

KATA PENGANTAR

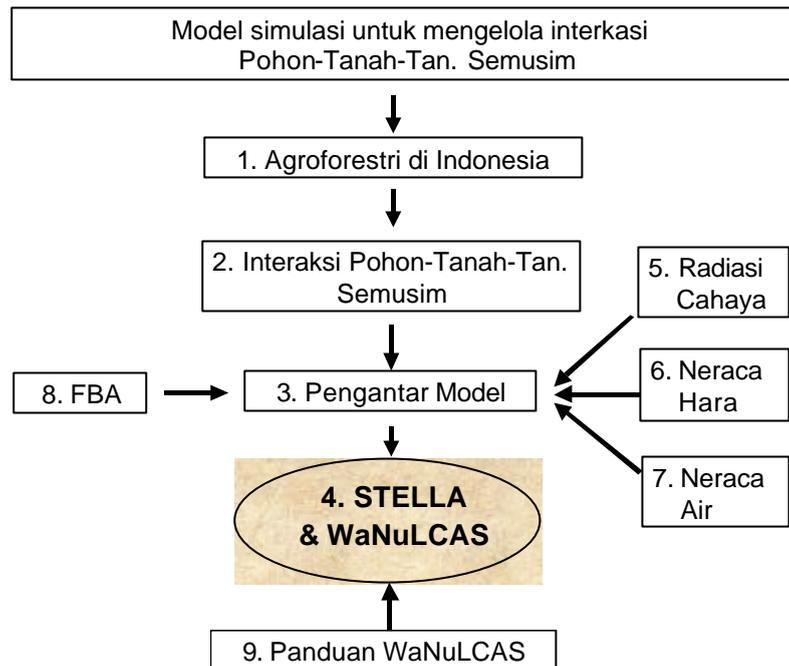
Eksplorasi sumberdaya alam secara berlebihan akan mengakibatkan kerusakan ekosistem dan berdampak negatif pada kelangsungan hidup organisme, termasuk manusia. Salah satu masalah yang banyak mendapatkan perhatian akhir-akhir ini adalah masalah pemanasan global yang terjadi karena adanya kerusakan hutan yang sudah mencapai tingkat yang mengkhawatirkan. Kerusakan hutan ini disamping disebabkan oleh meningkatnya tekanan penduduk, juga karena kita dihadapkan pada dua pilihan yang cukup sulit untuk dipisahkan yaitu antara mempertahankan fungsi hutan sebagai penyangga alam dan sebagai penyumbang perekonomian negara. Untuk memecahkan dilema ini, sistem pertanian berbasis pohon, yang dikenal dengan AGROFORESTRI barangkali merupakan pilihan yang menarik.

Sebuah model komputer untuk dipergunakan dalam sistem agroforestri yang diberi nama WaNuLCAS (*Water, Nutrient, and Light Capture in Agroforestry Sistem*) telah dikembangkan oleh ICRAF- South East Asia (*International Center of Research in Agroforestry*), Bogor. Model ini secara khusus melibatkan 3 komponen yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman yaitu air, hara dan cahaya. Model ini dikembangkan untuk mempelajari prinsip-prinsip dasar pada aneka sistem tumpangsari pepohonan dengan tanaman (semusim).

Tujuan dari penyusunan bahan ajar (*lecture note*) ini adalah untuk menyebar-luaskan teknik penelitian dan pengajaran agroforestri dengan menggunakan model simulasi di Universitas-universitas di Indonesia, dengan harapan mahasiswa maupun peneliti dapat:

- Lebih memahami prinsip-prinsip dasar interaksi antara pohon, tanah dan tanaman semusim dalam sistem agroforestri
- Memahami model WaNuLCAS dan memanfaatkan model tersebut untuk pengelolaan agroforestri dalam praktek
- Memahami, menganalisis dan merumuskan permasalahan agroforestri di lapangan melalui diagnosis model simulasi dan mengembangkannya menjadi teknologi baru.

