

Jurnal

ISSN 1410-7244

TANAH DAN IKLIM

Indonesian Soil and Climate Journal

Nomor 22, Desember 2004

Karakteristik Mikromorfologi Tanah-Tanah Vulkanik di Daerah Banten
Fauzi A.I., S. Zaayah, dan G. Stoops

Melode Ekstraksi dan Kebutuhan Pupuk P Tanaman Kedelai pada Typic Kandiudox di Papanrejo, Lampung
D. Nursyamsi, M.T. Sutriadi, dan U. Kurnia

Properties of Low Activity Clay Soils from South Kalimantan
B.H. Prasetyo and N. Suharta

Pengaruh Ameliorasi dan Pemupukan K terhadap Parameter Hubungan Q I Kalium pada Tanah Mineral Masam
I.G.M. Subiksa, J. Sri Adiningsih, Sudarsono, dan S. Sabiham

Model Elevasi Digital untuk Analisis Landform Vulkanik dan Hubungannya dengan Satuan Tanah di Cisarua, Bogor
Sukarman, S. Hardjowigeno, Sudarsono, B. Mulyanto, M. Ardiansyah, dan A. Hidayat

Analisis korus jurnal
4/8 orli
29/12
06



Departemen Pertanian
Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian
PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN TANAH DAN AGROKLIMAT

Jurnal Tanah dan Iklim
Indonesian Soil and Climate Journal
Nomor 22, Desember 2004

DAFTAR ISI

	Halaman
Karakteristik Mikromorfologi Tanah-Tanah Vulkanik di Daerah Bantén <i>Fauzi A.I., S. Zauyah, dan G. Stoops</i>	1
Metode Ekstraksi dan Kebutuhan Pupuk P Tanaman Kedelai pada Typic Kandiudox di Papanrejo, Lampung <i>D. Nursyamsi, M.T. Sutriadi, dan U. Kurnia</i>	15
Properties of Low Activity Clay Soils from South Kalimantan <i>B.H. Prasetyo and N. Suharta</i>	26
Pengaruh Ameliorasi dan Pemupukan K terhadap Parameter Hubungan Q-I Kalium pada Tanah Mineral Masam <i>I G.M. Subiksa, J. Sri Adiningsih, Sudarsono, dan S. Sabiham</i>	40
Model Elevasi Digital untuk Analisis Landform Vulkanik dan Hubungannya dengan Satuan Tanah di Cisarua, Bogor <i>Sukarman, S. Hardjowigeno, Sudarsono, B. Mulyanto, M. Ardiansyah, dan A. Hidayat</i>	50

Model Elevasi Digital untuk Analisis Landform Vulkanik dan Hubungannya dengan Satuan Tanah di Cisarua, Bogor

Digital Elevation Model for Analyzing Volcanic Landform in Relation to Soil Unit in Cisarua, Bogor

SUKARMAN¹, S. HARJOWIGENG², SUDARSONO², B. MULYANTO², M. ARDIANSYAH², DAN A. HIDAYAT³

ABSTRAK

Penelitian tentang penggunaan Model Elevasi Digital atau *Digital Elevation Model (DEM)* untuk analisis landform dan hubungannya dengan satuan tanah telah dilakukan di daerah Cisarua, Kabupaten Bogor. Penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengidentifikasi dan mendelineasi satuan landform dari *DEM*, (2) menilai kualitas peta landform yang diturunkan dari *DEM*, dan (3) mempelajari hubungan satuan landform yang diturunkan dari *DEM* dengan komposisi satuan tanah. Penelitian dilakukan dengan cara mendelineasi satuan landform secara digital dari atribut landform yang diturunkan dari *DEM*. Atribut landform tersebut adalah kemiringan lereng, bentuk lereng, dan ketinggian tempat, sedangkan jenis batuan induk diperoleh dari peta geologi. Identifikasi hasil deliniasi setiap satuan landform dibantu dengan analisis secara visual dari penampilan *DEM* tiga dimensi. Kualitas peta yang dinilai adalah ketepatan identifikasi dan deliniasi peta berdasarkan kemurniannya. Hubungan landform dengan tanah dilakukan dengan statistik multivariate menggunakan analisis diskriminan. Hasil penelitian mendapatkan bahwa satuan landform dapat diklasifikasikan dan didelineasi dari *DEM* dengan detail. Peta landform yang diturunkan dari *DEM* berkualitas baik, dicirikan oleh ketepatan peta yang tinggi dan tekstur peta sedang. Satuan landform yang dianalisis dari *DEM* skala 1 : 25.000 tidak selalu mempunyai hubungan yang nyata dengan komposisi satuan tanahnya pada tingkat famili tanah maupun subgrup. Dengan demikian perbedaan satuan landform tidak selalu diikuti dengan perbedaan satuan tanahnya.

Kata kunci : *Digital elevation model, landform, satuan tanah*

ABSTRACT

A research on the use of digital elevation model (*DEM*) for analyzing landform in relation to soil unit was carried out in Cisarua, Bogor. The research aimed to (a) identify and delineate landform units using *DEM*, (b) evaluate quality of the landform map obtained from *DEM* application, and (c) study the relationship between landform units derived from *DEM* and composition of soil units. The research utilized landform attributes from *DEM* to digitally delineate landform units. The attributes were : slope gradient, relief, and elevation, while type of parent materials was obtained from geological map. Delineation results of every landform unit were then identified and analyzed visually through its three dimensional graph. Based on its purity, precision in map delineation and identification was very important for evaluating quality of the map. Landform and soil relationship was analyzed using multivariate statistics and discriminant analysis. The results showed that landform unit could be classified and delineated in detail using *DEM*. Landform map derived from good quality *DEM* performs high precision with moderate texture. Landform unit, analyzed from *DEM* at

1:25,000 scale, was not always significantly related with soil unit composition, either in soil family or subgroup category. Therefore, the differences in landform unit were not always come up with the differences in soil unit.

Keywords: Digital elevation model, volcanic landform, soil unit

PENDAHULUAN

Model elevasi digital atau *digital elevation model (DEM)* adalah gambaran digital menurut ruang dan kontinyu dari keadaan relief permukaan bumi (Rossiter, 1994). Model data yang digunakan dalam *DEM* adalah data raster tipe integer menggunakan *pixel (picture element)*. Tipe raster integer sangat baik dan berguna untuk klasifikasi dan pemetaan dengan lebih dari 256 unit yang berbeda. Peta kontur meskipun dapat digambarkan secara spasial, tetapi model datanya berbentuk raster. Penggambaran dalam model ini hanya dapat menggunakan bentuk keruangan dua dimensi.

Berdasarkan uraian tersebut di atas, *DEM* merupakan metode yang baik untuk analisis dan pemetaan landform dan aplikasi spasial lainnya dengan jumlah unit yang banyak. Irvin *et al.* (1997) mengemukakan bahwa analisis *DEM* merupakan salah satu alternatif cara mengidentifikasi dan mendelineasi landform disamping cara manual atau konvensional. Atribut landform yang dapat diturunkan dari *DEM* adalah: kemiringan lereng, bentuk lereng, aspek lereng, dan ketinggian tempat (Thompson *et al.*, 2001). Analisis *DEM* dapat dilakukan secara otomatis sehingga lebih cepat dan memberikan hasil yang lebih detail daripada cara konvensional. *DEM* dapat dibangun dari citra satelit, potret udara maupun peta kontur dengan bantuan perangkat lunak komputer (Dobos *et al.*, 2000).

1.3 Peneliti pada Balai Penelitian Tanah, Bogor

2. Staf Pengajar Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, IPB

Pemanfaatan DEM untuk pemetaan tanah didasarkan kepada adanya korelasi yang nyata antara atribut landform dengan atribut tanah (Moore *et al.*, 1993; dan Odeh *et al.*, 1994). Penelitian yang dilakukan oleh Lark (1999) di Inggris menunjukkan bahwa DEM, yang dibuat dari peta kontur dengan interval 12,5 m, mampu untuk mempelajari hubungan antara atribut landform dengan tanah sampai kategori seri. Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa DEM dapat digunakan untuk mempelajari hubungan antara landform dan tanah, baik pada skala besar maupun pada skala kecil. Penelitian sejenis juga dilakukan oleh de Bruin dan Stein (1998) di Spanyol, DEM beresolusi 5 meter dibuat dari peta topografi hasil interpretasi potret udara pankromatik. Dengan metode fuzzy c-means clustering dalam mengklasifikasi landform dari DEM diperoleh hubungan yang nyata antara hasil klasifikasi landform dengan sifat-sifat tanah, baik di lapisan atas maupun di dalam profil.

