

Perkembangan dan Strategi Percepatan Pemetaan Sumberdaya Tanah di Indonesia

Development and Acceleration Strategy of Soil Resources Mapping In Indonesia

¹Sukarman dan Sofyan Ritung

¹ Peneliti Badan Litbang Pertanian di Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Jl. Tentara Pelajar No. 12, Bogor 16114, e-mail: sukamandr@yahoo.co.id

Diterima 22 Februari 2013; Disetujui dimuat 4 April 2013

Abstrak. Pembangunan pertanian Indonesia yang sangat pesat, menuntut penyediaan data/informasi sumberdaya tanah yang semakin banyak dan cepat. Berkaitan dengan hal tersebut diperlukan percepatan penyediaan data/informasi sumberdaya tanah pada tingkat semi detail atau lebih besar, melalui pengembangan metodologi yang lebih cepat, efektif, dan efisien. Pemetaan tanah di Indonesia pada berbagai tingkat pemetaan atau skala, telah mengikuti perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi mutakhir baik yang menyangkut identifikasi dan karakterisasi tanah maupun dalam teknologi delineasi satuan peta. Strategi yang dapat digunakan untuk mempercepat dan meningkatkan kualitas pemetaan tanah di Indonesia adalah sebagai berikut: (a) Penggunaan peralatan yang mutakhir, (b) Pemetaan tanah semi detail sistematis menggunakan metode pemetaan tanah digital (*digital soil mapping*) dibantu dengan teknik penginderaan jauh yang dipadukan dengan *digital elevation model*, (c) Pemetaan tanah detail yang dilakukan pada daerah yang tidak mempunyai data sebelumnya dengan menggunakan grid sistem fleksibel, dan (d) Penggunaan metode pemetaan dengan memanfaatkan data base tanah sebagai data warisan.

Kata kunci : Percepatan / Pemetaan Tanah / Indonesia

Abstract. Rapid development of Indonesia's agricultural sector requires the provision of data/information on agricultural land resources more quickly. In relation to that, it requires the acceleration of provision of data/information on land resources at semi detail level or greater through the development of methodologies that are faster, effectively and efficiently. Mapping of land resources in Indonesia at various levels of mapping or scale have followed the development of cutting-edge science and technology concerning both the identification and characterization of land resources and the technology of mapping unit delineation. Strategies that can be used to accelerate and improve the quality of soil mapping in Indonesia are as follows: (a) the use of sophisticated equipment, (b) semi-detailed soil mapping using a systematic method of digital soil mapping assisted by remote sensing techniques combined with DEM, (c) detailed soil mapping in the area which does not has any previous data using a flexible grid system, and (d) the use of the mapping methods by using database as legacy data.

Keywords : Acceleration / Soil Mapping / Indonesia

PENDAHULUAN

Sumberdaya tanah merupakan sumberdaya alam yang semakin terbatas (*finite*) namun sangat dibutuhkan bagi kehidupan manusia. Selain untuk pertanian, sumberdaya tanah banyak dibutuhkan untuk berbagai kepentingan termasuk untuk pengembangan/pembangunan non pertanian. Pada sektor pertanian khususnya untuk peningkatan produksi, permasalahan sumberdaya tanah dapat dikaitkan dengan tujuan untuk intensifikasi atau peningkatan produktivitas dan ekstensifikasi atau perluasan areal. Permasalahan tersebut dapat terjadi secara terpisah maupun secara bersama-sama.

Dalam program intensifikasi atau peningkatan produktivitas, Las *et al.* (2006) menyatakan bahwa

permasalahan sumberdaya tanah yang dapat mengancam keberhasilan pembangunan sektor pertanian khususnya yang berkaitan dengan peningkatan produktivitas adalah: (1) stagnasi dan pelandaian produktivitas akibat kendala teknologi dan input produksi, (2) instabilitas produksi akibat serangan hama penyakit dan cekaman iklim, (3) penurunan produktivitas akibat degradasi sumberdaya tanah dan air, serta penurunan kualitas lingkungan.

Berbagai permasalahan tersebut di atas bersifat dinamik dan kompleks. Kegiatan monitoring perubahan karakter sumberdaya tanah dalam kaitannya dengan sifat tanah, iklim, dan air perlu dilakukan secara rutin. Menurut Sulaeman (2011), monitoring terhadap perubahan sifat-sifat tanah dalam kaitannya dengan aneka fungsi tanah perlu dilakukan secara

temporal, spasial dan vertikal. Monitoring temporal memantau dinamika perubahan sifat tanah berdasarkan waktu; monitoring spasial memantau dinamika perubahan hara berdasarkan keragaman lanskap dan monitoring vertikal memantau dinamika sifat tanah berdasarkan kedalaman tanah.

Upaya sektor pertanian untuk perluasan areal dihadapkan kepada terbatasnya tanah yang sesuai untuk pertanian dan persaingan penggunaan dengan bidang non pertanian. Tanah subur umumnya terletak di sekitar gunung berapi, baik di Jawa, Sumatera, Bali, Nusa Tenggara dan Sulawesi, namun hampir semua tanah tersebut sudah digunakan untuk usaha pertanian maupun non pertanian. Selain itu, daerah yang mempunyai tanah yang subur, umumnya dihuni oleh penduduk yang sangat padat, sehingga tanah yang dapat digunakan untuk pertanian per kepala keluarga semakin sempit. Hal tersebut semakin dipersempit dengan semakin berkembangnya pemukiman, dan sarana serta prasarana penunjang lainnya. Pengembangan sarana transportasi (darat dan udara), serta fasilitas umum lainnya sangat banyak menggunakan tanah-tanah subur yang ada terutama di Pulau Jawa.

Tanah-tanah yang tidak subur atau marjinal yang sebelumnya tidak banyak digunakan untuk kegiatan pertanian atau dilerantarkan, sekarang sebagian besar sudah dimanfaatkan untuk pertanian. Untuk mengejar produktivitas yang tinggi sentuhan teknologi pengelolaan tanah dan tanaman menjadi syarat utama yang perlu dilakukan. Pemilihan komoditas pertanian yang sesuai pada tanah marjinal tetapi mempunyai nilai ekonomis tinggi (kelapa sawit dan karet) sangat mendorong dimanfaatkan tanah marjinal menjadi tanah pertanian khususnya perkebunan. Tanah-tanah ini sekarang menjadi "rebutan" untuk pembangunan dan pengembangan berbagai sektor (pertanian, kehutanan, pertambangan, dan perhubungan), serta pembangunan sarana dan prasarana lainnya.

Berhubung sumberdaya tanah diperlukan oleh berbagai kepentingan, maka diperlukan perencanaan tataguna lahan yang mempertimbangkan berbagai aspek yang mencakup aspek sumberdaya tanah, sumberdaya genetik, dan sumberdaya iklim dan air. Semua aspek tersebut harus diintegrasikan dengan aspek sosial, ekonomi dan lingkungan hidup sehingga dapat memfasilitasi berbagai konflik penggunaan lahan yang pada akhirnya dapat mengoptimalkan pemanfaatan sumberdaya tanah (Kasryno dan Soeparno 2011). Perencanaan penatagunaan lahan

perlu didasarkan pada kemampuan atau kesesuaian lahannya. Kemampuan/ kesesuaian lahan tersebut harus didasarkan pada data sumberdaya tanah yang rasional dan handal (*reliable*), yaitu data yang baru dan akurat. Salah satu bentuk data dan informasi sumberdaya tanah adalah peta tanah. Peta ini dihasilkan melalui inventarisasi sumberdaya tanah yang dikenal sebagai survei dan pemetaan tanah.

Cambule *et al.* (2013) mengatakan bahwa pengelolaan tanah yang efektif memerlukan pengetahuan tentang data dan informasi tanah serta pola penyebarannya secara spasial dalam suatu lanskap, sehingga keputusan penatagunaan lahan dapat dipilih secara tepat, cepat dan efisien. Pada masa lampau data dan informasi sumberdaya tanah diperoleh melalui survei dan pemetaan tanah yang pelaksanaannya memakan waktu yang cukup lama dan biaya yang mahal. Hal ini terjadi karena metode pemetaan tanah lebih mengutamakan pengamatan di lapangan daripada analisis secara deskwork, sehingga dilakukan melalui penjelajahan pada seluruh daerah yang dipetakan dan memerlukan jumlah pemetaan tanah yang cukup banyak.

