

MKTI

PENGELOLAAN DAS TERPADU MELALUI PENDAYAGUNAAN SISTEM INFORMASI

prosiding

SEMINAR NASIONAL

MASYARAKAT KONSERVASI TANAH DAN AIR INDONESIA (SOIL AND WATER CONSERVATION SOCIETY OF INDONESIA)

Sistem informasi DAS (SIMDAS) sangat diperlukan pada pengelolaan DAS (PDAS) baik pada fase perencanaan, pelaksanaan, dan evaluasi. Sistem informasi ini tidak hanya berfungsi meningkatkan interaksi para pihak namun juga akan sangat berguna mewujudkan pengelolaan DAS terpadu yang bersifat akuntabel dan *iterative*.

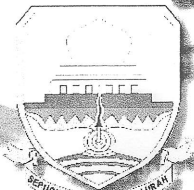
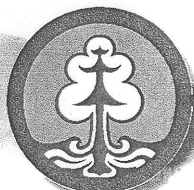
Mengingat kompleksnya keterkaitan proses biotik-sosial ekonomi dalam ruang hulu-bilir sehingga besar kemungkinan perencanaan yang dibuat sehingga tidak efektif mengenai sasaran sehingga proses perencanaan per-dolan DAS perlu dilakukan secara *iterative*. Melalui SIMDAS tersebut para pihak dapat melihat dengan segera apakah kegiatan/program yang sudah dan sedang dilakukan mempunyai dampak positif terhadap indikator kekritisan DAS. Kalau dampak negatifnya tidak ada maka harus dilakukan terus secara *iterative* sehingga dapat merupakan *best management practices* (BMP) pada

JAMBI, 24 -25 NOVEMBER 2010

"KONSERVASI TANAH DAN AIR MENJAMIN KEANEKARAGAMAN HAYATI DAN KEHIDUPAN MASA DEPAN BERSAMA"

Gambar 1. Sistem Informasi Mendukung Proses Perencanaan dan Pelaksanaan DAS yang Iterative dan Adaptive

Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota, Departemen Ilmu Tanah dan Geografi, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Jl. Darmaga, Bogor, Jawa Barat



LAND-USE MANAGEMENT UNTUK STABILISASI TEPIAN HUTAN TROPIS (RAINFOREST MARGINS) MENGGUNAKAN AGENT-BASED LAND-USE MODELLING

Suria Darma Tarigan¹⁷

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 Rp 15,000,000/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 variables 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 Multi 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 Rp 15,000,000,- 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 were encountered. Interplanting cacao with maize at the earlier phase with additional income from livestock can alleviate liquidity shortage.

Keywords : Stabilisasi, hutan tropis dan agent-based

PENDAHULUAN

Latar Belakang

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 margin*) dimana masyarakat melakukan konversi hutan untuk mendapatkan lahan pertanian dan pemukiman. Stabilisasi tepi hutan akan mengurangi ancaman terhadap emisi karbon dan penurunan keanekaragaman hayati (*biodiversity*).

¹⁷ Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Darmaga Bogor surya.tarigan@yahoo.com

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 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.

Tantangan dalam mengembangkan model terintegrasi untuk mengkaji dinamika penggunaan lahan tepian hutan tropis mengharuskan kita untuk menggabungkan disiplin sosial-ekonomi dan ekosistem (Pertanian, Agroforestry dan Hutan). Melalui penggabungan disiplin tersebut kita dapat mempelajari faktor apa yang mempengaruhi penduduk disekitar tepian hutan tropis dalam melakukan ekstraksi terhadap produk hutan

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 and Geist, 2006).

Sebagian besar LUCC models dapat dikategorikan kedalam 5 pendekatan yang berbeda, yaitu: model *mathematical, system, statistical, cellular, and agent-based* (Parker et al., 2003). Pengertian *cellular models* sering menjadi rancu dengan pengertian *cellular automata*. *Cellular automata* merupakan bagian dari *cellular models* dan secara historis merupakan bagian terpenting dari *cellular models* (Wolfram, 1986). Jika *decision making* oleh (*human*) *actors* dibatasi pada representasi *grid cellular LUCC models* maka *cellular models* 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 penggunaan 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.

