

Sistem Usahatani Berkelanjutan Berbasis Dinamika Unsur Hara pada Lahan Kering Masam

Sustainable Farming System Based on Nutrients Dynamics on Acid Dry Lands

I Gusti Putu Wigena¹ dan Andriati²

¹ Balai Penelitian Tanah, Jl. Tentara Pelajar No. 12, Cimanggu, Bogor 16114. Email: wigenapandawa@gmail.com

² Balai Besar Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian, Jl. Tentara Pelajar No. 10, Cimanggu, Bogor 16114

Diterima 13 April 2016; Direview 11 Mei 2016; Disetujui dimuat 15 Juni 2016

Abstrak. Dari aspek sebaran dan luasan, lahan kering masam memiliki potensi sebagai sumber pangan, tetapi ketidaksesuaian sifat fisika dan kimia tanah dengan kebutuhan tanaman memerlukan teknologi pengelolaan yang spesifik. Sifat fisika tanah kering masam: kepadatan tanah tinggi, daya pegang air rendah, permeabilitas lambat, erosi dan aliran permukaan tinggi. Sifat kimia: kadar bahan organik, unsur hara, KTK dan KB rendah, kadar oksida besi dan aluminium tinggi. Pada kondisi yang demikian, tumpangsari merupakan sistem usahatani berkelanjutan alternatif melalui perbaikan sifat fisika dan kimia tanah. Perbaikan sifat fisika tanah antara lain penurunan BD, porositas, dan kapasitas lapang tanah pada tumpangsari ubikayu + jagung + kacang tanah masing-masing berkisar 2,18 g cm⁻³; 49,12%; dan 37,99%; pada monokultur berkisar 2,59 g cm⁻³; 42,35%; dan 28,24. Neraca karbon dan nitrogen pada tumpangsari masing-masing +1,5 t ha⁻¹ dan + 10 kg ha⁻¹ tahun⁻¹; pada monokultur -7,0 t ha⁻¹ tahun⁻¹ dan -60 kg ha⁻¹ tahun⁻¹. Tanaman lorong (*alley cropping*) merupakan usahatani berkelanjutan alternatif lainnya melalui perbaikan sifat fisika dan kimia tanah seperti meningkatkan kemampuan dalam mengikat/menyediakan air/lengas untuk memperlancar dinamika unsur hara ke permukaan akar melalui proses aliran masa dan difusi, meningkatkan kandungan bahan organik tanah, dan sebagai sumber unsur hara. Perbaikan sifat fisika tanah antara lain B.D, ruang pori total (RPT), pori drainase cepat (PDC), air-tersedia pada tanaman lorong berkisar 1,08 g cm⁻³; 59,2%; 25,6%; dan 14,6%; tanpa tanaman lorong masing-masing berkisar 1,28 g cm⁻³; 51,7%; 13,7%; dan 11,3%. Neraca karbon dan nitrogen pada tanaman lorong berkisar 2,73 dan 0,20%; tanpa tanaman lorong berkisar 1,31 dan 0,07%. Hasil padi gogo, kacang tanah, dan kacang hijau pada tanaman lorong berkisar 12,8; 11,3 dan 5,3 ku ha⁻¹ dan tanpa tanaman lorong masing-masing berkisar 7,7; 7,8; dan 2,9 ku ha⁻¹.

Kata kunci: Lahan Kering Masam / Pertanaman Lorong / Penutup Tanah / Dinamika Unsur Hara

Abstract. Based on its wide and spread, acid dry land has a higher potential as food crops resources, but unsuitability condition of soil physical and chemical properties with crops requirement need the specific technology to provide the optimum crop yields. The soil physical properties are high compactness (BD >1.2 gr cm⁻³), low of water holding capacity, bed permeability, and rate of soil erosion and runoff is high. The soil chemical properties are low of organic matter content, nutrients content, cation exchange capacity, and base saturation, while concentration of iron and aluminum oxides are higher concentration. On this condition, mix cropping can be an alternative sustainable farming system through improvement of physical and chemical properties. Improvement of physical properties including BD, porosity, and field capacity on mix cropping of cassava + maize + peanut were around 2.18 g cm⁻³; 49.12%; dan 37.99%; while on monoculture around 2.59 g cm⁻³; 42.35%; and 28.24%. Carbon and nitrogen balance on the mix cropping farming system were around +1.5 t ha⁻¹ year⁻¹ and + 10 kg ha⁻¹ year⁻¹, while on monoculture around -7.0 t ha⁻¹ year⁻¹ and -60 kg ha⁻¹ year⁻¹. Alley cropping is another one of sustainable alternative farming system through improvement of physical and chemical properties such as increasing of water holding capacity to accelerate nutrients dynamic into root surface areas by mass flow and diffusion processes, soil organic matter, and as sources of plant nutrients. Improvement of soil physical including BD, total porous, drainage porous, and available water on alley cropping were around 1.08 g cm⁻³; 59.2%; 25.6%; dan 14.6%; while on non alley cropping system around 1.28 g cm⁻³; 51.7%; 13.7%; dan 11.3%. Carbon and nitrogen content on alley cropping were around 2.73 and 0.20%, while on non alley cropping system around 1.31 dan 0.07%. The upland rice, peanut, and mung bean yields on alley cropping system were around 12.8, 11.3, and 5.3 ku ha⁻¹; while on non alley cropping system around 7.7, 7.8, and 2.9 ku ha⁻¹.

Keywords: Acid Dry Lands / Alley Cropping / Cover Crops / Nutrients Dynamics

PENDAHULUAN

Upaya pencapaian swasembada pangan untuk memenuhi laju permintaan yang semakin meningkat masih tersandung beberapa

kendala diantaranya penyusutan luas lahan pangan produktif akibat konversi penggunaan lahan ke sektor non pertanian. Lakitan (2009) meramalkan bahwa peningkatan produksi pangan dimasa mendatang akan semakin sulit karena berkurangnya lahan subur di

sentra produksi melalui alih fungsi sekitar 110.000 hektar per tahunnya, tenaga kerja di sektor pertanian semakin langka, dan perubahan iklim kearah kurang mendukung pertanian. Serikat Petani Indonesia menyatakan bahwa berdasarkan hasil akomodasi pencatatan seluruh Serikat Petani Indonesia diketahui alih fungsi lahan pertanian ke sektor non pertanian sekitar 100.000 ha tahun⁻¹ (Rachman 2015). Menteri Riset dan Teknologi (2011) menyatakan bahwa lahan pertanian pangan yang subur semakin berkurang luasnya dan diestimasi pada tahun 2011 luasan lahan tersebut hanya sekitar 18% dan selebihnya merupakan lahan sub-optimal dengan kendala agronomis beragam seperti miskin unsur hara, terlalu kering, beresiko banjir dan lain-lain. Terkait dengan usaha peningkatan produksi pangan terutama beras, berdasarkan permasalahan yang dihadapi saat ini, ada 3 hal yang membutuhkan kontribusi teknologi yaitu (1) teknologi pengelolaan lahan sub-optimal, (2) teknologi budidaya untuk memperkecil *yield gap*, dan (3) teknologi menekan kehilangan hasil (*yield loss*) (Lakitan, 2009).

Dinamika kondisi tersebut memicu pemanfaatan sumberdaya lahan sub optimal khususnya lahan kering yang sebarannya sangat luas terutama di luar pulau Jawa sekitar 144,47 juta hektar (BBSDLP 2014). Hal ini sejalan dengan pernyataan Lakitan dan Gofar (2013) bahwa untuk mewujudkan ketahanan pangan secara berkelanjutan (ekologis) dan dengan biaya yang terjangkau oleh petani (ekonomis), maka Indonesia tidak punya pilihan lain kecuali harus mulai dengan sungguh-sungguh untuk mengelola lahan-lahan suboptimal yang sebahagian besar tersebar di luar Pulau Jawa. Argumen utamanya adalah: (1) walaupun secara teknis proses budidaya tanaman dapat dilakukan tanpa tanah (hidroponik dan aeroponik), namun secara ekonomi sulit dilakukan; (2) lahan yang subur semakin menyempit karena dikonversi menjadi lahan untuk kepentingan non-pertanian. Secara garis besar, terdapat dua jenis agroekosistem lahan sub optimal di Indonesia yaitu lahan kering dengan luasan sekitar 144,47 juta ha, terdiri dari lahan kering iklim basah yang umumnya bereaksi masam seluas 107,36 juta hektar dan lahan kering iklim kering yang umumnya bereaksi tidak masam seluas 37,11 juta hektar (BBSDLP 2014). Berlawanan dengan lahan kering, terdapat lahan sub optimal berupa lahan rawa dengan luasan sekitar 20,1 juta hektar, terdiri dari lahan potensial 2,1 juta hektar, lahan sulfat masam 6,7 juta hektar, gambut 10,9 juta hektar, dan lahan salin seluas 0,4 juta hektar (Balitbangtan 2011). Pemanfaatan lahan-lahan sub optimal tersebut memerlukan teknologi pengelolaan

yang spesifik lokasi sesuai dengan kendala yang dimiliki masing-masing.