Masalah utama penyediaan data sumberdaya tanah di Indonesia adalah bahwa peta tanah pada tingkat semi detail atau lebih besar, baru selesai kurang dari 20%, sebagian besar yang belum dipetakan terutama di kawasan timur Indonesia yang mempunyai potensi yang cukup besar untuk pengembangan pertanian. Selain itu, tenaga pelaksana peneliti maupun teknisi semakin terbatas karena banyak yang sudah pensiun. Di sisi lain, penerimaan pegawai yang mempunyai keahlian di bidang survei dan pemetaan tanah sulit dilakukan karena masalah kebijakan pemerintah dalam penerimaan pegawai negeri yang sangat dibatasi. Karena tuntutan pembangunan pertanian yang sangat pesat, tuntutan penyediaan data/informasi sumberdaya tanah pertanian semakin banyak dan cepat. Berkaitan dengan hal tersebut maka diperlukan percepatan penyediaan data/informasi sumberdaya tanah pada tingkat semi detail atau lebih besar, melalui pengembangan metodologi yang lebih cepat, efektif dan efisien berdasarkan ketersediaan sumberdaya yang ada.

PETA TANAH DAN PETA SATUAN LAHAN

Peta tanah adalah peta yang menggambarkan penyebaran jenis-jenis tanah di suatu daerah. Pada peta ini terdapat legenda yang secara singkat menerangkan satuan tanah dan faktor-faktor lingkungannya dari masing-masing satuan peta tanah, serta dilengkapi

dengan buku laporan yang memuat uraian-uraian yang lebih lengkap. Pada dasarnya peta tanah dibuat untuk tujuan pertanian maupun non pertanian seperti dalam bidang perikanan dan pengembangan daerah rekreasi (Hardjowigeno 1995).

Peta tanah dibuat untuk tujuan tertentu, sehingga peta yang dihasilkan dibuat pada skala peta tertentu. Semakin detil skala peta, maka data/informasi yang disajikan semakin rinci. Secara spasial penyebaran dari masing-masing satuan peta tanah yang digambarkan juga semakin rinci menurut ukuran luasnya. Kerincian dari data/informasi yang dihasilkan sangat ditentukan oleh intensitas pengamatan di lapangan dan skala peta. Atas dasar tersebut, Soekardi *et al.* (1989) telah membagi jenis peta tanah di Indonesia yang dilaksanakan oleh Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat (nama pada waktu itu) atau Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan

Pertanian (nama sekarang) ke dalam tujuh jenis peta tanah seperti yang tersaji dalam Tabel 1. Beberapa contoh jenis peta tanah disajikan dalam Gambar 1-3.

Jenis peta-peta tersebut ditentukan oleh peta dasar yang digunakan pada saat operasional lapangan, dan didasarkan pada berapa kerapatan pengamatan tanah per satuan luas atau intensitas pengamatannya. Cara penempatan pengamatan tanah dapat dilakukan secara grid sistematis maupun grid fleksibel dengan ketentuan harus memenuhi syarat kerapatan minimum untuk setiap jenis peta yang direncanakan. Dasar pembeda utama yang digunakan dalam delineasi satuan peta tanah adalah unsur satuan tanah yang terdiri atas klasifikasi tanahnya dan sifat-sifat tanah lainnya. Delineasi satuan peta tanah dilakukan secara manual dari peta topografi atau interpretasi dari potret udara dengan bantuan peta geologi dan peta iklim.

Tabel 1. Jenis peta tanah dan satuan peta tanah di Indonesia

Table 1. Level of soil map and soil map unit in Indonesia

Jenis peta	Skala	Satuan peta
Super Detail	$\geq 1: 5.000$	Seri dan fase (lereng, tekstur lapisan atas)
Detil	1: 5.000 - 10.000	Seri dan fase (lereng, tekstur lapisan atas)
Semi detil	1: 25.000 - 50.000	Family/seri, bentuk wilayah (fase), bahan induk
Tinjau Mendalam	1: 50.000 - 100.000	Subgroup, bentuk wilayah, fisiografi, bahan induk
Tinjau	1: 100.000 - 500.000	Great group, bentuk wilayah, fisiografi, bahan induk
Eksplorasi	1: 1.000.000 - 2.500.000	Ordo, bentuk wilayah, bahan induk
Bagan	$\leq 1: 2.500.000$	Ordo

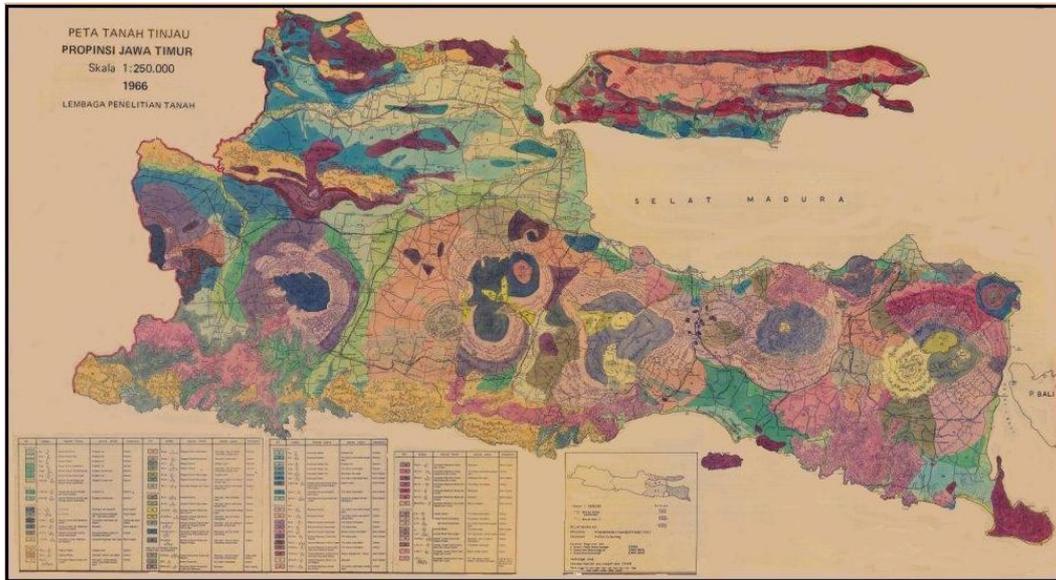
Sumber: Soekardi *et al.* (1989)



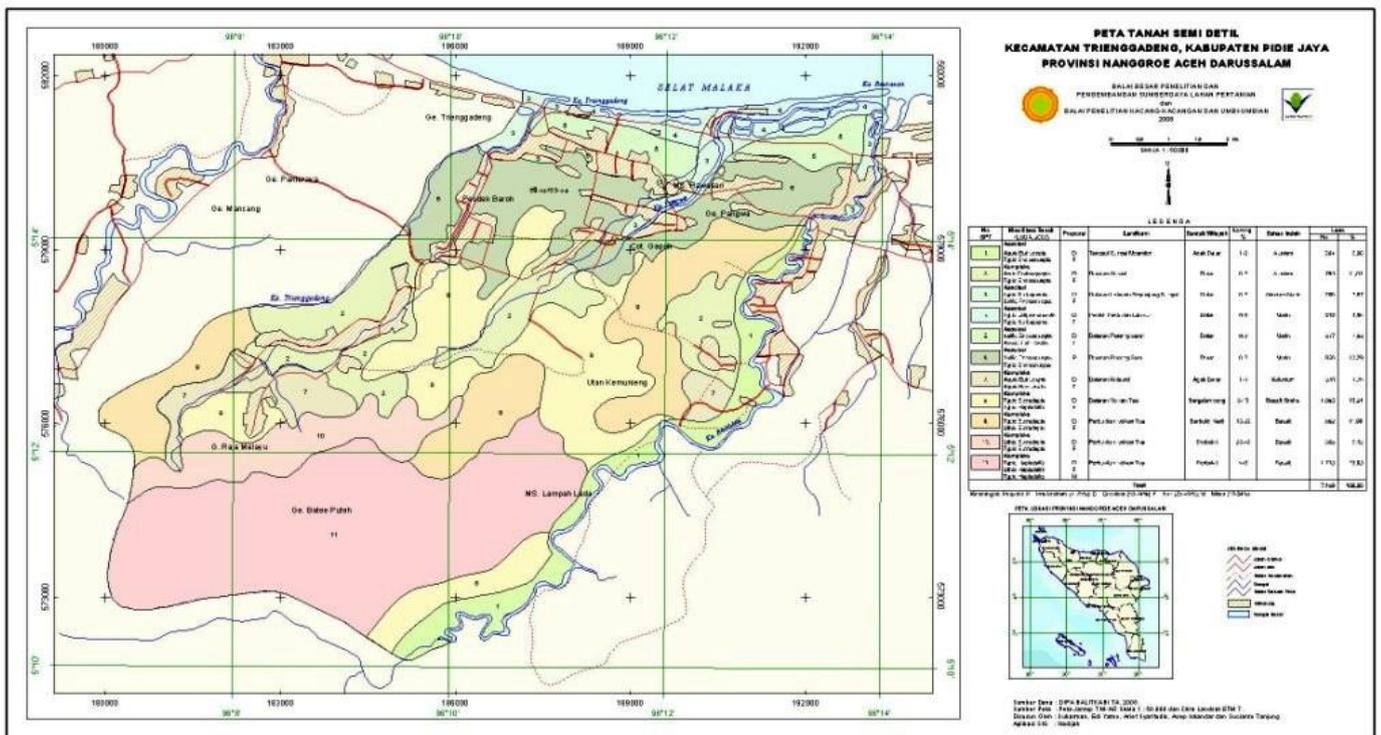
Sumber : Peta Tanah Eksplorasi Indonesia, skala 1:2.500.000 (Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat 2000)

