

IMPLEMENTASI SISTEM DINAMIK DALAM BIDANG PERTANIAN

Widhianthini

Program Studi Agribisnis, Fakultas Pertanian, Universitas Udayana

Jalan P.B. Sudirman-Denpasar, 80232, Bali

e-mail: widhiantini@unud.ac.id

HP: 082111691261

ABSTRAK

Salah satu metode untuk mengidentifikasi dan menganalisis kebutuhan dari permasalahan yang timbul adalah dengan menggunakan pendekatan sistem. Pendekatan dalam bentuk sistem dinamik sebagai salah satu alat permodelan yang dapat disimulasikan dan diskenariokan sesuai kebutuhan (kotak hitam) para stakeholder dari tingkat bawah sampai tingkat atas. Penggunaan sistem dinamik dapat diimplementasikan di segala bidang, termasuk bidang pertanian. Kasus yang diambil dalam tulisan ini adalah kasus di Kabupaten Tabanan, Bali. Melalui kasus alih fungsi lahan dapat terlihat bahwa skenario yang dipilih adalah skenario I, dimana perlambatan penurunan lahan sawah pada skenario I dari tahun 2009-2030 lebih kecil dibandingkan skenario II dan skenario III. Penelitian ini akan lebih mendalam jika dikaji juga melalui alat analisis ISM (*Interpretative Structural Modelling* (ISM)). ISM merupakan salah satu cara untuk membuat kerangka disain perencanaan yang strategis.

Kata kunci: sistem dinamik, kotak hitam, simulasi, skenario

DYNAMIC SYSTEM IMPLEMENTATION IN AGRICULTURE

ABSTRACT

The system approach is a problem solving method that starts with identification and analysis of needs and ends with an effective operating system. Dynamic system as one of the modeling tools that can be simulated and scanned according to the needs (black box) of stakeholders from the lower level to the top level. The use of dynamic systems can be implemented in all fields, including agriculture. The case taken in this paper is a case in Tabanan Regency, Bali. Through the case of land use change, it can be seen that the scenario chosen is scenario I, where the slowdown in the decline of paddy fields in scenario I from 2009-2030 is smaller than scenario II and scenario III. This research will be more in-depth if studied also through the ISM (Interpretative Structural Modeling (ISM) analysis tool. This tool is one of the way to develop the framework for strategic planning .

Keywords: *dynamic system, black box, simulation, scenario*

PENDAHULUAN

Pertanian berkelanjutan (*sustainable agriculture*) merupakan suatu kondisi pertanian yang dapat memberikan penghasilan pertanian yang menguntungkan sekaligus dapat mempromosikan kepedulian terhadap lingkungan, seperti: memperbaiki dan melindungi kualitas tanah, mengurangi ketergantungan kepada sumberdaya alam tak terbarukan (BBM, pupuk dan pestisida kimia), meminimalkan dampak buruk terhadap keselamatan satwa liar, kualitas air, dan sumberdaya lingkungan lainnya serta mempromosikan keluarga petani yang stabil dan sejahtera. Keselamatan bumi sudah selayaknya diperhatikan, jika memang menginginkan pertanian yang berkelanjutan. Artinya, setiap langkah dalam pembangunan pertanian harus memperhitungkan ekologi dan keselamatan lingkungan. Teknik-teknik yang dilakukan dalam Revolusi Hijau yang tidak berwawasan lingkungan, harus ditinggalkan.

Adanya banyak tantangan (perubahan iklim, energi, air, dan kekurangan lahan, tuntutan pangan, perebutan lahan, dan lain-lain), potensi produksi pertanian diperkirakan akan sangat terpengaruh. Dalam konteks ini, pertanian berkelanjutan sangat direkomendasikan sebagai pendekatan sistem ekologis dimana tanah, air, tumbuhan, lingkungan dan organisme hidup secara harmonis. Teknologi dan penelitian inovatif harus dikembangkan untuk memastikan pertanian dan produktivitas berkelanjutan dengan menggunakan sistem irigasi modern, varietas unggul, peningkatan kualitas tanah, dan

sebagainya. Sementara itu, pelestarian lingkungan alam harus didasarkan pada teknologi konservasi sumber daya dan praktik pengelolaan terbaik.