Walaupun lahan kering masam merupakan lahan sub optimal yang memiliki potensi tertinggi, pengembangan pertanian dihadapkan pada kendala biofisik dan sosial ekonomi yang kompleks. Kendala biofisik antara lain: (1) tingkat kesuburan rendah terkait dengan pH rendah, kapasitas tukar kation rendah, kejenuhan basa rendah, populasi mikroorganisme tanah rendah, tingginya kadar Al, Fe dan fiksasi P; (2) ketersediaan air bagi tanaman rendah, demikian juga distribusi air tidak merata secara spasial dan temporal. Kendala sosial ekonomi seperti (1) kemampuan petani dalam penyediaan modal umumnya rendah terkait dengan rendahnya kondisi ekonomi petani; (2) secara geografis posisi lahan kering masam jauh dari pusat pemerintahan sehingga dukungan infrastruktur dan kelembagaan kurang memadai yang berakibat rendahnya daya saing produksi pertanian; (3) sulitnya petani mengakses kredit, pasar yang menyebabkan ketidak seimbangan harga produksi yang rendah dan mahalnnya harga sarana produksi atau NTP rendah (Nursanti dan Rohim 2009).

Terkait dengan aspek kesuburan tanah, pengelolaan lahan kering masam diperlukan input unsur hara terutama unsur hara makro yang bersumber dari pupuk anorganik seperti pupuk Urea sebagai sumber nitrogen, SP-36 sebagai sumber fosfat, KCl sebagai sumber kalium, dolomit sebagai sumber kalsium dan magnesium. Pupuk organik yang diharapkan bisa menjadi kunci pemeliharaan kesuburan tanah kering masam menjadi dilematis karena diperlukan dalam dosis yang tinggi dan dilain pihak peranannya masih dominan sebagai pembenah tanah. Hasil penelitian pengelolaan lahan kering masam sistem budidaya lorong selama 5 tahun (1990-1994) dengan *Flemingia* sp. sebagai tanaman pagar yang dipangkas secara rutin setiap 2 bulan, sisa tanaman pangan dengan pola tanam padi gogo-kacang tanah-kacang hijau dikembalikan ke dalam tanah menunjukkan bahwa tanpa input pupuk anorganik N, P, K, dan dolomit terjadi pengurasan N, P, K, Ca, dan Mg dari dalam tanah masing-masing sebanyak -18 kg, -105 kg, -88 kg, -468 kg, dan -274 kg ha⁻¹ 5tahun⁻¹. Dengan input pupuk N, P, K, dan dolomit sedang, terjadi penyimpanan unsur hara N dan P sebanyak 568 kg dan 165 kg ha⁻¹ 5tahun⁻¹. Namun demikian, unsur K, Ca, dan Mg terkuras masing-masing sebanyak -32 kg, -63 kg, dan -30 kg ha⁻¹ 5tahun⁻¹. Dengan input pupuk N, P, K, dan dolomit dosis tinggi terjadi penyimpanan unsur N, P, K, Ca, dan Mg masing-masing sebanyak 999 kg, 367 kg, 199 kg, 3.173 kg, dan 23 kg ha⁻¹ 5tahun⁻¹

(Santoso *et al.* 1995a). Pengembangan penelitian tersebut dalam bentuk *on-farm research* di lahan petani menunjukkan bahwa sistem *alley cropping* dengan *Flemingia* sp. sebagai tanaman pagar bisa memperbaiki kesuburan lahan kering masam yang terundikasi dari neraca hara N, P, K, Ca, dan Mg masing-masing sebanyak 160,9 kg, 97,8 kg, 161,9 kg, 844,8 kg, dan 19,1 kg ha⁻¹ 3tahun⁻¹ (Santoso *et al.* 1995 b).

Hasil penelitian tersebut mengindikasikan bahwa untuk bisa mencapai usahatani berkelanjutan pada lahan kering masam harus memperhatikan dinamika unsur hara di dalam tanah sebagai dasar pertimbangan dalam membuat rekomendasi pengelolaan terutama pupuk. Untuk menjawab masalah tersebut, tulisan ini dibuat dengan mereview hasil-hasil penelitian pengelolaan lahan kering masam terkait dengan pengembangan tanaman pangan dan non pangan yang berorientasi pada dinamika unsur hara. Lebih jauh, dinamika unsur hara akan menjamin keseimbangan neraca unsur hara sebagai kunci peningkatan produktivitas dan keberlanjutan usaha tani pada lahan kering masam. Keberhasilan dalam pengembangan lahan kering masam sebagai sumberdaya pertanian masa depan akan berkontribusi nyata terhadap (1) ketahanan pangan, (2) mendukung program pengentasan kemiskinan, (3) menciptakan peluang kerja bagi masyarakat lokal yang berarti mengatasi pengangguran dan (4) memperbaiki kualitas sumberdaya lingkungan lokal, regional dan global (Suwardji 2005).

SEBARAN DAN KARAKTERISTIK LAHAN KERING MASAM

Sebaran Lahan Kering Masam

Secara geografis, Indonesia terletak di daerah tropika basah yang mendapat pengaruh iklim tropis basah dengan ciri suhu udara dan suhu tanah tinggi, kelembaban tanah tinggi, demikian juga curah hujan tinggi yang mendorong proses perkembangan tanah berlangsung dengan cepat. Interaksi semua komponen iklim tersebut memunculkan tanah-tanah dengan kondisi melapuk lanjut (*highly weather soils*) dengan ciri-ciri reaksi tanah masam, kadar bahan organik dan unsur hara rendah, kapasitas tukar kation dan kejenuhan basa rendah. Sebaliknya, beberapa unsur hara seperti besi dan aluminium sering menjadi penghambat pertumbuhan tanaman karena kadarnya tinggi sampai meracuni tanaman (Subagyo *et al.* 2002).

Salah satu jenis lahan tersebut adalah lahan kering masam dengan sebaran mendominasi lahan kering di Indonesia. Lahan kering masam dapat

didefinisikan sebagai lahan dimana tanah mineralnya mempunyai reaksi masam (pH < 5,5) dan nilai kejenuhan basa (KB) < 50%, dan khususnya berada pada lahan kering. Tanah-tanah yang terdapat pada lahan kering masam umumnya termasuk ordo Ultisols, Oxisols, Spodosols, dan Inceptisols yang berkembang di daerah beriklim basah dengan curah hujan tinggi (Puslittanak 2003). Peneliti lain mendefinisikan lahan kering masam merupakan bentuk ekosistem yang tidak pernah tergenang atau digenangi air hamper sepanjang tahun, sebagai penciri spesifik yang membedakan dengan lahan kering lainnya adalah rata-rata pH tanah <5,0 dan kejenuhan basa <50% (Rochayati dan Dariah 2012). Menurut Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian (2014) luas total lahan kering masam sekitar 107.357.633 ha dengan dominasi sebaran di luar Pulau Jawa seperti di Kalimantan 39.094.313 ha (36,42%), Sumatera 30.934.790 ha (28,81%), Papua 19.353.332 ha (18,03%), dan Sulawesi 7.466.479 ha (6,95%) (Tabel 1).

Tabel 1. Sebaran tanah kering masam di Indonesia

Table 1. Spread of acid dry soils in Indonesia

Pulau	Luas ha	Persentase %
Sumatera	30.934.790	28,81
Jawa	8.340.527	7,77
Bali dan Nusa Tenggara	168.792	0,16
Kalimantan	39.094.313	36,42
Sulawesi	7.466.479	6,95
Maluku	1.999.401	1,86
Papua	19.353.332	18,03
Indonesia	107.357.633	100,00
Potensial untuk pertanian	62.647.199	58,35

* Persentase terhadap luas total Indonesia

Dari luasan, lahan kering masam sangat berpeluang untuk mendukung utama pembangunan pertanian tanaman pangan, perkebunan, maupun kehutanan. Adanya kendala fisika, kimia, dan biologi, diperkirakan sekitar 62.647.199 ha (58,35%) lahan kering masam yang potensial untuk pengembangan pertanian dalam arti luas (perkebunan, hortikultura, peternakan, tanaman pangan dan pakan (Mulyani dan Sarwani 2013). Hidayat dan Mulyani (2000) melaporkan bahwa luas lahan kering masam yang sudah dikembangkan untuk usaha pertanian dalam arti luas sekitar 56 juta ha. Uraian lebih rinci melaporkan bahwa dengan mengacu pada persyaratan lereng untuk budidaya tanaman pangan <15%, lahan kering masam yang sesuai untuk tanaman pangan sekitar 7,10 juta ha

dan untuk tanaman perkebunan dengan lereng 15-30% seluas 15,3 juta ha (BBSDLP 2012).

Karakteristik Lahan Kering Masam

Lahan kering masam didominasi oleh tanah jenis Ultisols dan Oxisols, mempunyai tingkat perkembangan yang cukup lanjut, dicirikan oleh penampang tanah yang dalam, kenaikan fraksi liat seiring dengan kedalaman tanah, reaksi tanah masam, dan kejenuhan basa rendah. Pada umumnya tanah ini mempunyai potensi keracunan Al dan miskin kandungan bahan organik. Selain itu, kandungan hara terutama P dan kation-kation dapat ditukar seperti Ca, Mg, Na, dan K rendah, kadar Al tinggi, kapasitas tukar kation rendah, dan peka terhadap erosi (Sri Adiningsih dan Mulyadi 1993). Perkembangan tanah yang lanjut menyebabkan warna tanah kering masam kuning kecoklatan hingga merah dengan variasi hue dari 10YR hingga 10R, nilai 3-6 dan kroma 4-8 (Rahim *et al.* 1997, Alkasuma 2000). Terdapat hubungan antara warna tanah dengan kadar geothit dan hematit dimana makin coklat warna tanah makin tinggi kadar geothit dan makin merah warna

tanah makin tinggi kadar hematit (Schwertmann dan Taylor 1989).

