

RESPON PETANI KOPI TERHADAP GEJOLAK PASAR DAN KONSEKUENSINYA TERHADAP FUNGSI TATA AIR: SUATU PENDEKATAN PEMODELAN¹

Desi Ariyadhi Suyamto, Meine van Noordwijk dan Betha Lusiana

World Agroforestry Center – ICRAF SE Asia, P.O. Box 161, Bogor 160011

ABSTRACT

Coffee may represent the highest total value of all traded agricultural commodities, but it has high volatility in price. This volatility affects farmers' decisions at strategic and tactical level, to adopt and manage coffee-based land use options. Where previous analyses of the profitability of various land use options have focused on long term averages, decision making in practice will follow the ups and downs of farmers expectations of benefits, that depend on their learning style and the information available. The FALLOW Model includes a highly stylized representation of a decision-making process by farmers that is mainly based on an integration of past performance and the most recent experience at landscape/community scale. Based on this model, price volatility substantially increases the time period required for farmers to settle on the mulistrata, mixed production system ('shade coffee') that probably represents the best strategic choice in the long run, for both farmers income and impact on watershed functions.

Keywords: coffee, price volatility, farmer's decision, FALLOW Model, watershed functions.

ABSTRAK

Kopi merupakan komoditas pertanian yang memiliki nilai perdagangan terbesar di antara komoditas sejenis, namun dengan volatilitas harga yang tinggi. Volatilitas tersebut mempengaruhi keputusan-keputusan petani (baik keputusan strategis maupun keputusan taktis) dalam mengadopsi dan mengelola sistem penggunaan lahan berbasis kopi. Analisis profitabilitas pada berbagai sistem penggunaan lahan yang pernah dilakukan dalam studi ekonomi terdahulu dapat memberikan gambaran nilai profitabilitas rata-rata jangka panjang dari setiap sistem yang dikaji, namun kenyataannya keputusan yang dibuat oleh para petani selalu mengikuti naik-turunnya harapan mereka terhadap nilai manfaat. Hal tersebut tidak hanya dipengaruhi oleh dinamika informasi yang mereka peroleh, tetapi juga oleh gaya belajar yang mereka anut. Model FALLOW mencakup proses pengambilan keputusan oleh petani melalui teknik komputasi, yang mengintegrasikan kinerja masa lalu dengan pengalaman termutakhir pada skala

lansekap/komunitas. Berdasarkan hasil simulasi model tersebut, diketahui bahwa volatilitas harga memperpanjang jangka waktu yang dibutuhkan oleh petani untuk tetap mengadopsi sistem produksi kopi campuran atau multistrata. Sistem produksi campuran ('kopi naungan'), mungkin merupakan pilihan strategi terbaik untuk jangka panjang, baik ditinjau dari sisi pendapatan petani maupun dari sisi dampaknya terhadap fungsi tata air.

Kata kunci: kopi, volatilitas harga, keputusan petani, model FALLOW, fungsi tata air

PENDAHULUAN

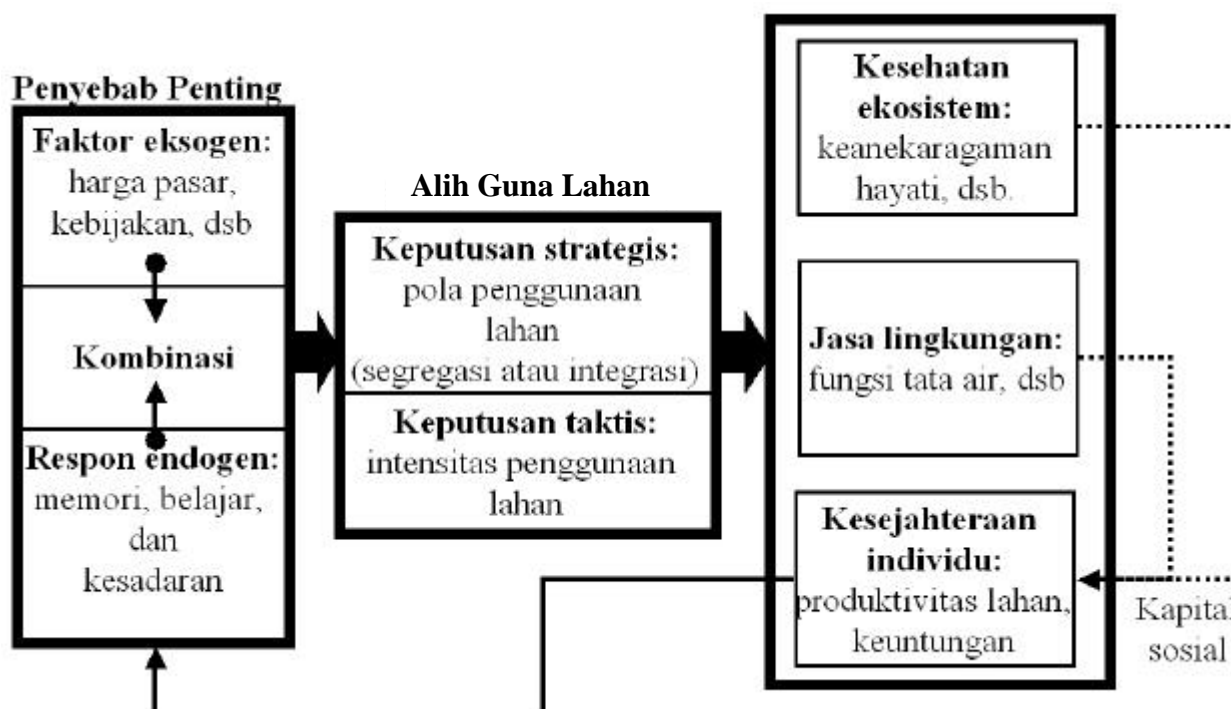
Latar belakang

Alih guna lahan dalam suatu lansekap terjadi sebagai implementasi keputusan para agen manusia, baik berupa keputusan strategis yang menentukan pola penggunaan lahan maupun keputusan taktis yang menentukan intensitas penggunaan lahan (Gambar 1).

Dasar pengambilan keputusan tersebut bisa didominasi baik oleh respon endogen agen, faktor-faktor eksogen maupun oleh kombinasi keduanya. Respon endogen agen sangat dipengaruhi oleh kapasitas memori agen dalam menyimpan informasi, bagaimana agen mempelajari informasi baru, dan bagaimana kesadaran agen dalam menerjemahkan suatu informasi. Alih guna lahan yang terjadi bisa secara langsung mempengaruhi respon endogen agen sebagai umpan balik (*feedback*), selama konsekuensi dari alih guna lahan tersebut terkait dengan kesejahteraan individu dari agen tersebut. Hal tersebut oleh Slovic (1987) digambarkan sebagai persepsi agen yang berhubungan dengan resiko dari suatu aktivitas, dimana aktivitas tersebut memiliki fatalitas yang tinggi dan disadari oleh agen sebagai aktivitas beresiko tinggi.

Pada beberapa hal, konsekuensi alih guna lahan terhadap jasa lingkungan mampu mempengaruhi respon endogen agen jika didukung oleh kapital sosial yang berperan sebagai penerjemah (*interpreter*) informasi dari 'kode kesejahteraan sosial' ke 'kode kesejahteraan individu', yang dalam praktek berbentuk aturan-aturan normatif atau kontrol sosial (Ajzen, 1991). Untuk konsekuensi alih guna lahan terhadap kesehatan ekosistem, diperlukan *interpreter*

¹ Makalah ini dikembangkan dari dua makalah lama yang pernah disampaikan sebelumnya dalam *International Congress on Modelling and Simulation MODSIM 2003*, 14-17 Juli 2003, *Townsville, Australia* dan *International Colloquium on LUCC and Environmental Problems*, 19-21 Desember 2003, *Bogor, Indonesia*. Lihat dari Suyamto *et al* (2003).



Gambar 1. Lansekap berubah akibat keputusan-keputusan yang dilakukan oleh para agen manusia, dimana umpan balik dari konsekuensi akibat perubahan tersebut bisa langsung terjadi jika menyangkut kesejahteraan individu, dan memerlukan kapital sosial untuk jenis-jenis konsekuensi lainnya.

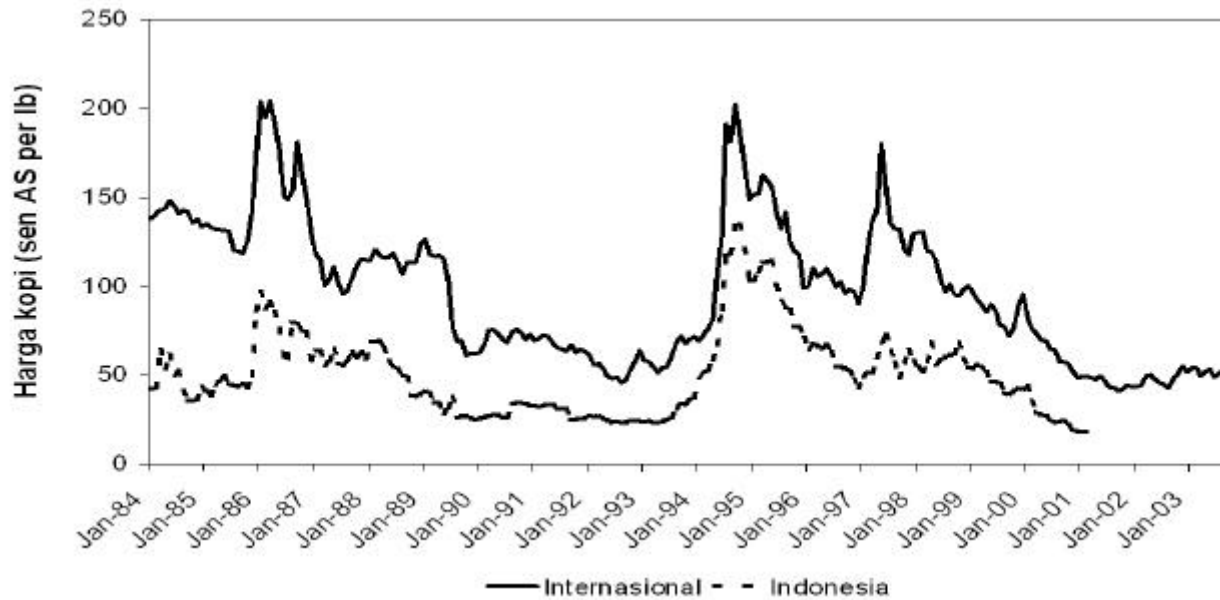
pada skala yang lebih luas lagi, yaitu skala global, karena kesehatan ekosistem berpengaruh langsung terhadap kesehatan planet bumi. Tentu saja, pembentukan *interpreter* dari jenis konsekuensi yang terakhir ini menjadi sangat kompleks, sebagaimana kerumitan yang dihadapi dalam pembicaraan-pembicaraan yang terkait dengan isu-isu keanekaragaman hayati atau cadangan karbon.