Di Indonesia penggunaan DEM untuk penentuan kelas lereng yang dipakai untuk memprediksi erosi telah dilakukan di daerah Lembang oleh Kuntjoro *et al.* (2003). Namun demikian, penelitian tentang penggunaan DEM untuk identifikasi dan delineasi satuan landform dan hubungannya dengan satuan tanah sangat terbatas. Oleh karena itu penulis mencoba melakukan penelitian ini yang bertujuan untuk: (1) mengidentifikasi dan mendelineasi satuan landform dari DEM, (2) menilai kualitas peta landform yang diturunkan dari DEM, dan (3) mempelajari hubungan antara tanah dan landform yang diturunkan dari DEM.

BAHAN DAN METODE

Tempat dan Waktu

Daerah penelitian tercakup oleh peta rupabumi lembar Cisarua (lembar 1209-142) yang meliputi wilayah Kecamatan Cisarua dan Ciawi, Kabupaten Bogor, Propinsi Jawa Barat. Pembuatan dan analisis

DEM, landform dan pengolahan GIS dilaksanakan di Laboratorium Inderaja Balai Penelitian Tanah dan analisis tanah dilaksanakan di Laboratorium Balai Penelitian Tanah. Penelitian dilakukan pada bulan Oktober 2002 – Oktober 2003.

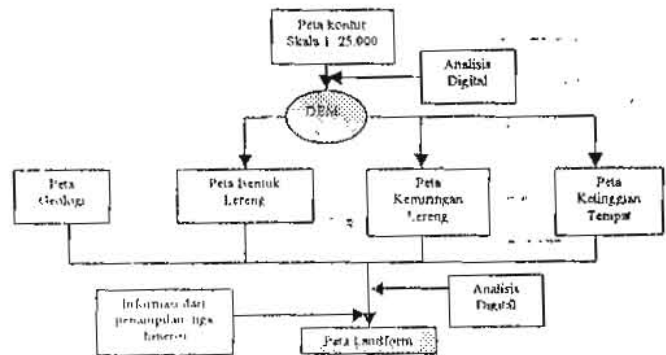
Bahan

Bahan yang digunakan untuk penelitian ini meliputi peta rupabumi/kontur digital skala 1:25.000 dalam format Arc/info dengan interval kontur 12,5 meter (Bakosurtanal, 1998), peta geologi lembar Bogor, skala 1:100.000 (Effendi *et al.*, 1998), Landsat TM-7 tahun 2001 *path/row* 122/64 dan 122/65.

Metode

Pembuatan peta landform dari DEM

DEM dibuat dengan menggunakan perangkat lunak Arcview versi 3.3 dengan resolusi 30 meter. Analisis atribut landform dari DEM, klasifikasi atribut landform, dan klasifikasi landform menggunakan perangkat lunak ER Mapper versi 6.2. Diagram alir pembuatan peta landform dari DEM disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir pembuatan landform dari DEM

Figure 1. Flowchart of landform delineation using DEM

Analisis atribut landform

Pemilahan landform menggunakan klasifikasi yang dikemukakan oleh Marsoedi *et al.* (1997). Klasifikasi tersebut disusun untuk pemetaan tanah semi detail (skala 1:50.000). Atribut landform yang dipakai meliputi: kemiringan lereng, bentuk lereng, dan ketinggian tempat (Irvin *et al.*, 1997). Selain itu, batuan induk digunakan juga sebagai atribut tambahan (Marsoedi *et al.*, 1997). Kemiringan lereng, ketinggian tempat, dan bentuk lereng diturunkan dari DEM, sedangkan informasi mengenai batuan induk diambil dari peta geologi lembar Bogor (Effendi *et al.*, 1998). Teknik pembuatan peta kemiringan lereng dan bentuk lereng masing-masing mempergunakan filter DEM lereng dan filter DEM *profile curvature*.

Lereng diklasifikasikan menjadi 7 kelas yaitu <3, 3-8, 8-15, 15-30, 30-45, 45-60, dan >60%, sedangkan bentuk lereng diklasifikasikan menjadi 3 yakni: rata (nilai 0), cembung (nilai 1 sampai 3) dan cekung (-1 sampai -3). Klasifikasi ketinggian tempat ditentukan berdasarkan faktor yang berpengaruh terhadap klasifikasi landform atau penyebaran tanahnya. Berdasarkan hal tersebut, ketinggian tempat dikelompokkan ke dalam 5 kelas, yaitu <600, 600-900, 900-1100, 1100-1600, dan >1600 meter.

Klasifikasi landform

Untuk klasifikasi dan delineasi landform digunakan teknik ISODATA (*Iteration Self-Organizing Data Analysis Technique unsupervised* (tak terbimbing). Teknik klasifikasi ISODATA tak terbimbing digunakan untuk mendelineasi satuan landform secara digital berdasarkan atribut landform yang diturunkan dari DEM (kemiringan lereng, bentuk lereng, dan ketinggian tempat) serta batuan induk. Dalam prosedur klasifikasi landform, atribut landform diidentikkan seperti *band* (kana!) dari multispektral citra satelit (Irvin *et al.*, 1997). Ukuran poligon hasil klasifikasi dan delineasi landform harus memenuhi syarat ukuran minimum yaitu 0,4 cm² (Forbes *et al.*, 1983). Untuk skala 1:50.000, ukuran

poligon terkecil setara dengan 10 ha. Penggabungan poligon-poligon kecil menjadi poligon lebih besar atau sama dengan 10 ha mempergunakan teknik *eliminate* dalam perangkat lunak Arc/info versi 3.5.1.

Pengamatan lapangan

Pengamatan lapangan dilakukan untuk menguji hasil analisis landform yang diturunkan dari DEM dan untuk mendapatkan pola penyebaran tanahnya. Pengamatan dilakukan terhadap tanah dan atribut landform seperti kemiringan lereng, bentuk lereng, ketinggian tempat, dan tingkat torehan. Di lapangan, atribut landform pada setiap *site* diukur di tiga titik dalam radius 30 meter dan ketiga titik tersebut dianggap sebagai ulangan. Titik pengamatan di lapangan ditentukan menggunakan alat *Geographic Positioning System* (GPS). Pengamatan tanah ditujukan untuk mencari hubungan antara pola penyebaran tanah dengan atribut landform. Pengamatan tanah mengikuti jalur-jalur berdasarkan transek lereng dari pola-pola yang dijumpai pada hasil analisis DEM. Pengamatan sifat-sifat tanah dilakukan melalui pemboran, minipit, atau penampang tanah. Dari hasil pengamatan di lapangan, klasifikasi tanah yang sama diharapkan dapat dikelompokkan untuk mengetahui komposisi tanah berdasarkan posisinya di dalam landform.

Pengamatan tanah dan lingkungannya mengikuti tata cara (prosedur) dan kriteria dalam *Soil Survey Manual* (Soil Survey Division Staff, 1993). Contoh tanah diambil dari masing-masing satuan tanah berbeda untuk dianalisis di laboratorium. Analisis tanah mengacu pada *Soil Survey Investigation Report No. 1* (Soil Conservation Service, 1972). Tanah-tanah yang dijumpai diklasifikasikan ke dalam kategori Ordo sampai Famili menurut sistem klasifikasi Taksonomi Tanah (Soil Survey Staff, 1999).