Pembangunan pertanian berkelanjutan, tidak hanya menimbulkan masalah etika dan sosial yang serius yang mendasari masalah lingkungan yang sangat besar ini, namun juga bertujuan untuk menyajikan pengalaman sukses dari seluruh dunia dalam kaitannya dengan pertanian berkelanjutan, pengelolaan sumber daya air dan lahan yang berkelanjutan, dan proses inovatif dalam produksi peternakan. produksi. Ini juga bertujuan untuk memberikan masukan bagi proses pengambilan keputusan dan mendorong pengalihan pengetahuan, teknologi dan keahlian yang relevan ke berbagai negara yang mempunyai kondisi pertanian serupa, sehingga menghemat sumber daya alam yang berharga dan mempromosikan pembangunan pertanian berkelanjutan sebagai pendekatan yang relevan untuk mengatasi tantangan ketahanan pangan.

Eriyatno (2012) memaparkan bahwa melalui 'sistem' dapat menghasilkan keterpaduan antar variabel-variabel sehingga dapat dibentuk suatu kerangka pikir baru. Sistem dibedakan menjadi dua jenis, yaitu sistem statis dan sistem dinamis (Robersts, *et al.*, 1983, Gohara, 2001). Sistem statis adalah sistem yang hasil akhirnya tidak dipengaruhi oleh input-input dalam suatu sistem. Sistem dinamis merupakan sistem yang variabel-variabelnya dapat berubah-ubah karena pergerakan dari berbagai variabel input yang digunakan dan adanya interaksi antar variabel input dalam sistem. Dalam sistem dinamis

terjadi *delay time*. Kondisi ini menjelaskan ketergantungan hasil akhir pada variabel-variabel input dalam waktu tertentu.

Salah satu pendekatan kajian untuk memberikan arahan kebijakan pertanian menuju pertanian berkelanjutan adalah melalui sistem

METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi dan Sumber Data

Penelitian ini mengambil salah satu kasus permasalahan di bidang pertanian (alih fungsi lahan) yang terjadi di Kabupaten Tabanan, Propinsi Bali. Data yang digunakan berupa data sekunder dari tahun 2009-2015. Data sekunder berasal dari Dinas Pertanian, Dinas Pekerjaan Umum Sub Irigasi, Badan Pusat Statistik, dan Bappeda yang ada di wilayah Kabupaten Tabanan. Pengambilan lokasi dilakukan secara sengaja (*purposive*). Alasan dipilihnya kabupaten tersebut karena kabupaten 'lumbung padi' ini merupakan salah satu kabupaten di Provinsi Bali yang telah mengalami alih fungsi lahan selama lima tahun terakhir. Alih fungsi lahan terbesar di tahun 2017 terjadi di wilayah Tabanan yang mencapai 363 hektare (Dinas Pertanian Tanaman Pangan Kabupaten Tabanan, 2018).

Metode Analisis

Eriyatno (2012) menjelaskan bahwa berpikir sistem merupakan salah satu cara pemecahan masalah yang didahului dengan identifikasi permasalahan dan analisis kebutuhan. Proses ini diselesaikan melalui sistem operasi yang efektif. Dalam berpikir sistem, terdapat metode perencanaan, pengelolaan yang bersifat multidisiplin dan terorganisir, dan mampu berpikir secara non kuantitatif. Pengoperasian

dinamik. Sistem dinamik ini memiliki tujuan untuk mendisain model, dimana antar variabel saling mempengaruhi dan dipengaruhi. Perlulah dikaji bentuk implementasi sistem dinamik dalam bidang pertanian.

melalui komputer tersebut menggunakan model matematika, teknik simulasi, dan optimasi. Eriyatno juga memaparkan bahwa dalam identifikasi sistem perlu dibuat kotak hitam (*black box*). Penyusunan kotak hitam harus didahului dengan berbagai macam informasi. Informasi tersebut terdiri dari variabel input, variabel output, dan variabel lingkungan yang membatasi model.

Model optimasi akan disimulasi dengan bahasa pemrograman Powersim Studio 10. Muhammadi *et al.* (2001) memaparkan bahwa program ini merupakan perangkat lunak untuk pemodelan berbasis *flow chart*. Powersim Studio 10 termasuk bahasa pemrograman interpreter dengan pendekatan lingkungan multi-level hierarkis, baik untuk menyusun model maupun berinteraksi dengan model.

