

Alley Cropping Meningkatkan Resiliensi Produksi Pertanian Pada Lahan Kering (A Review)

Nining Haerani*

Program Studi Agroteknologi, Fapertahut, Universitas Islam Maros
nininghaerani@yahoo.com

Abstrak

Lahan kering merupakan sumber daya alam yang mempunyai peluang besar untuk dimanfaatkan secara optimal. Pengelolaan lahan kering (terutama yang berlereng terjal) harus disertai dengan kaidah-kaidah teknik konservasi yang cocok dan sesuai dengan kondisi petani. Oleh karena itu teknik konservasi yang diintroduksi haruslah teknik konservasi yang efektif mengendalikan erosi, murah dan mudah diterapkan serta dapat diterima oleh petani. Salah satu teknologi yang tersedia adalah sistem pertanaman lorong (*Alley cropping*). Tulisan ini membahas tentang potensi sistem *alley cropping* dalam meningkatkan resiliensi produksi pertanian pada lahan kering berdasarkan hasil-hasil penelitian tentang: (1) daur ulang hara dan kemampuan tanah menyimpan air, (2) efektivitas pengendalian erosi, (3) pengurangan kehilangan hara akibat pencucian, (4) peningkatan produktivitas tanah dan tanaman, (3) analisis ekonomi, (6) peluang dan adopsi. Dengan memperhatikan berbagai keunggulan, nilai ekonomi, peluang pengembangan dan adopsinya maka *Alley cropping* mempunyai potensi besar untuk meningkatkan resiliensi produksi pertanian pada lahan kering.

Kata kunci: *Alley cropping, daur ulang hara, erosi, lahan kering, resiliensi.*

PENDAHULUAN

Lahan kering merupakan sumber daya alam yang mempunyai peluang besar untuk dimanfaatkan secara optimal. Untuk memanfaatkan sumberdaya ini haruslah berhati-hati karena sebagian besar lahan kering tersebar di daerah dengan tingkat kemiringan yang cukup besar, bentuk wilayah berombak sampai berbukit dengan curah hujan yang tinggi. Hal ini akan memicu terjadinya erosi, sehingga mengakibatkan penurunan produktivitas lahan. Sehubungan dengan hal tersebut, maka pemanfaatan lahan kering tidak akan optimal tanpa penerapan teknik konservasi yang memadai. Selain fisik lingkungan, keadaan sosial ekonomi petani juga merupakan faktor penyebab terhambatnya pengembangan /pembangunan pertanian di daerah ini. Pada umumnya petani lahan kering adalah petani miskin dengan penguasaan/pemilikan lahan yang sempit dan bermodal rendah. Oleh karena itu teknologi yang diintroduksi haruslah teknologi yang mampu mengendalikan erosi, meningkatkan produktivitas tanah dan tanaman, tahan terhadap perubahan iklim seperti curah hujan yang tinggi, mudah dilaksanakan,

dan dapat diadopsi oleh petani sehingga dapat mewujudkan sistem pertanian berkelanjutan dan resilien. Salah satu teknologi yang tersedia adalah sistem pertanaman lorong atau *Alley cropping*.

Kang (1997) mengemukakan bahwa teknologi yang mengintegrasikan pohon dan semak dalam pengaturan zona spasial dengan tanaman pangan dalam sistem produksi, hasil menunjukkan bahwa kehadiran spesies kayu dalam sistem produksi tanaman dapat berkontribusi terhadap daur ulang hara, pengurangan kehilangan hara tanah akibat pencucian, stimulasi aktifitas fauna tanah yang tinggi, pengendalian erosi tanah, perbaikan kesuburan tanah dan produksi tanaman yang berkelanjutan. Selain itu informasi ini dapat dimanfaatkan dalam pengembangan sistem agroforestry ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Alley cropping yang merupakan salah satu model agroforestry telah diusulkan sebagai salah satu solusi global untuk meningkatkan efisiensi penggunaan lahan, sekaligus mengurangi dampak lingkungan dan resiko ekonomi bagi petani (Quinkenstein et al., 2009). Selanjutnya oleh (Wilson and Lovell, 2016) mengatakan bahwa kombinasi

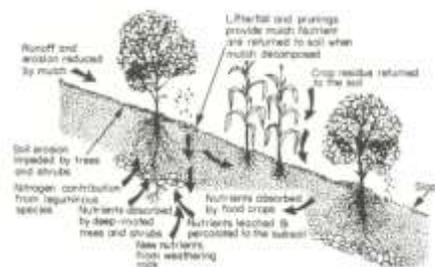
pohon dan tanaman bisa menjadi langkah selanjutnya dalam pertanian berkelanjutan. Dengan menerapkan sistem yang meniru fungsi alam, alley cropping berpotensi untuk tetap produktif sambil mendukung berbagai layanan ekosistem. Sehingga alley cropping diyakini sebagai salah satu strategi penggunaan lahan terbaik untuk berkontribusi pada ketahanan pangan sekaligus membatasi kerusakan lingkungan. Proses Alley cropping merupakan reinterpretasi fungsional menyeluruh dari konsep untuk kondisi tropis (Radersma et al., 2004). Efek menguntungkan dari tanah-pohon pada tanaman pertanian dapat dilakukan dengan menghubungkan dua komponen dalam waktu, seperti dalam praktek berurutan rotasi bera, atau dalam ruang, melalui asosiasi simultan pohon dan tanaman semusim, dapat didefinisikan sebagai pendekatan “zonal” terhadap Agroforestry (Kang, 1997). Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem ini sangat efektif mengendalikan erosi. Di Thailand, perladangan yang dilakukan di ladang petani di Khaokwan Thong sebuah desa di Provinsi Uthaitani, Alley cropping terbukti dapat menurunkan erosi (Ogunlana et al., 2010). Di Philipina, penelitian untuk mengetahui laju erosi dan respons hasil panen tanaman di bawah sistem alley cropping pohon desmanthus yang ditanam membentuk lorong menunjukkan bahwa terjadi penurunan erosi pada lahan dan perbaikan produksi jagung, selain itu tanaman pagar desmanthus dipangkas secara periodik selama tiga tahun dapat menyediakan pupuk hijau untuk tanaman pangan (Comia, Paningbatan, & Håkansson, 1994).

Sistem alley cropping tradisional telah lama diterapkan di dataran tinggi Ethiopia, pada tanah asam di tenggara Nigeria dan di Indonesia begitu juga pada lahan miring di Filipina selatan dan timur. Sistem ini digunakan oleh petani secara tradisional untuk mempertahankan produksi tanaman walaupun tanpa masukan bahan kimia eksternal atau sebagai sumber tambahan penghasilan dan produk tambahan lainnya (Kang, 1997).

Tulisan ini membahas tentang potensi sistem alley cropping dalam meningkatkan resiliensi produksi pertanian pada lahan kering berdasarkan hasil-hasil penelitian tentang: (1) daur ulang hara dan kemampuan tanah menyimpan air, (2) efektivitas pengendalian erosi, (3) peningkatan produktivitas tanah dan tanaman, (4) analisis ekonomi, (5) peluang dan tingkat adopsi. Dengan memperhatikan keunggulan, peluang dan kendala adopsinya maka Alley cropping mempunyai potensi besar untuk meningkatkan resiliensi produksi pertanian pada lahan kering.

