

**POTENSIAL AIR DAUN dan EFISIENSI PENGGUNAAN  
CAHAYA dalam SISTEM KARET (*Hevea brasiliensis*)  
MONOKULTUR dan KARET CAMPURAN dengan  
AKASIA (*Acacia mangium*)**

**NI'MATUL KHASANAH  
G251060011**



**SEKOLAH PASCA SARJANA  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2008**

## **PERNYATAAN MENGENAI THESIS DAN SUMBER INFORMASI**

Dengan ini saya menyatakan bahwa thesis **potensial air daun dan efisiensi penggunaan cahaya dalam sistem karet (*Hevea brasiliensis*) monokultur dan karet campuran dengan akasia (*Acacia mangium*)** adalah karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang dikutip dari karya yang diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dalam Daftar Pustaka dibagian akhir thesis ini.

Bogor, Agustus 2008

Ni'matul Khasanah  
G251060011

## ABSTRACT

**Ni'matul Khasanah. G251060011. Water Status and Radiation Environment in Rubber (*Hevea brasiliensis*) Systems: A comparison between monoculture and mixed rubber-*Acacia mangium*. Under supervisory of Dr. Tania June and Dr. Thomas Wijaya.**

Interplanting of *Acacia mangium* within rubber (*Hevea brasiliensis*) plot may be an attractive option for smallholder rubber farmers in the tropics to increase their land productivity. Indeed, economic prospect for timber is good as timber resource in natural forest has become severely depleted and particularly so in Sumatra where this study is conducted.

Light competition with rubber trees may occur as *A. mangium* being a very fast growing tree species. Thus, careful planting timing and management of *A. mangium* is probably required to reduce light competition with rubber trees. Furthermore a large portion of rubber planted area in Indonesia is subject to two or more dry months, water competition may occur in such condition. Competition for water use between tree species in periods of low rainfall may be another constraint to growth of the rubber tree. In other word, light and water competition are two forms of competition which can not be prevented in having mixed systems of *H. brasiliensis* – *A. mangium*.

This study compares a series of growth response, either morphological or physiological parameters measured on rubber trees grown either in monoculture (6 x 3.3 m and 6 x 2 x 14 m) or mixed with *A. mangium* (3 x 3 x 17 m). In the fifth year after plot establishment, variation in the growth of rubber was analyzed in relation to leaf water potential (LWP), light interception by canopy and light use efficiency (LUE). LWP was used as an indicator of plant water status, but also as indicator of competitive strength.

Predawn LWP of rubber shows significant differences between rainy and dry season. LWP of *A. mangium* is much lower than rubber. However, LWP of rubber under different systems studied does not show any consistent difference. On the other hand, even though the LUE of rubber trees in mixed systems with *A. mangium* does not show significant different compare to monoculture systems, but the biomass and light intercepted of rubber trees in mixed systems with *A. mangium* was significantly smaller compare to monoculture systems. Thus, the net effect of *A. mangium* on depressing rubber growth is likely to be primarily caused by shading.

Result of WaNuLCAS model simulation shows that management option to have delay of planting of *A. mangium* to the planting of *H. brasiliensis* shows significantly effect on the growth of *H. Brasiliensis*. If delay of planting of *A. mangium* reaches 5 years, year of tapping of *H. brasiliensis* almost the same to the monoculture systems. Planting *A. mangium* on the same year with *H. brasiliensis* or having delay of planting of *A. mangium* less than 5 years should be follows by harvesting of *A. mangium*. The longer delay of planting of *A. mangium*, the faster *H. brasiliensis* reach year of tapping but the longer year of harvesting *A. mangium*.

## ABSTRAK

**Ni'matul Khasanah. G251060011. Potensial air daun dan efisiensi penggunaan cahaya dalam sistem karet (*Hevea brasiliensis*) monokultur dan karet campuran dengan akasia (*Acacia mangium*). Dibawah bimbingan Dr. Tania June and Dr. Thomas Wijaya.**

Penanaman pohon kayu-kayuan seperti akasia (*Acacia mangium*) di sela-sela karet (*Hevea brasiliensis*) merupakan salah satu pilihan yang menarik bagi petani untuk meningkatkan produktivitas lahan. Disamping mampu meningkatkan produktivitas lahan, secara ekonomi, penanaman jenis kayu-kayuan mempunyai harapan yang sangat bagus mengingat produksi kayu dari hutan alami telah mengalami penurunan terutama di Sumatera dimana studi ini dilakukan.

*A. mangium* merupakan jenis pohon dengan kecepatan tumbuh tinggi (*fast growing tree*), hal ini memberikan resiko terjadinya kompetisi cahaya dengan *H. brasiliensis*. Dengan demikian dibutuhkan pengaturan waktu tanam dan pengelolaan yang tepat untuk mengurangi kompetisi cahaya dengan *H. brasiliensis*. Lebih lanjut, sebagian besar kebun karet di Indonesia terletak pada daerah dengan dua atau lebih bulan kering, menimbulkan resiko terjadinya kompetisi air. Pada periode curah hujan rendah, kompetisi air antara *A. mangium* dan *H. brasiliensis* merupakan bentuk kompetisi lain yang terjadi yang dapat menghambat pertumbuhan *H. brasiliensis*. Dengan kata lain, kompetisi cahaya dan air merupakan bentuk kompetisi yang tidak dapat dihindari dalam sistem penanaman campuran antara *H. brasiliensis* dengan *A. mangium*.

Studi ini membandingkan respon pertumbuhan, baik secara morfologi maupun fisiologi, dari *H. brasiliensis* dalam sistem monokultur (6 x 3.3 m dan 6 x 2 x 14 m) dan campuran dengan *A. mangium* (3 x 3 x 17 m). Studi ini dilakukan pada tahun kelima setelah penanaman dengan difokuskan pada analisa variasi pertumbuhan *H. brasiliensis* diantara *A. mangium* dalam kaitannya dengan potensial air daun (LWP), intersepsi cahaya oleh kanopi dan efisiensi penggunaan cahaya (LUE). LWP daun disamping digunakan untuk mengetahui status air tanaman juga digunakan sebagai indikator adanya kompetisi.

LWP dari *H. brasiliensis* menunjukkan perbedaan yang nyata antara musim kering dan musim hujan. LWP dari *A. mangium* lebih rendah dibandingkan dengan *H. brasiliensis*, namun demikian baik pada musim kering maupun musim hujan LWP dari *H. brasiliensis* pada sistem yang berbeda tidak menunjukkan adanya perbedaan. Disisi lain, walaupun LUE dari *H. brasiliensis* pada sistem campuran dengan *A. mangium* tidak menunjukkan perbedaan dengan sistem monokultur namun intersepsi cahaya dan biomasa pohon dari *H. brasiliensis* pada plot campuran dengan *A. mangium* secara nyata lebih rendah dibandingkan dengan pada plot monokultur. Dengan demikian, lebih rendahnya pertumbuhan *H. brasiliensis* dalam plot campuran dengan *A. mangium* secara nyata disebabkan oleh adanya naungan dari *A. mangium*.

Hasil simulasi WaNuLCAS model menunjukkan bahwa dengan melakukan penundaan penanaman *A. mangium* memberikan pengaruh yang nyata terhadap pertumbuhan *H. brasiliensis*. Umur sadap *H. brasiliensis* mendekati umur sadap dalam sistem penanaman monokultur, jika penanaman *A. mangium* ditunda hingga 5 tahun. Penanaman *A. mangium* secara bersamaan dengan *H. brasiliensis* atau penundaan penanaman *A. mangium* dibawah 5 tahun dapat dibarengi dengan penebangan *A. mangium*. Penundaan penanaman *A. mangium* mempercepat umur sadap *H. brasiliensis*, namun memperlambat umur pemanenan *A. mangium*.

Kata kunci: efisiensi penggunaan cahaya, intersepsi cahaya oleh kanopi, pertumbuhan pohon, potensial air daun, sistem campuran.

**© Hak cipta milik IPB, tahun 2008**

**Hak cipta dilindungi**

Dilarang mengutip dan memperbanyak tanpa izin tertulis dari  
Institut Pertanian Bogor, sebagian atau seluruhnya dalam  
bentuk apa pun, baik cetak, fotokopi, mikrofilm dan sebagainya.

**POTENSIAL AIR DAUN dan EFISIENSI PENGGUNAAN  
CAHAYA dalam SISTEM KARET (*Hevea brasiliensis*)  
MONOKULTUR dan KARET CAMPURAN dengan  
AKASIA (*Acacia mangium*)**

**NI'MATUL KHASANAH  
G251060011**

Tesis  
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Magister Sains pada  
Departemen Geofisika dan Meteorologi

**SEKOLAH PASCA SARJANA  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2008**

Penguji Luar Komisi pada Ujian Thesis: Prof. Dr. Ir. Yonny Koesmaryono, MS.



Judul Tesis : POTENSIAL AIR DAUN dan EFISIENSI PENGGUNAAN  
CAHAYA dalam SISTEM KARET (*Hevea brasiliensis*)  
MONOKULTUR dan KARET CAMPURAN dengan AKASIA  
(*Acacia mangium*)

Nama : Ni'matul Khasanah

NIM : G251060011

Menyetujui  
Komisi Pembimbing

Dr.Ir. Tania June, MSc  
Ketua

Dr. Ir. Thomas Wijaya, MSc  
Anggota

Mengetahui  
Ketua Program Studi Geofisika dan Meteorologi      Dekan Sekolah Pascasarjana

Dr. Ir. Sobri Effendi, Msi

Prof. Dr. Ir. Khairil A. Notodiputro, MS

Tanggal kelulusan:

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala karuniaNya sehingga karya ilmiah “**potensial air daun dan efisiensi penggunaan cahaya dalam sistem karet (*Hevea brasiliensis*) monokultur dan karet campuran dengan akasia (*Acacia mangium*)**” berhasil diselesaikan. Penelitian ini merupakan bagian dari proyek "Improving the Productivity of Rubber Smallholding through Rubber Agroforestry Systems" yang didanai oleh CFC (Common Funds for Commodities) yang dilakukan oleh World Agroforestry Centre South East Asia Regional Program (ICRAF-SEA), Bogor.

Penelitian ini dilakukan di kebun percobaan Pusat Penelitian Karet, Balai Penelitian Sembawa, Desa Sembawa, Kecamatan Banyuasin III, Kabupaten Banyuasin, Sumatera Selatan dan di ICRAF – SEA Bogor, berlangsung pada bulan Mei 2006 – April 2007 dan merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Sains pada Departemen Geofisika dan Meteorologi.

Terima kasih yang sebesar-besarnya patut diberikan kepada banyak pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan dalam proses penyusunan thesis ini:

1. **Dr.Ir. Tania June, MSc.** (IPB) selaku pembimbing I atas kesabaran dalam membimbing, diskusi pada pengolahan data dan masukan dan koreksi demi kesempurnaan tulisan ini.
2. **Dr. Ir. Thomas Wijaya, MSc.** (Balai Penelitian Sembawa, Pusat Penelitian Karet) selaku pembimbing II, atas kesabaran dalam membimbing, diskusi pada pengolahan data dan masukan dan koreksi yang sangat detail demi kesempurnaan tulisan ini, juga support untuk mempresentasikan preliminary result dari tulisan ini dalam International Natural Rubber Conference di Ho Chi Minh, Vietnam.
3. **Laxman Joshi** (ICRAF-SEA) selaku project manager dari proyek "Improving the Productivity of Rubber Smallholding through Rubber Agroforestry Systems" yang didanai oleh CFC (Common Funds for Commodities) atas kesempatan yang diberikan dan pembiayaan dalam melakukan penelitian dalam tulisan ini dan juga support dana pada saat penulis mengikuti International Natural Rubber Conference.
4. **Sunarso, Marsidi, Sutiman dan Supriyadi** (Balai Penelitian Sembawa, Pusat Penelitian Karet) yang telah rela bangun pagi-pagi buta untuk menenami penulis melakukan pengukuran potensial air daun dan juga segala bentuk bantuannya selama pengumpulan data-data lain terutama pada saat penulis tidak berada di lapangan.
5. **Gregoire Vincent** (IRD) atas diskusi-diskusi dan masukan pada saat akan dilakukan penelitian ini dan diskusi selama pengolahan data.

6. **Gede Wibawa** (LRPI) atas diskusi-diskusi dan masukan pada saat akan dilakukan penelitian ini dan izin menggunakan data pertumbuhan pohon sebelum periode penelitian ini.
7. **Meine van Noordwijk** (ICRAF-SEA) atas diskusi-diskusinya selama pengolahan data, masukan pada penyajian data dan masukan pada bagian pemodelan WaNuLCAS.
8. Temen-teman di Ecological Modelling Unit (EMU) ICRAF-SEA Bogor, **Rudy H Widodo** atas diskusi-diskusinya sebelum penulis berangkat ke lapangan, **Degi Harja Asmara** atas diskusi-diskusinya selama pengolahan data, **Betha Lusiana** atas dorongannya untuk segera menyelesaikan tulisan ini dan juga masukan pada penyajian bagian model WaNuLCAS, **Subekti Rahayu** atas bantuan urusan administrasi kantor di Bogor pada saat penulis berada di lapangan dan **Rahmat Mulia** atas bantuan pada pengolahan data Leaf Area Index.
9. **Andree Ekadinata** di Spatial Analyst Unit (SAU) ICRAF-SEA Bogor atas bantuannya dalam pembuatan peta informasi lokasi penelitian.
10. Temen-teman di Balai Penelitian Sembawa, **Fetrina Oktavia** yang sudah menemani hari-hari selama penulis berada dilapangan, **Sigit, Febi dan Umi** yang sudah mau berbagi ruangan selama penulis berada dilapangan.
11. **Erica Purwandini** dan **Maghfira syarifuddin** (AGK 2006) yang sudah membantu kelancaran pelaksanaan seminar hasil dan pada saat ujian akhir.

Akhir kata, semoga penelitian ini dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan bagi pihak yang berkepentingan dalam perencanaan pengelolaan penanaman karet dalam kaitannya dengan upaya meningkatkan produktifitas lahan dengan cara penanaman dengan spesies lain dan memberikan kontribusi terhadap ilmu pengetahuan dalam memahami pengelolaan penanaman campuran karet dengan pohon kayu-kayuan dalam kaitannya dengan kompetisi cahaya dan air.

## **RIWAYAT HIDUP**

Penulis dilahirkan di Gresik, Jawa Timur pada tanggal 28 Februari 1976 sebagai anak keempat dari bapak Ach. Dahkan dan ibu Mas Ruchiyah. Pendidikan Strata Satu (S1) ditempuh di Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya Malang dan diselesaikan pada tahun 1999.

Selesai dengan pendidikan strata satu, penulis terlibat dalam pengerjaan beberapa proyek di Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya dan pada tahun 2002 penulis diterima bekerja di World Agroforestry Centre (ICRAF) Bogor. Pada tahun 2006 penulis mendapatkan kesempatan dan diterima untuk melanjutkan Pendidikan Strata Dua (S2) di Program Studi Klimatologi Terapan, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.

Bersamaan dengan proses diselesaikannya tulisan ini, preliminary result dari studi ini juga dibuat paper dan dipresentasikan penulis dalam International Natural Rubber Conference di Ho Chi Minh, Vietnam pada November 2006.

## DAFTAR ISI

<b>DAFTAR TABEL</b> .....	iii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	iv
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	vi
<b>I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Hipotesa Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
<b>II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	4
2.1 Karakteristik Tanaman.....	4
2.1.1 <i>Hevea brasiliensis</i> .....	4
2.1.2 <i>Acacia mangium</i> .....	5
2.2 Potensial Air Daun.....	6
2.3 Efisiensi Penggunaan Cahaya.....	8
2.3.1 Intersepsi cahaya.....	8
2.3.2 Efisiensi penggunaan cahaya.....	10
2.4 Model WaNuLCAS.....	12
2.4.1 Komponen-komponen model WaNuLCAS.....	13
2.4.2 Masukan model WaNuLCAS.....	17
2.4.3 Keluaran model WaNuLCAS.....	18
<b>III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	19
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	19
3.2 Metode Penelitian.....	19
3.2.1 Rancangan percobaan.....	19
3.2.2 Pengambilan data.....	20
3.2.3 Simulasi model WaNuLCAS.....	23
3.3 Analisis Data.....	27

3.3.1 Analisis keragaman.....	27
3.3.2 Potensial air daun.....	27
3.3.3 Efisiensi penggunaan cahaya.....	27
<b>IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>30</b>
4.1 Kondisi Umum Lokasi Penelitian.....	30
4.1.1 Letak geografis wilayah.....	30
4.1.2 Iklim.....	31
4.1.3 Tanah.....	31
4.2 Pertumbuhan Pohon.....	33
4.3 Potensial Air Daun.....	35
4.4 Efisiensi Penggunaan Cahaya.....	38
4.4.1 Indeks luas daun dan intersepsi cahaya.....	38
4.4.2 Biomasa pohon dan efisiensi penggunaan cahaya.....	40
4.5 Hasil Simulasi Model WaNuLCAS.....	43
4.5.1 Kalibrasi model WaNuLCAS: pertumbuhan pohon dan potensial air tanaman.....	43
4.5.2 Simulasi waktu tanam <i>A. mangium</i> dan penebangan <i>A.</i> <i>mangium</i> .....	45
4.5.3. Evaluasi Performa Model.....	47
<b>V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>49</b>
5.1 Kesimpulan.....	49
5.2 Saran.....	50
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>51</b>
<b>LAMPIRAN – LAMPIRAN.....</b>	<b>56</b>

## DAFTAR TABEL

		Halaman
1	Persamaan alometrik ( $Y = aD^b$ ) yang digunakan dalam model WaNuLCAS untuk mensimulasi pertumbuhan pohon; Y = biomasa pohon (kering, kg per pohon), D = diameter pohon (cm).....	24
2	Data sifat fisika tanah untuk input pedotransfer dan input kandungan fosfor tanah yang digunakan dalam model WaNuLCAS.....	25
3	Sistem dan pola pengaturan jarak tanam yang diterapkan dalam model WaNuLCAS.....	26
4	Indikator kesesuaian model oleh Loague and Green (1999).....	27
5	Tekstur tanah pada plot percobaan pada kedalaman tanah 0 – 5 sampai 60 – 100 cm.....	32
6	Status kesuburan dan berat isi tanah pada plot percobaan pada kedalaman tanah 0 – 5 sampai 60 – 100 cm.....	32
7	Penambahan lilit batang (girth increment) (mm/bulan) <i>H. brasiliensis</i> pada plot monokultur dan pada plot campuran dengan <i>A. mangium</i> untuk periode musim kering (2 Mei – 11 September 2006) dan hujan (16 November 2006 – 28 Maret 2007) pada lima tahun setelah tanam.....	34
8	Rerata potensial air daun (bar) dari <i>H. brasiliensis</i> pada plot monokultur dan plot campuran dengan <i>A. mangium</i> .....	36
9	Indeks luas daun (LAI), koefisien pemadaman dan intersepsi cahaya untuk periode musim hujan dan musim kemarau dari <i>H. brasiliensis</i> dan <i>A. mangium</i> .....	39
10	Efisiensi penggunaan cahaya (LUE), g MJ <sup>-1</sup> untuk periode musim hujan (November 2006 – Maret 2007) dan musim kemarau (Mei – September 2006) dari <i>H. brasiliensis</i> dan <i>A. mangium</i> . $\Delta AGB$ : perbedaan nilai biomasa antara dua waktu pengukuran, $\Sigma S_l$ : kumulatif radiasi yang diintersepsi oleh tanaman.....	41
11	Hasil evaluasi validasi model dengan menggunakan WaNuLCAS versi 3.2 berdasarkan criteria dari Loague and Green (1991). Hasil yang disajikan dalam tabel merupakan rerata semua sistem.....	45
12	Pengaruh tahun tanam <i>A. mangium</i> terhadap waktu tunda penyadapan <i>H. brasiliensis</i> .....	46
13	Pengaruh tahun tanam <i>A. mangium</i> terhadap waktu tunda pemanenan dari <i>A. mangium</i> .....	47