Sterman (2000) menjelaskan bahwa dalam sistem dinamik diperoleh gambaran perilaku sistem yang memiliki hubungan interpedensi dan dapat berubah sesuai waktu. Sistem dinamik merupakan model umpan balik (*feedback structure*), dimana antar variabel saling berkaitan dan bergerak menuju keseimbangan. Sebelum merancang suatu model, ada beberapa langkah yang harus dilakukan yaitu:

1. Menentukan batasan model

Dalam sistem dinamik, pembuatan batasan model sangat diperlukan agar cakupan penelitian

tidak terlalu luas dan mendekati kondisi yang sebenarnya. Batasan model disesuaikan dengan tujuan penelitian dan identifikasi dari variabel-variabel sebelumnya.

2. Membuat *causal loop*

Causal loop menggambarkan hubungan positif dan hubungan negatif dari berbagai variabel yang digunakan. Hubungan positif berarti menambah variabel yang lain, sedangkan variabel negatif berarti mengurangi variabel yang lain. Dari *causal loop* tersebut dapat terlihat variabel-variabel yang terkategori 'variabel mempengaruhi' dan 'variabel dipengaruhi.'

3. Menentukan formulasi model

Dalam penelitian modelling, harus dilakukan formulasi. Formulasi yang dibuat harus secara teori dan logik dapat diterima sehingga model yang dijalankan nantinya memiliki arti.

4. Mensimulasikan model

Setelah tahap formulasi benar maka model yang dibuat atau dirancang harus disimulasikan. Simulasi model ditampilkan dalam bentuk grafik dari setiap variabel. Batasan waktu yang digunakan tidak terbatas, biasanya penelitian modelling ini disesuaikan dengan rancangan program/project di tingkat pemda, misalnya sesuai dengan RTRW suatu wilayah.

5. Validasi model

Validasi ini merupakan langkah dalam menentukan sesuai atau tidaknya model yang telah dirancang. Jika hasilnya tidak valid, maka perlu dilakukan perbaikan terhadap formulasi yang telah dibuat, jika terbukti valid maka dapat diteruskan dengan pembuatan skenario.

6. Membuat skenario

Skenario merupakan tahap terakhir dalam pemodelan. Skenario dijalankan melalui proses simulasi dengan memberikan perlakuan yang berbeda terhadap variabel-variabel yang dianggap penting. Proses ini terkait dengan kebijakan yang akan dibuat atau disarankan kepada pihak stakeholder.

Validasi Model

Daalen dan Thissen (2001) memaparkan bahwa memvalidasi model dapat dilakukan melalui dua cara, yaitu uji struktur secara langsung (*direct structure test*) yang dilakukan tanpa running model dan uji struktur tingkah laku model (*structure-oriented behaviour tests*) dengan merunning model. Rumus yang digunakan dalam memvalidasi model adalah AME (*Absolute Mean Error*) dan AVE (*Absolute Variation Error*). AME adalah penyimpangan (selisih) antara nilai rata-rata (*mean*) hasil simulasi terhadap nilai aktual. AVE adalah penyimpangan nilai variasi (*variance*) simulasi terhadap aktual. Batas penyimpangan yang dapat diterima adalah antara 1-10 persen.

$$AME = \frac{(\sum S_{mi} - \sum A_i)}{A_i}$$

$\sum S_{mi}$ = $\sum S_i$ N, di mana S = nilai simulasi

$\sum A_i$ = $\sum A_i$ N, di mana A = nilai aktual

N = interval waktu pengamatan

$$AVE = \frac{(\sum D_s - \sum D_a)}{D_a}$$

$\sum D_s$ = $\sum [(S_i - \sum S_{mi})^2 N]$ = deviasi nilai simulasi

$\sum D_a$ = $\sum [(A_i - \sum A_i)^2 N]$ = deviasi nilai aktual

Skenario Model

Skenario model merupakan analisis arahan kebijakan. Berdasarkan studi kasus di Kabupaten Tabanan tersebut,

skenario untuk model pengendalian konversi lahan pertanian yang berbasis kelembagaan lokal, terlihat ada beberapa faktor penggerak sistem yang dapat mengendalikan alih fungsi lahan sawah, seperti yang terlihat pada Gambar 4 (*black box*).