Evaluasi hasil

Pada tahap ini dilakukan penilaian kualitas peta landform hasil analisis DEM. Parameter kualitas peta

yang dinilai adalah ketepatan peta landform. Ketepatan satuan peta landform ditentukan berdasarkan nilai kemurniannya yang dinyatakan dalam persen, yaitu persentase luasan satuan landform yang disebutkan dalam legenda peta dengan keadaan satuan landform berdasarkan peta acuan. Peta yang dijadikan acuan adalah peta landform hasil analisis DEM yang diperbaiki berdasarkan hasil pengamatan di lapangan dan dibantu dengan analisis citra Landsat-7 TM. Formula yang digunakan adalah:

$$\text{Kemurnian} = \frac{\text{Luas isi satuan peta hasil}}{\text{Luas isi satuan peta acuan}} \times 100\%$$

Kriteria ketepatan peta berdasarkan kelas yang dikemukakan oleh Forbes dan Wambeke (1983) yang dimodifikasi, yaitu:

Ketepatan rendah (kemurnian < 50%)

Ketepatan sedang (kemurnian 50 - < 85%)

Ketepatan tinggi (kemurnian ≥ 85%)

Selain penilaian terhadap karakteristik peta, yang terdiri dari rata-rata luasan hasil delineasi (*average size delineation*: ASD) dan luasan terkecil hasil delineasi (*minimum size delineation*: MSD), juga dilakukan penilaian indeks pengecilan maksimum atau IMR (*Index of maximum reduction*) yang dihitung berdasarkan formula :

$$\text{IMR} = \sqrt{\frac{\text{ASD}}{\text{MSD}}}$$

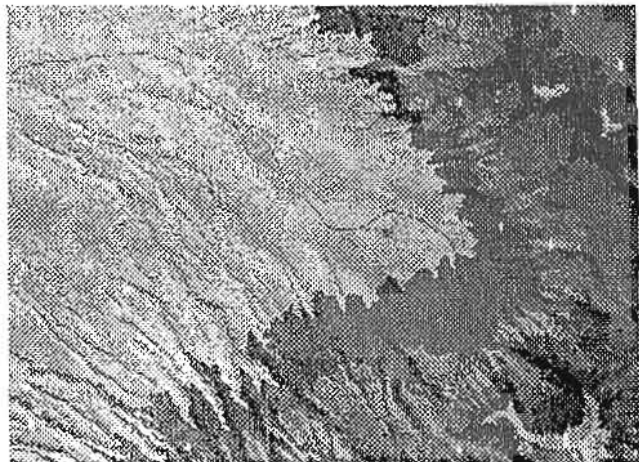
Kelas tekstur peta didasarkan kepada kriteria dari Eswaran *et al.* (1981), yaitu: sangat halus (IMR < 2); halus ($2 \leq \text{IMR} < 4$); sedang ($4 \leq \text{IMR} < 6$); kasar ($6 \leq \text{IMR} < 10$); dan sangat kasar (IMR > 10).

Analisis statistik multivariat melalui analisis kruskal menggunakan perangkat lunak SPSS versi 16.0 (Santoso, 2003) dilakukan untuk melihat hubungan antara satuan landform yang diturunkan dari DEM dengan komposisi satuan tanah yang menyusun suatu landform. Analisis ini dimaksudkan untuk melihat apakah suatu satuan landform dipengaruhi oleh suatu satuan tanah dalam komposisi yang berbeda atau tidak.

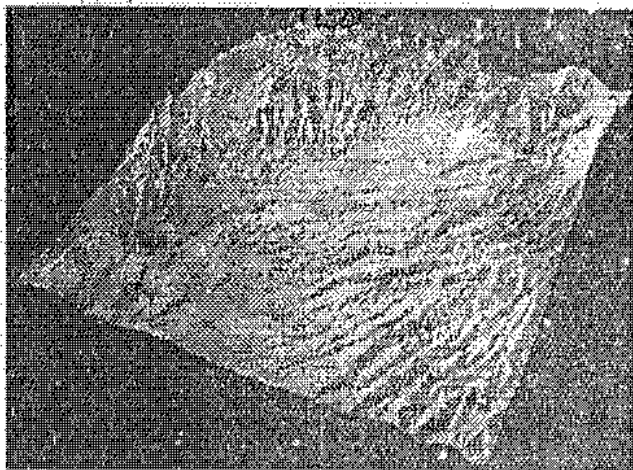
HASIL DAN PEMBAHASAN

Tampilan Model Elevasi Digital (DEM)

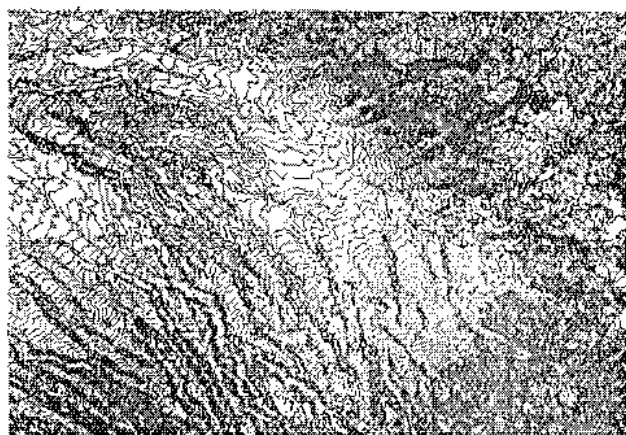
Gambar 2 dan 3 memperlihatkan DEM daerah Cisarua, yang ditampilkan dalam dua dan tiga dimensi dan dibangun dari peta kontur skala 1:25.000, dengan interval 12,5 meter. Tampilan peta kontur dengan interval 12,5 meter serta citra Landsat-7 TM kombinasi band 5-4-2 disajikan sebagai pembanding. Tampilan dua dimensi dari DEM mempunyai kemiripan dengan tampilan citra Landsat-7 TM (Gambar 5). Jika dibandingkan dengan peta kontur (Gambar 4), kedua tampilan DEM tersebut memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai keadaan relief sebenarnya di lapangan. Salah satu kelebihan DEM dibandingkan dengan peta kontur maupun citra Landsat-7 TM adalah beberapa atribut landform, seperti kemiringan lereng, bentuk lereng, aspek lereng, dan ketinggian tempat, dapat dianalisis secara digital dari DEM. Dengan demikian, delineasi hasil klasifikasi landform dapat dilakukan secara spasial berdasarkan kombinasi atribut landform yang digunakan. Salah satu kelemahan DEM adalah tidak memberikan data atau informasi mengenai keadaan tutupan lahan yang seringkali dapat digunakan sebagai penciri suatu landform. Informasi ini cukup jelas terlihat dari tampilan citra Landsat-7 TM atau dari potret udara.



Gambar 2. DEM dua dimensi daerah penelitian
Figure 2. Two dimensional DEM of study area



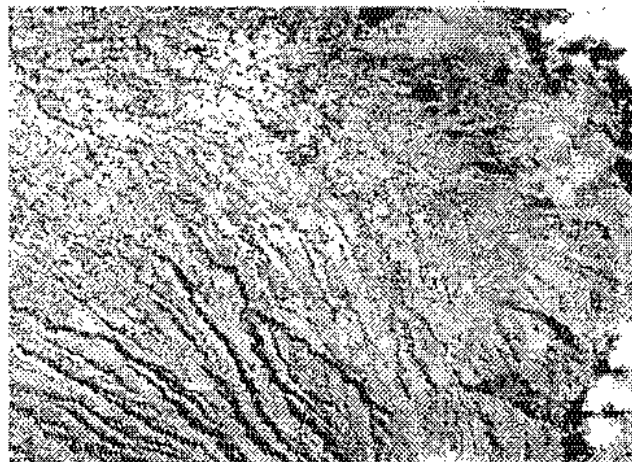
Gambar 3. DEM tiga dimensi daerah penelitian
 Figure 3. Three dimensional DEM of study area



Gambar 4. Peta kontur berinterval 12,5 m daerah penelitian
 Figure 4. Contour map with 12.5 m interval of study area

Tampilan kedua DEM tersebut memperlihatkan keadaan landform, bentuk wilayah (lereng), pola drainase, dan tingkat torehan secara visual yang dapat dipergunakan untuk membantu identifikasi landform. Dari DEM tersebut dapat diturunkan peta kemiringan lereng, bentuk lereng, dan ketinggian tempat untuk keperluan analisis landform. Tampilan tiga dimensi sangat membantu dalam menetapkan nama-nama kelas satuan landform yang terbentuk dari hasil analisis digital. Pola drainase, tingkat

lorehan, serta bentuk dan pola-pola lainnya, seperti adanya bentuk dan pola lungur (ridge) memanjang dan sejajar, sangat membantu dalam identifikasi landform.