## DAFTAR GAMBAR

		Halaman
1	Diagram interaksi tanaman – tanah – iklim dalam model WaNuLCAS (van Noordwijk and Lusiana 1999; van Noordwijk <i>et al.</i> 2004).....	12
2	Diagram profil lapisan tanah dan zona dalam model WaNuLCAS dalam empat tipe agroforestry, A,B: alley cropping, C : sistem hedgerow dalam lahan miring, D : sistem parkland dan E sistem fallow (van Noordwijk and Lusiana 1999; van Noordwijk <i>et al.</i> 2004).....	13
3	Pertumbuhan pohon dalam kaitannya dengan faktor pembatas pertumbuhan (hara, air dan cahaya) dalam model WaNuLCAS.....	14
4	Diagram profil lapisan kanopi dalam kaitannya dengan penyerapan cahaya dalam model WaNuLCAS (disarikan dari van Noordwijk <i>et al.</i> 2004).....	16
5	Diagram neraca air dalam kaitannya dengan penyerapan air dalam model WaNuLCAS (disarikan dari van Noordwijk <i>et al.</i> 2004).....	17
6	Posisi tiga pengukuran intensitas cahaya.....	22
7	Alur kerja dalam melakukan simulasi model WaNuLCAS.....	24
8	Sistem dan pola pengaturan jarak tanam yang diterapkan dalam model WaNuLCAS.....	26
9	Peta kabupaten Banyuasin.....	30
10	Distribusi curah hujan bulanan pada lokasi penelitian, rerata selama 10 tahun (1997 – 2006) dari data curah hujan pada stasiun klimatologi Pusat Penelitian Karet, Balai Penelitian Sembawa.....	31
11	Lilit batang (cm) dari (A) <i>H. brasiliensis</i> pada plot monokultur dan pada plot campuran dengan <i>A. mangium</i> (B) <i>A. mangium</i> pada plot campuran dengan <i>H. brasiliensis</i> .....	33
12	Potensial air daun (bar) dari (A) <i>H. brasiliensis</i> pada plot monokultur dan pada plot campuran dengan <i>A. mangium</i> (B) <i>A. mangium</i> pada plot campuran dengan <i>H. brasiliensis</i> .....	35
13	Litterfall dari <i>H. brasiliensis</i> pada plot monokultur dan plot campuran dengan <i>A. mangium</i> dan litterfall dari <i>A. mangium</i> .....	37
14	Perbandingan potensial air daun (bar) dari <i>H. brasiliensis</i> dengan <i>A. mangium</i> pada plot campuran.....	37
15	Hubungan diameter tanaman dengan total jumlah daun pada musim kering dan musim hujan pada <i>H. brasiliensis</i> .....	38
16	Hubungan diameter tanaman dengan lebar kanopi pada <i>H. brasiliensis</i> .....	38



17	Pola Photosynthetic Active Radiation (PAR), MJ m <sup>-2</sup> hari <sup>-1</sup> pada tempat terbuka dari periode 20 Februari 2006 sampai 1 Agustus 2007.....	41
18	Perbandingan diameter pohon (cm) antara simulasi dan hasil pengukuran .....	43
19	Perbandingan potensial air daun (bar) antara simulasi dan hasil pengukuran A.1 musim kering dan A.2 musim hujan.....	44
20	Pengaruh tahun penanaman <i>A. mangium</i> terhadap pertumbuhan <i>H. brasiliensis</i> (diameter pohon) berdasarkan simulasi model WaNuLCAS.....	45

## DAFTAR LAMPIRAN

	<b>Halaman</b>
1a Modul penyerapan cahaya dalam model WaNuLCAS.....	56
1b Modul penyerapan air dalam model WaNuLCAS.....	59
2 Denah percobaan dan skema pengaturan jarak tanam.....	64
3a Parameter yang diukur dan alat yang digunakan selama penelitian.....	66
3b Jumlah contoh per plot (per ulangan) dalam setiap parameter pengukuran.....	67
4 Pengukuran potensial air daun menggunakan Scholander Pressure Chamber model 1000 (disarikan dari Clearly <i>et al.</i> , 1998).....	68
5 Foto-foto plot percobaan dan pengukuran.....	69

# I. PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara penghasil karet alam terbesar kedua dari seluruh negara penghasil karet alam di dunia. Kurang lebih 84 % dari seluruh luasan kebun karet di Indonesia merupakan kebun karet rakyat. Namun demikian, kebun karet rakyat cenderung mempunyai produksi dan kualitas lebih rendah dibandingkan dengan produksi dan kualitas karet dari perkebunan yang dikelola oleh swasta atau pemerintah. Joshi *et al.* (2002) melaporkan, produksi karet rakyat di Jambi kurang lebih 58 % lebih rendah dari produksi perkebunan besar baik yang dikelola oleh swasta maupun pemerintah.

Penanaman pohon kayu-kayuan seperti akasia (*Acacia mangium*) di sela-sela karet (*Hevea brasiliensis*) merupakan salah satu pilihan bagi petani untuk meningkatkan produktivitas lahan. Disamping mampu meningkatkan produktivitas lahan, secara ekonomi, penanaman jenis kayu-kayuan mempunyai harapan yang sangat baik mengingat produksi kayu dari hutan alami telah mengalami penurunan terutama di Sumatera sebagaimana dilaporkan oleh Roshetko dan Purnomosidhi (1999).

*A. mangium* merupakan jenis pohon dengan kecepatan tumbuh tinggi (*fast growing tree*), hal ini memberikan resiko terjadinya kompetisi cahaya. Lebih lanjut, sebagian besar kebun karet di Indonesia terletak pada daerah dengan dua atau lebih bulan kering, menimbulkan resiko terjadinya kompetisi air. Dengan kata lain, kompetisi cahaya dan air merupakan bentuk kompetisi yang tidak dapat dihindari dalam sistem penanaman campuran *H. brasiliensis* dengan *A. mangium*.

Waktu tanam dan pengaturan jarak tanam yang tepat sangat dibutuhkan untuk mengurangi kompetisi cahaya. Sedangkan keberhasilan suatu pohon dalam mengatasi kekurangan air sangat tergantung pada beberapa proses adaptasi, bagaimana tanaman mampu mengatur konduktansi stomata dan potensial air daun sehingga pertumbuhan pohon dapat menghindari pengaruh rendahnya

ketersediaan air tanah. Tanaman yang mampu bertahan pada potensial air rendah akan beradaptasi dengan baik dalam sistem penanaman campuran.

Martini (2001) melaporkan, diameter batang, luas daun dan tinggi dari anakan *H. brasiliensis* dalam pot yang diberikan perlakuan stress air secara nyata lebih kecil dibandingkan perlakuan tanpa stress air. Jumlah dan ukuran stomata yang lebih kecil serta menurunnya konduktansi stomata dan potensial air daun juga ditemukan pada perlakuan stress air.

Limmaneethorn *et al.* (2007) yang melakukan studi tentang pengaruh irigasi terhadap respon fisiologi dan produksi latex pada *H. brasiliensis* pada musim kering melaporkan bahwa, perlakuan irigasi mampu meningkatkan kerapatan daun, potensial air daun dan konduktansi stomata, walaupun secara statistik peningkatan ini tidak menunjukkan perbedaan yang nyata dengan perlakuan tanpa irigasi. Perlakuan irigasi juga mampu meningkatkan produksi latex kurang lebih 18 – 25%, tetapi kadar karet kering (KKK) tidak terpengaruh. Pada semua perlakuan KKK kurang lebih sebesar 39%.

Penelitian ini membandingkan respon pertumbuhan baik secara morfologi maupun fisiologi dari *H. brasiliensis* dalam sistem monokultur dan campuran dengan *A. mangium*. Penelitian ini dilakukan pada tahun kelima setelah penanaman dengan difokuskan pada analisa variasi pertumbuhan *H. brasiliensis* diantara *A. mangium* dalam kaitannya dengan potensial air daun, intersepsi cahaya oleh kanopi dan efisiensi penggunaan cahaya. Potensial air daun digunakan sebagai indikator adanya kompetisi.

Penelitian ini hanya difokuskan pada plot dengan tahun penanaman *H. brasiliensis* dan *A. mangium* yang sama. Penelitian di lapangan secara langsung dengan membedakan tahun penanaman *A. mangium* dengan *H. brasiliensis* tentunya membutuhkan biaya, waktu dan percobaan yang tidak sedikit. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk menekan biaya, waktu dan percobaan adalah menggunakan pendekatan model simulasi WaNuLCAS (van Noordwijk and Lusiana 1999; van Noordwijk *et al.* 2004) yang mampu memperhitungkan faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan pohon sehingga menghasilkan nilai yang mendekati dengan pengukuran di lapangan.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui respon perubahan pertumbuhan, baik secara morfologi maupun fisiologi, dari *H. brasiliensis* dalam sistem monokultur dan campuran dengan *A. mangium* dalam kaitannya dengan perubahan status air dan cahaya.
2. Mengetahui respon pertumbuhan *H. brasiliensis* jika *A. mangium* ditanam beberapa tahun setelah penanaman *H. brasiliensis* dengan menggunakan bantuan model simulasi WaNuLCAS.

## 1.3 Hipotesa Penelitian

Hipotesis dalam penelitian ini adalah:

1. *A. mangium* memberikan pengaruh terhadap pertumbuhan *H. brasiliensis*.
2. Pengaruh *A. mangium* terhadap pertumbuhan *H. brasiliensis* ditunjukkan dengan nilai potensial air daun dan efisiensi penggunaan cahaya.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah :

1. Dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan bagi pihak yang berkepentingan dalam perencanaan pengelolaan penanaman *H. brasiliensis* dalam kaitannya dengan upaya meningkatkan produktifitas lahan dengan cara penanaman dengan spesies lain.
2. Memberikan kontribusi terhadap ilmu pengetahuan dalam memahami pengelolaan penanaman campuran *H. brasiliensis* dengan pohon kayu-kayuan dalam kaitannya dengan kompetisi cahaya dan air.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Karakteristik Tanaman

#### 2.1.1 *Hevea brasiliensis*

##### 2.1.1.1 Karakteristik



*Havea brasiliensis* merupakan tanaman asli dari Amerika Selatan. *H. brasiliensis* merupakan kategori *fast-growing trees* dengan tinggi dan dbh (*diameter at the breast height*) pohon dewasa mencapai 40 m dan 35 cm (Nieto dan Rodrigue 2003). Batang tanaman tumbuh lurus dan memiliki percabangan yang tinggi diatas. Batang tanaman ini mengandung getah yang dikenal dengan nama lateks dan merupakan sumber utama karet alam di dunia.

*H. brasiliensis* mempunyai struktur daun majemuk yang terdiri dari tangkai daun utama dan tangkai anak daun (*petiole*). Panjang tangkai daun utama sekitar 3 – 20 cm dan panjang tangkai anak daun sekitar 3 – 10 cm dengan jumlah anak daun biasanya 3 anak daun. Anak daun berbentuk eliptis, memanjang dengan ujung meruncing (Anonymous 2008).

*H. brasiliensis* mempunyai biji yang terdapat dalam setiap ruang buah. Jumlah biji sekitar 3 - 6 sesuai dengan jumlah ruang buah. Warna biji coklat kehitaman dengan bercak-bercak berpola yang khas. *H. brasiliensis* mempunyai akar tunggang dengan banyak akar-akar lateral (Anonymous 2008).

#### 2.1.1.2 Ekologi dan fisiologi

*H. brasiliensis* tumbuh baik pada daerah dengan ketinggian kurang dari 1200 m dpl dengan kemiringan lahan 0 – 70 m (Nieto dan Rodriguez 2003). Kondisi tanah yang optimum adalah tanah-tanah dengan kedalaman mencapai 1 m (Nieto dan Rodriguez 2003), mempunyai drainase yang baik dan dengan kisaran pH 4.0 – 8.0 tetapi tumbuh lebih baik pada kondisi tanah masam (Boer and Ella 2000).

Iklim yang sesuai untuk *H. brasiliensis* adalah yang memiliki suhu udara sekitar 22 – 30°C, kelembaban relatif tidak melampaui 70 – 80 %, curah hujan pertahun antara 1500 – 3000 mm dengan panjang bulan kering maksimum 3 – 4 bulan (Nieto dan Rodriguez 2003). Pada musim kering, *H. brasiliensis* menggugurkan daunnya setiap tahun.

Dalam kondisi ekologi tersebut diatas terpenuhi, maka pertumbuhan dan produktifitas *H. brasiliensis* sangat dipengaruhi oleh kerapatan tanaman. Pertumbuhan *H. brasiliensis* yang optimum dicapai dengan kerapatan tanaman sekitar 400 – 500 pohon per ha (Anonymous, 2008). Pertumbuhan lilit batang pada kerapatan tanaman diatas 600 pohon per ha cenderung terhambat mulai tahun kedua dan produksi cenderung menurun dari tahun ke tahun (Boerhendhy 1990).

### **2.1.2 Acacia mangium**

#### 2.1.2.1 Karakteristik



*Acacia mangium* merupakan tanaman asli dari Queensland Utara di Australia dan Papua New Guinea, Irian Jaya di Indonesia. *A. mangium* merupakan kategori *fast-growing trees* dengan tinggi dan dbh (*diameter at breast height*) pohon dewasa mencapai 30 m dan 60 cm (Francis 2003). Pada 4 – 5 tahun pertama, pertambahan tinggi dan diameter pertahun mencapai 5 m dan 5 cm. Namun demikian, pertumbuhan akan menurun

drastis pada tahun ke 7 – 8. Batang *A. mangium* tumbuh lurus, pada pohon dewasa batang bebas cabang mencapai 15 m (Lemmens *et al.* 1995).



*A. mangium* mempunyai struktur daun majemuk dengan tangkai anak daun (*petiole*) mencapai panjang 25 cm dan lebar 3.5 – 10 cm. Panjang daun dapat mencapai 25 cm (Lemmens *et al.* 1995).

*A. mangium* berbunga setahun sekali pada akhir musim hujan atau awal musim kemarau. Buah *A. mangium* matang setelah 5 – 7 bulan setelah periode berbunga (Francis 2003).

#### 2.1.2.2 Ekologi dan fisiologi

*A. mangium* tumbuh baik pada daerah dengan ketinggian kurang dari 800 m dpl. Tanah-tanah dengan pH asam (4.5 – 6.5) (Lemmens *et al.* 1995) dengan tingkat kesuburan rendah – sedang terutama pada tanah-tanah dengan kandungan fosfor (P) rendah, tingkat drainase sedang merupakan tanah-tanah yang cocok untuk *A. mangium* (Francis 2003).

*A. mangium* tumbuh optimum pada iklim dengan curah hujan pertahun 1500 – 3000 mm (Lemmens *et al.* 1995; Francis 2003) dan suhu udara 18 – 28°C (Lemmens *et al.* 1995).

*A. mangium* merupakan legume yang mampu memfiksasi nitrogen dari udara dan tidak menggugurkan daunnya pada musim kering (*evergreen trees*). Pada periode dengan musim kemarau panjang, *A. mangium* masih dapat bertahan namun dengan laju pertumbuhan yang secara nyata menurun (Francis 2003). Jarak tanam mempengaruhi pertumbuhan *A. mangium*, pertambahan diameter pohon terbaik dicapai pada jarak tanam 2.5 x 2.5 m sampai 4 x 4 m (Szott 1995 dalam Francis 2003).



## 2.2 Potensial Air Daun

Sebagian besar tubuh tanaman tersusun dari air. Sebagai gambaran, kandungan air pada daun kurang lebih 80 – 90% dan pada akar 70 – 95% (Larcher 1995). Salah satu fungsi air dalam tubuh tanaman adalah sebagai media penting bagi berlangsungnya proses-proses biokimia. Air tanah merupakan sumber utama air yang masuk kedalam tubuh tanaman melalui akar-akar tanaman. Pada kondisi ketersediaan air tanah rendah, beberapa proses fisiologi akan terganggu untuk sementara waktu. Salah satu respon fisiologi yang dapat diukur adalah potensial air tanaman atau plant moisture stress (PMS).

PMS menunjukkan kebutuhan ‘demand’ air tanaman. PMS mengintegrasikan potensial air tanah di daerah perakaran ‘supply’, tahanan pergerakan air dalam tubuh tanaman dan faktor lingkungan yang mempengaruhi transpirasi (temperatur, kelembaban udara, angin, dll). Dengan demikian pengukuran PMS selain menunjukkan status air tanaman, juga menunjukkan bagaimana kondisi lingkungan mempengaruhi tanaman. Kondisi lingkungan yang menyebabkan rendahnya nilai PMS akan menghambat beberapa proses fisiologi (Clearly *et al.* 1998).

Potensial air daun merupakan parameter yang banyak digunakan dalam mengukur status air tanaman, nilai potensial air daun juga merupakan faktor penentu untuk pergerakan air dalam tubuh tanaman (Joly 1985) dan potensial air daun merupakan indikator terjadinya kekurangan air (Joly 1985; Larcher 1995).

Nilai potensial air daun pada pagi hari (*predawn leaf water potential*) mewakili nilai status air tanaman dimana nilai potensial air daun mendekati nilai potensial air tanah (Clearly *et al.* 1998). Berbagai studi telah dilakukan untuk mengkaji hubungan antara potensial air daun dan kandungan air tanah (Leuschner *et al.* 2001; Nortes *et al.* 2005; Martini 2001). Potensial air daun menurun dengan semakin rendahnya kandungan air tanah. Dengan demikian, pada kondisi ketersediaan air tanah menurun, semakin rendah nilai potensial air daun menunjukkan tanaman semakin mengalami stress air.

Pergerakan air dari tanah menuju daun melalui akar dan batang terjadi karena adanya perbedaan potensial air antara tanah dan tanaman (Steudle 2001; Tyree 2003). Pada kondisi ketersediaan air tanah menurun, potensial air tanaman

yang semakin rendah sangat dibutuhkan untuk mempertahankan perbedaan potensial air tanah dan tanaman sehingga proses transpirasi akan tetap berlangsung.

Pada kondisi terjadi kompetisi air, tanaman dengan nilai potensial air tanaman yang lebih rendah mempunyai keuntungan tersendiri dalam kondisi ketersediaan air tanah rendah. Air tanah cenderung mengalir kedalam sel tanaman dengan nilai potensial air lebih rendah. Dengan kata lain dalam sistem penanaman campuran, tanaman dengan nilai potensial air lebih rendah akan memenangkan kompetisi air.

Limmaneethorn *et al.* 2007 yang melakukan studi tentang pengaruh irigasi terhadap respon fisiologi dan produksi latex pada *H. brasiliensis* pada musim kering melaporkan bahwa, perlakuan irigasi mampu meningkatkan kerapatan daun, potensial air daun dan konduktansi stomata, walaupun secara statistik peningkatan ini tidak menunjukkan perbedaan yang nyata dengan perlakuan tanpa irigasi. Perlakuan irigasi juga mampu meningkatkan produksi latex kurang lebih 18 – 25%, tetapi kadar karet kering (KKK) tidak terpengaruh. Pada semua perlakuan KKK kurang lebih sebesar 39%.

## **2.3 Efisiensi Penggunaan Cahaya**

### **2.3.1 Intersepsi cahaya**

Radiasi matahari merupakan radiasi gelombang pendek dengan kisaran panjang gelombang 300 – 3000 nm (Rose 1966). Radiasi matahari merupakan sumber energi utama bagi berlangsungnya proses-proses fisika dan biologi di permukaan bumi. Salah satu yang memanfaatkan energi ini adalah tanaman.