Berdasarkan review terbaru *LUCC models*, Parker et al. (2003) menyimpulkan bahwa kombinasi *cellular* dan *agent-based models* merupakan modelling LUCC yang paling ideal. Kedua pendekatan tersebut secara mudah dikaitkan satu sama lain (Manson, 2005; Castella and Verburg, 2007; Priess et al., 2007). Dalam hal ini, sebuah *cellular model* merepresentasikan landscape yang di atasnya *actors/agents* membuat keputusan-keputusan. Selanjutnya komponen *agent-based model* menggambarkan arsitektur *decision-making* dari actor kunci (Castella and Verburg, 2007). Ketika skala spasial dan ruang yang digunakan sesuai, maka LUCC model ini merupakan tool yang sangat baik untuk memperoleh pengetahuan dari studi empiris (Matthews et al., 2007). Kekurangan dari kedua model tersebut adalah karena sangat kompleks. Namun demikian, analisis sensitivitas dapat digunakan untuk menyederhanakan *cellular* dan *agent-based models*. Aspek yang belum banyak didiskusikan adalah, bagaimana seharusnya *actors/agents* membuat keputusan pada model LUCC. Pendekatan umum adalah secara ad-hoc dan *rule-based* (Manson, 2005). Bagaimanapun, pendekatan *econometric micro-simulation* akan memberikan hasil yang lebih rasional (Maertens, 2003; Lay, 2007).

Model yang digunakan pada penelitian ini untuk melakukan analisis optimasi ekonomi rumah tangga yang berdampak terhadap keputusan penggunaan lahan adalah *mixed integer linear programming model* (MILP) memakai

software MP-MAS (Mathematical Programming for Multy Agent System). MP-MAS termasuk dalam keluarga *multi-agent systems models of land-use/cover change (MAS/LUCC)*. Model *MAS/LUCC* sudah diaplikasikan pada berbagai kondisi (Parker *et al.* 2003). Ciri khas dari model ini adalah dimana 'agent' bersifat otonom dalam membuat keputusan yang dapat membuat keputusan yang berdampak terhadap lingkungan. Model ini menggabungkan *cellular component* yang menggambarkan bentuk lanskap dengan komponen *agent-based* yang mewakili *land-use decision-making* (Parker *et al.* 2002). Perbedaan model MP-MAS dan model *MAS/LUCC* lainnya seperti *Cormas*, *NetLogo*, *RePast*, and *Swarm* adalah penggunaan *mathematical programming* dalam simulasi *land use decision-making* (Railsback *et al.* 2006).

Tujuan

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.

Permasalahan

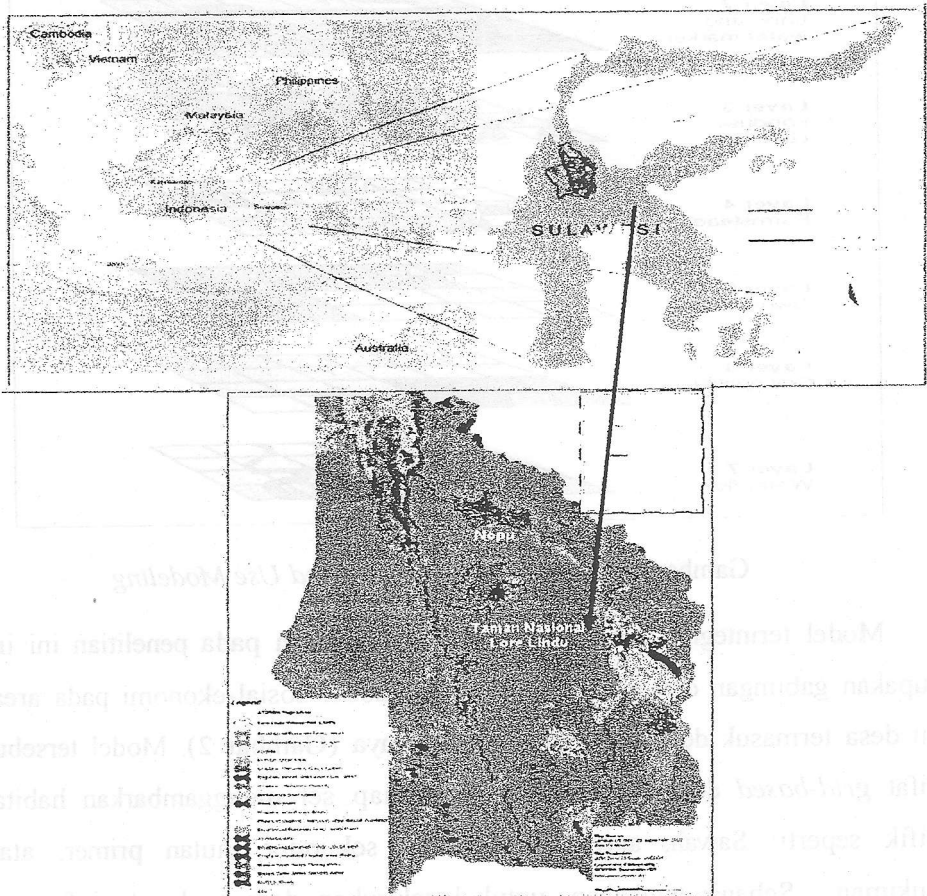
Konversi hutan tropis menjadi areal pertanian dan pemukiman berdampak pada kerusakan lingkungan melalui peningkatan GHG (green house gas), banjir/kekeringan dan kehilangan keanekaragaman hayati. Selama ini belum ada model yang secara integral dan komprehensif memadukan komponen ekologi dan sosial ekonomi 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