1. Daur Ulang Hara Dan Kemampuan Tanah Menyimpan Air

Alley cropping yang juga dikenal sebagai “tumpang sari tanaman pagar” dan “pertanian kontur” adalah agro subsistem kehutanan zonal yang melibatkan tumpang sari pohon serbaguna, semak-semak dan tanaman pangan atau Multipurpose Trees and Shrub (MPTS). Pepohonan yang ditanam tumbuh membentuk lorong, dan pada lorong ditanam tanaman pangan. Susunan agroforestry zonal ini memungkinkan integrasi yang lebih luas pada spesies kayu dalam sistem agroforestry campuran (Kang, 1997). Pengaturan sistem tanam ini juga memfasilitasi pilihan pengelolaan yang lebih fleksibel untuk mengurangi kompetisi dan saling melengkapi ruang antara pohon-pohon dan tanaman. Selama periode tumbuh, tanam pagar secara periodik dipangkas untuk mengurangi naungan tanaman sisipan. Ketika tidak ada tanaman di lahan, pagar tanaman yang dibiarkan tumbuh secara bebas untuk menutupi tanah (Barreto et al., 2012)



Gambar 1. Skema representasi menunjukkan manfaat daur ulang hara dan pengendalian erosi pada alley cropping (Kang, 1997)

Spesies kayu pada sistem alley cropping dapat meningkatkan kesuburan tanah dengan menyerap unsur hara dari lingkungan sekitarnya dan dari lapisan tanah yang lebih dalam (pendaurulangan unsur hara yang merembes melalui pemompaan unsur hara ke atas) dan mengkonsentrasikannya ke dalam biomassa perenial dan lapisan tanah bagian atas (Quinkenstein et al., 2009). Juga dengan meningkatkan kadar bahan organik di dalam lapisan tanah atas, lewat interaksi dengan mikorisa dan bakteri tanah (pengikatan nitrogen, pelarut fosfat) dan dengan menyerap unsur hara dari aliran udara dan air. Spesies-spesies berkayu melakukan peran ini khususnya selama waktu bera alami dan beberapa spesies tertentu dapat diperkenalkan secara khusus untuk mengintensifkan bera (Bainard et al., 2011)

Alley Cropping mempunyai kemampuan untuk mendaur ulang hara walaupun aspek ini belum dipelajari secara luas. Pardon et al. (2017) menunjukkan peristiwa ini di dalam sistem tanaman lorong dengan leucaena. Ia menemukan konsentrasi N, K, Ca dan Mg yang lebih tinggi pada permukaan tanah dibanding lapisan tanah bagian bawah, di bawah tanaman pagar. Hal ini disebabkan sampah daun yang gugur dan pengambilan hara oleh pohon dari lapisan tanah bagian bawah. Sebaliknya pada tengah-tengah lorong, jumlah hara lebih rendah di permukaan tanah dalam kaitan dengan pengambilan tanaman dan jumlah yang lebih tinggi pada lapisan tanah bagian bawah dalam kaitan dengan pencucian. Cardinael et al. (2015) mengemukakan bahwa tanaman lorong dapat mengurangi penggantian hara yang mengarah ke bawah. Lehmann et al. (1999) menemukan kandungan N dan Ca pada daun lebih tinggi pada kombinasi agroforestri dibandingkan dengan monokultur, sesuai dengan kandungan N dan Ca tanah yang juga lebih tinggi. Larutan tanah dan dinamika mineral N menunjukkan adanya peningkatan N di bawah deretan pohon dan tanah yang tidak terpakai N di tanah lapisan atas alley cropping yang dipotong tunggal dan juga kedalaman di bawah 60 cm pada tanaman monokultur. Efisiensi penggunaan N pada kombinasi pohon + tanaman lebih tinggi daripada pertanaman tunggal.

Ada sejumlah besar sistem agroforestry yang dipraktikkan di Amerika di mana pohon pensuplai nitrogen digunakan untuk memasok nitrogen dan bahan organik sama baiknya untuk memberikan kontribusi lain untuk memperbaiki kondisi pertumbuhan komponen penguat non-nitrogen, termasuk tanaman tahunan, tanaman tahunan dengan tanaman pertanian. Sistem ini dapat dibagi ke dalam sistem tradisional, yang berawal sebelum penaklukan Eropa di Amerika, sistem natural yang mungkin pernah ada sebelumnya mengenai manusia di Amerika sekitar 20.000 tahun yang lalu, dan sistem yang dirancang oleh ilmuwan pertanian dalam 100 tahun terakhir tahun. Upaya dilakukan untuk mengevaluasi fiksasi nitrogen dan sumber nutrisi di lebih dari 10 sistem tradisional dan sintetis semacam itu. Eksperimen terkontrol selama waktu yang cukup untuk membuat gambaran yang akurat tentang fiksasi nitrogen dan penguraian residu organik umumnya kurang. Sistem dengan kehilangan unsur hara rendah, dimana pohon dibiarkan tumbuh dalam waktu lama tanpa dipangkas, diharapkan dapat memberikan kontribusi lebih besar terhadap perbaikan kondisi tanah (Pardon et al., 2017).

Dalam sistem budidaya lorong akan terjadi interaksi yang saling menguntungkan antara tanaman pagar dengan tanaman pokok, antara lain adalah: (a)

serasah dari tanaman pagar berperan menurunkan kehilangan air melalui evaporasi dari permukaan tanah sehingga akan memperbaiki kelembaban tanah, (b) naungan tanaman pagar dapat menekan pertumbuhan gulma (misalnya *Imperata cylindrica*) sehingga akan mengurangi resiko kebakaran pada musim kemarau, dan (c) tanaman pagar (khususnya dari jenis leguminosa) dapat mengikat unsur nitrogen (N) secara biologis dari udara sehingga akan menurunkan kebutuhan pupuk nitrogen (Kang, 1997). Sistem pertanaman alley menunjukkan potensi untuk mendaur N yang efisien, mengingat kemampuan *Pinus loblolly* yang jelas untuk mencegat dan menyerap pupuk dari lapisan tanah yang lebih dalam dan kembali ke permukaan tanah melalui serasah (Zamora et al., 2009).

Pengukuran dari sistem seperti perkebunan yang teduh dan alley cropping, dimana pohon sering dipangkas dan tingkat pemindahan nutrisi tinggi, umumnya hanya menunjukkan penumpukan nitrogen, bahan organik tanah yang lambat, tingkat nutrisi dan perbaikan yang ada dalam kondisi fisik tanah (Paul et al., 2017). Mungkin kondisi ketidakseimbangan dari pemangkasan, pembakaran dan penghilangan nutrisi pada tanaman menghasilkan akumulasi nutrisi lebih cepat melalui fiksasi nitrogen dan proses lainnya yang memiliki karakteristik sistem "cekaman". Keberhasilan sistem agroforestry mungkin dapat dicapai dengan menjaga kondisi ketidakseimbangan semacam itu (Pardon et al., 2017).

