

PENGGUNAAN MODEL WaNuLCAS UNTUK MANAJEMEN TUMPANG SARI PADA PERKEBUNAN KARET

Application of WaNuLCAS Model for Intercropping Management on Rubber Plantation

Andi Nur Cahyo

Balai Penelitian Sembawa, PO Box 1127, Palembang 30001, Indonesia

Email: nurcahyo.andi@yahoo.co.uk

Diterima tanggal 10 November 2014/Direvisi tanggal 6 Maret 2015/Disetujui tanggal 12 Maret 2015

Abstrak

Salah satu model yang dapat digunakan untuk mensimulasikan interaksi antara pohon dan atau tanaman semusim dalam kaitannya dengan penggunaan air, unsur hara, dan sinar matahari dalam suatu sistem tumpang sari pada perkebunan karet adalah model WaNuLCAS. Model ini dapat digunakan untuk mengevaluasi sistem tumpang sari secara keseluruhan sebelum pengaplikasian di lapangan, sehingga sangat berguna untuk menekan biaya yang lebih besar apabila percobaan tumpang sari dilakukan secara langsung di lapangan. Model ini terdiri atas dua komponen, yaitu file Wanulcas.xlsx dalam format Excel untuk input data dan file Wanulcas.stm yang ditulis dalam program Stella untuk menjalankan model WaNuLCAS tersebut. Beberapa macam data mengenai iklim, karakteristik tanah, manajemen kebun, dan karakteristik pohon serta tanaman yang akan dibudidayakan diperlukan untuk menjalankan model ini. Sebelum digunakan untuk menjalankan suatu skenario, kalibrasi dan validasi diperlukan untuk memastikan bahwa data keluaran dari model ini tidak jauh berbeda dengan data hasil pengamatan di lapangan. Model ini telah digunakan sebelumnya pada beberapa penelitian dan disimpulkan dapat digunakan sebagai alat untuk memprediksi pertumbuhan dan hasil beberapa macam tanaman dengan keluaran yang logis, namun masih memerlukan perbaikan pada beberapa bagian.

Kata kunci : WaNuLCAS, tumpang sari, karet, model pertumbuhan tanaman.

Abstract

One of models that can be used for simulation of interaction between tree and or crop on the utilization of water, nutrient, and sun light under rubber intercropping system is WaNuLCAS model. This model can be used for evaluation of whole intercropping system before application in the field, therefore this model is very useful to minimize a highly cost if the real experiment is conducted directly in the field. This model consist of two components, namely Wanulcas.xlsx in Excel® format to input data and Wanulcas.stm in Stella® format to run the model. Several data such as climate, field management, and also characteristics of soil, trees, and plants are needed to run this model. Before simulation of the scenario, some calibrations and validations are also needed to be conducted to ensure that the model outputs are fit with the data observed from the field. This model has been used for several researches. They concluded that this model can be used as a tool to predict growth and yield of several crop with reasonable output, but still need some improvements in some parts.

Keywords: WaNuLCAS, intercropping, rubber, crop growth model.

Pendahuluan

WaNuLCAS (*Water, Nutrient, and Light Capture in Agroforestry System*) adalah suatu model untuk mensimulasikan pertumbuhan dan hasil suatu tanaman dalam suatu sistem agroforestri atau tumpang sari antara beberapa jenis pohon/tanaman tahunan dengan tanaman semusim (Van Noordwijk dan Lusiana, 1999; World Agroforestry System, 2012). Model ini dapat digunakan untuk

memprediksi pertumbuhan dan hasil dari tanaman yang ditumpang sarikan berdasarkan karakteristik tanaman tahunan/semusim yang dibudidayakan, tanah, iklim, dan manajemen budidaya tanaman. Oleh karena itu model ini sangat bermanfaat untuk mengatur manajemen budidaya tanaman dalam suatu sistem tumpang sari sehingga diperoleh produktivitas lahan yang optimum.

Salah satu tanaman yang dapat disimulasikan pertumbuhannya oleh WaNuLCAS adalah tanaman karet. Model WaNuLCAS dapat digunakan untuk mengetahui teknik manajemen lingkungan/pemeliharaan yang tepat agar pertumbuhan dan hasil tanaman karet dapat optimal. Selain itu, dengan WaNuLCAS, pertanaman karet juga dapat disimulasikan untuk dibudidayakan bersamaan dengan beberapa tanaman semusim sebagai tanaman sela. Keberadaan tanaman sela bermanfaat untuk mengoptimalkan penggunaan lahan, air, dan sinar matahari sehingga hasil yang didapat juga akan optimal, terutama bila keberadaan air lahan karet berlebihan pada bulan-bulan tertentu.

Secara umum tanaman karet memerlukan curah hujan sekitar 125 mm/bulan dengan distribusi yang merata sepanjang tahun untuk mencapai pertumbuhan yang optimal (Rao dan Vijayakumar, 1992; Vijayakumar *et al.* 1998). Pada musim hujan, curah hujan di Indonesia dapat mencapai lebih dari 200 mm/bulan. Karena itu, pada musim hujan, kelebihan air dapat dimanfaatkan untuk konsumsi tanaman sela. Pengaturan manajemen budidaya tanaman karet dan tanaman sela ini dapat disimulasikan dulu menggunakan WaNuLCAS sehingga hasil yang didapatkan akan optimal.

Dalam budidaya tanaman karet, model ini dapat digunakan untuk menentukan jarak tanam optimum tanaman karet dan tanaman sela serta pengaturan kultur teknis lainnya. Penanaman tanaman sela sangat penting bagi petani karena dapat memberikan pendapatan tambahan sebelum tanaman karet dipanen. Tumpang sari adalah penanaman dua jenis tanaman atau lebih pada lahan dan waktu yang

sama, sehingga kerapatan tanaman per hektar meningkat (Xin dan Tong, 1986; Gao *et al.* 2009).

