadap longsorlahan adalah tingkat dan kedalaman pelapukan batuan dan kejadian longsor sebelumnya (Cooke & Doornkamp, 1994). Pemahaman mengenai perbedaan resistensi batuan terhadap proses pelapukan telah membawa kepada pemahaman bahwa perbedaan batuan akan selalu dicirikan oleh perbedaan relief permukaan bumi yang tidak lain adalah bentuklahan (Sartohadi, 2007). Lebih lanjut Sartohadi (2007) mengatakan bahwa untuk mencirikan dan mendeskripsikan proses-proses geomorfologi yang telah terjadi pada masa lampau tidak hanya berdasarkan kepada morfologi bentuklahan saja, namun juga pada material penyusun bentuklahan (batuan dan atau tanah).

Berdasarkan hasil pencermatan publikasi-publikasi tersebut, bahwa proses longsorlahan dikendalikan oleh sifat morfologi bentuklahan (relief) dan sifat materi batuan dan atau tanah. Bentuklahan sebagai kenampakan muka bumi yang kasat mata dapat dikaji secara genesis melalui kajian material penyusun bentuklahan dan proses-proses geomorfologi yang bekerja secara terus menerus mengubah konfigurasi bentuklahan. Perubahan konfigurasi bentuklahan ini dapat dicermati dari gambaran lerengnya. Kejadian longsorlahan merupakan proses evolusi dari suatu lereng yang dipengaruhi oleh morfostruktur pasif dari bentuklahan (batuan, material lapukan batuan, maupun tanah penutup permukaan bentuklahan) dan morfostruktur aktif bentuklahan (tektonik, struktur batuan, dan proses-proses geomorfologi oleh tenaga endogenik, eksogenik, antropogenik, maupun luar angkasa). Secara morfokronologi, kejadian longsorlahan seringkali terjadi pada suatu lereng yang dulunya pernah mengalami longsor sehingga pemahaman urutan pembentukan bentuklahan menjadi sangat penting. Demikian pula, kejadian longsorlahan seringkali berasosiasi antara kondisi lereng pada suatu bentuklahan satu dengan yang lainnya sehingga diperlukan pemahaman morfoaransemen dari lereng kejadian longsorlahan tersebut.

Telaah kejadian longsorlahan sebagai salah satu proses geomorfologi yang terjadi pada suatu bentuklahan saat ini dapat digunakan untuk mengungkap kejadian di masa lalu dan memprediksi kejadian di masa mendatang. Salah satu konsep dalam mempelajari geomorfologi adalah proses-proses dan hukum-hukum fisik yang sama yang bekerja sekarang bekerja pula pada waktu geologi, walaupun tidak harus selalu dengan intensitas yang sama seperti sekarang (Thornbury, 1958). Telaah bentuklahan untuk mencirikan dan mendeskripsikan proses-proses geomorfologi yang telah terjadi pada masa lampau tidak hanya berdasarkan pada morfologi bentuklahan saja, namun juga pada material penyusun bentuklahan yang salah satunya adalah tanah (Sartohadi, 2007).

Morfologi bentuklahan dapat dikaji melalui teknik Model Medan Digital (*Digital Terrain Model/DTM*) yang merupakan sistem, model, metode, dan alat untuk mengumpulkan, processing, dan penyajian informasi relief medan. DTM adalah susunan nilai-nilai digital yang mewakili distribusi spasial dari karakteristik medan. DTM ditujukan pada penyadapan data lereng (kemiringan, panjang, dan ketinggian), pembuatan profil dan penghasilan pandangan tiga dimensional (perspektif) dari medan. Integrasi analisis lereng menggunakan DTM dan analisis pedogeomorfik yang menekankan pada telaah pembentukan tanah sebagai material permukaan penyusun satuan bentuklahan sangat penting dalam kegiatan mitigasi bencana longsorlahan. Perkembangan tanah yang merupakan material terlongsorkan dipengaruhi oleh jumlah waktu yang telah ditempuh mulai dari tersingkapnya batuan, proses pelapukan, dan selanjutnya berkembang menjadi tanah. Tanah tidak terdistribusikan secara acak pada suatu bentangalam melainkan terdistribusikan secara sistematis menurut bentangalamnya (Eppes dan Harrison, 1999).