Struktur tanah lahan kering masam umumnya sedang sampai kuat dengan bentuk gumpal bersudut (Isa *et al.* 2004). Bahan induk granit yang kaya akan mineral kuarsa bertekstur kasar, sedangkan bahan induk batu kapur, batuan andesit, dan tufa bertekstur halus (Prasetyo *et al.* 2005). Ciri lainnya yang penting adalah adanya peningkatan fraksi liat dalam jumlah tertentu pada horizon tanah bagian bawah yang dikenal dengan horizon argilik. Horizon tersebut dapat dikenali dari fraksi liat hasil analisis di laboratorium maupun dari penampang profil tanah. Horizon argilik umumnya kaya akan Al sehingga peka terhadap perkembangan akar tanaman, yang menyebabkan akar tanaman tidak dapat menembus horizon ini dan hanya berkembang di atas horizon argilik (Soekardi *et al.* 1993).

Sifat kimia tanah kering masam kurang mendukung pertumbuhan tanaman karena tergolong sub optimal dengan reaksi tanah masam, kadar bahan organik, unsur hara, kapasitas tukar kation, dan kejenuhan basa rendah, sedangkan kadar aluminium tinggi tercermin dari kejenuhan aluminium melebihi 30% (Tabel 2).

Tabel 2. Sifat kimia lapisan atas (0-20 cm) tanah kering masam

Table 2. *The chemistry properties of upper soil (0-20 cm) of acid dry soils*

No.	Sifat tanah	Nilai	Status
1.	pH (1:2,5)		
	- H ₂ O	4,4-4,9	Sangat masam-masam
	- HCl	3,8-4,0	Sangat masam
2.	Tekstur:		Tekstur tanah:
	- Pasir	4-16	Liat
	- Debu	12-26	
	- Liat	58-84	
3.	Bahan organik:		
	- C-organik (%)	1,93-2,26	Rendah
	- N-total (%)	0,17-0,20	Rendah
	- C/N	11-12	Rendah
4.	Metode HCl 25%:		
	- P ₂ O ₅ (me 100g ⁻¹)	14,2-23,0	Sangat rendah-rendah
	- K ₂ O (me 100 g ⁻¹)	4,0-6,8	Sangat rendah
5.	P-tersedia (Bray1)(ppm)	3,67-14,2	Sangat rendah-rendah
6.	Basa-basa tertukar (cmol+ kg ⁻¹):		
	- Ca	0,15-0,57	Rendah
	- Mg	1,43-0,25	Sangat rendah
	- K	0,09-0,19	Sangat rendah-rendah
	- Na	tr	
7.	Kejenuhan basa (%)	17,28	Sangat rendah
8.	Kapasitas tukar kation (cmol kg ⁻¹)	9,20-15,71	Rendah
9.	Kejenuhan Aluminium (%)	26-36	Tinggi

Sumber: Wigena (2002), Hamzah dan Nasution (1999)

Keterangan: tr = tidak terukur

Kandungan hara pada tanah Ultisol umumnya rendah karena pencucian basa berlangsung intensif, sedangkan kandungan bahan organik rendah karena proses dekomposisi berjalan cepat dan sebagian terbawa erosi dan aliran permukaan. Tingginya erosi dan aliran permukaan pada tanah kering masam berkaitan dengan topografi yang umumnya berlereng dan didorong oleh daya pegang air rendah sehingga tanah cepat jenuh.

Kapasitas tukar kation (KTK) pada tanah kering masam umumnya rendah karena nilai KTK hanya bergantung pada kandungan bahan organik yang rendah dan fraksi liat yang dalam hal ini didominasi oleh liat kaolinit dengan kontribusi terhadap nilai KTK sangat rendah (Prasetyo dan Suriadikarta, 2006). Kejenuhan basa (KB) juga rendah berhubungan dengan kandungan basa-basa tertukar (Ca, Mg, K, dan Al) rendah. Berlawanan dengan KTK dan KB, kejenuhan Al tinggi yang sangat dimungkinkan oleh bahan induk tanah kering masam di Kuamang Kuning, Jambi berupa batuan sedimen masam yang melepaskan Al banyak pada saat pembentukan tanah.

DINAMIKA UNSUR HARA PADA LAHAN KERING

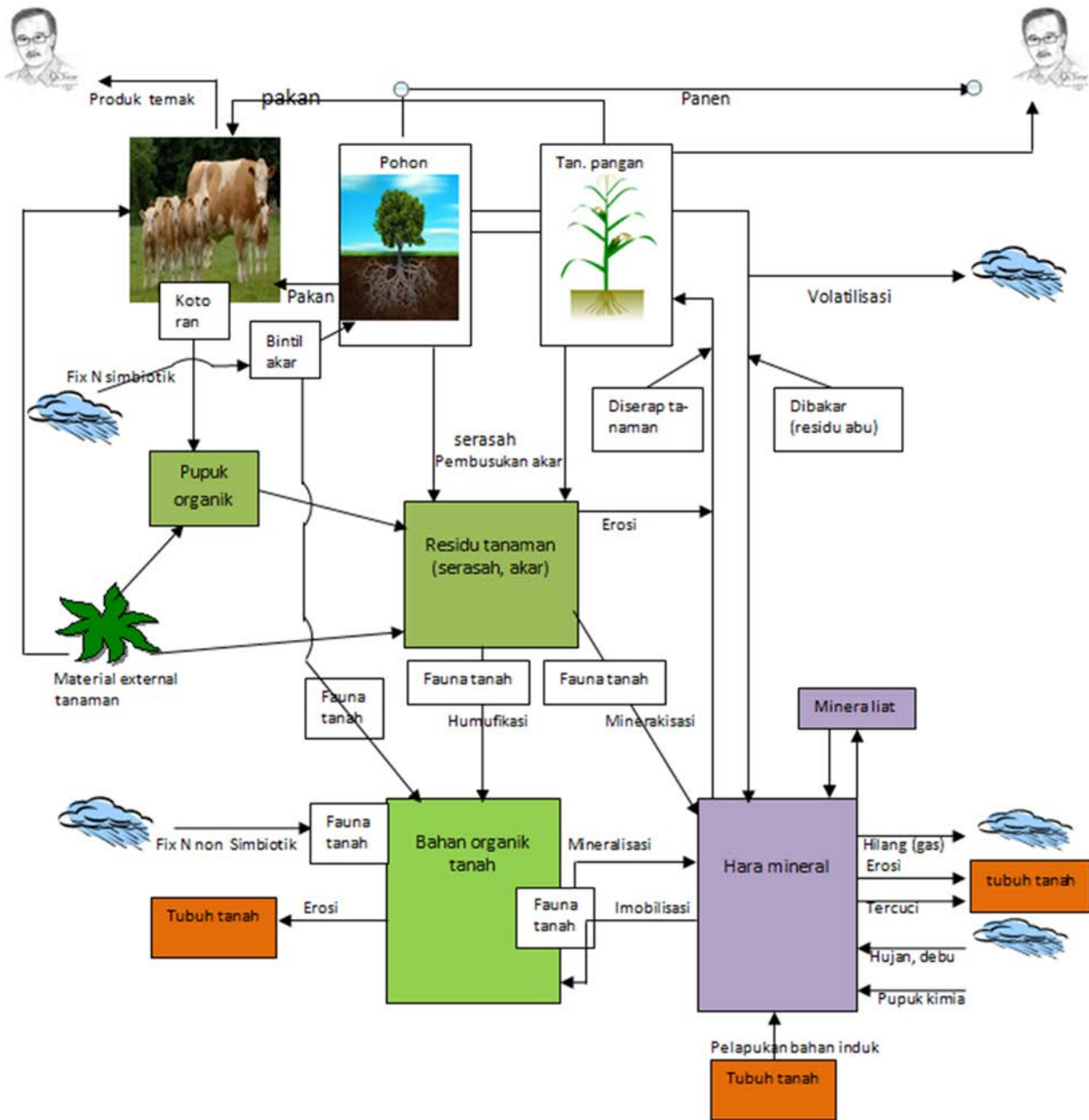
Seperti halnya bahan organik, siklus unsur hara merupakan proses yang sangat penting bagi dinamika dan keseimbangan hara yang terkait langsung dengan pertumbuhan dan hasil tanaman yang dibudidayakan. Siklus ini menjadi lebih penting lagi dalam pengelolaan usahatani pada lahan kering (iklim basah maupun iklim kering) yang mendapat pengaruh curah hujan, kelembaban, dan suhu yang tinggi. Proses ini merupakan indikator dari berjalannya fungsi ekologi yang rumit dan kompleks (Ratsele, 2013). Untuk mengurangi risiko gagal panen dan juga menjaga kesuburan tanah, pada lahan kering dilakukan usahatani terpadu antara tanaman pangan, tanaman tahunan, tanaman pakan, dan ternak melalui sistem tumpangtari atau wanatani. Pada sistem usahatani ini, siklus unsur hara melibatkan beberapa *pools* yang meliputi atmosfer, tanah, tanaman pangan, tanaman pakan, dan ternak. Faktor-faktor kondisi iklim, jenis tanah, jenis tanaman pangan, jenis tanaman pakan, dan pengelolaannya berpengaruh nyata terhadap siklus unsur hara (Silveira *et al.* 2013).

Aplikasi usahatani terpadu tersebut menyebabkan siklus unsur hara pada lahan kering melalui *pools* yang lebih kompleks meliputi atmosfer,

manusia, ternak, tanaman tahunan, tanaman pangan, tanaman pakan, dan tanah (Gambar 1). Pada *pool* atmosfer, unsur nitrogen masuk ke tanah melalui proses fiksasi simbiotik dan non simbiotik melibatkan aktivitas mikroba. Sebaliknya, nitrogen hilang dari tanah dan partikel liat melalui proses penguapan (volatilisasi). Selain nitrogen, dalam jumlah yang lebih sedikit sulfur masuk ke dalam tanah melalui curah hujan dan debu. *Pool* manusia merupakan penyerap unsur hara melalui pemanenan hasil tanaman dan produk ternak. Penyerapan pada *pool* ini yang perlu dipertimbangkan untuk menggantikan unsur yang diserap dengan masukkan dari luar sistem tanah-tanaman karena jumlahnya paling besar. Sumbangan unsur hara dari *pool* ternak terutama berasal dari kotoran dengan kapasitas rata-rata sebanyak 4 kg ha⁻¹ ekor sapi dewasa¹. Dalam konteks usahatani ramah lingkungan, kotoran ternak bisa menghasilkan gas bio melalui fermentasi anaerob dan komposnya sebagai pupuk organik.