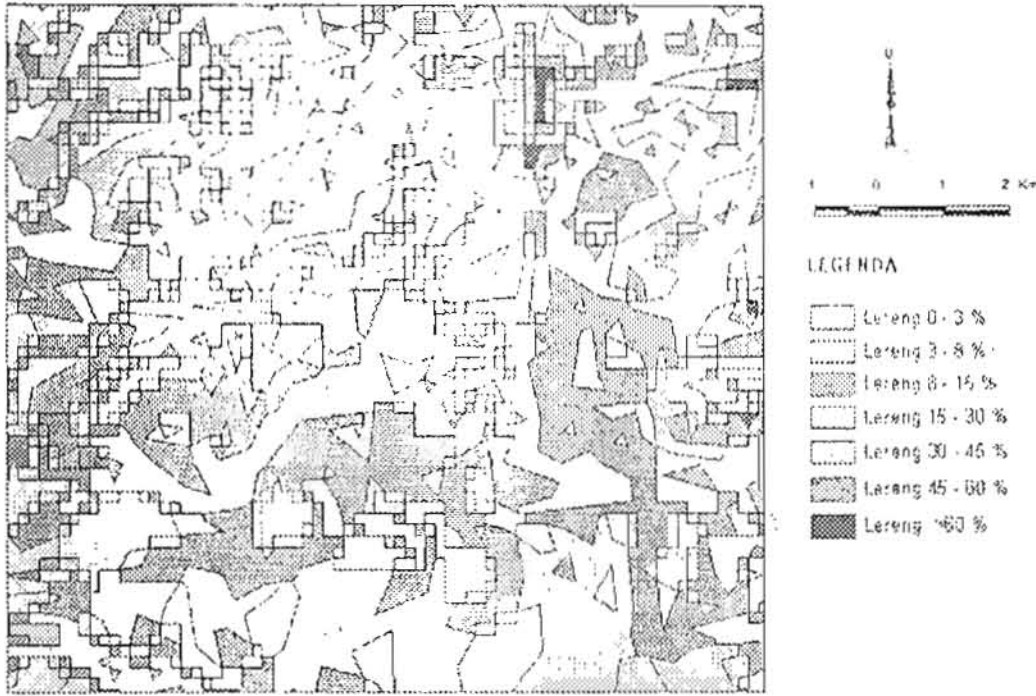


Gambar 5. Citra Landsat-7 TM daerah penelitian
 Figure 5. Landsat-7 TM imagery of study area

Delineasi dan Identifikasi Landform

Hasil delineasi memberikan gambaran secara spasial mengenai penyebaran setiap kelas landform yang dibentuk oleh kombinasi atribut landform dari DEM pada suatu area tertentu dalam bentuk poligon-poligon.

Kegiatan delineasi menghasilkan sebanyak 35 kelas landform dan 25.646 poligon di seluruh daerah penelitian. Poligon-poligon tersebut mempunyai luas rata-rata 0,71 ha, luas minimum 0,09 ha, dan luas maksimum 241,22 ha (Tabel 1). Ukuran poligon tersebut menunjukkan bahwa hasil delineasi landform cukup detail. Namun demikian, ukuran poligon yang terbentuk terlalu kecil, sehingga sulit dibaca pada skala peta 1:25.000 maupun skala peta 1:50.000. Salah satu hasil delineasi atribut landform (kelas lereng) di sebagian lokasi penelitian disajikan pada Gambar 6



Gambar 6. Hasil analisis kelas lereng dari DEM
 Figure 6. Slope classes resulted from DEM analysis

Tabel 1. Hasil klasifikasi landform dan luasannya di daerah penelitian

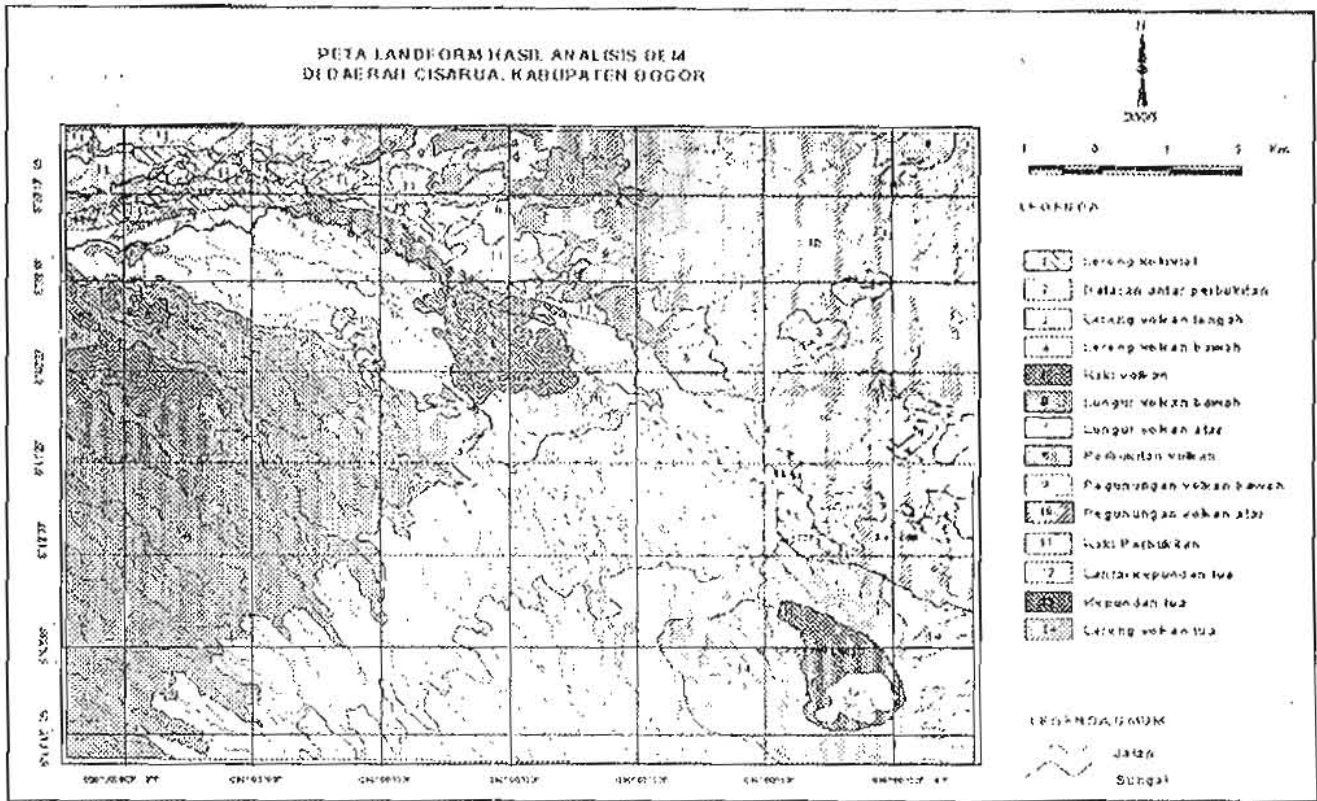
Table 1. Landform classification and occupation in the study area

No.	Unsur	Jumlah buah	Luas ha
1.	Kelas	35	-
2.	Poligon	25.646	-
3.	Luas rata-rata poligon	-	0,71
4.	Luas minimum poligon	-	0,09
5.	Luas maksimum poligon	-	241,22

DEM dibuat dari peta kontur pada skala peta dasar (skala 1:25.000). Untuk meningkatkan ketelitian peta, maka skala peta publikasi harus diperkecil dua kali atau lebih dari peta dasar (Forbes *et al.*, 1983). Dengan demikian peta publikasi harus mempunyai skala 1:50.000 atau lebih kecil. Menurut Eswaran *et al.* (1981), ukuran poligon terkecil yang diperbolehkan pada peta adalah 0,4 cm² (setara dengan luas 10 ha pada skala

1:50.000). Untuk itu ukuran poligon hasil klasifikasi landform perlu disederhanakan agar memenuhi ketentuan tersebut, yaitu dengan cara menggabungkan poligon-poligon kecil menjadi poligon-poligon berukuran lebih besar atau sama dengan 0,4 cm².