Berbagai penelitian tentang bencana longsorlahan dengan berbagai metode pendekatan seperti: teknik geologi, geofisika, pembaran inti dan geohidrologi, morfometri, mekanika batuan,

analisis stabilitas lereng, dan penginderaan jauh telah banyak dilakukan. Metode yang digunakan ditentukan berdasarkan skala gerakan massa yang terjadi, jumlah dan kemampuan tenaga ahli yang tersedia, perlengkapan/peralatan, dana dan waktu yang akan menentukan ketepatan sasaran yang dicapai. Integrasi analisis DTM dan pedogeomorfik menghasilkan karakter lereng yang rawan longsorlahan secara cepat pada daerah yang cukup luas dengan waktu, biaya dan tenaga yang cepat.

#### A. Analisis Model Medan Digital dan Pedogeomorfik Bencana Longsorlahan

Model Medan Digital (*Digital Terrain Model/DTM*) sebagai susunan nilai-nilai digital yang mewakili distribusi spasial dari karakteristik medan, bertujuan utama menggambarkan ketinggian medan (Doyle, 1989). DTM merupakan titik-titik tinggi dalam bentuk data digital yang nilai pikselnya menunjukkan ketinggian (elevasi) dengan resolusi spasial tertentu. Setiap piksel dalam satu himpunan DTM menunjukkan informasi ketinggian medan sesuai lokasinya. Data DTM dapat diperoleh secara langsung, tak langsung, atau gabungan langsung dan tak langsung (Makarovick, 1976).

Masukan data DTM dibuat berdasarkan data masukan data ketinggian baik dari garis-garis kontur (*isoline*) dan titik ketinggian yang diperoleh dari foto udara stereo, citra stereo, dan garis kontur dan tinggi dari peta topografi. Berdasarkan DTM dapat diturunkan menjadi beberapa model, antara lain: model tiga dimensional (pandangan perspektif medan), peta lereng, peta aspek, peta profil, dan analisis animasi efek bayangan (*hill shading*), dan sebagainya. Setiap piksel dalam satu himpunan data medan digital menunjukkan informasi ketinggian medan sesuai dengan lokasinya. Format data medan digital tersebut memungkinkan untuk dilakukan manipulasi matematis untuk mendapatkan data kemiringan dan arah lereng.

DTM pada umumnya banyak dipergunakan untuk mencari data lereng (slope). Perhitungan lereng pada suatu piksel diperlukan data beda tinggi ke arah sumbu X dan sumbu Y pada piksel tersebut. Penerapan perhitungan beda tinggi ke arah sumbu X dan ke arah sumbu Y atau analisis *neighbourhood* pada data medan digital akan diperoleh dua data baru, yaitu data beda tinggi ke arah sumbu X dan data beda tinggi ke arah sumbu Y. Berdasarkan data beda tinggi tersebut maka dapat dihitung kemiringan lereng pada tiap piksel dari data medan digital. Model pandangan tiga dimensional (perspektif) dengan menunjukkan model medan digital dalam bentuk blok diagram yang menggambarkan konfigurasi permukaan bumi, dapat dilakukan melalui acuan citra komposit SPOT terkoreksi geometrinya. Dalam display 3 dimensi dapat ditentukan pula: sudut pembesaran pengamatan, skala ketinggian, lokasi titik pusat pandangan, lokasi pengamat, jarak pengamat, dan rotasi.

Data lereng merupakan masukan utama dalam penelitian tentang bencana longsorlahan. Proses interpolasi sangat menentukan hasil Data Medan Digital yang selanjutnya diturunkan ke data lereng. Menurut Milne (dalam Gerrard, 1981), katena tanah merupakan banjar tanah yang menurun lereng pada suatu bentanglahan secara berurutan sesuai dengan posisi topografinya. Hasil gawai topografi dalam pelapukan dapat digambarkan dalam suatu hubungan yang ada antara tipe atau tingkat pelapukan dan kondisi lereng dalam suatu urutan atau banjar topografi (*toposekuen*) dari puncak lereng hingga dataran kaki suatu perbukitan/pegunungan (Gerrard, 1981). Jamulya (1987), menyatakan bahwa banjar tanah dapat dibagi menjadi satuan-satuan puncak bukit (*interfluve*), lereng atas (*upper slope*), lereng tengah (*middle slope*), lereng bawah (*lower slope*), sampai ke lantai lembah (*valley floor*).