Bahan ajar ini terdiri dari sembilan materi yang secara skematik disajikan dalam Gambar 1, diawali dengan pendahuluan yang mengantarkan mahasiswa dan peneliti untuk mengenal WaNuLCAS dan ilmu-ilmu pengetahuan dasar lainnya yang diperlukan. *Materi 1* berisi tentang definisi, bentuk dan macam-macam agroforestri yang ada di Indonesia. Pembahasan dilanjutkan dengan keuntungan dan kendala yang ada di lapangan dalam mengembangkan agroforestri. *Materi 2*, menjelaskan tentang proses biofisik dasar dalam sistem agroforestri: interaksi antara pohon –tanah – tanaman semusim; cara pengukurannya di lapangan dan contoh-contoh hasil simulasi. *Materi 3* mengantarkan pembaca untuk lebih mengenal macam dan konsep-konsep dasar model simulasi. *Materi 4*, berisi pengenalan dasar-dasar dan persyaratan menjalankan model simulasi Stella dan WaNuLCAS.



Gambar 1. Skematik materi ajar yang ditulis dalam bahan ajar WaNuLCAS

Pemahaman akan serapan cahaya, hara dan air dalam sistem agroforestri dibahas dalam *materi 5, 6 dan 7*. Biomasa tajuk dan akar pohon merupakan salah satu masukan data penting yang dibutuhkan dalam model simulasi WaNuLCAS. Biomasa tersebut dapat diestimasi dengan menggunakan pendugaan model Functional Branch Analysis (*Materi 8*). Akhirnya petunjuk cara menginstall, menjalankan dan memodifikasi model simulasi WaNuLCAS menutup bahan ajar ini (*Materi 9*). Guna meningkatkan pengetahuan dan keterampilan mahasiswa dan peneliti hampir semua materi diberikan pertanyaan dan latihan-latihan menghitung.

Bahan ajar ini merupakan penyempurnaan bahan pelatihan yang telah digunakan dalam '**Pelatihan Model Simulasi Sistem Agro-forestri (WaNuLCAS)**' bagi mahasiswa, dosen, peneliti, penyuluh dan pengambil kebijakan. Pelatihan diselenggarakan di Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang, pada tanggal 27 - 31 Agustus 2001. Kegiatan pelatihan tersebut merupakan salah satu dari kegiatan kerjasama penelitian dan diseminasi di bidang agroforestri antara Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang dengan ICRAF South East Asia, Bogor. Sebagian dari biaya penyelenggaraan pelatihan ini diberikan oleh *Departement for International Development (DFID)*, R66523 Forestry Research Program (UK). Selanjutnya bahan ajar ini dapat disempurnakan dan diterbitkan berkat bantuan biaya dari The Netherlands Government melalui "*Direct Support to Training Institutions in Development Cooperation*" (DSO) Project dan ICRAF SE Asia, Bogor, untuk itu disampaikan terima kasih.

Ucapan terimakasih kepada teman-teman di ICRAF Bogor antara lain Tikah Atikah, Rini Dwi Novita, Subekti Rahayu dan Farida dalam pengaturan tata letak teks dan gambar-gambar yang ada. Penghargaan juga disampaikan kepada Pratiknyo Purnomosidhi dan Ni'matul Khasanah atas kesediaanya untuk menjadi '*obyek uji coba*' dalam memahami, menilai dan memberikan saran selama penyusunan bahan ajar ini. Komunikasi email Malang – Bogor berjalan dengan lancar berkat bantuan Naning Solichah, terimakasih atas semua bantuannya.

Semoga usaha penyusunan bahan ajar ini bermanfaat bagi mahasiswa, pengajar dan peneliti agroforestri di Indonesia.