Setiap poligon dari kelas landform yang sudah didelineasi perlu diidentifikasi agar dapat diberi nama sesuai dengan kriteria dari Marsoedi *et al.* (1997). Identifikasi setiap satuan landform tidak hanya berdasarkan dari atribut landform yang diturunkan secara digital dari DEM seperti tersebut di atas, tetapi juga berdasarkan atribut landform lainnya yang diperoleh dari informasi tampilan tiga dimensi secara visual. Pola drainase, tingkat torehan, adanya lungur yang paralel, adanya bentukan membulat dari suatu kawah, dan sifat lainnya, yang dijadikan kriteria penamaan satuan landform, digunakan sebagai unsur pembentuk klasifikasi satuan landform. Tabel 2 menyajikan hasil identifikasi landform berdasarkan hasil analisis DEM di daerah penelitian dan penyebarannya disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Peta landform hasil analisis DEM daerah penelitian

Figure 7. Landform map of study area generated from DEM analysis

Berdasarkan peta geologi, daerah penelitian tersusun oleh batuan vulkanik (Qvk, Ovpo, dan Qvba). Karena itu, klasifikasi landform pada kategori kelompok utama (grup) termasuk ke dalam Grup Vulkanik (V). Untuk kategori subgrup, umur batuan induk merupakan unsur pembeda, sehingga Grup Vulkanik (V) ini menurunkan dua subgrup, yaitu Vulkanik berlapis (V1) dan Vulkanik tua (V3). Subgrup Vulkanik berlapis (V1) dibentuk oleh batuan induk vulkanik muda (Qvpo) dan sub grup Vulkanik tua (V3) dibentuk oleh batuan induk Vulkanik tua (Qvk dan Qvba). Batuan vulkanik muda (Qvpo) bersumber dari Gunung Pangrango, dan batuan vulkanik tua terdiri dari formasi Ovk dan Qvba yang berasal dari Gunung Limo, Kencana, dan Gunung Gegerbentang (Effendi *et al.*, 1998).

Pada kategori lebih rendah dari subgrup, klasifikasi landform didasarkan kepada atribut batuan induk dan kemiringan lereng yang diturunkan dari DEM. Tampilan tiga dimensi DEM menunjukkan

bahwa satuan landform Vulkanik (V) merupakan kerucut vulkanik. Karena itu, Vulkan berlapis (V1) diklasifikasikan ke dalam Kerucut vulkan (V1.1), yaitu kerucut vulkan dari Gunung Pangrango. Pembagian selanjutnya dari Kerucut vulkan (V1.1) ini didasarkan kepada posisinya di dalam kerucut tersebut. Unsur ketinggian tempat, kemiringan lereng, dan bentuk lereng merupakan sumber data yang digunakan sebagai pembeda pada kategori ini, dan dibantu secara visual dari penampilan tiga dimensi. Kerucut vulkan (V1.1) selanjutnya dipilih menjadi Lereng vulkan tengah (V1.1.4), Lereng vulkan bawah (V1.1.5), dan Kaki vulkan (V1.1.6). Tidak terdapat Lereng vulkan atas (V1.1.3), karena satuan landform ini terletak di luar daerah penelitian. Lereng vulkan tengah (V1.1.4) terletak pada ketinggian lebih dari 1.100 meter. Sedangkan Lereng vulkan bawah (V1.1.5) dan Kaki vulkan (V1.1.6) terletak pada ketinggian kurang dari 900 meter. Kaki vulkan mempunyai kemiringan lereng kurang dari 8 persen.

Tabel 2. Uraian landform serta nilai atributnya yang diturunkan dari DEM untuk masing-masing kelas landform di daerah penelitian

Table 2. Description of each landform and its attributes generated from DEM in the study area

Satuan landform	Satuan induk	Ketinggian tempat	Kemiringan lereng	Bentuk lereng	Informasi dari tampilan secara visual
		m	%		
Lereng koluvial (A2.2.3)	Volkanik tua	350-900	0-8	0	Berada di lereng suatu perbukitan atau pegunungan
Dataran antar perbukitan (A2.3)	Volkanik tua	600-1.100	0-8	0	Berada di antara daerah perbukitan atau pegunungan
Lereng volkanik tengah (V1.1.1)	Volkanik muda	< 1.100	8-30	1-3	Terletak pada bagian tengah suatu kerucut volkan
Lereng volkanik bawah (V1.1.5)	Volkanik muda	350-900	8-15	1-3	Terletak pada bagian bawah suatu kerucut volkan
Kaki volkan (V1.1.6)	Volkanik muda	350-900	0-8	0	Terletak pada bagian bawah dari lereng volkan bawah
Lungur volkanik bawah (V1.6.1)	Volkanik muda	350-900	8-15	1-3	Berbentuk lungur-lungur sejajar
Lungur volkanik atas (V1.6.2)	Volkanik muda	900-1.100	8-15	1-3	Berbentuk lungur-lungur sejajar
Perbukitan volkanik (V3.1)	Volkanik tua	350-600	15-45	1-3	-
Pegunungan volkanik bawah (V3.2.1)	Volkanik tua	600-1.100	15-30	1-3	Terletak lebih bawah dari pegunungan volkan atas
Pegunungan volkanik atas (V3.2.2)	Volkanik tua	> 1.100	15-30	1-3	Terletak lebih atas dari pegunungan volkan bawah
Kaki perbukitan (V3.3)	Volkanik tua	350-900	8-15	1-3	Terletak di bagian bawah dari perbukitan volkan
Bantal kepundan (V3.5.1)	Volkanik tua	> 1.300	15-30	1-3	Bentuk membulat, terletak di bagian tengah
Dinding kepundan (V3.5.2)	Volkanik tua	> 1.500	> 60	1	Bentuk membulat
Lereng volkanik tua (V3.5.3)	Volkanik tua	> 1.100	15 - 30	1-3	Berbentuk kerucut tidak utuh

eterangan: Bentuk lereng : 0 = lurus, 1 sampai 3 = cembung, -1 sampai -3 = cekung

Sebagian dari Lereng volkan bawah (V1.1.5) mempunyai lereng lebih dari 30 persen dan membentuk lungur-lungur sejajar memanjang searah lereng makro dari kerucut volkan. Bentuk-bentukan yang demikian pada klasifikasi yang digunakan termasuk ke dalam subgrup Lungur volkan (V1.6). Berdasarkan letak ketinggiannya, lungur volkan (V1.6) dipilah menjadi Lungur volkan atas (V1.6.1) dan Lungur volkan bawah (V1.6.2).

Subgrup Volkan tua (V3) dipilah menjadi perbukitan volkan (V3.1), Pegunungan volkan (V3.2), dan Kaki perbukitan (V3.3) berdasarkan letak ketinggian dan kemiringan lereng. Perbukitan volkan (V3.1) terletak pada ketinggian kurang dari 1.100 meter dengan lereng lebih dari 15 persen, sedangkan Pegunungan volkan (V3.2) terletak pada ketinggian lebih dari 1.100 meter dengan lereng lebih dari 15 persen dan Kaki perbukitan (V3.3) terletak pada ketinggian kurang dari 900 meter dengan lereng kurang dari 15 persen.

