

Survei Pemetaan Tanah di Kecamatan Teluk Meranti, Pelalawan

BESRI NASRUL

Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Riau

ABSTRACT

To optimize the utilization of the soils, especially in the wetlands, precise and comprehensive understanding of soil characteristic is needed to support agricultural works. The study was conducted in the Teluk Meranti District, Pelalawan for five months. The field survey was carried out on 1:50.000 scale map which was used for mapping, classifying, describing morphological, physical, and chemical soil properties. The soil classification systems applied to this study were Soil Taxonomy until Family categories. The result of study indicated that areas occupied by six soil mapping units were: Sapric Haplohemist on 42.173 Ha areas (11%); Typic Haplohemist on 111.520 Ha areas (29%); Typic Haplosaprist on 212.486 Ha areas (54%); Typic Endoaquepts on 14.310 Ha areas (3%); Sulfic Endoaquepts on 4.297 Ha areas (1%); Humic Endoaquepts on 5.235 Ha areas (1%).

Key words: soil survey, soil mapping, soil classification, Pelalawan

PENDAHULUAN

Kabupaten Pelalawan yang merupakan salah satu kabupaten di Propinsi Riau berkembang dengan pesat. Sejak wilayah ini dimekarkan dari Kabupaten Kampar, pada tahun 1999 lalu, banyak perubahan yang telah terjadi. Kemandirian wilayah ini telah mendorong meningkatnya laju pembangunan. Salah satu sub sektor yang memberikan kontribusi besar terhadap pembangunan tersebut adalah pertanian.

Perkembangan sektor pertanian dapat dilihat pada pertumbuhan dan perubahan struktur Produk Domestik Regional Bruto (PDRB). PDRB Kabupaten Pelalawan atas dasar harga konstan tahun 2000, pada tahun 2005 sebesar Rp 2.190,46 miliar, dengan sumbangan sektor pertanian 57,32%, industri 18,10%, jasa 4,15%, dan sektor lainnya 10,43% (Dinas Perkebunan Pelalawan, 2006). Meskipun berperan sebagai penggerak roda perekonomian, namun masih banyak lahan yang belum dimanfaatkan secara optimal, terutama di kecamatan yang paling luas di Kabupaten Pelalawan, yaitu Teluk Meranti.

Untuk itu telah dilakukan penelitian guna memetakan lahan gambut di Kecamatan Teluk

Meranti, sehingga diketahui faktor pembatas produksi pertanian di wilayah ini. Informasi ini sangat penting guna pemanfaatan lahan dan pengembangan pertanian dimasa mendatang, terutama bagi investor yang akan menanamkan modalnya.

BAHAN DAN METODE

Lokasi pengamatan tanah dan morfologi lahan ditentukan sebelum ke lapangan berdasarkan peta satuan tanah sebagai unit pengambilan sampelnya. Dalam setiap unit bentuk lahan diambil minimal satu sampel tanah (sesuai proporsi luasnya). Teknik *geographical information system* yang digunakan untuk membuat peta ini adalah *overlay* antara peta satuan lahan dan tanah, geomorfologi, dan lereng.

Pengamatan tanah dilaksanakan dengan bor tusuk dan bor gambut. Morfologi tanah diamati dan dicatat setiap horison menurut Soil Survei Manual (Sabiham and Furukawa, 1986; FAO, 1990; USDA, 2000). Klasifikasi tanah ditetapkan sampai kategori subgrup menurut sistem Soil Taxonomy (Soil Survei Staff, 1998). Pada tanah yang mempunyai epipedon histik juga

* Korespondensi: Program Studi Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Riau, Jl. Bina Widya No.30 Simpang Baru Panam, Pekanbaru. Telp. (0761) 36092. E-mail: bes_nasrul@yahoo.co.id

diidentifikasi untuk menetapkan tipologi lahan. Pengamatan terhadap muka air tanah dilakukan pada setiap pemboran, serta jangkauan pasang surut air di saluran untuk menentukan tipe luapan (Wua *et al.*, 1996).