Pertanian organik dan agroforestri memiliki potensi untuk pengembangan agroekosistem ramah lingkungan dan untuk menyerap lebih banyak C organik tanah. Dalam percobaan lapangan jangka panjang, pada pertanian organik 21 tahun dan agroforestri 4 tahun (sistem tanam berbasis Robinia dan Poplar). Fluktuasi yang lebih tinggi dari sistem pengelolaan pangan yang lebih tinggi dari bahan organik yang bisa diekstraksi dengan air adalah mikroba yang berasal dari bahan organik pada sistem pertanian terpadu. Robinia menunjukkan efek positif pada kandungan carbon dalam tanah dan nitrogen total dibanding poplar, dan memiliki efek lebih kuat pada komponen kandungan bahan organik, walaupun tidak berbeda antara dua jenis pohon. Dari sini diketahui pula, penyebaran bakteri organik dan mikroorganisme bermanfaat bagi pengembangan sistem pertanian dan penyerapan karbon tanah (Sun et al., 2017). Neupane and Thapa (2001) mengemukakan bahwa iklim lokal dan mekanisme adaptasi fisiologis pohon merupakan faktor kunci dalam pertumbuhan dan kelangsungan hidup pohon dan tanaman pada sistem tumpangsari, karena secara langsung mempengaruhi distribusi kelembaban tanah.

Hallema et al. (2014) mengevaluasi dampak hidrologi jangka panjang dari perubahan iklim dalam

sistem alley cropping di Kanada bagian timur, mengembangkan kerangka kerja yang menggabungkan data kelembaban tanah lokal dengan proyeksi lokal mengenai perubahan iklim dan model pergerakan air tanah, pengambilan akar dan evapotranspirasi. Forty-five frequency domain reflectometers (FDR) sepanjang penampang melintang tegak lurus terhadap baris pohon menghasilkan kumpulan data selama dua tahun yang digunakan untuk parameterisasi dan evaluasi model. Studi dampak dengan simulasi berdasarkan proyeksi lokal dari tiga simulasi iklim global dan satu regional menunjukkan bahwa tanah menjadi lebih kering secara keseluruhan pada periode antara 2041 dan 2070, sementara jumlah periode basah kritis dengan panjang satu hari sedikit meningkat sehubungan dengan periode referensi antara tahun 1967 dan 1996. Desruelles et al. (2016) mengatakan bahwa simulasi hidrologi berdasarkan skenario iklim keempat bagaimanapun mengarah pada kondisi basah. Dalam semua kasus perubahannya kecil. Meskipun simulasi tersebut menunjukkan bahwa percobaan sistem alley cropping mungkin akan mengalami kondisi tanggapan yang lebih tinggi pada kondisi kering.

Penelitian yang dilakukan oleh Agus et al. (1997) untuk melihat hubungan tanah-air dan sifat fisik tanah di bawah sistem pagar tanaman kontur pada oxisols miring di Filipina, menunjukkan bahwa tanaman hedgerow yang ditanam di sepanjang kontur di lahan terjal di daerah tropis yang lembab mengurangi erosi tanah dan membangun teras dari waktu ke waktu.

Tanaman hedgerow yang digunakan *Gliricidia sepium*, *Paspalum conjugatum*, dan *Penisetum purpureum*. Sifat tanah yang dievaluasi sebagai fungsi posisi di lorong (ketinggian atas, tengah, atau di bawah lorong) meliputi kerapatan curah, impedansi mekanis, transmisivitas air tanah, retensi air, tekanan air tanah, dan kadar air tanah. Secara umum, sifat tanah tidak terpengaruh oleh sistem pagar tanaman, namun dipengaruhi oleh posisi di lorong. Kedekatan dengan pagar tanaman, tapi bukan spesies tanaman hutan, mempengaruhi distribusi air tanah ($P = 0,05$). Air yang tersedia di kedalaman 10-15cm adalah $0,16\text{m}^3\cdot\text{m}^{-3}$, $0,13\text{m}^3\cdot\text{m}^{-3}$, dan $0,08\text{m}^3\cdot\text{m}^{-3}$ untuk posisi bawah lorong, tengah, dan atas. Transmisivitas air menurun dari $0,49\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$ di gang bawah menjadi $0,12\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$ di lorong bagian atas. Kandungan air tanah yang lebih rendah dan tekanan air tanah di dan dekat pagar tanaman menegaskan persaingan untuk air antara spesies tanaman hutan dan tanaman pangan di gang, sebuah kondisi yang diharapkan dapat menekan produksi tanaman pangan (Agus et al., 1997).

2. Efektivitas Pengendalian Erosi

Kerusakan lahan banyak terjadi pada lahan kering, terutama pada lahan kering yang ditanami tanaman pangan dan perkebunan rakyat. Kerusakan terjadi antara lain karena lahan kering terbuka oleh pengolahan tanah, pembakaran, penyiangan dan pengembalaan sehingga tanah mudah tererosi dan longsor. Erosi dan banjir tidak hanya menimbulkan dampak negatif terhadap aspek fisik dan biologis terhadap sumber daya alam dan lingkungan, tetapi juga lebih luas lagi akan menimbulkan dampak negatif terhadap sosial ekonomi masyarakat. Wei, Zhang, and Wang (2007) mengatakan bahwa erosi dan banjir dapat menurunkan kualitas dan kuantitas sumber daya alam dan air, sehingga produktivitas sumber daya tersebut menjadi semakin menurun.

Teknik budidaya lorong telah lama dikembangkan dan diperkenalkan sebagai salah satu teknik konservasi tanah dan air untuk pengembangan sistem pertanian berkelanjutan pada lahan kering di daerah tropika basah, namun belum diterapkan secara meluas oleh petani (Alary et al., 2007). Pada budidaya lorong konvensional, tanaman pertanian ditanam pada lorong-lorong di antara barisan tanaman pagar yang ditanam menurut kontur. Barisan tanaman pagar yang rapat diharapkan dapat menahan aliran permukaan serta erosi yang terjadi pada areal tanaman budidaya, sedangkan akarnya yang dalam dapat menyerap unsur hara dari lapisan tanah yang lebih dalam untuk kemudian dikembalikan ke permukaan melalui pengembalian sisa tanaman hasil pangkasan tanaman pagar (McDonald et al., 2002).

Efektivitas budidaya lorong pada lahan pertanian berlereng miring dalam pengendalian aliran permukaan dan erosi ditentukan oleh perkembangan tanaman pagar serta jarak antar barisan tanaman pagar (Ajayi et al., 2011). Pada awal penerapan budidaya lorong aliran permukaan dan erosi dapat menerobos tanaman pagar yang belum tumbuh rapat, meskipun ditanam lebih dari satu baris tanaman. Pada kondisi demikian, tanaman pagar kurang efektif dalam menghambat aliran permukaan dan menjaring sedimen yang terangkut, sehingga dapat menghanyutkan pupuk dan bahan organik. Setelah tanaman pagar berkembang, persaingan penyerapan air, unsur hara dan sinar matahari antara tanaman pagar dengan tanaman budidaya dapat mengurangi produksi tanaman yang dibudidayakan (Kang, 1997).

