

PROSIDING SEMINAR NASIONAL

**TEKNOLOGI PEMUPUKAN DAN PEMULIHAN
LAHAN TERDEGRADASI**

Bogor, 29-30 Juni 2012

**BALAI BESAR PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN SUMBERDAYA LAHAN PERTANIAN
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN PERTANIAN
KEMENTERIAN PERTANIAN**

2012

PROSIDING SEMINAR NASIONAL
TEKNOLOGI PEMUPUKAN DAN PEMULIHAN
LAHAN TERDEGRADASI

Bogor, 29-30 Juni 2012

PENANGGUNGJAWAB:

Muhrizal Sarwani

PENYUNTING:

I G. Putu Wigena

Neneng L. Nurida

Diah Setyorini

Husnain

Edi Husen

Erna Suryani

REDAKSI PELAKSANA

Widhya Adhy

Emo Tarma

Erwan Mardi S.

Diterbitkan tahun 2012, oleh :

Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian

Jl. Tentara Pelajar No. 12

Kampus Penelitian Pertanian, Cimanggu, Bogor 16114

Telp (0251) 8323012

Fax (0251) 8311256

e-mail : csar@indosat.net.id

<http://bbsdlp.litbang.deptan.go.id>

ISBN 978-602-8977-43-2

Aplikasi Pemetaan Tanah Digital untuk Pemetaan Sifat Tanah Menunjang Rekomendasi Pemupukan

5

¹Yiyi Sulaeman, ¹Hikmatullah, ²Didi Ardi S., ¹Muhrizal Sarwani, ³A. Sutandi, dan ³B. Barus

¹Peneliti Badan Litbang Pertanian di Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Jl. Tentara Pelajar No. 12, Bogor 16114

²Peneliti Badan Litbang Pertanian di Balai Penelitian Tanah, Jl. Tentara Pelajar No. 12, Bogor 16114

³Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Institut Pertanian Bogor

Abstrak. Rekomendasi pemupukan yang handal hanya akan bisa diperoleh bila data karakteristik tanah cukup banyak dan cukup menyebar di suatu wilayah. Tetapi, penyediaan data yang banyak tersebut memerlukan waktu yang lama dan biaya yang tinggi. Di lain pihak, data pengamatan tanah banyak tersedia sebagai hasil kegiatan survei tanah dan studi kesuburan tanah sebelumnya. Data ini dapat digunakan untuk membuat model hubungan tanah-lanskap yang selanjutnya bisa digunakan untuk menaksir dan memetakan sifat tanah. Tulisan ini membahas teknik pemetaan tanah digital dalam menyediakan sifat tanah kuantitatif yang menjadi dasar dalam formulasi rekomendasi pemupukan berdasarkan data tanah terdahulu. Untuk suatu wilayah, pemetaan tanah diaplikasikan mengikuti suatu kerangka kerja yang terdiri dari 3 tahapan kegiatan yakni (i) penyiapan dataset tanah yang mengumpulkan data pengamatan tanah terdahulu, (ii) penyusunan model tanah-lanskap yang menghubungkan antara sifat tanah dengan komponen lanskap sehingga sifat tanah memungkinkan dipetakan sebelum kunjungan lapangan dilakukan, dan (iii) aplikasi model yakni penggunaan model untuk menurunkan sifat-sifat tanah. Kerangka kerja diuji coba di Pulau Jawa. Sebanyak 301 profil tanah telah dikumpulkan dan digunakan sebagai dasar pembuatan model penaksir fraksi pasir, fraksi liat, bahan organik tanah, karbon organik tanah, nitrogen total, pH, kejenuhan basa, dan kapasitas tukar kation. Model ini digunakan antara lain untuk membuat peta pH tanah di Kabupaten Subang. Aplikasi pemetaan tanah digital dapat melengkapi teknik penyediaan data sifat tanah untuk menunjang rekomendasi pemupukan. Berdasarkan data dan peta baseline ini pengambilan contoh kesuburan tanah bisa dilakukan lebih terarah dan terencana dengan baik dan rekomendasi pemupukan yang baik dapat diperoleh.

