

# Pengelolaan Penggunaan Lahan untuk Stabilisasi Tepian Hutan Tropis Menggunakan *Agent-Based Land-Use Modelling*

## (Land-Use Management for Stability of Rainforest Margins Using Agent-Based Land-Use Modelling)

Suria Darma Tarigan<sup>1\*</sup>, Kerstin Wiegand<sup>2</sup>

### ABSTRAK

Konversi hutan tropika basah menjadi lahan pertanian di Taman Nasional Lore Lindu (TNLL) terjadi dengan cepat. Konversi tersebut dipicu oleh rendahnya pendapatan petani yang berasal dari usaha tani kakao yang kurang produktif di sekitar TNLL yang pendapatan belum memenuhi standar kehidupan layak minimal sebesar Rp15.000.000,00/tahun/KK. Agar pendapatan dapat memenuhi standar kebutuhan hidup minimal tersebut maka diperlukan perluasan lahan sebesar 1 ha/KK. Berdasarkan fakta ini maka petani kakao di sekitar TNLL berpotensi melakukan konversi hutan menjadi lahan pertanian kakao. Alternatif yang dapat dilakukan adalah meningkatkan produktivitas persatuan luas lahan kakao dengan agroteknologi yang inovatif. Kompleksitas berbagai variabel yang terpengaruh seperti karakteristik spasial lahan usaha tani, ketersediaan tenaga kerja, likuiditas dan lain-lain serta keterkaitannya dengan keputusan masing-masing rumah tangga dalam konversi hutan menjadi lahan pertanian memerlukan model yang terintegrasi dimana komponen biofisik dan sosial-ekonomi dianalisis secara terkait sekaligus. Tujuan penelitian ini adalah menggunakan *agent-based modeling* dalam memilih land use management ataupun inovasi agroteknologi seperti pemupukan dan irigasi yang optimal bagi petani disekitar tepian hutan tropis sehingga mengurangi kebutuhan melakukan konversi hutan menjadi lahan pertanian. Penerapan teknologi pupuk berimbang pada luasan lahan kakao saat ini ternyata belum mampu memberikan tambahan pendapatan minimal dalam mencapai standar kebutuhan hidup layak disebabkan oleh kelangkaan air pada bulan Januari sampai Februari. Mengkombinasikan pemupukan berimbang dengan irigasi ternyata mampu meningkatkan pendapatan petani sampai pada taraf kebutuhan layak.

Kata kunci: *agent-based modeling*, agroteknologi, konversi hutan, pendapatan minimal, usaha tani kakao

### ABSTRACT

Tropical forest margin conversion to agriculture land in Lore Lindu National Park has reached an alarming rate. The conversion was triggered by insufficient revenue to support minimal living standard amounted to Rp15.000.000,00/year/household obtained from unproductive cacao farming. Each household required another 1 ha new land to at least reach that minimal living standard. Therefore 218 ha of forest land are potentially cleared by farmer in the near future to extend their farming area. Increasing productivity using innovative agro-technology should be considered as one important alternative to reduce the need to clear another forest area. Due to the complexity of interrelated variable affected by using innovative agro-technology, a model should be used to take account every affected variable such as availability of labour and liquidity in adopting new agro-technology. In this research, agent-based modeling with mixed integer linear programming model (MILP) using MPMAS software (Mathematical Programming for Multy Agent System) was used to analyze impact of balanced fertilizing and irrigation technology to increase cacao land productivity. Balanced fertilizing was insufficient to reach minimum standard living of Rp15.000.000,00 with existing area of cacao land (1 ha/HH), due to the severe water deficit during month of January until February. Combining balanced fertilizing with irrigation water supply can increase productivity reaching minimum standard of living. It was obvious from the modeling that in the earlier period of cacao growth (1–5 year old), deficits in liquidity and labour was encountered. Interplanting cacao with maize at the earlier phase with additional income from livestock can alleviate liquidity shortage.

Keywords: agent-based modeling, agro-technology, cacao farming system, forest conversion, standard income

### PENDAHULUAN

Konversi hutan selain mengurangi keanekaragaman hayati dan penyebab degradasi lahan, merupakan salah satu penyumbang utama emisi

karbon. Konversi hutan umumnya terjadi pada tepi hutan (*rainforest margins*) dimana masyarakat melakukan konversi hutan untuk mendapatkan lahan pertanian dan pemukiman. Stabilisasi tepian hutan akan mengurangi ancaman terhadap emisi karbon dan penurunan keanekaragaman hayati.

Dalam rangka menguji berbagai skenario alternatif land-use management untuk stabilisasi tepian hutan tropis maka diperlukan suatu model yang terintegrasi dimana komponen biofisik dan sosial-ekonomi dianalisis secara terkait sekaligus. Model tersebut harus mampu mempertimbangkan keputusan dalam

<sup>1</sup> Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680.

<sup>2</sup> Georg – August – Universität Göttingen, Ökosystem – modellierung Büsgenweg 4, 37077 Göttingen.