Gambar 1. Peta Tanah Eksplorasi Indonesia

Figure 1. Exploration Soil Map of Indonesia



Gambar 2. Peta Tanah Tinjau, Provinsi Jawa Timur
 Figure 2. Reconnaissance Soil Map, East Java Province



Gambar 3. Peta Tanah Semi Detail Kecamatan Trienggading, Kabupaten Pidie Jaya, Provinsi Aceh
 Figure 3. Semi Detail Soil Map of Trienggading District, Pidie Jaya Regency, Aceh Province

Delineasi merupakan suatu bagian dari proses pembuatan peta, yaitu kegiatan yang berhubungan dengan penarikan batas satuan-satuan peta. Oleh karena itu, masalah yang dibicarakan meliputi aspek pembentukan satuan peta tanah yang dihubungkan dengan sistem klasifikasi tanah. Delineasi satuan peta tanah merupakan hal yang cukup sulit, karena

perbedaan tanah di lapangan jarang dijumpai dalam batas-batas yang tegas dan jelas tetapi berangsur melalui suatu peralihan yang lebar.

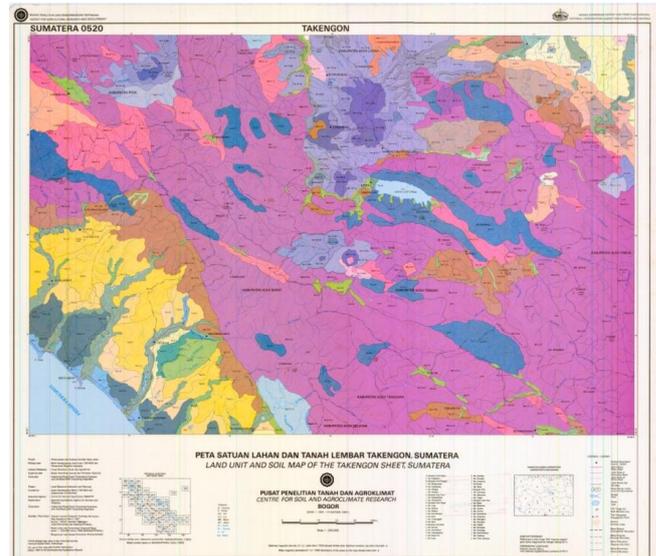
Metode delineasi yang digunakan dalam pemetaan tergantung dari metode pemetaan yang digunakan dan jenis peta tanah (skala peta) yang dibuat. Dalam pemetaan tanah detail sampai semi

detail metode deliniasi satuan peta tanah umumnya dilakukan atas dasar perbedaan hasil klasifikasi setiap pengamatan atau kelompok hasil pengamatan. Garis batas antar satuan peta dibuat diantara dua titik pengamatan yang mempunyai klasifikasi berbeda.

Dalam pemetaan tanah detail, deliniasi satuan peta tanah yang benar dilakukan di lapangan berdasarkan sifat-sifat tanah pada tingkat klasifikasi yang digunakan, dan juga faktor lingkungannya. Garis batas antar satuan peta tanah ditarik dengan memperhatikan berbagai faktor yang terlihat di lapangan yang diperkirakan berpengaruh terhadap proses pembentukan tanah selain sifat-sifat tanahnya itu sendiri, misalnya perubahan kelerengan, penggunaan lahan, atau vegetasi. Oleh karena itu, garis batas yang ditarik di antara dua titik pengamatan yang berbeda klasifikasinya tidak mesti harus ditengah-tengah. Sementara itu, dalam pemetaan semi detail deliniasi dilakukan dari peta topografi atau potret udara yang didukung oleh peta geologi atau peta litologi dan peta iklim.

Untuk mempercepat kegiatan pemetaan di lapangan agar lebih efisien dan ekonomis, maka sejak tahun 1977 melalui kerjasama FAO dan Lembaga Penelitian Tanah (sekarang BBSDLP) telah dimulai pemetaan dengan pendekatan *land unit* untuk pemetaan sumberdaya lahan di DAS Cimanuk skala 1:100.000 (Dent *et al.* 1977). Pendekatan yang sama dilakukan di DAS Solo Bagian Atas pada skala 1:25.000 tahun 1980 dan DAS Sekampung skala 1:100.000 tahun 1981 untuk Survei dan Pemetaan Sumberdaya Lahan untuk Perencanaan Penggunaan Lahan (Kips *et al.* 1981). Kedua kegiatan tersebut menggunakan *land unit* sebagai wadah satuan peta yang berisi satuan landform berdasarkan *Catalogue of Landform for Indonesia* (Desaunettes 1977). Kemudian aplikasinya pada pemetaan tanah tinjau di Sulawesi Tenggara I dan II (tahun 1982 dan 1983) serta Sumatera Barat I dan II (tahun 1982 dan 1983).

Pada pemetaan sumberdaya lahan di Seluruh Sumatera melalui LREP-I Project, morfologi bentang alam atau lanskap (*landscape*) dipilih menjadi kerangka dasar dalam penyusunan satuan peta tanah (Hidayat dan Darul 1991). Satuan peta tanah disusun berdasarkan pada morfologi lanskap melalui pendekatan satuan lahan (*land unit*). Satuan lahan merupakan suatu tingkatan kategori yang tetap dalam suatu hierarki geomorfologi (Buurman and Balsem 1990). Oleh karena itu, peta yang dihasilkan tidak disebut sebagai Peta Tanah tetapi Peta Satuan Lahan



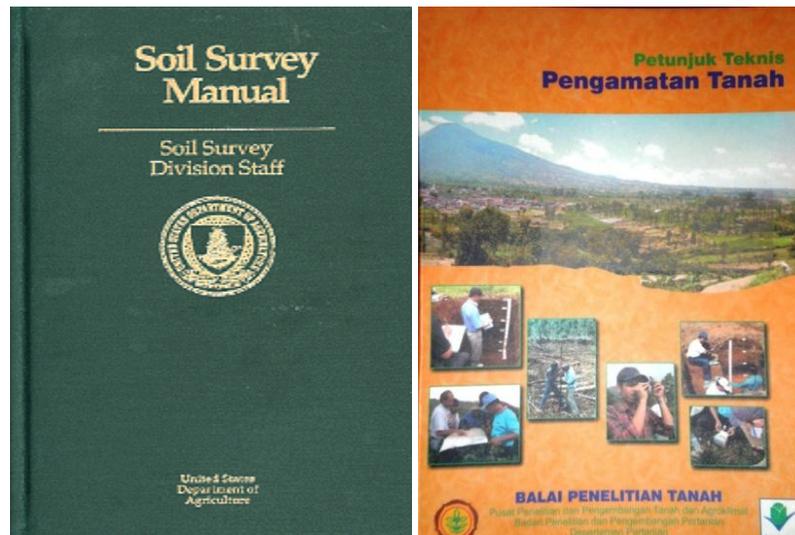
Gambar 4. Peta Satuan Lahan dan Tanah daerah Takengon, Provinsi Aceh