Kata kunci: Pemetaan tanah digital, evaluasi kesuburan tanah, rekomendasi pemupukan

Abstract. *The better recommendation of fertilizer application can be formulated is supported by voluminous, well distributed soil data. Yet, this effort requires much money and consume much time. In the other hand, there is available legacy soil data that can be used to derive soil-landscape model. This model can be used to predict and map soil properties. This paper discusses digital soil mapping approach to provide quantitative soil properties as base for formulating fertilizer recommendation. For a given region, digital soil mapping is applied following 3 main steps i.e. (i) dataset preparation by collecting previous soil data and auxiliary information, (ii) soil-landscape model*

development, and (iii) model application to derive digital soil properties map. The framework was applied in Java where 301 soil profiles were re-documented and used to develop soil-landscape model for predicting sand fraction, clay fraction, soil organic matter, soil organic carbon, nitrogen total, pH, base saturation, and cation exchange capacity. This model is used to create soil property map in Subang Regency. The application of digital soil mapping technique can complement current technique in providing soil property map to support fertilizer recommendation. Based on data and these baseline map, soil sampling can be done efficiently, and better fertilizer recommendation can be formulated.

Keywords: *Digital soil mapping, soil property map, fertilizer recommendation*

PENDAHULUAN

Rekomendasi pemupukan di Indonesia menganut pendekatan uji tanah, dimana dosis pupuk dihitung setelah memperhatikan ketersediaan hara di dalam tanah dan kebutuhan tanaman. Penelitian pemupukan kemudian berkembang tidak hanya melihat hubungan antara dosis pupuk dengan tanaman tetapi juga penelitian status hara dalam tanah. Dalam kaitannya dengan logistik pupuk, peta status hara di suatu wilayah perlu tersedia, dimana status hara dari tiap titik pengambilan contoh tanah dihubungkan dengan kondisi lanskap dan landuse. Pada kenyataannya, peta status hara ini sangat membantu menyediakan jumlah pupuk yang diperlukan di suatu wilayah. Namun demikian status hara ini baru terbatas pada hara P dan K.

Saat ini, sifat tanah ditetapkan dari contoh tanah komposit yang dipilih dari lokasi di lapangan menurut keputusan ahli. Contoh tanah kemudian dianalisis dan ditetapkan status haranya. Saat ini lokasi pengambilan contoh tanah ditetapkan menggunakan GPS, sehingga lokasinya bisa diplot di suatu peta dasar. Namun demikian cara ini memerlukan biaya yang relatif tinggi untuk analisis sifat tanah dan pengambilan contoh tanah di lapangan. Sementara, data profil tanah terdahulu sudah banyak tersedia dan berpotensi digunakan untuk membuat model tanah-lanskap. Model ini selanjutnya bisa digunakan untuk menurunkan peta sifat tanah.

Pemetaan tanah digital menyediakan teknik untuk membuat peta sifat tanah secara kuantitatif berdasarkan data pengamatan tanah yang sudah ada dan data pendukung. Tulisan ini membahas kerangka kerja pemetaan tanah digital untuk menyediakan peta sifat tanah kuantitatif sebagai dasar penyusunan rekomendasi pemupukan. Tulisan diawali dengan pembahasan kerangka pemetaan tanah digital untuk menyediakan peta sifat tanah. Kerangka kerja diaplikasikan di Pulau Jawa dengan penekanan pada keragaman data tanah terdahulu dan model tanah-lanskap. Visualisasi peta sifat tanah taksiran dan akurasi untuk kabupaten disajikan (Gambar 1). Pembahasan menghubungkan teknik ini dalam upaya evaluasi kesuburan dan monitoring produktivitas lahan.

KERANGKA KERJA UMUM PEMETAAN TANAH DIGITAL BERDASARKAN DATA WARISAN

Pemetaan tanah digital (PTD) didefinisikan sebagai “*the creation, and population of spatial soil information systems by the use of field and laboratory observational methods coupled with spatial and non-spatial soil inference systems*” (Lagacherie & McBratney 2007). Istilah lain dari PTD adalah *Predictive Soil Mapping* (Hewitt 1993; Scull *et al.* 2003) atau *Quantitative Soil Survey* (McKenzie & Ryan 1999). PTD merupakan operasionalisasi dari ide menaksir penyebaran sifat tanah dalam suatu lanskap berbasis komputer (Bui, 2007).