\* Penulis korespondensi: E-mail: surya.tarigan@yahoo.com

level rumah tangga terkait dengan penggunaan lahan, misalnya berapa luas lahan yang harus diusahakan agar kebutuhan ekonomi rumah tangga terpenuhi. Pada gilirannya keputusan pada level rumah tangga tersebut akan mempunyai dampak terhadap lingkungan melalui perubahan penggunaan lahan.

Terdapat cukup banyak model yang secara terpisah mengkaji sosial-ekonomi atau ekosistem saja. Namun, model terintegrasi (*integrated model*) semakin banyak digunakan akhir-akhir ini (Koomen *et al.* 2007). Terlepas dari perbedaan pendekatan yang dilakukan dalam pengembangan model, model terintegrasi sering secara kolektif dikenal sebagai model *Land-Use/Cover Change (LUCC)* (Lambin & Geist 2006). Jika *decision making* oleh (*human*) *actors* dibatasi pada representasi grid *cellular LUCC models* maka model tersebut akan mengalami keterbatasan secara metodologi (Parker *et al.* 2003). Namun, keterbatasan tersebut dapat diatasi dengan menggabungkan *grid-based models* dengan *agent-based models*.

Sementara *cellular models* memberikan penekanan pada *landscape* dan transisinya, maka *agent-based LUCC models* menekankan *human actions*. Berasal dari bidang *artificial intelligence* dan *ecological modelling*, *agent-based models* terdiri dari sejumlah 'agents' yang berinteraksi satu sama lain dan juga dengan lingkungannya melalui tata guna lahan (*land use*) dan dapat membuat keputusan dan mengubah tindakannya sebagai akibat dari interaksi tersebut (Matthews *et al.* 2007). Agents bersifat otonomi dalam artian mereka mempunyai kontrol terhadap apa yang mereka lakukan dan kondisi internal untuk mencapai tujuannya. Pada konteks LUCC, interaksi diantara agent dimediasi oleh penggunaan *landscape* secara bersama (Matthews *et al.* 2007). Namun, *agent-based models* dalam arti sebenarnya mempunyai kesulitan dalam merepresentasikan *spatio-temporal dynamics* dari *landscape* yang terkait. Kelemahan utama dari *agent-based models* merupakan kekuatan dari *cellular models* dan sebaliknya.

Tujuan umum dari penelitian ini adalah mengembangkan model *integrated land-use modeling* yang mengintegrasikan komponen ekologi dan sosial-ekonomi untuk stabilisasi tepian hutan melalui beberapa pilihan *land-use management*. Secara khusus, pendekatan model sosial-ekonomi yang digunakan adalah pendekatan terbaru yaitu dengan *agent-based model* yang mempertimbangkan *household land-use decision making* pada portofolio penggunaan lahan. Model tersebut dapat digunakan untuk memilih *land use management* ataupun inovasi agroteknologi seperti pemupukan dan irigasi yang optimal bagi petani disekitar tepian hutan tropis sehingga mengurangi kebutuhan melakukan konversi hutan menjadi lahan pertanian.

Konversi hutan tropis menjadi areal pertanian dan pemukiman berdampak pada kerusakan lingkungan melalui peningkatan GHG (*green house gas*), banjir/kekeringan dan kehilangan keanekaragaman

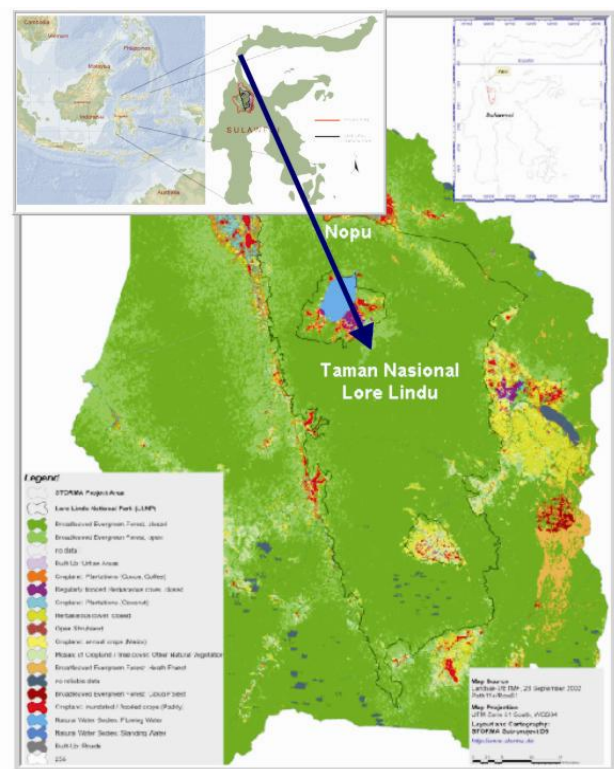
hayati. Selama ini belum ada model yang secara integral dan komprehensif memadukan komponen ekologi dan sosial ekonomi dengan mempertimbangkan *household land-use decision making* yang dapat digunakan untuk mengelola trade-off diantara kebutuhan akan lahan akibat tekanan penduduk (*population pressure*) dengan keperluan stabilisasi tepian hutan melalui beberapa pilihan *land-use management* (Agroforestry, dan lain-lain).