Ditinjau dari kotak hitam (*black box*), yang merupakan input terkontrol adalah aksesibilitas jalan umum ke sawah (jalan usahatani), program bantuan pemerintah sebesar Rp 200 juta untuk masing-masing desa wisata, sarana dan prasarana untuk kelembagaan lokal (subak, desa pakraman). Dalam penelitian ini ketiga variabel tersebut digerakkan melalui simulasi dengan analisis dinamik (ketiga variabel tersebut dalam persentase). Skenario model yang diajukan pada penelitian tersebut terbagi menjadi tiga skenario, yaitu:

1. Skenario pertama: aksesibilitas jalan usahatani sebesar 70 persen, program bantuan pemerintah untuk desa wisata sebesar 5 persen, sarana dan prasarana untuk kelembagaan lokal sebesar 85 persen. Skenario ini sudah dijalankan pada tahap awal analisis dinamik.
2. Skenario kedua: variabel aksesibilitas jalan usahatani sebesar 90 persen, program bantuan pemerintah untuk desa wisata sebesar 6 persen, sarana dan prasarana untuk kelembagaan lokal sebesar 90 persen.
3. Skenario ketiga: variabel aksesibilitas jalan usahatani sebesar 80 persen, program bantuan pemerintah untuk desa wisata sebesar 5,5 persen, sarana dan prasarana untuk

kelembagaan lokal sebesar 88 persen.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Black Box (Kotak Hitam)

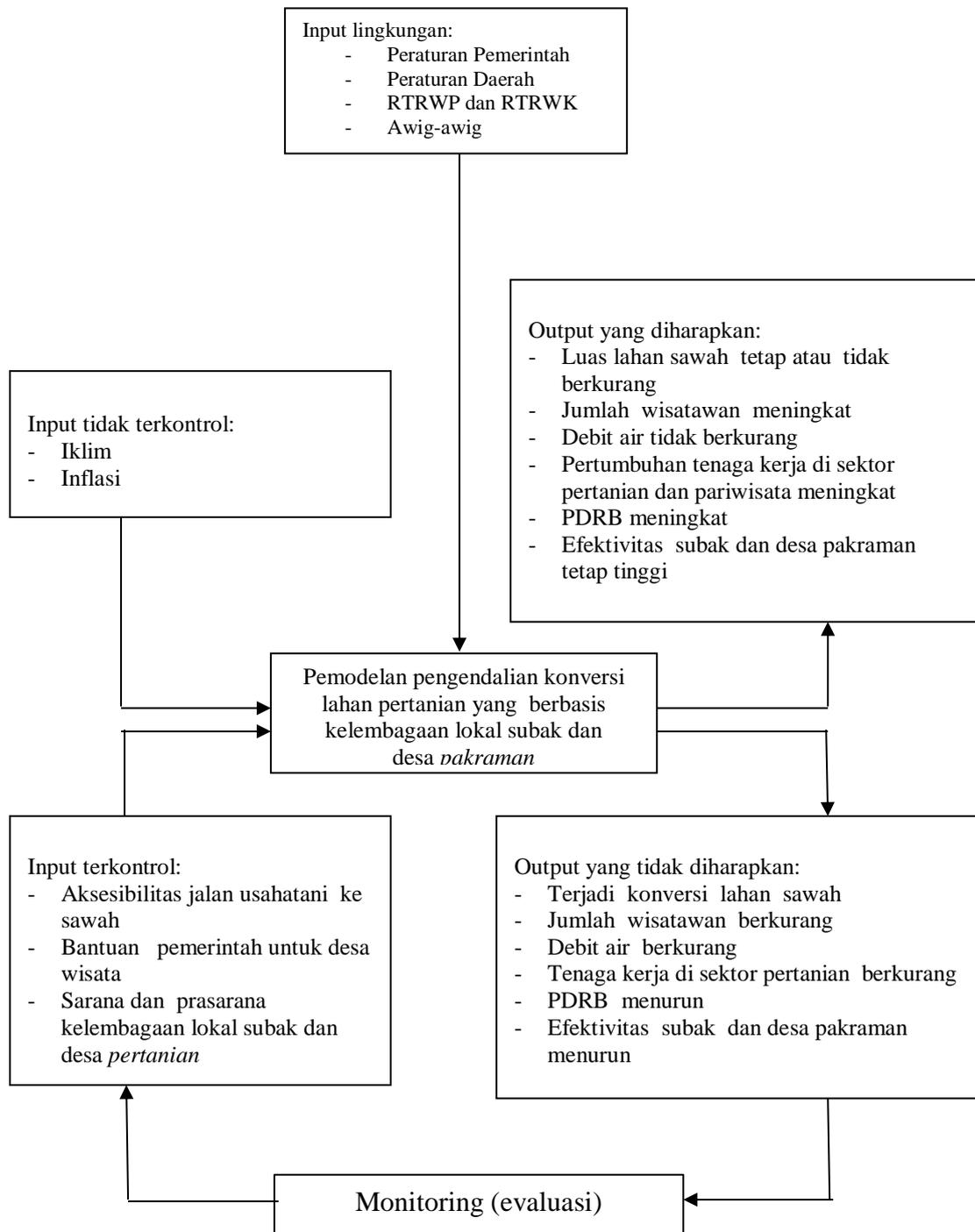
Menurut Richardson dan Pugh (1986) memaparkan bahwa pemahaman terhadap perubahan perilaku dari permasalahan dapat dimodelkan melalui sistem dinamik. Sistem dinamik merupakan metode untuk memahami permasalahan yang kompleks, dimana antara satu variabel dengan variabel lainnya saling mempengaruhi dan dipengaruhi. Pengkajian permasalahan tersebut dapat dilakukan melalui pembuatan kotak hitam (*black box*).