Beberapa hasil penelitian yang dilakukan telah menunjukkan bahwa Alley cropping sangat efektif dalam mengendalikan erosi. Efektivitas pengendalian erosi tersebut sangat tergantung kepada jenis dan umur tanaman pagar yang digunakan, jarak

antara tanaman pagar dan kemiringan lahan (Radersma et al., 2004).

Sistem alley cropping di Nigeria Barat Daya dengan menanam *Leucaena* sebagai tanaman pagar dengan periode tanam 3 tahun, 6 tahun dan 12 tahun terbukti dapat mengurangi erosi dan meningkatkan keuntungan ekonomi (Ehui et al., 1990). Efek penanaman *Paspalum notatum* sebagai tanaman lorong di Three Geroges Region pada lahan miring terbukti menurunkan tingkat erosi (Wang et al., 2010).

Penelitian yang dilakukan oleh Wei, Zhang, and Wang (2007) menunjukkan bahwa baik pohon tua maupun pohon muda dalam sistem alley cropping menghasilkan limpasan tertinggi dan kehilangan tanah terendah dibanding pertanaman monokultur kacang tanah. Hasil analisis korelasi dan regresi menunjukkan bahwa ada hubungan yang signifikan antara limpasan dan kehilangan tanah pada semua perlakuan yang dicobakan.

Penelitian yang dilakukan oleh Alegre (1996) menunjukkan bahwa Alley cropping menahan kehilangan tanah 93% dan air 83% dibandingkan dengan pertanaman tunggal semusim. Efektivitas pengendalian erosi ini selain karena hal yang telah disebutkan diatas juga karena terbentuknya teras secara alami dan perlahan-lahan setinggi 25-30 cm pada dasar tanaman pagar.

Lebih lanjut Alegre (1996) juga mengemukakan bahwa rendahnya erosi disebabkan oleh hasil pangkasan yang sukar melapuk yang berfungsi sebagai mulsa, sehingga tanah terlindung dari air hujan dan pemadatan tanah karena ulah pekerja selama operasi di lapangan. Barisan tanaman pagar menurunkan kecepatan aliran permukaan sehingga memberikan kesempatan pada air untuk berinfiltrasi. Selanjutnya tanaman pagar menyebabkan air tanah selalu berkurang untuk kebutuhan pertumbuhannya selama musim kemarau sehingga sistem ini menyerap lebih banyak air hujan ke dalam tanah dan akhirnya menurunkan erosi.

3. Peningkatan Produktivitas Tanah Dan Tanaman

Produktivitas tanah didefinisikan sebagai kemampuan tanah untuk menghasilkan tanam atau urutan tanaman tertentu, di bawah input manajemen tertentu, dan diukur dalam hasil panen. Hal ini mencerminkan kualitas tanah, yang dipengaruhi oleh faktor kimia, fisika dan biologi (Kang, 1997).

Satu keuntungan dari alley cropping adalah produksi tanaman lebih baik dibanding tanaman tunggal. Kehadiran tanaman pagar pada alley cropping memungkinkan produksi biomassa sepanjang tahun. Hal ini mengakibatkan hasil biomassa in-situ jauh lebih tinggi per luas lahan

satunya daripada dengan sistem tanam tunggal. Selama musim kemarau ketika tidak ada tanaman, tanaman pagar masih tumbuh secara signifikan (Smethurst et al., 2017).

Selain efektif mengendalikan erosi, alley cropping juga ternyata dapat meningkatkan produktivitas tanah dan tanaman. Hasil penelitian Smethurst et al. (2017) dengan memprediksi hasil panen yang akurat dari pemodelan interaksi tanaman pohon dalam sistem agroforestry gliricidia dan jagung, memberikan informasi bahwa dengan menggunakan model APSIM 2 dimensi, efek positif dari pohon gliricidia (*Gliricidia sepium*) dan jagung (*Zea mays*) bisa didokumentasikan dengan baik dan memberikan gambaran bahwa kombinasi tanaman ini dapat meningkatkan produksi tanaman di beberapa wilayah di Afrika. Perbaikan sifat fisik ini disebabkan karena adanya penambahan residu organik dari hasil pangkasan secara periodik ke tanah. Penelitian lain menunjukkan bahwa sistem Alley cropping dapat meningkatkan diameter agregat dan stabilitas agregat. Diameter agregat dan pengayakan kering meningkat dari 1,33 (kontrol) menjadi 2,68 mm dan 3,11 mm setelah 3 tahun, masing-masing pada plot pigeon pea dan menjadi 95-90% setelah 3 tahun Alley cropping dengan Gliricidia lebih baik dari kacang babi (*pigeon pea*) dalam meningkatkan stabilitas agregat (Mapa and Gunasena, 1995). Sebuah meta-analisis telah memberikan bukti yang meyakinkan bahwa dengan pengelolaan yang baik, pohon fertiliser dapat melipatgandakan hasil jagung walaupun tanpa penambahan pupuk eksternal dibanding dengan praktik budidaya jagung lokal (Akinnesi et al., 2010).

Mungai and Motavalli (2006), menilai bahwa selain perbaikan sifat fisik tanah, penelitian-penelitian terdahulu juga memperlihatkan bahwa Alley cropping dapat meningkatkan unsur hara di dalam tanah. Percobaan mikrokosmos dan litterbag dilakukan untuk mengetahui kualitas serasah, sifat tanah dan perbedaan iklim mikro pada mineralisasi karbon tanah (C) dan nitrogen (N) pada sistem tanam alley cropping. Tanah yang diubah dengan mineralisasi serasah tanaman rata-rata 32% lebih banyak CO₂ daripada saat diubah dengan serasah pohon.

Mineralisasi N bersih dari serasah kedelai 40 mg/kg, sementara semua serasah lainnya mengimobilisasi N pada berbagai variasi. Pool ganda dan model pool tunggal paling tepat menggambarkan mineralisasi C dan N dari tanah yang telah diubah. Mineralisasi kumulatif CO₂, fraksi C labil (C₁) dan C yang berpotensi mineralizable (C₀) berkorelasi dengan jumlah total N dan lignin serasah dan terhadap (lignin + polifenol): N rasio. Di lapangan,

serasah bluegrass membusuk dan melepaskan N dua kali lebih cepat dari serasah kemiri. Limbah kedelai, jagung dan silver maple melepaskan 84, 75 dan 63% dari N awal, 308 hari setelah penempatan lapangan, sementara tidak ada perbedaan dalam kehilangan massa yang diamati di antara ketiga bahan serasah tersebut. Efek kualitas mikro dan serasah dapat menyebabkan perbedaan ketersediaan hara pada sistem tanam lorong ((Mungai and Motavalli, 2006).