Tanaman tidak akan melakukan fungsi-fungsi fisiologinya (fotosintesis) tanpa tersedianya radiasi matahari. Radiasi matahari merupakan sumber energi utama bagi tanaman dan menjadi salah satu syarat utama berlangsungnya proses fotosintesis. Tanaman dalam proses fotosintesis tidak dapat memanfaatkan semua pancaran radiasi matahari yang sampai pada permukaan bumi. Radiasi matahari dengan panjang gelombang 400 - 700 nm adalah radiasi yang dapat diintersepsi oleh tanaman (Larcher 1995). Bagian radiasi ini disebut radiasi nampak atau

dikenal dengan istilah Radiasi Aktif Fotosintesis (PAR = *Photosynthetic Active Radiation*).

Dalam kondisi semua faktor yang terlibat dalam fotosintesis (Carbon (CO<sub>2</sub>) dan air (H<sub>2</sub>O)) tidak terbatas, pertumbuhan tanaman atau laju fotosintesis pada akhirnya akan dibatasi oleh distribusi radiasi dalam kanopi tanaman dan total yang dapat diintersepsi oleh tanaman.

Total jumlah radiasi matahari (PAR) yang dapat diintersepsi oleh tanaman ditentukan oleh jumlah radiasi yang datang dan luas daun atau dinyatakan dengan Indeks Luas Daun (LAI = *Leaf Area Index*). Sementara distribusi PAR dalam kanopi tanaman ditentukan oleh struktur kanopi (distribusi daun secara vertikal dan sudut daun).

Secara matematis fraksi intersepsi cahaya oleh kanopi tanaman dapat dinyatakan sebagai (Ong *et.al.* 1996; Rinaldi dan Vonella 2006):

$$f = 1 - \exp(-kLAI) , f = \frac{S_i}{S} , S_i = S - S_0$$

$$\frac{(S - S_0)}{S} = 1 - \exp(-kLAI)$$

dimana  $f$  adalah fraksi intersepsi cahaya sama dengan  $(S-S_0)/S$ ,  $S$  adalah jumlah PAR yang datang diatas kanopi tanaman, MJ m<sup>-2</sup> hari<sup>-1</sup>,  $S_0$  adalah jumlah PAR dibawah kanopi, MJ m<sup>-2</sup> hari<sup>-1</sup>,  $S_i$  adalah intersepsi cahaya,  $k$  adalah extinction coefficient atau koefisien pemadaman dan LAI adalah Leaf Area Index (LAI) atau Indeks Luas Daun (ILD).

#### 2.2.1.1 Jumlah radiasi datang

Jumlah radiasi datang yaitu jumlah yang sampai pada permukaan bumi. Jumlah dan kualitas radiasi yang sampai ke permukaan bumi bervariasi dan merupakan fungsi dari radiasi yang sampai ke puncak atmosfer dan radiasi yang ditransmisikan.

Pada siang hari, radiasi yang sampai ke puncak atmosfer rata-rata 1360 W m<sup>-2</sup> yang disebut sebagai konstanta matahari (Larcher, 1995; Munn, 1966 *dalam* Sitompul 2002). Radiasi yang ditransmisikan ditentukan oleh proses-proses dalam atmosfer dalam merubah jumlah dan kualitas radiasi matahari. Proses-proses tersebut antara lain (1) penyerapan (absorpsi), (2) pemencaran (scattering) oleh gas, embun, awan, dll dan (3) pemantulan. Proses-proses ini menyebabkan

radiasi yang sampai pada permukaan bumi kurang dari setengah dari radiasi yang sampai ke permukaan atmosfer (Sitompul 2002; Handoko 1993).

#### 2.2.1.2 Luas daun, LAI

Luas daun dinyatakan dalam Leaf Area Index (LAI) atau Indeks Luas Daun (ILD). Indeks Luas Daun merupakan luas daun per luas area yang di tempati pohon. Penyerapan cahaya akan meningkat seiring dengan meningkatnya LAI (Squire 1990 *dalam* Ong *et al.* 1996). LAI tanaman bertambah seiring dengan pertumbuhan tanaman dan mencapai nilai maximum pada saat pertumbuhan kanopi telah rapat (Sassenrath-Cole 1995).

#### 2.2.1.3 Struktur daun (kedudukan daun atau sudut daun)

Nilai koefisien pepadaman ( $k$ ) mencerminkan struktur kanopi. Tanaman dengan sudut yang lebih vertikal (*erectophile*) mempunyai nilai  $k$  lebih rendah dibandingkan dengan daun-daun horisontal (*planophile*). Tanaman jenis sereal mempunyai kisaran nilai  $k = 0.3 - 0.45$ , sedangkan cassava dan kacang tanah yang mempunyai daun lebih horisontal mempunyai kisaran nilai  $k = 0.5 - 0.8$  (Ong *et.al.* 1996). Penyerapan cahaya oleh tanaman akan meningkat seiring dengan meningkatnya nilai  $k$ . Secara matematis nilai  $k$  dapat dinyatakan sebagai (Hukum Beer):

$$k = \frac{-\ln\left(\frac{S_0}{S}\right)}{LAI} \text{ atau } S_0 = S \exp(-kLAI)$$

dimana  $k$  adalah extinction coefficient atau koefisien pepadaman,  $S$  adalah jumlah PAR diatas kanopi tanaman,  $S_0$  adalah jumlah PAR bawah kanopi tanaman dan LAI adalah Leaf Area Indeks (LAI) atau Index Luas Daun (ILD).

### 2.3.2 Efisiensi penggunaan cahaya

Radiasi matahari yang diintersepsi oleh tanaman akan digunakan untuk mereduksi  $CO_2$  menjadi karbohidrat sebagai penyusun struktur tubuh tanaman. Dengan demikian terdapat hubungan yang erat antara produksi biomassa dengan penyerapan radiasi matahari. Nisbah akumulasi produksi biomassa dengan akumulasi penyerapan cahaya dalam periode yang sama dikenal dengan istilah Efisiensi Penggunaan Cahaya ( $LUE = \text{Light Use Efficiency}$ ) (Monteith 1977

dalam Purcell *et al.* 2002). Secara matematis efisiensi penggunaan cahaya dapat dituliskan:

$$\text{Light Use Efficiency}(LUE) = \frac{\Delta AGB}{\sum S_i}$$

dimana  $\Delta AGB$  adalah perbedaan nilai biomassa antara dua waktu pengukuran,  $\text{g m}^{-2}$  dan  $\sum S_i$  adalah kumulatif radiasi yang diintersepsi oleh tanaman selama periode pengukuran,  $\text{MJ m}^{-2}$ .

Beberapa studi yang mengkaji tentang efisiensi penggunaan cahaya memberikan hasil yang bervariasi. Nilai efisiensi penggunaan cahaya yang cukup rendah dilaporkan oleh Delusia *et al.* (2002) yang melakukan studi pada plot hutan yang didominasi oleh *Pinus taeda* yaitu sebesar  $0.49 \text{ g MJ}^{-1}$ . Nilai efisiensi penggunaan cahaya yang cukup tinggi dilaporkan oleh Dercas *et al.* (2001) yang melakukan studi pada dua varietas sweet sorghum, varietas MN1500 mempunyai kisaran efisiensi penggunaan cahaya sebesar  $3.03 - 3.63 \text{ g MJ}^{-1}$  sedangkan varietas Keller mempunyai kisaran efisiensi penggunaan cahaya sebesar  $2.75 - 3.54 \text{ g MJ}^{-1}$ .

Beberapa hasil studi lain mempunyai kisaran nilai diantara nilai tersebut antara lain: Rinaldi dan Vonella (2006) melaporkan nilai efisiensi penggunaan cahaya dari sugar beet berkisar pada  $1.00 \text{ g MJ}^{-1}$  pada musim gugur dan  $1.14 \text{ g MJ}^{-1}$  pada musim semi, Sadras dan Wilson (1997) melaporkan nilai efisiensi penggunaan cahaya dari kapas berkisar pada  $1.70 - 1.92 \text{ g MJ}^{-1}$ , Sinclair dan Muchow (1999) dalam Purcell *et al.* (2002) melaporkan nilai efisiensi penggunaan cahaya kedelai dalam kondisi cukup air dan hara berkisar dari  $1.3 - 2.5 \text{ g MJ}^{-1}$ . Mariscal *et al.* (2000) melakukan studi pada *Olea europaea* (olive) melaporkan nilai efisiensi penggunaan cahaya sebesar  $1.35 \text{ g MJ}^{-1}$ .

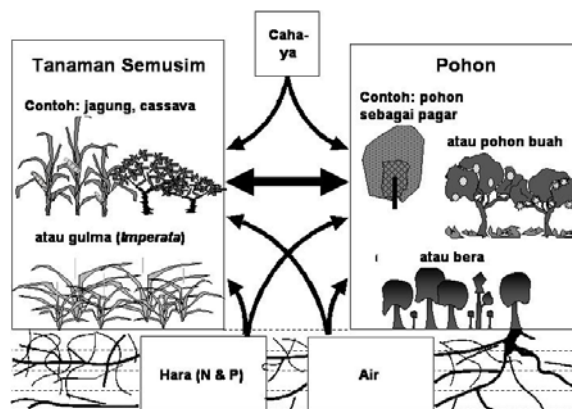
Sistem penanaman yang berkelanjutan dapat dicapai melalui pemilihan jenis tanaman yang mempunyai kemampuan yang tinggi untuk merubah radiasi matahari ke dalam biomassa tanaman mengingat radiasi matahari merupakan sumberdaya alam yang murah dibandingkan dengan sumberdaya air yang dalam kondisi tertentu membutuhkan biaya mahal. Namun pemilihan jenis tanaman juga erat kaitannya dengan manajemen sistem penanaman. Beberapa studi melaporkan variasi efisiensi penggunaan cahaya berhubungan dengan kerapatan tanaman (Purcell *et al.* 2002), adanya naungan yang berhubungan dengan penurunan

jumlah radiasi datang dan peningkatan komponen radiasi difus (Healey *et al.* 1998) dan adanya hama dan penyakit tanaman (Sadras dan Wilson 1997).

Purcell *et al.* (2002) melaporkan bahwa efisiensi penggunaan cahaya oleh kacang kedelai menurun secara linear sebesar 26 – 30 % dengan peningkatan kerapatan tanaman dari 7 – 135 m<sup>-2</sup>. Healey *et al.* (1998) melaporkan bahwa produksi dan index luas daun dari rumput-rumputan secara nyata menurun akibat berkurangnya jumlah radiasi datang sebesar 25 %, namun meningkatkan konsentrasi nitrogen daun dan efisiensi penggunaan cahaya sebesar 19 dan 14 % akibat meningkatnya komponen radiasi difus.

## 2.4 Model WaNuLCAS

WaNuLCAS model merupakan model interaksi tanaman – tanah – iklim dalam sistem agroforestry (van Noordwijk and Lusiana 1999; van Noordwijk *et al.* 2004) (Gambar 1). WaNuLCAS model dikembangkan menggunakan program pemodelan STELLA yang dihubungkan dengan Excel yang berisi parameter-parameter masukan model. Dalam mensimulasikan dinamika proses pertumbuhan tanaman dan interaksi dengan kondisi lingkungan, WaNuLCAS model mempunyai resolusi spasial dalam skala plot dan resolusi waktu skala harian.



**Gambar 1.** Diagram interaksi tanaman – tanah – iklim dalam model WaNuLCAS (van Noordwijk and Lusiana 1999; van Noordwijk *et al.* 2004)

Model ini telah digunakan untuk mensimulasikan berbagai sistem agroforestri dan sistem berbasis pohon seperti sistem rotasi pohon dan bera (Walker *et al.* 2007), sistem tebu – karet (Pinto *et al.* 2005), sistem monokultur

*Gliricidia sepium* (Wise and Cacho 2005) dan sistem agroforestri di daerah semi-arid Afrika (Muthuri *et al.* 2004).

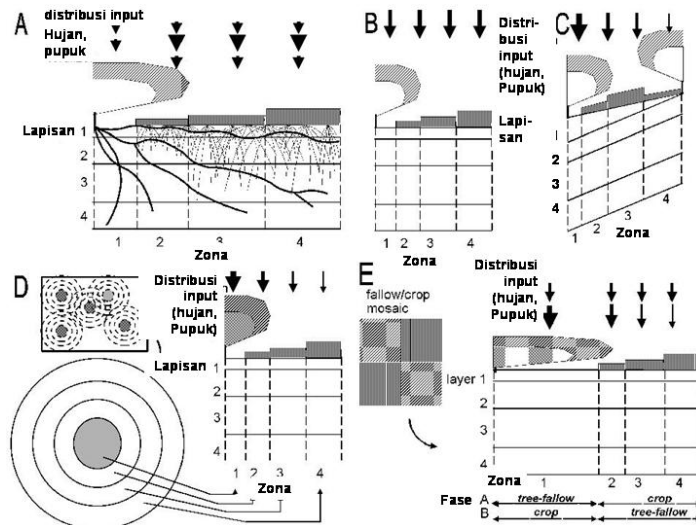
#### 2.4.1 Komponen-komponen model WaNuLCAS

Komponen-komponen utama dalam model WaNuLCAS meliputi agroforestry sistem dan zona, input data iklim dan tanah, neraca air dan penyerapan air oleh tanaman, penyerapan cahaya oleh tanaman, pertumbuhan tanaman, neraca hara dan penyerapan hara oleh tanaman, distribusi perakaran dan pengelolaan.

Dalam bahasan studi ini difokuskan pada komponen pertumbuhan pohon dalam kaitannya dengan penyerapan air dan cahaya. Komponen-komponen lain diluar fokus dari studi ini disajikan dengan jelas dalam van Noordwijk and Lusiana (1999); van Noordwijk *et al.* (2004).

##### 2.4.1.1 Agroforestry sistem dan zona

Dalam menyederhanakan sistem yang disimulasikan, WaNuLCAS model membagi profil lapisan tanah dan spasial masing – masing empat lapisan tanah dan empat zona (Gambar 2) (van Noordwijk and Lusiana 1999; van Noordwijk *et al.* 2004).



**Gambar 2.** Diagram profil lapisan tanah dan zona dalam model WaNuLCAS dalam empat tipe agroforestry, A, B: alley cropping, C : sistem hedgerow dalam lahan miring, D : sistem parkland dan E sistem fallow (van Noordwijk and Lusiana 1999; van Noordwijk *et al.* 2004)

Dalam sistem agroforestry, umumnya zona pertama digunakan untuk menanam pohon sedangkan pada ketiga zona lainnya ditanami tanaman semusim. Persaingan antara pohon dan tanaman semusim akan mengalami penurunan dari zona dua ke zona empat. Dalam sistem monokultur, zona pertama dan atau zona keempat ditanami pohon.

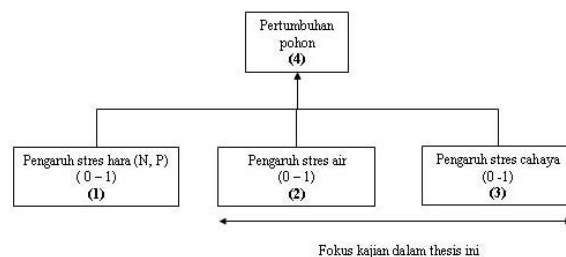
Pada bagian ini, dimungkinkan untuk melakukan modifikasi kondisi sesuai dengan kondisi lapangan. Modifikasi kondisi ini bisa berupa lebar antar zona, ketebalan lapisan tanah, posisi penanaman pohon, kerapatan tanaman dalam 1 ha dan tingkat kemiringan lahan.

#### 2.4.1.2 Input data iklim (curah hujan) dan tanah

Jumlah curah hujan yang masuk kedalam tanah untuk dimanfaatkan oleh pertumbuhan tanaman ditentukan oleh kondisi tanah. Dalam membangkitkan sifat-sifat hydraulik tanah yang berhubungan dengan pergerakan air dalam tanah yang meliputi hubungan kandungan air tanah – *pressure head* – konduktifitas hidraulik tanah digunakan rumus van Genuchten (1980). Parameter-parameter dalam rumus van Genuchten diperoleh dari fungsi “pedotransfer” yang dikembangkan oleh Wosten *et al.* (1995,1998) yang meliputi data tekstur tanah (kandungan liat dan debu), bahan organik tanah dan *bulk density*.

#### 2.4.1.3 Pertumbuhan pohon

Pertumbuhan pohon disimulasikan berdasarkan laju pertumbuhan tanaman dan persamaan allometri hubungan antara diameter pohon dan biomassa pohon. Pertumbuhan secara spatial disimulasikan berdasarkan parameter input bentuk kanopi. Pertumbuhan pohon dibatasi oleh tiga macam faktor pembatas antara lain air, hara (nitrogen dan fosfor) dan cahaya (Gambar 3).



**Gambar 3.** Pertumbuhan pohon dalam kaitannya dengan faktor pembatas pertumbuhan (hara, air dan cahaya) dalam model WaNuLCAS



## 2. Pengaruh stres air (Stres Air)

Stres air akan terjadi apabila 'uptake' lebih rendah dari 'demand'. Secara matematis, stress air dalam model didefinisikan sebagai:

$$\text{Stres Air} = \max(0, (\text{uptake} / \text{potensi demand}))$$

dimana, uptake adalah aktual water uptake yang didiskripsikan dalam Lampiran 1b dan potensi demand adalah potensi demand tanaman yang merupakan fungsi dari efisiensi penggunaan cahaya dan penggunaan air seperti didiskripsikan dalam Lampiran 1b.

Dengan definisi tersebut, pengaruh terjadinya stres air terhadap pertumbuhan tanaman mempunyai kisaran nilai dari 0 – 1 (0 = terjadi stres maksimum, 1 = tidak terjadi stres).

## 3. Pengaruh stres cahaya (Stres Cahaya)

Stres cahaya akan terjadi apabila intersepsi cahaya lebih rendah dari relatif cahaya. Secara matematis, stress cahaya dalam model didefinisikan sebagai:

$$\text{Stres Cahaya} = \text{intersepsi cahaya} / \text{relatif cahaya}$$

dimana, intersepsi cahaya seperti didiskripsikan dalam Lampiran 1a ( $\text{Light\_TCap}_i$ ) dan relatif cahaya adalah input dalam model yang mempunyai kisaran nilai 0 – 1. Relatif cahaya adalah nilai yang menunjukkan pengaruh tanaman terhadap adanya naungan. Nilai 0 menunjukkan tanaman kurang sensitif terhadap naungan dan nilai 1 menunjukkan tanaman sensitif terhadap naungan (*A. mangium* sebesar 0.6 dan *H. brasiliensis* sebesar 0.9)

Dengan definisi tersebut, pengaruh terjadinya stres cahaya terhadap pertumbuhan tanaman, mempunyai kisaran nilai dari 0 – 1 (0 = terjadi stres maksimum, 1 = tidak terjadi stres).

## 4. Pertambahan pertumbuhan tanaman (Increment)

Pengaruh ketiga faktor pembatas dalam nomor 1 – 3 (faktor pembatas 1 tidak disajikan) terhadap pertumbuhan tanaman dalam model didefinisikan sebagai :

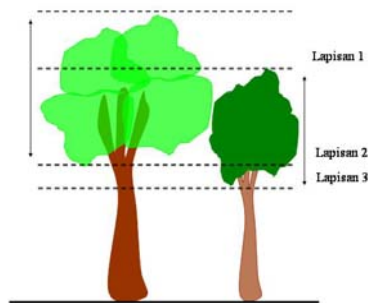
$$\text{Pertambahan pertumbuhan pohon} = T\_GroInit_i + (T\_GroMax_i \times \text{Stres Cahaya} \times \text{MIN}(\text{Stres Hara}, \text{Stres Air}))$$

dimana,  $T\_GroInit$  adalah inisial pertumbuhan awal ( $\text{kg m}^{-2}$ ), merupakan input dalam model (*A. mangium* dan *H. brasiliensis* masing-masing sebesar  $0.05 \text{ kg m}^{-2}$ ) dan  $T\_GroMax_i$  adalah laju produksi biomassa per unit  $\text{m}^2$  intersepsi cahaya ( $\text{kg m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$ ), merupakan input dalam model (*A. mangium* sebesar  $0.025$  dan *H. brasiliensis* sebesar  $0.0085 \text{ kg m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$ ).