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dari bulan Maret 2010 sampai dengan Nopember 2010. Lokasi penelitian adalah di sekitar tepian hutan Taman Nasional Lore Lindu, Sulawesi Tengah dan Departemen Ilmu Tanah, IPB. Lokasi ini dipilih karena disain model sebelumnya dikembangkan dengan menggunakan data dari lokasi tersebut. Disamping itu data sosial ekonomi berupa survey desa sudah dilakukan secara intensif di daerah ini oleh kegiatan kerjasama IPB-Universitas Goettingen (sejak 2003 s.d sekarang).

Hasil sensus desa yang dilakukan oleh kerjasama penelitian IPB-Universitas Göttingen (STORMA) pada kurun waktu 2003–2009 di lokasi penelitian merupakan bahan utama penelitian ini. Bahan-bahan lain adalah peta tanah, *land use*, topografi dan data biofisik lainnya.

Aspek sosial-ekonomi dan ekologi terkait erat satu sama lain karena keberadaan vegetasi dan fauna pada lahan tertentu ditentukan oleh aspek ekologi



Gambar 1 Lokasi penelitian di sekitar Taman Nasional Lore Lindu.

(*growth, mortality, recruitment, multitrophic interactions*, ketersediaan hana dan air) dan penggunaan lahan (penanaman tanaman pangan dan *cash crop*).

Model terintegrasi *land use* yang dikembangkan pada penelitian ini merupakan gabungan dari model ekologi dan model sosial-ekonomi pada areal suatu desa termasuk dengan hutan disekelilingnya (Gambar 2). Model tersebut bersifat *grid-based* dengan resolusi 1 ha. Setiap sel menggambarkan habitat spesifik seperti: Sawah, agroforestry, hutan sekunder, hutan primer, atau pemukiman. Untuk keseluruhan desa terdapat informasi lokasi jalan-jalan, sungai-sungai, dan taman nasional; informasi topografi, hujan, dan sifat tanah.

### Pengumpulan Data

Tipe data yang dikumpulkan meliputi data biofisik dan sosial ekonomi seperti dicantumkan pada Tabel 1.

### Analisis Data

Model yang digunakan untuk melakukan analisis optimasi ekonomi rumah tangga yang berdampak terhadap keputusan penggunaan lahan adalah *mixed integer linear programming model* (MILP) memakai software MPMAS (*Mathematical Programming for Multy Agent System*). Target pendapatan adalah kebutuhan hidup layak yang dihitung dengan menggunakan patokan yang dibuat oleh Sajogjo (1977) adalah sebesar Rp15.000.000,00/KK/Tahun.

Dalam implementasinya MPMAS memerlukan masukan dalam format file excel yang diprogram

dengan menggunakan VBA. Terdapat 12 jenis file excel untuk masukan model MP-MAS. File Matrix.xlsx merupakan file utama dalam model MP-MAS. File berisi matrik aktivitas usaha tani (*activities*) dan kendala (*constrains*) yang merupakan simulasi *decision making* setiap agent. Termasuk kedalam aktivitas usaha tani adalah menanam kakao dengan berbagai skenario teknologi, menjual kakao dan lain sebagainya. Pada kendala termasuk jumlah likuiditas (*cash*), tenaga kerja, ketersediaan lahan. Inovasi teknologi, dan lain-lain.

### Skenario

Dalam rangka menetapkan alternatif inovasi pengelolaan lahan kakao untuk meminimumkan konversi lahan hutan dalam rangka memenuhi kebutuhan hidup layak maka dibuat skenario inovasi agroteknologi sebagai berikut: 1) Skenario 1 berupa inovasi teknologi pemupukan berimbang (Urea 200 kg/ha, SP36 100 kg/ha, dan KCl kg/ha), dan 2) Skenario 2 berupa teknologi pemupukan berimbang ditambah dengan irigasi.

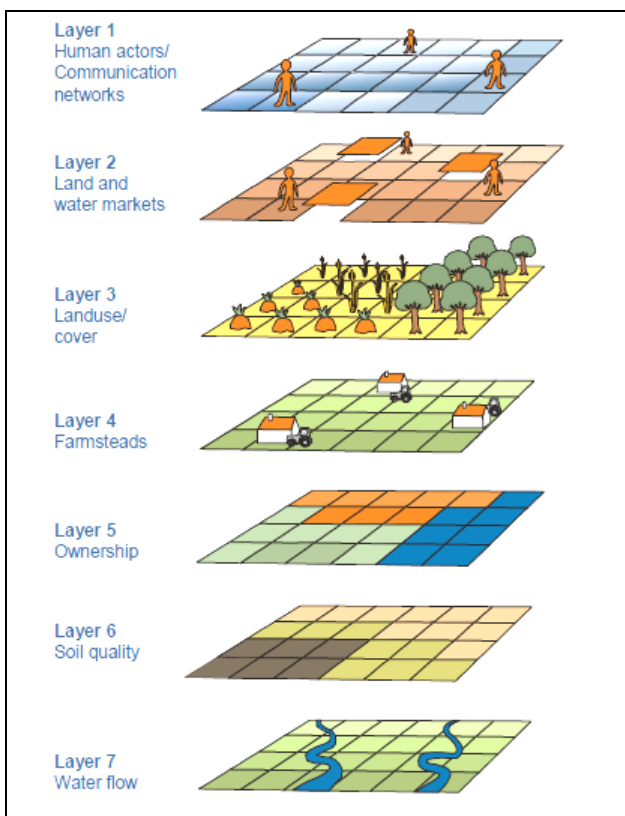
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kondisi Aktual Penggunaan Lahan