tepiian hutan melalui beberapa pilihan *land-use management* (mis. Agroforestry, dan lain-lain).

METODE PENELITIAN

Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan dari bulan Maret 2010 sampai dengan Nopember 2010. Lokasi penelitian adalah di sekitar tepiian 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).



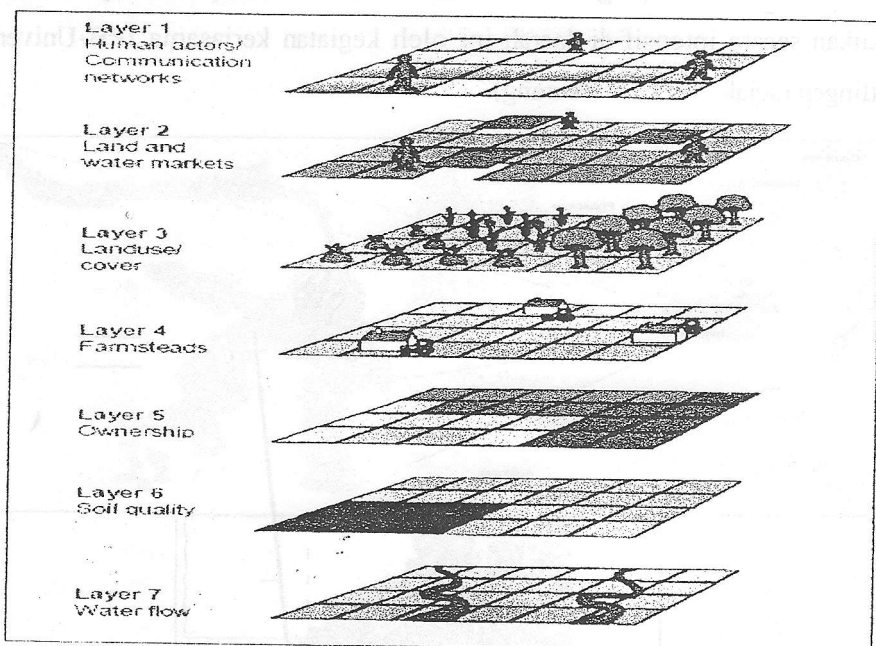
Gambar 1. Lokasi Penelitian di Sekitar Taman Nasional Lore Lindu

Bahan dan Peralatan

Hasil sensus desa yang dilakukan oleh kerjasama penelitian IPB-Universitas Goettingen (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.

Metode penelitian

Aspek sosial-ekonomi dan ekologi terkait erat satu sama lain karena keberadaan vegetasi dan fauna pada lahan tertentu ditentukan oleh aspek ekologi (*growth, mortality, recruitment, multitrophic interactions*, ketersediaan hara dan air) dan penggunaan lahan (penanaman tanaman pangan dan *cash crop*).



Gambar 2. Struktur *Agent-Based Land Use Modeling*

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. Sebagai tambahan, 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 di cantumkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Jenis Data yang Dikumpulkan dan Kegunaannya

No	Tipe data	Parameter
1	Spatial data	<ul style="list-style-type: none"> - Peta lokasi agent - Peta lokasi pemukiman - Peta lahan pertanian - Peta administrasi - Peta infrastruktur
2	Populasi	<ul style="list-style-type: none"> - Komposisi demografi (umur dan gender) - Komposisi asset (ternak, lokasi tanaman, likuiditas) - Jenis tanaman - Produksi - Biaya
3	Aktivitas usaha tani	<ul style="list-style-type: none"> - Jumlah tenaga kerja - Jumlah mesin pertanian - Puncak kebutuhan tenaga - Kesesuaian lahan - Kebutuhan lahan (land requirement)
4	Irigasi	<ul style="list-style-type: none"> - Crop water requirement - Efisiensi irigasi - Produksi
5	Peternakan	<ul style="list-style-type: none"> - Biaya - Jumlah tenaga kerja - Puncak kebutuhan tenaga kerja - Harga pasar
6	Pasar	<ul style="list-style-type: none"> - Konsumsi - Saving - Belanja pangan dan non-pangan
7	Demografi	<ul style="list-style-type: none"> - Dinamika populasi - Suplai tenaga kerja

Analysis 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 Rp 15,000.000/KK/Tahun.