Di bagian bawah perbukitan dan pegunungan volkan, pada ketinggian kurang dari 900 meter, terdapat lahan yang berlereng kurang dari 8 persen. Meskipun batuan induknya termasuk ke dalam volkanik tua (Qvk), tetapi lahan ini sebagian besar

merupakan daerah deposisi dan terbentuk dari bahan koluvial. Pada kategori grup, daerah ini termasuk Grup Aluvial (A) dan pada kategori sub grup tergolong Lahan aluvio-koluvial (A2). Pada kategori di bawah sub grup, daerah tersebut tergolong Lahan koluvial (A2.2) dan selanjutnya tergolong Dataran koluvial (A2.2.1).

Kualitas Peta

Kualitas peta landform hasil analisis DEM dinilai berdasarkan parameter ketepatan satuan peta. Ketepatan peta didasarkan kepada rata-rata kemurnian satuan peta. Penilaian ketepatan atau kemurnian satuan peta landform hasil analisis DEM menggunakan suatu peta landform acuan. Selain itu untuk melihat ketelitian peta dilakukan juga pembahasan mengenai karakteristik peta.

Ketepatan peta

Tabel 3 menyajikan hasil pengujian kemurnian dan ketepatan peta landform hasil analisis DEM di daerah penelitian. Dari tabel tersebut terlihat bahwa semua satuan landform mempunyai ketepatan tinggi yang dicirikan oleh kemurnian lebih dari 85 persen. Akan tetapi, jika dibandingkan dengan peta landform

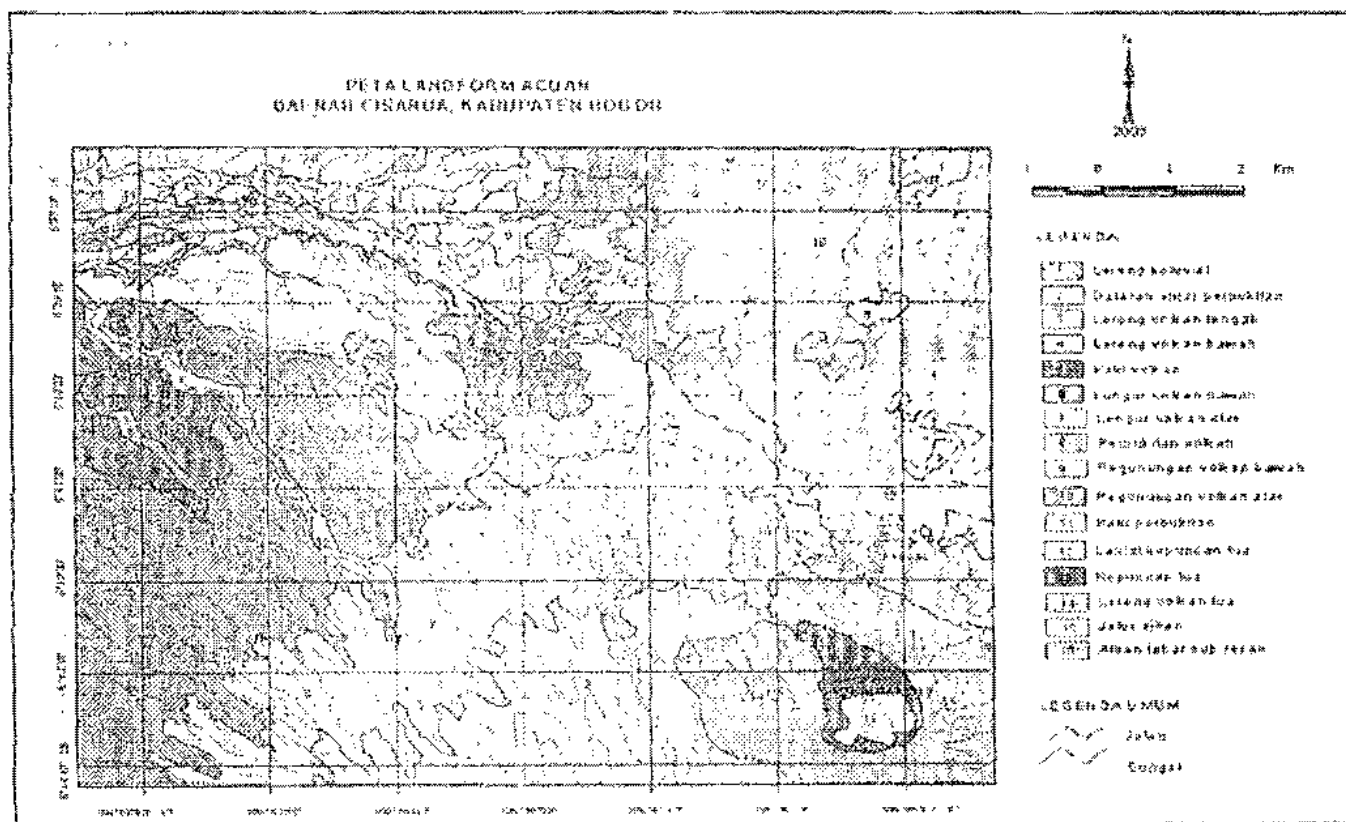
acuan (Gambar 8), peta landform hasil analisis DEM mempunyai jumlah satuan landform lebih sedikit. Pada landform acuan terdapat landform jalur aliran dan aliran lahar tua, sedangkan pada peta landform hasil analisis, kedua satuan landform tersebut tidak ditemukan.

Tidak munculnya satuan landform jalur aliran hasil analisis DEM disebabkan karena antara jalur aliran dengan daerah sekitarnya tidak mempunyai perbedaan ketinggian yang cukup untuk dapat tergambar dalam DEM. Oleh karena itu penggunaan DEM untuk analisis landform pada daerah datar atau berombak memberikan hasil yang kurang baik. Jalur aliran sungai sangat jelas terlihat pada hasil analisis citra Landsat-7 TM. Aliran lahar tua juga tidak dapat dianalisis dari DEM karena semua atribut landform yang menjadi pembeda satuan ini dengan yang lainnya tidak dapat didelineasi dan diidentifikasi, baik secara digital maupun secara visual.

Tabel 3. Pengujian peta landform hasil analisis DEM di daerah penelitian

Table 3. Evaluation of landform map derived from DEM in the study area

No.	Satuan Landform	Kemurnian	Ketepatan
1	Lereng koluvial (A2.2.3)	100	Tinggi
2	Dataran antar perbukitan (A2.3)	100	Tinggi
3	Lereng vulkan tengah (V1.1.4)	98	Tinggi
4	Lereng vulkan bawah (V1.1.5)	94	Tinggi
5	Kaki vulkan (V1.1.6)	88	Tinggi
6	Lungur vulkan bawah (V1.6.1)	93	Tinggi
7	Lungur vulkan atas (V1.6.2)	88	Tinggi
8	Perbukitan vulkan (V3.1)	100	Tinggi
9	Pegunungan vulkan bawah (V3.2.1)	99	Tinggi
10	Pegunungan vulkan atas (V3.2.2)	100	Tinggi
11	Kaki perbukitan (V3.3)	92	Tinggi
12	Lantai kepundan tua (V3.5.1)	100	Tinggi
13	Kepundan tua (V3.5.2)	98	Tinggi
14	Lereng vulkan tua (V3.5.3)	100	Tinggi
Rata-rata		96	Tinggi



Gambar 8. Peta landform acuan daerah penelitian

Figure 8. Landform reference map of research area

Uraian di atas menunjukkan bahwa meskipun hasil analisis landform dari DEM menghasilkan peta yang berkualitas baik, tetapi masih terdapat beberapa kelemahan, sehingga hasil analisis landform tidak optimal. Kelemahan yang dijumpai adalah tidak semua jenis atribut yang dijadikan kriteria landform dapat dianalisis dari DEM, baik secara digital maupun visual. Keadaan batuan induk tidak dapat secara langsung dianalisis dari DEM. Selain itu peta geologi, yang digunakan untuk menggambarkan keadaan batuan induk, mempunyai sistem proyeksi peta dasar serta skala yang tidak sama dengan DEM. Masalah lain yang dijumpai adalah peta kontur atau peta titik ketinggian tidak selalu tersedia dalam format data digital yang dapat digunakan untuk membangun suatu DEM.