#### 2.4.1.4 Penyerapan cahaya

Intersepsi cahaya dalam model WaNuLCAS dihitung dari indeks luas daun (LAI), koefisien pepadaman ( $k$ ) dan tinggi kanopi pada setiap lapisan kanopi dalam setiap zona.

Pendekatan yang digunakan adalah dengan memisahkan lapisan kanopi kedalam tiga lapisan yaitu lapisan paling atas (terdiri dari satu lapisan kanopi), lapisan menengah (terdiri lebih dari satu lapisan kanopi) dan lapisan paling bawah (terdiri dari satu lapisan kanopi) (Gambar 4). Detail perhitungan intersepsi cahaya oleh setiap lapisan kanopi dan ini disajikan dalam Lampiran 1a.

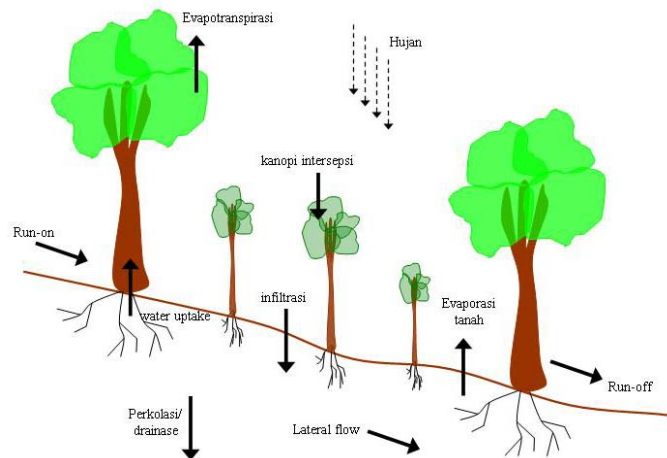


**Gambar 4.** Diagram profil lapisan kanopi dalam kaitannya dengan penyerapan cahaya dalam model WaNuLCAS (disarikan dari van Noordwijk *et al.* 2004)

#### 2.4.1.5 Neraca air dan penyerapan air

Sistem neraca air lahan dalam model WaNuLCAS meliputi input dan output air. Input air bersumber dari curah hujan, pertukaran antar zona berupa limpasan permukaan (run-on dan aliran air lateral), sedangkan output air berupa pertukaran antar zona berupa limpasan permukaan (run-off dan aliran air lateral), drainase, evaporasi permukaan, intersepsi air oleh kanopi tanaman dan penyerapan air oleh tanaman dan pohon (Gambar 5).

Dalam memodelkan proses penyerapan air oleh tanaman, WaNuLCAS model mengadopsi pendekatan yang dikembangkan oleh De Willigen dan Van Noordwijk (1997, 1991, 1994) yaitu menghitung penyerapan air dan hara berdasarkan fungsi dari kerapatan panjang akar (root length density) dalam setiap lapisan dan zona yang memiliki akar. Detail perhitungan penyerapan air disajikan dalam Lampiran 1b. Deskripsi lebih detail dari komponen-komponen neraca air yang lain dapat dilihat dalam van Noordwijk and Lusiana (1999); van Noordwijk *et al.* (2004).



**Gambar 5.** Diagram neraca air dalam kaitannya dengan penyerapan air dalam model WaNuLCAS (disarikan dari van Noordwijk *et al.* 2004)

#### 2.4.2 Masukan model WaNuLCAS

Parameter - parameter masukan WaNuLCAS model dapat dikelompokkan menjadi parameter tanah dan iklim, karakteristik pohon, pengelolaan, dan profitability (van Noordwijk and Lusiana 1999; van Noordwijk *et al.* 2004).

Parameter iklim meliputi unsur cuaca antara lain curah hujan, suhu tanah, dan evapotranspirasi. Masukan curah hujan dapat berupa data harian atau data bulanan. Oleh model, data curah hujan bulanan akan dilakukan estimasi data curah hujan harian.

Parameter data sifat fisik dan kimia tanah meliputi, tekstur tanah, *bulk density* (bila tersedia), *saturated hydraulic conductivity* (bila tersedia), kandungan bahan organik, nitrogen dan fosfor tanah. Tekstur tanah dan kandungan bahan organik tanah dan *bulk density* digunakan untuk membangkitkan sifat-sifat hidraulik tanah yang berhubungan dengan pergerakan air dalam tanah.

Karakteristik pohon meliputi parameter input yang berhubungan dengan antara lain fase pertumbuhan tanaman (panjang periode fase vegetatif dan generatif), laju pertumbuhan tanaman, bentuk kanopi tanaman, intersepsi cahaya (koefisien pemadaman dan index luas daun), intersepsi hujan (kapasitas simpan daun), potensial air tanaman (maksimum dan minimum), distribusi akar dan persamaan allometri tanaman hubungan antara diameter pohon dan komponen-komponen pohon (total biomassa, daun dan ranting serta batang).

Pengelolaan yang bersifat strategis berkaitan dengan parameter input yang berhubungan dengan pemilihan jenis pohon dan pengaturan jarak tanam. Pengelolaan secara taktis berkaitan dengan parameter input yang berhubungan dengan pengelolaan tanaman meliputi, penentuan kalender tanam, pemangkasan kanopi pohon.

#### **2.4.3 Keluaran model WaNuLCAS**

Keluaran model WaNuLCAS yang berupa nilai estimasi dapat dikelompokkan menjadi neraca air, neraca carbon, neraca hara (nitrogen dan pospor), neraca finansial dan ekonomi, pertumbuhan pohon dan fungsi filter (*filter function*) (van Noordwijk and Lusiana 1999; van Noordwijk *et al.* 2004).

Beberapa contoh keluaran dari model WaNuLCAS antara lain :

- Neraca air : penyerapan air oleh pohon, limpasan permukaan, kandungan air tanah
- Pertumbuhan pohon : tinggi pohon, tinggi dan lebar kanopi, diameter batang, biomassa tanaman yang berada diatas tanah.

Bentuk keluaran model WaNuLCAS ini dapat berupa grafik dan tabel. Variabel yang ingin ditampilkan pada grafik dan tabel dapat dipilih sesuai dengan kebutuhan pengguna model.

### III. METODOLOGI

#### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian berlangsung pada bulan Mei 2006 – April 2007. Penelitian dilaksanakan di kebun percobaan Pusat Penelitian Karet, Balai Penelitian Sembawa, Desa Sembawa, Kecamatan Banyuasin III, Kabupaten Banyuasin, Sumatera Selatan. Pengolahan data dan simulasi model WaNuLCAS dilakukan di ICRAF – SEA Bogor.

#### 3.2 Metode Penelitian

##### 3.2.1 Rancangan percobaan

Pengukuran dilakukan pada plot percobaan *Hevea brasiliensis* monokultur dan plot percobaan pola penanaman campuran *H. brasiliensis* dengan *Acacia mangium* yang telah berumur lima tahun. *A. mangium* dan *H. brasiliensis* ditanam dalam waktu yang bersamaan (April 2000). *H. brasiliensis* pada plot monokultur telah memasuki waktu sadap, namun selama penelitian ini tidak dilakukan penyadapan.

Perlakuannya adalah 1) jarak tanam *H. brasiliensis*, 6 x 2 x 14 m dan 6 x 3.3 m dan 2) spesies pohon campuran, *A. mangium* dengan kombinasi perlakuan yang disusun adalah :

- a. *H. brasiliensis* monokultur 6 x 2 x 14 m (500 pohon ha<sup>-1</sup>)
- b. *H. brasiliensis* monokultur 6 x 3.3 m (500 pohon ha<sup>-1</sup>)
- c. *H. brasiliensis* 6 x 2 x 14 m (500 pohon ha<sup>-1</sup>) + *A. mangium* 3 x 4 x 17 m (333 pohon ha<sup>-1</sup>)

Masing-masing perlakuan mempunyai 3 ulangan pengukuran (plot). Denah percobaan dan skema pengaturan jarak tanam disajikan pada Lampiran 2. Percobaan menggunakan klon RRIC 100.

### 3.2.2 Pengambilan data

Untuk mengetahui respon pertumbuhan pohon terhadap ketersediaan air tanah dan intensitas cahaya, pengambilan data dilakukan selama satu tahun yang mewakili musim hujan dan musim kering.

Parameter-parameter yang diukur meliputi parameter pertumbuhan pohon (lilit batang dan indeks luas daun), fisiologi tanaman (potensial air daun) dan faktor lingkungan (sifat kimia dan fisika tanah dan iklim: intensitas cahaya dan curah hujan). Peralatan yang digunakan selama pengambilan data antara lain meter tape, Scholander Pressure Chamber model 1000, PAR sensor dan data logger. Lebih detail mengenai peralatan yang digunakan disajikan dalam Lampiran 3a. Jumlah contoh dalam setiap parameter pengukuran disajikan dalam Lampiran 3b.

#### 3.2.2.1 Parameter pertumbuhan pohon

Parameter pertumbuhan pohon yang diukur meliputi lilit batang dan indeks luas daun (*Leaf Area Index*, LAI)

- Pengukuran lilit batang

Lilit batang diukur dengan menggunakan meter tape. Pengukuran dilakukan pada tiga posisi pengukuran, pada ketinggian 120 cm, 130 cm dan 140 cm dari permukaan tanah. Pengukuran ini dilakukan dengan maksud untuk mendapatkan hasil pengukuran yang akurat. Pengukuran dilakukan setiap dua bulan sekali.

- Pengukuran indeks luas daun

Pengukuran indeks luas daun dilakukan dengan metode secara langsung yaitu menghitung rasio total luas daun dalam satu pohon per luas area yang ditempati pohon. Dengan demikian dibuat hubungan antara diameter pohon dan diameter kanopi dan hubungan antara diameter pohon dan total jumlah daun.

Hubungan antara diameter pohon dan diameter kanopi didapatkan dengan mengukur diameter kanopi setiap tiga bulan sekali dengan menggunakan meter tape. Pengukuran dilakukan pada 2 arah, utara – selatan dan timur – barat.

Hubungan antara diameter pohon dan total jumlah daun didapatkan dengan mengukur total jumlah daun pada berbagai diameter pohon yang berbeda pada

musim kering dan musim hujan. Perhitungan total jumlah daun dalam satu pohon dilakukan dengan mengadopsi metode pendekatan theory Randomized Branch Sampling (RBS) yang dikembangkan oleh Jessen (1955). Total luas daun dalam satu pohon diperoleh dengan mengalikan jumlah daun dalam satu pohon dengan rerata luas daun. Rerata luas daun diperoleh dengan mengambil contoh daun secara acak untuk ditentukan luasnya dengan cara melakukan scan pada contoh daun. Dengan menggunakan software adobe photoshop hasil scan daun dapat ditentukan luas daunnya.

#### 3.2.2.2 Perubahan fisiologi tanaman

Respon perubahan fisiologi tanaman yang diukur adalah potensial air daun. Potensial air daun merupakan parameter yang banyak digunakan dalam mengukur status air tanaman.

Potensial air daun diukur pada pagi hari (*pre-dawn leaf water potential*). Nilai potensial air daun pada pagi hari mewakili nilai status air tanaman dimana nilai potensial air daun mendekati nilai potensial air tanah (Clearly *et al.* 1998). Dengan demikian, pada kondisi ketersediaan air tanah menurun, semakin rendah nilai potensial air daun menunjukkan tanaman semakin mengalami stress air.

Potensial air daun diukur setiap dua minggu sekali pada musim hujan dan seminggu sekali pada musim kering dengan menggunakan Scholander Pressure Chamber model 1000.

Potensial air daun diukur dengan mengambil contoh daun dengan cara memotong daun pada bagian petiole menggunakan pisau yang tajam. Pada masing-masing ulangan diambil dua contoh daun. Contoh daun yang diambil adalah daun yang telah berkembang sempurna berwarna hijau tua. Posisi daun yang diambil adalah daun pada kanopi terbawah dekat dengan batang. Contoh daun yang telah diambil segera diukur dengan pressure chamber. Lebih rinci mengenai pengukuran potensial air daun dengan menggunakan Scholander Pressure Chamber model 1000 disajikan dalam Lampiran 4.

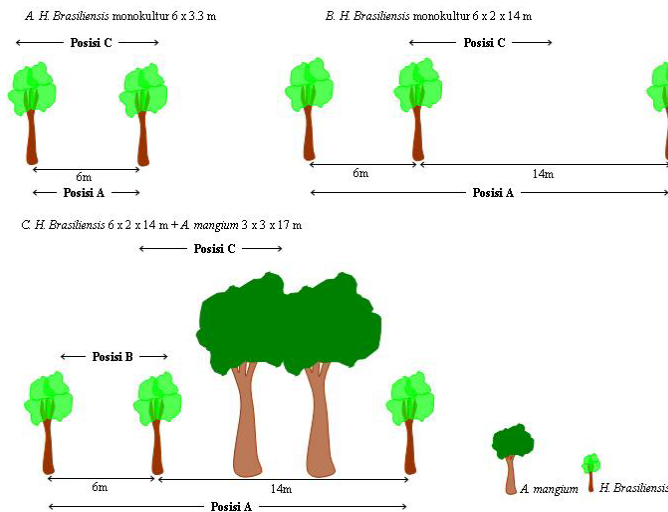
### 3.2.2.3 Parameter faktor lingkungan

Parameter faktor lingkungan yang diukur antara lain iklim dan sifat kimia dan fisika tanah. Unsur-unsur iklim yang diukur adalah intensitas cahaya (*Photosynthetic Active Radiation*, PAR) dan curah hujan.

- Iklim (intensitas cahaya dan curah hujan)

Setiap bulan, pada semua plot, dilakukan pengukuran PAR diatas kanopi (posisi C dalam Gambar 6) dan dibawah kanopi (posisi A dalam Gambar 6) pada waktu yang bersamaan. Pada plot campuran dan plot *H. brasiliensis* monokultur 6 x 2 x 14 m, pengukuran dibawah kanopi dilakukan pada 20 titik pengukuran tegak lurus dengan barisan pohon, sedangkan pada plot *H. brasiliensis* monokultur 6 x 3.3 m, pengukuran dibawah kanopi dilakukan pada 6 titik pengukuran.

Pada tahun kelima, pertumbuhan *H. brasiliensis* bervariasi. Pada plot campuran dengan *A. mangium*, *H. brasiliensis* memiliki lilit batang, diameter dan tinggi kanopi lebih kecil dibandingkan dengan *H. brasiliensis* pada plot monokultur. Untuk itu, pada plot campuran dengan *A. mangium* pengukuran PAR juga dilakukan diatas kanopi *H. brasiliensis* dan dibawah kanopi *A. Mangium* (posisi B dalam Gambar 6).



**Gambar 6.** Posisi tiga pengukuran intensitas cahaya

Curah hujan diukur dengan menggunakan penakar hujan tipe observatorium dan dipasang di tempat terbuka di dekat plot percobaan.



- Sifat kimia dan fisika tanah.

Contoh tanah pada setiap ulangan diambil pada beberapa titik dengan menggunakan bor tanah pada kedalaman 0 – 5, 5 – 20, 20 – 40, 40 – 80, 80 – 100 cm untuk selanjutnya dikomposit dan dianalisa di laboratorium Pusat Penelitian Karet, Balai Penelitian Sembawa untuk ditentukan kandungan pH, C, N, P, K, Ca, Mg, KTK.

#### 3.2.2.4 Data sekunder

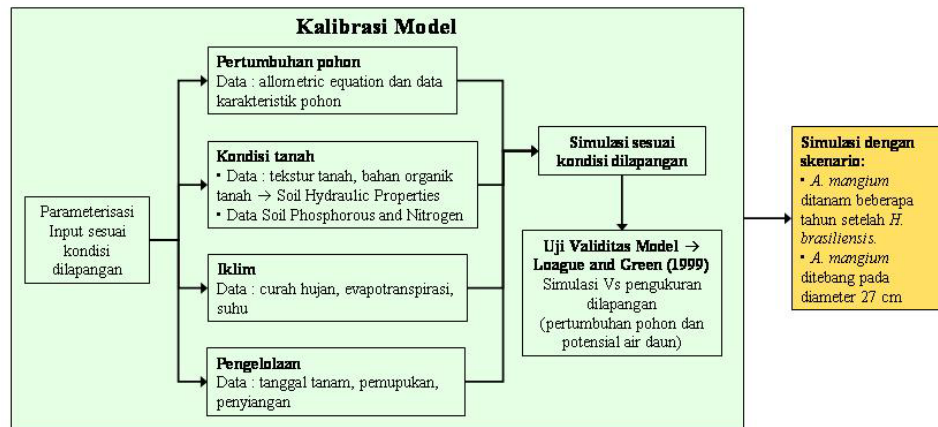
Pengukuran PAR, disamping dilakukan secara periodik di plot percobaan, juga dilakukan secara terus-menerus di tempat terbuka. Sensor PAR yang dihubungkan dengan data logger HOBO micro station, dipasang di stasiun klimatologi terdekat (stasiun klimatologi Pusat Penelitian Karet, Balai Penelitian Sembawa). Dengan data logger, perekaman PAR dilakukan kurang lebih dari jam 06.00 – 18.00 dengan interval pengukuran setiap 1 menit dan pencatatan data setiap 5 menit.

Untuk kepentingan simulasi model WaNuLCAS, digunakan data pertumbuhan pohon dari hasil pengukuran sebelum periode berlangsungnya penelitian ini dan data iklim dari stasiun klimatologi Pusat Penelitian Karet, Balai Penelitian Sembawa antara lain data curah hujan (2000 – 2007) dan evapotranspirasi potensial.

### 3.2.3 Simulasi model WaNuLCAS

Dalam percobaan lapangan, *A. mangium* dan *H. brasiliensis* ditanam pada tahun yang bersamaan. Untuk mengetahui respon pertumbuhan *H. brasiliensis* dengan tahun penanaman *A. mangium* setelah penanaman *H. brasiliensis* digunakan bantuan model WaNuLCAS.

Sebelum melakukan simulasi dengan skenario tersebut, terlebih dahulu dilakukan kalibrasi model dengan melakukan parameterisasi masukan model sesuai dengan kondisi dilapangan yang meliputi data karakteristik pohon, tanah dan iklim dan perbandingan dengan data hasil pengukuran dilapangan. Alur kerja dalam melakukan simulasi model disajikan dalam Gambar 7.



**Gambar 7.** Alur kerja dalam melakukan simulasi model WaNuLCAS

### 3.2.3.1 Parameterisasi masukan model

- Data karakteristik pohon

*H. brasiliensis* dan *A. mangium* merupakan jenis pohon yang terdapat dalam ‘tree library’ dalam model WaNuLCAS dan telah digunakan dalam beberapa studi antara lain Lusiana *et al.*, *in press*. Pertumbuhan pohon disimulasikan berdasarkan laju pertumbuhan tanaman dan persamaan allometri hubungan antara diameter pohon dan biomasa pohon. Persamaan allometri *H. brasiliensis* dan *A. mangium* digunakan persamaan allometri seperti yang tercantum dalam ‘tree library’ model WaNuLCAS (Tabel 1). Parameter-parameter lain dalam model seperti lebar dan tinggi kanopi, laju produksi biomasa per unit m<sup>2</sup> intersepsi cahaya dan konduktivitas akar dalam kaitannya dengan penyerapan air dilakukan kalibrasi untuk mendapatkan hasil simulasi mendekati hasil pengukuran lapangan melalui analisis sensitivitas model.