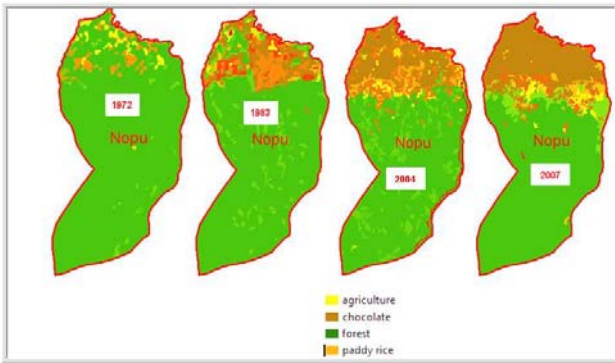
Desa Nopu terletak pada tepian Taman Nasional Lore Lindu (TNLL) dengan luas administratif 2.384 ha. Perambahan hutan pada lokasi penelitian terjadi dengan intensitas yang sangat tinggi. Konversi tersebut dilakukan untuk memperluas kebun kakao untuk memenuhi kebutuhan hidup layak minimum. Berdasarkan data kependudukan maka jumlah populasi dan jumlah rumah tangga meningkat tajam pada lokasi ini. Jumlah rumah tangga pada kondisi baseline (2004) adalah 218 KK. Pada tahun tersebut luas kebun kakao di Nopu adalah sekitar 218 ha, dengan demikian rata-rata kepemilikan luas kebun kakao mencapai 1 ha.

Teknologi pengelolaan lahan kakao yang digunakan pada kondisi baseline masih sangat minim sehingga produksi kakao per ha hanya mencapai 890/kg/tahun. Keuntungan usaha tani kakao berkisar Rp7.800.000,00/tahun/ha. Keuntungan yang diperoleh ini masih jauh dari kebutuhan hidup layak sehingga perlu diperkenalkan inovasi agroteknologi pengelolaan lahan kakao agar dengan lahan yang ada sekarang agar kebutuhan hidup layak dapat dipenuhi sehingga mengurangi kemungkinan konversi hutan lindung menjadi lahan kakao.

Inovasi agroteknologi yang digunakan untuk meningkatkan produktivitas lahan kakao adalah pupuk berimbang dan irigasi. Inovasi tersebut berdampak pada aspek baik sosial maupun ekonomi, misalnya: a) likuiditas ekonomi rumah tangga, b) ketersediaan suplai air irigasi, c) ketersediaan tenaga kerja dalam jangka panjang, d) dinamika populasi (pertambahan rumah tangga dan pertumbuhan populasi) dan e) akses terhadap inovasi dan keterbukaan terhadap inovasi rumah tangga tersebut.



Gambar 2 Struktur *agent-based land use modeling*.



Gambar 3 Perkembangan konversi tepiah hutan tropis di Nopu menjadi lahan kakao (warna coklat tua).

**Pemodelan dan Simulasi Penggunaan Lahan Kondisi baseline**

Kondisi baseline yang digunakan adalah kondisi Tahun 2004. Penetapan Tahun 2004 sebagai kondisi baseline disebabkan karena pada Tahun 2004 tersedia data survey sosial ekonomi detail Desa Nopu.

Bagian yang paling penting dari pemodelan ini adalah menyusun matrik *mathematical programming* yang merupakan simulasi *household decision making* setiap agent. Data yang diperlukan untuk menyusun matriks programming model adalah data populasi, produksi, harga pasar kakao, demografi, peta tanah, kondisi lahan dan lain-lain. Pada model MP-MAS yang dimaksud dengan *agent* adalah *object* yang berpengaruh terhadap keputusan dalam rumah tangga yang dapat mempengaruhi perubahan penggunaan lahan. Termasuk kedalam kategori *agent* adalah anggota rumah tangga berbagai umur, asset pertanian, likuiditas, dan lain-lain.

**Populasi**

Salah satu data yang sangat penting pada *agent-based land use modeling* adalah jumlah rumah tangga dan distribusi umur pada rumah tangga tersebut. Kepala rumah tangga merupakan salah satu bentuk *agent* dalam MP-MAS model. Jumlah rumah tangga dan distribusi umur kepala rumah tangga di Desa Nopu dapat dilihat pada Tabel 3.