Dalam implementasinya MP-MAS memerlukan masukan dalam format file excel yang diprogram dengan menggunakan VBA. Terdapat 12 jenis file excel untuk masukan model MP-MAS.

Tabel 2. Masukan model MP-MAS

Nama file	Operasional	Keterangan
Scenario Manager	No	To create input files and to manage simulation experiments
Matrix	No	A generic MP tableau (Mixed Integer Linear Program or MILP) that simulates the decision-making of agents.
Population	No	Generates agent populations (household members of various ages, farm assets, liquidity, and other agent characteristics) Initial conditions
Map	No	All spatial information including the boundary of the watershed, location of agents and agricultural plots.
Network	No	Defines networks of innovation diffusion and determines for each network the level of diffusion at the start of the simulation.
BasicData	No	Basic parameter values used in several components of the model. Constant parameters
CropWat	Yes	Monthly crop water requirement for each crop activity included in the MP tableau and the efficiency of various irrigation methods.
WaterRights	Yes	Defines the distribution of water between agents (water rights).
Routing	Yes	The amount of irrigation water and precipitation for each month and for each year in the simulation run. Model dynamics
Perennials	Yes	Annual yields, variable inputs, and capital needs of perennial crops.
Livestock	Yes	Annual yields, variable inputs, and capital needs of farm animals.
Soils	Yes	Soil fertility dynamics and crop yield response to soil nutrients.
Market	No	All price information in the objective function of the MP tableau: prices for buying agricultural inputs, farm gate selling prices, and the off-farm labor wage rate.
Demography	No	The labor supply for each age of an agent household member and defines population dynamics such as the probability of dying and the probability of giving birth

File Matrix.xlsx merupakan file utama dalam model MP-MAS (Gambar 3). File berisi matrik aktivitas usaha tani (activities) dan kendala (constraints) yang merupakan simulasi *decision making* setiap agent.

		Activities						
		Selling of crops and Empty	Buying livestock	Credits & inputs	Access to deposits innovations	Livestock	Growing crops	Selling future products Empty
Constraints	Empty							
	Cash							
	Labor use							
	Land							
	Livestock							
	Perennials							
	Innovations							
	Credit							
	Crop yield balances							
	Empty							

Gambar 3 Matrik MP-MAS (sumber Berger and Schreinemacher, 2009)

Termasuk kedalam aktivitas usaha tani adalah menanam kakao dengan berbagai skenario teknologi, menjual kakao dan lain sebagainya. Sedangkan 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:

Skenario 1: Inovasi teknologi pemupukan berimbang (Urea 200 kg/ha, SP36 100 kg/ha, dan KCl kg/ha)

Skenario 2: Skenario teknologi pemupukan berimbang ditambah dengan irigasi.