Selain peningkatan unsur C,P,K, Ca dan Mg, Alley cropping dengan *Inga edulis* juga dapat menurunkan kejenuhan Al dari 78% menjadi 73 % (Alegre, 1996). Penelitian yang dilakukan oleh Oelbermann et al. (2005) untuk membandingkan stok C akar pohon dan input C dari pemangkasan pohon dan residu tanaman *Erythrina poeppigiana* yang berumur 19, 10 dan 4 tahun dan *Alfa gliricidia* yang ditumpangsari jagung dan kacang tanah dengan di Kosta Rika. Masukan terbesar bahan organik terjadi pada tanaman pagar berusia 19 tahun yang diikuti oleh tanaman yang berusia 10 dan 4 tahun. Masukan tambahan bahan organik pada tanaman pagar ini yang sebagian besar berasal dari pemangkasan pohon akan membantu mempertahankan atau meningkatkan kadar karbon organik tanah.

Selanjutnya dikatakan oleh Kang (1997) Gliciridia yang memiliki kurang pertumbuhan baru dan banyak serasah yang jatuh selama musim kemarau, memiliki hasil biomassa yang lebih rendah. Pertumbuhan musim kemarau merupakan 32% dan 45% dari hasil biomassa tahunan Gliciridia dan *Leucaena*, secara berurut. Tumpangsari dengan Gliciridia dan *Leucaena* peningkatan produksi bahan organik tahunan per satuan luas masing-masing 4,6 dan 5,7 kali, lebih dbaik dibandingkan plot kontrol. Bahan organik tambahan ini dapat membantu mempertahankan produksi tanaman di dataran tinggi tadah hujan. Misalnya, untuk mempertahankan produksi jagung tanpa olah tanah, tambahan tahunan 5,0 ton.ha⁻¹ dari brangkas jagung diperlukan. Hasil percobaan menunjukkan bahwa ada cukup brangkas jagung untuk mempertahankan produksi jagung tanpa olah tanah, dan penambahan pemangkasan tanaman pagar yang diperlukan untuk mempertahankan produktivitas tanaman.

Tinjauan terhadap beberapa penelitian yang telah dilakukan, alley cropping dapat mensintesis hasil dalam hal perbaikan sifat fisik, kimia dan biologi tanah dan hasil panen sebagai respon terhadap pohon yang berfungsi sebagai fertilizer (Kass et al., 1997). Ditemukan informasi bahwa pohon fertilizer dapat menambah lebih dari 60 kg N/ha per tahun melalui bakteri fiksasi nitrogen. Kontribusi unsur hara dari biomassa pohon dapat mengurangi kebutuhan pupuk nitrogen sebesar 75%, sehingga

menghemat pupuk. Pohon fertilizer juga terbukti meningkatkan hasil panen secara substansial (Akinifesi et al., 2010).

Analisis Ekonomi

Dengan menggunakan model program linier (Kang et al., 1997), menunjukkan bahwa jagung dalam Alley cropping dengan *Leucaena* sangat menarik secara ekonomi, meskipun lebih banyak tenaga kerja untuk pemangkasan, sedikit pupuk dan herbisida diperlukan. Selanjutnya Oshunsanya (2013) mengemukakan bahwa tanaman jagung dalam pertanaman lorong lebih menguntungkan jika dibandingkan dengan tanpa pertanaman lorong, tetapi keuntungan tersebut menurun ketika harga benih jagung meningkat secara relatif begitu juga terhadap tenaga kerja.

Peneliti lain melaporkan bahwa penambahan tenaga kerja dalam Alley cropping terjadi pada waktu penanaman tanaman pagar sebanyak 51 HOK/ha, pemangkasan pada waktu musim hujan 20 HOK/ha dan musim kemarau 10 HOK/ha. Net present Value (NPV) menurun setelah tiga tahun bahkan negatif setelah 9 tahun pada usaha tani tanpa pertanaman lorong sedangkan pada Alley cropping tetap bernilai positif sampai 25 tahun (Nelson et al., 1996).

Analisis ekonomi yang dilakukan oleh Tonye and Titi-Nwel (1995) menunjukkan bahwa dalam Alley cropping terjadi peningkatan kebutuhan tenaga kerja pada tahun pertama yaitu sebesar 14 HOK/ha untuk penanaman tanaman pagar dan 22 – 26 HOK/ha untuk pemangkasan tanaman pagar serta pemulsaan pada tahun kedua dan ketiga. Analisis dominansi memperlihatkan bahwa pertanaman jagung + kacang tanah dalam Alley cropping dengan *Leucaena leucocephala* memberikan nilai pengembalian marjinal (marginal rate of return) yang lebih tinggi. Dari hasil analisis terlihat bahwa pada ke-4 sistem yang dicoba mempunyai nilai B/C ratio > 1, maka dengan analisis dominansi terseleksi bahwa Alley cropping tanpa pupuk memberikan nilai pengembalian marjinal tertinggi yaitu 447 %.

Szott et al. (1991) mengemukakan bahwa alley cropping dapat berkontribusi pada pemeliharaan kesuburan tanah di bawah pertanaman tahunan dengan daur ulang hara yang lebih baik, namun total tenaga kerja dan kebutuhan modal kemungkinan akan lebih besar daripada perlakuan dengan perladangan berpindah. Oleh sebab itu, sistem ini nampaknya tepat untuk situasi ketersediaan lahan terbatas. Sebaliknya, pengelolaan dengan mengurangi durasi periode bera dan meningkatkan produktivitas per satuan waktu dengan mempercepat penekanan gulma dan akumulasi hara pada biomassa bera. Sistem ini membutuhkan jumlah tenaga kerja dan modal yang relatif kecil, namun seperti kebanyakan sistem

berbasis lahan, memerlukan ketersediaan lahan yang tinggi. Penanaman pohon buah dapat membantu meringankan kendala tenaga kerja dan modal dengan mendistribusikan tenaga kerja selama periode permintaan rendah dan dengan memberikan penghasilan tambahan melalui penjualan buah dan produk lainnya.

4. Peluang Dan Adopsi Alley Cropping

Petani lahan kering pada umumnya bermodal rendah dengan tenaga kerja yang terbatas, maka Alley cropping merupakan alternatif yang baik dibandingkan dengan teras bangku. Selain itu sistem ini merupakan pilihan yang cocok baik dimana teknik konservasi yang lain, misalnya teras bangku, tidak cocok diterapkan pada daerah tersebut karena, solum tanah yang dangkal (<50 cm), labil (karena mengandung liat 2:1) dan mempunyai kemiringan >45% (Wang et al., 2010)

Pada penelitian inovasi agroforestry di Afrika untuk mengetahui apakah ada hubungan antara tingkat kesuburan lahan pertanian dengan petani perempuan. Sebagian besar pengamat setuju bahwa teori tersebut masih harus dilakukan untuk inovasi agroforestri yang dikenal sebagai metode peluruhan yang lebih baik, yang mungkin memerlukan satu dekade bagi para petani untuk melakukan tes dengan benar. Petani pertama menanam beberapa petak kecil dari jenis pohon yang berbeda, memotongnya setelah dua tahun dan menanam uang tunai atau tanaman pangan, dan kemudian menunggu untuk melihat hasil panen itu. Karena siklus bera yang ditingkatkan memakan waktu empat atau lima tahun, adopsi atau adaptasi petani terhadap teknologi ini memakan waktu lebih lama daripada adopsi bibit unggul atau pupuk baru. Sampai percobaan gagal, petani Afrika seperti kebanyakan peneliti bersedia bereksperimen, mungkin karena kurangnya pilihan lain yang tersedia sebagai amandemen kesuburan tanah di Afrika. Hal ini terutama berlaku bagi petani perempuan, terlebih lagi bagi perempuan yang berperan sebagai kepala keluarga yang kekurangan tenaga kerja keluarga dewasa membuat mereka kekurangan uang dan hutang yang parah. Proses pengambilan keputusan adopsi mereka saat disajikan dengan teknologi agroforestri baru seperti peledakan di Kenya bagian barat, Malawi selatan, dan Zambia bagian timur (Gladwin et al., 2002).