Jenis pekerjaan masing-masing kepala keluarga dapat dilihat pada Tabel 3. Data jumlah rumah tangga dan distribusi umur kepala keluarga tersebut dimasukan kedalam salah satu file excel masukan model MP-MAS bernama *population.xlsx*.

Berdasarkan data pada Tabel 3 maka dapat disimpulkan bahwa jumlah agent yang bertindak sebagai kepala keluarga adalah sebanyak 218.

**Penggunaan Lahan**

Didukung data kepemilikan lahan pertanian pada Tabel 4 maka dapat disimpulkan bahwa *cell (grid)* yang perlu dibuat untuk representasi spasial agent adalah sebanyak 218 grid. Data jumlah grid tersebut dimasukan kedalam salah satu file excel masukan model MP-MAS bernama *Map.xlsx*.

Tabel 2 Jumlah rumah tangga dan distribusi umur kepala keluarga, Desa Nopu

Umur	Frekuensi	Persen	Kumulatif
15–29	52	22,7	34.593,0
30–50	138	60,3	100,0
>50	39	17,0	
Jumlah	229	100,0	

Sumber: Sensus Desa Nopu - Kerjasama IPB dan Uni. Goettingen (STORMA).

Tabel 3 Pekerjaan kepala keluarga

Pekerjaan	Frekuensi	Persen	Kumulatif
Petani	218	95,2	95,2
Lain-lain	11	4,8	100,0
Jumlah	229	100,0	

Sumber: Sensus Desa Nopu - Kerjasama IPB dan Uni. Goettingen (STORMA).

Tabel 4 Kepemilikan lahan

Pekerjaan	Frekuensi	Persen	Kumulatif
Mempunyai lahan	218	95,2	95,2
Tidak memiliki lahan	11	4,8	100,0
Jumlah	229	100,0	

Sumber: Sensus Desa Nopu - Kerjasama IPB dan Uni. Goet-tingen (STORMA).

**Sistem Usaha Tani Kakao**

Nilai produksi rata-rata kebun kakao pada kondisi baseline adalah sebesar 890 kg/ha/tahun. Total luas kebun kakao pada kondisi baseline (tahun 2004) adalah 218 ha, dengan luasan rata-rata kepemilikan lahan kakao adalah sebesar 1 ha kakao (Gambar 4).

Pada Gambar 4 terlihat bahwa kepemilikan lahan dominan (125 KK) mempunyai lahan kakao seluas 1 ha.

Berdasarkan analisis jarak dari pemukiman ke letak lokasi kebun kakao dapat dilihat bahwa beberapa kebun jauh terletak ke arah lokasi hutan (Gambar 5). Beberapa kebun mempunyai jarak lebih dari 1 km masuk kedalam kawasan hutan lindung sebelah selatan desa Nopu mengarah ke Danau Lindu (Gambar 6).

Pendapatan yang diperoleh dari rata-rata luas kepemilikan 1 ha tersebut hanya sebesar Rp7.800.000,00/tahun. Diperlukan lahan seluas 2 ha untuk setiap KK dalam mencapai kebutuhan hidup layak sebesar Rp15.000.000,00/KK/Tahun. Dalam rangka memenuhi kebutuhan hidup layak tersebut maka petani umumnya melakukan konversi lahan hutan. Secara perlahan petani akan menambah luas lahan kakao paling tidak agar lahan minimal menjadi 2 ha. Hal ini terbukti dengan data luas lahan kakao pada tahun 2007 (3 tahun setelah baseline) adalah meningkat menjadi 261 ha. Dengan demikian kepemilikan rata-rata meningkat menjadi 1,2 ha dengan melakukan konversi hutan. Pada saat konversi hutan dilakukan maka lahan tersebut umumnya berada jauh dari lahan yang dibuka pertama kali. Hal inilah yang menyebabkan kenapa



beberapa petani mempunyai lahan kakao lebih dari 1 lokasi seperti terlihat pada (Tabel 5). Dapat dilihat pada Tabel 6 bahwa pada Tahun 2004 terdapat 35 kepala keluarga yang mempunyai kebun kakao pada 2 lokasi dan 19 kepala keluarga mempunyai lahan di 3 lokasi, 3 kepala keluarga dan 1 kepala keluarga mempunyai 5 lokasi lahan kakao.

Konversi hutan menjadi lahan kakao tidak hanya dipicu oleh perluasan lahan untuk memenuhi kebutuhan minimal sebesar 2 ha/KK tetapi juga disebabkan oleh dinamika populasi dimana jumlah kepala keluarga bertambah setiap tahun (Tabel 6).

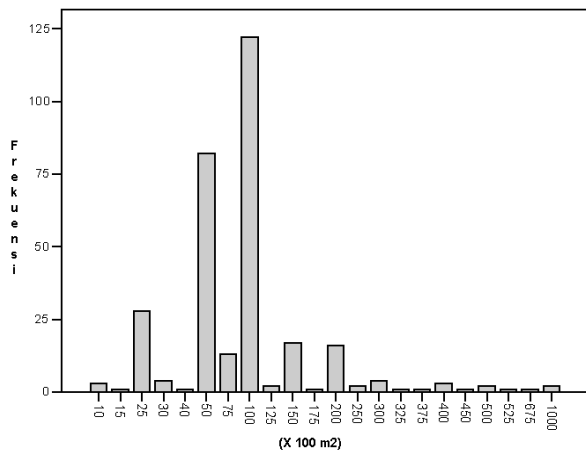
Dalam kurun waktu enam tahun saja (1998–2004), jumlah kepala keluarga meningkat 100% (dari 119 menjadi 229). Setiap pertambahan rumah tangga yang baru maka akan membutuhkan lahan yang baru.