PTD dapat diterapkan menggunakan tiga tahapan utama dalam pemetaan tanah digital berdasar data warisan, yaitu: (i) penyiapan dataset, (ii) pengembangan model tanah-lanskap, dan (iii) aplikasi model untuk menaksir sifat tanah di wilayah target. Kerangka pikir sekaligus kerangka kerja yang diterapkan dalam penelitian ini disajikan pada (Gambar 1).

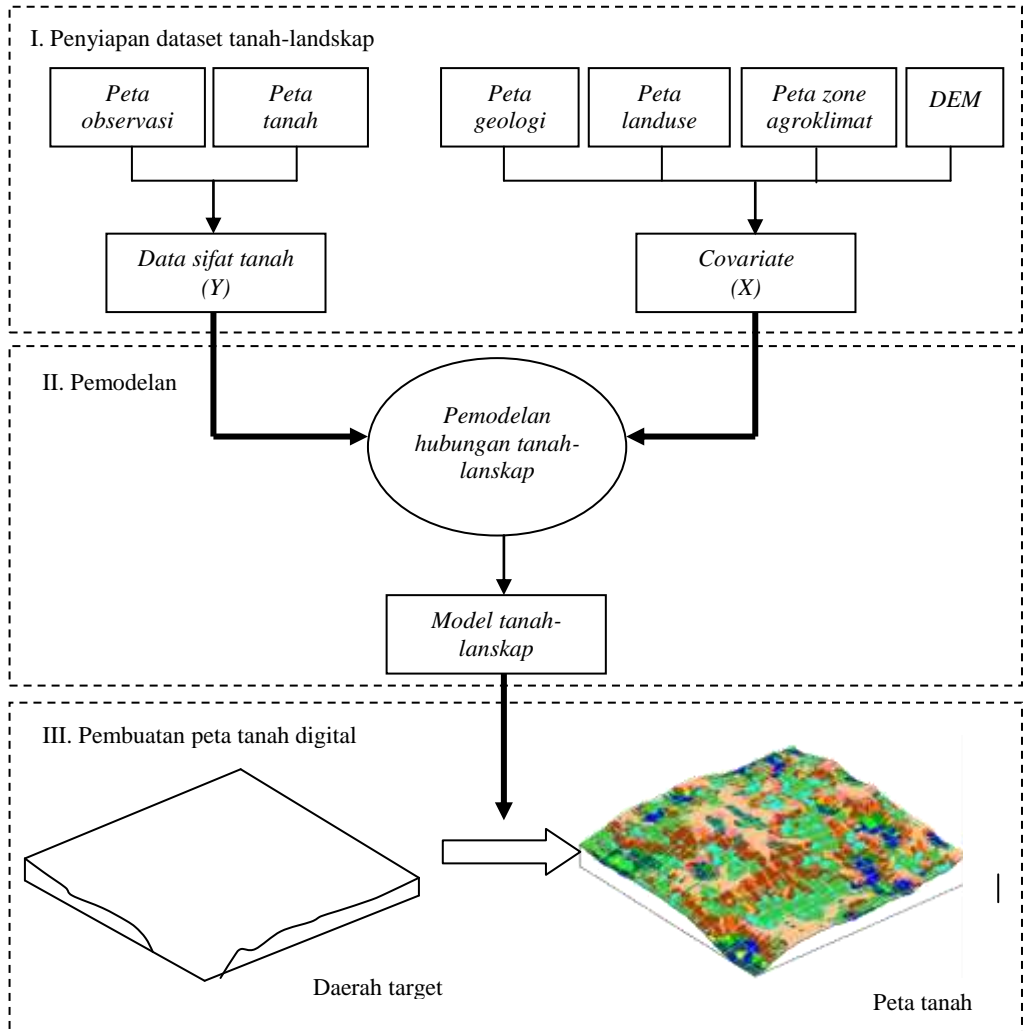
Tahap pertama adalah penyiapan dataset tanah dan lanskap yang mencakup dataset sifat tanah atau dataset kelas tanah. Kelas tanah bisa merupakan kelas sifat tanah atau kategori dari suatu sistem klasifikasi tanah. Sementara itu, dataset lanskap terdiri dari aneka kovariat yang mewakili suatu atau beberapa faktor pembentuk tanah, yakni: iklim, bahan induk, relief, organisme, dan waktu. Kedua dataset ini dipersatukan oleh koordinat X dan Y.