Dalam contoh kasus ini, model pengendalian konversi lahan pertanian berbasis kelembagaan lokal (subak, desa pakraman) dijabarkan dalam bentuk tiga subsistem yang saling berkaitan, yaitu subsistem fisik (lahan sawah (ha), aksesibilitas jalan usahatani ke sawah (%), lahan ruang terbuka hijau (ha), lahan permukiman (ha), lahan kawasan suci (ha), lahan bangunan lain) serta sumber daya air; subsistem ekonomi (*land rent*, jumlah LPD, PDRB, bantuan pemerintah untuk desa wisata, jumlah produksi padi, tingkat *income* masyarakat); subsistem sosial (kelembagaan) yang terdiri atas: rata-rata jumlah penduduk, jumlah tenaga kerja di sektor pertanian dan pariwisata, sarana dan prasarana penunjang kelembagaan subak dan desa pakraman, tingkat pendidikan, jumlah pengangguran, jumlah penduduk miskin, tingkat efektivitas kelembagaan. Ketiga subsistem tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.

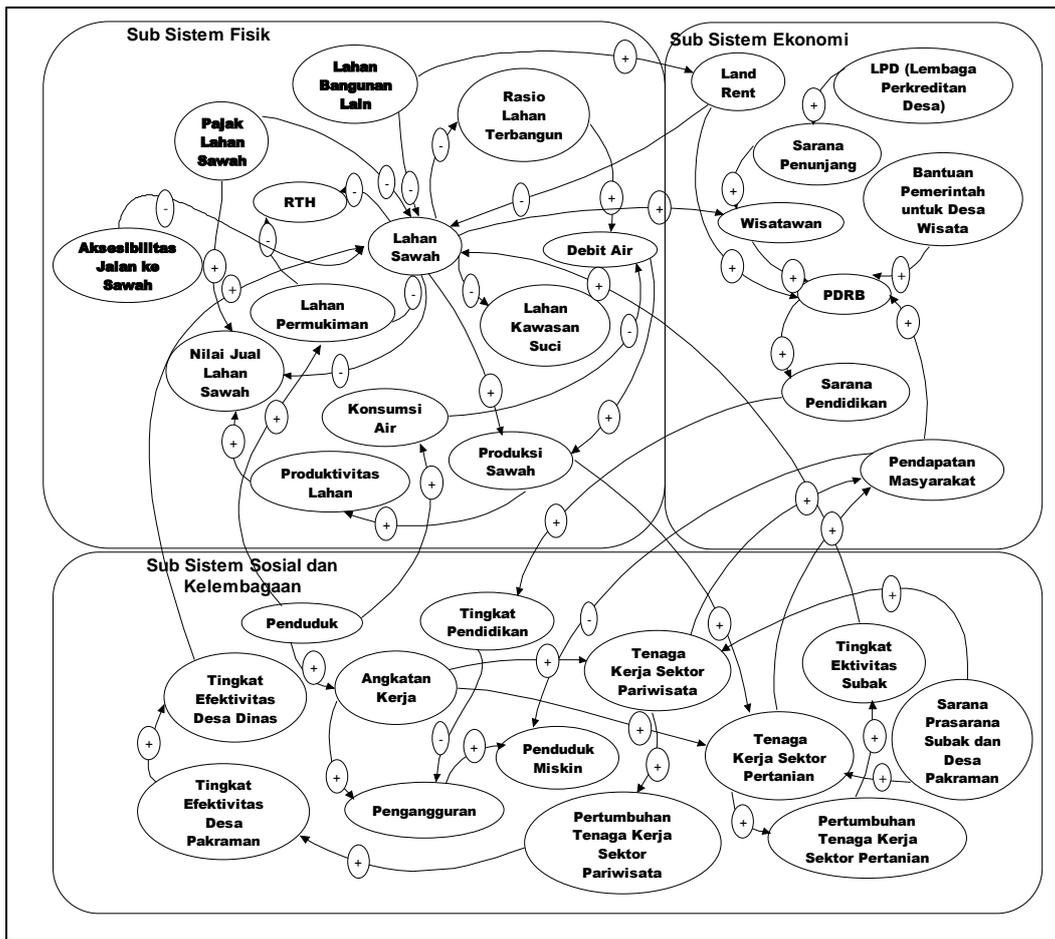
Simulasi model pengendalian konversi lahan dan berbasis kelembagaan lokal merupakan proses