Berdasarkan analisis data pada kondisi baseline maka ada dua faktor yang diperkirakan mempengaruhi konversi hutan menjadi kebun kakao, yaitu 1) Pemenuhan kebutuhan lahan minimal per kepala keluarga dari 1 ha menjadi 2 ha untuk mencapai standar kebutuhan layak minimum sebesar Rp15.000.000,00/tahun, dan b) Dinamika demografi dimana munculnya rumah tangga yang baru, dimana

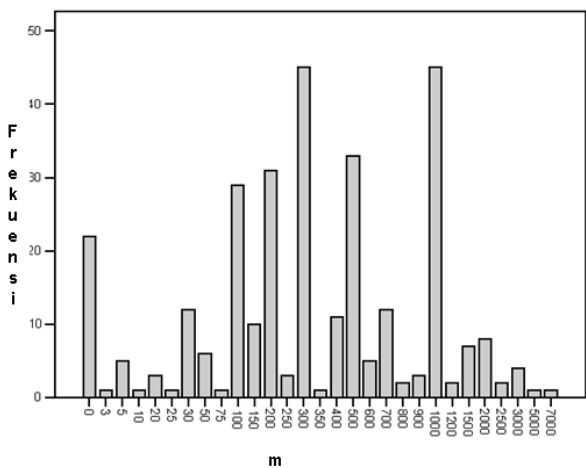
rumah tangga yang baru tersebut akan membutuhkan lahan baru untuk usaha taninya. Kedua faktor ini akan dimasukkan kedalam model untuk melakukan simulasi pengaruh teknologi usaha tani dalam meningkatkan produktivitas lahan sehingga mengurangi kebutuhan perluasan lahan melalui konversi hutan menjadi lahan pertanian. Dengan adanya dinamika populasi maka walaupun kebutuhan lahan akan berkurang akibat inovasi teknologi usaha tani, namun akan tetap ada peningkatan dalam tahun mendatang akibat bertambahnya rumah tangga baru. Di lain pihak pertambahan populasi juga berdampak positif bagi intensifikasi lahan kakao karena tersediannya tenaga kerja yang cukup.

**Simulasi Model Usaha Tani Kakao**

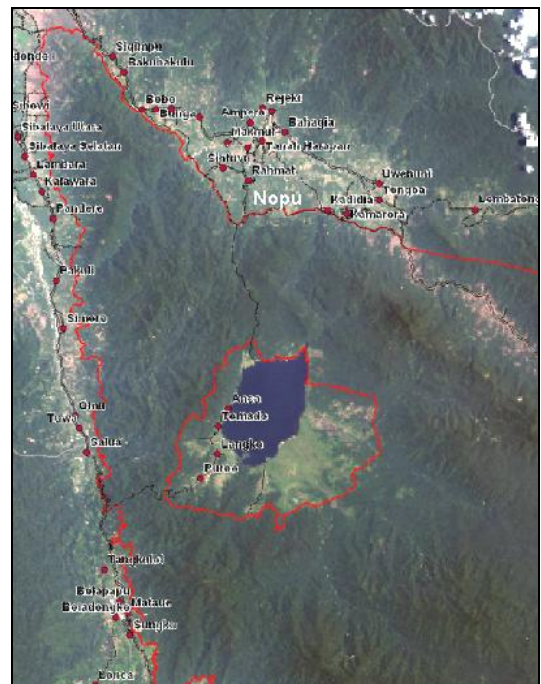
Berdasarkan hasil survei desa yang dilakukan pada Tahun 2004 maka petani kakao di Nopu belum menggunakan pemupukan pada tanaman kakao (Tabel 7). Walaupun sudah ada petani yang menggunakan pupuk namun masih sangat sederhana dan tidak mencapai produksi optimal.



Gambar 4 Luasan kepemilikan lahan kakao di Desa Nopu.



Gambar 5 Letak lokasi Kebun Kakao dari Pemukiman.



Gambar 6 Lokasi Desa Nopu di pinggir Taman Nasional Lore Lindu.

Tabel 5 Jumlah lokasi lahan kakao.

Jumlah plot	Frekuensi	Persen	Kumulatif
0	9	4,2	4,2
1	149	69,0	73,1
2	35	16,2	89,4
3	19	8,8	98,1
4	3	1,4	99,5
5	1	0,5	100,0
Jumlah	229	100,0	

Sumber: Sensus Desa Nopu-Kerjasama IPB dan Uni, Goettingen (STORMA).