Tahap kedua adalah pengembangan model tanah-lanskap. Istilah model tanah-lanskap ini digunakan untuk membedakan dengan fungsi pedotransfer, kriging, atau teknik interpolasi lainnya. Tipe-tipe model ini berbeda dalam hal peubah penaksirnya. Peubah penaksir dari fungsi pedotransfer adalah sifat tanah, dari model tanah-lanskap adalah peubah yang mewakili salah satu atau beberapa faktor pembentuk tanah, dan dari kriging atau teknik interpolasi adalah posisi koordinat.

Istilah pengembangan model mencakup dua kegiatan, yaitu: (i) pembuatan model dan (ii) evaluasi model. Pada penelitian ini model dibuat menggunakan teknik regresi langkah bijak (*stepwise regression*) dan teknik regresi pohon (*tree regression*). Teknik pertama diterapkan untuk peubah penaksir yang kontinyu sedangkan teknik kedua untuk peubah penaksir campuran antara kontinyu dan kategori. Teknik pertama dan kedua sama-sama menggunakan respon yang kontinyu, sehingga istilah regresi digunakan.

Evaluasi model tanah-lanskap mencakup dua kegiatan yaitu (i) evaluasi daya taksir model, dan (ii) evaluasi daya transport model. Umumnya pemodelan hanya sampai pada evaluasi model untuk mengetahui daya taksir model. Penelitian ini tidak saja melakukan evaluasi daya taksir model, tetapi juga melakukan evaluasi model tambahan yakni evaluasi daya transport model untuk mengetahui apakah model bisa digunakan di tempat

lain. Dari evaluasi ini diketahui model-model yang bersifat umum, yang bisa digunakan di berbagai tipe lanskap dan model-model yang bersifat lokal yaitu hanya pada tipe lanskap tertentu.



Gambar 1. Kerangka kerja umum pemetaan tanah digital menggunakan data tanah warisan

Evaluasi daya taksir model dapat menggunakan teknik validasi silang. Ini berarti bahwa dataset untuk menguji dipilih secara acak dari dataset yang tersedia. Pada penelitian ini sebanyak 0,25% dataset dipilih secara acak sebagai testing dataset. Sementara itu, daya transport model menggunakan data pengujian yang diambil langsung dari lapangan dan atau dikombinasikan dengan data yang tersedia. Perbedaan antara

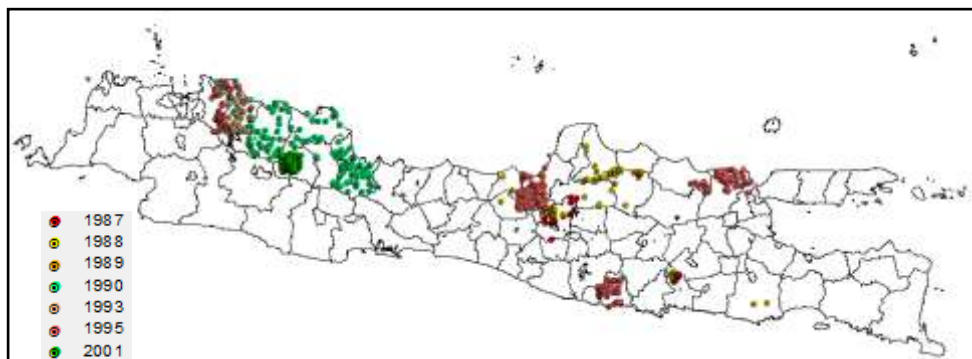
kedua data pengujian tersebut adalah data untuk evaluasi daya taksir yang diperoleh dari dalam lokasi pembuatan model, sedangkan data untuk evaluasi daya transport model dipilih dari luas lokasi pembuatan model.