Penelitian tentang tumpang sari antara karet yang dilakukan oleh Rosyid *et al.* (1997) menunjukkan bahwa tumpang sari antara tanaman karet dengan pisang, nenas, dan cabai dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman karet. Rosyid *et al.* (1998) juga merekomendasikan bahwa tanaman tomat, lada, kacang tunggak, jagung, dan kedelai dapat digunakan sebagai tanaman sela karet. Penelitian lain juga menunjukkan bahwa pertumbuhan tanaman karet belum menghasilkan tidak terpengaruh dengan keberadaan tanaman sela (Rodrigo *et al.* 2005). Selain itu, dalam suatu sistem tumpang sari, sumber daya alam seperti lahan, nutrisi tanah, air, dan sinar matahari dapat dimanfaatkan secara lebih efektif (Willey, 1990; Rodrigo *et al.* 2001; Gao *et al.* 2009).

Pada sistem tumpang sari antara karet dan tanaman semusim, biasanya tanaman karet lebih tinggi dari pada tanaman sela. Oleh karena itu, keberhasilan dari tumpang sari antara karet dan tanaman sela sangat tergantung pada penetrasi radiasi sinar matahari pada tajuk karet. Secara umum, tajuk tanaman karet terutama setelah berumur tiga tahun sangat lebat untuk meneruskan radiasi sinar matahari kepada tanaman sela. Cahyo *et al.* (2011) menemukan bahwa di bawah tajuk tanaman karet menghasilkan, hanya sekitar 20% cahaya matahari yang diteruskan oleh tajuk tanaman karet. Dalam suatu sistem pertanaman tumpang sari, efisiensi penggunaan cahaya akan meningkat, namun apabila tanaman di bawah tajuk ternaungi terlalu banyak, laju pertumbuhan tanaman akan berkurang (Rodrigo *et al.* 2001; Rodrigo *et al.* 2004).

Banyak hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan iklim mikro yang dipengaruhi oleh keberadaan tanaman sela ternyata mempunyai pengaruh yang positif terhadap fotosintesis dan pertumbuhan tanaman karet (Nugawela, 1989; Rodrigo *et al.* 1997; Rodrigo *et al.* 2000; Rodrigo *et al.* 2001; Rodrigo *et al.* 2005). Beberapa hasil penelitian

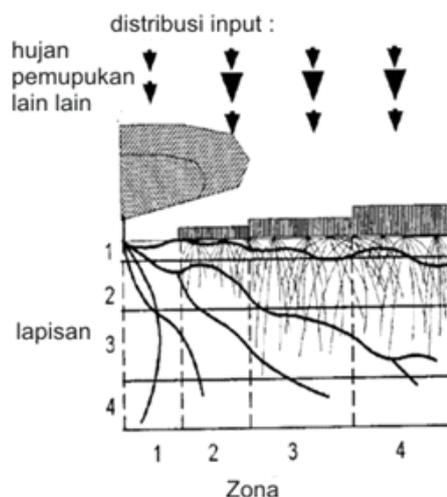
lainnya juga menunjukkan bahwa dengan sistem tumpang sari diperoleh peningkatan efisiensi penggunaan radiasi matahari (Tsubo *et al.* 2001; Awal *et al.* 2006; Gao *et al.* 2009), efisiensi penggunaan nutrisi tanah (Benites *et al.* 1993; Li *et al.* 2001; Rowe *et al.* 2005; Gao *et al.* 2009), efisiensi penggunaan air (Reddy dan Willey, 1981; Morris dan Garrity, 1993; Mandal *et al.* 1996; Walker dan Ogindo, 2003; Gao *et al.* 2009), dan efisiensi penggunaan lahan (Dhima *et al.* 2007; Zhang *et al.* 2007; Gao *et al.* 2009). Rodrigo *et al.* (2005) juga menemukan bahwa tanaman karet yang ditumpang sarikan dengan tanaman sela dapat mencapai matang sadap empat bulan lebih cepat dari pada tanaman karet yang ditanam secara monokultur.

Dalam tumpang sari antara karet dan tanaman sela, terjadi peningkatan kerapatan tanaman per hektar apabila dibandingkan dengan monokultur karet. Dengan meningkatnya kerapatan tanaman per hektar, pengaturan jarak tanam karet dan tanaman sela menjadi sangat penting. Kerapatan tanaman yang terlalu tinggi akan mengakibatkan terjadinya persaingan yang tinggi antar tanaman dalam mendapatkan air, nutrisi, serta cahaya dari lingkungan.

Model WaNuLCAS ini dapat digunakan untuk mengevaluasi sistem tumpang sari secara keseluruhan sebelum pengaplikasian di lapangan. Dengan adanya evaluasi ini diharapkan kombinasi terbaik antara spesies tanaman dan kultur teknis yang paling sesuai dapat diperoleh untuk mengoptimalkan produktivitas lahan. Tulisan ini merupakan ulasan tentang cara penggunaan model WaNuLCAS. Dengan menggunakan model WaNuLCAS, akan diperoleh informasi tentang budidaya karet dengan tanaman sela yang efisien sehingga dapat menekan pembiayaan dalam penelitian mengenai tanaman sela karet.

Model WaNuLCAS

Model WaNuLCAS terdiri atas dua komponen, yaitu file Excel® dengan beberapa *spreadsheet* input dan file WaNuLCAS yang ditulis dalam program Stella®. Stella® merupakan *software* untuk membangun model dan memvisualisasikan suatu sistem (Van Noordwijk *et al.* 2004; Michalczyk, 2008). Dalam model ini, sistem agroforestri digambarkan dengan empat lapisan vertikal profil tanah dengan empat zona spasial horizontal, di mana siklus neraca air dan nitrogen pohon terjadi (Gambar 1).