Figure 4. Land Unit and Soil Map of Takengon area, Aceh Province

dan Tanah. Unsur-unsur penyusun satuan peta ini adalah landform, litologi, bentuk wilayah/lereng, tingkat torehan, satuan tanah dan keterangan tambahan berupa elevasi. Satuan tanah yang digunakan adalah sistem klasifikasi Taksonomi Tanah pada kategori Great group. Pemetaan Tanah Tinjau di Sulawesi Tenggara yang dilakukan oleh Marsoedi (1981) menggunakan pendekatan *land unit* yang dianalisis dari citra landsat MSS untuk deliniasi satuan petanya. Hal yang serupa juga telah dilakukan oleh Wahyunto *et al.* (1988) dalam pemetaan tanah tinjau di daerah Sesayap-Sebakung, Kalimantan Timur dan oleh Deri *et al.* (1988) di Kotabumi Lampung. Demikian juga kegiatan pemetaan tanah tinjau di Sumatera juga menggunakan pendekatan demikian. Gambar 4 merupakan salah satu contoh Peta Sumberdaya Lahan dan Tanah hasil pemetaan dengan pendekatan *land unit*.

PERKEMBANGAN PEMANFAATAN TEKNOLOGI UNTUK PEMETAAN TANAH

Untuk menunjang kelancaran pemetaan tanah, baik untuk tujuan identifikasi, karakterisasi sifat-sifat tanah serta klasifikasinya maupun untuk tujuan penggambaran penyebaran secara spasial (deliniasi) satuan peta selalu memanfaatkan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi sesuai dengan perkembangan zaman.



Gambar 5. Buku pedoman survei dan pengamatan tanah dari USDA (kiri) dan Balai Penelitian Tanah (kanan) yang saat ini digunakan dalam identifikasi tanah di lapangan

Figure 5. *Manual for survey and soil observation by USDA (left) and Manual for field observation on soil identification by Soil Research Institute*

Tata cara pengamatan tanah di lapangan yang digunakan di Indonesia baru dikenal secara luas setelah terbitnya buku *Soil Survey Manual* (Soil Survey Staff, 1951). Dalam buku tersebut disajikan secara komprehensif dan detail tata cara survei tanah, mulai dari survei tanah detail sampai survei tanah eksplorasi. Teknik pemetaan yang tercantum dalam buku tersebut banyak diacu oleh para pemeta tanah di Indonesia yang kemudian dituangkan oleh para pemeta tanah di Lembaga Penelitian Tanah dalam buku *Pedoman Pengamatan Tanah di Lapang* (Staf Pemetaan Tanah LPT, 1969). Tata-tata cara identifikasi dan deliniasi masih dilakukan secara manual. Deliniasi satuan peta menggunakan bantuan peta topografi, peta geologi dan peta iklim.

Dalam metode identifikasi tanah di lapangan, teknologi dan penggunaan peralatan lapang yang digunakan sebagian tidak banyak mengalami perubahan yang mendasar, perkembangan peralatan survei terutama yang sifatnya untuk memperbaiki tingkat ketelitian dan ketepatan peralatan yang ada. Beberapa peralatan yang bersifat manual sudah beralih memanfaatkan teknologi digital. Penggunaan GPS (*Global Positioning System*) merupakan peralatan canggih yang sekarang sudah menjadi suatu keharusan untuk digunakan dalam pemetaan tanah. Tingkat ketelitian GPS juga semakin lama semakin baik dengan harga yang relatif murah. Diharapkan penggunaan peralatan

ini akan meningkatkan ketelitian dan ketepatan dalam menentukan posisi suatu titik pengamatan di lapangan dan di dalam peta.

Kegiatan identifikasi tanah di lapangan menghasilkan data hasil pengamatan lapangan. Intensitas pengamatan sangat menentukan tingkat ketelitian peta tanah yang dihasilkan. Semakin tinggi intensitas pengamatan, maka jumlah pengamatan per satuan luas semakin banyak, sehingga penjelajahan lapang juga harus dilakukan dengan lebih lama lagi. Dampak dari hal ini semua akan berkonsekuensi terhadap biaya yang dilakukan akan semakin tinggi. Menurut Dent dan Young (1981) terdapat hubungan yang erat antara intensitas pengamatan dengan biaya survei, semakin tinggi intensitas pengamatan semakin besar biaya survei dan pemetaan tanah.

Metode identifikasi tanah di lapang sampai saat ini secara terus menerus diperbaiki dan direvisi mengikuti perkembangan ilmu tanah yang semakin maju serta tuntutan dari pengguna yang menginginkan buku pedoman yang semakin baik sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Buku pedoman yang dijadikan pegangan identifikasi tanah di lapang diharapkan dapat digunakan sebagai buku panduan yang dapat mengikuti perkembangan sistem klasifikasi tanah yang digunakan.

Sebagai jawaban atas tuntutan pembaharuan tentang buku pedoman metode survei dan pemetaan



Gambar 6 . Aktivitas pengamatan tanah di lapangan
Figure 6. Field observation on soil identification

tanah, maka buku Pedoman Pengamatan Tanah di Lapang, kemudian direvisi ulang pada tahun 1994 dengan judul Panduan Survei Tanah (Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat 1994). Tata cara dan sifat-sifat yang diamati di lapangan tidak banyak berbeda dengan yang dikemukakan dalam Pedoman Pengamatan Tanah di Lapang sebelumnya. Beberapa tambahan dan penyempurnaan dilakukan untuk menyesuaikan format daftar isian data dengan format yang dikehendaki untuk pengisian data yang terkomputerisasi dalam rangka penyusunan data base sumberdaya tanah/lahan. Selain itu, beberapa kriteria tambahan dari beberapa sifat-sifat tanah diadopsi dari buku *Guidelines for Soil Profile Description* (FAO 1977).

Buku cara pengamatan tanah di lapang terus diperbaiki dan disempurnakan. Tahun 2004, buku pedoman pengamatan tanah di lapang kembali direvisi dengan perubahan-perubahan yang didasarkan pada buku-buku pedoman pengamatan tanah terbaru diantaranya adalah *Soil Survey Manual* (Soil Survey Staff 1983 dan 1990) serta *National Soil Handbook* (Soil Conservation Service 1983 dan 1992). Buku tersebut diterbitkan dengan judul Petunjuk Teknis Pengamatan Tanah (Balai Penelitian Tanah 2004). Pada tahun 2013, buku Pedoman Pemetaan Tanah diharapkan akan dapat segera diterbitkan oleh Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian.

Delineasi/penarikan batas satuan peta tanah merupakan hal yang banyak dibahas dan dikaji. Pada pemetaan konvensional delineasi satuan peta tanah didasarkan kepada pengelompokkan satuan taksonomik

tanah yang sama yang penarikkan batasnya dibantu oleh peta topografi, peta geologi dan peta iklim. Pada survei ini biasanya didahului dengan identifikasi sifat-sifat eksternal, selanjutnya diikuti identifikasi internal dan kemudian didelineasi satuan peta tanahnya. Aspek-aspek eksternal meliputi: relief, bentuk wilayah/lereng, fisiografi dan bahan induk, sedangkan aspek-aspek internal meliputi karakteristik morfologi tanah.

Penggunaan potret udara untuk membantu delineasi satuan secara nyata mulai digunakan sejak tahun 1975, meskipun sudah mulai diperkenalkan oleh Soeprahardjo sejak tahun 1954 yang ditulis dalam Buletin Teknik Pertanian Tahun II, No. 4 (Soeprahardjo 1954). Pemanfaatan potret udara dalam delineasi satuan peta tanah lebih berkembang lagi sejak diterbitkannya *Catalogue of Landform for Indonesia* (Desaunettes 1977) yang memuat dasar tentang pembagian morfologi landscape atau landform untuk pemetaan tanah. Penggunaan potret udara dalam pemetaan tanah didasari oleh pemahaman bahwa pada pemetaan tanah berskala kecil, batas-batas penyebaran tanah sulit ditentukan. Sebaliknya batas-batas satuan lahan yang didasarkan pada morfologi permukaan bumi atau landform tampak lebih jelas. Batas-batas satuan lahan tersebut dapat dilakukan melalui interpretasi potret udara.