Identifikasi pirit dilakukan dengan oksidasi cepat pada contoh tanah segar dengan H₂O₂ 30%, kemudian mengelompokkan berdasarkan kedalamannya dari permukaan tanah ke dalam empat kelas, yaitu <50, 51-100, 101-150 dan >150 cm (Andriesse, 1988; Djadjakirana *et al.*, 1999). Pada tanah yang mempunyai epipedon histik juga diidentifikasi untuk menetapkan tipologi lahan. Pengamatan terhadap muka air tanah dilakukan pada setiap pemboran, serta jangkauan pasang surut air di saluran untuk menentukan tipe luapan.

Pengambilan contoh tanah komposit dilakukan sebanyak 5-10 sub sampel yang dicampur sampai homogen dan diambil ± 1 kg contoh. Contoh tanah yang dikumpulkan telah diambil sebanyak 30 dari total pengamatan dan dianalisis sebanyak 9 contoh. Analisis contoh tanah meliputi tekstur, pH, bahan organik (C, N, dan C/N), P₂O₅, K₂O, nilai tukar kation 1 N NH₄OAc pH 7 (Ca, Mg, K, dan Na), Al (ekstrak 1 N KCl), kapasitas tukar

kation, kejenuhan basa, kadar abu dan kadar pirit.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Bentuk Wilayah, Geologi dan Bahan Induk

Bentuk wilayah di Kecamatan Teluk Meranti adalah datar (1-3%) dengan drainase pada umumnya jelek. Wilayah agak berombak dengan luasan sedikit terdapat pada tanggul sungai. Pada bagian ini drainase sedang sampai baik dan sebagian ada yang mempunyai drainase yang jelek. Ketinggian wilayah berkisar antara 1-35 meter dari atas muka laut. Pengamatan lapangan menunjukkan bahwa seluruh wilayah kecamatan didominasi oleh endapan rawa yang berupa lumpur, liat dan bahan organik.

2. Satuan Lahan

Setelah dilakukan analisis peta dan pengamatan lapangan kemudian dikorelasikan dengan bentuk lahan Desautnettes (1977), maka wilayah Kecamatan Teluk Meranti dibagi dalam tiga satuan lahan yaitu A1, A2, dan A3. Karakteristik utama satuan lahan tersebut seperti diringkaskan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Utama Satuan Lahan di Kecamatan Teluk Meranti, Pelalawan

Satuan Lahan	Deskripsi	Kisaran Lereng (%)	Relief mak. (m)	Lebar Interfluves rata-rata (m)	Bahan Induk Dominan	Kedalaman dan tekstur lapisan atas	Drainase Internal	Banjir
A1	Rawa gambut	<1	0	-	Bahan organik	> 1 m	ST - T	4
A2	Rawa gambut dangkal	<1	0	-	Endapan bahan organik	Saprik, hemik 0,5-1 m Sa	ST	4
A3	Dataran Aluvial	<2	<1	-	Alluvium muda	>1 m LD, L	T	3

Keterangan: He = Hemik; Sa = Saprik; L = Lempung; LD = Lempung Berdebu ST = sangat terhambat; T = terhambat; 3 = musiman; 4 = permanen.

Satuan Lahan A1. Satuan lahan ini dijumpai pada bagian lebih jauh dari sungai merupakan kubah gambut oligotropik air tawar, dengan tingkat pelapukan hemik sampai saprik. Bentuk wilayah datar sampai datar sampai cembung (<1%) dan tergenang. Pada unit ini ditemukan empat jenis endapan gambut, yaitu: gambut sangat dalam (>3m); gambut dalam (2-3 m); gambut menengah (1-2 m); dan gambut dangkal (0,5-1 m), semuanya diendapkan di atas

sedimen marin. Gambut jenis pertama membentuk kubah gambut (dome), dan termasuk gambut ombrogen pada bagian tengahnya, sedangkan gambut jenis lainnya merupakan gambut gambut topogen yang terbentuk di rawa belakang dan sisi kubah gambut, yang sangat dipengaruhi air sungai dan selalu tergenang air. *Satuan Lahan A2.* Satuan lahan ini terdiri atas rawa bergambut yang terdapat di rawa belakang dan di lembah-lembah sungai yang sempit dan

meluas sampai batas dataran tinggi, membentuk zone antara A1 dan A3. Air sungai yang masuk dan menggenangi daerah ini mengakibatkan proses dekomposisi bahan organik menjadi lambat. Gambut yang terbentuk umumnya dengan tingkat pelapukan saprik. Sebagian besar bentuk lahan adalah datar dengan ketebalan kecil dari satu meter dan drainase terhambat.