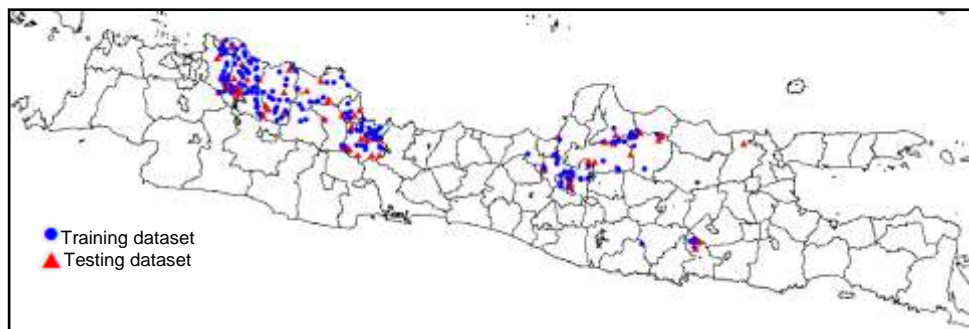
Setelah model tanah-lanskap yang berdaya taksir tinggi dan berdaya transport tinggi diperoleh, tahap selanjutnya adalah penggunaan model tersebut untuk membuat peta tanah taksiran. Pembuatan peta tanah dengan model dapat menggunakan 2 alat bantu, yaitu: (i) menggunakan *grid calculator* (dalam SAGA GIS), atau *map calculator* (dalam IDRISI), atau (ii) menggunakan makro dalam *spreadsheet* yang hasilnya divisualisasikan di SAGA GIS. Pada alat bantu pertama, kovariat-kovariat dimasukkan untuk memperoleh peta tanah. Sementara itu, pada alat bantu kedua, data numerik grid dimasukkan ke *spreadsheet* kemudian dihitung menggunakan makro sederhana untuk memperoleh data numerik. Jadi, alat bantu pertama menghasilkan peta langsung sedangkan pada alat bantu kedua hanya data numerik untuk grid, bukan peta langsung.

PEMETAAN TANAH DIGITAL DI PULAU JAWA

Pemetaan tanah digital telah diterapkan di Pulau Jawa menggunakan data profil tanah pengamatan sejak tahun 1987. Kegiatan ini didahului oleh kompilasi terhadap data profil tanah hasil survei terdahulu yang berhasil mengoleksi 604 lokasi profil tanah yang ada di Jawa, seperti yang disajikan pada (Gambar 2). Diduga data profil tanah ini masih banyak yang tidak terdokumentasi dengan baik, karena banyaknya penelitian yang dilakukan di Jawa tidak hanya oleh BBSLDP tetapi juga oleh instansi lain.

Data profil tersebut menyajikan tipe data yang tidak seragam. Hal ini disebabkan perbedaan tujuan pemetaan yang menentukan jenis-jenis data yang diperlukan. Memperhatikan kelengkapan datanya, sebanyak 301 profil tanah telah dipilih untuk kegiatan pemodelan tanah-lanskap, yang kemudian dibedakan atas *training dataset* untuk membuat model dan testing dataset untuk menguji daya taksir model (Gambar 2).





Gambar 2. Sebaran pengamatan profil tanah yang terkompilasi (atas) dan sebaran profil tanah untuk pemodelan (bawah)

Tabel 1 menunjukkan ringkasan statistik beberapa sifat tanah lapisan olah (0-30 cm) di Jawa. Keragaman sifat tanah ini tergolong sedang hingga tinggi, yang mengindikasikan bahwa faktor lokal mengontrol keragaman sifat tanah tersebut. Kecuali sifat tanah lainnya yang umum dianalisis di setiap profil tanah, retensi P nampak tidak banyak dianalisis. Padahal sifat tanah ini penting untuk mengetahui berapa persen P yang ditahan oleh tanah. Secara rata-rata, data tanah lapisan olah dalam penelitian ini mempunyai tekstur berliat dengan kadar fraksi klei 55% dan fraksi pasir 19%. Reaksi tanah rata-rata mendekati netral, karbon organik 1,3% dan bahan organik 2,25%. Kejenuhan basa sebesar 37% dan KTK tanah sekitar 33 cmol(+) kg⁻¹.

Tabel 1. Ringkasan statistik beberapa sifat tanah pada kedalaman 0-30 cm di Pulau Jawa

Sifat tanah	Jumlah profil	Rata-rata	Median	Minimum	Maksimum	Simp. baku	CV(%)*
Fraksi pasir (%)	300	18,16	11,00	0,00	97,00	19,20	106
Fraksi klei (%)	300	55,16	59,00	2,00	90,00	20,4	37
Bahan organik tanah (%)	301	2,25	1,75	0,39	19,67	2,04	91
Karbon organik tanah (%)	301	1,30	1,02	0,23	11,41	1,18	91
Nitrogen total (%)	301	0,13	0,11	0,03	0,88	0,09	72
pH	275	6,02	5,80	4,70	8,30	1,06	18
Retensi P (%)	32	43,95	44,50	5,70	86,20	19,84	45
Kejenuhan basa (%)	262	72,34	79,00	1,00	162,00	27,41	38
Kapasitas tukar kation tanah (cmol/kg)	267	32,64	32,00	3,00	101,00	16,51	51