Editor

MODEL SIMULASI KOMPUTER UNTUK MENGELOLA INTERAKSI POHON-TANAH-TANAMAN SEMUSIM

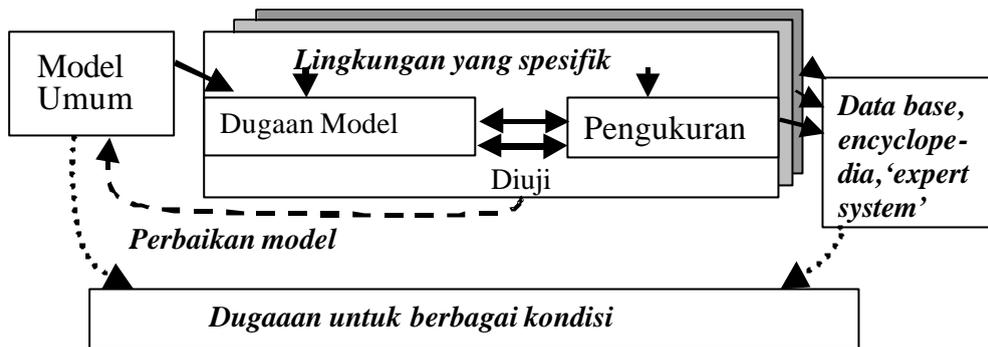
Meine van Noordwijk dan Betha Lusiana

Sistem agroforestri merupakan kombinasi berbagai jenis pohon dengan tanaman semusim. Sistem agroforestri telah dilaksanakan sejak dahulu kala oleh petani di berbagai daerah dengan berbagai macam iklim, jenis tanah dan sistem pengelolaan. Jenis tanaman yang diusahakan sangat bervariasi, misalnya buah-buahan, kayu bangunan, kayu bakar, getah, pakan, sayuran, umbi dan biji-bijian. Pengelolaan sistem agroforestri berbeda-beda antar petani. Tindakan pemupukan, pengolahan tanah, penyiangan, pemangkasan dan pemberantasan hama dan penyakit sangat tergantung pada ketersediaan modal, tenaga kerja dan budaya. Adanya perbedaan pengelolaan tersebut mengakibatkan perbedaan kuantitas dan kualitas produksi agroforestri, walaupun sistem agroforestri yang diusahakan mungkin mempunyai komponen yang sama.

Pengelolaan sistem agroforestri cukup kompleks karena menggabungkan bidang kajian ilmu kehutanan dengan pertanian, serta memadukan usaha kehutanan dengan pembangunan pedesaan untuk menciptakan keselarasan antara intensifikasi pertanian dan pelestarian hutan. Keberhasilan penerapan agroforestri menuntut adanya pemahaman yang mendalam tentang komponen yang terlibat dalam agroforestri, serta interaksi komponen tersebut. Interaksi antar komponen tersebut, atau dengan kata lain "*interaksi antara pohon dengan tanaman semusim atau dengan pohon lainnya*", merupakan satu aspek yang tidak mudah dikaji. Pengkajian proses interaksi melalui percobaan lapangan membutuhkan biaya banyak dan waktu yang lama. Cakupan studi atau percobaan yang masih terbatas, serta keragaman lingkungan yang tinggi mengakibatkan suatu hasil penelitian pada suatu tempat tidak selalu dapat diterapkan di tempat yang berbeda.

Penggunaan model merupakan salah satu pilihan untuk memahami sistem agroforestri secara efisien dan ekonomis. Pemodelan agroforestri mampu memperhitungkan pengaruh kondisi lokasi yang beragam dan menghasilkan keluaran yang mendekati kenyataan. Usaha pemahaman terhadap sistem agroforestri dapat dilakukan melalui pendekatan langsung secara empiris. Pendekatan ini sering dilakukan petani yaitu dengan langsung mencoba, mengamati dan membuktikannya di lahannya sendiri. Pendekatan ini mungkin dapat memberikan hasil yang akurat, namun sulit diterapkan pada penelitian formal. Pendekatan empiris untuk penelitian formal akan membutuhkan jumlah pengukuran yang sangat banyak, sehingga sulit untuk dilaksanakan dan tidak efisien. Tersedianya model simulasi ini akan mempermudah petani dalam mengambil keputusan dan memperbaiki strategi pengelolaan lahannya di masa yang akan datang.

Model merupakan penjabaran sederhana dari berbagai bentuk hubungan dan interaksi antar komponen dalam suatu sistem. Bila bentuk hubungan ini diketahui dengan baik, maka dapat disusun menjadi suatu persamaan matematis untuk menjabarkan berbagai asumsi yang ada. Hasil dari pendugaan model umumnya masih berupa 'hipotesis' yang harus diuji kebenarannya pada 'dunia yang nyata'. Hubungan antara model dan langkah-langkah pengujiannya disajikan secara skematis pada Gambar 1.