Pasar merupakan salah satu faktor eksogen dalam alih guna lahan. Sebagai contoh, kopi adalah komoditas pertanian tropis dengan volatilitas² harga yang relatif tinggi, baik di pasar internasional maupun di tingkat petani lokal. Gambar 2 menunjukkan fluktuasi harga kopi bulanan di pasar internasional yang secara umum hampir diikuti oleh pola fluktuasi harga yang dibayarkan kepada petani di Indonesia. Jika volatilitas direpresentasikan sebagai logaritmik rasio perubahan harga, maka pergerakan harga kopi dari bulan ke bulan berkisar dari -0.31 hingga 0.40 di pasar internasional, sedangkan di Indonesia berkisar dari -0.38 hingga 0.55 (Gambar 3).

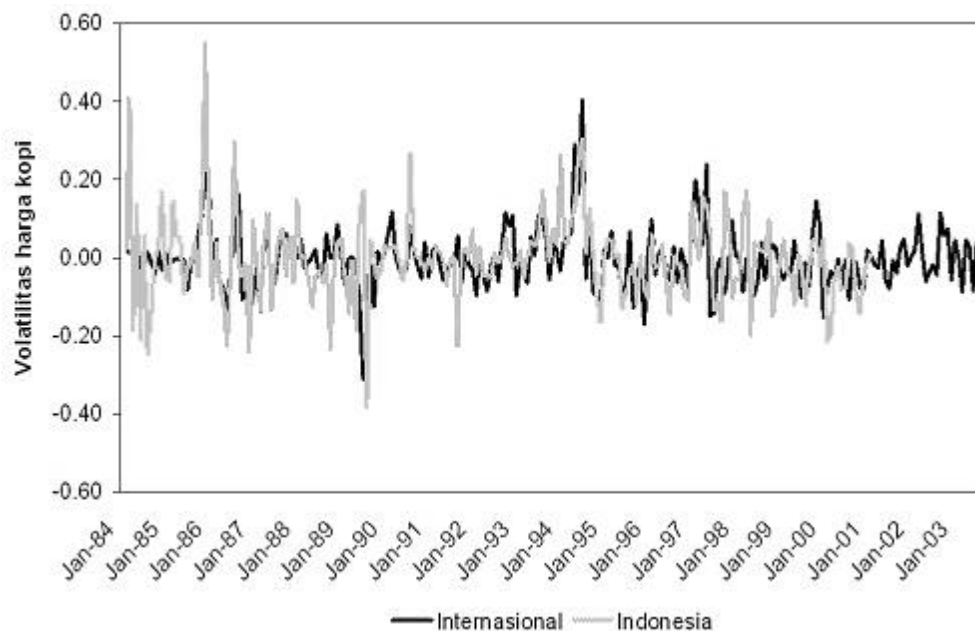
² Volatilitas harga merupakan indikator fluktuasi harga dari waktu ke waktu, yang mengukur besar dan arah perubahan harga, relatif terhadap harga sebelumnya. Volatilitas dapat direpresentasikan sebagai bentuk logaritmik perubahan harga relatif, seperti yang digunakan dalam makalah ini, yaitu $\log \frac{p_t}{p_{t-1}}$, dimana p_t merupakan harga pada waktu ke-t dan p_{t-1} merupakan harga sebelumnya.

Gejolak harga kopi di pasar internasional dikendalikan oleh dinamika produksi kopi di Brasilia, Kolombia, Vietnam, Indonesia dan India. Gambar 4 memperlihatkan bahwa selama kurun waktu dua dasawarsa terakhir, peningkatan jumlah pasokan kopi dunia sejak tahun 1997 disebabkan oleh *booming* produksi kopi di Vietnam dan panen raya di Brasilia, sementara pasokan dari tiga negara lima-besar lainnya tetap berjalan, meskipun dalam jumlah yang hampir tidak berubah. Sayangnya, peningkatan jumlah pasokan tersebut tidak selaras dengan peningkatan jumlah permintaan yang relatif stabil (Perfecto dan Armbrrecht, 2003), yang akhirnya membuat harga kopi di pasar internasional anjlok sampai ke titik yang terendah. Gejolak produksi kopi tersebut sangat dipengaruhi oleh kondisi alam maupun kondisi politis/ekonomis wilayah tanam kopi. Di Brasilia, bencana alam, baik kebekuan (*frost*) maupun kekeringan, merupakan faktor utama yang mempengaruhi gejolak produksi kopinya. Sedangkan *booming* di Vietnam dipicu oleh produksi kopi intensif melalui proyek besar yang didanai oleh Bank Dunia dan Dana Pembangunan Asia (Perfecto dan Armbrrecht, 2003).

Volatilitas harga kopi mempengaruhi keputusan-keputusan petani dalam mengadopsi sistem penggunaan lahan yang paling *lucrative*. Sebagai contoh, Lampung merupakan wilayah pemasok kopi robusta terbesar di Indonesia, dengan kontribusi ke



Gambar 2. Pola pergerakan harga kopi bulanan di pasar internasional (indikator ICO) dan yang dibayarkan kepada petani di Indonesia (untuk jenis robusta). (Sumber: *International Coffee Organization*).

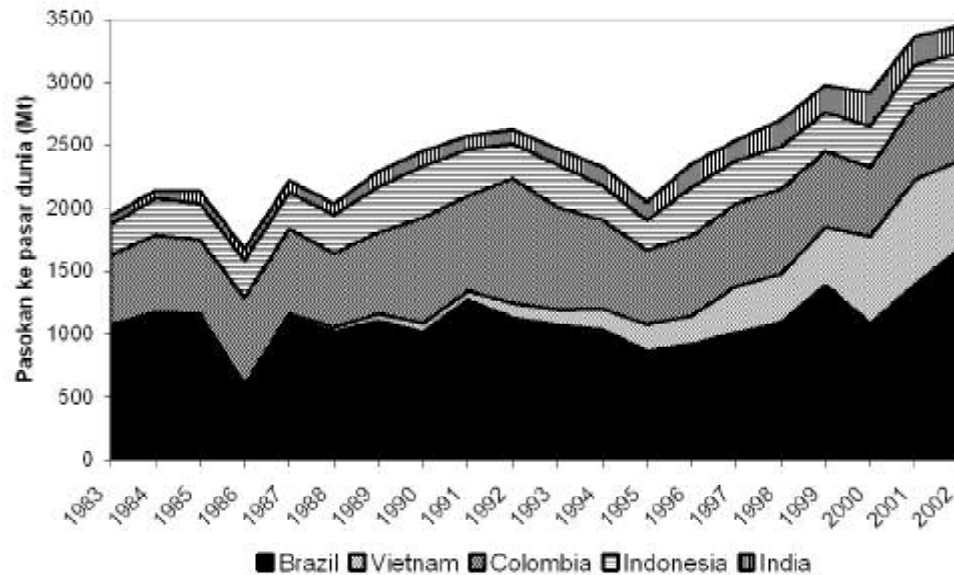


Gambar 3. Volatilitas harga kopi bulanan di pasar internasional dan di Indonesia, direpresentasikan dalam bentuk logaritmik rasio. Volatilitas tersebut mengindikasikan fluktuasi harga dari waktu ke waktu, dengan mengukur besar dan arah perubahan harga, relatif terhadap harga sebelumnya. (Hasil olahan penulis dari data harga kopi bulanan berdasarkan pengamatan *International Coffee Organization*).