Terdapat 3 komponen pada *pool* tanaman yaitu tanaman tahunan, tanaman pangan, dan tanaman pakan. Masukkan unsur hara dari tanaman tahunan berupa serasah daun, batang, ranting, dan akar yang membusuk, sedangkan dari tanaman pangan berupa berangkasan sisa panen dan akar yang membusuk. Sumbangan unsur hara dari tanaman melalui humifikasi menjadi bahan organik atau bisa juga melalui mineralisasi menjadi unsur yang terikat dengan mineral. Kedua proses ini melibatkan aktivitas fauna tanah sehingga faktor lingkungan seperti suhu dan kelembaban tanah sangat mempengaruhi. *Pool* tanaman pakan penyumbang unsur terbanyak karena volume perakarannya yang rapat, demikian juga bagian di atas tanah berupa sisa pakan. Kehilangan unsur hara dari *pool* tanaman terbesar melalui penguapan karena pembakaran sisa panen maupun sisa pakan ternak.

Pool tanah merupakan media siklus unsur hara yang paling dinamis dimana unsur hara diikat oleh bahan organik, hara mineral, dan partikel liat. Terdapat korelasi yang erat antara bahan organik tanah dengan hara dalam bentuk mineral. Unsur hara dalam bahan organik tanah akan diikat oleh mineral melalui proses mineralisasi dan sebaliknya unsur hara dalam mineral bisa diikat oleh bahan organik melalui proses imobilisasi. Kedua proses tersebut melibatkan aktivitas fauna tanah sehingga faktor-faktor yang mempengaruhi aktivitas mikroba tanah akan mempengaruhi laju imobilisasi ataupun mineralisasi. Selanjutnya, unsur hara dalam bahan organik tanah bisa hilang melalui proses erosi.



Sumber: De Miquel *et al.* (2013)

Gambar 1. Siklus unsur hara dalam usahatani tumpang sari, wana tani dan silvo-agropastura pada lahan kering masam

Figure 1. Nutrients cycle of mix cropping, agroforestry, and silvo-agropasture on acid dry land

Unsur hara dalam mineral tanah mengalami keseimbangan antara pengikatan dan pelepasannya dengan partikel liat dan pelapukan bahan induk tanah. Di daerah tropis dengan suhu dan kelembaban tinggi memacu pelapukan bahan induk tanah dan melepaskan unsur hara kedalam mineral dan selanjutnya tersedia untuk tanaman atau diikat oleh partikel liat kemudian melepas secara pelan-pelan untuk tanaman. Selain pelapukan bahan induk tanah, unsur hara didalam

mineral juga diperkaya oleh proses hujan dan debu dari udara dan masukkan pupuk kimia dari luar sistem tanah-tanaman. Namun demikian, unsur hara didalam mineral bisa hilang melalui penguapan (volatilisasi), erosi, dan pencucian. Di daerah tropika basah, ketiga proses ini berlangsung intensif sehingga perlu masukkan unsur hara dari pupuk kimia dalam jumlah banyak untuk mengimbangi laju kehilangan melalui ketiga proses tersebut.

Dinamika unsur hara pada lahan kering masam ditentukan dengan melakukan penelitian neraca unsur hara meniru dinamika unsur hara lahan kering dengan jumlah *pool* yang lebih sederhana. Neraca unsur hara diteliti pada sistem usahatani tanaman lorong selama 5 tahun (1990-1994) dengan *Flemingia* sp. sebagai tanaman pagar, pola tanam padi gogo-kacang tanah-kacang hijau. Tanaman pangan diperlakukan dengan masukkan pupuk NPK sebagai Urea, KCl, dan SP-36 sebanyak 3 level (A-1 = tanpa pupuk, A-2 = masukkan pupuk rendah, A-3 = masukkan pupuk tinggi). Pada sistem tanaman lorong ini, penghitungan neraca unsur hara meliputi *pool* tanah, tanaman, dan masukkan pupuk anorganik sumber N, P, dan K yang ditambahkan dari luar sistem tanah-tanaman. Hara N dari *pool* tanah, tanaman, dan pupuk merupakan salah satu contoh untuk menentukan neraca N (Tabel 3).

Pada *pool* tanah, ditelusuri kehilangan unsur hara yang terbawa oleh erosi tanah dan aliran permukaan dengan cara menganalisis kadar unsur hara pada tanah erosi dan aliran permukaan diikuti dengan perhitungan jumlah unsur hara yang hilang dalam luasan 1,0 ha. Jumlah unsur hara yang terserap oleh tanaman saat panen terbagi dalam 2 *sub pool* yaitu gabah/biji

tanaman dan berangkasan tanaman. Jumlah masukkan unsur hara dari tanaman ada 2 *sub pool* yaitu berangkasan tanaman lorong dan rumput hasil penyiangan. Jumlah masukkan unsur hara dari pupuk anorganik sumber N, P, dan K dihitung berdasarkan kandungan unsur nitrogen, fosfat, dan kalium dikalikan dengan dosis yang diaplikasikan. Selisih dari akumulasi masukkan unsur hara pada *pool* tanaman dan pupuk anorganik dengan yang terserap oleh tanaman serta kehilangan lewat erosi dan aliran permukaan menggambarkan terjadinya penambahan atau pengurangan unsur hara di dalam tanah. Usahatani pada lahan kering masam yang berkelanjutan bisa dicapai jika terjadi penambahan unsur hara dari neraca *pool* tersebut. Neraca hara P, K, Ca, dan Mg dihitung seperti menghitung neraca hara N seperti disajikan pada Tabel 4. Selain neraca hara, hasil analisis tanah sebelum percobaan dan sesudah percobaan menunjukkan status unsur hara N, P, K, Ca, dan Mg mengikuti tren masing-masing neraca hara tersebut.

Dinamika unsur hara N, P, K, Ca, dan Mg untuk sistem tanaman lorong kuat mengindikasikan akan pentingnya pemberian pupuk anorganik untuk meningkatkan kadar unsur hara di dalam tanah yang

Tabel 3. Perhitungan neraca N dalam lapisan tanah 0-15 cm selama 5 tahun (1990-1994) pada tanaman lorong di kuamang kuning jambi

Table 3. Determination of N balance of 0-15 cm depth during 5 years (1990-1994) of alley cropping system at Kuamang Kuning, Jambi

Pool	Neraca hara N		
	Tanpa pupuk	Masukkan pupuk rendah	Masukkan pupuk tinggi
	..... kg ha ⁻¹ 5tahun ⁻¹		
<i>N yang masuk ke tanah:</i>			
- Pupuk	0	338	675
- Sisa tanaman	358	503	694
- Jerami padi gogo	31	87	142
- Berangkasan kacang tanah	46	82	161
- Berangkasan kacang hijau	3	10	38
- Pangkasan <i>Flemingia</i> sp.	278	324	353
Total N yang masuk ke tanah	358	841	1.369
<i>N yang keluar dari tanah:</i>			
- Gabah padi gogo	10	40	74
- Biji kacang tanah	17	66	108
- Biji kacang hijau	2	8	19
- Jerami padi gogo	31	87	142
- N terbawa aliran permukaan	141	54	20
- N terbawa erosi tanah	175	18	7
Total N keluar dari tanah	376	273	370
Neraca hara N	-18	568	999

Sumber: Santoso *et al.* (1995a)

Masukkan pupuk rendah = 45 kg N+20 kg P ha⁻¹ untuk padi gogo; 22,5 kg N+20 kg P ha⁻¹ untuk kacang tanah. Masukkan pupuk tinggi = 90 kg N+40 kg P+25 kg K ha⁻¹ untuk padi gogo; 45 kg N+40 kg P+25 kg K+ 2,0 ton kapur ha⁻¹ untuk kacang tanah. Tidak ada aplikasi pupuk untuk kacang hijau (residu)

Tabel 4. Perubahan status dan neraca unsur hara dalam tanah lapisan 0-15 cm selama 5 tahun (1990-1994) pada sistem tanaman lorong di Kuamang Kuning, Jambi.

Table 4. Nutrients status change and nutrients balance of 0-15 cm depth during 5 years (1990-1994) of alley cropping system at Kuamang Kuning, Jambi

Perlakuan	Unsur hara				
	N	P	K	Ca	Mg
Status unsur hara	%	..... mg kg ⁻¹ .....	..... cmol kg ⁻¹		
A-1	-0,01	-36,0	-0,04	-2,02	-0,16
A-2	0,03	39,6	-0,05	-1,23	-0,14
A-3	0,04	80,1	0,03	5,42	-0,07
Neraca unsur hara	..... kg ha ⁻¹ 5tahun ⁻¹				
A-1	-18	-105	-88	-468	-274
A-2	568	165	-32	-63	-30
A-3	999	367	199	3.173	-23

Sumber: Santoso *et al.* (1995a)

Masukkan pupuk rendah = 45 kg N+20 kg P ha⁻¹ untuk padi gogo; 22,5 kg N+20 kg P ha⁻¹ untuk kacang tanah

Masukkan pupuk tinggi = 90 kg N+40 kg P+25 kg K ha⁻¹ untuk padi gogo; 45 kg N+40 kg P+25 kg K+ 2,0 ton kapur ha⁻¹ untuk kacang tanah

Tidak ada aplikasi pupuk untuk kacang hijau (residu)

ditunjukkan oleh neraca dan perubahan status unsur hara positif. Hal ini diperkuat oleh neraca dan perubahan status Mg yang negatif karena tidak diaplikasikan pupuk sumber Mg. Neraca dan perubahan status Ca di dalam tanah hanya positif pada masukkan pupuk tinggi (A-3) sebagai akibat penambahan kapur pertanian sebanyak 2,0 t ha⁻¹. Hal ini berkaitan dengan kandungan unsur hara yang rendah dari tanah-tanah yang mendominasi lahan kering masam.