Satuan Lahan A3. Unit ini merupakan tanggul sungai, punggung, dan dataran banjir dari Sungai Gasigasi, Godai, Nilo dan Kampar. Bentuk lahan datar dan berawa, terdiri atas tanah aluvial dan gley dengan tekstur bervariasi dan drainase terhambat, dan juga terdapat gambut.

3. Klasifikasi Tanah

Telah diklasifikasikan tiga ordo tanah utama yaitu Histosol, Entisol, dan Inseptisol. Parameter yang membedakan diantaranya

adalah bahan induk dan perkembangan profil. Setelah diklasifikasikan lebih lanjut ditemukan 5 subgrup tanah, yaitu Typic Endoaquepts, Sulfic Endoaquepts, Typic Haplosaprist, Sapric Haplohemist, Typic Haplohemist. Karakteristik tanah masing-masing subgrup tanah disajikan pada Tabel 2.

Typic Endoaquepts. Berkembang dari bahan aluvium berupa endapan liat dan debu, endapan pasir dan sebagian berupa endapan liat di atas endapan pasir, reaksi tanah sangat masam, matang (*ripe*) dan drainase terhambat. Horison A berwarna kelabu sangat gelap sampai kelabu terang (2.5Y 3 1-10YR 7/1), kadang-kadang terdapat karatan berwarna coklat kekuningan (10 YR 5/6), tekstur lempung berdebu, konsistensi licin dan agak plastis. Tanah ini mengandung bahan sulfidik (pirit) pada 100-450 cm dari permukaan tanah.

Tabel 2. Karakteristik Tanah di Kecamatan Teluk Meranti, Pelalawan

Jenis tanah	Warna (Lapisan atas)	Tekstur	Posisi lereng	Kedalaman (cm)	Drainase
Sapric Haplohemist	10YR2/2-3/2	Hemik	Rawa	> 300	ST
Typic Haplohemist	10YR2/1-3/2	Hemik	Rawa	> 300	ST
Typic Haplosaprist	7.5YR 3/2	Fibrik	Rawa	50 - 300	ST - T
Typic Endoaquepts	10YR7/1	LD	Depresi	> 100	T
Sulfic Endoaquepts	2.5Y3/1-10YR7/1	LD	Depresi	> 100	T
Humic Endoaquepts	10YR6/2	LD	Depresi	> 100	T

Keterangan: LD = Lempung Berdebu; ST = sangat terhambat; T = terhambat; S = sedang; B = baik.

Sulfic Endoaquepts. Tanah ini berkembang dari bahan aluvium berupa endapan liat dan debu, pasir dan sebagian berupa endapan liat di atas endapan pasir, reaksi tanah sangat masam sampai masam, matang (*ripe*) dan drainase terhambat. Horison A berwarna kelabu sangat gelap sampai kelabu terang (2.5Y 3/1-10YR 7/1), kadang-kadang terdapat karatan berwarna coklat kekuningan (10YR 5/6), tekstur liat sampai liat berdebu, konsistensi lekat dan agak plastis, reaksi tanah sangat masam sampai masam. Lapisan ini mengandung bahan sulfidik (pirit) pada kedalaman 50-100 cm dari permukaan tanah.

Typic Haplosaprist. Tanah gambut yang mempunyai tingkat dekomposisi saprik berwarna kelabu sangat gelap (7.5YR 3/2 atau 5YR 3/1), hitam (5YR 2.5/1) dan coklat gelap

kemerahan (5YR 2.5/2-2.5/2) dan reaksi tanah sangat masam sampai masam. Substratum liat pada kedalaman 1,3-5,0 m berwarna kelabu sampai coklat gelap kekelabuan (2.5Y 6/1-2.5Y 4/2) dan reaksi tanah masam (pH 5,0). Lapisan ini mengandung pirit yang dicirikan oleh reaksi H₂O₂ kuat dan pH turun mencapai 1,0-1,5. Kedalaman gambut bervariasi 90 - > 3 m. Kedalaman yang mengandung bahan sulfidik bervariasi 100 - > 150 cm dari permukaan. Ciri utama lainnya adalah muka air tanah yang tinggi dan sering melebihi permukaan tanah.