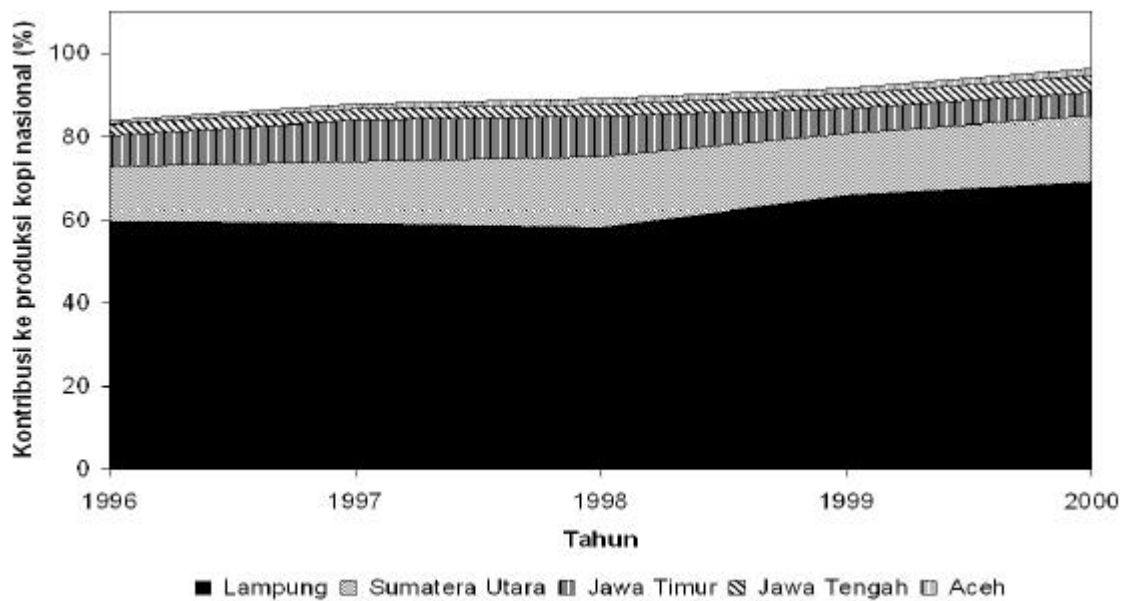
total produksi nasional sekitar 69% pada tahun 2000 (Gambar 5). Sejarah perubahan landsekap di wilayah ini terkait erat dengan volatilitas harga kopi (Leimona, 2001; Verbist *et al.*, 2002 atau Verbist *et al.*, 2004). Selama puluhan tahun, petani kopi di wilayah ini mencoba meredam gejolak pasar dengan cara meningkatkan diversitas produk dengan jalan menanam

jenis-jenis tanaman ekonomis yang lain dalam lahan yang sama seperti sistem agroforestri, sehingga resiliensi³ mereka terhadap ketidakpastian pasar meningkat. Keamanan mengelola lahan (*land tenure*), merupakan faktor lain yang mempengaruhi adopsi petani terhadap suatu sistem penggunaan lahan. Adopsi

³ Resiliensi merepresentasikan kapasitas suatu sistem dalam memelihara seluruh kendali dan fungsi yang dimiliki ketika mengalami gangguan. Untuk lebih detail mengenai konsep resiliensi, baca Holling dan Gunderson (2002).



Gambar 4. Pasokan kopi ke pasar dunia dari lima besar negara produsen kopi saat ini. (Sumber: *International Coffee Organization*).



Gambar 5. Lima Daerah penghasil kopi di Indonesia. (Sumber: AEKI).

tersebut berdasarkan pada persepsi petani terhadap ukuran resiko dan ketidakpastian masa depan.

Karena adanya kompleksitas alih guna lahan yang melibatkan berbagai faktor penyebab sebagaimana telah diuraikan di atas, maka dibutuhkan suatu pendekatan yang mampu mengintegrasikan dan sekaligus menyarikan seluruh proses terkait ke dalam suatu model simulasi. Dalam memahami alih guna lahan serta konsekuensinya melalui pendekatan pemodelan, terdapat tiga kelompok model berdasarkan tingkatan kerangka konseptual yang dimiliki, yaitu:

1. model-model yang menggambarkan alih guna lahan dari peluang transisi penggunaan lahan berdasarkan trayeksi data historis. Selanjutnya

menduga konsekuensi dari adanya perubahan tersebut, seperti analisis spasial terhadap alih guna lahan yang dilakukan oleh Wear dan Bolstad (1998);

2. model-model yang mulai mempertimbangkan peran faktor penyebab terjadinya alih guna lahan, Selanjutnya menduga konsekuensi dari perubahan tersebut, misalnya model spasial yang melihat peran pembangunan jalan terhadap alih guna lahan dan deforestasi yang dilakukan oleh Chomitz dan Gray (1996) atau model CLUE yang melihat peran faktor penyebab alih guna lahan di berbagai lokasi (Veldkamp dan Fresco, 1996a; Veldkamp dan Fresco, 1996b; de Koning *et al.*, 1998; dan de Koning *et al.*, 1999); serta

3. model-model yang melihat bagaimana agen penyebab alih guna lahan merespon terhadap konsekuensi adanya alih guna lahan, yang selanjutnya akan mempengaruhi pengambilan keputusan perubahan lahan di masa mendatang secara dinamis, sebagaimana disajikan dalam Gambar 1.

Makalah ini akan memaparkan aplikasi dari model simulasi FALLOW⁴ yang mencakup dinamika alih guna lahan pada suatu lansekap. Model ini dibangun pada kerangka pemikiran kelompok 3 yang mencakup proses pengambilan keputusan oleh agen manusia sebagai respon terhadap perubahan lingkungannya melalui proses belajar. Dalam mengadopsi suatu sistem penggunaan lahan, agen manusia di dalam model ini melakukan pengambilan keputusan berdasarkan pada persepsi mereka mengenai beberapa jenis resiko, antara lain resiko terhadap penurunan kesuburan tanah, ketahanan pangan, serta ekonomi rumah tangga. Tulisan ini membahas aplikasi model untuk melihat respon petani dalam mengadopsi suatu jenis sistem penggunaan lahan tertentu berdasarkan persepsi mereka mengenai resiko ekonomi rumah tangga akibat ketidakpastian harga komoditas pertanian utama. Untuk itu, lansekap Sumberjaya digunakan untuk menguji sensibilitas model yang berhubungan dengan dua pertanyaan sebagai berikut:

1. Bagaimana petani membuat keputusan yang berhubungan dengan alih guna lahan sebagai respon terhadap adanya gejolak harga pasar
2. Bagaimana dampak alih guna lahan hutan menjadi lahan pertanian terhadap fungsi tata air.

METODOLOGI

FALLOW: Model Dinamika Lansekap

Model FALLOW dibangun sebagai alat penduga dampak alih guna lahan pada tingkat lansekap, sebagai upaya mengintegrasikan pemahaman kita yang termutakhir mengenai interaksi lansekap-mosaik-sumberdaya (van Noordwijk, 2002). Model ini mempertimbangkan peran-peran agen manusia (yaitu petani) dalam mentransformasikan lansekap, bagaimana respon biofisik terhadap transformasi tersebut dari tingkat plot hingga lansekap melalui kaidah-kaidah penskalaan (*scaling rules*), serta respon kognitif maupun afektif para agen terhadap perubahan lansekap yang terjadi, yang menentukan transisi lansekap berikutnya.

Putaran (*loop*) dari modul-modul dinamis di dalam FALLOW (Gambar 6) dapat dijelaskan mulai dari bagaimana terjadinya proses dinamis kesuburan tanah pada tingkat plot berdasarkan model sederhana

Trenbath (van Noordwijk, 2002): dimana terjadi penurunan kesuburan tanah selama periode penanaman (*cropping*) dan pemulihan selama periode pemberaan (*fallow*). Kondisi kesuburan tanah suatu plot menentukan produktivitas tanaman pertanian, tergantung dari jenis tanaman serta efek-efek stokastis cuaca, hama dan penyakit. Total produksi tanaman pertanian dari seluruh lansekap, bersama dengan hasil panen dari sistem-sistem produksi lainnya (misalnya dari agroforestri, kegiatan pemanenan hasil hutan, atau sistem perkebunan monokultur) mempunyai kontribusi dalam menentukan kecukupan pangan dan tingkat ekonomi rumah tangga, melalui proses pencadangan pangan dan aktivitas perdagangan. Para petani, dengan kearifan (*knowledge*) yang merupakan hasil dari proses belajar selama simulasi, akan membuat keputusan-keputusan strategis yang terkait dengan pola pengelolaan lahan dan keputusan-keputusan taktis dalam intensitas pengelolaan lahan, meliputi alokasi tenaga kerja untuk melakukan berbagai aktivitas ekonomi produktif. Ketika kebutuhan lahan pertanian telah ditetapkan, para petani akan menerapkannya melalui proses identifikasi ketersediaan sumberdaya, baik lahan maupun tenaga kerja. Sumberdaya lahan dipilih berdasarkan persepsi mereka mengenai kesesuaian lahan, yang direpresentasikan sebagai nilai daya tarik lahan, yang mengintegrasikan tingkat kesuburan tanah relatif dan aksesibilitas lahan, baik aksesibilitas dari aspek spasial (jarak yang mempengaruhi biaya transportasi) maupun dari aspek legal (status penguasaan lahan). Pilihan mengenai jenis tanaman pertanian dibuat berdasarkan kearifan mereka mengenai respon tanaman terhadap tingkat kesuburan tanah (misalnya, ketika tingkat kesuburan tanah relatif rendah, petani telah memiliki pengetahuan untuk lebih memilih menanam ketela pohon dibandingkan padi). Aktivitas yang terkait dengan transformasi lahan tersebut selanjutnya akan mempengaruhi proses-proses biofisik, seperti proses suksesi alamiah ataupun proses dinamika kesuburan tanah.