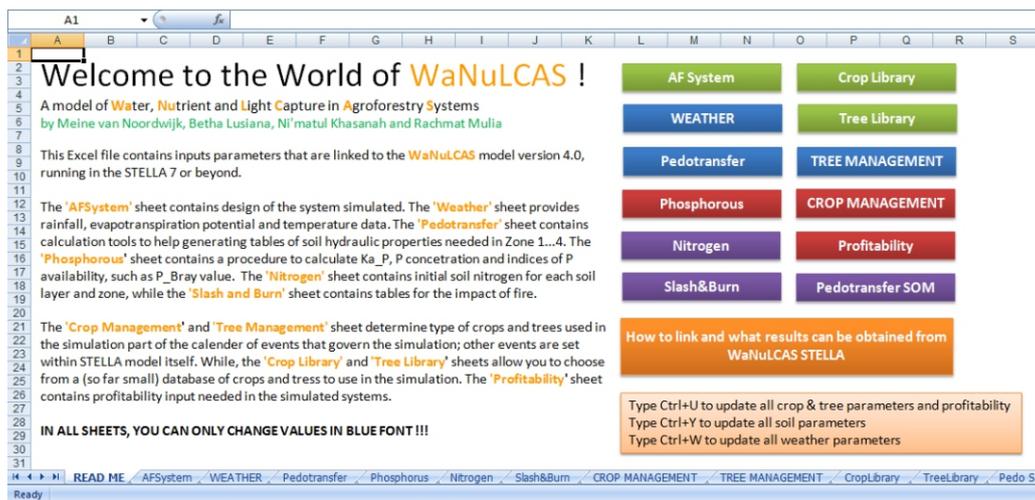


Gambar 1. Tata letak dari pembagian zona lahan dan lapisan tanah dalam model WaNuLCAS (Van Noordwijk dan Lusiana, 1999).

Kedalaman dan lebar dari tiap zona dapat diatur sesuai dengan keadaan sistem yang akan disimulasikan. Model ini juga dilengkapi dengan fasilitas pengaturan jarak tanam, pengaturan pemangkasan, dan pilihan beberapa spesies pohon dan tanaman. Berbagai karakteristik pohon seperti distribusi akar dinamis, bentuk kanopi (di atas empat zona spasial), laju pertumbuhan maksimum, dan kecepatan pemulihan setelah pemangkasan tersedia dalam model ini (Van Noordwijk dan Lusiana, 1999).

File untuk *input* data (WaNuLCAS.xlsm) mempunyai *link* dengan dengan model WaNuLCAS, sehingga data yang ditulis dalam file Wanulcas.xlsm akan terbaca dan diolah oleh model WaNuLCAS. Dalam file

Wanulcas.xlsm tersebut terdapat beberapa *worksheet* untuk *input* data diantaranya adalah *Agroforestry System*, *Weather*, *Pedotransfer*, *Phosphorus*, *Nitrogen*, *Slash & Burn*, *Crop Management*, *Crop Library*, *Tree Library*, *Profitability* dan *Pedotransfer SOM* (Gambar 2). Masing-masing *worksheets* dalam Wanulcas.xlsm tersebut berfungsi untuk *input* data agroforestri, iklim, manajemen budidaya tanaman, karakteristik tanah dan spesies pohon serta tanaman sela yang akan digunakan, serta informasi-informasi lainnya. Model WaNuLCAS ini dapat diunduh secara gratis melalui website World Agroforestry Centre (<http://www.worldagroforestry.org/sea/index.php?q=node/193>).

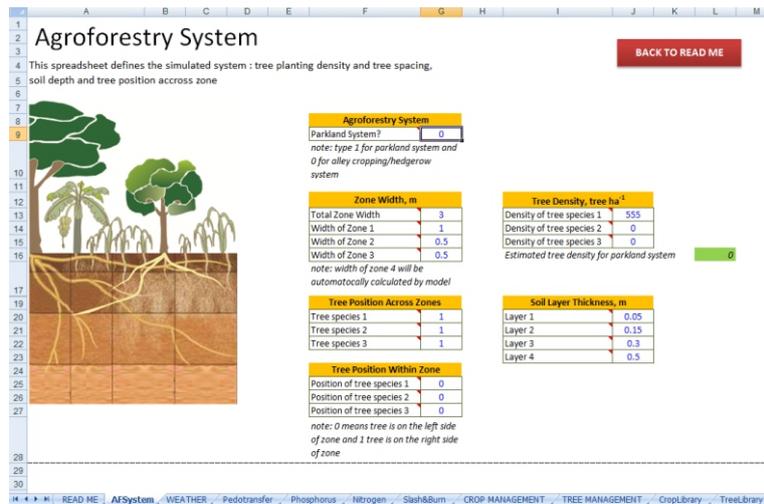


Gambar 2. Tampilan *worksheet read me* dalam file Wanulcas.xlsm.

Untuk mensimulasikan sistem tumpang sari menggunakan model WaNuLCAS, pengaturan posisi pohon sebagai tanaman utama dan tanaman semusim sebagai tanaman sela dapat dilakukan misalnya dengan menempatkan tanaman utama pada zona satu dan tanaman sela pada zona dua hingga empat (Gambar 1). Dalam kaitannya dengan simulasi tumpang sari, pengaturan lebar dari tiap zona ditujukan untuk mengoptimalkan penggunaan air, nutrisi, dan cahaya untuk tiap tanaman. Selain pengaturan posisi tanaman utama dan

tanaman sela dalam setiap zonanya, pengaturan lainnya juga harus dilakukan pada ketebalan setiap lapisan tanah pada lahan yang digunakan untuk melakukan tumpang sari tersebut. Pengaturan ketebalan lapisan tanah dalam model ini dilakukan berdasarkan profil tanah di lahan tersebut. Pengaturan lebar tiap zona (jarak tanam), tebal setiap lapisan tanah, posisi pohon dalam setiap zona, dan kerapatan tanaman dapat diatur dalam *worksheet Agroforestry System* yang tersedia dalam Wanulcas.xlsm (Gambar 3).