**Tabel 1.** Persamaan alometrik ( $Y = aD^b$ ) yang digunakan dalam model waNuLCAS untuk mensimulasi pertumbuhan pohon; Y = biomasa pohon (kering, kg per pohon), D = diameter pohon (cm).

Spesies	Biomasa Pohon	a	B	R <sup>2</sup>
<i>Acacia mangium</i> <sup>1)</sup>	Total	0.332	2.082	0.99
	Batang	0.283	2.081	0.99
	Daun + ranting	0.033	2.238	0.99
<i>Hevea brasiliensis</i> <sup>2)</sup>	Total	0.061	2.620	0.99

Sumber: <sup>1)</sup> Hiratsuka *et al.* (2003); <sup>2)</sup> Kettering *et al.* (2001)

- Data kondisi tanah dan iklim

Data kondisi tanah diperoleh hasil analisa tanah seperti yang disajikan dalam Tabel 2 kecuali untuk nilai bulk density. Bulk density merupakan hasil

estimasi dengan menggunakan pedotransfer (Woesten *et al.* 1998). Untuk nilai N tanah digunakan nilai default.

**Table 2.** Data sifat fisika tanah untuk input pedotransfer dan input kandungan fosfor tanah yang digunakan dalam model WaNuLCAS.

Kedalaman tanah, cm	Bulk Density	Liat	Debu	Bahan organik tanah	P	pH	KTK
	g cm <sup>-3</sup>		%		mg cm <sup>-3</sup>		me/100 g
0 - 5	1.34	27.50	24.33	2.435	7.13	4.46	9.28
5 - 20	1.35	30.42	23.50	1.802	6.02	4.47	7.75
20 - 50	1.35	34.64	21.44	1.010	5.77	4.58	9.21
50 - 100	1.33	40.05	21.23	0.599	6.31	4.52	8.82

Input curah hujan harian menggunakan data dari stasiun klimatologi Pusat Penelitian Karet, Balai Penelitian Sembawa yang berjarak kurang lebih 9 km dari lokasi plot percobaan. Pada tahap kalibrasi model digunakan data iklim tahun 2000 – 2007, sedangkan pada tahap simulasi berdasarkan skenario seperti dalam Gambar 7 digunakan data curah hujan tahun 2000. Secara umum curah hujan rata-rata tahunan sebesar 2.200 mm dengan curah hujan tertinggi terjadi pada bulan Desember – Maret dan bulan-bulan kering terjadi pada bulan Juni – September.

- Data bagian pengelolaan

Pola penanaman disesuaikan dengan kondisi dilapangan, termasuk kalender penanaman, penyiangan dan pemupukan. Penyederhanaan pengaturan jarak tanam dan pembagian zona disajikan dalam Tabel 3 dan Gambar 8. Penyiangan dilakukan pada zona dimana *H. brasiliensis* ditanam. Pemupukan diberikan setiap tahun, pupuk N diberikan dengan dosis 5.2 g N m<sup>-2</sup> dan pupuk P diberikan dengan dosis 2.3 g P m<sup>-2</sup>.

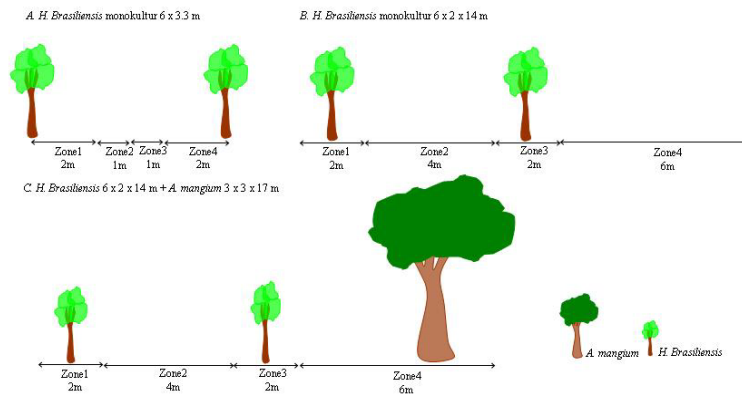
### 3.2.3.2 *Uji validitas model*

Kemampuan model dalam mensimulasikan pertumbuhan pohon sesuai dengan kondisi dilapangan dievaluasi dengan membandingkan hasil simulasi dan hasil pengukuran dilapangan untuk parameter diameter pohon dan potensial air daun. Untuk diameter pohon, perbandingan dilakukan dengan menggunakan data pengukuran dari tahun pertama sampai tahun keenam sedangkan untuk potensial air daun hanya dilakukan dengan menggunakan data pengukuran pada tahun

keenam. Indikator kesesuaian model yang digunakan adalah indikator yang dianjurkan oleh Loague and Green (1999) (Tabel4).

**Table 3.** Sistem dan pola pengaturan jarak tanam yang diterapkan dalam model WaNuLCAS. Rel zone merupakan parameter yang menentukan posisi pohon dalam setiap zona, nilai 0 menunjukkan posisi pada sebelah kiri zona dan nilai 1 menunjukkan posisi pada sebelah kanan zona.

Sistem	Jarak tanam, m	Jenis pohon	Posisi pohon		Lebar zona, m			
			Zona	Rel zone	1	2	3	4
<i>H. brasiliensis</i> monokultur	6 x 3.3	1 ( <i>H. brasiliensis</i> )	1	0	2	1	1	2
		2 ( <i>H. brasiliensis</i> )	4	1				
	6 x 2 x 14	1 ( <i>H. brasiliensis</i> )	1	0.5	2	4	2	6
		2 ( <i>H. brasiliensis</i> )	3	0.5				
<i>H. brasiliensis</i> + <i>A. mangium</i>	<i>H. brasiliensis</i> (6 x 2 x 14)	1 ( <i>H. brasiliensis</i> )	1	0.5				
		2 ( <i>H. brasiliensis</i> )	3	0.5	2	4	2	6
	<i>A. mangium</i> (3 x 3 x 17)	3 ( <i>A. mangium</i> )	4	0.75				



**Gambar 8.** Sistem dan pola pengaturan jarak tanam yang diterapkan dalam model WaNuLCAS.

### 3.2.3.3 Simulasi model

Dari hasil uji validitas model, selanjutnya sistem yang sama disimulasikan untuk mengetahui respon pertumbuhan *H. brasiliensis* dengan skenario (1) *A. mangium* ditanam beberapa tahun setelah *H. brasiliensis* dan (2) *A. mangium* ditebang pada saat diameter pohon mencapai 27 cm. Umur *H. brasiliensis* pada saat mencapai waktu sadap (diameter mencapai 15 cm) dijadikan indikator adanya pengaruh dari *A. mangium* terhadap *H. brasiliensis* dan sebaliknya umur *A. mangium* pada saat ditebang dijadikan indikator adanya pengaruh dari *H. brasiliensis* terhadap *A. mangium*.

**Tabel 4.** Indikator kesesuaian model oleh Loague and Green (1999).

Kriteria	Simbol	Rumus perhitungan	Kisaran nilai	Nilai optimum
Maximum error	ME	$\text{Max}  P_i - O_i _{i=1}^n$	$\geq 0$	0
Root mean square	RMSE	$\left( \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \right)^{\frac{1}{2}} * \frac{100}{O_{mean}}$	$\geq 0$	0
Coefficient of determination	CD	$\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - O_{mean})^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - O_{mean})^2}$	$\geq 0$	1
Modelling efficiency	EF	$\frac{\left( \sum_{i=1}^n (O_i - O_{mean})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 \right)}{\sum_{i=1}^n (O_i - O_{mean})^2}$	$\leq 1$	1
Coefficient of residual mass	CRM	$\frac{\left( \sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i \right)}{\sum_{i=1}^n O_i}$	$\leq 1$	0

$P_i$  = nilai simulasi model,  $O_i$  = nilai hasil pengamatan di lapangan,  $n$  = jumlah pengamatan dan  $O_{mean}$  = rata-rata nilai pengukuran dilapangan.

### 3.3 Analisa Data

#### 3.3.1 Analisa keragaman

Pertumbuhan tanaman (pertambahan lilit batang), sifat kimia dan fisika tanah, potensial air daun, leaf area index, intersepsi cahaya, pertambahan biomasa dan efisiensi penggunaan cahaya dianalisa menggunakan uji statistik analisa keragaman (ANOVA) dengan software SYSTAT 11.

#### 3.3.2 Potensial air tanaman

Pola sebaran potensial air daun musiman dihubungkan dengan curah hujan.

#### 3.3.3 Efisiensi penggunaan cahaya

Nisbah akumulasi produksi biomassa dengan akumulasi intersepsi cahaya dalam periode yang sama dikenal dengan istilah Efisiensi Penggunaan Cahaya

(LUE = *Light Use Efficiency*). Secara matematis efisiensi penggunaan cahaya dapat dituliskan:

$$\text{Light Use Efficiency}(LUE) = \frac{\Delta AGB}{\sum S_i}$$

dimana  $\Delta AGB$  adalah perbedaan nilai biomasa antara dua waktu pengukuran,  $g\ m^{-2}$  dan  $\sum S_i$  adalah kumulatif radiasi yang diintersepsi oleh tanaman,  $MJ\ m^{-2}$

Kumulatif intersepsi cahaya dihitung dari data hasil pengukuran PAR di plot percobaan pada posisi diatas dan dibawah kanopi serta pengukuran di stasiun klimatologi dengan menggunakan persamaan (Ong *et.al.*, 1996; Rinaldi and Vonella, 2006):

$$\left\{ \begin{array}{l} f = 1 - \exp(-kLAI) , \quad f = \frac{S_i}{S} , \quad S_i = S - S_0 \\ \frac{(S - S_0)}{S} = 1 - \exp(-kLAI) \end{array} \right. \quad [1]$$

dimana  $f$  adalah fraksi intersepsi cahaya sama dengan  $(S-S_0)/S$ ,  $S$  adalah jumlah PAR yang datang diatas kanopi tanaman,  $MJ\ m^{-2}\ hari^{-1}$ ,  $S_0$  adalah jumlah PAR dibawah kanopi,  $MJ\ m^{-2}\ hari^{-1}$ ,  $S_i$  adalah intersepsi cahaya,  $k$  adalah extinction coefficient atau koefisien pemadaman dan LAI adalah Leaf Area Index (LAI) atau Indeks Luas Daun (ILD).

Nilai  $k$  dalam persamaan tersebut diestimasi dari hasil pengukuran PAR diatas dan dibawah kanopi serta nilai LAI dengan menggunakan Hukum Beer:

$$k = \frac{-\ln(S_0 / S)}{LAI} \quad [2]$$

Pada plot campuran, intersepsi cahaya masing-masing komponen (*H. Brasiliensis* dan *A. mangium*) dihitung dengan tahapan perhitungan sebagai berikut:

1. Menghitung intersepsi cahaya *H. Brasiliensis* dengan menggunakan persamaan [1] dengan nilai  $S$  adalah radiasi matahari diatas kanopi *H. Brasiliensis* dan dibawah kanopi *A. mangium*.

2. Menghitung intersepsi cahaya *A. mangium* dengan cara :

Intersepsi cahaya *A. mangium* =  $S - S_0 - \text{Intersepsi cahaya } H. Brasiliensis$

dimana,  $S$  : radiasi diatas kanopi *A. mangium*  $S_0$  : radiasi dibawah kanopi

Delta biomassa pohon dihitung dari data hasil pengukuran lilit batang dengan menggunakan persamaan allometrik :

1. *H.brasiliensis* :  $W = 0.002604G^{2.7826}$  (Shorrocks *et al.*, 1965) [3]

2. *A.mangium* :  $W = 0.2769D^{2.1585}$  (Hiratsuka *et al.*, 2003) [4]

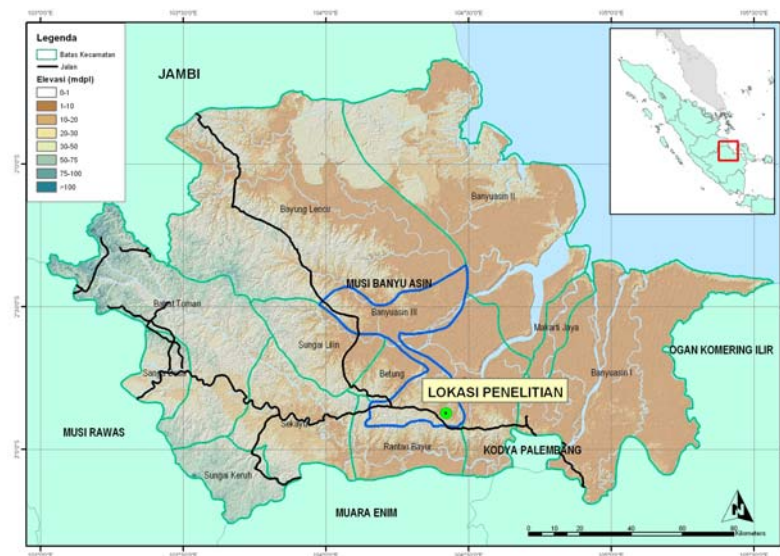
dimana W adalah biomassa, g m<sup>-2</sup>, G adalah lilit batang, cm dan D adalah diameter batang, cm

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Kondisi Umum Lokasi Penelitian

#### 4.1.1 Letak geografis wilayah

Desa Sembawa yang menjadi lokasi penelitian ini merupakan salah satu desa di Kecamatan Banyuasin III, Kabupaten Banyuasin, Propinsi Palembang, Sumatra Selatan dan terletak pada 03°55.684'LS dan 104°32.382' BT. Desa Sembawa terletak kurang lebih 20 km dari ibukota kecamatan, Pangkalan Balai. Tutupan lahan yang dominan pada daerah ini adalah karet dan kelapa sawit.



**Gambar 9.** Peta kabupaten Banyuasin

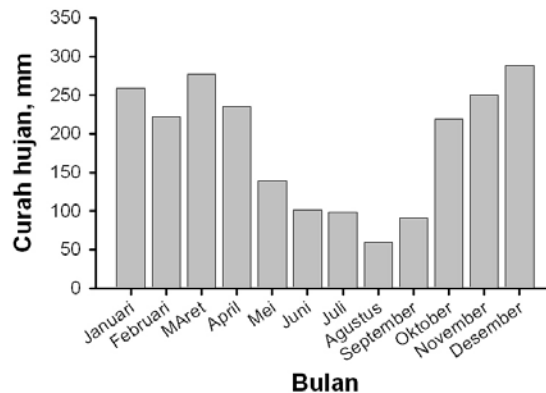
Kabupaten Banyuasin (Gambar 9) secara geografis, pada sebelah Utara berbatasan dengan Kabupaten Muara Jambi, Provinsi Jambi dan Selat Bangka, pada sebelah Timur berbatasan dengan Kecamatan Air Sugihan dan Kecamatan Pampangan, Kabupaten Ogan Komering Ilir, pada sebelah Selatan berbatasan dengan Kecamatan Sirih Pulau Madang, Kabupaten Ogan Komering Ilir, Kota Palembang, Kecamatan Gelumbang dan Kecamatan Talang Ubi, Kabupaten Muara Enim dan pada sebelah Barat berbatasan dengan Kecamatan Lais,



Kecamatan Sungai Lilin, dan Kecamatan Bayung Lencir Kabupaten Musi Banyuasin.

#### 4.1.2 Iklim

Secara umum, Desa Sembawa mempunyai curah hujan rata-rata pertahun 2.200 mm dengan curah hujan tertinggi terjadi pada bulan Desember – Maret dan bulan-bulan kering terjadi pada bulan Juni – September (Gambar 10). Rata-rata kelembaban udara sepanjang tahun diatas 80 % dengan rata-rata suhu udara maksimum adalah 32 °C serta suhu udara minimum adalah 23 °C. Rata-rata intensitas cahaya pada musim kering sebesar 18.43 MJ m<sup>-2</sup> dan pada musim hujan sebesar 17.11 MJ m<sup>-2</sup> dengan evapotranspirasi potensial pada musim kering sebesar 3.95 mm per hari dan pada musim hujan sebesar 3.36 mm per hari (stasiun klimatologi Pusat Penelitian Karet, Balai Penelitian Sembawa).



**Gambar 10.** Distribusi curah hujan bulanan pada lokasi penelitian, rerata selama 10 tahun (1997 – 2006) dari data curah hujan pada stasiun klimatologi Pusat Penelitian Karet, Balai Penelitian Sembawa.

#### 4.1.3 Tanah

Tanah di plot percobaan termasuk dalam kelas tekstur lempung liat berpasir, lempung berliat, liat dan liat berpasir. Tekstur tanah pada plot *H. brasiliensis* monokultur 6 x 3.3 m (Tabel 5) secara nyata menunjukkan kandungan pasir yang lebih tinggi dibandingkan dengan plot yang lain. Namun demikian, perbedaan yang nyata ini tidak diikuti dengan perbedaan yang nyata pada berat isi tanah (Tabel 6). Menurut Lorimer, 1987 dalam Anonymous, 2006, dengan kelas

tekstur seperti disajikan dalam Tabel 5, tergolong kedalam tanah-tanah dengan tingkat ketersediaan air tanah tinggi (1.6 mm air/cm kedalaman tanah).

**Tabel 5.** Tekstur tanah pada plot percobaan pada kedalaman tanah 0 – 5 sampai 60 – 100 cm.

Sistem	Kedala- man tanah (cm)	Pasir	Debu	Liat	Kelas tekstur
		%			
<i>H. brasiliensis</i> monokultur 6 x 3.3 m	0 - 5	54.00	19.67	26.33	Lempung liat berpasir
	5 – 20	51.00	20.00	29.00	Lempung liat berpasir
	20 – 40	47.67	<b>b</b> 17.00	<b>b</b> 35.33	<b>a</b> Liat berpasir
	40 – 60	47.67	15.00	37.33	Liat berpasir
	60 - 100	40.67	19.33	40.00	Liat
<i>H. brasiliensis</i> monokultur 6 x 2 x 14 m	0 - 5	46.67	26.67	26.67	Lempung liat berpasir
	5 – 20	45.00	27.17	27.83	Lempung berliat
	20 – 40	41.67	<b>a</b> 26.67	<b>a</b> 31.67	<b>a</b> Lempung berliat
	40 – 60	41.67	21.00	37.33	Lempung berliat
	60 - 100	38.67	24.33	37.00	Lempung berliat
<i>H. brasiliensis</i> + <i>A. mangium</i> m	0 - 5	48.00	28.50	23.50	Lempung
	5 – 20	44.67	29.00	26.33	Lempung
	20 – 40	44.00	<b>a</b> 27.00	<b>a</b> 29.00	<b>a</b> Lempung berliat
	40 – 60	39.00	27.67	33.33	Lempung berliat
	60 - 100	37.33	25.00	37.67	Lempung berliat

Angka yang diikuti dengan huruf yang sama secara statistik menunjukkan tidak ada perbedaan yang nyata ( $P = 0.05$ ).

Pada tahun kelima setelah penanaman pohon status kesuburan tanah pada semua plot tidak menunjukkan adanya perbedaan yang nyata kecuali untuk nilai KTK (Tabel 6). Data yang disajikan dalam Tabel 6 merupakan nilai rata-rata dari semua plot. Menurut Marx *et al.* (1996) status kesuburan tanah tergolong rendah dengan tingkat kemasaman tanah yang cukup tinggi.

**Tabel 6.** Status kesuburan dan berat isi tanah pada plot percobaan pada kedalaman tanah 0 – 5 sampai 60 – 100 cm.

Kedalaman Tanah, cm	pH	C	N	P <sub>Bray2</sub>	K	Ca	Mg	KTK	Berat isi <sup>1)</sup>
		%		mg kg <sup>-1</sup>		me/100 g			g cm <sup>-3</sup>
0 - 5	4.46	1.433	0.162	7.13	0.15	0.50	0.31	9.28	1.335
5 - 20	4.47	1.060	0.140	6.02	0.16	0.55	0.34	7.75	1.348
20 - 40	4.59	0.648	0.084	5.76	0.09	0.65	0.39	9.46	1.362
40 - 60	4.56	0.488	0.064	5.80	0.14	0.72	0.61	8.69	1.320
60 - 100	4.51	0.318	0.087	6.44	0.09	0.65	0.47	8.85	1.332

<sup>1)</sup> berat isi diestimasi menggunakan pedotransfer berdasarkan data tekstur dan bahan organik tanah (Woesten, *et al.*, 1998).