SISTEM USAHATANI BERKELANJUTAN BERBASIS DINAMIKA UNSUR HARA PADA LAHAN KERING MASAM

Lahan kering masam dapat dijadikan sebagai salah satu sumber produksi pertanian dengan pengelolaan yang sesuai dengan potensi dan kendala yang dihadapi dalam pemanfaatannya. Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan ameliorant seperti kapur pertanian, bahan organik, pupuk organik, serta pupuk anorganik bisa mendukung keberlanjutan usahatani pada lahan kering masam. Keberadaan pupuk anorganik sumber N, P, dan K masih diperlukan terkait dengan kadar unsur hara lahan kering masam rendah dan di lain pihak, kadar unsur N, P, dan K pada pupuk organik rendah sehingga tidak bisa memenuhi kebutuhan tanaman. Keberlanjutan sistem ushatani tersebut tercermin dari produktivitas tanaman yang

dibudidayakan dan status unsur hara di dalam tanah yang relatif terjaga dalam kadar yang sesuai dengan kebutuhan tanaman. Usahatani yang berpeluang bisa berkelanjutan pada lahan kering masam adalah sistem tumpang sari, tanaman lorong (*alley cropping*), wanatani (*agroforestry*).

Usahatani Sistem Tumpang Sari

Usahatani sistem tumpangsari sudah banyak diaplikasikan oleh petani lahan kering masam dalam upaya mengurangi resiko gagal panen dan memelihara kesuburan tanah. Umumnya, tanaman pangan yang ditumpangsarikan terdiri dari 2 jenis tanaman yaitu tanaman legum dan non legum. Tumpangsari tanaman jagung dan kacang tanah mampu meningkatkan hasil secara berkelanjutan baik pada penanaman dalam waktu bersamaan maupun beda waktu (Arma *et al.* 2013) (Tabel 5).

Selain meningkatkan hasil, sistem tumpangsari juga bisa memperbaiki kesuburan tanah yang terindikasikan dari perubahan sifat fisika dan kimia tanah (Suroyo *et al.* 2013). Perbaikan sifat fisika tanah pada sistem tumpangsari antara lain *bulk density* (BD), porositas tanah, dan kapasitas lapang (Tabel 6). Kepadatan tanah menurun pada sistem tumpangsari sekitar 2,18 g cm⁻³ dibandingkan dengan sistem kacang tanah dan jagung monokultur masing-masing sebesar

2,5 g cm⁻³ dan 2,60 g cm⁻³. Perbaikan sifat kimia tanah terjadi pada peningkatan kadar bahan organik dan nitrogen tanah menjadi sekitar 1,99 dan 0,53% dibandingkan dengan sistem kacang tanah dan jagung monokultur masing-masing 0,7 dan 0,04% serta 0,81 dan 0,04%.

Tabel 5. Hasil jagung dan kacang tanah pada sistem tumpangsari yang ditanam secara bersamaan dan beda waktu

Table 5. *Maize and peanut yield of mix cropping system planted by time sequences*

Waktu tanam	Produksi	
	Jagung	Kacang tanah
	..... t ha ⁻¹	
Bersamaan	3,78	1,20
Jagung lebih awal 1 minggu dari kacang tanah	5,46	1,92
Jagung ditanam pada umur kacang tanah 7 HST	4,78	1,27

Aplikasi pertanaman sistem tumpangsari selain meningkatkan hasil secara akumulatif dari tanaman yang ditumpangsarikan, juga mampu meningkatkan

hasil tanaman setiap tanaman. Seperti dilaporkan oleh Wibawa (2014) bahwa hasil beberapa varietas kacang tanah pada sistem tumpangsari lebih tinggi dengan kisaran antara 1,92-2,53 t ha⁻¹ dibandingkan dengan hasil pada sistem monokultur sengan kisaran 1,70-2,03 t ha⁻¹ (Tabel 7). Peneliti lain melaporkan bahwa neraca unsur hara karbon dan nitrogen pada pertanaman sistem tumpangsari lebih baik dibandingkan dengan tanaman monokultur. Dalam kasus ini, diperoleh neraca karbon -7,0 t ha⁻¹ tahun⁻¹ dan neraca nitrogen -60 kg ha⁻¹ ha⁻¹ terjadi pada tanaman ubikayu monokultur. Pada sistem tumpangsari ubi kayu + jagung + kacang tanah, diperoleh neraca karbon + 1,5 t ha⁻¹ tahun⁻¹ dan neraca nitrogen 10 kg ha⁻¹ tahun⁻¹. Selain neraca hara yang lebih baik, produksi ubi kayu meningkat sekitar 1,5 t ha⁻¹ tahun⁻¹ (Wiyono 2011).

Tanaman Lorong (*Alley Cropping*)

Tanaman lorong (*alley cropping*) merupakan salah satu sistem agroforestry yang menanam tanaman semusim atau tanaman pangan diantara lorong-lorong yang dibentuk oleh pagar tanaman pohonan atau semak. Tanaman pagar dipangkas secara periodik

Tabel 6. Perbaikan sifat fisika dan kimia tanah pada sistem tumpangsari pada lahan kering masam

Table 6. *Improvement of physical and chemical properties of mix cropping system on acid dry land*

Sifat tanah	Sistem tanam		
	Kacang tanah monokultur	Jagung monokultur	Tumpang sari kacang tanah-jagung
Sifat fisika:			
BD (g cm ⁻³)	2,59	2,60	2,18
Porositas (%)	42,35	42,40	49,12
Kapasitas lapang (%)	28,24	28,42	37,99
Sifat kimia:			
Kadar bahan organik (%)	0,78	0,81	1,99
Kadar nitrogen (%)	0,04	0,04	0,53

Tabel 7. Hasil jagung dan kacang tanah pada sistem tumpangsari dan monokultur pada lahan kering masam, Bengkulu

Table 7. *Peanut and maize yield of mix cropping and monoculture system on dry acid land on Bengkulu Province*

Jenis tanaman	Hasil		
	Tumpang sari		Monokultur
	Jagung	Kacang tanah	Kacang tanah
	..... t ha ⁻¹		
Jagung + kacang tanah Talam	1,84	2,24	2,03
Jagung + kacang tanah Tuba	2,35	2,53	1,76
Jagung + kacang tanah Kancil	1,83	2,07	1,89
Jagung + kacang tanah Lokal	1,78	1,92	1,70

selama pertanaman untuk menghindari naungan dan mengurangi kompetisi hara dengan tanaman pangan/semusim (Hakim *et al.* 1997). Tanaman lorong memiliki peluang baik untuk dikembangkan pada lahan kering masam. Hasil pengujian selama 3 tahun (1989-1991) usahatani sistem tanaman lorong dengan *Flemingia* sp. sebagai tanaman pagar menunjukkan dinamika unsur hara yang baik dibandingkan dengan system penutup tanah dengan *Mucuna* sp., pengembalian sisa tanaman, dan pembakaran sisa tanaman (Wigena dan Santoso 2003). Dinamika unsur hara dicerminkan oleh perubahan kadar unsur hara pada semua sistem usahatani yang diuji (Tabel 8). Pertanaman lorong menunjukkan peningkatan kadar C-organik, P-tersedia, K, dan Ca tertinggi dibandingkan dengan system usahatani lainya yang diuji masing-masing menjadi 1,65%, 69,00 mg kg⁻¹, 0,13 cmol kg⁻¹, dan 3,25 cmol kg⁻¹.

Hasil padi gogo, kacang tanah, dan kacang hijau mengikuti kecenderungan perubahan sifat tanah (Tabel 9). Hasil padi gogo tertinggi diperoleh pada pertanaman lorong dengan *Flemingia* sp. sebagai tanaman pagar 811-1.185 kg ha⁻¹, hasil kacang tanah antara 783-1.135 kg ha⁻¹, demikian juga hasil kacang hijau antara 257-514 kg ha⁻¹. Variasi hasil tanaman indikator ini kemungkinan besar disebabkan oleh kondisi curah hujan pada setiap musim tanamnya. Sistem *cover crop*, tidak menghasilkan kacang hijau karena pada musim tanam kacang hijau, perlakuan *cover crop* ditanami tanaman penutup tanah (*Mucuna* sp.) dan dipanen pada saat pertumbuhan maksimumnya, ditimbang dan dikembalikan ke tanah sebagai pupuk organik. Aplikasi pupuk organik dengan mengandalkan sisa tanaman saja kelihatannya belum bisa menjamin dinamika unsur hara sesuai dengan kebutuhan tanaman sehingga hasil tanaman kurang optimal.