*CV=koefisien keragaman: rendah jika CV <15 %, sedang jika 15%<CV<35%, dan tinggi jika CV >35% (Wilding and Dress, 1983)

Tabel 2 menunjukkan contoh model tanah-lanskap untuk menduga sifat tanah pada kedalaman 0-30 cm di Pulau Jawa. Sebagai contoh, bahan organik tanah dan karbon organik nampak dikontrol dengan daya kontrol secara menurun oleh kemiringan

catchment (CS), lokasi site di lereng (MRRTF), elevasi (Elev), dan akumulasi aliran (FA). Semakin miring *catchment* maka semakin rendah bahan organik atau karbon organik pada kondisi faktor lainnya sama. Semakin mendekati lembah, maka semakin tinggi bahan organik dan karbon organik pada kondisi lain yang sama. Semakin tinggi ketinggian tempat di atas muka laut, maka semakin tinggi kadar bahan organik dan karbon organik tanah pada kondisi lain yang sama. Semakin banyak aliran yang diterima di suatu site, maka semakin tinggi bahan organik dan karbon organik tanah. Kovarian penaksir ini menunjukkan bahwa bahan organik atau karbon organik secara lokasi dikontrol oleh proses erosi dan deposisi bahan (FA dan CS), kelembaban tanah (MRRTF) dan temperatur tanah (yakni elevasi).

Tabel 2. Keragaan model regresi tanah-lanskap untuk menaksir sifat tanah pada 0-30 cm di Jawa

Respon	Model	RMSE	R ²	N	P value	
					Anova	LOF
Fraksi pasir (%)	4.59+1.453MRVBF+0.000023FA+76.457CS	19.03	0.12	223	<.0001	0.47
Fraksi klei (%)	68.59-1.310MRVBF-0.000018FA-0.0129Elev-49.474CS	19.74	0.10	223	0.0001	0.59
SOM (%)	2.3-0.126MRRTF+0.0000015FA+0.0034Elev-5.172CS	1.72	0.17	224	<.0001	0.39
SOC (%)	1.34-0.073MRRTF+0.0000087FA+0.0019Elev-3.001CS	0.10	0.17	224	<.0001	0.39
Nitrogen Total (%)	0.23-0.00027ZC-0.0079MRRTF+24.175KC-0.0009FW+0.0000013FA+0.0002Elev-0.238CS	0.08	0.28	224	<.0001	0.48
pH	5.68+0.111MRRTF-0.00068Elev-0.0053CI	0.98	0.15	207	<.0001	0.38
Kejenuhan basa (%)	52.91+2.639MRVBF+2.938MRRTF-0.0382Elev+40.285CS	21.54	0.40	200	<.0001	0.35
KTK tanah (cmol kg ⁻¹)	37.20-0.797MRVBF+0.000000021MCA-0.0082Elev-0.0119AZ	15.59	0.10	204	0.0005	0.21

Keterangan: SOM = bahan organik tanah, SOC = karbon organik tanah, N = Jumlah contoh, RMSE = *root mean square error*, Anova = uji sidik ragam model, LOF = uji ketidaktepatan model, RVBF = *multi-resolution index of valley bottom flatness* (indeks kerataan dasar lembah), FA = *flow accumulation* (akumulasi aliran), CS = *catchment slope* (kemiringan rataaan *catchment*), Elev = *elevation* (ketinggian tempat dari permukaan laut), MRRTF = *multiresolution index of ridgetop flatness* (indeks kerataan igir), ZC = *altitude above channel* (ketinggian tempat diatas saluran), KC = *kontour curvature* (lengkung horizontal), FW = *flow width* (lebar aliran), CI = *convergence index* (indeks konvergensi), dan AZ = aspek

Jika diperhatikan, nilai R² dari model tanah-lanskap berkisar dari 0,1 hingga 0,4. Jika hanya memperhatikan indikator ini, model tanah-lanskap ini nampak berkeragaan rendah terutama jika menggunakan perspektif ilmu komputer dan keteknikan. Tetapi, nilai R² ini umum diperoleh untuk model tanah-lanskap, sebaliknya nilai R² yang lebih dari 0,5 sulit diperoleh untuk model tanah-lanskap, karena beragamnya sifat tanah baik secara vertikal maupun horizontal. Berdasarkan perspektik pedometrik, nilai R² ini masih bisa diterima.