membangun suatu formula model dan simulasi model sebagai cara untuk mengkonversikan konstruksi logis dari subsistem-subsistem melalui perangkat powersim studio 10. Simulasi model ini menggunakan

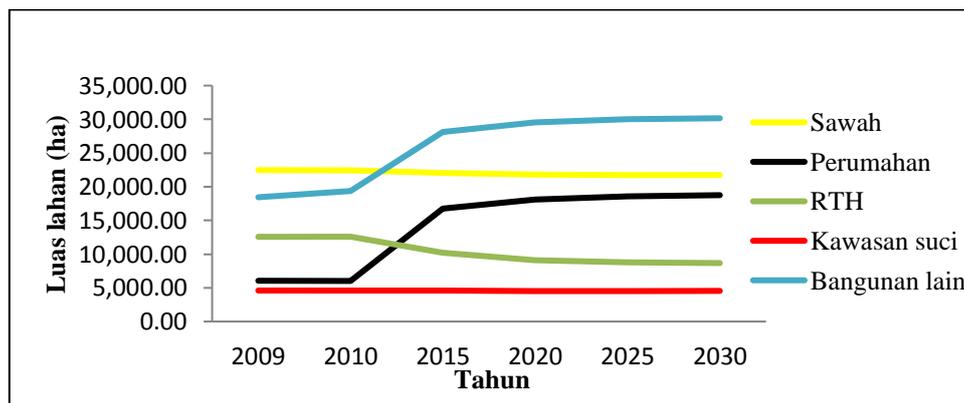
kurun waktu selama 21 tahun (tahun 2009-2030) sesuai dengan RTRW Kabupaten Tabanan. Salah satu hasil simulasi dari penggunaan lahan (subsistem fisik) dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 1. Kotak hitam (*black box*) pemodelan pengendalian alih fungsi lahan pertanian berbasis kelembagaan lokal (subak, desa *pakraman*)



Gambar 2. Causal loop model pengendalian konversi lahan dan berbasis kelembagaan lokal



Gambar 3. Simulasi perubahan penggunaan lahan akibat alih fungsi lahan pertanian di Kabupaten Tabanan dengan memasukkan unsur kelembagaan lokal

Setelah dilakukan simulasi, model harus divalidasi. Dari model yang divalidasi, nilai AME dan AVE dari semua variabel tersebut harus lebih kecil dari 10 persen.

Berdasarkan pengujian validasi ini model dalam penelitian ini valid dan dapat diterima.

Tabel 1. Nilai validasi untuk beberapa variabel dalam subsistem fisik, ekonomi, sosial dan kelembagaan (persen)

Variabel	AME	AVE
Lahan sawah	0,006	4,356
Permukiman	0,039	0,380
RTH	0,098	4,337
Kawasan suci	0,022	3,790
Bangunan lain	0,036	0,878
PDRB	0,666	8,191
Penduduk	0,016	1,671