Penggunaan data penginderaan jauh dari satelit baik berupa sensor optik maupun radar telah banyak digunakan untuk pemetaan tanah dan pemetaan bentang lahan untuk skala regional dan skala kecil. Penginderaan jauh lebih bermanfaat dalam hal

meningkatkan kemampuan cakupan spasial. Sifat-sifat tanah telah dapat diidentifikasi dan disimpulkan dari data optik menggunakan metode fisik berbasis empiris. Selain itu penginderaan jauh optik maupun radar dapat mendukung interpolasi spasial data tanah pada wilayah yang masih jarang datanya (Mulder *et al.* 2011).

KUALITAS PETA TANAH

Peta tanah adalah suatu produk pemetaan yang berisi informasi tentang sifat-sifat tanah yang ada di dalamnya. Agar peta tersebut dapat digunakan dengan tepat oleh pengguna, maka informasi tersebut di atas haruslah tepat dan benar sesuai dengan kaidah-kaidah pada berbagai tingkat pemetaan tanah. Jika informasi tersebut tidak tepat dan tidak benar maka dapat merugikan pengguna yang akhirnya produk tersebut tidak akan digunakan dan tidak dipercaya. Oleh karena itu, mempertahankan kebenaran dan ketepatan informasi sifat-sifat tanah dalam suatu peta tanah merupakan suatu keharusan. Hal tersebut juga perlu ditekankan bahwa menurut Undang-undang No. 4 tahun 2011, tentang Informasi Geospasial, apabila suatu peta berisi informasi yang tidak benar dan merugikan orang lain, maka pembuat peta dapat dipidana sesuai dengan tingkat kesalahannya.

Ketepatan dan kebenaran tentang informasi sifat-sifat tanah dalam suatu peta tanah disebut sebagai kualitas peta tanah. Pernyataan klasik tentang kriteria kualitas peta tanah dinyatakan oleh Beckett (1968) bahwa peta tanah yang berkualitas baik ditentukan oleh ketelitian, ketepatan serta kemurnian satuan peta tanahnya. Sementara itu Dent dan Young (1981) menyatakan bahwa setiap satuan peta tanah detail harus memperlihatkan: (1) perbedaan yang nyata tiap satuan peta dalam sifat penentu satuan tanahnya dan (2) perbedaan respon terhadap beberapa tingkat pengelolaan.

Peta tanah teliti adalah peta tanah yang mempunyai keragaman (variabilitas) sifat-sifat tanah yang kecil pada setiap satuan peta tanahnya (Beckett 1968). Menurut Dent dan Young (1981) antara satuan satuan peta tanah haruslah menunjukkan perbedaan untuk interpretasinya bagi penggunaan tertentu. Peta demikian dinilai sebagai peta yang tepat. Untuk menilai derajat perbedaan antara satuan peta tanah pada suatu peta tanah perlu didasarkan pada keragaman relatif, yaitu perbandingan antara keragaman pada satuan peta

tanah dengan total keragaman pada seluruh daerah pemetaan.

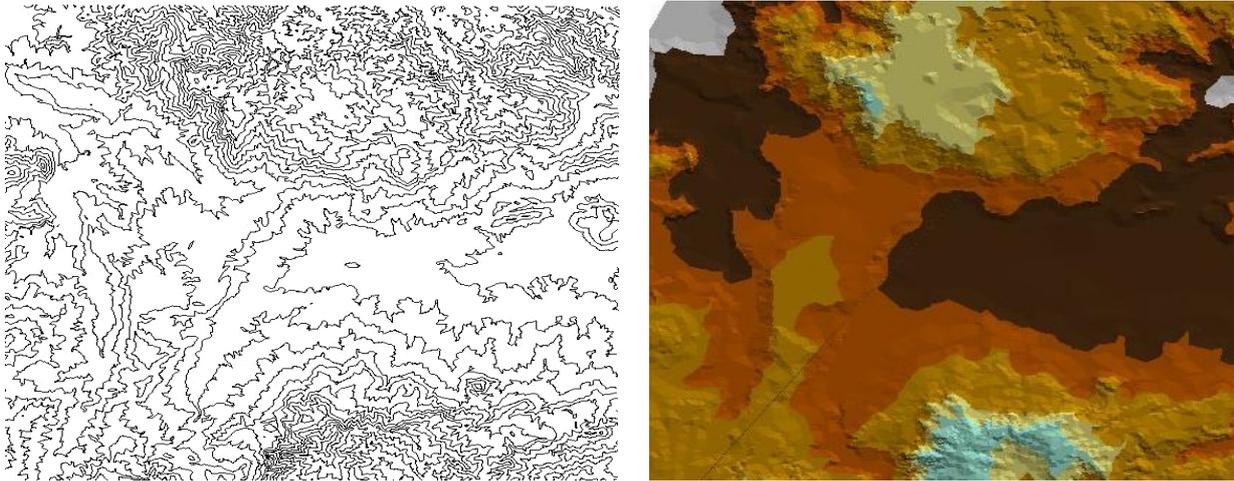
Kemurnian satuan peta tanah adalah bagian dari keadaan tanah yang sebenarnya di lapangan yang diisi oleh tanah yang ditunjukkan dalam legenda peta tanah (Chittleborough 1978). Menurut Van Wambeke dan Forbes (1986) ketentuan kemurnian di Amerika Serikat pada satuan peta tanah yang baik adalah 85% atau lebih, sedangkan sisanya berupa inklusi. Apabila inklusi yang dijumpai sifatnya lebih jelek dari tanah utama, maka inklusi yang diperbolehkan paling besar 10%. Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa kemurnian satuan peta tanah sangat menentukan kualitas peta tanah. Kemurnian satuan peta tanah haruslah tinggi sesuai dengan kaidah-kaidah pemetaan tanah, serta mempunyai keragaman sifat-sifat tanah yang rendah agar dapat diinterpretasikan dengan tepat untuk penggunaan dan pengelolaan lahannya

PEMILIHAN METODE PEMETAAN TANAH

Berdasarkan tata cara dan penggunaan jenis teknologi, pemetaan tanah setidaknya dapat dibedakan menjadi tiga jenis cara, yaitu: (1) pemetaan konvensional, (2) pemetaan dengan interpretasi penginderaan jauh, dan (3) pemetaan tanah digital.

Menurut Mangunsukardjo dan Yuniarto (1992), pemetaan tanah konvensional dimulai dengan identifikasi sifat-sifat eksternal, selanjutnya diikuti dengan identifikasi sifat-sifat internal dan kemudian dilakukan deliniasi (menarik batas) satuan peta tanah. Pemetaan tanah dengan interpretasi penginderaan jauh dimulai dengan identifikasi sifat-sifat tanah eksternal, diikuti dengan deliniasi satuan peta tanah, kemudian dilakukan identifikasi sifat-sifat tanah internal. Malone *et al.* (2012) menyatakan bahwa pemetaan tanah digital adalah pembuatan dan pengembangan sistem informasi tanah yang melibatkan kegiatan survei lapangan, kegiatan laboratorium dan metode numerik untuk mendapatkan informasi tanah yang terus menerus, baik yang spasial maupun yang non spasial.

Aspek-aspek eksternal meliputi: relief, bentuk lereng, kemiringan, kondisi drainase dan sebagainya; sedangkan aspek-aspek internal ialah sifat-sifat dan karakteristik morfologi profil tanah. Survei tanah cara konvensional banyak dilakukan dengan pendekatan parametrik, sedangkan pemetaan interpretasi penginderaan jauh dilakukan dengan pendekatan geografi, yaitu melalui analisis ekologi bentang lahan. Sementara pemetaan tanah digital menggunakan



Gambar 7. Peta kontur interval 25 meter (kiri) dan DEM yang diturunkan dari peta kontur (kanan)
 Figure 7. Interval contour map of 25 meters (left) and DEM generate from contour map (right)

gabungan pendekatan geografi dan pendekatan parametrik. Wiradisastra (1992) mengemukakan bahwa pendekatan parametrik pada umumnya cenderung menggunakan cara analisis numerik (*numerical analysis*) yang berasosiasi erat dengan analisis digital pada penginderaan jauh. Kebutuhan analisis parametrik numerik akan semakin besar bila arah pengembangan inventarisasi sumberdaya tanah berorientasi pada pengembangan database dalam bentuk sistem informasi berorientasi *Geographic Information System (GIS)*.