Penelitian yang dilakukan oleh Adesina et al. (2000) terhadap analisis ekonometrik faktor penentu adopsi usahatani alley cropping oleh petani di zona hutan barat daya Kamerun, menunjukkan bahwa berdasarkan survei terhadap 156 petani di 11 desa di wilayah ini. Analisis menunjukkan bahwa petani pria

lebih cenderung mengadopsi daripada wanita. Adopsi lebih tinggi untuk petani dengan kontak dengan agen penyuluhan yang bekerja pada teknologi agroforestry. Adopsi lebih tinggi untuk petani yang tergabung dalam kelompok tani. Lebih lanjut dikatakan oleh Morison et al. (2005), bahwa adopsi lebih rendah untuk petani di daerah dengan tekanan populasi yang sangat tinggi, karena petani di daerah tersebut dapat memiliki produktivitas tenaga kerja yang lebih besar dari penggunaan teknologi pengelolaan sumber daya alam yang kurang padat karya seperti pupuk kimia. Adesina et al. (2000) menemukan bahwa adopsi lebih tinggi untuk petani di daerah yang menghadapi kelangkaan kayu bakar. Petani telah melakukan adaptasi terhadap teknologi pertanian alley konvensional yang direkomendasikan oleh para peneliti, adaptasi yang paling penting adalah pengenalan periode bera ke dalam sistem. Petani menggunakan pertanian alley sebagai pilihan penggunaan lahan, bukan sebagai pengganti sistem slash-and-burn, karena pasokan lahan masih relatif elastis. Mencapai peningkatan dampak dengan varian budidaya lorong membutuhkan penargetan yang efektif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemodelan ekonometrik dengan menggunakan karakteristik petani dan desa, variabel sosial ekonomi dan kelembagaan dapat menyebabkan penargetan yang lebih efektif kepada petani dan lokasi dimana tingkat adopsi yang lebih tinggi dapat terjadi.

Penelitian untuk mengetahui tingkat adopsi ekonomi dan pengelolaan alley cropping di Haiti, menunjukkan bahwa faktor kelembagaan, seperti keanggotaan dalam organisasi petani lokal dan pelatihan praktik konservasi tanah, memberikan pengaruh yang baik terhadap adopsi. Faktor sosial ekonomi seperti jenis kelamin, pendapatan per kapita, dan interaksi antara pendidikan dan pendapatan per kapita juga berpengaruh secara signifikan terhadap adopsi alley cropping di Gaita dan Bannate. Pengelolaan pertanaman gang dipengaruhi oleh faktor demografi, sosio-ekonomi, kelembagaan, dan fisik. Kepentingan relatif masing-masing faktor pada probabilitas adopsi dan pengelolaan model alley cropping bervariasi dari satu variabel ke variabel lainnya. Studi ini menghasilkan informasi penting untuk alokasi sumber daya dalam pembentukan pertanaman lorong sebagai struktur konservasi tanah (Bayard et al., 2007).

Daerah gersang dan semi kering di Afrika Utara sebagian besar terdiri dari padang pasir. Sebagian besar proyek penelitian dan pengembangan di wilayah ini bertujuan untuk mengembangkan teknologi alternatif untuk mengurangi degradasi lahan dan mendukung kegiatan ekonomi berkelanjutan.

Sistem tanam alley cropping kaktus tanpa duri adalah alternatif yang menarik di daerah curah hujan rendah di Afrika Utara. Sistem ini membatasi degradasi lahan dengan menggunakan tanaman tahunan, menghasilkan sumber pakan yang murah dan tahan kekeringan, dan menyukai produksi biomassa di antara ruang tanam. Pertanyaan penting adalah bagaimana mempromosikan adopsi teknologi ini. Model bio-ekonomi telah dikembangkan untuk mengidentifikasi kondisi pengembangan sistem alley cropping kaktus tanpa duri dalam komunitas agro-pastoral di Tunisia Tengah. Skenario yang berkaitan dengan berbagai jenis dukungan institusional, baik yang bersifat moneter maupun informasi, dianalisis. Hasilnya menunjukkan arus kas lebih besar, lebih banyak ternak dan sedikit budidaya sereal di lahan marginal. Adopsi teknologi ini jelas disukai oleh dukungan keuangan publik dan juga sebagian besar oleh transmisi informasi mengenai hasil yang diharapkan dari sistem. Temuan menunjukkan bahwa layanan penyuluhan memainkan peran penting dalam menciptakan kesadaran di kalangan petani tentang dampak teknologi dalam hal hasil dan diversifikasi pendapatan (Alary et al., 2007).

Penelitian yang dilakukan oleh Van Vooren et al. (2016) yang mengkonsentrasikan pada kajian ekologis dan lingkungan, dan menyelidiki perubahan kualitas dua pilihan penghijauan dengan unsur kayu permanen, hedgrow dan alley cropping. Diperkirakan margin kotor yang didiskontokan untuk pilihan penghijauan hedgrow dan alley cropping dan alang-alang pada pertanian di Belgia. Mulai dari pohon cemara, dengan jarak waktu 1,64 kali tinggi pohon, hasil panen relatif 70% dibandingkan dengan situasi tanpa pohon. Antara 1,64 dan 9,52 kali tinggi pohon, hasil relatif 107%. Di luar titik itu, efeknya dianggap diabaikan. Margin kotor diskonto dihitung untuk memperhitungkan horizon waktu. Pengurangan margin kotor relatif di tingkat petani, dibandingkan dengan pilihan bisnis lainnya, bervariasi antara 91% dan 108%, tergantung pada kondisi pasar dan dukungan kebijakan. Perhitungan tersebut menunjukkan bahwa pemenuhan ekologi, fokus 5% merupakan hal yang dapat dilakukan untuk mencegah penyusutan uang secara kompetitif ke sistem penanaman tradisional dengan rangsangan finansial tambahan (misalnya pembayaran hijau).