Tabel 8. Perubahan kadar unsur hara sebagai indikator dinamika unsur hara sistem ushatani yang diuji pada lahan kering masam jenis tanah Kandiuoxs di Kuamang Kuning, Jambi (1989-1991)

Table 8. Changes of nutrients content as nutrients dynamics indicator of tested farming system on acid dry lands of Kandiuoxs, Kuamang Kuning, Jambi, 1989-1991

Sistem usahatani	Perubahan kadar unsur hara							
	C-organik		P-td		K		Ca	
	1989	1991	1989	1991	1989	1991	1989	1991
	..... % .....		..... mg kg ⁻¹ .....		..... cmol kg ⁻¹			
<i>Alley cropping</i>	0,90	1,65	4,50	69,00	0,10	0,13	1,00	3,25
<i>Cover crop</i>	0,95	1,51	4,35	30,00	0,10	0,07	0,85	2,90
Crop resd. benam	0,81	1,61	3,00	27,50	0,10	0,06	0,75	2,55
Crop resd. bakar	0,85	1,64	2,50	30,00	0,10	0,09	0,80	0,31

Keterangan: semua sistem usahatani diaplikasikan pupuk 45 kg N per ha untuk kacang tanah; 90 kg N+40 kg P+25 kg K (untuk padi gogo) + 2,0 ton kapur pertanian (hanya pada musim tanam padi gogo) per ha; tidak ada aplikasi pupuk pada musim tanam kacang hijau.

Tabel 9. Hasil padi gogo, kacang tanah, dan kacang hijau sistem usahatani yang diuji pada lahan kering masam jenis tanah Kandiuoxs di Kuamang Kuning, Jambi (1989-1991)

Table 9. Upland rice, peanut, and mungbean yields of tested farming system on acid dry lands of Kandiuoxs Kuamang Kuning, Jambi, 1989-1991

Sistem usahatani	Hasil tanaman							
	Padi gogo		Kacang tanah		Kacang hijau			
	1990	1991	1989	1990	1991	1989	1990	1991
	..... kg ha ⁻¹							
<i>Alley cropping</i>	1.185	811	914	1.135	783	514	491	257
<i>Cover crop</i>	814	480	698	625	601	-	-	.*
Crop resd. benam	906	698	672	872	768	578	509	167
Crop resd. bakar	638	413	463	826	560	501	325	67

Keterangan: *ditanam penutup tanah (*Mucuna* sp.); semua sistem usahatani diaplikasikan pupuk 45 kg N per ha untuk kacang tanah; 90 kg N+40 kg P+25 kg K (untuk padi gogo) + 2,0 ton kapur pertanian (hanya pada musim tanam padi gogo) per ha; tidak ada aplikasi pupuk pada musim tanam kacang hijau

Hasil penelitian tersebut ditindak lanjuti dengan pengujian keunggulan sistem pertanaman lorong (*alley cropping*) dalam menjaga dinamika unsur hara serta hasil tanaman pada lahan kering masam dalam skala yang lebih luas (*on-farm research*). Dalam penelitian ini, diuji usahatani pertanaman lorong (*alley cropping*) dengan tanaman leguminosa menyemak sebagai tanaman pagar (*hedge row*) kombinasi dengan kapur pertanian dan pupuk anorganik sumber N, P, dan K menjadi sistem usahatani yang menarik untuk dikembangkan. Penelitian selama tiga tahun, menguji tiga jenis tanaman pagar: *Flemingia* sp, King grass, dan pisang+rumpuk lokal dibandingkan dengan cara petani (tanpa tanaman pagar), diberi pupuk dasar berupa 45 kg N ha⁻¹ + 40 kg P ha⁻¹ + 25 kg K ha⁻¹ + 2,0 ton kapur pertanian (kapur hanya diaplikasikan pada tanaman padi gogo); dan pola tanam padi gogo - kacang tanah - kacang hijau/tahun. Selama tiga tahun penelitian menunjukkan terjadinya dinamika unsur hara dan produktivitas padi gogo, kacang tanah, dan kacang hijau yang positif dan stabil tinggi pada sistem *alley cropping Flemingia* sp. sebagai tanaman pagar (Wigena dan Santoso 2003).

Selama 3 tahun aplikasi, sistem *alley cropping* dengan *Flemingia* sp. sebagai tanaman pagar mampu memperbaiki dinamika unsur hara dengan meningkatkan keseimbangan unsur hara N, P, K, Ca, dan Mg masing-masing sebanyak 160,8 kg, 97,8 kg, 151,9 kg, 844,8 kg, dan 19,1 kg ha⁻¹ 3tahun⁻¹ (Tabel 10). Pada periode yang sama, status unsur hara N, P, K, Ca, dan Mg di dalam tanah juga meningkat masing-masing 0,04%, 63,8 me 100g⁻¹, 0,03 me 100g⁻¹, 3,48 me 100g⁻¹, dan 0,01 me 100g⁻¹. Sistem *alley cropping* dengan King grass dan pisang+rumpuk lokal sebagai tanaman pagar menunjukkan kecenderungan yang sama walaupun dengan peningkatan keseimbangan unsur hara yang lebih rendah. Pada perlakuan petani yang tanpa teras, keseimbangan unsur hara N, K, Ca, dan Mg menurun

yang berarti terjadi pengurangan unsur-unsur hara tersebut masing-masing sebanyak -78,4 kg, -27,6 kg, -100,0 kg, dan -18,2 kg ha⁻¹ 3tahun⁻¹. Unsur hara P meningkat sekitar 19,8 kg ha⁻¹ 3tahun⁻¹ yang dimungkinkan adanya residu fosfat dari aplikasi pemupukan fosfat sebagai SP-36. Pengurangan unsur hara tersebut juga tercermin dari penurunan status unsur hara N, K, Ca, dan Mg masing-masing -0,05%, -0,01 me 100g⁻¹, -1,19 me 100g⁻¹, dan -0,05 me 100g⁻¹. Sementara status fosfat meningkat sebanyak 15,5 me 100g⁻¹ tanah.

Hasil padi gogo, kacang tanah, dan kacang hijau memperlihatkan pola yang mirip dengan dinamika unsur hara tersebut (Tabel 11). Sistem *alley cropping* dengan *Flemingia* sp. sebagai tanaman pagar memberikan hasil padi gogo, kacang tanah, dan kacang hijau tertinggi selama enam musim tanam. Hasil kacang hijau tergolong rendah selama dua musim tanam karena tidak ada aplikasi masukkan terutama pupuk anorganik melainkan hanya mengandalkan residu dari musim tanam sebelumnya (kacang tanah). Hasil ini kuat mengindikasikan masih diperlukannya pupuk anorganik terutama sumber N, P, dan K selain pupuk organik sisa panen, kompos ataupun pupuk kandang terkait dengan rendahnya kadar unsur hara pada lahan kering masam. Hal lainnya yang menguatkan akan arti pentingnya pupuk anorganik pada lahan kering masam adalah perlakuan petani yang tidak dilakukan pemupukan organik tetapi masih bisa memberikan hasil padi gogo, kacang tanah, dan kacang hijau walaupun dengan kecenderungan produktivitas menurun, dinamika unsur hara yang negatif (pengurangan unsur hara) menuju ke lahan degradasi.

Selain perbaikan neraca hara, usaha tani berbasis dinamika hara sistem *alley cropping* juga mampu memperbaiki sifat fisika tanah antara lain penurunan berat isi, peningkatan ruang pori total, pori drainase lambat dan cepat serta ketersediaan air untuk tanaman (Erfandi *et al.*, 1988). Semua sistem *alley cropping* yang

Tabel 10. Dinamika neraca unsur hara penelitian *alley cropping* pada lahan kering masam Oxic Dystrudept, Kuamang Kuning, Jambi, 1992-1994

Table 10. Nutrients balance dynamics of *alley cropping* research on acid dry lands of Oxic Dystrudept, Kuamang Kuning, Jambi, 1992-1994

<i>Alley cropping</i>	Keseimbangan hara					Perubahan status hara per 3 tahun				
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
	..... kg ha ⁻¹ 3tahun ⁻¹					% me 100g ⁻¹				
<i>Flemingia</i> sp.	160,8	97,8	151,9	844,8	19,1	0,04	63,8	0,03	3,48	0,01
King grass	43,7	59,7	75,5	746,4	-8,2	0,02	19,6	0,01	2,56	-0,03
Pisang+rumpuk lokal	8,7	56,8	70,7	723,3	-10,8	0,01	20,0	0,02	2,02	-0,06
Petani	-78,4	19,8	-27,6	-100,0	-18,2	-0,05	15,5	-0,01	-1,19	-0,05

Keterangan: *Flemingia* sp.: pangkasan dibenam langsung ke tanah; *King grass*: pangkasan sebagai pakan sapi, kotoran sapi ke tanah; Pisang+rumpuk lokal: pangkasan rumput+ daun/dahan dibenam langsung ke tanah; Petani: tanpa teras

diuji menunjukkan perbaikan sifat fisika dan kimia serta meningkatkan produktivitas kedelai dibandingkan dengan tanpa alley cropping (Tabel 12). *Alley cropping* dengan *Flemingia* sp. sebagai tanaman pagar menunjukkan perbaikan fisika terbaik seperti berat isi 1,08 g cm⁻³, ruang pori total 59,2%, pori drainase cepat dan lambat masing-masing 25,6 dan 5,3%. Sifat kimia juga demikian, tercermin dari kadar C-organik dan N masing-masing sebesar 2,85 dan 0,20%. Perbaikan sifat fisika dan kimia tersebut diikuti oleh produktivitas kedelai tertinggi sebesar 0,8 t ha⁻¹ biji kedelai kering.