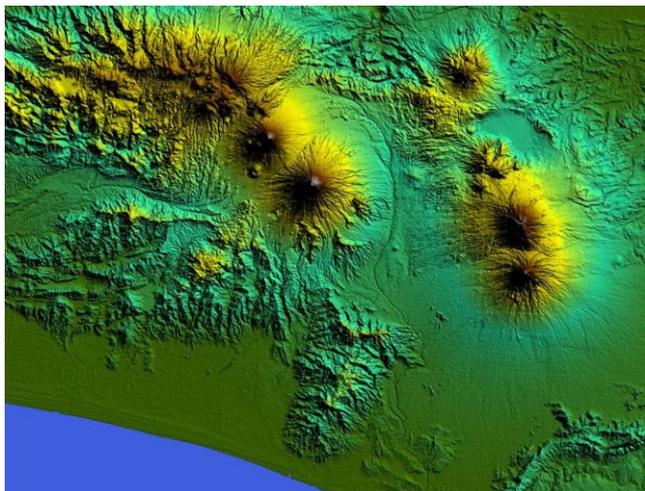
Pada pemetaan tanah konvensional, metode pemetaan tanah umumnya menggunakan metode grid, yang didasarkan titik-titik potong berbentuk persegi. Sistem grid umumnya digunakan pada daerah yang relatif datar dan informasi tentang faktor-faktor pembentuk tanah sangat sedikit. Pada pemetaan konvensional, tingkat pemetaan (skala) sangat memperhatikan intensitas pengamatan. Semakin detail tingkat pemetaan tanah, maka intensitas pengamatan semakin tinggi. Sebagai contoh Dent dan Young (1981) memberikan batasan, untuk pemetaan tanah detail (skala 1:5.000) intensitas pengamatannya adalah dua pengamatan per hektar, untuk skala 1:10.000 intensitas pengamatannya adalah satu pengamatan untuk setiap dua hektar. Untuk pemetaan tanah semi detail skala 1:25.000 intensitas pengamatannya adalah satu pengamatan untuk 12,5 ha, dan untuk skala 1:50.000 intensitas pengamatannya adalah satu per 50 ha.

Dengan berpegang pada ketentuan tentang intensitas pengamatan tersebut dan mempertimbangkan kualitas peta yang dihasilkan, maka penjelajahan lapang sangat perlu dilakukan secara menyeluruh. Hal ini jelas akan memerlukan banyak waktu dan

membutuhkan banyak surveyor. Oleh karena itu, biaya pemetaan dengan menggunakan metode ini sangat mahal. Banyak hasil penelitian dan kajian-kajian para peneliti yang membahas tentang mahalnya pemetaan tanah dengan sistem konvensional, antara lain seperti yang dikemukakan oleh Sukarman (2004), Shi *et al.* (2011); Grunwald *et al.* (2011); dan Cambule *et al.* (2013).

Penggunaan metode penginderaan jauh untuk pemetaan telah diterapkan di Indonesia sejak mulai digunakannya potret udara sejak tahun 1975. Pemetaan tanah semi detail (skala 1:50.000) yang dilakukan oleh Pusat Penelitian Tanah dalam program pembukaan lahan baru untuk transmigrasi mulai tahun 1980an telah menggunakan potret udara untuk peta dasar dan delineasi satuan peta tanah. Selanjutnya dengan semakin majunya teknologi, teknik delineasi satuan peta tanah mulai memanfaatkan citra satelit. Meskipun teknologi analisis citra secara digital dari citra satelit di Indonesia belum mampu untuk menghubungkan antara sifat-sifat tanah dengan kenampakan dalam citra satelit, namun citra satelit banyak digunakan untuk mendelineasi satuan peta tanah secara manual. Pada pemetaan tanah tingkat tinjau (skala 1:250.000) analisis citra satelit dilakukan secara visual melalui pendekatan land unit. Pemetaan Tanah Tinjau yang dilakukan di Indonesia banyak menggunakan citra satelit dengan hasil yang memuaskan.

Selain digunakan dalam pemetaan tanah tinjau, citra satelit juga pada beberapa kasus dapat dimanfaatkan untuk membantu delineasi satuan peta tanah pada tingkat semi detail, meskipun masih sangat terbatas. Penggunaan citra satelit seperti citra Landsat



Gambar 8. DEM dari *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM)

Figure 8. *DEM from Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM)

TM atau ETM, citra SPOT (*System Probatoire d'Observation de la Terre*), citra ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*) hanya sebatas melengkapi saja, delineasi satuan peta tanah masih harus tetap didasarkan pada hasil analisis dari potret udara, atau peta topografi skala 1:25.000 atau skala 1:50.000 yang dibantu oleh peta geologi. Berhubung dalam delineaasinya metode ini masih menggunakan teknik manual dan belum otomatis secara terkomputerisasi, sehingga dirasakan cukup lambat.

Berhubung mahalnya pemetaan tanah menggunakan metode konvensional, maka penggunaannya haruslah sangat selektif. Pemetaan tanah konvensional hanya digunakan pada pemetaan tanah detail pada daerah yang betul-betul tidak mempunyai data tanah, sedangkan untuk daerah berkembang yang sudah mempunyai data tanahnya pada skala yang lebih kecil maka dapat dilakukan dengan metode pemetaan tanah digital menggunakan teknik disagregasi poligon seperti yang dikemukakan oleh Sulaeman (2011). Sementara untuk daerah yang mempunyai aksesibilitas yang buruk pemetaan detail dapat dilakukan dengan metode ini seperti yang pernah dilaksanakan oleh Cambule *et al.* (2013) di Mozambik, Afrika. Selain itu, delineasi secara digital dapat juga dilakukan menggunakan *digital elevation model* (DEM) yang dapat dibuat dari peta topografi digital. Hasil penelitian yang dilakukan oleh de Bruin dan Stein (1998) di Spanyol mendapatkan bahwa DEM dengan resolusi 5 m yang dibuat dari peta topografi dapat digunakan untuk membantu delineaasi satuan peta tanah

detail untuk mewartahi klasifikasi tanah sampai tingkat seri. Sementara itu, Sukarman dan Hidayat (2005) telah membahas pemanfaatan citra satelit dan model elevasi digital untuk inventarisasi sumberdaya tanah di Indonesia. DEM dengan resolusi 30 m yang diturunkan dari peta topografi yang mempunyai interval kontur 25 m sangat baik untuk membantu mendelineasi pada skala semi detail (skala 1:50.000).

Metode lain yang dapat diterapkan dalam upaya percepatan pemetaan adalah meliputi perbaikan metode delineaasi satuan peta. Agar pelaksanaan delineaasi dapat dilakukan secara cepat dan meliputi wilayah yang luas, maka pelaksanaannya harus terkomputerisasi berbasis GIS. Delineasi satuan peta dapat memanfaatkan DEM resolusi 30 m yang bersumber dari peta kontur/Peta Rupabumi Indonesia (RBI) skala 1:25.000 - 1:50.000 atau DEM dari *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM) resolusi 30 m. Berbagai atribut landform dapat dianalisis dari DEM dan citra satelit. Menurut Smith *et al.* (2006), atribut landform, seperti kemiringan lereng, aspek lereng, kelengkungan profil lereng, dan kelengkungan kontur dapat dihitung dari model elevasi digital (DEM). Atribut tersebut adalah salah satu masukan kunci untuk survei tanah berdasarkan sistem informasi geografis (GIS). ArcGIS, dan ArcView merupakan salah satu perangkat lunak yang dapat digunakan untuk analisis atribut landform dari DEM. Sedangkan program ER Mapper dapat digunakan untuk analisis citra satelit. Dengan memadukan hasil analisis dari kedua sumber data tersebut, berbagai kelemahan dari DEM dan kelemahan dari Citra satelit dapat diminimalisir.