FALLOW pada awalnya difokuskan untuk memodelkan periode transisi yang terjadi pada sistem perladangan berpindah ke rotasi tanam-bera, dengan memasukkan sistem agroforestri dan seri-seri suksesi alamiah (van Noordwijk, 2002). Saat ini, FALLOW telah mempertimbangkan jenis-jenis lanjutan dari sistem penggunaan lahan dan pemanfaatan sumberdaya alam, merentang dari sistem agroforestri ke sistem perkebunan monokultur. Selanjutnya, FALLOW menyediakan kotak-piranti (*toolbox*) untuk melakukan pendugaan dampak alih guna lahan terhadap ketahanan pangan, fungsi-fungsi tata air, keanekaragaman hayati dan cadangan karbon. Model ini dibangun dengan menggunakan PCRaster, yaitu alat pemodel spasial, yang memungkinkan model ini

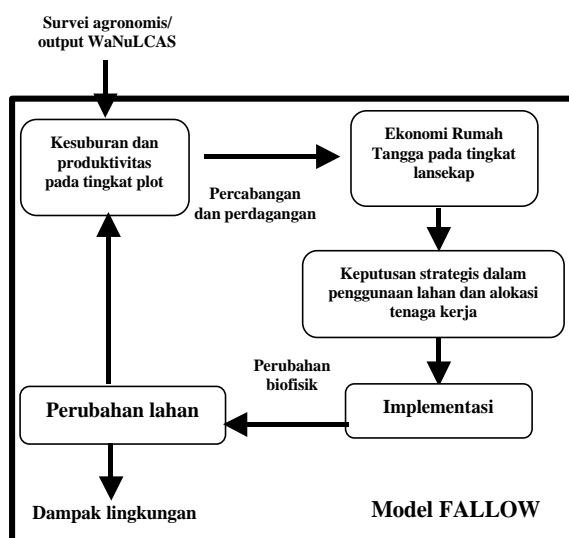
⁴ Singkatan dari (*F*)orests, (*A*)groforests, (*L*ow-value-(*L*)andscape, (*O*)r, (*W*)astelands? yang menggambarkan proses dinamis transisi lahan dan konsekuensinya pada suatu lansekap

diaplikasikan dalam ukuran yang relatif besar dengan menggunakan data spasial.

Kesuburan tanah dan produktivitas tanaman pada tingkat plot

Model FALLOW mengadopsi model sederhana Trenbath (1989), yang mengasumsikan bahwa kesuburan tanah menurun secara proporsional selama periode penanaman dan membaik selama periode pemberaan, sesuai dengan waktu paruh pemulihan kesuburan. Secara operasional, kesuburan tanah didefinisikan sebagai 'kemampuan tanah dalam mendukung pertumbuhan tanaman'. Pupukan dapat mempengaruhi kesuburan tanah dengan mereduksi laju penurunan kesuburan. Produktivitas tanaman dipengaruhi oleh kesuburan tanah, sensitivitas tanaman terhadap perubahan cuaca dan serangan hama-penyakit. Pertanian lahan basah dibedakan dengan lahan kering berdasarkan pada produktivitas tanaman dan dinamika kesuburan lahannya.

Parameterisasi model FALLOW yang berkaitan dengan dinamika kesuburan tanah dan produktivitas lahan, bisa dilakukan dengan menggunakan hasil simulasi dari model-model agroforestri pada tingkat plot (seperti WaNuLCAS) atau melalui survei agronomis (Gambar 6).



Gambar 6. Kerangka konseptual model FALLOW, dan hubungannya dengan model-model agroforestri pada tingkat plot, seperti WaNuLCAS.

Ekonomi rumah-tangga

Bila dibandingkan dengan versi sebelumnya (Van Noordwijk, 2002), model FALLOW versi terbaru telah secara eksplisit memasukkan ekonomi terbuka dengan memadukan rumah-tangga dan pasar secara utuh. Agen dapat melakukan pertukaran pangan dan sumberdaya lainnya (dengan biaya tertentu terkait

dengan proses transaksi) dan dengan adanya kapital finansial sebagai bentuk cadangan rumah tangga alternatif, selain dari lumbung pangan (*food store*). Pada akhirnya, cadangan moneter yang diperoleh dari pemasaran sumberdaya bukan pangan tersebut dapat menjadi suplemen, bahkan bisa menjadi sumber dominan dari ketahanan pangan. FALLOW juga mempertimbangkan preferensi konservatif petani yang memprioritaskan aktivitas produksi pangan lokal, dan dalam keputusan taktis pengalokasian tenaga kerja.

Pembuatan keputusan strategis

Keputusan strategis merefleksikan hal-hal yang telah dipelajari oleh para petani dalam model simulasi mengenai kinerja aktual dari sistem-sistem produksi di suatu wilayah. Dalam belajar, petani bisa memiliki gaya belajar yang merentang dari gaya belajar konservatif (didominasi oleh tren jangka panjang) ke gaya belajar kreatif (didominasi oleh pengalaman dan informasi terkini). Nilai harapan dari upah (*expected return to labor*), sebagai hasil proses belajar, tidak hanya mempengaruhi keputusan strategis dalam menentukan pola penggunaan lahan, namun juga keputusan-keputusan taktis (tahunan) dalam intensitas penggunaan lahan dan pengalokasian tenaga kerja pada berbagai aktivitas ekonomis produktif. Jika $M_{a,t}$ melambangkan memori agen (petani) mengenai nilai harapan dari upah tenaga kerja dari aktivitas ekonomis produktif a sebagai hasil belajar hingga waktu t , dan $E_{a,t}$ merupakan pengalaman terkini (pada waktu t) yang didapatkan mengenai nilai tingkat upah tenaga kerja dari aktivitas a , maka perubahan dalam nilai pengharapan yang akan mempengaruhi keputusan pada waktu $t+1$ dirumuskan sebagai $a(E_{a,t} - M_{a,t})$. Parameter a mengindikasikan gaya belajar dan bervariasi antara 0 hingga 1. Nilai 1 jika agen mengabaikan semua pengalaman masa lalu (di sini, mereka diindikasikan sebagai agen yang 'eksperimental') dan 0 ketika agen sangat 'konservatif' dalam menjaga informasi lama (tradisi) namun sebaliknya mengabaikan informasi terkini.

Implementasi

Implementasi meliputi pelaksanaan keputusan-keputusan strategis maupun keputusan-keputusan taktis, yang dilakukan setelah melalui identifikasi ketersediaan sumberdaya, baik lahan maupun tenaga kerja. Kegiatan pembukaan lahan pertanian dilakukan berdasarkan perbandingan dan ranking dari 'daya tarik lahan', yang ditentukan oleh nilai kesuburan tanah, status penguasaan lahan (dengan preferensi untuk melakukan privatisasi melalui pemanfaatan lahan tak 'bertuan'), dan aksesibilitas, serta oleh aturan-aturan yang membatasi pembukaan lahan pada beberapa bagian lansekap (misalnya hutan lindung). Modul implementasi dalam FALLOW juga

mempertimbangkan pilihan agen terhadap jenis tanaman pertanian, berdasarkan hasil panen yang diharapkan dari sejumlah pilihan tanaman, yang ditentukan oleh nilai kesuburan tanahnya.

Alih guna lahan

Alih guna lahan terjadi sebagai akibat transformasi lahan yang dilakukan oleh agen, serta dinamika biofisik yang terjadi akibat transformasi tersebut. FALLOW secara eksplisit mempertimbangkan proses suksesi alamiah dari lahan yang diberakan menuju hutan dan tahap-tahap pertumbuhan dari sistem pertanian menahun (agroforestri atau kebun monokultur). Status suksesional dari setiap plot menentukan kontribusi plot tersebut terhadap cadangan karbon, keanekaragaman hayati, maupun fungsi-fungsi tata air.

Konsekuensi terhadap fungsi-fungsi tata air

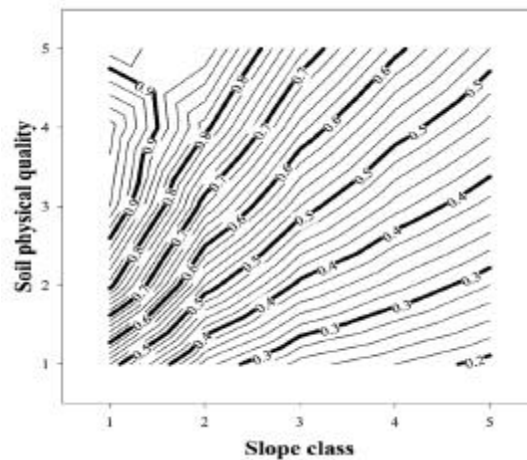
Makalah ini hanya membahas kotak-piranti penduga dampak alih guna lahan terhadap fungsi-fungsi tata air. Kotak piranti penduga untuk jenis konsekuensi lainnya akan dibahas di tempat lain.

FALLOW menghitung neraca air sederhana pada tingkat plot, dengan alokasi dari hujan, evapotranspirasi, dan infiltrasi. Laju infiltrasi dipengaruhi oleh kualitas fisik tanah yang bisa membaik atau memburuk, tergantung pada jenis tutupan lahan dan besarnya pasokan pangan (bahan organik) untuk organisme tanah. Selain kualitas fisik tanah, infiltrasi juga ditentukan oleh kelerengan lahan (Gambar 7). Surplus dari tahap *filtering* pertama ini menentukan jumlah limpasan langsung atau limpasan permukaan (*overland flow*).

Pada kondisi tanah yang jenuh, air yang terinfiltrasi akan mengalir keluar sebagai limpasan tak langsung atau limpasan dalam tanah (*subsurface quick flow*), yang bersama-sama dengan limpasan permukaan menghasilkan limpasan total (*storm flow*). Air yang mencapai cadangan air tanah (*groundwater storage*) dilepaskan sebagai aliran dasar (*base flow*). Limpasan permukaan dikalikan dengan konsentrasi sedimen rata-rata dari setiap kelas tutupan lahan menentukan erosi bruto. FALLOW juga mempertimbangkan fungsi saring (*filtering*) potensial pada setiap plot - tergantung dari persentase tutupan seresah (*contact cover*) - untuk menghitung kehilangan erosi neto dan menentukan jumlah muatan sedimen di dalam sungai. Tahap paling kritis dari proses alih guna lahan ditemukan pada tahap pioner, karena efisiensi *filtering*-nya relatif rendah. Efek filter hanya diperoleh sepanjang jalur limpasan langsung, yang akhirnya memberikan relevansi spesifik terhadap 'mintakat saring sempadan' (*riparian filter zone*).