Perbaikan sifat fisika dan kimia serta produktivitas padi gogo pada sistem usahatani alley cropping pada lahan kering masam dilaporkan oleh Muchtar (2012). Beberapa sifat kimia tanah membaik sebelum dan sesudah aplikasi *alley cropping* seperti: kadar C-organik, P₂O₅ total meningkat dari 1,30% menjadi 1,33% dan 51,65 mg 100g⁻¹ menjadi 53,84 mg 100g⁻¹. Sementara itu, kadar aluminium dan H⁺ menurun dari 1,77 cmol kg⁻¹ menjadi 1,62 cmol kg⁻¹ dan dari 0,16 cmol kg⁻¹ menjadi 0,06 cmol kg⁻¹. Secara bersamaan, terjadi perbaikan sifat fisika tanah sebelum dan sesudah aplikasi *alley cropping* berupa penurunan berat isi tanah dari 1,44 g cm⁻³ menjadi 1,36 g cm⁻³, pori

drainase cepat meningkat dari 3,7 menjadi 8,5% dan permeabilitas tanah meningkat dari 1,0 menjadi 5,7 cm jam⁻¹. Produktivitas padi gogo sebanyak 5,40 ton GKP ha⁻¹ (setara dengan 4,60 ton GKG ha⁻¹), termasuk tinggi dibandingkan dengan produktivitas padi gogo nasional sebanyak 3,5 t ha⁻¹.

Penelitian tanaman lorong dengan *Flemingia* sp. sebagai tanaman pagar dan tanaman pangan padi – padi + kacang tanah menunjukkan adanya neraca karbon 2,5 t ha⁻¹ tahun⁻¹ dan nitrogen 15-50 kg ha⁻¹ tahun⁻¹. Selain itu, produksi padi meningkat rata-rata 1,5 t ha⁻¹ tahun⁻¹ selama tiga tahun (Wiyono 2011). Tanaman lorong semakin menunjukkan kelebihan dalam pengendalian erosi tanah pada lahan kering masam berlereng yang pemanfaatannya semakin luas terkait dengan semakin berkurangnya ketersediaan lahan kering masam dengan topografi datar. Keuntungan lain dari aplikasi tanaman lorong pada lahan berlereng adalah dapat menghasilkan bahan organik dari pangkasan tanaman lorong yang sangat dibutuhkan untuk meningkatkan produktivitas lahan kering masam (Dariah *et al.* 1993). Pertanaman lorong sangat potensial menjadi sistem usahatani yang berkelanjutan pada lahan kering melalui mekanisme

Tabel 11. Produksi tanaman pangan sistem *alley cropping* yang diuji pada lahan kering masam jenis Oxic Dystrudept di Kuamang Kuning Jambi

Table 11. Food crops yield on tested alley cropping system on acid dry lands of Oxic Dystrudept, Kuamang Kuning, Jambi, 1992-1994

<i>Alley cropping</i>	Padi gogo		Kacang tanah		Kacang hijau	
	1993	1994	1993	1994	1993	1994
	kg ha ⁻¹					
<i>Flemingia</i> sp.	1.079	1.281	1.134	484	530	490
<i>King grass</i>	1.035	893	880	397	381	311
Pisang+rumput lokal	1.113	1.024	958	420	410	298
Petani	767	448	780	109	292	215

Keterangan: *Flemingia* sp.: pangkasan dibenam langsung ke tanah; *King grass*: pangkasan sebagai pakan sapi, kotoran sapi ke tanah; Pisang+rumput lokal: pangkasan rumput+ daun/dahan dibenam langsung ke tanah; Petani: tanpa teras

Tabel 12. Perbaikan sifat fisika, kimia dan produktivitas kedelai pada sistem usahatani *alley cropping* pada lahan kering masam di Kuamang Kuning, Jambi

Table 12. Improving of at physical and chemical properties and soybean productivity of several *alley cropping* systems on acid dry lands Kuamang Kuning, Jambi

<i>Alley cropping</i>	Sifat fisika tanah					Sifat kimia		Produktivitas kedelai	
	Berat isi	RPT	PDC	PDL	Air-tds	C	N	Biji	Biomasa
	g cm ⁻³	% volume				%		t ha ⁻¹	
<i>Leucaena</i> sp.	1,12	56,2	20,4	4,6	12,5	2,63	0,18	0,6	1,3
<i>Flemingia</i> sp.	1,08	59,2	25,6	5,3	14,6	2,85	0,20	0,8	1,6
<i>Caliandra</i> sp.	1,10	57,4	24,1	4,8	13,6	2,73	0,16	0,7	1,5
Tanpa alley crop.	1,28	51,7	13,7	4,0	11,3	1,31	0,07	0,4	0,9

Keterangan: RPT = ruang pori total; PDC = Pori drainase cepat; PDL = Pori drainase lambat

pengurangan aliran permukaan dan erosi tanah, meningkatkan kandungan bahan organik tanah, sebagai sumber unsur hara terutama kalium, dan meningkatkan kemampuan dalam mengikat/menyediakan air/lengas untuk memperlancar dinamika unsur hara ke permukaan akar melalui proses aliran masa dan difusi (Subandi 2014).

KESIMPULAN

Lahan kering masam tersebar luas tetapi memiliki kendala untuk pengembangan usahatani tanaman pangan berupa sifat fisika dan kimia yang kurang mendukung pertumbuhan dan hasil tanaman. Sifat fisika antara lain: tanah padat (berat isi tanah $>1,2 \text{ g cm}^{-3}$), daya pegang air rendah, permeabilitas lambat, erosi dan aliran permukaan tinggi. Sifat kimia antara lain: kadar bahan organik, unsur hara, KTK dan KB rendah, kadar oksida besi dan aluminium tinggi sampai meracuni tanaman.

Tumpangsari merupakan sistem usahatani yang berpeluang sebagai usahatani berkelanjutan melalui perbaikan sifat fisika dan kimia tanah serta mampu meningkatkan hasil tanaman pangan. Perbaikan sifat fisika tanah antara lain penurunan B.D, porositas, dan kapasitas lapang tanah pada tanaman monokultur masing-masing berkisar antara $2,59 \text{ g cm}^{-3}$; $42,35\%$; dan $28,24\%$ menjadi $2,18 \text{ g cm}^{-3}$; $49,12\%$; dan $37,99\%$ pada tumpangsari. Dinamika unsur hara karbon dan nitrogen pada tanaman ubikayu monokultur $-7,0 \text{ t ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$ dan $-60 \text{ kg ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$; pada tumpangsari ubikayu + jagung + kacang tanah masing-masing $+1,5 \text{ t ha}^{-1}$ dan $+10 \text{ kg ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$.

Tanaman lorong (*alley cropping*) sangat potensial menjadi sistem usahatani yang berkelanjutan pada lahan kering melalui perbaikan sifat fisika dan kimia tanah seperti meningkatkan kemampuan dalam mengikat/menyediakan air/lengas untuk memperlancar dinamika unsur hara ke permukaan akar melalui proses aliran masa dan difusi, meningkatkan kandungan bahan organik tanah, dan sebagai sumber unsur hara. Perbaikan sifat fisika tanah antara lain BD, ruang pori total (RPT), pori drainase cepat (PDC), air-tersedia pada tanaman lorong berkisar $1,08 \text{ g cm}^{-3}$; $59,2\%$; $25,6\%$; dan $14,6\%$; tanpa tanaman lorong masing-masing berkisar $1,28 \text{ g cm}^{-3}$; $51,7\%$; $13,7\%$; dan $11,3\%$. Perbaikan sifat kimia tanah dinamika karbon dan nitrogen pada tanaman lorong berkisar $2,73$ dan $0,20\%$; tanpa tanaman lorong berkisar $1,31$ dan $0,07\%$. Hasil padi gogo, kacang tanah, dan kacang hijau pada tanaman lorong berkisar $12,8$; $11,3$; dan $5,3 \text{ ku ha}^{-1}$ dan tanpa tanaman lorong masing-masing berkisar $7,8$; $7,8$; dan $2,9 \text{ ku ha}^{-1}$.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiningsih, J.S. dan Mulyadi. 1993. Alternatif Teknik Rehabilitasi dan Pemanfaatan Lahan Alang-Alang. Hal. 29-50. Prosiding Pemanfaatan Alang-Alang untuk Usahatani Berkelanjutan. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Badan Litbang Pertanian. Bogor.
- Alkusuma. 2000. Morphology, Characteristics and Genesis of Soils on Mount Hulu-Sabuk Volcano, Tanjung Raja, Lampung, Indonesia. MSc Thesis. University of the Philippines, Los Banos.
- Arman, M.J., U. Firman, dan L. Sabaruddin. 2013. Pertumbuhan dan produksi jagung dan kacang tanah melalui pemberian nutrisi organik dan waktu tanam dalam sistem tumpangsari. Jurnal Agroteknos 3(1):1-7. Jurusan Agroteknologi Fakultas Pertanian. Universitas Haluoleo. Kendari.
- Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. 2011. Penelitian dan Pengembangan Teknologi Pengelolaan Lahan Gambut Berkelanjutan untuk Meningkatkan Sekuestrasi Karbon dan Mitigasi Gas Rumah Kaca. Laporan Akhir ICCTF Tahap I Bidang Sosial Ekonomi.
- Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. 2012. Lahan Sub Optimal: Potensi, Peluang, dan Permasalahan Pemanfaatannya untuk Mendukung Program Ketahanan Pangan. Disampaikan dalam Seminar Lahan Sub Optimal. Kementerian Riset dan Teknologi. Palembang.
- Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. 2014. Road Map Penelitian dan Pengembangan Lahan Kering. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Kementerian Pertanian.
- Dariah, A., D. Erfandy, E. Sutriadi, dan Suwardjo. 1993. Tingkat efisiensi dan efektifitas tindakan konservasi secara vegetatif dengan strip *Vetiver* dan *Flemingia* sp. pada usahatani tanaman jagung. Hlm 83-92. Dalam Prosiding Pertemuan Teknis Penelitian Tanah dan Agroklimat. Pusat Penelitian Tanah. Badan Litbang Pertanian.
- De Miquel, J.M., B. Acosta-Gallo, and A. Gomez-Sal. 2013. Understanding mediterranean pasture dynamics: general tree cover vs. specific effects of individual trees. Rangeland Ecology and Management 66(2):216-223.
- Erfandi, D., H. Suwardjo, dan A. Rachman. 1988. Penelitian alley cropping di Kuamang Kuning, Jambi. Hlm 105-110. Dalam Prosiding Hasil Penelitian Pola Usahatani Terpadu di Daerah Transmigrasi Kuamang Kuning, Jambi. Pusat Penelitian Tanah. Bogor.
- Hakim, N., G. Ismail., Mardinus, dan H. Muchtar. 1997. Perbaikan lahan kritis dengan rotasi tanaman dalam budidaya lorong. Hlm. 1656-1664. Dalam Prosiding Simposium Penelitian Tanaman Pangan III. Puslitbangtan. Deptan.
- Hamzah, A. dan I. Nasution. 1999. Pengaruh pemupukan N, P, K pupuk hayati dan bahan organik terhadap populasi mikroba tanah dan pertumbuhan tanaman. Hlm 191-203. Dalam Prosiding Seminar Nasional Sumber Daya Tanah, Iklim, dan Pupuk. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Badan Litbang Pertanian.
- Hidayat, A. dan A. Mulyani. 2000. Lahan kering untuk pertanian. Hlm 1-34. Dalam Teknologi Pengelolaan Lahan Kering Menuju Pertanian Produktif dan Ramah Lingkungan. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Badan Litbang Pertanian.