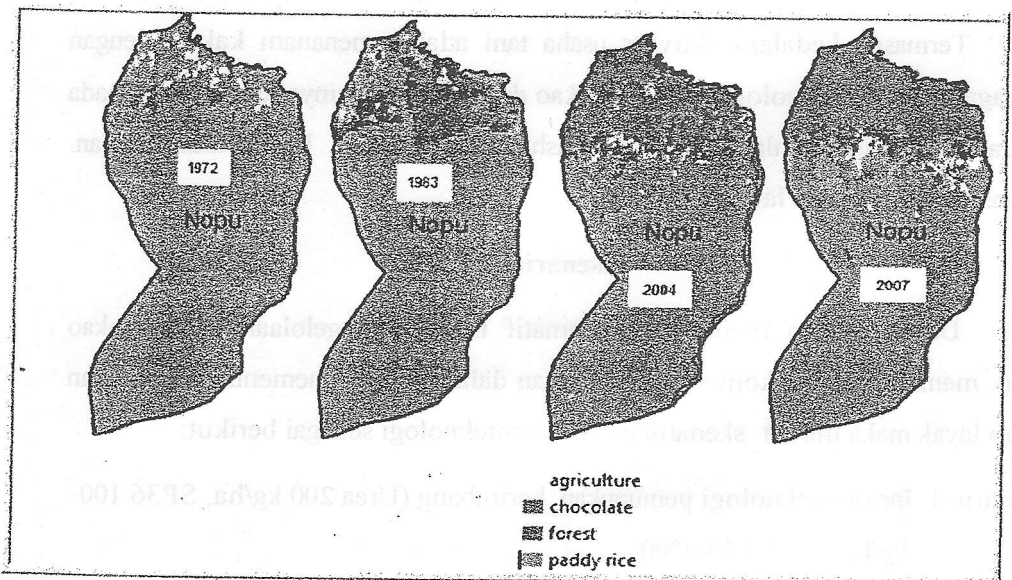
HASIL DAN PEMBAHASAN

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 Rp 7,800,000/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.



Gambar 4. Perkembangan Konversi Tepiah Hutan Tropis di Nopu menjadi Lahan Kakao (Warna coklat tua)

Inovasi agroteknologi yang digunakan untuk meningkatkan produktivitas lahan kakao adalah pupuk berimbang dan irigasi. Inovasi tersebut berdampak pada banyak 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)
- e) Akses terhadap inovasi dan keterbukaan terhadap inovasi rumah tangga tersebut.

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 (Gambar 4).

block1		a. Activities						Grow_cacao_Inv_NFRU0_method A	Grow_cacao_NFRU0_method A	Grow_cacao_Inv_NFRU0_method B	Grow_cacao_NFRU0_method B
1 Type	2 Range	3 LHS	4 Sign	5 RHS	b. Unit	c. Solution vector	d. Objective function	ha	ha	ha	ha
6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
					e. Activity type			0.00	0.00	0.00	0.00
					f. Marked integers			0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
					g. Fix in const. mode?			2	2	2	2
					h. Lower bound			0	0	0	0
					i. Upper bound			-1	-1	-1	-1
					j. Index			0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
								1.00E-31	1.00E-31	1.00E-31	1.00E-31
								35	36	37	38
1	0.00	0		0.00	Investment soil type 0	-	0	1	0	1	0
2	0.00	0		0.00	Investment soil type 1	-	1	0	0	0	0
3	200.00	0		500.00	Liquid Means	-	2	0	0	0	0
4	5.00	0		5.00	Labor	mandays	3	100	100	100	100
5	5.00	0		5.00	Land of soil type 0	ha	4	1	1	1	1
6	5.00	0		5.00	Land of soil type 1	ha	5	0	0	0	0
7	2.00	0		2.00	Water, month 0	?	6	0	0	0	0
8	2.00	0		2.00	Water, month 1	?	7	0.6	0.6	0.6	0.6
9	2.00	0		2.00	Water, month 2	?	8	0	0	0	0
10	2.00	0		2.00	Water, month 3	?	9	0	0	0	0
11	2.00	0		2.00	Water, month 4	?	10	0	0	0	0
12	2.00	0		2.00	Water, month 5	?	11	0	0	0	0
13	2.00	0		2.00	Water, month 6	?	12	0	0	0	0
14	2.00	0		2.00	Water, month 7	?	13	0	0	0	0
15	2.00	0		2.00	Water, month 8	?	14	0	0	0	0

Gambar 4. struktur Matrik *Mathematical Programming* dari Model MP-MAS

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.

Tabel 3. 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	

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

Jenis pekerjaan masing-masing kepala keluarga dapat dilihat pada Tabel 4. Data jumlah rumah tangga dan distribusi umur kepala keluarga tersebut dimasukkan kedalam salah satu file excel masukan model MP-MAS bernama *population.xlsx*.

Tabel 4. Pekerjaan Kepala Keluarga

Pekerjaan	Frekuensi	Persen	Kumulatif
Petani	218	95.2	95.2
Lain-lain	11	4.8	100.0
Jumlah	229	100	

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

Berdasarkan data pada Tabel 4 maka dapat disimpulkan bahwa jumlah *agent* yang bertindak sebagai kepala keluarga adalah sebanyak 218.

Penggunaan Lahan

Didukung data kepemilikan lahan pertanian pada Tabel 5 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.