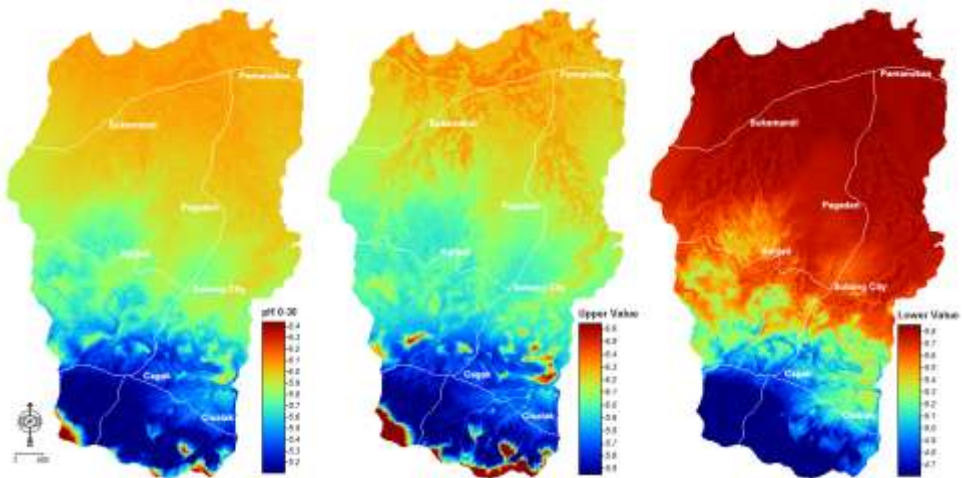
Dalam pedometrik (cabang ilmu tanah yang menggunakan analisis statistika untuk mempelajari keragaman sifat tanah), nilai R² bukan merupakan satu-satunya faktor

penentu kebaikan suatu model, namun dapat menggunakan indikator lain seperti analisis sidik ragam (Anova) dan analisis *lack of fitness* (LOF) maupun *root mean square error* (RMSE). RMSE ini merupakan selisih antara nilai taksiran dan nilai sebenarnya dari model yang digunakan untuk membandingkan model yang berbeda guna menaksir sifat tanah yang sama. Hasil analisis sidik ragam (Anova) model dan analisis ketidak-tepatan model (LOF) menunjukkan bahwa model ini baik dengan probabilitas Anova yang rendah dan LOF yang tinggi. Jadi kebaikan model tanah-lanskap dinilai menggunakan 4 indikator, yakni: RMSE, R^2 , uji sidik ragam, dan uji ketidaktepatan model.

PETA SIFAT TANAH DAN REKOMENDASI PEMUPUKAN

Untuk suatu sifat tanah, banyak model bisa dikembangkan dan model terbaik dipilih menggunakan empat indikator di atas. Menggunakan model tanah-lanskap ini, sifat tanah dapat ditaksir dan dipetakan karena peubah penaksirnya mempunyai entitas spasial. Untuk penelitian sifat tanah, kajian hendaknya terus dikembangkan untuk membuat aneka model, sehingga peta-peta sifat tanah dapat dikembangkan untuk selanjutnya dipilih peta yang menggambarkan sebaran sifat tanah yang lebih baik.

Gambar 3 menunjukkan contoh penyajian peta pH tanah yang dibuat dari model tanah-lanskap di Kabupaten Subang, Jawa Barat. Peta-peta tersebut adalah peta sifat tanah taksiran yang nilai sebenarnya masih perlu diverifikasi di lapangan. Selain peta sifat tanah taksiran, pembuatan peta sifat tanah menggunakan pemetaan tanah digital juga mampu membuat peta akurasi informasi dari peta taksiran tadi.