Masukan data faktor eksogen harga kopi

Mengingat tujuan dari uji sensibilitas model ini adalah untuk mengetahui respon petani terhadap gejolak harga kopi, maka sebagai rujukan digunakan harga kopi yang



Gambar 7. Fraksi infiltrasi dari suatu plot tergantung pada kelerengan dan kualitas fisik tanah; kelerengan diklasifikasikan menurut USLE (1: <1%, 2: 1%-3%, 3: 3%-5%, 4: 5%-20%, 5: >20%); dimana kualitas fisik tanah merepresentasikan stabilitas agregatnya.

stabil, dipatok pada Rp 3000 per kg, yang merupakan harga rata-rata kopi di Sumberjaya selama sekitar satu dasawarsa terakhir (Leimona, 2001). Opsi perkebunan cengkeh monokultur diperkenalkan dengan harga asumsi stabil pada Rp 2500 per kg, sebagai tambahan dari opsi-opsi agroforestri kopi, perkebunan monokultur kopi dan jenis-jenis rotasi tanam-bera. Tiga jenis data deret-waktu harga kopi dibangkitkan untuk simulasi sensitivitas selama 100 tahun dengan menggunakan data inisial dari kondisi lahan di Sumberjaya pada tahun 1985⁵.

Data bangkitan tersebut merepresentasikan skenario keanjlokkan sesaat dengan volatilitas sangat tajam, yaitu sekitar $\pm 1,79$ (Gambar 8A), keanjlokkan dengan volatilitas sedang ($\pm 0,69$) namun dengan jangka pemulihan memakan waktu 14 tahun (Gambar 8B), dan gejolak harga dengan volatilitas sedang, namun dengan frekuensi yang cukup tinggi, yaitu sekitar 0.615 (Gambar 8C).

Atribut Endogen Agen

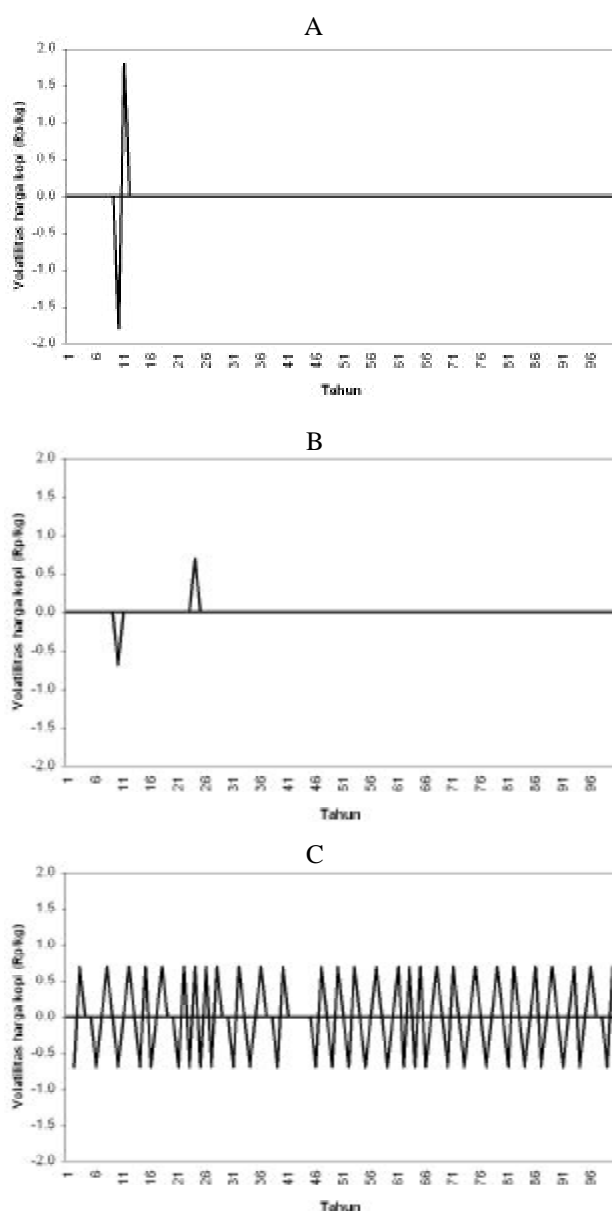
Simulasi ini menggunakan parameter $a = 0,75$, sehingga agen di dalam model cenderung 'eksperimental', namun masih berhati-hati dengan tetap menjaga sebagian informasi lama.

HASIL

Alih guna lahan

Dengan skenario harga stabil (Gambar 9A), hasil simulasi pada dua dasawarsa pertama menunjukkan penurunan luas tutupan hutan, dimana petani

⁵ Direklasifikasikan dari peta BPN (Badan Pertanahan Nasional). Sumber data langsung: Hadi DP, Spatial Analysis Unit, the World Agroforestry Centre, Southeast Asia Regional Office, Bogor, Indonesia.



Gambar 8. Gejolak harga kopi yang digunakan dalam simulasi: (A) keanjlokkan sesaat dengan volatilitas tinggi; (B) keanjlokkan dengan jangka pemulihan lama; dan (C) gejolak berfrekuensi tinggi. Harga stabil rujukan berada pada Rp 3000 per kg.

berekspimen dengan sistem monokultur kopi dan sistem agroforestri kopi sebelum akhirnya menetap pada sistem agroforestri kopi. Sistem agroforestri kopi tersebut sebagai bentuk pengusahaan yang lebih menguntungkan dengan upah tenaga kerja yang lebih tinggi per satuan tenaga kerja yang dialokasikan selama siklus produksi. Skenario dimana terjadi keanjlokkan harga sesaat dengan volatilitas tinggi membuat petani melakukan diversifikasi usaha dengan sistem perkebunan monokultur cengkeh dan sistem perkebunan monokultur kopi, dengan jangka

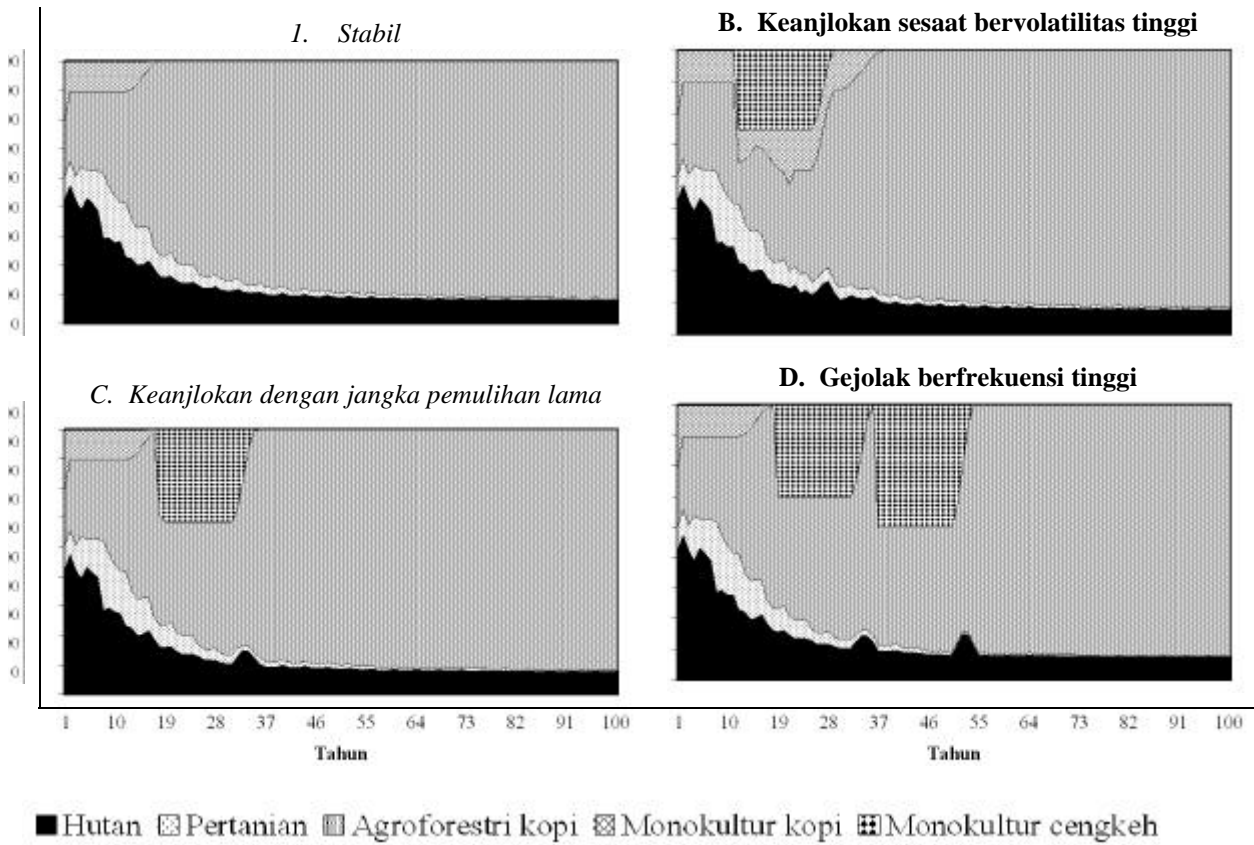
eksperimentasi selama kurang lebih 40 tahun sebelum menetap ke agroforestri kopi (Gambar 9B).