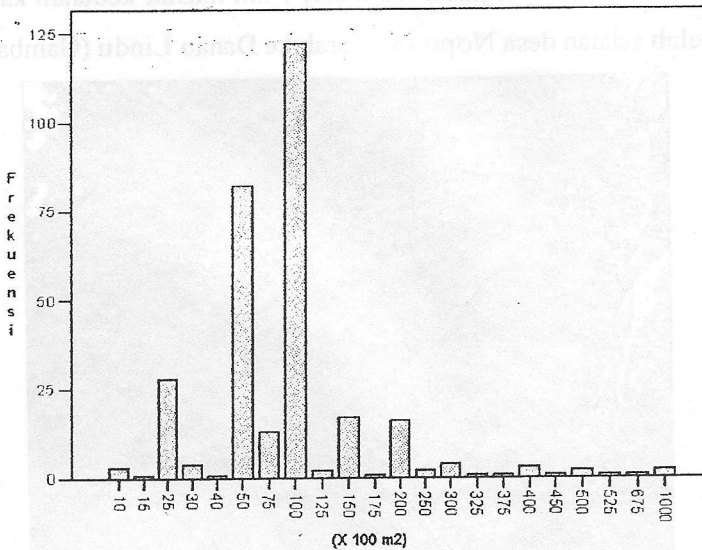
Tabel 5. Kepemilikan Lahan

Pekerjaan	Frekuensi	Persen	Kumulatif
Mempunyai lahan	218	95.2	95.2
Tidak memiliki lahan	11	4.8	100.0
Jumlah	229	100	

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

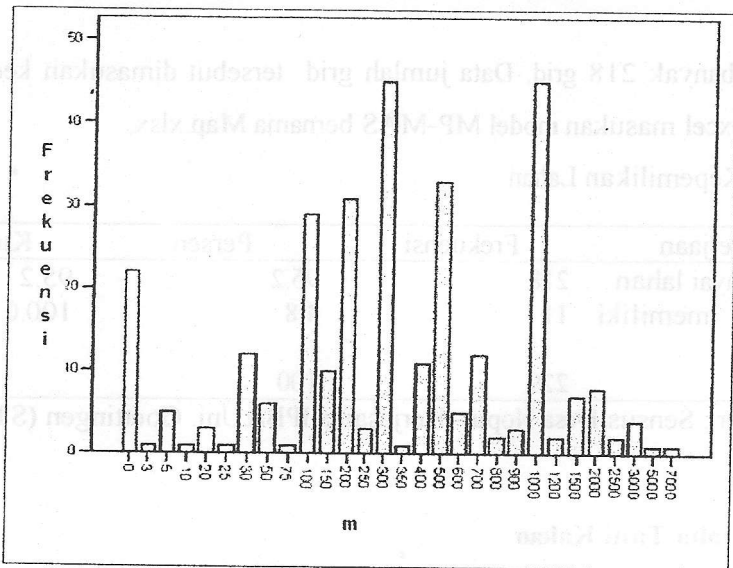
Sistem Usaha Tani Kakao

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 5).



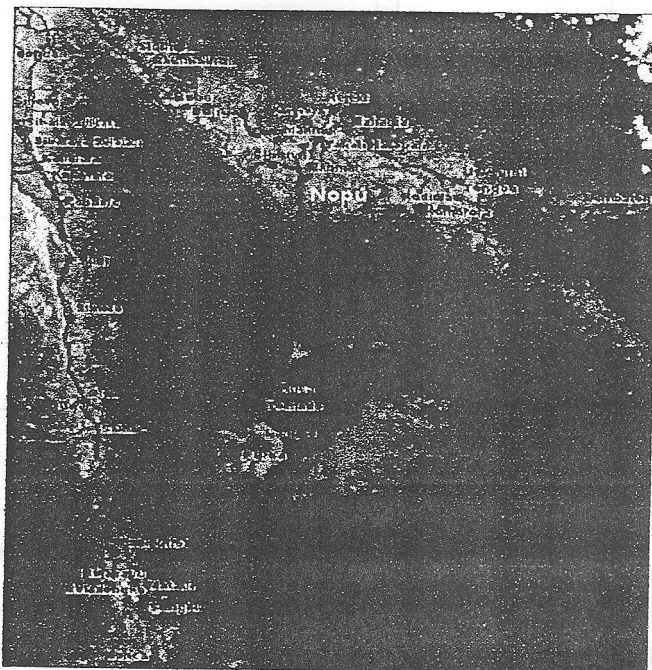
Gambar 5. Luasan Kepemilikan Lahan Kakao di Desa Nopu

Pada Gambar 5 terlihat bahwa kepemilikan lahan dominan (125 KK) mempunyai lahan kakao selau 1 ha.



Gambar 6. Letak lokasi Kebun Kakao dari Pemukiman

Berdasarkan analisis jarak dari pemukiman ke letak lokasi kebun kakao dapat dilihat bahwa beberapa kebun jauh terletak ke arah lokasi hutan (Gambar 6). Beberapa kebun mempunyai jarak lebih dari 1 km masuk kedalam kawasan hutan lindung sebelah selatan desa Nopu mengarah ke Danau Lindu (Gambar 7).