Verifikasi lapangan merupakan salah satu cara yang dilakukan untuk mengatasi beberapa kelemahan dan kekurangan tersebut. Perbedaan jenis peta dan jenis proyeksi dapat diatasi dengan menggunakan peta dasar yang sama bagi setiap peta yang akan digunakan untuk analisis, terutama peta geologi. Masalah peta kontur digital yang tidak selalu tersedia dapat diatasi dengan cara membuatnya dari potret udara, seperti yang

dilakukan oleh Kuntjoro *et al.* (2003) dan menamakannya sebagai stereo-DEM.

Karakteristik peta

Karakteristik peta merupakan salah satu penciri ketelitian dan ketepatan delineasi satuan peta. Parameter yang digunakan dalam menilai karakteristik peta adalah luasan terkecil hasil delineasi (MSD), luasan rata-rata hasil delineasi (ASD), dan indeks pengecilan maksimum peta (IMR).

Peta-peta landform hasil analisis DEM skala 1:50.000 mempunyai nilai MSD lebih dari 0,40 cm², yaitu 0,41 cm². Hal ini sesuai dengan kaidah-kaidah kartografi untuk penggambaran peta. Peta landform mempunyai ASD sebesar 11,83 cm², dan nilai IMR 5,42, dan tergolong peta bertekstur sedang. Peta yang mempunyai sifat demikian menunjukkan bahwa ukuran poligon yang terbentuk rata-rata mempunyai ukuran kecil yang menandakan bahwa delineasi dilakukan dengan teliti. Peta yang berkarakteristik demikian tergolong ke dalam peta yang berkualitas baik, karena dapat mendeskripsi satuan landform dengan tepat dan delineasi dilakukan dengan teliti.

Tabel 4. Klasifikasi tanah berdasarkan Taksonomi Tanah di daerah penelitian

Table 4. Soil classification using Soil Taxonomy System in the study area

No.	Great grup	Subgrup	Famili
Ordo: Inceptisols	Sub Ordo: Aquepts		
1.	Endoaquepts	Fluvaquentic Endoaquepts	Fluvaquentic Endoaquepts, berlempung halus, campuran, isohipertermik
2.	Epiaquepts	Aeric Epiaquepts	Aeric Epiaquepts, berlempung halus, campuran, isohipertermik
Ordo: Inceptisols	Sub Ordo: Udepts		
3.	Dystrudepts	Oxyaquic Dystrudepts	Oxyaquic Dystrudepts, sangat halus, campuran, isohipertermik
4.		Andic Dystrudepts	Andic Dystrudepts, sangat halus, campuran, isohipertermik
5.		Typic Dystrudepts	Typic Dystrudepts, halus, campuran, isohipertermik
Ordo: Andisols	Sub Ordo: Udands		
6.	Hapludands	Vitric Hapludands	Vitric Hapludands, berabu di atas berbeton apung, haloisitik, isotermik
7.		Typic Hapludands	Typic Hapludands, halus, haloisitik, isohipertermik
8.			Typic Hapludands, berlempung halus, haloisitik, isotermik
9.			Typic Hapludands, berlempung halus di atas fragmental, haloisitik, isotermik
10.			Typic Hapludands, berabu di atas skeletal berlempung, haloisitik, isotermik
11.			Typic Hapludands, berabu di atas berliat, haloisitik, isohipertermik

Hubungan satuan landform dengan satuan tanah

Berdasarkan hasil pengamatan lapangan yang ditunjang oleh hasil analisis tanah di laboratorium, tanah-tanah yang dijumpai di daerah penelitian dikelompokkan menjadi 2 Ordo yaitu Inceptisols dan Andisols (Soil Survey Staff, 1999). Kedua ordo tersebut menurunkan 7 sub grup dan 11 famili tanah (Tabel 4).

Pengujian melalui analisis diskriman untuk melihat perbedaan komposisi isi satuan tanah pada setiap satuan landform. Satuan tanah digunakan pada tingkat famili tanah. Tabel 5 memperlihatkan bahwa satuan landform tidak mempengaruhi komposisi Fluvaquentic Endoaquepts secara nyata, karena mempunyai angka signifikansi lebih dari 0,05. Tetapi satuan landform berpengaruh nyata terhadap komposisi tanah lainnya, yang dicirikan oleh angka signifikansi kurang dari 0,05. Dari 14 satuan landform, terdapat lima satuan landform yang mempunyai komposisi satuan tanah yang tidak berbeda nyata, sedangkan yang lainnya mempunyai komposisi satuan tanah yang berbeda nyata.

Tabel 5. Hasil pengujian antar satuan landform untuk setiap variabel satuan tanah

Table 5. Evaluation results among landform unit for each soil mapping unit variable

Satuan Tanah	Wilks' Lambda	F	df1	df2	Sig
1	0,360	1,905	14	15	0,114
2	0,023	46,371	14	15	0,000
3	0,021	49,429	14	15	0,000
4	0,022	46,800	14	15	0,000
5	0,004	248,500	14	15	0,000
6	0,013	82,654	14	15	0,000
7	0,010	105,745	14	15	0,000
8	0,047	21,722	14	15	0,000
9	0,016	64,500	14	15	0,000
10	0,013	78,327	14	15	0,000
11	0,096	10,071	14	15	0,000

Nomor dan nama tanah mengikuti urutan seperti dalam Tabel 4.

Satuan landform yang mempunyai komposisi satuan tanah tidak berbeda nyata diantara ketiganya adalah Lantai kepundan tua (No. 12), Kepundan tua (No. 13) dan Lereng volkan tua (No. 14). Ketiganya mempunyai nilai signifikansi lebih dari 0,05 (Tabel 6). Hal ini dapat dimengerti karena ketiga landform tersebut mempunyai bahan induk yang sama dan relatif dekat dengan pusat erupsi G. Pangrango serta berada pada ketinggian tempat yang relatif sama, yaitu lebih dari 1.100 m di atas permukaan laut.

Satuan landform Lereng volkan bawah (No. 4) juga tidak berbeda nyata dengan satuan Lungur volkan bawah (No. 6) dalam hal komposisi satuan tanah, yang ditunjukkan oleh nilai signifikansi lebih besar dari 0,05 (Tabel 6). Perbedaan tersebut terutama disebabkan oleh tidak adanya perbedaan komposisi dari tanah yang diklasifikasikan sebagai Oxyaquic Dystrudepts dan Andic Dystrudepts. Terbentuknya Oxyaquic Dystrudepts tidak berhubungan langsung dengan landform, tetapi berhubungan dengan penggunaan lahan, terutama karena adanya penggenangan. Subgrup ini muncul disebabkan karena adanya penjuanan air secara alamiah maupun buatan melalui sistem sawah. Menurut Soil Survey Staff (1999), tanah-tanah Dystrudepts, yang pada satu lapisan atau lebih di dalam 100 cm dari permukaan tanah mineral, dalam tahun-tahun normal selama 20 hari atau lebih secara berturut-turut atau selama 30 hari kumulatif atau lebih, dalam keadaan jenuh air, diklasifikasikan ke dalam Subgrup Oxyaquic Dystrudepts.

Uraian di atas menunjukkan bahwa satuan landform yang berbeda tidak selalu diisi dengan satuan tanah yang berbeda pula. Dalam pemetaan tanah semi detail (skala 1:50.000) yang dilakukan dalam pelaksanaan *Land Evaluation Planning Project Part-II* (LREPP-II), landform merupakan salah satu unsur pembentuk satuan peta tanah. Harapannya adalah bahwa satuan landform tertentu akan diisi oleh satuan tanah tertentu pula, sehingga penyebaran satuan tanahnya akan mengikuti penyebaran satuan landform. Dengan asumsi terdapat hubungan yang erat seperti tersebut di atas, maka untuk tujuan deliniasi satuan tanah dilakukan deliniasi satuan landform, karena deliniasi satuan landform lebih mudah dilakukan dengan bantuan potret udara, citra satelit maupun DEM.