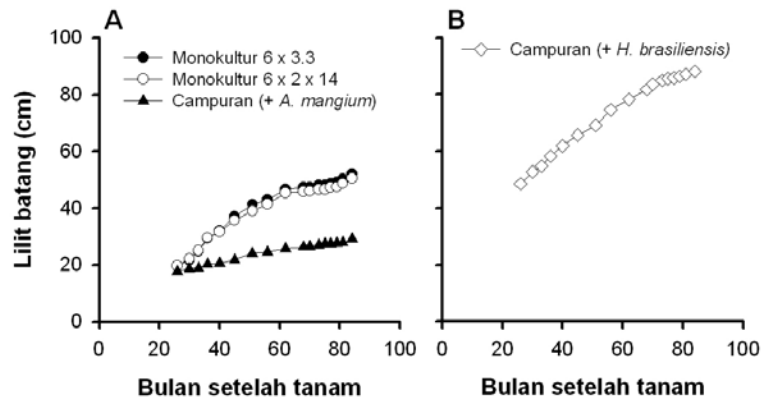
Kesuburan tanah yang tergolong rendah ini, menurut Howell *et al.* (2005) pertumbuhan *H. brasiliensis* berada dalam kondisi dengan faktor pembatas tingkat

minor – serius. Kondisi ini mengakibatkan beberapa fase pertumbuhan terganggu seperti rendahnya kandungan N, akan menyebabkan fase belum menghasilkan lebih lama sehingga mencapai umur sadap lebih lama apabila tidak dilakukan pemupukan. Namun demikian tingkat kemasaman yang tinggi ini merupakan kondisi yang optimum baik untuk pertumbuhan *H. brasiliensis* dan *A. mangium* (Lemmens *et al.* 1995).

Dengan tidak ditemukan adanya perbedaan yang nyata baik pada sifat fisik (berat isi tanah) maupun status kesuburan tanah, dalam bahasan selanjutnya apabila ditemukan perbedaan dalam sistem yang dikaji, maka sifat fisik dan status kesuburan tanah bukan merupakan faktor yang menyebabkan adanya perbedaan tersebut.

## 4.2 Pertumbuhan pohon

Pertumbuhan pohon, lilit batang (cm) mulai dari 26 – 84 bulan setelah tanam (BST) disajikan pada Gambar 11. Pada 26 – 68 BST, pengukuran dilakukan setiap 4 – 6 bulan sekali (data sekunder). Pada tahun kelima, 70 – 84 BST (periode dilangsungkan penelitian ini) pengukuran dilakukan setiap 2 bulan sekali. Penambahan lilit batang *H. brasiliensis* pada semua plot selama periode dilangsungkan penelitian ini disajikan pada Tabel 7.



**Gambar 11.** Lilit batang (cm) dari (A) *H. brasiliensis* pada plot monokultur dan pada plot campuran dengan *A. mangium* (B) *A. mangium* pada plot campuran dengan *H. brasiliensis*.

Gambar 11 A menggambarkan bahwa pertumbuhan *H. brasiliensis* dalam plot campuran dengan *A. mangium* secara nyata lebih rendah dari plot

monokultur, sedangkan perbedaan jarak tanam dalam sistem *H. brasiliensis* monokultur tidak menunjukkan perbedaan yang nyata.

Lebih detail bila dilihat pada data penambahan lilit batang selama periode penelitian ini (Tabel 7), pada semua sistem yang dikaji, penambahan lilit batang *H. brasiliensis* pada periode pengamatan musim kering (berkisar dari 0.79 – 1.41 mm/bulan) secara nyata lebih rendah dibandingkan pada periode pengamatan musim hujan (berkisar dari 2.97 – 6.76 mm/bulan). Kisaran nilai penambahan lilit batang ini sejalan dengan hasil studi yang dilaporkan oleh Chandrashekar *et al.* (1998); Harja *et al.* (2005).

**Tabel 7.** Penambahan lilit batang (girth increment) (mm/bulan) *H. brasiliensis* pada plot monokultur dan pada plot campuran dengan *A. mangium* untuk periode musim kering (2 May – 11 September 2006) dan hujan (16 November 2006 – 28 March 2007) pada lima tahun setelah tanam.

Musim	Kumulatif curah hujan (mm)	Pohon	Sistem	Penambahan lilit batang (mm/bulan)
Kering	290	<i>H. brasiliensis</i>	Monokultur 6 x 3.3	0.89 a
			Monokultur 6 x 2 x 14	1.41 b
		<i>A. mangium</i>	Campuran (+ <i>A. mangium</i> )	0.79 a
			Campuran (+ <i>H. brasiliensis</i> )	2.05 a'
Hujan	1122	<i>H. brasiliensis</i>	Monokultur 6 x 3.3	6.33 d
			Monokultur 6 x 2 x 14	6.76 e
		<i>A. mangium</i>	Campuran (+ <i>A. mangium</i> )	2.97 c
			Campuran (+ <i>H. brasiliensis</i> )	3.53 b'

Angka yang diikuti dengan huruf yang sama secara statistik menunjukkan tidak ada perbedaan yang nyata ( $P = 0.05$ ).

Penambahan lilit batang *H. brasiliensis* pada plot campuran dengan *A. mangium* secara nyata lebih rendah dari plot monokultur, namun perbedaan yang nyata ini hanya ditunjukkan pada musim hujan. Pada musim kering penambahan lilit batang tidak berbeda dengan plot monokultur 6 x 3.3 m.

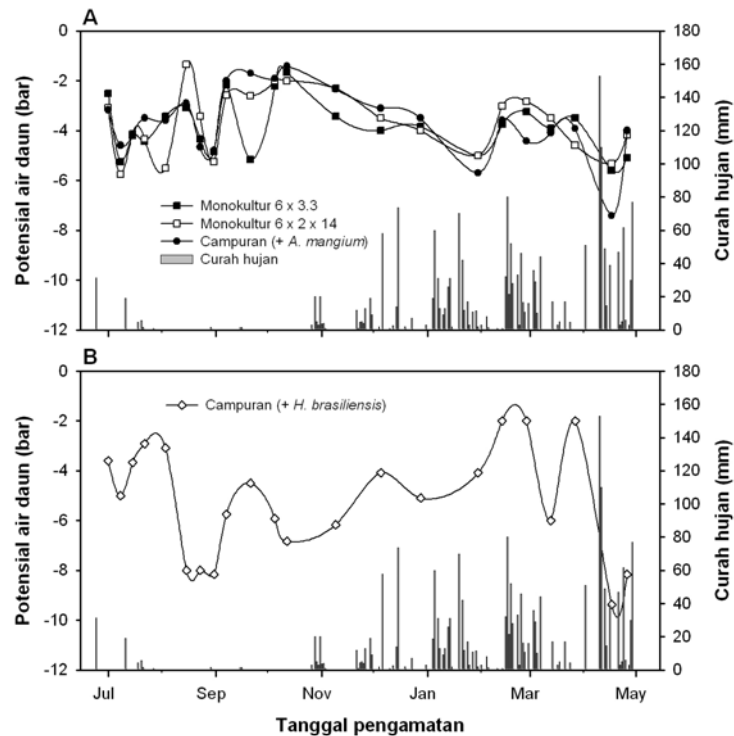
Penambahan lilit batang *H. brasiliensis* pada plot monokultur 6 x 2 x 14, baik pada musim kering maupun musim hujan secara nyata lebih tinggi dari *H. brasiliensis* pada plot monokultur 6 x 3.3. Berturut-turut untuk sistem monokultur 6 x 3.3 m dan 6 x 2 x 14 m adalah 0.89 dan 1.41 mm/bulan pada musim kering dan 6.33 dan 6.76 mm/bulan pada musim hujan.

Perbedaan ini dapat dikaitkan dengan potensial air daun (sub bab 4.3). Potensial air daun *H. brasiliensis* pada plot monokultur 6 x 2 x 14 lebih tinggi dari

*H. brasiliensis* pada plot monokultur 6 x 3.3 (walaupun secara statistik tidak menunjukkan perbedaan yang nyata). Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Yatapanage dan So (2001) tentang hubungan potensial air daun dan diameter pohon pada sorghum. Yatapanage dan So (2001) melaporkan bahwa diameter sorghum meningkat secara nyata pada hari-hari dilakukan irigasi.

### 4.3 Potensial Air Daun

Potensial air daun dari *H. brasiliensis* pada semua sistem yang dikaji menunjukkan perbedaan yang nyata antara musim kering (Juli – September) dan musim hujan (Oktober – Maret), sedangkan potensial air daun dari *A. mangium* tidak menunjukkan perbedaan diantara musim (Gambar 12).



**Gambar 12.** Potensial air daun (bar) dari (A) *H. brasiliensis* pada plot monokultur dan pada plot campuran dengan *A. mangium* (B) *A. mangium* pada plot campuran dengan *H. brasiliensis*

Gambar 12A menunjukkan bahwa baik pada musim kering maupun musim hujan, potensial air daun dari *H. brasiliensis* pada sistem yang berbeda tidak menunjukkan adanya perbedaan yang nyata dengan kisaran nilai (-5.75) – (-

1.33) bar pada musim kering dan (-7.42) – (-2.30) bar pada musim hujan. Sedangkan pada *A. mangium* (Gambar 12B) mempunyai kisaran nilai (-8.17) – (-2.92) bar pada musim kering dan (-9.38) – (-2.00) bar pada musim hujan.

Lebih detail, rerata potensial air daun dari *H. brasiliensis* pada plot monokultur dan plot campuran dengan *A. mangium* disajikan dalam Tabel 8. Tabel 8 memperlihatkan bahwa potensial air daun *H. brasiliensis* pada semua sistem yang dikaji, pada musim hujan cenderung lebih rendah dibandingkan dengan musim kering. Hal ini dapat dihubungkan dengan fisiologi dari *H. brasiliensis* yang menggugurkan daunnya pada musim kering (Gambar 13).

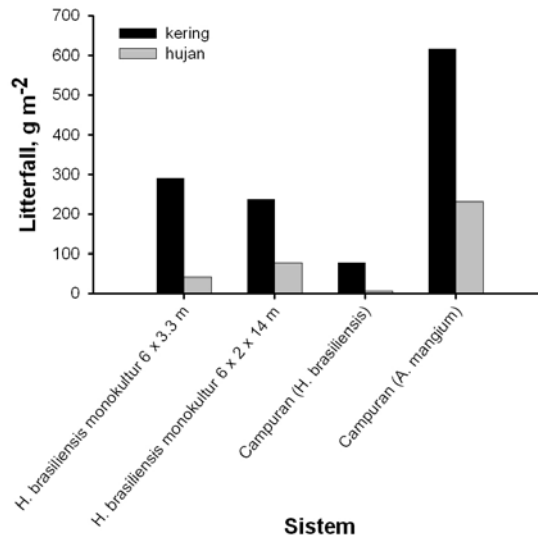
Gambar 13 menunjukkan bahwa jumlah daun *H. brasiliensis* yang gugur pada musim kering jauh lebih tinggi, sehingga LAI pada musim kering lebih rendah (Tabel 9). Dalam kondisi ini, walaupun ketersediaan air tanah (supply) pada musim kering rendah, kebutuhan air tanaman (demand) juga rendah sehingga potensial air daun dapat dipertahankan.

**Tabel 8.** Rerata potensial air daun (bar) dari *H. brasiliensis* pada plot monokultur dan plot campuran dengan *A. mangium*.

Musim	Pohon	Sistem	Rerata potensial air daun (bar)
Kering	<i>H. brasiliensis</i>	Monokultur 6 x 3.3	- 3.60 a
		Monokultur 6 x 2 x 14	- 3.50 a
		Campuran (+ <i>A. mangium</i> )	- 3.20 a
	<i>A. mangium</i>	Campuran (+ <i>H. brasiliensis</i> )	- 5.45 a'
Hujan	<i>H. brasiliensis</i>	Monokultur 6 x 3.3	- 4.13 b
		Monokultur 6 x 2 x 14	- 3.82 b
		Campuran (+ <i>A. mangium</i> )	- 4.21 b
	<i>A. mangium</i>	Campuran (+ <i>H. brasiliensis</i> )	- 4.90 a'

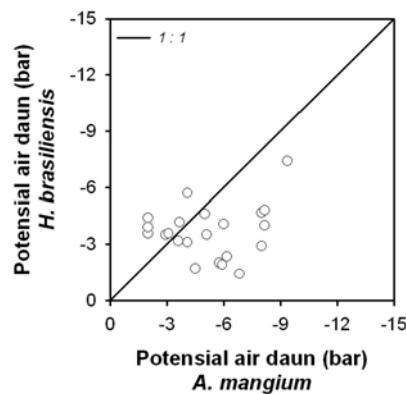
Angka yang diikuti dengan huruf yang sama secara statistik menunjukkan tidak ada perbedaan yang nyata ( $P = 0.05$ ).

*A. mangium* tergolong pohon dengan laju fotosintesis dan konduktansi stomata yang tinggi, laju fotosintesis kurang lebih lima kali lebih tinggi dan konduktansi stomata kurang lebih tiga belas kali lebih tinggi dari *H. brasiliensis* (Maruyama *et al.* 1997; Matsumoto *et al.* 2000). Hal ini tercermin dari tingginya nilai intersepsi cahaya oleh *A. mangium* (disajikan dalam sub bab 4.4). Intersepsi cahaya yang tinggi diikuti dengan demand yang tinggi. Pada kondisi ketersediaan air tanah menurun, potensial air tanaman yang semakin rendah sangat dibutuhkan untuk mempertahankan perbedaan potensial air tanah dan tanaman sehingga proses transpirasi akan tetap berlangsung.



**Gambar 13.** Litterfall dari *H. brasiliensis* pada plot monokultur dan plot campuran dengan *A. mangium* dan litterfall dari *A. mangium*.

Hal tersebut dapat dilihat pada potensial air daun dari *A. mangium* pada plot campuran. Pada plot campuran, potensial air daun dari *A. mangium* baik pada musim kering maupun musim hujan secara nyata cenderung mempunyai nilai lebih rendah dibandingkan dengan potensial air daun dari *H. brasiliensis* (Tabel 8 dan Gambar 14).



**Gambar 14.** Perbandingan potensial air daun (bar) dari *H. brasiliensis* dengan *A. mangium* pada plot campuran.

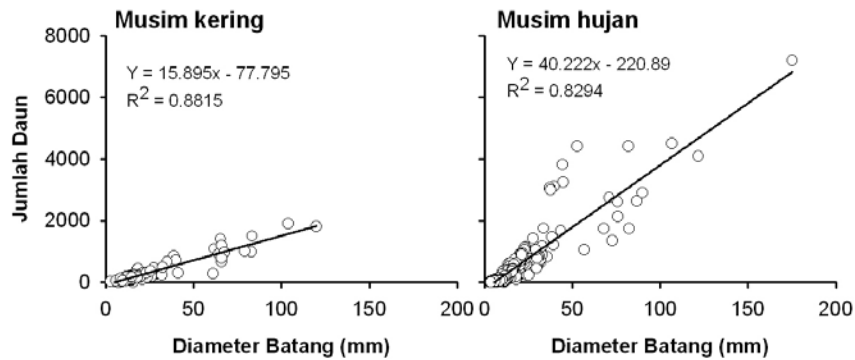
Menurut Larcher (1995), air mempunyai kecenderungan untuk mengalir ketempat dengan nilai potensial air yang lebih negatif. Dengan demikian, dalam kondisi ketersediaan air tanah yang dapat diserap oleh *H. brasiliensis* rendah (walaupun tidak nyata dengan *H. brasiliensis* pada plot monokultur) dapat

memicu stomata untuk tertutup. Dengan demikian laju transpirasi dan penyerapan  $\text{CO}_2$  oleh *H. brasiliensis* menjadi rendah.

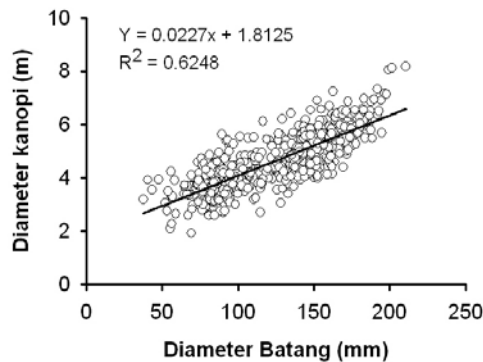
## 4.4 Efisiensi Penggunaan Cahaya

### 4.4.1 Indeks luas daun dan intersepsi cahaya

Hubungan antara diameter pohon dengan total jumlah daun dan hubungan diameter pohon dengan diameter kanopi disajikan dalam Gambar 15 dan 16. Index luas daun diperoleh dari rasio total luas daun dan luas area yang ditempati pohon, dengan nilai rata-rata luas daun sebesar  $142.5 \text{ cm}^2$  diperoleh nilai LAI seperti disajikan dalam Tabel 9. Dengan menggunakan persamaan [1] diperoleh nilai fraksi intersepsi cahaya seperti disajikan dalam Tabel 9.



**Gambar 15.** Hubungan diameter batang tanaman dengan total jumlah daun pada musim kering dan musim hujan pada *H. brasiliensis*.



**Gambar 16.** Hubungan diameter batang tanaman dengan diameter kanopi pada *H. brasiliensis*

Dengan menggunakan persamaan [2], diperoleh nilai koefisien pemadaman ( $k$ ) untuk *H. brasiliensis* sebesar 0.41. Nilai ini berada dalam kisaran



nilai yang dilaporkan oleh Ong *et.al.* (1996). Ong *et.al.* (1996) melaporkan bahwa nilai k untuk tanaman berdaun lebar dan mempunyai sudut daun horizontal mempunyai kisaran nilai  $k = 0.5 - 0.8$ , sedangkan tanaman berdaun sempit dan dengan sudut daun vertikal mempunyai kisaran nilai  $k = 0.3 - 0.45$ .

**Table 9.** Indeks luas daun (LAI) dan fraksi intersepsi cahaya untuk periode musim hujan dan musim kemarau dari *H. brasiliensis* dan *A. mangium*.

Musim	Pohon	Sistem	LAI	Fraksi Intersepsi Cahaya (%)
Kering	<i>H. brasiliensis</i>	Monokultur 6 x 3.3	1.69 b	49.55 c
		Monokultur 6 x 2 x 14	1.63 b	48.40 c
	<i>A. mangium</i>	Campuran (+ <i>A. mangium</i> )	0.93 a	9.15 a
		Campuran (+ <i>H. brasiliensis</i> )	na	80.70 a'
Hujan	<i>H. brasiliensis</i>	Monokultur 6 x 3.3	4.43 e	83.44 d
		Monokultur 6 x 2x 14	4.29 d	82.47 d
	<i>A. mangium</i>	Campuran (+ <i>A. mangium</i> )	2.40 c	14.40 b
		Campuran (+ <i>H. brasiliensis</i> )	na	77.97 a'

na : tidak terukur. Angka yang diikuti dengan huruf yang sama secara statistik menunjukkan tidak ada perbedaan yang nyata ( $P = 0.05$ ).

Pada semua sistem yang dikaji, indeks luas daun dari *H. brasiliensis* pada musim kering secara nyata lebih rendah dari musim hujan (Tabel 9). Baik pada musim kering maupun musim hujan indeks luas daun dari *H. brasiliensis* pada plot campuran dengan *A. mangium* (0.93 pada musim kering dan 2.40 pada musim hujan) secara nyata lebih rendah dari *H. brasiliensis* pada plot monokultur (1.63 – 1.69 pada musim kering dan 4.29 – 4.43 pada musim hujan). Perbedaan jarak tanam dalam sistem *H. brasiliensis* monokultur, tidak diikuti dengan perbedaan indeks luas daun yang nyata pada musim kering, perbedaan indeks luas daun yang nyata hanya dijumpai pada musim hujan.