Sapric Haplohemist, Typic Haplohemist. Tanah gambut yang mempunyai tingkat dekomposisi hemik berwarna hitam sampai kelabu sangat gelap (10YR 2/1 - 7.5YR 3/1), merah gelap (5YR 2.5/1) dan coklat gelap kemerahan (5YR 2.5/2) dan reaksi tanah sangat

masam sampai masam. Kedalaman gambut bervariasi dari 90 sampai > 3 m. Kedalaman yang mengandung bahan sulfidik > 150 cm dari permukaan.

4. Kesuburan Tanah

Dari interpretasi hasil analisis 9 contoh tanah tersebut, sebanyak 6 contoh mewakili sifat tanah gambut (A1 dan A2) dan 3 contoh yang mewakili sifat tanah aluvial (satuan lahan A3).

Kesuburan Tanah Gambut. Batasan kandungan abu untuk gambut oligotrofik adalah < 5 persen, mesotrofik 5-15 persen, dan eutrofik > 15 persen (Rismunandar, 2001). Dengan menggunakan batasan ini, dari analisis 6 contoh tanah gambut yang dianalisa kadar abunya, didapatkan bahwa gambut dangkal (satuan lahan A2) termasuk tipe *mesotrofik*. Gambut sangat dalam, dalam, dan tengahan (satuan lahan A1) sebagian terbesar merupakan tipe *oligotrofik*, dan sebagian kecil *eutrofik*. Akan tetapi, menurut Suwardi *et al.* (2002) gambut sangat dalam (> 3 m), secara dominan merupakan tipe *oligotrofik*. *Kesuburan Tanah Aluvial.* Memperhatikan kepada hasil analisis tanah, dapat disimpulkan bahwa kesuburan tanah aluvial, dengan adanya

pengaruh pasang surut aliran sungai maka kesuburannya menjadi bervariasi dari rendah sampai tinggi. Tanah bereaksi sangat masam sampai masam. Masalah unsur yang dianggap meracun tanaman, seperti pirit, sulfat potensial ataupun salinitas masih jauh di bawah kriteria meracun tanaman.

5. Tipologi Lahan

Tipologi lahan merupakan pengelompokan lahan yang lebih bersifat praktis, didasarkan pada jenis tanah (mineral dan/atau organik) kedalam lapisan pirit dan ketebalan gambutnya. Tipologi lahan di Kecamatan Teluk Meranti di daerah studi disajikan pada Tabel 3.

Lahan Gambut Sangat Dalam, Dalam, dan Tengahan. Lahan gambut sangat dalam dan gambut dalam dijumpai di kubah gambut yang mempunyai karakteristik lahan drainase sangat terhambat, permiabilitas cepat, solum tanah sangat dalam sedangkan lahan gambut tengahan dijumpai pada kubah gambut yang mempunyai karakteristik lahan drainase terhambat, permiabilitas cepat, solum sangat dalam. Tanahnya termasuk Typic Haplohemist atau Typic Haplosaprist.

Tabel 3. Tipologi Lahan di Kecamatan Teluk Meranti, Pelalawan

Satuan Lahan	Tipologi Lahan	Kedalaman Pirit/Bereak Pirit (cm)	Ketebalan Gambut (cm)
A1	Gambut sangat dalam	-	>300
A1	Gambut dalam	-	200-300
A1	Gambut tengahan	-	100-200
A2	Gambut dangkal	-	50-100
A3	Aluvial bersulfida dalam	50-100	Nihil
	Aluvial bersulfida sangat dalam/nonsulfida	> 100	Nihil

Lahan Gambut Dangkal. Lahan gambut dangkal terutama dijumpai di rawa belakang (*backswamp*) sisi kubah gambut. Karakteristik lahannya adalah berdrainase terhambat, permiabilitas agak terhambat, solum sangat dalam. Tanahnya termasuk Typic Haplosaprist.

Lahan Aluvial Bersulfida Dalam. Lahan aluvial bersulfida dalam dijumpai pada tanggul sungai, drainase terhambat sampai sangat terhambat, permiabilitas lambat, solum tanah sangat dalam, pirit pada kedalaman 50-100 cm, dan tanah termasuk Sulfic Endoaquepts

Lahan Aluvial Bersulfida Sangat Dalam. Lahan aluvial bersulfida sangat dalam dijumpai pada tanggul sungai yang berbentuk cembung dan bertopografi lebih tinggi, drainase terhambat, permiabilitas lambat, solum tanah sangat dalam, dan pirit pada kedalaman > 100 cm. Tanah termasuk dalam Typic Endoaquepts, Humic Endoaquepts, dan Typic Fluvaquepts.