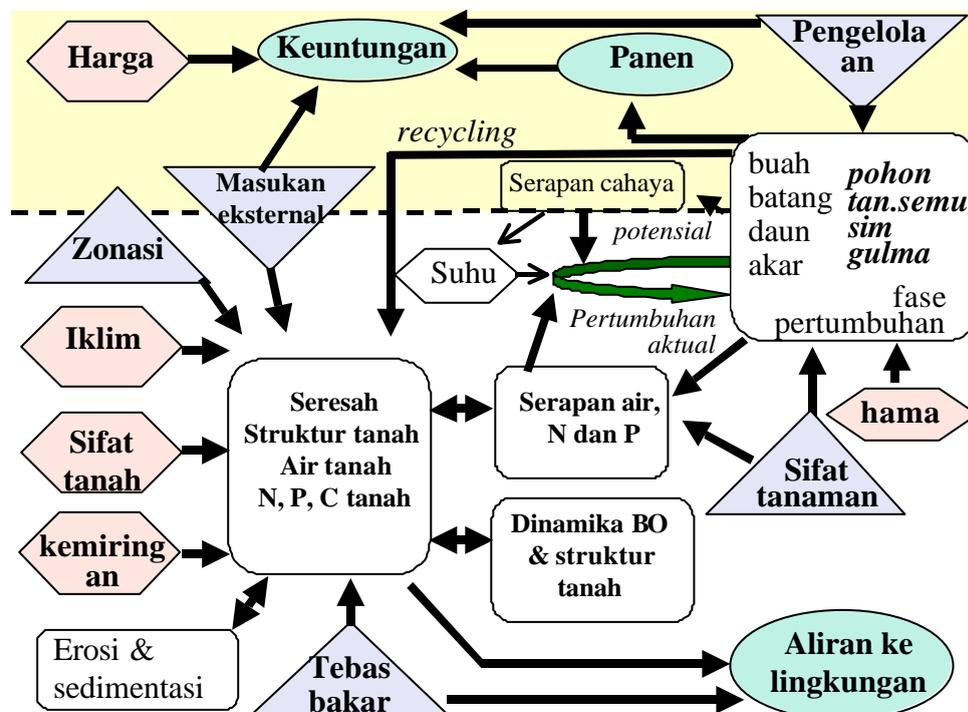


Gambar 1. Langkah-langkah kegiatan pemodelan.

Hasil yang diperoleh melalui pendugaan model tidak selalu sejalan dengan kenyataan yang ada di lapangan. Bila terjadi perbedaan, maka ada dua hal yang harus dilakukan:

- Memeriksa ulang struktur model, termasuk nilai parameter-parameter yang dipergunakan untuk mengawali pemodelan dan konsistensi internal model (apakah keluarannya sejalan dengan asumsi-asumsi yang ada), atau
- Memeriksa ulang cara pengukuran parameter di lapangan, dengan memperhatikan faktor-faktor yang mempengaruhinya secara seksama.

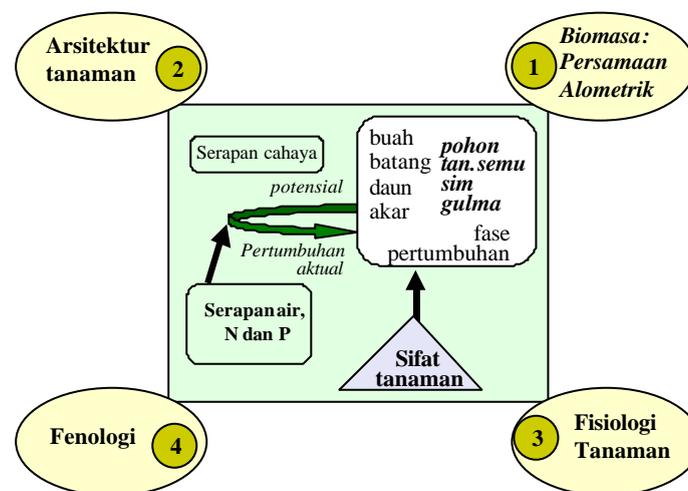
Model agroforestri yang dibicarakan di sini membahas masalah biofisik yang berhubungan dengan interaksi antara “pohon- tanah-tanaman semusim” pada berbagai macam sistem agroforestri. Model ini juga dapat digunakan untuk menganalisis keuntungan dan kerugian yang timbul akibat berubahnya suatu pengelolaan serta proses-proses yang terlibat di dalamnya (Gambar 2).