Pada semua sistem yang dikaji, fraksi intersepsi cahaya dari *H. brasiliensis* pada musim kering secara nyata lebih rendah dari musim hujan (Tabel 9) dengan kisaran 9.15 – 49.55 % pada musim kering dan 14.4 – 83.44 % pada musim hujan. Perbedaan ini dapat dihubungkan dengan fisiologi dari *H. brasiliensis* yang menggugurkan daunnya pada musim kering (Gambar 13).

Pada tahun kelima, pertumbuhan *H. brasiliensis* pada plot campuran dengan *A. mangium*, memiliki lilit batang, diameter dan tinggi kanopi lebih kecil dibandingkan dengan *H. brasiliensis* pada plot monokultur dan *A. mangium* sendiri. Dalam kondisi ternaungi oleh *A. mangium*, kurang lebih hanya 30%

(musim kering) dan 23% (musim hujan) dari total radiasi matahari radiasi matahari yang sampai diatas kanopi *H. Brasiliensis*. Dengan rendahnya radiasi matahari yang sampai diatas kanopi *H. Brasiliensis* dan rendahnya indeks luas daun dari *H. brasiliensis*, intersepsi cahaya dari *H. brasiliensis* menjadi rendah (berturut-turut pada musim kering dan musim hujan sebesar 9.15 % dan 14.4 %). Nilai ini secara nyata lebih rendah dari intersepsi cahaya oleh *H. brasiliensis* pada plot monokultur.

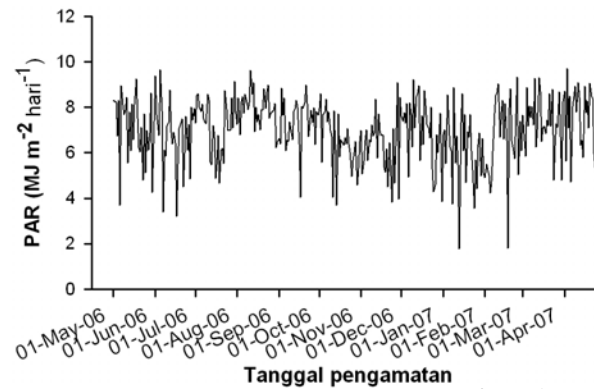
Pada plot monokultur 6 x 3.3 m, intersepsi cahaya mencapai nilai 49.6 % pada musim kering dan 83.4 % pada musim hujan, sedangkan pada plot monokultur 6 x 2 x 14 m, intersepsi cahaya mencapai nilai 48.4 % pada musim kering dan 82.5 % pada musim hujan. Perbedaan jarak tanam dalam plot *H. brasiliensis* monokultur tidak membuat intersepsi cahaya berbeda secara nyata baik pada musim kering maupun hujan.

Intersepsi cahaya dari *A. mangium* sendiri tidak menunjukkan adanya perbedaan yang nyata diantara musim (80.7 % pada musim kering dan 77.9 % pada musim hujan).

#### **4.4.2 Biomassa pohon dan efisiensi penggunaan cahaya**

Distribusi PAR selama periode pengamatan disajikan pada Gambar 17. Distribusi PAR pada musim kering lebih tinggi dari musim hujan dengan rata-rata pada musim kering sebesar  $7.22 \text{ MJ m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$  dan musim hujan sebesar  $6.71 \text{ MJ m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$  (Table 10).

Dengan fraksi intersepsi cahaya (%) yang disajikan pada Tabel 9 dan distribusi PAR (Gambar 17) diperoleh kumulatif intersepsi cahaya selama periode pengamatan musim kering dan musim hujan seperti disajikan dalam Tabel 10. Dengan menggunakan persamaan [3] – [4] dan data lilit batang pada Gambar 11 diperoleh delta biomassa selama periode pengamatan musim kering dan musim hujan. Efisiensi penggunaan cahaya (LUE) merupakan ratio delta biomassa dengan kumulatif intersepsi cahaya dalam periode yang sama (Tabel 10).



**Gambar 17.** Pola Photosynthetic Active Radiation (PAR), MJ m<sup>-2</sup> hari<sup>-1</sup> diatas kanopi dari periode 1 Mei 2006 sampai 31 April 2007.

**Table 10.** Efisiensi penggunaan cahaya (LUE), g MJ<sup>-1</sup> untuk periode musim hujan (November 2006 – Maret 2007) dan musim kemarau (Mei – September 2006) dari *H. brasiliensis* dan *A. mangium*.  $\Delta$ AGB : perbedaan nilai biomassa antara dua waktu pengukuran,  $\Sigma S_i$  : kumulatif radiasi yang diintersepsi oleh tanaman.

Musim	Rata-rata PAR (MJ m <sup>-2</sup> hr <sup>-1</sup> )	Pohon	Sistem	Δ AGB (g m <sup>-2</sup> )	Σ S <sub>i</sub> (MJ m <sup>-2</sup> )	LUE (g MJ <sup>-1</sup> )
Kering	7.22	<i>H. brasiliensis</i>	Monokultur 6 x 3.3	143.4 b	476.1 c	0.30 a
			Monokultur 6 x 2 x 14	238.0 d	465.0 c	0.51 b
			Campuran (+ <i>A. mangium</i> )	46.9 a	87.9 a	0.53 b
		<i>A. mangium</i>	Campuran (+ <i>H. brasiliensis</i> )	274.5 a'	775.3 a'	0.35 a'
Hujan	6.71	<i>H. brasiliensis</i>	Monokultur 6 x 3.3	1127.0 e	744.5 d	1.51 c
			Monokultur 6 x 2x 14	1168.5 e	735.8 d	1.59 c
			Campuran (+ <i>A. mangium</i> )	189.9 c	128.5 b	1.50 c
		<i>A. mangium</i>	Campuran (+ <i>H. brasiliensis</i> )	487.0 b'	695.7 b'	0.70 b'

Angka yang diikuti dengan huruf yang sama secara statistik menunjukkan tidak ada perbedaan yang nyata (P = 0.05).

Kumulatif intersepsi cahaya, delta biomassa dan efisiensi penggunaan cahaya pada musim kering secara nyata lebih rendah dari musim hujan (Tabel 10).

Perbedaan jarak tanam dalam sistem *H. brasiliensis* monokultur tidak menunjukkan perbedaan yang nyata baik pada kumulatif intersepsi cahaya, delta biomassa maupun efisiensi penggunaan cahaya baik pada musim kering maupun musim hujan kecuali delta biomassa pada musim kering (*H. brasiliensis*

monokultur 6 x 2 x 14 lebih tinggi). Perbedaan ini dapat dikaitkan dengan potensial air daun (sub bab 4.3). Potensial air daun *H. brasiliensis* pada plot monokultur 6 x 2 x 14 lebih tinggi dari *H. brasiliensis* pada plot monokultur 6 x 3.3 (walaupun secara statistik tidak menunjukkan perbedaan yang nyata).

Baik pada musim hujan maupun musim kering, kumulatif intersepsi cahaya dari *H. brasiliensis* dalam plot campuran dengan *A. mangium* secara nyata lebih rendah dari *H. brasiliensis* pada plot monokultur. Dalam kondisi teraungi (intensitas cahaya rendah) juga merupakan kondisi dimana stomata menjadi tertutup. Dengan demikian, proses penyerapan CO<sub>2</sub> untuk dirubah menjadi karbohidrat dalam proses fotosintesis menjadi rendah. Righi *et al.*, 2007 juga melaporkan bahwa rendahnya intensitas cahaya secara nyata menurunkan intersepsi cahaya dan berat kering biomassa tanaman.

Rendahnya laju fotosintesis dari *H. brasiliensis* pada plot campuran dengan *A. mangium* dapat dilihat dari nilai delta biomassa. Delta biomassa dari *H. brasiliensis* pada plot campuran dengan *A. mangium* secara nyata lebih rendah dibandingkan dengan delta biomassa dari *H. brasiliensis* pada plot monokultur. Bila dilihat dari efisiensi penggunaan cahaya, efisiensi penggunaan cahaya dari *H. brasiliensis* pada plot campuran dengan *A. mangium* mempunyai nilai paling rendah (1.50 g MJ<sup>-1</sup> pada musim hujan) tetapi tidak menunjukkan perbedaan yang nyata dengan plot monokultur. Dengan demikian, lebih rendahnya pertumbuhan *H. brasiliensis* dalam plot campuran dengan *A. mangium* secara nyata disebabkan adanya naungan dari *A. mangium* yang menyebabkan rendahnya kumulatif intersepsi cahaya oleh *H. brasiliensis*.

Intersepsi cahaya dan efisiensi penggunaan cahaya dari *A. mangium* dalam plot campuran dengan *H. brasiliensis* secara nyata lebih rendah dari *A. Mangium* monokultur (data plot *A. mangium* monokultur tidak disajikan). Dengan demikian, tanpa adanya pengelolaan seperti pemangkasan *A. Mangium* atau penundaan penanaman *A. mangium*, penanaman *H. brasiliensis* dan *A. mangium* dalam satu plot tidak memberikan keuntungan untuk pertumbuhan *H. brasiliensis*.

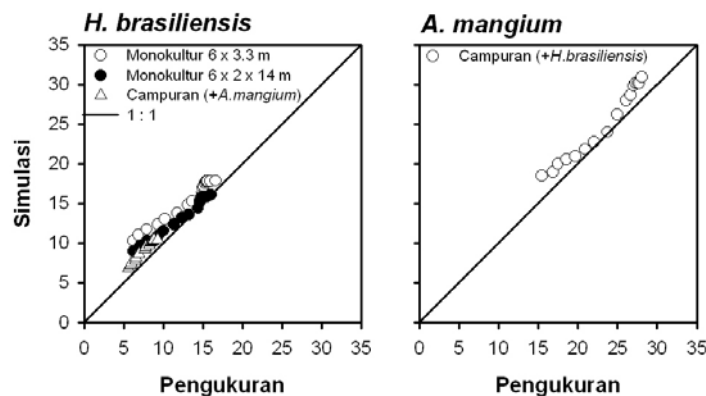
## 4.5 Hasil Simulasi Model WaNuLCAS

Berdasarkan hasil percobaan lapangan tersebut diatas yang menyatakan bahwa lebih rendahnya pertumbuhan *H. brasiliensis* dalam plot campuran dengan *A. mangium* secara nyata disebabkan adanya naungan dari *A. mangium* yang menyebabkan rendahnya kumulatif intersepsi cahaya oleh *H. brasiliensis*, maka dengan bantuan model WaNuLCAS dilakukan simulasi dengan skenario (1) *A. mangium* ditanam beberapa tahun setelah *H. brasiliensis* dan (2) *A. mangium* ditebang pada saat diameter pohon mencapai 27 cm.

Umur *H. brasiliensis* pada saat mencapai waktu sadap (diameter mencapai 15 cm) dijadikan indikator adanya pengaruh dari *A. mangium* terhadap *H. brasiliensis* dan sebaliknya umur *A. mangium* pada saat ditebang dijadikan indikator adanya pengaruh dari *H. brasiliensis* terhadap *A. mangium*.

### 4.5.1 Kalibrasi model WaNuLCAS: pertumbuhan pohon dan potensial air tanaman

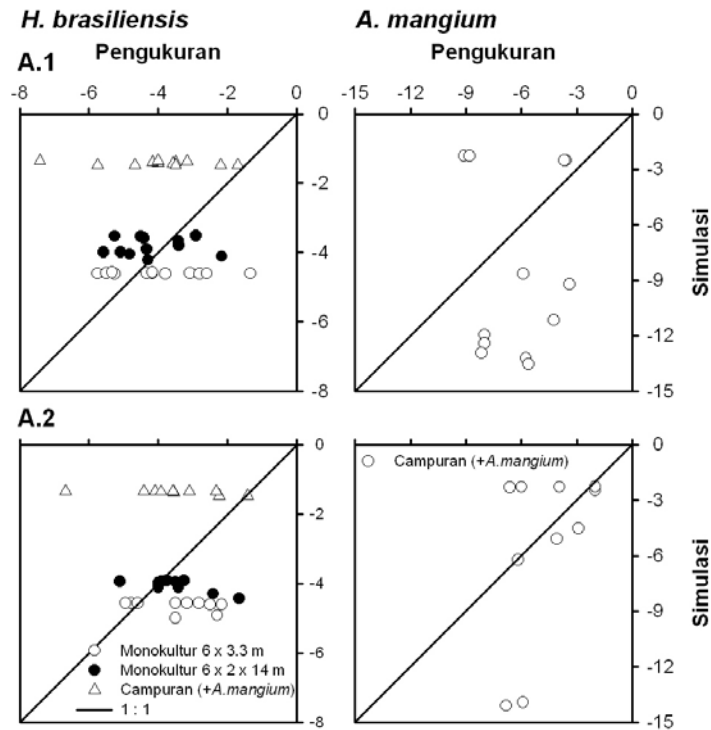
Sebelum dilakukan simulasi dengan skenario tersebut diatas, kemampuan model dalam mensimulasikan pertumbuhan pohon sesuai dengan kondisi dilapangan dievaluasi dengan membandingkan hasil simulasi diameter pohon dan potensial air tanaman dengan hasil pengukuran dilapangan (Gambar 18 dan Gambar 19). Tabel 11 menyajikan hasil evaluasi kesesuaian model dengan menggunakan kriteria Loague dan Green (1999).



**Gambar 18.** Perbandingan diameter pohon (cm) antara simulasi dan hasil pengukuran.

Diameter pohon dapat diduga dengan cukup baik oleh model WaNuLCAS, jika dilihat dari nilai  $R^2$  0.98 dan nilai EF 0.91 (masing-masing mempunyai nilai

optimum = 1). Namun demikian, pada beberapa titik pendugaan diameter pohon pada periode awal pertumbuhan pohon, baik untuk *H. brasiliensis* maupun *A. mangium* hasil simulasi cenderung lebih besar. Hal ini yang menyebabkan nilai RMSE cukup tinggi yaitu sebesar 13.9 (nilai optimum = 0).



**Gambar 18.** Perbandingan potensial air daun (bar) antara simulasi dan hasil pengukuran A.1 musim kering dan A.2 musim hujan.

Nilai prediksi potensial air daun tidak sebaik dugaan diameter pohon. Baik pada kondisi basah maupun kering hasil simulasi potensial air daun baik untuk *H. brasiliensis* maupun *A. mangium* cenderung lebih tinggi (lebih positif) dibandingkan dengan hasil pengukuran dilapangan. Hal ini tercermin dari rendahnya nilai RMSE yaitu -69.7 (nilai optimum = 0) dan rendahnya nilai  $R^2$  (0.15). Namun demikian, jika dilihat dari nilai indikator yang lain, yaitu nilai CD dengan nilai optimum 1, potensial air daun pada masing-masing perlakuan memberikan hasil dugaan yang cukup baik (berturut-turut untuk *H. brasiliensis* monokultur 6 x 3.3 m, *H. brasiliensis* monokultur 6 x 2 x 14 m dan *H. brasiliensis* pada plot campuran dengan *A. mangium* adalah 0.63, 0.8 dan 0.26). Bila dibandingkan antara *H. brasiliensis* dan *A. mangium*, hasil simulasi sejalan

dengan hasil pengukuran dilapangan dimana potensial air daun dari *A. mangium* lebih negatif dari *H. brasiliensis*.

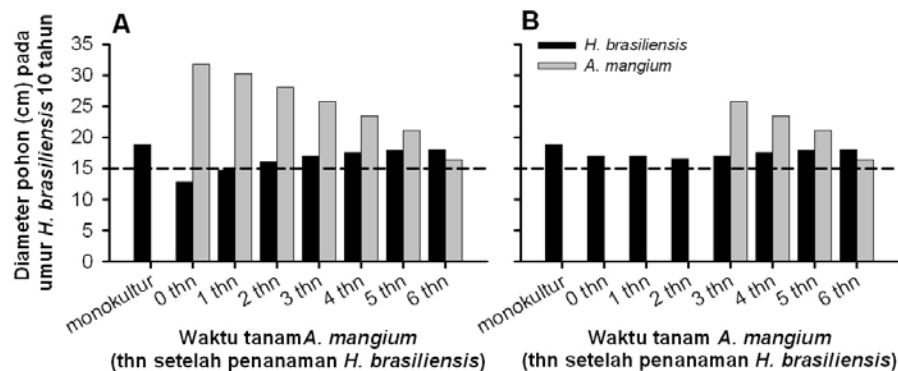
**Tabel 11.** Hasil evaluasi validasi model dengan menggunakan WaNuLCAS versi 3.2 berdasarkan kriteria dari Loague and Green (1991). Hasil yang disajikan dalam tabel merupakan rerata semua sistem.

Kriteria	Diameter pohon	Potensial air daun	Kisaran nilai	Nilai optimum
ME	4.2	8.0	$\geq 0$	0
R <sup>2</sup>	0.98	0.15	0 – 1	1
RMSE	13.9	-69.7	$\geq 0$	0
EF	0.91	-2.15	$\leq 1$	1
CRM	-0.12	-0.02	$\leq 1$	0
CD	11.09	0.32	$\geq 0$	1

ME : maximum error, RMSE : root mean square error, EF : model efficiency, CRM : coefficient of residual mass, CD : coefficient of determination.

#### 4.5.2 Simulasi waktu tanam *A. mangium* dan penebangan *A. mangium*

Hasil simulasi model berdasarkan skenario (1) dan (2) disajikan dalam Gambar 19 dan Tabel 12 – 13. Penanaman *A. mangium* secara simultan dengan *H. brasiliensis* membuat pertumbuhan *H. Brasiliensis* menjadi lebih lambat. Dengan melakukan penundaan waktu tanam dan atau penebangan *A. mangium* memberikan kesempatan kepada *H. brasiliensis* untuk dapat tumbuh dengan lebih baik (Gambar 20).



**Gambar 20.** Pengaruh tahun penanaman dan penebangan *A. mangium* terhadap pertumbuhan *H. brasiliensis* (diameter pohon) berdasarkan simulasi model WaNuLCAS. A. *A. mangium* tidak ditebang, B. *A. mangium* ditebang pada saat diameter pohon mencapai 27 cm.

Pada plot *H. brasiliensis* monokultur, waktu sadap (diameter mencapai 15 cm) dicapai pada umur 5.5 tahun. Pada sistem penanaman campuran *H. brasiliensis* dan *A. mangium*, jika waktu tanam *A. mangium* bersamaan dengan *H.*

*brasiliensis*, waktu sadap dicapai pada umur 15 tahun (kurang lebih 9.5 tahun lebih lama). Jika *A. mangium* ditebang pada saat diameter mencapai 27 cm, waktu sadap dicapai pada umur 8.5 tahun (kurang lebih 3 tahun lebih lama) (Tabel 12).

**Tabel 12.** Pengaruh tahun tanam *A. mangium* terhadap waktu tunda penyadapan *H. brasiliensis*.

Sistem	Waktu tanam <i>A. mangium</i> (Tahun setelah tanam <i>H. brasiliensis</i> )	Waktu tunda penyadapan (Tahun terhadap <i>H. brasiliensis</i> monokultur)*	
		Jika <i>A. mangium</i> tidak ditebang	Jika <i>A. mangium</i> ditebang**
<i>H. brasiliensis</i> + <i>A. mangium</i>	0	9.5	3.1
	1	5.4	3.0
	2	2.2	2.2
	3	0.8	0.8
	4	0.3	0.3
	5	0.0	0.0
	6	0.0	0.0

\* *H. brasiliensis* monokultur mencapai umur sadap pada diameter 15 cm pada umur 5.5 tahun.