Pada skenario harga anjlok dengan jangka pemulihan yang lama, harga kopi yang rendah pada 'fase eksperimental' mendorong petani untuk mencoba sistem perkebunan cengkeh monokultur selama kurang lebih 40 tahun. Tindakan tersebut dalam jangka panjang ternyata kurang menguntungkan dibandingkan dengan sistem agroforestri kopi, sehingga akhirnya petani mengadopsi sistem agroforestri secara stabil (Gambar 9C). Pada skenario dengan gejolak harga yang sangat sering, eksperimentasi dengan sistem monokultur cengkeh mencapai waktu lebih lama lagi, yaitu sekitar 55 tahun (Gambar 9D).

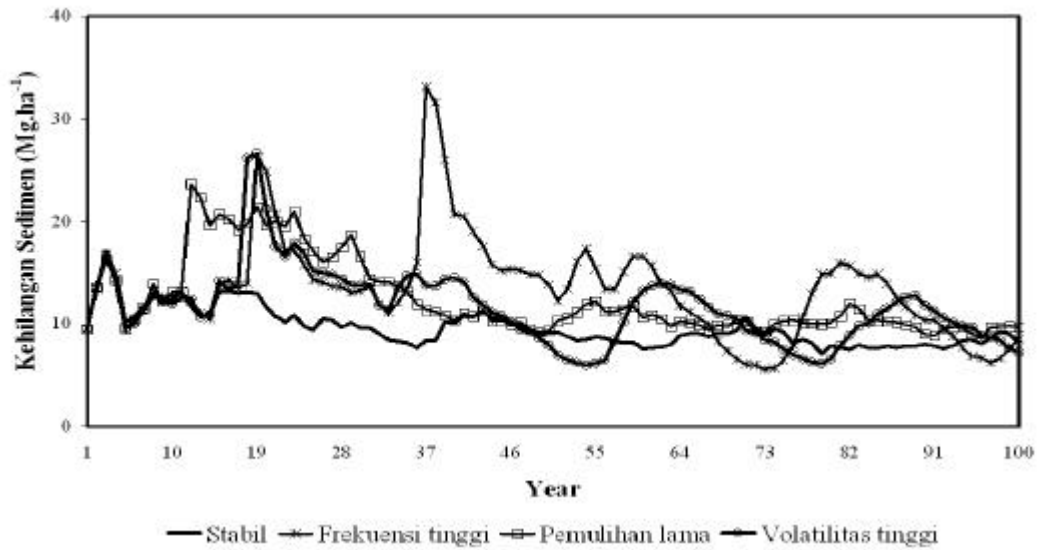
Konsekuensi terhadap fungsi-fungsi tata air

Sebagai konsekuensi dari kapasitas adaptif petani dalam melakukan eksperimentasi dan reorganisasi pola penggunaan lahan dalam merespon gejolak harga kopi yang akhirnya mempengaruhi fungsi-fungsi *filtering* lahan, muatan sedimen di dalam sungai diperkirakan meningkat hingga 400% ($35 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{tahun}^{-1}$) dari nilai yang diperoleh pada kondisi harga stabil (Gambar 10).

Hasil simulasi yang disajikan dalam makalah ini merupakan upaya awal untuk menguji sensitivitas model FALLOW terhadap perubahan berbagai parameter, sebagai bagian dari uji sensibilitas kualitatif ('masuk akal?'). Dengan skenario perubahan harga kopi di atas, model telah terbukti memberikan hasil simulasi alih guna lahan yang 'masuk akal', dari sisi bagaimana petani di dalam model ini belajar dari pengalaman-pengalamannya untuk akhirnya secara stabil mengadopsi sistem agen dengan gaya belajar yang berlawanan terhadap aliran informasi yang sama. Grafik tersebut menjelaskan bahwa jika agen merupakan 'eksperimenter', maka dinamika alih guna lahan cenderung mendekati dinamika informasi aktual mengenai 'keuntungan', meskipun faktor-faktor lain yang terkait dengan ketersediaan sumberdaya untuk melakukan pengubahan lahan masih akan menjadi pertimbangan selanjutnya dalam implementasi. Sedangkan agen 'konservatif' akan mempertahankan 'keyakinan' lama dalam merespon informasi baru. Sehingga, untuk pengembangan selanjutnya, akan dimasukkan heterogenitas penggunaan lahan yang paling menguntungkan. Namun demikian, konsep model yang ada saat ini belum mempertimbangkan keragaman masyarakat yang tinggal di suatu lansekap ditinjau dari gaya belajarnya. Dalam simulasi ini, digunakan agen dengan gaya belajar homogen yang cenderung 'eksperimenter', dengan asumsi bahwa dalam suatu komunitas, keberhasilan 'eksperimenter' akan secara efektif diikuti oleh mayoritas agen, sehingga pada akhirnya akan tercipta homogenitas. Kenyataannya, efektivitas seorang 'eksperimenter' pada komunitas manusia dalam mempengaruhi agen



bar 9. Dinamika lansekap sebagai hasil dari respon petani terhadap beberapa skenario harga kopi: (A) stabil; (B) harga anjlok sesaat dengan volatilitas tinggi; (C) harga anjlok dengan jangka pemulihan lama; dan (D) harga bergejolak sangat sering.



Gambar 10. Kehilangan sedimen pada tingkat lansekap akibat eksperimentasi dan reorganisasi pola penggunaan lahan oleh petani dalam merespon gejolak harga kopi. Semua jenis gejolak menunjukkan peningkatan kehilangan sedimen yang signifikan, relatif terhadap kondisi harga stabil, berkisar antara 0,6 hingga 4 kali lipat.

'konservatif' masih sangat tergantung oleh faktor-faktor yang mempengaruhi aksesibilitas informasi (Mulyoutami et al., 2004). Di sisi lain keragaman gaya belajar harus dipertimbangkan (Rieskamp et al., 2003). Gambar 11 memperlihatkan bagaimana persepsi dua komunitas dari gaya belajar yang dimiliki, dimana para agen akan belajar dari informasi umum (*public goods*) berdasarkan persepsi mereka masing-masing, sehingga akan terjadi proses 'adopsi dan belajar' antar agen yang berbeda.

PEMBAHASAN

Selanjutnya, dari keempat skenario simulasi perubahan harga yang dilakukan, sensibilitas model dalam menduga konsekuensi alih guna lahan terhadap fungsi tata air dinilai dari kehilangan sedimen memberikan hasil yang berada dalam kisaran rata-rata kehilangan sedimen di Sumatra, yaitu 24 Mg.ha⁻¹.tahun⁻¹ (Milliman et al., 1999) yang didasarkan pada hubungan skala-area dan sedimen. Secara umum, tingkah laku eksperimental para petani terhadap gejolak harga kopi dengan mengadopsi sistem monokultur dalam jangka waktu yang cukup lama mengakibatkan menurunnya fungsi tata air, yang dalam simulasi diindikasikan oleh peningkatan laju kehilangan sedimen (Gambar 10). Hal tersebut mengisyaratkan perlunya upaya-upaya stabilisasi harga kopi.

Jika upaya tersebut dilakukan berdasarkan 'rasionalitas bisnis' semata, maka penyanggaan stok (*stock buffering*) barangkali menjadi pilihan solusi yang paling efektif dalam membatasi pasokan di pasar internasional. Korelasi sebesar 58% antara volume total dengan harga di pasar internasional mengindikasikan berlakunya kaidah pasokan-permintaan di tingkat pasar tersebut (Gambar 12).

Gradien dari korelasi ini menunjukkan elastisitas kopi yang relatif rendah, sehingga 20% penurunan volume pasokan di pasar internasional bisa memicu kenaikan harga sekitar 80%. Artinya, jika penyanggaan stok bisa dilaksanakan atas dasar kesepakatan kuota antar semua negara eksportir kopi, harga di pasar internasional bisa dikendalikan pada tingkat yang layak. Namun, pada kenyataannya, solusi semacam ini membutuhkan kontrol sosial dan komitmen yang tinggi

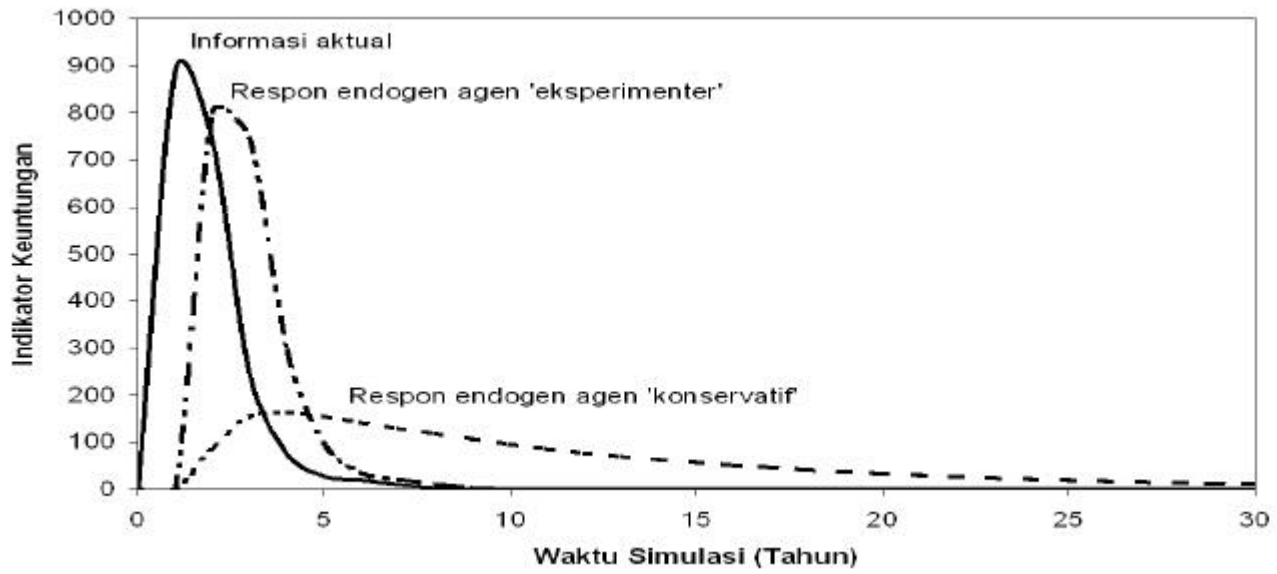
antar peserta yang terlibat. Sebagai contoh, Gambar 13 memperlihatkan bagaimana perilaku bisnis 'maladaptif'⁶ pada skala nasional yang cenderung meningkatkan volume ekspor ketika harga dunia turun, namun justru meningkatkan permasalahan *over-supply* di pasar internasional, yang akhirnya akan berimbas balik melalui kejatuhan harga yang makin terpuruk.