Ditemukan juga informasi bahwa dengan mendiskusikan bagaimana perhitungan dapat disempurnakan dan digunakan dalam pembuatan kebijakan akan mendapatkan wawasan yang lebih baik dalam interaksi tanaman pohon, mengevaluasi daya saing bersyarat dan menyarankan adanya hubungan yang lebih baik antara tingkat subsidi dan nilai ekologi dan layanan ekosistem, dan mengeksplorasi saluran valorisasi baru untuk produk

kayu (Paul et al., 2017). Pada daerah dimana praktek perladangan berpindah masih dominan, kendala adopsi Alley cropping menurut Alary et al. (2007), meliputi tenaga kerja yang intensif, untuk implementasi, pemangkasan secara periodik dan pemeliharaan tanaman pagar, nilai tambah yang terbatas terhadap pendapatan usaha tani dan masalah keberlanjutan kesuburan tanah yang tidak diantisipasi.

Dengan direkomendasikannya Alley cropping secara luas, maka pemahaman tentang sistem ini harus ditingkatkan terutama mengenai dimana, kapan dan bagaimana sistem ini menjelma menjadi teknologi yang superior untuk pertanian lahan kering dan yang tidak kalah pentingnya juga pemahaman tentang tiga cara dasar mengatasi efek negatif (*scouring effect*) yaitu: menghilangkan, mengurangi atau merubah suatu sistem pertanaman/pertanian agar sesuai dengan sistem tersebut (Lin, 2011).

Secara sosial ekonomi, alley cropping mempunyai beberapa tantangan untuk dikembangkan di lahan kering diantaranya: memperbaiki pandangan petani yang teras bangku minded, persepsi negatif petani (trauma) terhadap pengembangan tanaman lamtoro, teknologi ini menghendaki biaya sosial tinggi untuk daerah marginal kritis, prioritas petani masih berorientasi pada keamanan pangan (food security), kerawanan keamanan tanaman pagar dari masyarakat itu sendiri, dan teknologi ini mengkonsumsi kesadaran, kesabaran, dan pengorbanan petani yang tidak ringan. Teknik pertanaman lorong telah diuji dan digunakan untuk produksi berbagai tanaman pangan dan pakan. Dalam dua dekade terakhir, sejumlah besar percobaan alley cropping telah dilakukan di berbagai ecozones dari daerah tropis yang lembab dan subhumid. Meskipun sebagian besar dari uji coba ini ditangani dengan adaptability sistem, mereka juga telah menghasilkan informasi tentang potensi dan keterbatasan dari teknik ini (Kang, 1997).

KESIMPULAN

1. Alley cropping mempunyai kemampuan mendaurulang hara dan meningkatkan kemampuan tanah menyimpan air pada lahan kering.
2. Alley cropping sangat efektif mengendalikan erosi, limpasan permukaan dan pencucian hara.
3. Alley cropping mampu memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah, aktivitas biologi tanah serta dapat meningkatkan dan mempertahankan produksi tanaman pangan.
4. Alley cropping mempunyai nilai ekonomi yang lebih tinggi dibandingkan monokultur.

5. Alley cropping mempunyai peluang untuk dikembangkan dan diadopsi petani untuk diterapkan pada lahan kering.
6. Penerapan sistem alley cropping dapat meningkatkan resiliensi produksi pertanian pada lahan kering.

DAFTAR PUSTAKA

- Adesina, A. A., Mbila, D., Nkamleu, G. B., & Endamana, D. (2000). Econometric analysis of the determinants of adoption of alley farming by farmers in the forest zone of southwest Cameroon. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 80(3), 255–265. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(00\)00152-3](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(00)00152-3)
- Agus, F., Cassel, D. K., & Garrity, D. P. (1997). Soil-water and soil physical properties under contour hedgerow systems on sloping oxisols. *Soil and Tillage Research*, 40(3–4), 185–199. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(96\)01069-0](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(96)01069-0)
- Ajayi, O. C., Place, F., Akinnifesi, F. K., & Sileshi, G. W. (2011). Agricultural success from Africa: the case of fertilizer tree systems in southern Africa (Malawi, Tanzania, Mozambique, Zambia and Zimbabwe). *International Journal of Agricultural Sustainability*, 9(1), 129–136. <https://doi.org/10.3763/ijas.2010.0554>
- Akinnifesi, F. K., Ajayi, O. C., Sileshi, G., Chirwa, P. W., & Chianu, J. (2010). Fertiliser trees for sustainable food security in the maize-based production systems of East and Southern Africa. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30, 615–629. <https://doi.org/10.1051/agro/2009058>
- Alary, V., Nefzaoui, A., & Jemaa, M. Ben. (2007). Promoting the adoption of natural resource management technology in arid and semi-arid areas: Modelling the impact of spineless cactus in alley cropping in Central Tunisia. *Agricultural Systems*, 94(2), 573–585. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2007.02.003>
- Alegre, J. (1996). Soil and water conservation by contour hedging in the humid tropics of Peru. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 57(1), 17–25. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(95\)01012-2](https://doi.org/10.1016/0167-8809(95)01012-2)
- Bainard, L. D., Koch, A. M., Gordon, A. M., Newmaster, S. G., Thevathasan, N. V., & Klironomos, J. N. (2011). Influence of trees on the spatial structure of arbuscular mycorrhizal communities in a temperate tree-based intercropping system. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 144(1), 13–20. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.07.014>
- Barreto, A. C., Chaer, G. M., & Fernandes, M. F. (2012). Hedgerow pruning frequency effects on soil quality and maize productivity in alley cropping with *Gliricidia sepium* in Northeastern Brazil. *Soil and Tillage Research*, 120, 112–120. <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.11.010>
- Bayard, B., Jolly, C. M., & Shannon, D. A. (2007). The economics of adoption and management of alley cropping in Haiti. *Journal of Environmental Management*, 84(1), 62–70. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.05.001>
- Cardinael, R., Chevallier, T., Barthès, B. G., Saby, N. P. A., Parent, T., Dupraz, C., Chenu, C. (2015). Impact of alley cropping agroforestry on stocks, forms and spatial distribution of soil organic carbon - A case study in a Mediterranean context. *Geoderma*, 259–260, 288–299. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.06.015>
- Comia, R. A., Paningbatan, E. P., & Håkansson, I. (1994). Erosion and crop yield response to soil conditions under alley cropping systems in the Philippines. *Soil and Tillage Research*, 31(2–3), 249–261. [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(94\)90084-1](https://doi.org/10.1016/0167-1987(94)90084-1)
- Desruelles, S., Fouache, E., Eddargach, W., Cammas, C., Wattez, J., Beuzen-Waller, T., Murray, A. (2016). Evidence for early irrigation at Bat (Wadi Sharsah, northwestern Oman) before the advent of farming villages. *Quaternary Science Reviews*, 150, 42–54. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2016.08.007>
- Ehui, S. K., Kang, B. T., & Spencer, D. S. C. (1990). Economic analysis of soil erosion effects in alley cropping, no-till and bush fallow systems in South Western Nigeria. *Agricultural Systems*, 34(4), 349–368. [https://doi.org/10.1016/0308-521X\(90\)90013-G](https://doi.org/10.1016/0308-521X(90)90013-G)
- Gladwin, C. H., Peterson, J. S., & Uttaro, R. (2002). Agroforestry innovations in Africa: Can they improve soil fertility on women farmers' fields? *African Studies Quarterly*, 6(1–2).
- Hallema, D. W., Rousseau, A. N., Gumiere, S. J., Pe??riard, Y., Hiemstra, P. H., Bouttier, L., Olivier, A. (2014). Framework for studying the hydrological impact of climate change in an alley cropping system. *Journal of Hydrology*, 517, 547–556. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.05.065>
- Kang, B. T. (1997). Alley cropping—soil productivity and nutrient recycling. *Forest Ecology and Management*, 91(1), 75–82.