Pemetaan tanah digital yang sekarang sedang dikembangkan dirancang untuk menjawab berbagai kebutuhan penyediaan data sifat-sifat tanah secara dinamis dengan biaya yang relatif murah. Pendekatan ini sepenuhnya memanfaatkan kemajuan di bidang teknologi informasi, teknologi pengelolaan database, teknologi pemodelan dan teknologi geovisualisasi. Sementara merevitalisasi data tanah yang ada atau historis hasil kegiatan survei dan pemetaan tanah terdahulu (Sulaeman 2011). Meskipun teknik pemetaan tanah digital masih terus dikembangkan, tetapi teknik ini sudah dapat digunakan untuk pemutakhiran data spasial peta-peta tanah yang ada di Indonesia.

Pemetaan tanah digital menurut Sulaeman (2011) dapat diaplikasikan untuk tujuan: (1) pendetilan peta, (2) menggabungkan dua peta yang tidak nyambung (*edge matching*), (3) estimasi komposisi tanah dalam satuan lahan, dan (4) pemetaan tanah global.

Pendetilan peta dalam pemetaan tanah digital dimaksudkan untuk membuat peta tanah yang lebih detail berdasarkan data peta tanah lebih kasar yang pernah dibuat. Misalnya suatu kegiatan memerlukan peta tanah detail tetapi data yang tersedia berupa peta tanah semi detail. Dengan metode pemetaan tanah digital, hal ini bisa dilakukan, yaitu menggunakan teknik disagregasi poligon. Teknik ini didahului dengan penurunan covariate lingkungan (seperti indeks kebasahan, posisi lanskap), kemudian menganalisisnya uraian satuan peta tanah dan diakhiri dengan membuat model rule untuk mengisi pecahan-pecahan poligon. Teknik ini berupaya memaksimalkan informasi yang disajikan pemeta dalam peta tanah dan legendanya. Dalam pelaksanaan korelasi beberapa peta tanah yang sudah dibuat, sering dijumpai antara satu peta dengan yang disampingnya ternyata batas satuan peta tanah maupun isinya tidak sesuai. Teknik disagregasi poligon bisa membantu dalam menetapkan satuan peta.

Pemetaan tanah digital selain dapat digunakan untuk pemetaan tanah sistematis di dalam negeri, juga dapat dimanfaatkan untuk pemetaan tanah global (*Global Soil Mapping/GSM*). Pemetaan tanah global sangat dibutuhkan berkaitan isu-isu mutakhir saat ini diantaranya: perubahan iklim, dinamika penggunaan lahan, keanekaragaman hayati, fungsi ekosistem, siklus biogeokimia, dan kualitas sumber daya tanah dan air telah dipercepat selama dekade terakhir pada tingkat sebanding dengan pengaruh kegiatan manusia dan pertumbuhan penduduk. Grunwald *et al.* (2011) telah membahas pentingnya pemetaan tanah digital dan pemodelannya untuk tingkat benua, sebagai respon terhadap isu global saat ini. Peta tanah dunia yang ada sekarang hanya bersifat statis, tidak dapat mengikuti perkembangan berbagai permasalahan dan isu global saat ini. Tujuan dari pemetaan tanah global adalah untuk membuat peta tanah dunia dengan metode modern dengan resolusi pixel 90 x 90 m. Sifat tanah yang akan dipetakan adalah: C-organik, tekstur (atau kadar liat, debu dan pasir), pH tanah, kedalaman tanah sampai bahan induk, bobot isi tanah, kapasitas air tersedia, dan kapasitas tukar kation.

Pemetaan tanah di Indonesia, khususnya di Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian menganut pendekatan lanskap. Satuan lahan menjadi dasar batas satuan peta tanah dan di dalam satuan lahan tersebut dilakukan pendugaan komposisi satuan

tanahnya. Teknik Scorpan Krigging dapat membantu melakukan penaksiran secara kuantitatif proporsi tanah tersebut dengan cara menduga menggunakan model tanah-lanskap.

STRATEGI PERCEPATAN PEMETAAN TANAH

Berdasarkan uraian di atas, maka strategi yang dapat digunakan untuk mempercepat dan meningkatkan kualitas pemetaan tanah di Indonesia adalah sebagai berikut:

1. Peralatan survei tanah (*hardware* dan *software*) baik untuk penelitian lapangan maupun metode analisisnya agar menggunakan peralatan yang mutakhir, baik untuk tujuan identifikasi dan karakterisasi tanah maupun deliniasi satuan peta tanah.
2. Untuk percepatan pemetaan tanah semi detail sistematis, pada daerah yang mempunyai data tanah warisannya cukup banyak, agar menggunakan metode pemetaan tanah digital (*digital soil mapping*). Penggunaan metode ini dapat dibantu dengan teknik penginderaan jauh yang dipadukan dengan DEM yang diturunkan dari peta topografi atau SRTM resolusi 30 m.
3. Pemetaan tanah detail yang dilakukan pada daerah yang tidak mempunyai data sebelumnya dapat menggunakan teknik *grid* sistem dengan *grid* sistem fleksibel.
4. Memanfaatkan data base tanah sebagai data warisan (*legacy data*) sehingga dapat mengurangi jumlah pengamatan tanah dan jumlah contoh yang harus diambil.

Dengan menggunakan strategi tersebut di atas, maka komponen:

1. Jumlah sumberdaya manusia yang dilibatkan dalam kegiatan dapat dikurangi.
2. Jumlah orang hari (OH) di lapangan dapat dikurangi.
3. Jumlah contoh yang diambil dapat dikurangi.
4. Areal yang diliput lebih luas.
5. Analisis satuan lahan lebih cepat, karena menggunakan komputer.
6. Kualitas peta tanah yang dihasilkan tetap tinggi.

KESIMPULAN DAN SARAN

1. Tuntutan pembangunan pertanian yang sangat pesat dan tuntutan penyediaan data/informasi sumberdaya tanah pertanian yang semakin banyak dan cepat, memerlukan percepatan penyediaan data/informasi sumberdaya tanah pada tingkat semi detail atau lebih besar, melalui pengembangan metodologi yang lebih cepat, efektif dan efisien berdasarkan ketersediaan sumberdaya yang ada.
2. Teknologi pemetaan sumberdaya tanah di Indonesia telah mengikuti perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi mutakhir, baik yang menyangkut identifikasi dan karakterisasi sumberdaya tanah maupun dalam teknologi deliniasi satuan peta.
3. Pemetaan tanah digital dapat diaplikasikan untuk tujuan: (1) Pendetilan peta pada daerah yang sudah banyak mempunyai database sumberdaya tanahnya, (2) Untuk tujuan korelasi dalam hal menggabungkan dua peta yang tidak sinkron (*edge matching*), (3) Membantu estimasi komposisi tanah dalam satuan lahan, dan (4) Pelaksanaan pemetaan tanah global.
4. Strategi yang dapat digunakan untuk mempercepat dan meningkatkan kualitas pemetaan tanah di Indonesia adalah sebagai berikut:
 - a. Peralatan survei tanah (*hardware* dan *software*) baik untuk penelitian lapangan maupun untuk teknik analisis agar menggunakan peralatan yang mutakhir.
 - b. Untuk percepatan pemetaan tanah semi detail pada daerah yang mempunyai data warisan (*database*) cukup banyak, agar menggunakan metode pemetaan tanah digital (*digital soil mapping*). Penggunaan metode ini dapat dibantu dengan menggunakan teknik penginderaan jauh yang dipadukan dengan DEM.
 - c. Pemetaan tanah detail yang dilakukan pada daerah yang tidak tersedia database tanah dapat menggunakan grid sistem fleksibel.
 - d. Pemanfaatan *database* tanah yang ada (data warisan) dan penyusunan *database* tanah yang lebih lengkap merupakan bagian strategi dalam upaya meningkatkan kualitas peta tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Balai Penelitian Tanah. 2004. Petunjuk Teknis Pengamatan Tanah. Balai Penelitian Tanah, Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Departemen Pertanian, Hlm 117.
- Balai Penjelidikan Tanah. 1960. Peta Tanah Eksplorasi Jawa dan Madura, skala 1:1.000.000. Balai Penjelidikan Tanah, Departemen Pertanian.
- Beckett, P.H.T. 1968. Methods and scale of land resources surveys, in relation to precision and cost. *In*. Stewart G.A (*Eds.*). Land Evaluation Papers of CSIRO Symposium Organized in Cooperation with Unesco. Mc Millan of Australia.
- Buurman, P. and T. Balsem. 1990. Land Unit Classification for The Reconnaissance Soil Survey in Sumatera. Technical Report No. 2, Version 2. Soil Research Institute, Bogor.
- Cambule, A.H., D.G. Rossiter, and J.J. Stoorvogel. 2013. A methodology for digital soil mapping in poorly-accessible areas. *Geoderma* 192:341-353.
- Chittleborough, D.J. 1978. Soil variability within land system and land unit at Monarto South Australia. *Austr. J. Soil Res.* 16:137-155.
- 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.
- Dent, F.J., Desautettes, and J.P. Malingreau. 1977. Detailed Reconnaissance Land Resources Survey Cimanuk Watershed Area (West Java). FAO/ UNDP Land Capability Appraisal Project Working Paper No. 14, Soil Research Institute, Bogor, Indonesia.
- Dent, D. and A. Young. 1981. Soil Survey and Land Evaluation. George Allen and Unwin, London.
- Deri, H.J., Marsoedi D.S., dan Wahyunto. 1988. Kegunaan citra landsat menunjang hasil interpretasi landform dalam pemetaan sekitar Negeri Batin, Kotabumi Lampung Utara. Hlm 47-60. *Dalam* Prosiding Pertemuan Teknis Hasil Penelitian Tanah. Cipayung, Februari 1986. Pusat Penelitian Tanah, Bogor.
- Working Paper No. 13. AGL/TF/Dessaunettes, J.R. 1977. Catalogue of Landforms for Indonesia. INS/ 44. FAO/SRI. Bogor.
- FAO. 1977. Guidelines for Soil Profile Description. Soil Resources Development and Conservation Services, Land and Water Development Division. FAO, Rome.
- Grunwald, S., J.A. Thompson, and J.L. Boettinger. 2011. Digital soil mapping and modeling at continental scales: finding solutions for global issues. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 75:1201-1213.