Hasil pelapukan batuan menghasilkan lapisan lapuk atau regolit, apabila telah mengalami diferensiasi horizon maka lapisan lapuk membentuk profil pelapukan selanjutnya batuan yang melapuk membentuk mineral sekunder yang bervariasi menurut tingkat perkembangannya dan lingkungannya (Summerfield, 1991). Urutan pelapukan mineral lempung di daerah atas cenderung membentuk *kaolinit*, sedang daerah bawah cenderung menghasilkan *montmorillonit* (Gunn, 1974). Pada tanah yang permeabel akan membentuk jenis mineral lempung *kaolinit* dan *haloisit*, sedangkan pada tanah yang berdrainase terhambat atau tanah di daerah kering akan terbentuk jenis *montmorillonit*.

Salah satu konsep dalam geomorfologi adalah proses yang pernah terjadi di masa lampau akan terus berlangsung pada saat ini dan juga pada masa yang akan datang walau dengan intensitas yang berbeda (Thornbury, 1958). Varnes (1984 dalam AGS, 2000) menjelaskan konsep kejadian masa lampau dan masa sekarang merupakan petunjuk di masa mendatang untuk menjelaskan fenomena longsorlahan, yaitu: (1) ada kecenderungan bahwa longsorlahan akan terjadi

dimana longsorlahan itu telah terjadi di masa lampau, dan (2) longsorlahan cenderung akan terjadi pada kondisi geologi, geomorfologi, dan hidrologi yang sama seperti yang terjadi di masa lampau. Huabin, W. et al. (2005) menggunakan prinsip yang telah dikemukakan Hutton (1785) dalam pemetaan bahaya longsorlahan, yaitu *"the past and the present are key to the future"*, bahwa masa lampau dan sekarang adalah kunci untuk masa mendatang. Prinsip tersebut telah digunakan secara luas oleh ilmuwan kebumihan (*geo-scientists*) untuk identifikasi daerah yang rawan bahaya longsorlahan berdasarkan kejadian longsorlahan, dengan asumsi kejadian longsorlahan akan terjadi dibawah faktor yang sama sepanjang daerah kajian.

Integrasi analisis Model Medan Digital dilakukan dengan mengkaji karakteristik lereng yang dihasilkan dengan hasil pengamatan pedogenesis lokasi kejadian longsorlahan aktual pada berbagai karakteristik lerengnya. Beberapa penelitian telah memanfaatkan adanya korelasi yang nyata antara atribut bentanglahan dengan atribut tanah. Perkembangan kemampuan SIG dalam analisis tiga dimensi (3D) memungkinkan data bentanglahan dibuat model seperti *real world*. Hal ini mendorong inventarisasi atribut tanah memanfaatkan teknik penurunan atribut medan melalui analisa Model Medan Digital atau *Digital Elevation Mode/DEM*. Boer, dkk. (1996) telah melakukan penelitian pemetaan kelas kedalaman tanah di daerah kering Mediteranian dengan menggunakan atribut medan yang diturunkan dari DEM resolusi 30 m dengan akurasi yang berbeda pada kondisi litologi yang berbeda. Pemetaan kelas kedalaman tanah pada kondisi litologi yang beragam dilakukan melalui 4 tahapan, yaitu: (1) menyusun *database* yang dikontrol oleh GPS, (2) menggunakan *database* untuk kalibrasi statistik model geomorfologi tanah (*soil-terrain*), (3) validasi model menggunakan metode *cross validation*, dan (4) menggunakan model untuk memetakan kelas kedalaman tanah.

Bruin (1999) telah menggunakan metode yang agak berbeda, menekankan pada tahap klasifikasi medan dengan SIG dengan menggunakan hierarki dalam kedetilan klasifikasi medan. Mapping unit yang dibuat dalam tiga tingkatan (yang terkecil disebut *facet/geomorphological sites*) yang dilakukan dengan menggunakan analisis DEM resolusi 10 m. Kemudian dilakukan korelasi dengan data atribut tanah menggunakan geostatistik sehingga diperoleh *partial-soil landscape model*. Tujuan dari penelitiannya adalah untuk menguji validitas metode pemetaan secara hierarki dalam menurunkan kemungkinan kesalahan (*error probability*) dengan mengetahui tingkat homogenitas dari sifat tanah (ukuran butir tanah) yang dihasilkan.