Penggunaan model WaNuLcas untuk manajemen tumpang sari pada perkebunan karet

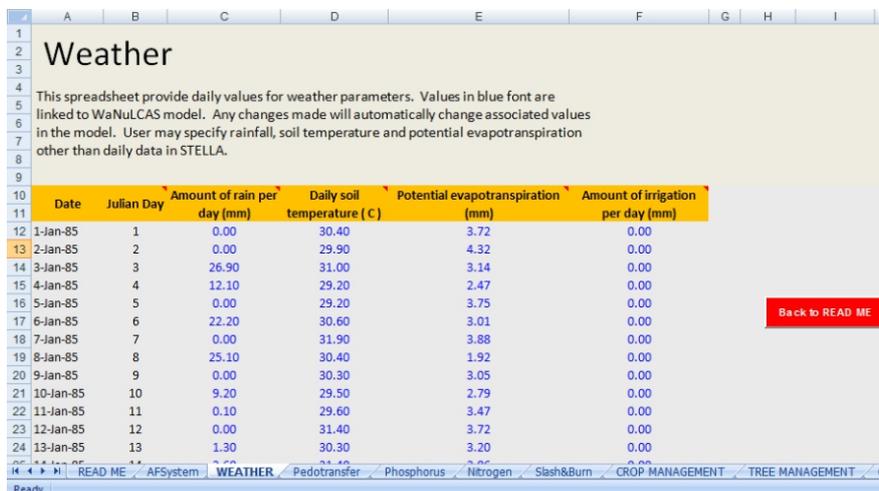


Gambar 3. Tampilan *worksheet* Agroforestry System dalam file Wanulcas.xlsm.

Worksheet Agroforestry System ini berguna untuk melakukan simulasi penggunaan berbagai jarak tanam yang berbeda dalam perkebunan karet maupun komoditi lainnya. Hal ini sangat bermanfaat dalam meningkatkan efisiensi biaya penelitian dibandingkan apabila percobaan jarak tanam dilakukan di lapangan. Jarak tanam dalam barisan yang ditentukan dalam model ini diinputkan dalam kolom *Total Zone Width*, sedangkan jarak tanam antar barisan akan dihitung secara otomatis oleh model berdasarkan kerapatan tanam per hektar yang telah ditentukan.

Data selanjutnya yang perlu diinputkan ke dalam model WaNuLCAS adalah data iklim. Data iklim ini dapat diinputkan dalam *worksheet Weather* (Gambar 4).

Untuk data iklim, model WaNuLCAS membutuhkan input berupa data harian dari parameter curah hujan (mm), temperatur tanah (°C), dan evapotranspirasi potensial (mm). Data curah hujan dan evapotranspirasi potensial digunakan dalam perhitungan neraca air. Secara lengkap, neraca air yang digunakan dalam WaNuLCAS tersaji dalam Tabel 1 (van Noordwijk, 2011).



Gambar 4. Tampilan *worksheet* Weather dalam file Wanulcas.xlsm.

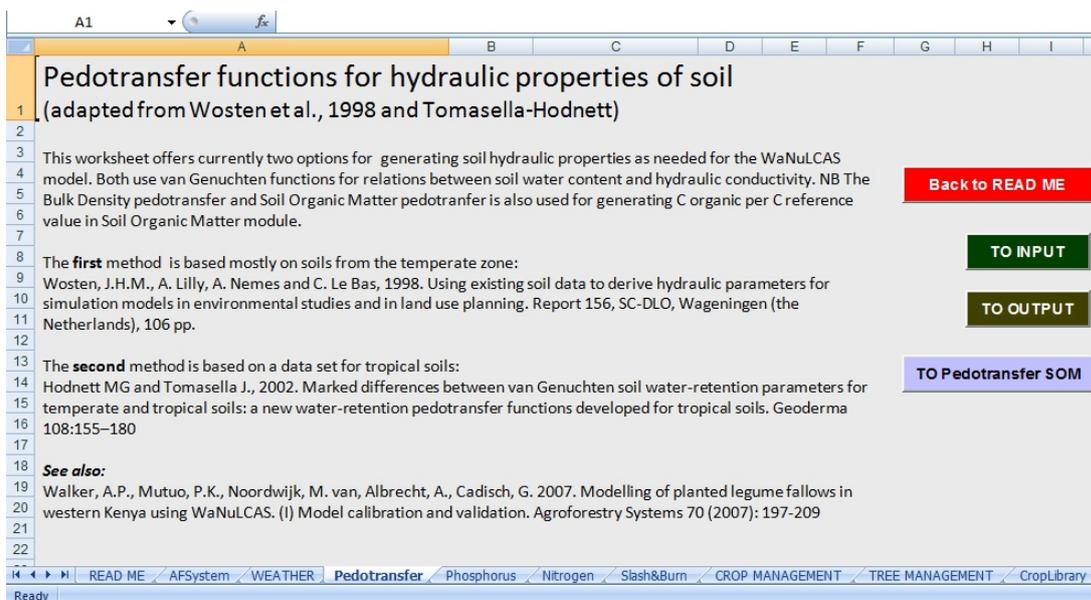
Tabel 1. Neraca air dalam model WaNuLCAS.

Air masuk	Air keluar
Kadar air tanah awal	Kadar air tanah akhir
<i>Run-on</i>	<i>Run-off</i>
<i>Lateral inflow</i>	Drainase dari profil tanah sebelah bawah dan <i>lateral outflow</i>
Hujan	Penguapan dari tanah
Irigasi	Penguapan dari air yang masuk.
	Transpirasi dari pohon, tanaman, dan gulma.

Berdasarkan perhitungan neraca air tersebut, apabila air yang masuk ke dalam sistem lebih banyak dari pada air yang keluar, maka akan terjadi fenomena yang disebut *water logging*. *Water logging* ini menyebabkan daerah perakaran menjadi jenuh air sehingga akan mengganggu pertumbuhan tanaman. Hal ini dapat terjadi karena akar yang terendam akan terjadi gangguan dalam penyerapan O₂ dari dalam pori tanah karena aerasi yang terganggu. Sairam *et al.* (2009); Susilawati *et al.* (2011) menyebutkan bahwa kekurangan oksigen karena *water logging* akan menggeser metabolisme energi dari aerob menjadi anaerob sehingga menurunkan kemampuan tanaman dalam menyerap air.