- [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(96\)03886-8](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(96)03886-8)
- Kass, D. C. L., Sylvester-Bradley, R., & Nygren, P. (1997). The role of nitrogen fixation and nutrient supply in some agroforestry systems of the Americas. *Soil Biology and Biochemistry*, 29(5–6), 775–785. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(96\)00269-6](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(96)00269-6)
- Lehmann, J., Weigl, D., Peter, I., Droppelmann, K., Gebauer, G., Goldbach, H., & Zech, W. (1999). Nutrient interactions of alley cropped Sorghum bicolor and Acacia saligna in a runoff irrigation system in Northern Kenya. *Plant and Soil*, 210(2), 249–262. <https://doi.org/10.1023/A:1004698403770>
- Lin, B. B. (2011). Resilience in Agriculture through Crop Diversification: Adaptive Management for Environmental Change. *BioScience*, 61(3), 183–193. <https://doi.org/10.1525/bio.2011.61.3.4>
- Mapa, R. B., & Gunasena, H. P. M. (1995). Effect of alley cropping on soil aggregate stability of a tropical Alfisol. *Agroforestry Systems*, 32(3), 237–245. <https://doi.org/10.1007/BF00711712>
- McDonald, M. A., Healey, J. R., & Stevens, P. A. (2002). The effects of secondary forest clearance and subsequent land-use on erosion losses and soil properties in the Blue Mountains of Jamaica. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 92(1), 1–19. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00286-9](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00286-9)
- Morison, J., Hine, R., & Pretty, J. (2005). Survey and analysis of labour on organic farms in the UK and republic of Ireland. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 3(1), 24–43. <https://doi.org/10.1080/14735903.2005.9684742>
- Mungai, N. W., & Motavalli, P. P. (2006). Litter quality effects on soil carbon and nitrogen dynamics in temperate alley cropping systems. *Applied Soil Ecology*, 31(1–2), 32–42. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2005.04.009>
- Nelson, R., Grist, P., Menz, K., Cramb, R., Paningbatan, E., & Mamicpic, M. (1996). A cost-benefit analysis of hedgerow intercropping in the Philippine uplands using the SCUAF model. *Agroforestry Systems*, 35(2), 203–220. <https://doi.org/10.1007/bf00122780>
- Neupane, R. P., & Thapa, G. B. (2001). Impact of agroforestry intervention on farm income under the subsistence farming system of the middle hills, Nepal. *Agroforestry Systems*, 53(1), 31–37. <https://doi.org/10.1023/A:1012296803189>
- Oelbermann, M., Voroney, R. P., Kass, D. C. L., & Schl??nvoigt, A. M. (2005). Above- and below-ground carbon inputs in 19-, 10- and 4-year-old Costa Rican Alley cropping systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 105(1–2), 163–172. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.04.006>
- Ogunlana, E. A., Noomhorm, A., & Silakul, T. (2010). Alley farming in Thailand. *Sustainability*, 2(8), 2523–2540. <https://doi.org/10.3390/su2082523>
- Oshunsanya, S. O. (2013). Spacing effects of vetiver grass (*Vetiveria nigriflora* Stapf) hedgerows on soil accumulation and yields of maize-cassava intercropping system in Southwest Nigeria. *Catena*, 104, 120–126. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.10.019>
- Pardon, P., Reubens, B., Reheul, D., Mertens, J., De Frenne, P., Coussemont, T., ... Verheyen, K. (2017). Trees increase soil organic carbon and nutrient availability in temperate agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 247(January), 98–111. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.06.018>
- Paul, C., Weber, M., & Knoke, T. (2017). Agroforestry versus farm mosaic systems – Comparing land-use efficiency, economic returns and risks under climate change effects. *Science of the Total Environment*, 587–588, 22–35. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.037>
- Quinkenstein, A., Wöllecke, J., Böhm, C., Grünewald, H., Freese, D., Schneider, B. U., & Hüttl, R. F. (2009). Ecological benefits of the alley cropping agroforestry system in sensitive regions of Europe. *Environmental Science and Policy*, 12(8), 1112–1121. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2009.08.008>
- Radersma, S., Otieno, H., Atta-Krah, A. N., & Niang, A. I. (2004). System performance analysis of an alley-cropping system in Western Kenya and its explanation by nutrient balances and uptake processes. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 104(3), 631–652. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.12.013>
- Smethurst, P. J., Huth, N. I., Masikati, P., Sileshi, G. W., Akinnifesi, F. K., Wilson, J., & Sinclair, F. (2017). Accurate crop yield predictions from modelling tree-crop interactions in gliricidia-maize agroforestry. *Agricultural Systems*, 155(July 2016), 70–77. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.04.008>
- Sun, H. Y., Koal, P., Gerl, G., Schroll, R., Joergensen, R. G., & Munch, J. C. (2017). Response of water extractable organic matter and its fluorescence fractions to organic farming and tree species in poplar and robinia-

- based alley cropping agroforestry systems. *Geoderma*, 290, 83–90. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.12.014>
- Szott, L. T., Palm, C. A., & Sanchez, P. A. (1991). Agroforestry In Acid Soils Of The Humid Tropics. *Advances in Agronomy*, 45(C), 275–301. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60043-7](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60043-7)
- Tonye, J., & Titi-Nwel, P. (1995). Agronomic and economic evaluation of methods of establishing alley cropping under a maize/groundnut intercrop system. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 56(1), 29–36. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(95\)00634-6](https://doi.org/10.1016/0167-8809(95)00634-6)
- Van Vooren, L., Reubens, B., Broekx, S., Pardon, P., Reheul, D., van Winsen, F., Lauwers, L. (2016). Greening and producing: An economic assessment framework for integrating trees in cropping systems. *Agricultural Systems*, 148, 44–57. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.06.007>
- Wang, L., Tang, L., Wang, X., & Chen, F. (2010). Effects of alley crop planting on soil and nutrient losses in the citrus orchards of the Three Gorges Region. *Soil and Tillage Research*, 110(2), 243–250. <https://doi.org/10.1016/j.still.2010.08.012>
- Wei, L., Zhang, B., & Wang, M. (2007). Effects of antecedent soil moisture on runoff and soil erosion in alley cropping systems. *Agricultural Water Management*, 94(1–3), 54–62. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.08.007>
- Wilson, M. H., & Lovell, S. T. (2016). Agroforestry-The next step in sustainable and resilient agriculture. *Sustainability (Switzerland)*, 8(6), 1–15. <https://doi.org/10.3390/su8060574>
- Zamora, D. S., Jose, S., & Napolitano, K. (2009). Competition for 15N labeled nitrogen in a loblolly pine-cotton alley cropping system in the southeastern United States. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 131(1–2), 40–50. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.08.012>