Untuk mengidentifikasi proses dan hubungan antara pedogeomorfologi dan distribusi spasial karakteristik tanah pada lereng bukit dapat menggunakan *Two-way ANOVA* (Park, S.J. dan Burt, T.P., 2002). Dari hasil penelitian yang pernah dilakukannya memperlihatkan bahwa karakteristik tanah lapisan atas memiliki hubungan dengan karakteristik lereng yang lebih kuat daripada tanah lapisan bawah. Hal tersebut disebabkan oleh proses pedogenesis dan geomorfologi lebih aktif terjadi pada tanah lapisan atas daripada tanah lapisan bawah, distribusi spasial karakteristik tanah ditentukan oleh perbedaan proses pedogenesis pada tempat tersebut serta proses pada lereng.

Menurut Fauzi dan Anna (2005), setelah melalui serangkaian identifikasi masalah yang dibangun dari berbagai pertanyaan penelitian maka sangat penting untuk membangun suatu model. Dalam membangun model setelah identifikasi adalah membangun asumsi-asumsi sehingga ruang lingkup model berada dalam koridor permasalahan yang akan dicari solusi atau jawabannya. Setelah asumsi dibangun, langkah berikutnya adalah membuat konstruksi dari model itu sendiri yang dapat dilakukan melalui hubungan fungsional dengan membuat diagram, alur, maupun persamaan-persamaan matematis. Tahap berikutnya yang cukup krusial dalam membangun model adalah menentukan analisis yang tepat. Inti tahap ini adalah mencari solusi yang sesuai untuk menjawab pertanyaan yang dibangun pada tahap identifikasi. Analisis dilakukan dengan dua cara yaitu melalui optimisasi dan melakukan simulasi. Optimisasi dirancang untuk mencari solusi *"what should happen"* (apa yang seharusnya terjadi), sementara simulasi dirancang untuk mencari solusi *"what would happen"* (apa yang akan terjadi). Tahap selanjutnya adalah melakukan interpretasi atas hasil yang dicapai dalam tahap analisis, apakah masuk akal atau tidak. Tahapan tersebut diperkuat dengan validasi model, yakni melakukan verifikasi atas keabsahan model yang dirancang dengan asumsi yang dibangun sebelumnya.

## B. Penutup

Longsorlahan merupakan proses geomorfologi yang beroperasi pada suatu lereng perbukitan atau pegunungan yang cenderung merubah konfigurasi permukaan lahan. Konfigurasi permukaan lahan yang dikenal sebagai bentuklahan mempunyai relief yang khas karena pengaruh

kuat dari struktur kulit bumi dan bekerjanya proses alam pada batuan penyusunnya dalam ruang dan waktu tertentu. Perbedaan resistensi batuan terhadap proses pelapukan akan selalu dicirikan oleh perbedaan relief permukaan bumi.

Pada daerah dengan topografi perbukitan dan pegunungan, lereng merupakan elemen dari bentuklahan yang secara dominan akan menentukan distribusi sifat tanah secara lateral. Pengaruh lereng terhadap morfologi profil tanah adalah karena intensitas proses erosi-deposisi (longsorlahan) dan pedogenesis yang secara umum menentukan kondisi kedalaman tanah. Sebaliknya kejadian longsorlahan dikontrol oleh kondisi bentuklahan (relief) dan bahan penyusun bentuklahan (batuan dan tanah). Relief secara cepat dapat diperoleh dengan analisis Model Medan Digital yang merupakan salah satu unsur pembentuk bentuklahan (*landscape*) utama yang dapat digunakan sebagai satuan kriteria pembatas satuan pemetaan tanah melalui pendekatan geomorfologi.

Kenyataan bahwa relief atau timbunan lebih mudah dikenali dan diukur daripada kenampakan lingkungan lainnya serta memiliki kenampakan yang relatif tetap dimanapun ditemukan. Di samping itu relief berkaitan erat dengan sifat-sifat tanah, karena merupakan salah satu faktor pembentuk tanah. Peranan relief dalam pembentukan tanah meliputi tiga aspek, yaitu: pada proses pedogenesis, geomorfologis, dan drainase. Pada proses pedogenesis berupa pelapukan, pelindian, dan perkembangan tanah. Proses geomorfologis berupa luncuran massa tanah dan atau batuan, erosi dan penggelontoran permukaan (*surface wash*), dan pencucian lateral oleh aliran bawah permukaan (*subsurface flow*), dan pengendapan.