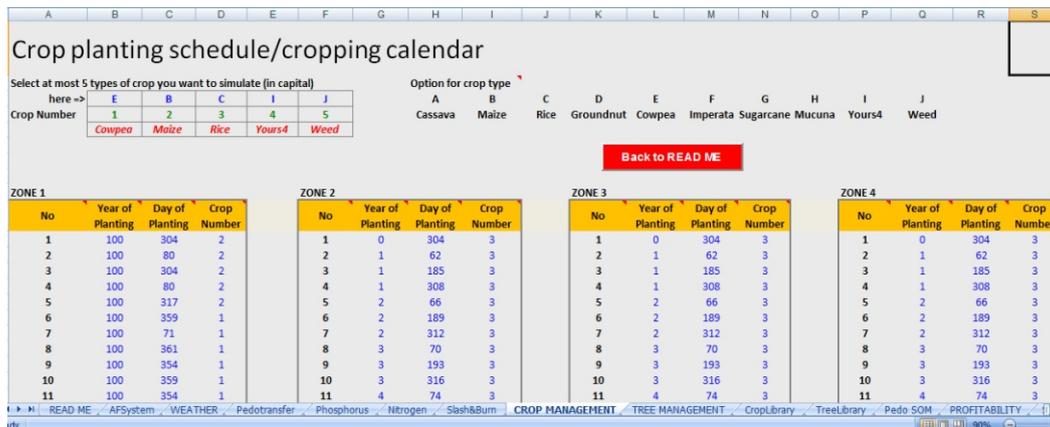
Faktor lain yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman adalah karakteristik tanah. Dalam model WaNuLCAS, data karakteristik tanah dimasukkan ke dalam model melalui *worksheet Pedotransfer* (Gambar 5). Beberapa data karakteristik tanah yang diperlukan dalam model ini diantaranya adalah profil, tekstur, berat volume, C organik, unsur P, KTK, dan pH tanah.

Input data selanjutnya yang diperlukan untuk menjalankan model WaNuLCAS adalah *Crop* (Gambar 6) dan *Tree Management* (Gambar 7).

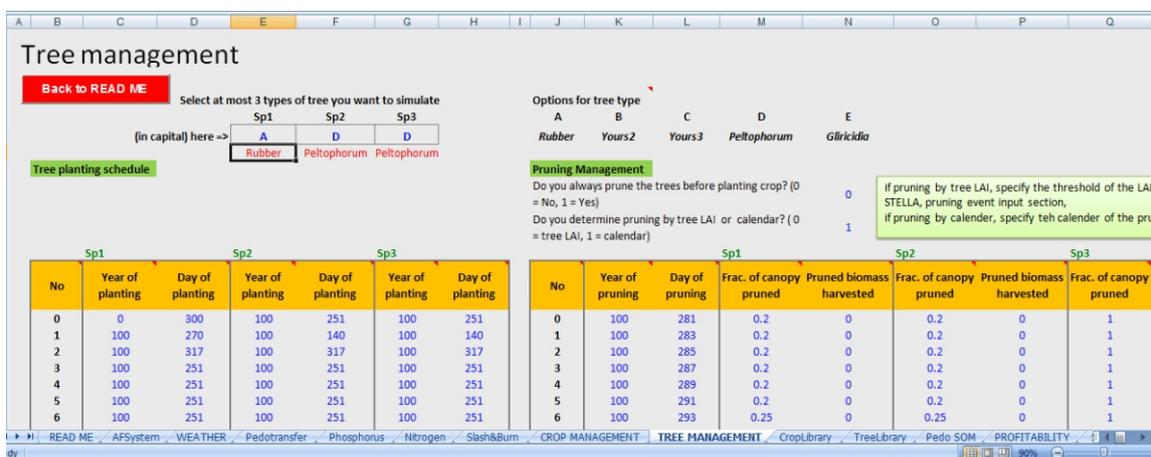


Gambar 5. Tampilan *worksheet Pedotransfer* dalam file Wanulcas.xlsm.

Penggunaan model WaNuLCas untuk manajemen tumpang sari pada perkebunan karet



Gambar 6. Tampilan *worksheet Crop Management* dalam file Wanulcas.xls.



Gambar 7. Tampilan *worksheet Tree Management* dalam file Wanulcas.xls.

Worksheet Crop dan *Tree Management* digunakan untuk memasukkan informasi tentang nama spesies pohon dan jenis tanaman yang akan ditanam, waktu penanaman, jumlah dan waktu pemberian pupuk, pola tanam, serta beberapa informasi manajemen tanaman lainnya. Informasi yang berkaitan dengan waktu (misalnya kalender pola tanam, penanaman dan pemupukan) dimasukkan dalam format waktu mengikuti perhitungan *Julian days*, misalnya tanggal 1 Januari dihitung sebagai tanggal 1, sedangkan tanggal 31 Desember dihitung sebagai tanggal 365. Dalam model WaNuLCAS ini dimungkinkan untuk mensimulasikan tiga jenis pohon sekaligus dalam satu sistem tumpang sari/agroforestri.

Setelah data yang diperlukan selesai diinputkan dalam file Wanulcas.xls dan *macros* dalam Excel® diaktifkan, data dalam file Wanulcas.xls tersebut dapat dihubungkan ke dalam model WaNuLCAS yang dibuka menggunakan program Stella® dengan menggunakan beberapa kombinasi tombol. Sebagai contoh Ctrl+U untuk memperbaharui parameter tanaman, pohon, dan profitabilitas. Selain itu, Ctrl+Y dan Ctrl+W berturut-turut untuk memperbaharui data karakteristik tanah dan iklim.