Gambar 7. Lokasi Desa Nopu Di Pinggir Taman Nasional Lore Lindu

Pendapatan yang diperoleh dari rata-rata luas kepemilikan 1 ha tersebut hanya sebesar Rp 7,800,000/tahun. Diperlukan lahan seluas 2 ha untuk setiap KK

dalam mencapai kebutuhan hidup layak sebesar Rp 15.000.000/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 6). 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.

Tabel 6. 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	

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

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 7).

Tabel 7. Dinamika Populasi Desa Nopu

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

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

Dalam kurun waktu enam tahun saja (1998-2004), jumlah kepala keluarga meningkat 100% (dari 119 menjadi 229). Setiap penambahan 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 Rp 15,000,000/tahun, dan b) Dinamika demografi dimana munculnya rumah tangga yang baru, dimana rumah tangga yang baru tersebut akan membutuhkan lahan baru untuk usahanya. Kedua faktor ini akan dimasukkan ke dalam 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 penambahan populasi juga berdampak positif bagi intensifikasi lahan kakao karena tersediannya tenaga kerja yang cukup.

Simulasi Model Usaha Tani Kakao

Berdasarkan hasil survey desa yang dilakukan pada Tahun 2004 maka petani kakao di Nopu belum menggunakan pemupukan pada tanaman kakao (Tabel 8). Walaupun sudah ada petani yang menggunakan pupuk namun masih sangat sederhana dan tidak mencapai produksi optimal.

Tabel 8. 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	

Sumber : Sensus Desa Nopu - Kerjasama IPB&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 1900kg/ha/tahun dengan asumsi tidak terjadi kekurangan air. Jika terjadi kekurangan air pada bulan-bulan tertentu maka potensi produksi tidak tercapai, yaitu sebesar 1500 kg/ha/tahun. Besarnya pengurangan produksi dari potensial sebagai akibat kekurangan air tersebut disimulasikan dalam file cropwat.xlsx (Gambar 8). Hasil file ini di-link ke matrik programming MP-MAS.

The (expected) irrigation water requirement is the water requirement after precipitation, and is calculated as: $(CWR \text{ [mm/ha/month]} - \text{EffRainfall} \text{ [mm/ha/month]}) / \eta$ in which: EffRainfall is the effective rainfall computed from the actual precipitation in liters/second as:

Constant	CWR	CWR2	PREC	PREC2	WR*PREC
1.3E+00	-3.5E-02	1.7E-04	6.4E-01	-4.9E-03	1.0E-03

Notes: 1) Average precipitation is used for PREC; 2) Negative values are replaced with zeros.

and in which η is the on field water use efficiency of the irrigation method that can be derived from the file Routing.xls

The (expected) irrigation water requirement is only used to initiate the LP matrix in the first period (when the agents have no previous experience).

The (expected) irrigation water requirement is expressed in liters/second and is averaged over a one month period

Cropping activity	LP-related coefficients					Irrigation methods				K _y	Crop yield potential	Expected crop yield	Average K _r value
	Activity (-column) in LP	Selling activity (price)	Index of yield constrain	Soil type	Irrigation Priority	Crop irrigation type	Irrigation method	Water use efficiency	Seasonality				
Grow_cacao_inv_NRU0, method A	35	3	50	0	0	2	6	0.7111	2	1.00	1500	1500.0	0.085
Grow_cacao_NRU0, method A	36	3	50	0	0	2	6	0.7111	2	1.00	1500	1500.0	0.085
Grow_cacao_inv_NRU0, method B	37	3	50	0	0	2	6	0.7111	2	1.00	1500	1500.0	0.085
Grow_cacao_NRU0, method B	38	3	50	0	0	2	6	0.7111	2	1.00	1500	1500.0	0.085
Grow_cacao_inv_NRU1, method A	45	3	50	1	0	2	6	0.7111	2	1.00	1100	1100.0	0.085
Grow_cacao_NRU1, method A	47	3	50	1	0	2	6	0.7111	2	1.00	1100	1100.0	0.085
Grow_cacao_inv_NRU1, method B	48	3	50	1	0	2	6	0.7111	2	1.00	1101	1101.0	0.085
Grow_cacao_NRU1, method B	49	3	50	1	0	2	6	0.7111	2	1.00	1102	1102.0	0.085