Tabel 6 Dinamika populasi Desa Nopu

Perkembangan populasi Desa Nopu	
Tahun	1980 1990 1991 1992 1995 1998 2000 2001 2004
Populasi	483 567 552 556 599 565 566 567 947
Jlm Rumah Tangga	81 107 105 105 121 119 - - 229

Sumber: Sensus Desa Nopu - Kerjasama IPB dan Uni. Goettingen (STORMA).

Tabel 7 Penggunaan pupuk pada kebun kakao

Pemupukan	Frekuensi	Persen	Kumulatif
Tanpa pemupukan	191	62,6	62,6
Dengan pemupukan	101	37,4	100,0
Jumlah	229	100,0	

Sumber: Sensus Desa Nopu-Kerjasama IPB dan Uni, Goettingen (STORMA).

**Skenario 1: Inovasi teknologi pemupukan**

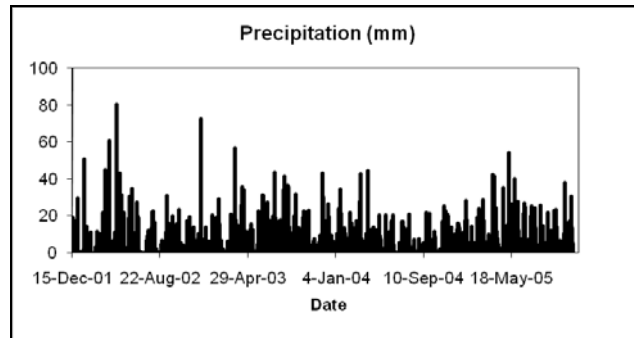
Berdasarkan hasil survey di atas maka salah satu skenario yang digunakan untuk mengurangi tekanan terhadap kebutuhan konversi hutan menjadi lahan kebun kakao adalah dengan melakukan inovasi pemupukan berdasarkan dosis yang dianjurkan oleh BP2TP (Balai Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian) mengenai dosis pemupukan khusus kakao dengan dosis Urea 200 kg/ha, SP36 100kg/ha dan KCl 100 kg/ha. Pemupukan ini dapat menghasilkan produksi potensial kakao sebesar 1.900 kg/ha/tahun dengan asumsi tidak terjadi kekurangan air. Jika terjadi kekurangan air pada bulan-bulan tertentu maka potensi produksi tidak tercapai, yaitu sebesar 1.500 kg/ha/tahun. Besarnya pengurangan produksi dari potensial sebagai akibat kekurangan air tersebut disimulasikan dalam file cropwat.xlsx. Hasil file ini di-link ke matrik programming MP-MAS.

Akibat kekurangan air maka produksi potensial tidak tercapai dengan skenario ini. Terjadi peningkatan biaya produksi dari Rp3.700.000,00/ha menjadi Rp8.700.000,00/ha namun keuntungan meningkat menjadi Rp13.800.000,00/ha (untuk kakao berumur 6 tahun). Dengan demikian kebun kakao yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan minimal Rp15.000.000,00/tahun belum terpenuhi. Masih diperlukan lahan seluas 1,3 ha per kepala keluarga agar dapat mencukupi kebutuhan hidup layak. Dengan demikian masih diperlukan inovasi tambahan berupa pemberian air irigasi.

**Skenario 2: Skenario Pemupukan Berimbang dengan Suplemen Irigasi**

Berdasarkan analisis curah hujan di daerah Nopu diperoleh kesimpulan bahwa pada umumnya terdapat defisit air mulai dari 50–100 mm pada bulan Januari dan Februari (Gambar 7).

Defisit air pada bulan-bulan Januari dan Pebruari ini akan mengurangi produksi kakao cukup signifikan. Pemberian air irigasi pada bulan Januari dan Pebruari



Gambar 7 Data curah hujan di Nopu dari Tahun 2001–2005.

akan meningkatkan produksi kakao mendekati potensi produksi maksimal 1800–1900 kg/ton/ha. Melalui pemberian pupuk berimbang yang disertai dengan pemberian air irigasi maka pendapatan meningkat menjadi Rp15.750.000,00/tahun/ha. Namun pemberian irigasi akan memerlukan tambahan tenaga kerja yang diperlukan dalam usaha tani kakao. Pertambahan jumlah penduduk disatu pihak akan memerlukan tambahan lahan namun juga berdampak positif bagi intensifikasi kakao karena dapat menyediakan tambahan tenaga kerja. Trade-off diantara peningkatan produksi akibat irigasi & pemupukan dan peningkatan biaya produksi & kebutuhan tenaga kerja ditambah dengan akses terhadap sumber irigasi dan inovasi merupakan activities dan constraints yang harus dioptimalkan oleh model MP-MAS dalam mengurangi tekanan terhadap kebutuhan konversi hutan. Memang masih terdapat permasalahan likuiditas pada saat belum berproduksi maksimal, hal tersebut dapat di atasi dengan melakukan tumpang sari dengan jagung pada saat kakao masih muda ditambah dengan pemeliharaan ternak.