Sebelum simulasi dari skenario yang dibuat dijalankan, terlebih dahulu harus dilakukan validasi dan kalibrasi data untuk membandingkan antara keluaran WaNuLCAS dengan data hasil pengamatan di

lapangan. Apabila keluaran WaNuLCAS mendekati data hasil pengamatan di lapangan, maka model WaNuLCAS tersebut dapat digunakan untuk mensimulasikan skenario manajemen budidaya tanaman yang akan dilaksanakan. Dalam kegiatan kalibrasi dan validasi data, beberapa metode perbandingan dua kelompok data dapat digunakan, misalnya *Pearson Correlation Coefficient* (R), *Goodness-of-Match* (GOM) (Lippe *et al.* 2007; Michalczyk, 2008), dan *Root Mean Square Error* (RMSE) (Loague dan Green, 1991; Khasanah *et al.* 2008). Rumus dari beberapa metode di atas adalah sebagai berikut :

$$GOM_{total} = \left(\frac{\sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \right)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}) (P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}}$$

$$RMSE = \left[\sum_{i=1}^n \frac{(P_i - \bar{O})^2}{n} \right]^{0.5} \times \frac{100}{\bar{O}}$$

- dimana,
 GOM = *Goodness of Match*
 R = *Pearson correlation coefficient*
 RMSE = *Root Mean Square Error*
 Pi = data hasil simulasi
 Oi = data hasil pengamatan di lapangan
 n = jumlah sampel

Aplikasi WaNuLCAS dalam Beberapa Penelitian

Model WaNuLCAS ini telah digunakan sebelumnya dalam suatu penelitian sistem

agroforestri karet dan akasia (Khasanah *et al.* 2008) dan tebu (Pinto *et al.* 2005). Selain itu, Wise dan Cacho (2005) menggunakan model ini untuk mensimulasikan interaksi pohon-tanaman dan implikasinya dari segi lingkungan dan ekonomi dalam hubungannya dengan pembayaran serapan karbon (Wise dan Cacho, 2005). Michalczyk (2008) juga menggunakan model ini untuk memodelkan pertumbuhan dan hasil buah mangga di Thailand Bagian Utara dengan beberapa perlakuan irigasi.

Khasanah *et al.* (2008) menyatakan bahwa WaNuLCAS dapat dipergunakan untuk eksplorasi jarak tanam terbaik tanaman karet yang ditanam secara monokultur maupun campuran dengan pohon lain, misalnya *Acacia mangium*. Penanaman campuran antara *Acacia mangium* dengan karet menyebabkan jangka waktu untuk mencapai matang sadap tanaman karet terhambat apabila kedua jenis tanaman tersebut ditanam dalam waktu yang bersamaan. Selain itu, juga disampaikan bahwa jika penanaman *Acacia mangium* dilakukan setelah tanaman karet berumur lima tahun, pertumbuhan tanaman karet tidak akan terpengaruh oleh keberadaan *Acacia mangium*.

Cahyo *et al.* (2013) menemukan bahwa dengan mensimulasikan data hasil penelitian tanaman sela oleh Wibawa *et al.* (1999) dengan menggunakan WaNuLCAS, diperoleh hasil bahwa nilai hasil simulasi WaNuLCAS mendekati nilai yang teramati (nilai sebenarnya). Hasil simulasi tersebut dapat dilihat dalam Tabel 2.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa model WaNuLCAS dapat digunakan untuk mensimulasikan tumpang sari antara tanaman

Tabel 2. Pengamatan dan simulasi hasil tanaman sela padi, jagung, dan kacang tunggak yang ditumpang sarikan dengan karet selama tiga tahun pertama penanaman karet.

Tahun penanaman tanaman sela	Hasil padi (ton/ha)		Hasil jagung (ton/ha)		Hasil kacang tunggak (ton/ha)	
	Pengamatan	Simulasi	Pengamatan	Simulasi	Pengamatan	Simulasi
I	1,80	1,90	0,89	0,78	1,24	1,21
II	1,70	1,40	0,52	0,58	1,16	1,07
III	1,00	1,00	0,31	0,34	0,61	0,61

karet dengan beberapa tanaman sela dengan hasil yang cukup akurat.

Penelitian yang dilakukan oleh Michalczyk (2008) menunjukkan bahwa penggunaan WaNuLCAS menghasilkan keluaran yang masuk akal, tetapi nilai dari keluarannya tergantung dari kerapatan tanam pohon daripada pengaruh dari tanaman selanya. Keluaran WaNuLCAS yang masuk akal juga dilaporkan oleh Suprayogo (2003) yang menyatakan bahwa WaNuLCAS menghasilkan data hasil simulasi yang mendekati data pengamatan di lapangan untuk parameter biomassa tanaman jagung dan kacang tanah yang ditanam secara monokultur.

Model WaNuLCAS juga digunakan oleh Pinto *et al.* (2005) untuk mengeksplorasi interaksi biofisik dan performa dari sistem agroforestri antara karet, tebu, dan eucalyptus dalam jangka panjang di Brazil dan juga untuk memverifikasi kesesuaian model WaNuLCAS dalam perhitungan sistem agroforestri sebagai tata guna lahan alternatif. Simulasi ini menunjukkan bahwa dalam suatu sistem agroforestri, kompetisi yang kuat antara pohon terjadi karena keberadaan cahaya matahari dan kadar air tanah yang terbatas.

Yahya (2006) menyebutkan bahwa model WaNuLCAS yang telah dikembangkan menunjukkan kemampuan yang baik dalam memprediksi pertumbuhan dan hasil tanaman karet dalam sistem agroforestri tanaman karet yang berbeda. Yahya (2006) juga menyarankan bahwa angka *default* dari setiap karakteristik tanaman utama untuk setiap klon sebaiknya dibedakan mengingat bahwa variasi karakter dari setiap klon sangat luas.