6. Tipe Luapan Air

Klasifikasi tipe luapan berkaitan dengan hidrotopografi manajemen air dan kondisi tata air. Klasifikasi hidrotopografi pada studi ini terdiri atas

tipe luapan A dan B (Tabel 4). Klasifikasinya didasarkan pada terjadinya luapan pada saat

pasang besar (*spring tide*) dan pasang kecil (*neap tide*) serta kedalaman muka air tanah.

Tabel 4. Tipe Luapan Air di Kecamatan Teluk

Tabel 4. Tipe Luapan Air di Kecamatan Teluk Meranti, Pelalawan

Satuan Lahan	Tipe Luapan	Uraian
A1, A2	A	Lahan yang selalu terluapi oleh pasang, baik pasang besar (<i>spring tide</i>) maupun pasang kecil (<i>neap tide</i>)
A3	B	Lahan hanya terluapi oleh air pasang besar saja, tetapi tidak terluapi oleh pasang kecil atau pasang harian

7. Satuan Peta

Unsur-unsur satuan peta tanah (SPT) terdiri atas satuan tanah, fisiografi, bahan induk, serta fase tanah beserta luasannya. Fase tanah adalah faktor lingkungan dan atau sifat tanah yang paling dominan mempengaruhi pertumbuhan tanaman dan pengelolaan di dalam SPT. Jenis fase

yang dijumpai di Kecamatan Teluk Meranti adalah ketebalan gambut, kematangan gambut, drainase internal, banjir, kemasaman ta-nah, kejenuhan basa, pH, C-organik, N-total, P-total, dan K-total. Secara lengkap SPT di Kecamatan Teluk Meranti disajikan pada Tabel 5, sedangkan penyebaran secara keruangan ditampilkan pada Gambar 1.

Tabel 5. Satuan Peta Tanah di Kecamatan Teluk Meranti, Pelalawan

Satuan Peta	Uraian	Luas Total	
		Ha	%
1	Sapric Haplohemist, kubah gambut, bahan organik, datar agak cembung, sangat dalam dengan kematangan hemik, sangat terhambat, banjir atau tergenang permanen, sangat tinggi, sangat rendah, sangat masam, sangat tinggi, sangat tinggi, sedang, rendah	42.172,94	11
2	Typic Haplohemist, kubah gambut, bahan organik, datar agak cembung, sangat dalam dengan kematangan hemik, sangat terhambat, tergenang permanen, sangat tinggi, sangat rendah, sangat masam, sangat tinggi, sangat tinggi, sedang, sedang	111.519,98	29
3	Typic Haplosaprist, sisi kubah gambut, bahan organik, datar, dalam dengan kematangan saprik, terhambat, tergenang permanen, sangat tinggi, sangat rendah, sangat masam, sangat tinggi, tinggi, rendah, rendah	114.352,48	29
4	Typic Haplosaprist, rawa belakang/sisi kubah gambut, bahan organik, datar agak cekung, tengahan dengan kematangan saprik, terhambat, tergenang permanen, sangat tinggi, sangat rendah, sangat masam, sangat tinggi, tinggi, sedang, rendah	67.607,02	17
5	Typic Haplosaprist, rawa belakang, endapan liat dan bahan organik, datar agak cekung, dangkal dengan kematangan saprik, terhambat, tergenang musiman, sangat tinggi, sangat rendah, sangat masam, sangat tinggi, tinggi, rendah, sangat rendah	30.526,10	8
6	Typic Endoaquepts, tanggul sungai, alluvium muda, datar, dalam, tekstur lempung berdebu, terhambat, tergenang musiman, tinggi, sangat rendah, sangat masam, sangat tinggi, tinggi, rendah, rendah	1.646,53	0
7	Typic Endoaquepts, tanggul sungai, alluvium muda, datar, dalam, tekstur lempung berdebu, terhambat, tergenang musiman, tinggi, rendah, sangat masam, sangat tinggi, sangat tinggi, sedang, rendah	12.663,66	3
8	Sulfic Endoaquepts, crevasse splay, alluvium muda, datar, dalam, tekstur lempung berdebu, terhambat, tergenang musiman, rendah, sangat rendah, sangat masam, rendah, sangat tinggi, rendah, rendah	4.296,70	1
9	Humic Endoaquepts, dataran banjir, alluvium muda, datar, dalam, tekstur lempung berdebu, terhambat, tergenang musiman, sangat tinggi, sangat rendah, sangat masam, sangat tinggi, sedang, sedang, tinggi	5.235,09	1
Total		390.020,50	100