Permasalahan lain yang mungkin dihadapi dalam penyanggaan stok adalah kemungkinan munculnya pembonceng (*free-rider*), yang bisa muncul dari pihak lain yang tidak meratifikasi kesepakatan atau dari peserta kesepakatan sendiri dalam suatu kontrol sosial yang lemah. Di dalam kesepakatan kuota terjadi suatu dilema sumberdaya (*commons dilemma* dalam Nerb et al., 1997 atau *prisoner's dilemma* dalam Hales, 1998), dimana penurunan jatah pasokan yang dilakukan seseorang akan memberikan keuntungan orang lain melalui kenaikan harga. Tanpa keyakinan akan adanya kemampuan ratifikasi adaptif (*adaptive ratifiability*, lihat van Rooy, 2002) dalam kelompok kesepakatan dengan peserta yang memiliki perilaku asimetri, diperlukan kontrol sosial yang kuat.

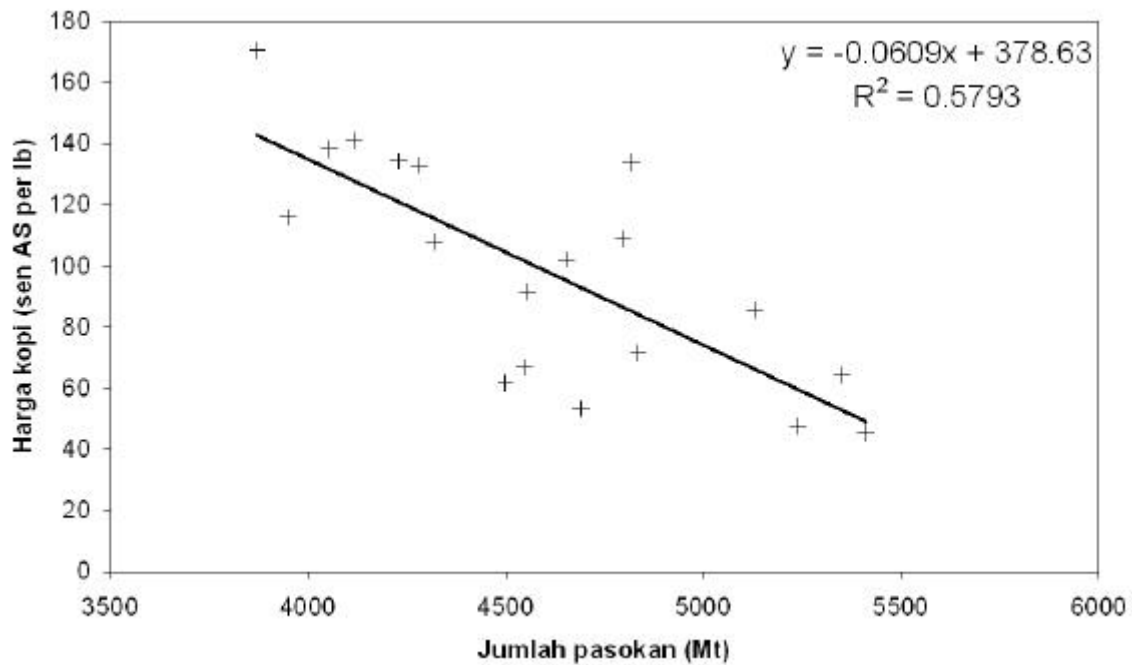
Alternatif lain dalam melakukan stabilisasi harga kopi adalah dengan berpijak tidak hanya pada 'rasionalitas bisnis', namun juga atas dasar pertimbangan ekologis. Studi Giovanucci (2003), yang mencoba menawarkan beberapa konsep kopi lestari (*sustainable coffee*), barangkali perlu dijajaki sebagai alternatif solusi terpadu untuk problem lingkungan dan sekaligus kesejahteraan petani. Dalam konsep ini ditawarkan beberapa alternatif, antara lain perdagangan adil (*fair trade*), yang mencoba memecahkan perbedaan marjinal yang tidak layak antara *roaster* dengan petani (lihat Gambar 13 sebagai ilustrasi perbedaan marjinal harga kopi di pasar internasional dengan harga yang dibayarkan ke petani di Indonesia). Sedangkan konsep lainnya mencoba menolong sistem produksi kopi yang ramah lingkungan (misalnya *organic coffee* dan *eco-friendly coffee*), namun dengan kendali mutu yang memenuhi standar permintaan pasar internasional. Bersandar kembali pada argumentasi bahwa perilaku petani dalam konservasi lingkungan hanya akan terwujud jika untuk melakukannya hanya membutuhkan biaya yang rendah, baik dalam pengertian waktu, uang, maupun kenyamanan (lihat Bamberg, 2004), barangkali konsep-konsep 'kopi lestari' tersebut merupakan alternatif yang efektif.

Namun, kedua pendekatan alternatif untuk stabilisasi harga kopi di atas masih berorientasi ekspor, dengan tujuan utama ke pasar internasional. Barangkali, pemberdayaan pasar lokal perlu digalakkan sebagai upaya meredam gejolak pasar dunia. Melalui proksi desentralisasi dan otonomi daerah, perlu dikaji dengan lebih jeli rantai pasar yang menghubungkan

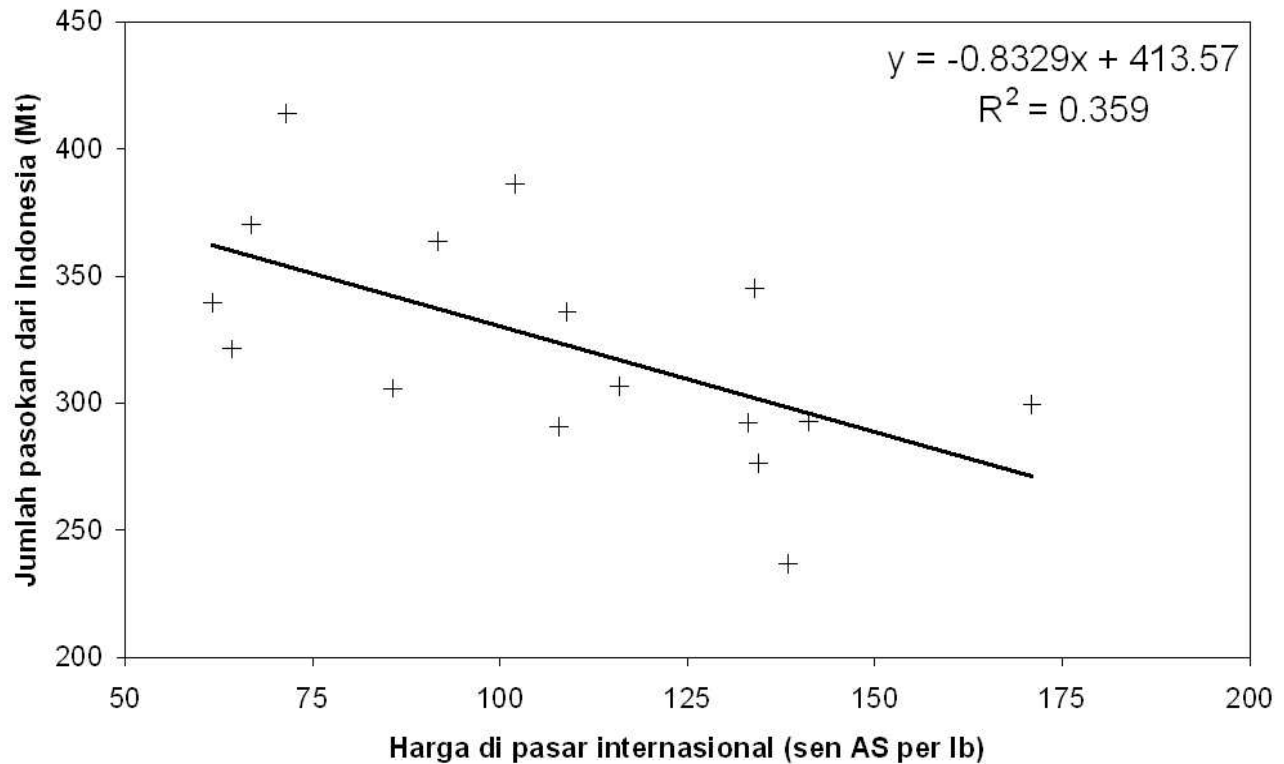
⁶ Terminologi 'perilaku maladaptif manusia' tersebut dipinjam dari Maloney dan Ward (1973), untuk menunjukkan bagaimana perilaku manusia yang cenderung menganut asas 'penghematan energi dan sumberdaya' secara parsial (pada tingkat individu), yang akhirnya menjerumuskannya pada suatu jebakan bumerang. Motivasi orang yang naik mobil adalah untuk menghemat sumberdaya waktu, meskipun di sisi lain memboroskan sumberdaya minyak. Atau sebaliknya, orang yang menggunakan kertas daur ulang, sebenarnya juga melakukan pemborosan 'sumberdaya' lainnya dari sisi pengolahan kimiawi yang mahal (Kaiser et al., 2003). Pada kasus tindakan pelipatan volume kopi di saat harga dunia turun sebenarnya 'rasional' dari 'skala bisnis nasional', namun justru mengakibatkan kejatuhan harga di pasar internasional.