Gambar 3. Peta pH tanah pada kedalaman 0-30 cm dan interval taksiran di Kabupaten Subang (Sumber: Sulaeman et al. 2012)

Gambar 3 menunjukkan peta pH tanah tertinggi dan pH tanah terendah. Peta tanah taksiran dikatakan baik jika nilai pH pada kondisi lapangan berada antara kedua kisaran nilai tadi. Jika tidak, peta perlu direvisi dan pengamatan tanah difokuskan pada area tersebut. Pengujian akurasi sifat tanah ini dapat dilakukan dengan teknik validasi silang sehingga akurasi peta bisa diidentifikasi sebelum kunjungan ke lapangan dilakukan.

Peta pH tanah seperti Gambar 3 dan peta sifat tanah lainnya seperti bahan organik, C/N ratio, kadar P_2O_5 , kadar Ca, Mg, KTK maupun KB diperlukan dalam penyusunan rekomendasi pemupukan. Tulisan ini hanya mencontohkan peta pH tanah, karena pH menunjukkan reaksi dalam tanah. Keragaman beberapa sifat tanah seperti sifat kemasaman, ketersediaan P, dan jenis dan aktivitas mikroorganisme dapat dijelaskan dengan keragaman pH ini. Bagaimanapun peta-peta sifat tanah lainnya bisa dibuat asalkan model tanah-lanskap telah tersedia. Cara ini tentunya akan membantu dalam pemetaan status hara tanah.

KESIMPULAN

Tulisan ini membahas pendekatan pemetaan tanah digital berdasarkan data tanah warisan. Pendekatan ini secara garis besar mencakup kompilasi data, pembuatan model-tanah lanskap, dan aplikasi model seperti untuk pembuatan peta-peta sifat tanah untuk mendukung rekomendasi pemupukan. Aplikasi pendekatan ini di Jawa tidak hanya mereposisi ulang data profil tanah terdahulu dan mengkonservasi data tetapi juga menurunkan beberapa model tanah lanskap. Model ini dapat digunakan untuk menaksir sifat tanah lapisan olah di Pulau Jawa.

Peta sifat tanah taksiran dan akurasinya bisa dibuat menggunakan model tanah-lanskap seperti peta pH tanah di Kabupaten Subang. Peta-peta ini menjadi bahan masukan dalam penyusunan rekomendasi pemupukan, juga menjadi peta petunjuk untuk pengumpulan data selanjutnya. Menggunakan pendekatan ini, peta sifat tanah bisa dibuat dengan cepat dan murah dan peta status hara bisa diturunkan secara dinamis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian melalui beasiswa yang diterima oleh penulis pertama. Atas dukungan dana ini diucapkan terima kasih. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada penelaah (*reviewer*) atas saran dan masukannya untuk perbaikan tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Bui, E. 2007. A review of digital soil mapping in Australia. Pp. 25-37. *In* P. Lagacherie, A.B. McBratney and M. Voltz (*Eds.*) *Digital Soil Mapping: An Introductory Perspective*. Developments in Soil Science, volume 31. Elsevier B.V.
- Hewitt, A.E. 1993. Predictive modelling in soil survey. *Soil and Fertilizer* 56:305-314.
- Lagacherie, P. and A.B. McBratney. 2007. Spatial soil information systems and spatial soil inference systems: perspectives for digital Soil mapping. Pp 3-22. *In* P. Lagacherie, A.B. McBratney, M. Voltz (*Eds.*). *Digital Soil Mapping: An Introductory Perspective*. Elsevier, The Netherland.
- McKenzie, N.J. and P.J. Ryan. 1999. Spatial prediction of soil properties using environmental correlation. *Geoderma* 89:67-94.
- Scull, P., J. Franklina, O.A. Chadwick, and D. McArthur. 2003. Predictive soil mapping: a review. *Progress in Physical Geography* 27(2):171-197.
- Sulaeman, Y., B. Minasny, A.B. McBratney, A. Sutandi, B. Barus, and M. Sarwani. 2012. Soil-landscape models to predict soil pH variation at a regional scale in Java, Indonesia. *In* B. Minasny, B.P. Malone, A.B. McBratney (*Eds.*). *Digital Soil Assesment and Beyond*. CRC Press.
- Wilding, L.P. and L.R. Dress. 1983. Spatial variability and pedology. Pp. 83-116. *In* L.P. Wilding, N.E. Smeck, G.F. Hall (*Eds.*) *Pedogenesis and Soil Taxonomy I: Concepts and Interaction*. Amsterdam: Elsevier.