Gambar 1. Satuan Peta Tanah di Kecamatan Teluk Meranti, Pelalawan

KESIMPULAN

1. Seluruh wilayah Kecamatan Teluk Meranti mempunyai bentuk wilayah yang datar (1-3%), dengan drainase umumnya jelek. Berdasarkan tipologi lahannya, dapat dibedakan menjadi A1 (gambut sangat dalam, gambut dalam, dan gambut menengah) dengan luas 335.652 Ha atau 86%; A2 (gambut dangkal) dengan 30.526 Ha atau 8%; dan A3 (Aluvial bersulfida dalam) dengan luas 23.842 Ha atau 5%.
2. Tanah-tanah yang di Kecamatan Teluk Meranti diklasifikasikan ke dalam 5 macam (subgrup) tanah (Soil Taksonomi, 1998), yaitu Sapric Haplohemist dengan luas 42.173 Ha (11%); Typic Haplohemist dengan luas 111.520 Ha (29%); Typic Haplosaprist dengan luas 212.486 Ha (54%); Typic Endoaquepts dengan luas 14.310 Ha (3%); Sulfic Endoaquepts dengan luas 4.297 Ha (1%); Humic Endoaquepts dengan luas 5.235 Ha (1%).

DAFTAR PUSTAKA

Andriessse. 1988. *Nature and Management of Tropical Peat Soils*. FAO Soils Bull. 59, Rome.

Desaunettes, J.R. 1977. Catalogue of landforms for Indonesia. FAO/UNDO Land Capability Appraisal Project Working Paper 13. Soil Research Institute, Bogor.

Dinas Perkebunan Kabupaten Pelalawan. 2006. Statistik Perkebunan Kabupaten Pelalawan 2005. Pangkalan Kerinci.

Djadjakirana, G. B. Sumawinata, B. Mulyanto, and Suwardi. 1999. *The Important of Organic Matter and Water Management in Sustaining Banjarese Tradisional Land Management in Pulau Petak, South Kalimantan*. Proceeding Seminar Toward Sustainable Agriculture in Humid Tropics Facing 21st Century: September 27-28. Bandar Lampung, Indonesia. Pp 178-191.

FAO. 1990. Guidelines for Soil Description. Soil Resources, Management and Conservation Service. Land and Water Development Division. ed-3rd. Rome.

Rismunandar, T. 2001. Pemanfaatan Lahan Gambut untuk Menciptakan Pembangunan Berwawasan Lingkungan. Makalah Falsafah Sains (PPs 702). Program Pasca Sarjana / S3. institut Pertanian Bogor.

Sabihani, S., Furukawa, H., 1986. *Study of Floral Composition of Peat Soils in the Lower Batanghari River Basin of Jambi, Sumatera*. Southeast Asian Studies 2(1):1-15.

- Soil Survai Staff. 1998. *Keys to Soil Taxonomy*. 8th Edition. Agency for International Development United States Departement of Agriculture Soil Management Support Services, Virginia Polytechnic Institute and State University. 716 pp.
- Suwardi, Sumawinata, B., Mulyanto, B., and Kusnadi, D., 2002. *A Concept of Spatial Arrangement in Peat Land Management Based on Traditional Land Management System in Indonesia*. In *Proceedings of International Symposium of Land Management and Biodiversity in Southeast Asia*, on September 17-20, 2002, Bali, Indonesia.
- USDA. 2000. *Soil Survai Manual*. Intermountain Resources Inventories, Inc. <http://www.irrim.com/ssm/>
- Wua, L., G Fenga, J. Leteya, L. Fergusonb, J. Mitchellb, B. McCullough-Sandenc, G. Markegard. 1996. Soil management effects on the nonlimiting water range. *Geoderma* 114 (2003) 401-414. www.elsevier.com/locate/geoderma.