- Isa, A., F.S. Zaayah, dan G. Stoops. 2004. Karakteristik mikromorfologi tanah-tanah vulkanik di daerah Banten. *Jurnal Tanah dan Iklim* 22:1-14.
- Lakitan, B. 2009. Pangan 2050. www.ristek.go.id. 27 Desember 2011.
- Lakitan, B. dan N. Gofar. 2013. Kebijakan Inovasi Teknologi untuk Pengelolaan Lahan Suboptimal Berkelanjutan. Makalan Seminar Nasional Lahan Suboptimal, 21-22 September 2013. Palembang.
- Menteri Ristek dan Teknologi. 2011. Lahan Subur di Indonesia Kian Minim. www.ristek.go.id.
- Muchtar. 2012. Pengembangan Inovasi Teknologi Sistem Integrasi Tanaman-Ternak (SITT) dan Rumah Pangan Lestari di Kebun Percobaan Taman Bogo, Lampung. Laporan Akhir. Balai Penelitian Tanah. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Balitbangtan.
- Mulyani, A. dan M. Sarwani. 2013. Karakteristik dan Potensi Lahan Sub Optimal untuk Pengembangan Pertanian di Indonesia. *Dalam* Prosiding Seminar Nasional Lahan Sub-optimal "Intensifikasi Pengelolaan Lahan Sub-optimal dalam Rangka Mendukung Kemandirian Pangan Nasional", Palembang.
- Nursanti, I. dan A.M. Rahim. 2009. Pengelolaan Kesuburan Tanah Mineral Masam untuk Pertanian. Tesis. Program Studi Ilmu Tanaman, Program Magister (S2) Pascasarjana. Universitas Sriwijaya. Palembang.
- Prasetyo, B.H. dan D.A. Suriadikarta. 2006. Karakteristik, potensi, dan teknologi pengelolaan tanah Ultisol untuk pengembangan pertanian lahan kering di Indonesia. *Jurnal Litbang Pertanian* 25(2):12.
- Prasetyo, B.H., D. Subardja, dan B. Kaslan. 2005. Ultisols dari bahan volkan andesitic di lereng bawah Gunung Ungaran. *Jurnal Tanah dan Iklim* 23:1-12.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. 2003. Hasil Rumusan Simposium Nasional dan Temu Lapang Pendayagunaan Tanah Masam. *Dalam* Prosiding Simposium Nasional Pendayagunaan Tanah Masam. Bandar Lampung. Badan Litbang Pertanian.
- Rachim, D.A., Astiana, R. Sutanto, N. Suharta, A. Hidayat, D. Subardja, dan M Arifin. 1997. Tanah merah terlapuk lanjut serta pengelolaannya di Indonesia. Hlm 97-116. *Dalam* H. Subagyo, S. Sabiham, R. Shofiyati, A.B. Siswanto, F. Agus, Irawan, A. Rachman, Ropi (Eds.). Prosiding Kongres Nasional VI HITI. Jakarta.
- Rachman, T. 2015. Alih fungsi lahan pertanian mencapai 100 ribu hektar per tahun. <http://www.republika.co.id>.
- Rochayati, S. dan A. Dariah. 2012. Pengembangan lahan kering masam: peluang, tantangan, dan strategi serta teknologi pengelolaan. Hlm. 187-204. *Dalam* A. Dariah, B. Kartiwa, N. Sutrisno, K. Suradisastra, M. Sarwani, H. Soeparno, E. Pasandaran (Eds.). Prospek Pertanian Lahan Kering dalam Mendukung Ketahanan Pangan. Balitbangtan. Kementerian Pertanian.
- Ratsele, R.C. 2013. Long-Term Effects of Rangeland Burning, Grazing and Browsing on Vegetation and Organic Matter Dynamics. A Thesis Submitted for the Degree of Doctor of Philosophy in Pasture Science. Department of Livestock and Pasture Science, Faculty of Science and Agriculture, University of Fort Hare, South Africa.
- Santoso, D., I G P Wigena, Z. Eusof, and C. Xuhui. 1995a. The Asialand Management of Sloping Lands Network: Nutrient Balanche Study on Sloping Lands. Pp. 93-108. *In* Maglinao, A and A. Sajjapongse (Eds). International Workshop on Conservation Farming for Sloping Uplands in Southeast Asia: Challenges, Opportunities, and Prospects. IBSRAM Proceedings No. 14.
- Santoso, D., S. Karama, J.S. Adiningsih, I G.P. Wigena, J. Purnomo, and S. Widodo. 1995b. The Management of Sloping Lands for Sustainable Agriculture in Indonesia. Pp. 53-86. *In* A. Sajjapongse (Ed). Asialand: Management of Sloping Lands for Sustainable Agriculture in Asia.
- Schwertmann, U. and R.M. Taylor. 1989. Iron Oxides. *In* J.B. Dixon and S.B. Weed (Eds.). Mineral in Soil Environments. 2nd ed. Soil Sci. Soc. Am. Madison, Wisconsin, USA. p. 379-438.
- Silveira, M.L., J.M.B. Vendramini, H.M. Da Silva, and M. Azenha. 2013. Nutrient Cycling in Grazed Pastures. www.edis.ifas.ufl.edu.
- Soekardi, M., M.W. Retno, dan Hikmatullah. 1993. Inventarisasi dan karakterisasi lahan alang-alang. Hlm 1-18. *Dalam* S. Sukmana, Suwardjo, J. Sri Adiningsih, H. Subagjo, H. Suhardjo, Y. Prawirasumantri. (Eds.). Pemanfaatan Lahan Alang- Alang untuk Usaha Tani Berkelanjutan. Prosiding Seminar Lahan Alang-Alang. Desember 1992. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Badan Litbang Pertanian. Bogor.
- Subagyo, H., N. Suharta, dan A.B. Siswanto. 2002. Tanah-tanah pertanian di Indonesia. Hlm 21-65. *Dalam* Sumberdaya Lahan di Indonesia dan Pengelolaannya. Puslittanak. Balitbangtan.
- Subandi. 2014. Pengelolaan Hara Kalium untuk Ubikayu Pada Lahan Kering Masam. Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi. <http://ejurnal.litbang.pertanian.go.id>.
- Suroyo, Suntoro, dan Suryono. 2013. Sistem tumpangsari dan integrasi terhadap terhadap perubahan sifat fisika dan kimia tanah Litosol. *Sains Tanah: Jurnal Ilmu Tanah dan Agroklimatologi*. 10(1):71-79. Program Studi Ilmu Lingkungan. Program Pascasarjana. Universitas Negeri Solo. Surakarta.
- Suwadji. 2005. Menjadikan Pertanian Lahan Kering sebagai Program Unggulan Nasional Universitas Mataram: Realitas atau Mitos. www.prof-suwadji.
- Wibawa, W. 2014. Pemanfaatan Lahan Kering Masam Dengan Tumpangsari Jagung dan Kacang Tanah di Provinsi Bengkulu. Laporan Akhir. BPTP Bengkulu. Badan Litbangtan.
- Wigena, I G.P. 2002. Pengaruh kapur terhadap erapan P dan S pada tanah Oxic Dystrudept serta kaitannya dengan hasil dan kualitas kacang tanah. Hlm. 261-272. *Dalam* Prosiding Seminar Nasional Optimasi Sistem Produksi Pertanian Ramah Lingkungan Mendukung Ketahanan Pangan dan Agribisnis. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Balitbangtan. Bogor.
- Wigena, I G.P. dan D. Santoso. 2003. Management of acid mineral soils for sustainable agriculture. Pp. 100-110. *In* Proceeding of the International Seminar on the Organic Farming and Sustainable Agriculture in the Tropics and Subtropics: Science, Technology, Management, and Social Welfare. 40th Anniversary Faculty of Agriculture Sriwijaya University. Palembang.
- Wiyono, E. 2011. Neraca Hara dan Karbon dalam Sistem Agroforestri. <http://tanonmandiritaniorganik.blogspot.co.id>.