Boithias *et al.* (2012) juga menyampaikan bahwa model ini dapat digunakan sebagai pendekatan dalam mengidentifikasi kunci perbaikan dari produksi tanaman karet di daerah kering. Oleh karena itu WaNuLCAS telah digunakan untuk mensimulasikan penggunaan air, pertumbuhan, dan hasil lateks dari tanaman karet di daerah dengan keterbatasan air di daerah timur laut Thailand. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa WaNuLCAS mampu untuk mensimulasikan

fluktuasi harian dan musiman dari kadar air tanah, transpirasi tanaman karet, pertumbuhan batang, dan hasil lateks dalam rentang yang masuk akal. Oleh karena itu model WaNuLCAS dapat digunakan sebagai model pertumbuhan tanaman untuk mensimulasikan penggunaan air, pertumbuhan, dan hasil dari tanaman karet, tetapi modul dari neraca air tanah dan transpirasi tanaman perlu dikembangkan lagi.

Kesimpulan

Penggunaan model yang dapat mensimulasikan pertumbuhan dan hasil tanaman dalam sistem tumpang sari dapat digunakan untuk menekan biaya penelitian yang lebih besar apabila penelitian tumpang sari tersebut dilakukan semuanya secara langsung di lapangan. Salah satu model yang dapat digunakan untuk mensimulasikan tumpang sari antara karet dengan beberapa tanaman semusim adalah WaNuLCAS.

Beberapa penelitian menggunakan WaNuLCAS menyimpulkan bahwa model ini dapat mensimulasikan pertumbuhan dan hasil beberapa tanaman dengan akurasi keluaran yang baik, namun masih memerlukan perbaikan pada beberapa bagian.

Daftar Pustaka

- Awal, M.A., H. Koshi, and T. Ikeda. 2006. Radiation interception and use by maize/peanut intercrop canopy. *Agric. For. Meteorol.* 139: 74–83.
- Benites, J. R., R. E. Mc Collum, and G. C. Naderman. 1993. Production efficiency of intercrops relative to sequentially planted sole crops in a humid tropical environment. *Field Crops Res.* 31: 1–18.
- Boithias, L., F. C. Do, S. I. N. Ayutthaya, J. Junjitakarn, S. Siltecho, and C. Hammecker. 2012. Transpiration, growth, and latex production of a *Hevea brasiliensis* stand facing drought in northeast Thailand: The use of the WaNuLCAS model as an explanatory tool. *Experimental Agriculture* 48(1): 49–63

- Cahyo, A. N., R. Ardika, and Thomas. 2011. Water consumption and rubber production on various plant spacing arrangement system and their relationship with soil water content. *Indonesian Journal of Natural Rubber Research* 29(2):110 - 117.
- Cahyo, A. N., M. S. Babel, S. Shrestha, A. Datta, K. C. Prasad, and R. S. Clemente. 2013. Evaluation of Land and Water Productivity of Rubber Plantation using the WaNuLCAS Model in South Sumatra, Indonesia. Master Thesis. Asian Institute of Technology. 69 p.
- Dhima, K.V., A. S. Lithourgidis, I. B. Vasilakoglou, and C. A. Dordas. 2007. Competition indices of common vetch and cereal intercrops in two seeding ratio. *Field Crops Res.* 100: 249–256
- Gao, Y., A. Duan, J. Sun, F. Li, Z. Liu, H. Liu, and Z. Liu. 2009. Crop coefficient and water-use efficiency of winter wheat/spring maize strip intercropping. *Field Crops Research* (111): 65–73
- Khasanah, N., T. Wijaya, T. June, B. Lusiana, and M. Van Noordwijk. 2008. Growth of rubber (*Hevea brasiliensis*) in monoculture and mixed systems with *Acacia mangium* a case study in Sembawa, South Sumatra: II. Simulation using WaNuLCAS Model. *Indonesian J. Nat. Rubb. Res.* 26 (1): 49–64
- Li, L., J. H. Sun, F. S. Zhang, X. L. Li, S. C. Yang, and Z. Rengel. 2001. Wheat/maize or wheat/soybean strip intercropping I. Yield advantage and interspecific interactions on nutrients. *Field Crops Res.* 71, 123–137
- Lippe, M., N. V. Dung, T. D. Ven, T. T. Kien, T. Hilger, and G. Cadisch. 2007. WaNuLCAS Modelling of improved swidden agriculture systems by indigenous fallow management with *Melia azedarach* in the uplands of Ban Tat, Northern Vietnam. University of Hohenheim Hanoi Agricultural University, Deutscher Tropentag 2007, Kassel
- Loague, K. and R. E. Green. 1991. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: Overview and application. *J. Contaminant Hydrol* 7: 51 – 73
- Mandal, B. K., D. Das, A. Saha, and M. Mohasin. 1996. Yield advantage of wheat (*Triticum aestivum*) and chickpea (*Cicer arietinum*) under different spatial arrangements in intercropping. *Indian J. Agron.* 41 (1):17–21
- Michalczyk, A. 2008. Parameterisation and modelling of growth and yield development of mango (*Mangifera indica* L.) in North Thailand with application of the WaNuLCAS Model. Master Thesis. Humboldt-Universitat Zu Berlin Faculty of Agriculture and Horticulture. 66 p.
- Morris, R. A. and D. P. Garrity. 1993. Resource capture and utilization in intercropping water. *Field Crops Res.* 34: 303–317
- Nugawela, A. 1989. Gas exchange characteristic of Hevea genotypes and their use in selection for crop yield. Ph. D. thesis, University of Essex, U.K.
- Pinto, L.F.G., M.S. Bernardes, M. Van Noordwijk, A.R. Pereira, B. Lusiana, and R. Mulia. 2005. Simulation of agroforestry systems with sugarcane in Piracicaba, Brazil. *Agricultural Systems* 86: 275–292
- Rao, P. S. and K. R. Vijayakumar, 1992. Climatic requirements. In: Sethuraj, M.R., Mathew, N.M. Eds., *Natural rubber: biology, cultivation and technology*. Elsevier, London
- Reddy, M. S. and R. W. Willey. 1981. Growth and resource use studies in an intercrop of pearl millet/groundnut. *Field Crops Res.* 4: 13–24
- Rodrigo, V. H. L. 1997. Population density effects on light and water use of rubber/banana interculture systems of Sri Lanka. Ph.D. thesis. University of Wales. United Kingdom
- Rodrigo, V. H. L., A. Nugawela, A. Sivanathan, W. R. G. Witharama, and W. K. Jayasinghe. 2000. Rubber cum sugarcane intercropping a suitable cropping system for the farmers in the intermediate zone of Sri Lanka. *J. Rubber Res. Inst. Sri Lanka* 83: 62–74