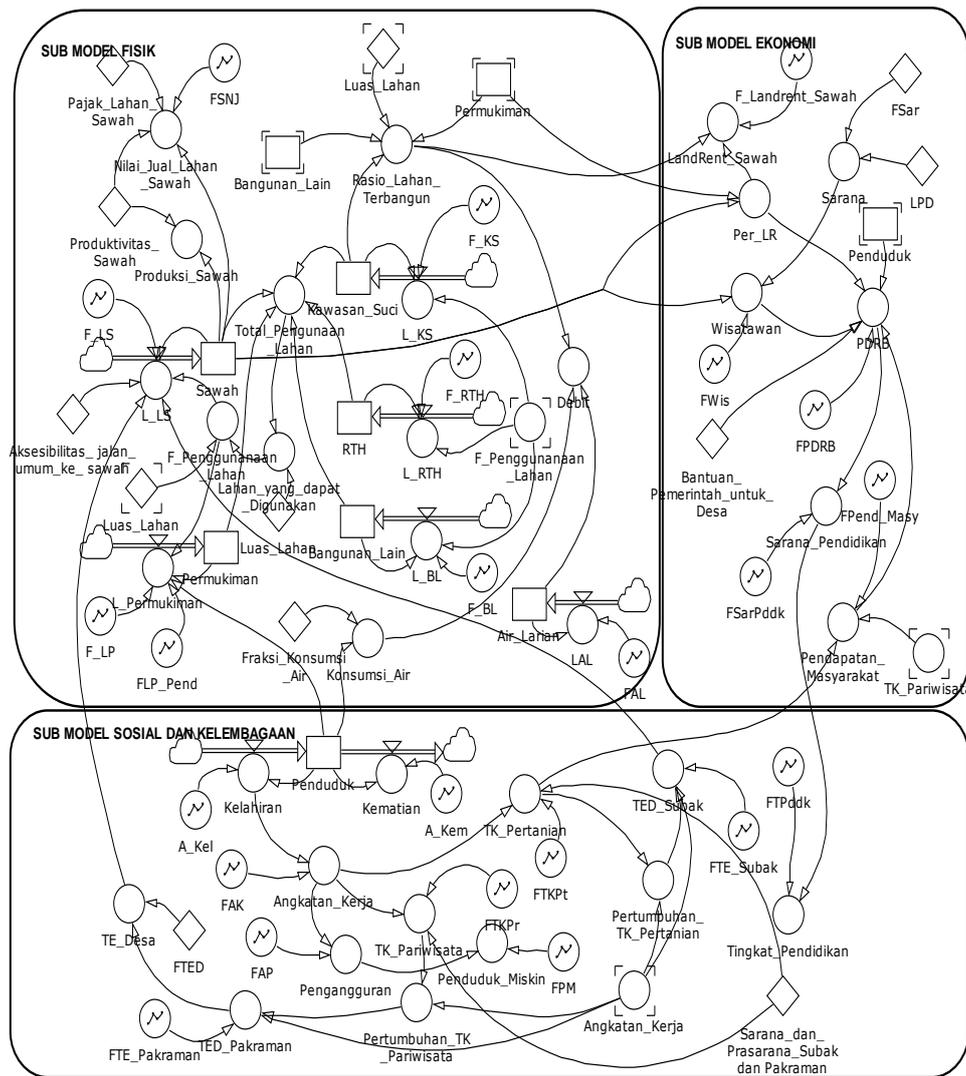
Sumber: Hasil analisis (2016)

Setelah dilakukan validasi model, tahap berikutnya adalah melakukan simulasi dari skenario. Simulasi skenario dilakukan terhadap variabel-variabel yang merupakan faktor penting atau penggerak dari sistem. Ditinjau dari kotak hitam (*black box*) pada Gambar 1, terlihat bahwa yang merupakan input terkontrol adalah aksesibilitas jalan usahatani ke sawah, program bantuan pemerintah untuk desa wisata, sarana dan prasarana untuk kelembagaan lokal. Ketiga faktor penggerak tersebut digerakkan sesuai dengan skenario yang dibuat. Hasil simulasi skenario dalam model ini dibagi atas tiga, yaitu:

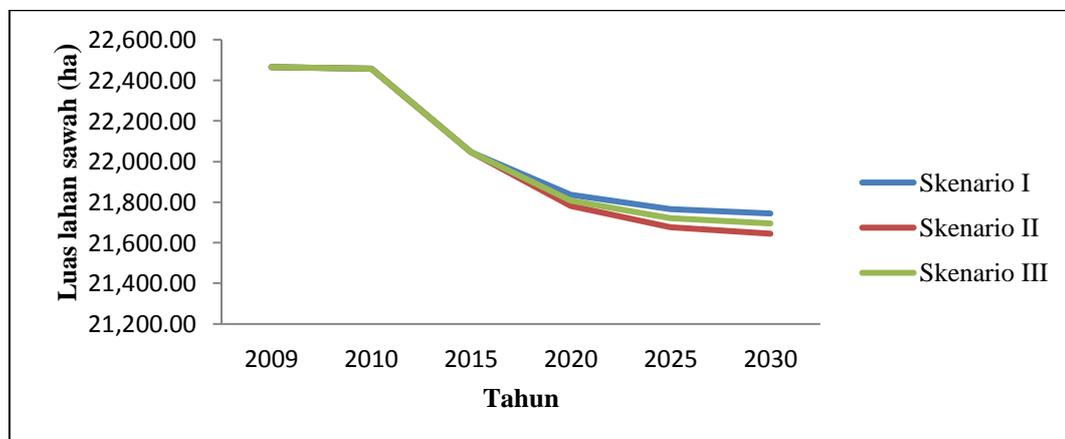
1. Skenario pertama: variabel aksesibilitas jalan usahatani ke sawah sebesar 70 persen, program bantuan pemerintah untuk desa

wisata sebesar 5 persen, sarana dan prasarana untuk kelembagaan lokal (subak, desa pakraman) sebesar 85 persen.