### C. Pustaka

- Bergur Sigfusson, Gislason, S., dan Paton, G.I., 2008, Pedogenesis and Weathering Rates of a Histic Andosol in Iceland: Field and Experimental Soil Solution Study, *Geoderma* 144:572-592, [www.elsevier.com/locate/geoderma](http://www.elsevier.com/locate/geoderma).
- Birkeland, Peter.,W., 1999, *Soils and Geomorphology*, New York: Oxford University Press.
- Bour, M., Barrio, G.D., and Puigdefabregas, J., 1996, Mapping Soil Depth Classes in dry Mediteranian areas Using Terrain Atributes Derived from a Digital Elevation Model, *Geoderma*72: 99-118.
- Bruin, S.D., Wielemaker, W.G., and Moleenar, M., 1999, Formalisation of Soil-Landscape knowledge Through Interactive Hierarchical Disaggregation, *Geoderma* 91: 151-172. [www.elsevier.com/locate/geoderma](http://www.elsevier.com/locate/geoderma).
- Cooke, R.U. and Dorrkamp, J.C., 1994, *Geomorphology in Environmental Management An Introduction*, Oxford: Clavendon Press.
- Dackombe, R.V. and Gardiner, V., 1983, *Geomorphological Field Manual*, London: Allen Unwin.
- Duun, I.S., Anderson, I.R., dan Kiefer, F.W., 1980, *Fundamental on Geotechnical Analysis*, New York: John Wiley and Sons.
- Gerrard, A.J., 1981, *Soil and Landforms, An Introduction of Geomorphology and Pedology*, London: Department of Geography, University of Birmingham.
- Glade, Thomas, Anderson, M., dan Crozier, M. (ed), 2005, *Landslide Hazard and Risk*, England: John Wiley & Sons.Ltd.
- Hadmoko, D.S., 2007, Toward GIS-based Intergrated Landslide Hazard Assessment: A Critical Overview, *Indonesian Journal of Geography*, 34 (1): 55-77.
- Huabin, W., Gangjun, W., Weiya, X., dan Gonghui, W., 2005, GIS-based Landslide Hazard Assessment: an Overview, *Progress in Physical Geography* 29: 548-567. Edward Arnold (Publishers) Ltd.
- Jamulya, 1996, Kajian Tingkat Pelapukan Batuan Menurut Toposekuen di DAS Tangsi Kabupaten Magelang, *Laporan Penelitian*, Yogyakarta: Lembaga Penelitian UGM.
- Jungerius, P.D. (ed), 1985, *Soil and Geomorphology*, Cremlingen:catena Verlag.
- Kjekstat, Oddvar, 2008, The Chalenges of Landslide Hazard Mitigation in Developing Countries, A *National Training Course on Regional Capacity Enhancement for Landslides Mitigation*

(RECLAIM), Yogyakarta: 23-25 April 2008, Yogyakarta: Graduate Scholl, Gadjah Mada University.

Makarovic, 1976, Digital Terrain Model System, *ITC Journal 1976-I*, International Institute for Aerial Survey and Earth Science, Enschede.

Pusat Penanggulangan Krisis, 2007, *Analisis Kejadian Bencana di Indonesia Tahun 2007*, Jakarta: Departemen Kesehatan Republik Indonesia.

Sartohadi, J., 2007, Geomorfologi Tanah dan Aplikasinya untuk Pembangunan Nasional, *Orasi Ilmiah Dies natalis ke-44 Fakultas Geografi UGM 01 September 2007*, Yogyakarta: Fakultas Geografi UGM.

Summerfield, M.A., 1991, *Global Geomorphology, An Introduction to The Study of Landform*, Singapore: Longman Singapore Pub.

Thornbury, W.D., 1958, *Principles of Geomorphology*, New York: John Wiley Sons Inc.

Zuidam, R.A. & Zuidam Cancelado, F.I., 1979, *Terrain Analysis and Classification Using Aerial Photographs, A Geomorphological Approach*, Netherland, Enschede: ITC.