Gambar 11. Perbedaan persepsi dua agen dengan gaya belajar yang berlawanan terhadap aliran informasi yang sama, sebagaimana disimulasikan oleh model FALLOW dengan memori inisial = 0.



Gambar 12. Korelasi jumlah pasokan (Mt = mega ton) dengan harga (sen AS per lb; lb = 1 pound ~ 0.5 kg) di pasar internasional. (Hasil olahan penulis dari data ICO 1984-2002).



Gambar 13. Korelasi harga di pasar internasional (sen AS per lb) dengan jumlah pasokan dari Indonesia (Mt). (Hasil olahan penulis dari data ICO 1984-2002 pada harga > 50 sen AS per lb).

desa dengan kota, satu pulau dengan pulau lainnya, dan antara si miskin dengan si kaya. Untuk tujuan ini, diperlukan ilmu pengembangan wilayah (lihat misalnya Isard, 1999).

KESIMPULAN

- Dengan asumsi bahwa 'atribut endogen agen' homogen dan memiliki kecenderungan belajar yang 'eksperimental', para agen di dalam model simulasi FALLOW akan melakukan fase eksperimental yang cukup lama, sebelum akhirnya mengadopsi sistem agroforestri secara stabil. Terlepas dari validitas model itu sendiri, tindakan-tindakan untuk mengendalikan faktor-faktor eksogen yang mempengaruhi alih guna lahan perlu diupayakan, pada berbagai skala waktu dan ruang, dengan mempertimbangkan setiap jenis konsekuensi yang terkait.
- Model "tingkat 3" yang memasukkan agen yang belajar seperti FALLOW merupakan alat bantu yang berguna untuk melakukan pendugaan dampak alih guna lahan berdasarkan skenario, sebagai rujukan perencanaan wilayah.
- Khususnya terkait dengan 'atribut endogen agen', diperlukan upaya paralel, baik dalam pengembangan

konsep yang dianut model FALLOW maupun dalam disain riset dalam rangka mengukur atribut tersebut. Kemunculan psikologi-eksperimental maupun kehidupan artifisial (artificial life) sebagai paradigma baru dalam sains barangkali merupakan landasan pendekatan yang tepat dalam upaya mencapai dua tujuan tersebut.

Ketersediaan Model

FALLOW dapat didownload dari <http://www.worldagroforestrycentre.org/sea/AgroModels/FALLOW/Fallow.htm> dalam model STELLA yang dilink dengan EXCEL, atau sebagai model PCRaster

Ucapan Terima Kasih

Tulisan ini dipupuk dengan input-input berharga dari Suseno Budidarsono – ICRAF SEA, Prof. Dr. SM Sitompul dan Prof. Dr. Kurniatun Hairiah – Unibraw serta Dr Suyanto - ICRAF SEA. Untuk waktu luang mereka demi memahami tulisan ini, kami mengucapkan banyak terima kasih.

DAFTAR PUSTAKA

- Ajzen, I. 1991. The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes* 50:179-211.
- Bamberg, S. 2003. How does environmental concern influence specific environmentally related behaviors? A new answer to an old question. *Journal of Environmental Psychology* 23:21-32.
- Giovanucci, D. 2003. A State of Sustainable Coffee: A Study of Twelve Major Markets. International Coffee Organization. Cali-Colombia, Feriva SA. Hal: 38-59.
- Chomitz, K.M. and D.A. Gray. 1996. Roads, land use, and deforestation: a spatial model applied to Belize. *The World Bank Economic Review* 10(3):487-512.
- De Koning, G.H.J.; Veldkamp, A. and L.O. Fresco. 1998. Land use in Ecuador: a statistical analysis at different aggregation levels. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 70:231-247.
- De Koning, G.H.J.; Verburg, P.H.; Veldkamp, A. and L.O. Fresco. 1999. Multi-scale modelling of land use change dynamics in Ecuador. *Agricultural Systems* 61:77-93.
- Hales, D. 1998. Stereotyping, groups and cultural evolution: a case study of "second order emergence"? In Sichman J.S.; Conte R. and N. Gilbert (eds.), *Multi-Agent Systems and Agent-Based Simulation*. Proceedings of The First International Workshop MABS'98, Paris, France, July 1998.
- Holling, C.S. and L.H. Gunderson. 2002. Resilience and adaptive cycles. In Gunderson L.H. and C.S. Holling (eds.), *Panarchy: Understanding Transformations in Human and Natural Systems*. Island Press, Washington DC. Hal:25-62.
- Isard, W. 1999. Regional science: parallels from physics and chemistry. *Papers in Regional Science* 78:5-20.
- Kaiser, F.G.; Doka, G.; Hofstetter, P. and M.A. Ranney. 2003. Ecological behavior and its environmental consequences: a life cycle assessment of self-report measure. *Journal of Environmental Psychology* 23: 11-20.
- Leimona, B. 2001. Modelling Land Use Change and Its Driving Factors: a Preliminary Dynamic Landscape-based Model of Sumberjaya Watershed. Thesis Master. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Maloney, M.P. and M.P. Ward. 1973. Ecology: let's hear from the people. An objective scale for the measurement of ecological attitudes and knowledge. *American Psychologist* 28:583-586.
- Milliman, J.D.; Farnsworth, K.L. and C.S. Albertin. 1999. Flux and fate of fluvial sediments leaving large islands in the East Indies. *Journal of Sea Research* 41:97-107.
- Mulyoutami, E.; Stefanus, E.; Schalenbourg, S.; Rahayu, S dan L. Joshi. 2004. Pengetahuan lokal petani dan inovasi ekologi dalam konservasi dan pengolahan tanah pada pertanian berbasis kopi di Sumberjaya, Lampung Barat. *Agrivita* 26 (1):
- Nerb, J.; Spada, H. and A.M. Ernst. 1997. A cognitive model of agents in commons dilemma. In Mahwah, N.J. (Ed.), *Proceedings of the Ninetenth Annual Conference of the Cognitive Science Society*. Lawrence Erlbaum Associates. Hal:560-565.
- Perfecto, I. and I. Armbrecht. 2003. The coffee agroecosystem in the neotropics: combining ecological and economical goals. In Vandermeer, J.H. (Ed.), *Tropical Agroecosystems*. CRC Press. Hal: 161.
- Rieskamp, J.; Busemeyer, J.R. and T. Laine. 2003. How do people learn to allocate resources? Comparing two learning theories. *Journal of Experimental Psychology-Learning, Memory, and Cognition* 29(6):1066-1081.
- Slovic, P. 1987. Perception of risk. *Science* 236:280-285.
- Suyanto, D.A.; Van Noordwijk, M.; Hadi, D.P. dan B. Lusiana. 2003. FALLOW model: assessment tool for landscape level impact of farmer land use choices. In Post DA (Ed.), *Proceedings of International Congress on Modelling and Simulation MODSIM 2003*, July 14-17 2003, Townsville, Australia.
- Trenbath, B.R. 1989. The use of mathematical models in the development of shifting cultivation. In Proctor, J. (Ed.), *Mineral Nutrients in Tropical Forest and Savanna Ecosystems*. Blackwell, Oxford, hal: 353-369.
- Van Noordwijk, M. 2002. Scaling trade-offs between crop productivity, carbon stocks and biodiversity in shifting cultivation landscape mosaics: the FALLOW model. *Ecological Modelling* 149:113-126.

- Van Rooy, R. 2002. Signalling games select horn strategies. In Katz, G., Reinhard, S. and P. Reuter (Eds.), *Sinn und Bedeutung VI*, Proceeding of the Sixth Annual Meeting of the Gesellschaft fuer Semantik, University of Osnabrueck.
- Veldkamp, A. and L.O. Fresco. 1996a. CLUE: a conceptual model to study the conversion of land use and its effects. *Ecological Modelling* 85:253-270.
- Veldkamp, A. and L.O. Fresco. 1996b. CLUE-CR: an integrated multi-scale model to simulate land use change scenarios in Costa Rica. *Ecological Modelling* 91:231-248.
- Verbist, B.J.P.; Van Noordwijk, M.; Tameling, A.C.; Schmitz, K.C.L. and S.B.L. Ranieri. 2002. A Negotiation Support Tool for Assessment of Land Use Change Impacts on Erosion in a Previously Forested Watershed in Lampung, Sumatra, Indonesia. In Rizzoli, A.E. and A.J. Jakeman (Eds.), *IADS, Proceeding of the 1st Biennial Meeting of IEMSS*, Vol. 1.
- Verbist, B.; Ekadinata, A.P. dan S. Budidarsono. 2004. Penyebab alih guna lahan dan akibatnya terhadap fungsi daerah aliran sungai (DAS) pada lansekap agroforestri berbasis kopi di Sumatra. *Agrivita* 26 (1):
- Wear, D.N. and P. Bolstad. 1998. Land-use changes in southern appalachian landscapes: spatial analysis and forecast evaluation. *Ecosystems* 1:575-594.