- Hardjowigeno, S., Marsoedi D.S., dan Ismangun. 1993. Satuan Peta Tanah dan Legenda Peta Tanah. Technical Report No. 3, Versi 1. Proyek LREP II. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Hardjowigeno, S. 1995. Ilmu Tanah. Akademika Presindo, Jakarta. Hlm 233.
- Hidayat, A. dan Darul S.W.P. 1991. Klasifikasi satuan lahan dan penggunaannya untuk pertanian. Hlm 71-87. *Dalam* Prosiding Ekspose Hasil Penelitian Proyek Perencanaan dan Evaluasi Sumberdaya Lahan (LREPP Part I), Sumatera Bagian Utara. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Kasryno, F. dan H. Soeparno. 2011. Kerangka perencanaan tataguna dan pengelolaan lahan pertanian. Hlm 11-30. *Dalam* Suradisastra *et al.* (Eds.). Membangun Kemampuan Pengelolaan Pertanian Pangan Berkelanjutan. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian. IPB Press.
- Kips, P.A., D. Djaenudin, and Nata Suharta. 1981. The Land Unit Approach to Land Resources Surveys for Land Use Planning with Particular Reference to The Sekampung Watershed, Lampung Province, Sumatera, Indonesia. FAO/UNDP AGOF/INS/ 78/006, Technical Note No. 11, November 1981, Centre for Soil Research, Bogor, Indonesia.
- Las, I., K. Subagyo, dan A.P. Setyanto. 2006. Isu dan pengelolaan lingkungan dalam revitalisasi pertanian. Makalah pada Seminar Multifungsi Pertanian, Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Litbang Pertanian, Departemen Pertanian, 27-28 Juni 2006, Bogor.
- Malone, B.P., A.B. McBratney, and B. Minasny. 2012. Some methods regarding manipulations of scale for digital soil mapping. The 5th Global workshop on Digital Soil Mapping. Sydney, 10-13 April 2012.
- Mangunsukardjo, K. dan T. Yuniato. 1992. Delineasi satuan peta tanah hampiran geografi. Sudjadi *et al.* (Eds.) Hlm 163-183. *Dalam* Prosiding Pertemuan Teknis Pembakuan Sistem Klasifikasi dan Metode Survei Tanah. Cibinong Bogor 29-31 Agustus 1988. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Marsoedi, D.S. 1981. The use of landsat multispectral scanner for reconnaissance land resources inventory in Southeast Sulawesi. FAO/CSR, Bogor.
- Mulder, V.L., S. de Bruin, M.E. Schaepman, and T.R. Mayr. 2011. The use of remote sensing in soil and terrain mapping-A review. *Geoderma* 162(1-2):1-19.
- Presiden Republik Indonesia. 2011. Undang-undang No. 4 Tahun 2011, tentang Informasi Geospasial. Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2011 Nomor 49.
- Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. 1994. Panduan Survei Tanah bagian Pertama. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. 2000. Peta Eksplorasi Indonesia, skala 1:2.500.000. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Shi, X., L. Girod, R. Long, R. De Kett, J. Philippe, and T. Burke. 2012. A comparison of LiDAR-based DEMs and USGS-sourced DEMs in terrain analysis for knowledge-based digital soil mapping. *Geoderma* 170:217-226.
- Smith, M.P., A. Zhu, J.E. Burt, and C. Stiles. 2006. The effects of DEM resolution and neighborhood size on digital soil survey. *Geoderma* 137:58-69.
- Soekardi, M., N. Suharta, dan S. Ritung. 1989. Macam-macam peta tanah dan kegunaannya. Informasi Penelitian Tanah, Air, Pupuk dan Lahan. Pusat Penelitian Tanah, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Soepraptohardjo, M. 1954. Faedah serta kemungkinan-kemungkinan pemakaian potret udara untuk pemetaan tanah di Indonesia. *Teknik Pertanian*. Tahun ke II, No. 4, Bogor.
- Soepraptohardjo, M. 1961. Klasifikasi tanah kategori tinggi oleh Balai Penyelidikan Tanah. Kongres Nasional Ilmu Tanah I, Bogor.
- Soil Conservation Service. 1983. National Soils Handbook (430-VI-NSH). U.S. Government Printing Office.
- Soil Survey Staff. 1951. Soil Survey Manual. USDA Handbook No. 18. US Government Printing Office, Washington D.C.
- Soil Survey Staff. 1983. Soil Survey Manual. USDA Handbook, Washington D.C.
- Soil Survey Division Staff. 1993. Soil Survey Manual. USDA Handbook, Washington D.C.
- Staf Pemetaan Tanah LPT. 1969 Pedoman Pengamatan Tanah di Lapang. No. 4/1969. Lembaga Penelitian Tanah, Bogor.
- Sukarman. 2004. Identifikasi Unsur-unsur Satuan Peta Tanah Semi Detail Menggunakan Citra Landsat-7 ETM dan Model Elevasi Digital di Daerah Bogor. Disertasi Doktor. Fakultas Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor. Hlm 246.
- Sukarman dan A. Hidayat. 2005. Pemanfaatan citra satelit dan model elevasi digital untuk membantu inventarisasi sumberdaya lahan. *Jurnal Sumberdaya Lahan* 1(1):20-31. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Bogor.
- Sulaeman, Y. 2011. Pemetaan tanah digital: integrasi teknologi basisdata dan pemodelan dalam pemetaan tanah. *Warta Sumberdaya Lahan* 4(2):1-5. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian.

- Van Wambeke, A. and T. Forbes. 1986. Guidelines for Using Soil Taxonomy in the Names of Soil Map Units. Soil Management Support Services. Technical Monograph No. 10.
- Wahyunto, Marsoedi D.S. dan D. Djaenudin. 1988. Identifikasi sistem fisiografi dan landform melalui citra landsat di daerah Sesayap-Sembakung, Kalimantan Timur. Hlm 17-29. *Dalam* Prosiding Pertemuan Teknis Hasil Penelitian Tanah. Cipayung, Feb. 1986. Pusat Penelitian Tanah, Bogor.
- Wiradisastra, U.S. 1992. Masalah deliniasi satuan peta hampiran parametrik. Hlm 185-227. *Dalam* Sudjadi *et al.* (Eds.) Prosiding Pertemuan Teknis Pembakuan Sistem Klasifikasi dan Metode Survei Tanah. Cibinong Bogor 29-31 Agustus 1988. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.