Gambar 2. Beberapa proses dasar yang terlibat dalam model Agroforestri (Box berbentuk hexagon = variabel masukan eksternal; segitiga = keputusan yang diambil oleh petani; elips (lonjong) = keluaran yang diharapkan).

Dari gambar tersebut terlihat bahwa ada 4 kelompok utama yang menyusun model agroforestri yaitu tanaman, tanah, cara pengelolaan dan produksi. Komponen-komponen yang terlibat dalam agroforestri yang digambarkan secara skematis dalam Gambar 2 selanjutnya dapat dikaji secara terpisah, sebagai berikut:

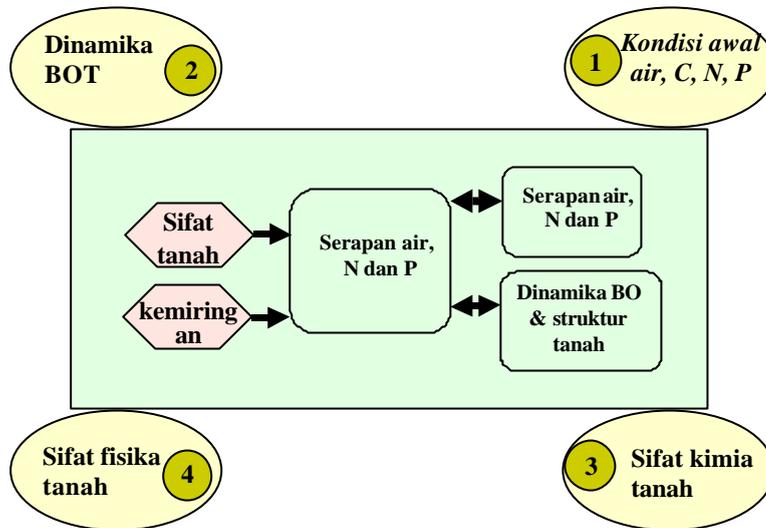
- **Komponen Tanaman** (Gambar 3). Semua tanaman memiliki karakteristik umum yang sama, yaitu dapat tumbuh dan memiliki batang, daun, akar dan sebagainya. TETAPI mereka mempunyai karakteristik yang berbeda-beda, ada yang berdaun lebar, ada yang berdaun sempit, ada yang merambat, ada yang tumbuh tegak lurus; ada yang merontokkan daunnya selama musim kemarau dan ada pula yang hijau sepanjang tahun. Distribusi daun dalam tajukpun berbeda-beda. Perbedaan morfologis ini mengakibatkan kebutuhan air, hara dan cahaya berbeda, baik ditinjau dari jumlah, jenis dan waktu membutuhkannya. Dengan demikian, interaksi antar tanaman dapat diduga dengan memanfaatkan pengetahuan pada (1) besarnya biomasa tanaman, yang dapat diduga melalui pengembangan persamaan allometrik berdasarkan pengukuran diameter batang dan tinggi tanaman; (2) arsitektur tanaman, baik bagian bawah tanah (akar) maupun bagian atas tanah, misalnya distribusi daun secara spasial dalam tajuk yang ditopang oleh batang dan cabang; (3) fisiologi tanaman, yang berhubungan dengan respon tanaman terhadap cekaman internal maupun eksternal; alokasi karbohidrat dalam tanaman; (4) fenologi, yang berhubungan dengan respon pertumbuhan tanaman terhadap perubahan lingkungan external dan internal. Misalnya daun gugur, pembentukan tunas baru dan sebagainya..



Gambar 3. Proses-proses yang berhubungan dengan pertumbuhan tanaman dan pengetahuan-pengetahuan dasar yang dibutuhkan.