- Rodrigo, V. H. L., C. M. Stirling, T. U. K. Silva, and P. D. Pathirana. 2005. The growth and yield of rubber at maturity is improved by intercropping with banana during the early stage of rubber cultivation. *Field Crops Research* 91:23–33
- Rodrigo, V. H. L., C. M. Stirling, Z. Teklehaimanot, and A. Nugawela. 2001. Intercropping with banana to improve fractional interception and radiation-use efficiency of immature rubber plantations. *Field Crops Res.* 69: 237–249
- Rodrigo, V. H. L., T. U. K. Silva, and E.S. Munasinghe. 2004. Improving the spatial arrangement of planting rubber (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) for long-term intercropping. *Field Crops Research* 89: 327–335
- Rosyid, M. J., G. Wibawa, and A. Gunawan. 1997. Rubber based farming systems development for increasing small-holder' income in Indonesia. In: Proceedings of the symposium on farming system aspects of the cultivation of natural rubber (*Hevea brasiliensis*). International Rubber Research and Development Board. Srilanka. p 17–24
- Rosyid, M. J., G. Wibawa, and A. Gunawan. 1998. Rubber Based Farming Systems Development for Increasing Smallholders Income in Indonesia. In: Proceeding of the international rubber research and development board symposium. Phuket, Thailand.
- Rowe, E. C., M. V. Noordwijk, D. Suprayogo, and G. Cadisch. 2005. Nitrogen use efficiency of monoculture and hedgerow intercropping in the humid tropics. *Plant Soil* 268: 61–74
- Sairam, R., K. D. Kumutha, and K. Ezhilmathi. 2009. Waterlogging tolerance: nonsymbiotic haemoglobin-nitric oxide homeostatis and antioxidants. *Curr. Sci.* 96 (5): 674–682
- Suprayogo, D., Widiyanto, G. Cadish, and M. van Noordwijk. 2003. A Pedotransfer resource database (PTFRDB) for tropical soils: test with the water balance of WaNuLCAS. In: D. Post (ed) MODSIM proceedings, July 2003, Townsville, Australia
- Susilawati, R.A., Suwignyo, Munandar, dan M. Hasmeda. 2011. Anatomi akar dan karakter agronomi tanaman cabai merah (*Capsicum annum* L.) pasca tergenang. Prosiding Semirata Bidang Ilmu-Ilmu Pertanian BKS-PTN Wilayah Barat Tahun 2011. Palembang
- Tsubo, M., S. Walker, and E. Mukhala. 2001. Comparisons of radiation use efficiency of mono-/inter-cropping systems with different row orientations. *Field Crops Res.* 71: 17–29
- van Noordwijk, M. and B. Lusiana. 1999. WaNuLCAS, a model of water, nutrient and light capture in agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 43: 217–242
- van Noordwijk, M., B. Lusiana, and N. Khasanah. 2004. WaNuLCAS version 3.1, Background on a model of water nutrient and light capture in agroforestry systems. International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF), Bogor, Indonesia
- van Noordwijk, M., B. Lusiana, N. Khasanah, and R. Mulia. 2011. Wanulcas 4.0, Background on a model of water, nutrient and light capture in agroforestry systems. International Centre for Research in Agroforestry, Bogor, Indonesia, 224 p.
- Vijayakumar, K. R., S.K. Dey, T.R. Chandrasekhar, A.S. Devakumar, T. Mohankrishna, P. S.Rao, and M.R. Sethuraj. 1998. Irrigation requirement of rubber trees (*Hevea brasiliensis*) in the subhumid tropics. *Agricultural Water Management* 35: 245–259
- Walker, S., and H. O. Ogindo. 2003. The water budget of rainfed maize and bean intercrop. *Phys. Chem. Earth* 28: 919–926

- Wibawa, G. A. Gunawan, and M. J. Rosyid. 1999. Pola tumpang sari berbasis karet sebagai alternatif potensial untuk mengembangkan karet rakyat di Sumatera Selatan. Prosiding Seminar Nasional Pertanian Terpadu: Pengembangan Pertanian Terpadu Melalui Pemberdayaan Pemuda dalam Rangka Ekonomi Kerakyatan. Palembang. 73–92
- Willey, R. W. 1990. Resource use in intercropping systems. *Agric. Water Management* 17: 215–231
- Wise, R and O. Cacho. 2005. Tree–crop interactions and their environmental and economic implications in the presence of carbon-sequestration payments. *Environmental Modelling & Software* 20: 1139–1148
- World Agroforestry System. 2012. WaNuLCAS, a model of water, nutrient and light capture in agroforestry Systems. <http://www.worldagroforestry.org/sea/Wanulcas>. Accessed on September 13, 2012
- Xin, N. Q. and P. Y. Tong. 1986. Multiple cropping system and its development orientation in China (a review). *Sci. Agric. Sinica* 4: 88–92
- Yahya, A. K. 2006. The use of model in the rubber agroforestry system – A testing for WaNuLCAS. IRRDB Meeting and Annual Conference. Ho Chi Minh City, Vietnam
- Zhang, L., W. van der Werf, S. Zhang, B. Li, and J. H. J. Spiertz. 2007. Growth, yield and quality of wheat and cotton in relay strip intercropping systems. *Field Crops Res.* 103: 178–188