Tabel 6. Perbandingan nilai F dan signifikasinya antar satuan landform

Table 6. Comparison of F values and significances among the landform units

No. Satuan Landform ¹⁾	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1 F		441,43	182,36	179,63	281,41	177,90	462,28	652,74	223,79	462,20	481,35	237,32	234,53	245,01
Sig		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 F	441,43		474,12	199,45	194,20	198,92	1144,47	285,96	667,67	196,25	243,91	82,99	89,04	102,66
Sig	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3 F	182,36	474,12		437,60	442,52	434,89	163,46	802,90	27,78	543,30	643,80	177,19	168,81	172,49
Sig	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4 F	179,63	199,45	347,60		11,99	0,52	834,77	163,88	439,37	78,96	83,22	168,52	171,52	191,42
Sig	0,00	0,00	0,00		0,00	0,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5 F	281,41	194,20	442,52	11,99		13,76	980,65	92,12	571,53	35,22	34,04	205,86	340,30	232,51
Sig	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6 F	177,90	198,92	344,89	0,52	13,76		830,93	171,97	456,23	81,47	88,87	167,96	120,04	189,88
Sig	0,00	0,00	0,00	0,82	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7 F	462,28	1144,47	160,46	834,77	980,65	830,93		1480,13	90,43	1115,96	1259,06	656,78	640,33	544,99
Sig	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8 F	652,74	285,96	803,90	163,46	92,12	171,97	1480,13		981,25	34,17	15,98	411,04	419,23	446,98
Sig	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9 F	223,79	667,67	27,78	439,37	471,53	456,23	90,43	981,25		698,73	798,97	323,03	313,24	322,47
Sig	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10 F	462,20	196,25	543,30	82,99	18,22	81,47	1115,96	34,17	698,73		16,68	249,94	265,06	278,88
Sig	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00
11 F	481,35	243,91	643,80	83,22	34,04	88,87	1259,06	15,98	798,97	16,68		320,03	326,63	353,35
Sig	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
12 F	237,32	82,99	177,19	168,52	205,86	167,96	656,78	411,04	323,03	249,94	320,03		0,18	2,47
Sig	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,99	0,12
13 F	234,53	89,04	168,81	171,52	210,04	160,46	640,33	419,23	313,24	265,06	326,63	0,18		2,03
Sig	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		1,81
14 F	245,01	102,66		172,49	191,42	232,51	189,88	544,99	446,98	322,47	278,88	353,35	2,47	
Sig	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	-1,81	

¹⁾ Nomor dan urutannya mengikuti urutan dan nama satuan landform seperti pada Tabel 3.

KESIMPULAN

1. Atribut landform (kemiringan lereng, bentuk lereng, dan ketinggian tempat), yang diturunkan dari DEM dan dilengkapi dengan peta geologi, dapat dianalisis secara digital untuk deliniasi satuan landform.
2. Untuk tempat-tempat yang tidak mempunyai perbedaan ketinggian yang kontras, yaitu pada bentuk wilayah datar atau berombak, analisis landform dari DEM cukup sulit dilakukan. Satuan peta tanah/landform yang dihasilkan berbeda dengan keadaan sebenarnya di lapangan atau tidak sama dengan peta acuan.
3. Kelemahan lain dari DEM adalah tidak adanya informasi keadaan tutupan lahan yang dapat dijadikan indikasi suatu satuan landform.

4. Untuk daerah Cisarua yang mempunyai bentuk wilayah sebagian besar bergelombang sampai bergunung, peta landform yang diturunkan dari DEM secara umum berkualitas baik, yang dicitakan oleh ketepatan tinggi dan tekstur peta sedang.
5. Hanya sebagian dari satuan landform, yang dianalisis dari DEM, mempunyai hubungan yang nyata dengan komposisi satuan tanahnya pada kategori famili atau subgrup.

SARAN

1. Agar dihasilkan peta landform berkualitas baik, peta geologi yang digunakan harus sesuai dengan tingkat pemetaan yang akan dilakukan. Pemetaan semi detail memerlukan peta geologi yang mempunyai skala sekurang-kurangnya 1:50.000.

2. Untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal, identifikasi landform perlu didukung dengan peta pendukung lainnya, antara lain citra *Landsat-7 TM*.
3. Penggunaan landform sebagai unsur satuan peta tanah pada daerah vulkanik dengan bahan induk relatif homogen perlu dikaji ulang dengan seksama.

DAFTAR PUSTAKA

- Bakosurtanal. 1998. Peta Rupabumi digital seluruh Kabupaten Bogor, skala 1:25.000. Bakosurtanal.
- de Bruin, S. and A. Stein. 1998. Soil-landscape modelling using fuzzy c-means clustering of attribute data derived from Digital Elevation Model (DEM). *Geoderma* 83:17-33.
- Dobos, E., E. Micheli, M.F. Braumgardner, L. Biehl, and T. Heft. 2000. Use of combine digital elevation model and satellite radiometric data for regional soil mapping. *Geoderma* 97:367-391.
- Effendi, A.C., Kusnana, dan B. Hermanto. 1998. Peta Geologi Lembar Bogor, Jawa, Skala 1 : 100.000. Edisi kedua. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Eswaran, H., T.R. Forbes, and M.C. Laker. 1981. Soil parameter and classification. *In* Soil Resources Inventories and Development Planning. Proceeding of Workshops at Cornell University 1977-1978. Technical Monograph No. 1. Soil Management Support Services, Washington D.C. Page 351-366.
- Forbes, T., D. Rossiter, and A.V. Wambeke. 1983. Guidelines for Evaluating the Adequacy of Soil Resources Inventories. Soil Management Support Services, Technical Monograph No. 4.
- Irvio, B.J., S.W. Ventura, and B.K. Slater. 1997. Fuzzy and isodata classification of landform elements from digital terrain in Pleasant Valley, Wisconsin. *Geoderma* 77:137-154.
- Kuntjoro, D., S. Ritung, dan Wahyunto. 2003. Penggunaan stereo-DEM dan kontur-DEM di dalam prediksi erosi menggunakan sistem informasi geografi di daerah Lembang, Jawa Barat. *Dalam* Prosiding Simposium Nasional Pendayagunaan Tanah Masam. Bandar Lampung, 29-30 September 2003. Pushtbangtanak, Badan Litbang Pertanian, Deptan. hlm. 337-348.
- Lark, R.M. 1999. Soil-landform relationships at within-field scales: an investigation using continuous classification. *Geoderma* 92:141-165.
- Marsoedi, D.S., Widagdo, J. Dai, N. Suharta, Darul S.W.P., S. Hardjowigeno, dan E.R. Jordans. 1997. Pedoman Klasifikasi Landform. Technical Report No.5, Versi 3. Proyek LREP II. Puslittanak, Badan Litbang Pertanian.
- Moore, I.D., P.E. Gessler, G.A. Nielsen and G.A. Peterson. 1993. Soil Attribute prediction using terrain analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:443-452.
- Odeh, I.O.A., A.B. McBratney, and D.J. Chittleborough. 1994. Spatial prediction of soil properties from landform attributes derived from digital elevation model. *Geoderma* 63:197-214.
- Rossiter, D.G. 1994. Geographical Information System. Lecture Notes: Land Evaluation. Cornell University. p 125.
- Santoso, S. 2003. Buku Latihan SPSS Statistik Multivariat. Elex Media Komputindo, Jakarta.
- Soil Conservation Service. 1972. Soil Survey Laboratory Methods and Procedures for Collecting Soil Samples. Soil Survey Investigation Report No.1. Soil Conserv. Service.USDA, Washington D.C.
- Soil Survey Division Staff. 1993. Soil Survey Manual. USDA Handbook No. 18, Washington D.C.
- Soil Survey Staff. 1999. Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Survey. Second Edition. Natural Resources Conservation Service. USDA Handbook No. 436. US Government Printing Office, Washington D.C.
- Thompson, J.A., J.C. Belf, and C.A. Buttler. 2001. Digital elevation model resolution: effects on terrain attribute calculation and quantitative soil-landscape modelling. *Geoderma* 100:67-89.