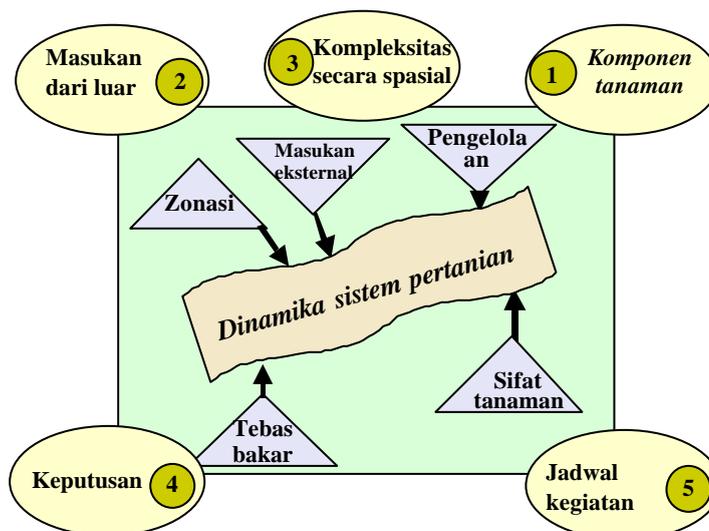
Komponen tanah (Gambar 4). Semua tanah tersusun atas air, mineral, bahan organik dan udara. Yang membedakan suatu tanah dengan tanah yang lain adalah jumlah dan komposisi keempat penyusun tersebut. Letak di dalam profil tanah juga berbeda-beda. Untuk memahami fungsi tanah sebagai media tumbuh tanaman dalam sistem agroforestri, beberapa pengetahuan dasar yang dibutuhkan antara lain: 1) kandungan air tanah, C, N dan P tersedia pada kondisi awal simulasi; 2) dinamika bahan organik tanah (BOT), hubungan transformasi BO dengan kandungan liat tanah; 3) sifat-sifat kimia tanah, misalnya

ketersediaan hara dalam larutan tanah, adsorpsi dan desorpsi hara oleh mineral liat, 4) sifat-sifat fisika tanah, misalnya distribusi air ke arah horisontal maupun vertikal di dalam profil tanah setelah hujan dan dan serapan air oleh akar tanaman.



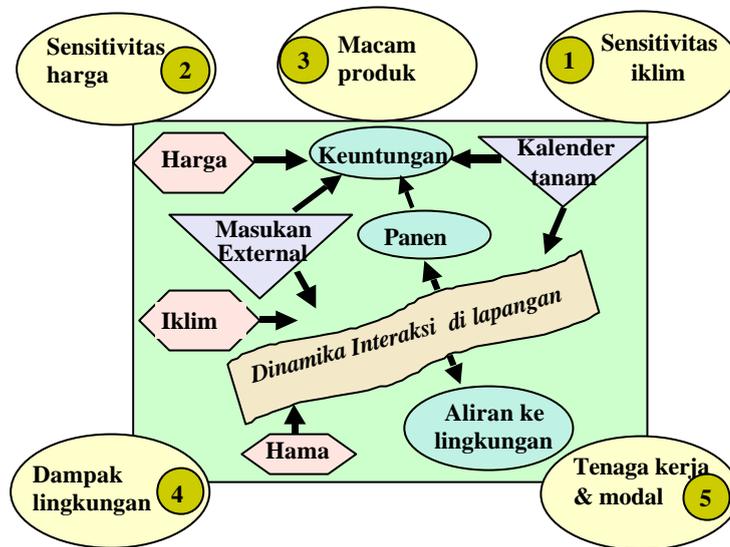
Gambar 4. Proses-proses yang berhubungan dengan peran tanah sebagai media tumbuh tanaman dan pengetahuan-pengetahuan dasar yang dibutuhkan.