2. Skenario kedua: variabel aksesibilitas jalan usahatani ke sawah sebesar 90 persen, program bantuan pemerintah untuk desa wisata sebesar 6 persen, sarana dan prasarana untuk kelembagaan lokal (subak, desa pakraman) sebesar 90 persen.
3. Skenario ketiga: variabel aksesibilitas jalan usahatani ke sawah sebesar 80 persen, program bantuan pemerintah untuk desa wisata sebesar 5,5 persen, sarana dan prasarana untuk kelembagaan lokal (subak, desa pakraman) sebesar 88 persen.



Gambar 4. Skenario model pengendalian konversi lahan dan berbasis kelembagaan lokal



Gambar 5. Hasil simulai skenario untuk perubahan penggunaan lahan sawah

Gambar 5 memperlihatkan bahwa skenario pertama-lah yang dipilih.

Variabel-variabel penggerakannya adalah aksesibilitas jalan usahatani ke sawah sebesar 70 persen, program bantuan pemerintah untuk desa wisata sebesar 5 persen, sarana dan prasarana untuk kelembagaan lokal (subak, desa pakraman) sebesar 85 persen. Skenario pertama tersebut menyebabkan terjadinya perlambatan penurunan lahan sawah yang lebih kecil (8,05 persen) dibandingkan skenario kedua sebesar 11,91 persen dan skenario ketiga sebesar 11,27 persen.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berpikir sistem merupakan salah satu cara dalam proses pengambilan keputusan secara sistematis. Dengan menggunakan sistem maka akan dihasilkan fungsi struktur, *outcomes*, evaluasi, dan keputusan. Melalui sistem dinamik dapat diimplementasikan di segala bidang, yang terkait dengan arah kebijakan akibat adanya perubahan-perubahan yang terjadi di lapangan. Implementasi sistem dinamik di bidang pertanian dapat diterapkan pada kasus alih fungsi lahan, dimana dapat disimulasikan dan diskenarioikan sesuai kebutuhan dari para stakeholder yang ada di tingkat bawah (petani) sampai stakeholder di tingkat atas (pemerintah daerah dan pemerintah pusat, pihak swasta).

Saran

Penelitian mengenai sistem dinamik akan lebih dinamik pembahasannya, jika dikaji lebih mendalam mengenai kendala-kendala yang dihadapi dalam menerapkan

suatu program melalui alat analisis ISM. ISM merupakan salah satu kerangka disain yang dikembangkan untuk memecahkan berbagai kendala yang dihadapi dalam membuat perencanaan kebijakan yang strategis.

DAFTAR PUSTAKA

- Daalen V, Thissen. 2001. *Dynamics Systems Modelling Continuous Models*. *Faculteit Techniek, Bestuur en Management (TBM)*. Technische Universiteit Delft.
- Eriyatno. 2012. *Ilmu Sistem. Meningkatkan Mutu dan Efektifitas Manajemen*. IPB Press. Bogor.
- Gohara, R. 2001. A System Dynamics Model for Estimation of Future World Food Production Capacity. Unpublished Thesis (M.S.) University of New Hampshire.
- Kumar, S. and Nigmatullin, A. 2011. "A System Dynamics Analysis of Food Supply Chains – Case Study With Non-Perishable Products". *Simulation Modelling Practice and Theory*. Vol. 19, No. 10, pp. 2151–2168.
- Muhammadi, Erman A, Budhi S. 2001. Analisis Sistem Dinamis, Lingkungan Hidup, Ekonomi, Manajemen. Penerbit UMJ Press, Jakarta.
- Richardson GP, Pugh V. 1986. *Introduction to System Dynamic Modelling with Dynamo*. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, and London, England.

Roberts, Manetsch, R.P. and G.L. Park.
1983. *System Analysis and Simulations With Application to Economic and Social System*. Michigan State University, USA.

Sterman, J. D. 2000. *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. New York: Irwin/McGraw-Hill.