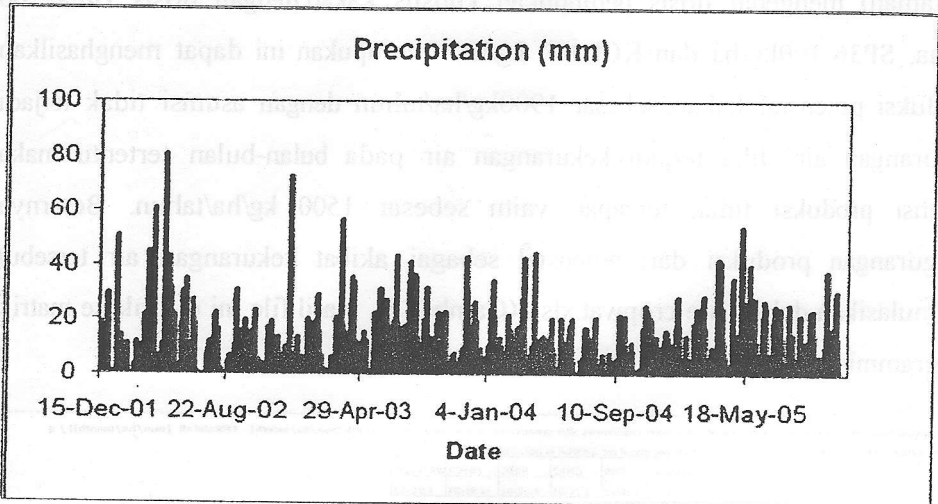
Add cropping activities here

Gambar 8. Simulasi Pengaruh Kekurangan Air terhadap Produksi Kakao

Akibat kekurangan air maka produksi potensial tidak tercapai dengan skenario ini. Terjadi peningkatan biaya produksi dari Rp 3,700,000/ha menjadi Rp 8,700,000/ha namun keuntungan meningkat menjadi Rp 13,800,000/ha (untuk kakao berumur 6 tahun). Dengan demikian kebun kakao yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan minimal Rp 15,000,000/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 9).



Gambar 9. Data Curah Hujan di Nopu dari Tahun 2001 s.d. 2005

Defisit air pada bulan-bulan Januari dan Pebruari ini akan mengurangi produksi kakao cukup signifikan. Pemberian air irigasi pada bulan Januari dan Pebruari 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 Rp 15,750,000/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 & 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

1. Berdasarkan kondisi pengelolaan lahan kakao di Desa Nopu yang dilakukan sekarang maka diperlukan luasan 2 ha kakao dalam memenuhi kebutuhan hidup layak sebesar Rp 15,000,000/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.
2. Inovasi teknologi pemupukan berimbang pada luasan kepemilikan lahan saat ini belum dapat memenuhi (1 ha) kebutuhan minimum untuk hidup layak sebesar Rp 15,000,000. Inovasi harus disertai dengan pemberian irigasi untuk mengatasi defisit air pada bulan Januari dan Pebruari. Melalui pemberian air irigasi ini maka pendapatan meningkat menjadi Rp 15,750,000/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 & 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*.
3. 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.

Acknowledgment

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. and P. Schreinemacher, 2009. *Mathematical Programming-based Multi-Agent Systems (MP-MAS)*. Dep. Of Land Use Economics in the Tropics and Subtropics. University of Heinenheim, Stuttgart, Germany.
- Castella, J.-C. and Verburg, P., (2007): Combination of process-oriented and pattern-oriented models of land-use change in a mountain area of Vietnam. *Ecological Modelling*, 202: 410-420.
- Grosse, M., W. Lorenz, S.D. Tarigan, A. Malik (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. and Scholten, H.J. (Editors), 2007. *Modelling land-use change: Progress and applications*. Springer, 398 pp.
- Lambin, E.F. and Geist, H.J., (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, S.M., (2005): *Agent-based modeling and genetic programming for modeling land change in the Southern Yucatán Peninsular Region of Mexico* *Agriculture Ecosystems & Environment*, 111: 47-62.
- Matthews, R.B., Gilbert, N.G., Alan Roach, A., Polhill, J.G. and Gotts, N.M., (2007): *Agent-based land-use models: a 20 review of applications*. *Landscape Ecology*, 22: 1447-1459.
- Orcutt, G. (1957): *A new type of socio-economic system*. *Review of Economics and Statistics*, 58: 773-797
- Parker, D.C., Manson, S.M., Janssen, M.A., Hoffmann, M.J. and Deadman, P., (2003): *Multi-agent systems for the simulation of land-use and land-cover*