- **Cara pengelolaan** (Gambar 5). Semua sistem pertanian mempunyai tujuan yang sama yaitu memperoleh produksi tanaman yang optimum. Namun cara pengelolaan sistem pertanian sangat bervariasi. Perbedaan pengelolaan itu meliputi perbedaan teknik penyediaan lahan, sifat tanaman yang ditanam, posisi/pengaturannya di dalam petak, pemupukan, pemangkasan dan kalender tanamnya, dll. Pemilihan cara pengelolaan yang tepat memerlukan pengetahuan dasar tentang 1) tanaman penyusunnya: jenis pohon, tanaman semusim dan gulma yang tumbuh; 2) pemupukan: penggunaan pupuk organik atau anorganik; (3) heterogenitas atau kompleksitas lahan secara spasial; (4) pengambilan keputusan: berdasarkan aturan baku dan disesuaikan dengan kondisi lapangan, (5) Jadwal kegiatan yang meliputi tanggal tanam, pengolahan tanah, pemupukan, penyiangan, panen dan sebagainya.



Gambar 5. Proses-proses yang berhubungan dengan pengelolaan lahan dalam sistem agroforestri dan pengetahuan-pengetahuan dasar yang dibutuhkan.

Produksi Tanaman (Gambar 6). Semua sistem pertanian menghasilkan produk, tetapi berbeda dalam pengelolaan dan keuntungan yang diperoleh, sensitivitas terhadap hama dan lingkungan. Untuk memahami hal ini diperlukan pengetahuan dasar tentang: 1) kepekaan terhadap variabilitas iklim dan hama; 2) kepekaan terhadap fluktuasi harga; 3) macam produk; 4) dampak lingkungan seperti aliran air dan hara dalam tanah, emisi gas rumah kaca, cadangan karbon; dan 5) ketersediaan modal dan tenaga kerja untuk melaksanakan keputusan yang diambil.



Gambar 6. Proses-proses yang berhubungan dengan produk yang diperoleh dalam sistem agroforestri dan pengetahuan-pengetahuan dasar yang dibutuhkan.

Dari uraian di atas, menarik untuk dipelajari bahwa pada dasarnya semua sistem agroforestri mempunyai sifat yang sama bila dikelola berdasarkan masukan yang sama. Dengan demikian semua sistem agroforestri dapat disederhanakan dalam suatu model. Pada saat ini tersedia banyak model simulasi agroforestri yang telah dikembangkan oleh berbagai ilmuwan. Dalam memilih model harus disesuaikan dengan keperluan dan tujuannya. Salah satu ciri dari model simulasi yang baik adalah *'user friendliness'* (kemudahan bagi para pemakainya). Beberapa kriterianya disajikan pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Beberapa tujuan menggunakan simulasi model dan konsep *'user friendliness'*.

No	Tujuan	Konsep <i>'user friendliness'</i> ini ditentukan oleh:
1.	Menggunakan hasil pendugaan seperti apa adanya (seperti bila anda membaca berita koran tentang ramalan ekonomi di masa yang akan datang) karena diperoleh kesan baik tentang asumsi dan keluaran model tersebut.	Asumsi yang jelas dan keluaran hasil yang menarik dan mudah dimengerti.
2.	Menggunakan parameter-parameter baru untuk menjalankan model tersebut dan mencoba menginterpretasikan keluarannya pada kondisi tertentu.	Mudah dijalankan dan memiliki nilai parameter input yang lengkap untuk berbagai kondisi.
3.	Menggunakan model untuk kondisi dan sistem baru, melakukan analisis sensitivitasnya dan membuat rencana penelitian di masa yang akan datang serta pengukuran-pengukurannya di lapangan.	Dapat diterapkan pada berbagai macam sistem
4.	Memodifikasi model dengan menambahkan struktur tambahan yang mencerminkan hipotesis-hipotesis baru.	Fleksibel/ mudah dimodifikasi

Pada seri 'lecture note' ini peserta ditargetkan untuk mencapai target tujuan 1, 2,3 dan mungkin 4 dari tabel tersebut di atas. Pengetahuan dasar akan interaksi di atas dan di dalam tanah sangat diperlukan untuk mencapai tujuan tersebut. Setiap model tentu saja dapat diperlakukan sebagai 'kotak hitam' dan anda dapat mencoba untuk mempelajari perilakunya seperti seorang petani yang sering mencoba-coba teknik pengelolaan di lahannya. Model WaNuLCAS ini disusun dari beberapa komponen yang masing-masing dapat dipelajari secara terpisah-pisah sehingga akan mempermudah pemahamannya. Selamat bekerja.