**KESIMPULAN**

Berdasarkan kondisi pengelolaan lahan kakao di Desa Nopu yang dilakukan sekarang maka diperlukan luasan 2 ha kakao dalam memenuhi kebutuhan hidup layak sebesar Rp15.000.000,00/KK/ Tahun. Dengan kepemilikan lahan kakao seluas 1 ha saat ini maka terdapat kemungkinan besar bahwa penduduk di Desa Nopu akan melakukan konversi lahan menjadi kakao; Inovasi teknologi pemupukan berimbang pada luasan kepemilikan lahan saat ini belum dapat memenuhi (1 ha) kebutuhan minimum untuk hidup layak sebesar Rp15.000.000,00. Inovasi harus disertai dengan pemberian irigasi untuk mengatasi defisit air pada bulan Januari dan Pebruari. Melalui pemberian air irigasi ini maka pendapatan meningkat menjadi Rp15.750.000,00/tahun/ha. Namun pemberian irigasi akan memerlukan tambahan tenaga kerja yang diperlukan dalam usaha tani kakao. Pertambahan jumlah penduduk disatu pihak akan memerlukan tambahan lahan namun pada juga

berdampak positif bagi intensifikasi kakao karena dapat menyediakan tambahan tenaga kerja. *Trade-off* diantara peningkatan produksi akibat irigasi & pemupukan dan peningkatan biaya produksi dan kebutuhan tenaga kerja ditambah dengan akses terhadap sumber irigasi dan inovasi merupakan *activities* dan *constraints* yang harus dioptimalkan oleh model MP-MAS yang bersifat *agent-based modeling*; Melalui *model MP-MAS* ini dapat diketahui bahwa inovasi teknologi tersebut memberikan tekanan kekurangan likuiditas petani pada saat kakao berumur 1–5 tahun sehingga perlu diatasi atasi dengan melakukan tumpang sari dengan jagung pada saat kakao masih muda ditambah dengan pemeliharaan ternak.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini terlaksana berkat bantuan biaya dari DIKTI melalui DIPA IPB 2010 dan bantuan data dari Proyek Kerjasama IPB-Universitas Goettingen (STORMA). Atas bantuan yang diberikan diucapkan banyak terima kasih.

## DAFTAR PUSTAKA

- Berger T, Schreinemacher P. 2009. Mathematical Programming-based Multi-Agent Systems (MP-MAS). Dep. Of Land use Economics in the Tropics and Subtropics. University of Hohenheim, Stuttgart, Germany.
- Grosse M, Lorenz W, Tarigan SD, Malik A (Editors). 2008. The Stability of Tropical Rainforest Margins: Linking Ecological, Economic and Social Constrains of Land Use and Conservation. ISBN978-3-940344-51-9. Universitaetdrucke Goettingen.
- Koomen E, Stillwell J, Bakema A, Scholten HJ. (Editors), 2007. *Modelling land-use change: Progress and applications*. Springer. 398 pp.
- Lambin EF, Geist HJ. 2006. *Land-use and land-cover change—Local processes and global impacts (Global Change—The IGBP Series)*. Springer. 222 pp.
- Lay J. 2007. *Poverty and Distributional Impact of Economic Policies and External Shocks. Three Case Studies from Latin America Combining Macro and Micro Approaches*. Goettingen Studies in Development Economics (ed H. Sautter and S. Klasen), Vol. 18. Peter Lang, Frankfurt. (Dissertation).
- Maertens M. 2003. Economic modeling of agricultural land-use patterns in forest frontier areas. Theory, empirical assessment and policy implications for Central Sulawesi, Indonesia. PhD Thesis, Göttingen, 174 pp.
- Manson SM. 2005. Agent-based modeling and genetic programming for modeling land change in the Southern Yucatán Peninsular Region of Mexico. *Agriculture Ecosystems & Environment*. 111(1): 47–62.
- Matthews RB, Gilbert NG, Alan Roach A, Polhill JG, Gotts NM. 2007. Agent-based land-use models: a 20 review of applications. *Landscape Ecology*. 22: 1447–1459.
- Parker DC, Manson SM, Janssen MA, Hoffmann MJ, Deadman P. 2003. Multi-agent systems for the simulation of land-use and land-cover change: A review. *Annals of the Association of American Geographers*. 93: 316–337.
- Priess JA, Mimler M, Klein AM, Schwarze S, Tschardtke T, Steffan-Dewenter I. 2007. Linking deforestation scenarios to pollination services and economic returns in coffee agroforestry systems. *Ecological Applications*. 17: 407–417.
- Sloboda B, Saborowski J, Tarigan SD, Abdullah K, Malik A. 2009. *Central data management: multivariate spatial analysis and modelling of the dynamics of rainforest margins*. Proc. Intl.Symp. Universitaetdrucke Goettingen.
- Stietenroth D, Lorenz W, Tarigan SD, Malik A (Editors). 2005. *Tropical Rainforests and Agroforests under Global Change*. ISBN3-938616-20-1 Universitaetdrucke Goettingen.
- Wolfram S. 1986. *Theory and Applications of Cellular Automata*. World Science Publishers, Singapore.