\*\* *A. mangium* ditebang pada saat diameter pohon mencapai 27 cm.

Keterlambatan bagi *H. brasiliensis* dalam mencapai umur sadap dapat dipersingkat dengan melakukan penundaan waktu tanam *A. mangium* dan atau melakukan penebangan *A. mangium*. Dalam Tabel 12 menunjukkan bahwa dengan menunda waktu tanam kurang lebih 2 – 4 tahun dan menebang *A. mangium*, waktu sadap dicapai pada umur 7.7 – 5.8 tahun (kurang lebih 2.2 – 0.3 tahun lebih lama). Keterlambatan bagi *H. brasiliensis* dalam mencapai umur sadap tidak akan terjadi jika waktu tanam *A. mangium* ditunda hingga 5 tahun terhadap waktu tanam *H. brasiliensis* (Tabel 12).

Disisi lain penundaan waktu tanam *A. mangium* memperlambat umur pemanenan *A. mangium*, kecuali penundaan selama 1 tahun (Tabel 13). Pada penundaan waktu tanam *A. mangium* 2 – 6 tahun memperlambat waktu panen *A. mangium* mulai dari 0.5 – 1.3 tahun. Dengan tidak terjadinya penundaan waktu panen *A. mangium* pada penundaan waktu tanam *A. mangium* 1 tahun, dapat dimanfaatkan untuk penanaman tanaman pangan.



**Tabel 13.** Pengaruh tahun tanam *A. mangium* terhadap waktu tunda pemanenan dari *A. mangium*.

Sistem	Waktu tanam <i>A. mangim</i> (Tahun setelah tanam <i>H. brasiliensis</i> )	Waktu tunda pemanenan <i>A. mangium</i> (Tahun terhadap waktu tanam 0 tahun)*
<i>H. brasiliensis</i> + <i>A. mangium</i>	1	0.0
	2	0.5
	3	0.7
	4	1.0
	5	1.0
	6	1.3

\* Waktu tanam *A. mangium* 0 tahun terhadap *H. brasiliensis*, *A. mangium* mencapai diameter 27 cm pada umur 7 tahun.

#### 4.5.3. Evaluasi Performa Model

Model WaNuLCAS dapat diaplikasikan untuk melakukan eksplorasi pola penanaman *H. brasiliensis* monokultur dan *H. brasiliensis* campuran dengan *A. mangium* dan juga eksplorasi respon pertumbuhan *H. brasiliensis* jika *A. mangium* ditanam beberapa tahun setelah penanaman *H. brasiliensis*. Namun demikian, model WaNuLCAS masih mempunyai beberapa kelemahan sehingga beberapa hasil simulasi model cenderung lebih tinggi atau lebih rendah dari hasil pengukuran dilapangan.

Berkaitan dengan kompetisi air antara *H. Brasiliensis* dan *A. mangium*, hasil simulasi potensial air daun antara *H. brasiliensis* dan *A. mangium* sejalan dengan hasil pengukuran dilapangan dimana potensial air daun dari *A. mangium* lebih negatif dari *H. brasiliensis*.

Dinamika potensial air daun per musim berkaitan dengan kerapatan akar ( $\text{cm cm}^{-3}$ ) sebagai bagian tanaman yang bertanggung jawab dalam penyerapan air. Kerapatan akar merupakan input dalam model. Dalam menyederhanakan keberadaan akar, model WaNuLCAS menyediakan pilihan (1) kerapatan akar bersifat konstan selama pertumbuhan tanaman dan (2) kerapatan akar bersifat dinamis selama pertumbuhan tanaman. Pilihan pertama digunakan dalam studi ini mengingat data dinamika kerapatan akar *H. brasiliensis* dan *A. mangium* dari waktu ke waktu merupakan data yang sulit diukur secara langsung dilapangan.

Penyederhanaan input model yang dapat memungkinkan menyebabkan nilai prediksi potensial air daun permusim tidak sebaik dugaan diameter pohon

atau dengan kata lain nilai prediksi model tidak dapat menjelaskan dinamika potensial air daun dilapangan. Potensial air daun baik pada musim kering maupun musim hujan hasil pengukuran (Gambar 12) lebih dinamis dibandingkan dengan hasil simulasi (Gambar 19).

Berkaitan dengan kompetisi cahaya antara *H. Brasiliensis* dan *A. mangium*, dalam menghitung intersepsi cahaya model WaNuLCAS belum mempertimbangkan arah datangnya cahaya (lateral shading), WaNuLCAS model hanya mempertimbangkan arah datang cahaya secara vertikal. Hal tersebut memungkinkan *A. mangium* masih dapat tumbuh dengan baik pada skenario penundaan diatas 5 tahun.

## BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Beberapa hal yang dapat disimpulkan dari hasil penelitian ini antara lain:

Pada musim kering maupun musim hujan potensial air daun dari *H. brasiliensis* pada sistem yang berbeda tidak berbeda nyata. Dalam sistem campuran, potensial air daun dari *A. mangium* secara nyata lebih rendah dari *H. brasiliensis*.

Efisiensi penggunaan cahaya dari *H. brasiliensis* pada plot campuran dengan *A. mangium* tidak berbeda nyata dengan *H. brasiliensis* pada plot monokultur. Kumulatif intersepsi cahaya dan biomassa pohon dari *H. brasiliensis* pada plot campuran dengan *A. mangium* secara nyata lebih rendah dibandingkan dengan *H. brasiliensis* pada plot monokultur.

Dengan demikian lebih rendahnya pertumbuhan *H. brasiliensis* dalam plot campuran dengan *A. mangium* secara nyata disebabkan oleh adanya naungan dari *A. mangium* yang menyebabkan rendahnya intersepsi cahaya oleh *H. brasiliensis*.

Tanpa adanya pengelolaan seperti penundaan penanaman *A. mangium*, penanaman *H. brasiliensis* dan *A. mangium* dalam satu plot tidak memberikan keuntungan untuk pertumbuhan *H. brasiliensis*.

Hasil simulasi WaNuLCAS model mengatakan bahwa dengan melakukan penundaan penanaman *A. mangium* memberikan kesempatan kepada *H. brasiliensis* untuk dapat tumbuh dengan lebih baik, umur sadap *H. brasiliensis* mendekati pola penanaman monokultur, jika penanaman *A. mangium* ditunda hingga 5 tahun.

Penanaman *A. mangium* secara bersamaan dengan *H. brasiliensis* atau penundaan penanaman *A. mangium* dibawah 5 tahun dapat dibarengi dengan penebangan *A. mangium*. Penundaan penanaman *A. mangium* mempercepat umur sadap *H. brasiliensis*, namun memperlambat umur pemanenan *A. mangium*.

## 5.2 Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut yang menyangkut eksplorasi :

1. Jenis tanaman kayu yang lain yang termasuk dalam kategori *slow growing trees* atau jenis tanaman keras yang tahan terhadap naungan dan tumbuh lebih baik pada kondisi ternaungi seperti kopi.
2. Pengaruh penanaman campuran tersebut terhadap produksi lateks.

## Daftar Pustaka

- Anonymous. 2008. Karet. <http://id.wikipedia.org/wiki/Karet>. 3 Maret 2008.
- Anonymous. 2006. Desert Uplands Strategic Land Resource Assessment. [http://www.epa.qld.gov.au/nature\\_conservation/biodiversity/desert\\_uplands\\_strategic\\_land\\_resource\\_assessment/](http://www.epa.qld.gov.au/nature_conservation/biodiversity/desert_uplands_strategic_land_resource_assessment/). 25 June 2008.
- Boer E, Ella AB (Eds). 2000. Plants producing exudates. PROSEA, Bogor, Indonesia.
- Boerhendhy I. 1990. Pertumbuhan dan Produksi Klon GT 1 pada Berbagai Jarak Tanam. Buletin Perkebunan Rakyat 6(2): 64 – 69.
- Chandrashekar TR, Nazeer MA, Marattukalam JG, Prakash GP, Annamalainathan K, Thomas J. 1998. An analysis of growth and drought tolerance in rubber during the immature phase in a dry subhumid climate. Expl Agric. 34: 287 – 300.
- Clearly B, Zaerr J, Hamel J. 1998. Guidelines for measuring plant moisture stress with a pressure chamber. PMS Instrument Company. Oregon. USA.
- Delusia EH, George K, Hamilton JG. 2002. Radiation use efficiency of a forest exposed to elevated concentrations of atmospheric carbon dioxide. Tree Physiology 22: 1003 – 1010.
- Dercas N, Kavarakis G, Nikolaou A. 2001. Evaluation of productivity, water and radiation use efficiency of two sweet sorghum varieties under greek conditions. James & James (science publishers) Ltd.
- Francis. 2003. *Acacia mangium dalam* Vozzo JA (eds) Tropical tree seed manual. United States Department of Agriculture. Forest Service
- Handoko. 1993. Radiasi Surya *dalam* Handoko (eds) Klimatologi Dasar. Pustaka Jaya. Jakarta.
- Harja A, Vincent G, Purnomosidhi P, Rahayu S, Joshi L. 2005. Impact of rubber tree planting pattern on *Imperata cylindrica* dynamics – Exploring weed control through shading using SExI-FS, a forest stand simulator. International conference of “Smallholder Agroforestry Option for Degraded Soil (SAFODS)” project. 18 – 22 August 2005 Batu, Indonesia.

- Healey KD, Rickert KG, Hammer GL, Bange MP. 1998. Radiation use efficiency increases when the diffuse component of incident radiation is enhanced under shade. *Aust. J. Agric. Res* 49: 665 – 672.
- Hiratsuka M, Toma T, Yamada M, Heriansyah I, Morikawa Y. 2003. A general allometric equation for estimating biomass in *Acacia mangium* plantations. In *Proceeding of the 2003 international conference on tropical forests and climate change*, Manila, Philippines, 21-22 October 2003. University of the Philippines Los Banos.
- Howell CJ, Schwabe KA, Abu Samah, AH, Graham RC, Iskandar Taib N. 2005. Assessment of aboriginal smallholder soils for rubber growth in peninsular Malaysia. *Soil Science* 170: 1034–1049.
- Jessen RJ. 1955. Determining the fruit count on a tree by randomized branch sampling. *Biometric* 11: 99 – 109.
- Joly RJ. 1985. Techniques for determining seedling water status and their effectiveness in assessing stress *dalam* Duryea, M.L. (eds) *Proceeding: Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major test*. Workshop held October 16 – 18, 1984. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis.
- Joshi L, Wibawa G, Vincent G, Boutin D, Akiefnawati R, Manurung G, Van Noordwijk M, Williams S. 2002. *Jungle Rubber*. World Agroforestry Center. Bogor.
- Ketterings QM, Coe R, Van Noordwijk M, Ambagau' Y, Palm CA. 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forest. *Forest Ecology and Management* 146: 201-211
- Larcher W. 1995. *Physiological Plant Ecology*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Germany.
- Lemmens RHMJ, Soerianegara I, Wong WC (Eds.). 1995. *Timber trees: Minor commercial timbers*. PROSEA, Bogor, Indonesia.
- Leuschner C, Backes K, Hertel D, Schipka F, Schmitt U, Terborg O, Runge M. 2001. Drought responses at leaf, stem and fine root levels of competitive *Fagus sylvatica* L and *Quercus petraea* (Matt) Liebl. Trees in dry and wet years. *Forest Ecology and Management* 149: 33 – 46.
- Limmaneethorn S, Sdoodee S, Yeendum I. 2007. Effects of irrigation on physiological responses and latex yield of rubber trees (*Hevea brasiliensis*) during the dry season. *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 29(3): 601-613.

- Loage K, Green RE. 1991. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: Overview and application. *J Contaminant Hydrol* 7: 51–73.
- Lusiana B, Khasanah N, Suprayogo D, van Noordwijk M, Cadisch G (*in press*) Tree management options to manipulate tree-crop interactions and environmental trade-offs.
- Mariscal MJ, Orgaz F, Villalobos FJ. 2000. Radiation use efficiency and dry matter partitioning of a young olive (*Olea europaea*) orchard. *Tree Physiology*, 20: 65–72.
- Martini E. 2001. Stomata conductance and leaf water potential response of forest tropical seedlings to water stress condition (Respon konduktansi stomata dan potensial air daun anakan bayur (*Pterospermum javanicum* Jungh.), damar (*Shorea javanica* Koord. & Valetton.), duku (*Lansium domesticum* Corr.), karet (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) dan pulai (*Alstonia scholaris* (L.) R. Br.) terhadap kondisi stress air). Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia. p 75.
- Maruyama Y, Toma T, Ishida A, Matsumoto Y, Morikawa Y, Ang LH, Yap SK, Iwasa M. 1997. Photosynthesis and water use efficiency of 19 tropical tree species. *J. Trop. For. Sci.*, 9 (3): 434–438.
- Marx ES, Hart J, Stevens RG. 1996. Soil Test Interpretation Guide. Oregon State University.
- Matsumoto Y, Maruyama Y, Ang LH. 2000. Maximum gas exchange rate and osmotic potential in sun leaves of tropical tree species. *Tropics*, 9(3): 195–209
- Muthuri CW, Ong CK, Black CR, Mati BM, Ngumi VW, van Noordwijk M. 2004. Modelling the effects of leafing phenology on growth and water use by selected agroforestry tree species in semi-arid Kenya. *Land Use and Water Resources Research* 4: 1–11.
- Nieto, Rodriguez. 2003. *Hevea brasiliensis dalam* Vozzo JA (eds) Tropical tree seed manual. United States Department of Agriculture. Forest Service
- Nortes PA, Perez-Pastor A, Egea G, Conejero W, Domingo R. 2005. Comparison of changes in stem diameter and water potential values for detecting water stress in young almond trees. *Agricultural Water Management* 77: 296 – 307.
- Ong CK, Black CR, Marshall FM, Corlet JE. 1996. Principles of resource capture and utilization of light and water *dalam* Ong, C.K and Huxley, P (eds) *Tree-Crop Interaction: A Physiological Approach*. CABI, Wallingford, UK.
- Pinto LF, Bernardes M, van Noordwijk M, Pereira A, Lusiana B, Mulia R. 2005. Simulation of agroforestry systems with sugarcane in Piracicaba, Brazil. *Agricultural Systems* 86: 275-292.

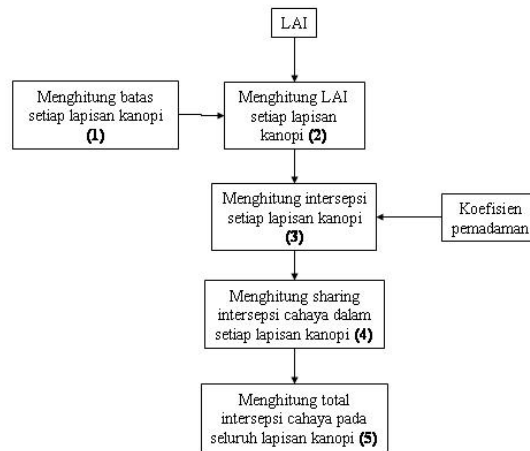
- Purcell LC, Ball RA, Reaper JD, Vories ED. 2002. Radiation use efficiency and biomass production in soybean at different plant population densities. *Crop Science* 42: 172 – 177.
- Righi CA, Bernardes MS, Lunz AMP, Pereira CR, Neto DD, Favarin JL. 2007. Measurement and simulation of solar radiation availability in relation to the growth of coffee plants in an agroforestry system with rubber trees. *Rev. Árvore* vol.31 no.2 Viçosa Mar./Apr. 2007. [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-67622007000200002&lng=pt&trng=iso&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622007000200002&lng=pt&trng=iso&tlng=pt) 13 Maret 2008.
- Rinaldi M, Vonella AV. 2006. The response of autumn and spring sown sugar beet (*Beta vulgaris* L.) to irrigation in southern Italy: water and radiation use efficiency. *Field Crops Research* 95: 103 – 114.
- Rose CW. 1966. *Agricultural Physics*. Pergamon Press. London.
- Roshetko JM, Purnomosidhi P. 1999. Establishment and early growth of five timber species under smallholder condition in Lampung, Indonesia. In: Evans DO (eds) *Forest, Farm, and Community. Tree Research report - Vol. 4*. Winrock International.
- Sadras VO, Wilson LJ. 1997. Crop ecology, production and management - growth analysis of cotton crops infested with spider mites: I. Light interception and radiation use efficiency. *Crop Science* 37: 481 – 491.
- Sassenrath-Cole GF. 1995. Dependence of canopy light distribution of leaf and canopy structure for two cotton (*Gossypium*). *Agricultural and Forest Meteorology*, 77: 55 – 72
- Shorrocks VM, Templeton JK, Iyer GC. 1965. Mineral nutrition, growth and nutrient cycle of *Hevea brasiliensis*. III. The relationship between girth and shoot weight. *J. Rubb. Res. Inst. Malaysia*, 27(2): 259 – 263.
- Sitompul SM. 2002. Radiasi dalam sistem agroforestry dalam Hairiah K, Widiyanto, Utami SR, Lusiana B (eds) *WaNuLCAS: Model simulasi untuk sistem agroforestry*. International Centre for Research in Agroforestry. Bogor. Indonesia.
- Steudle E. 2001. The cohesion-tension mechanism and the acquisition of water by plant roots. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 52: 847-875.
- Tyree MT. 2003. The ascent of water. *Nature* 423, 923.
- van Noordwijk M, Lusiana B. 1999. WaNuLCAS, a model of water, nutrient and light capture in agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 43: 217-242.



- van Noordwijk M, Lusiana B, Khasanah N .2004. WaNuLCAS 3.01: background on a model of Water, Nutrient and Light Capture in Agroforestry Systems. Bogor, Indonesia. World Agroforestry Centre - ICRAF, SEA Regional Office. 246 p.
- Walker AP, Mutuo PK, van Noordwijk M, Albrecht A, Cadisch G. 2007. Modelling of planted legume fallows in Western Kenya using WaNuLCAS: (I) Model calibration and validation. *Agroforestry System*. 70: 197–209.
- Wise R, Cacho O. 2005. A bioeconomic analysis of carbon sequestration in farm forestry: a simulation study of *Gliricidia sepium*. *Agroforestry Systems*. 64: 237 – 250.
- Wösten JHM, Lilly A, Nemes A, Le Bas C. 1998. Using existing soil data to derive hydraulic parameters for simulation models and in land use planning. Report Winand Staring Centre for Integrated Land, Soil and Water Research, Wageningen, The Netherlands.
- Yatapanage dan So (2001) Teh relatinship between Leaf Water Potential and Stem Diameter in Sorghum. *Agron. J*. 93: 1341 – 1343.

## Lampiran 1a. Modul penyerapan cahaya dalam model WaNuLCAS

Flowchart perhitungan intersepsi cahaya dalam model WaNuLCAS



Nilai indeks luas daun ( $LAI_i$ )

LAI diestimasi dalam modul pertumbuhan tanaman. LAI merupakan fungsi dari biomasa daun, rasio berat daun terhadap total biomassa (Leaf Weight Ratio-LWR) dan luas daun spesifik (Spesifik Leaf Area-SLA)

$i$  adalah pohon ke  $i$

### 1. Menghitung batas setiap lapisan kanopi ( $L\_Top$ , $L\_Bottom$ , $L\_MidTop$ , $L\_MidBottom$ )

- batas lapisan paling atas ( $L\_Top$ )

$$L\_Top = \text{MAX}(C\_CanUp, T\_CanUp_i)$$

dimana,

$C\_CanUp$  adalah tinggi kanopi tanaman semusim, nilai  $C\_CanUp$  diestimasi dalam modul pertumbuhan tanaman semusim

$T\_CanUp_i$  adalah tinggi kanopi pohon ke  $i$ ,  $T\_CanUp_i$  diestimasi dalam modul pertumbuhan pohon

- batas lapisan paling bawah ( $L\_Bottom$ )

$$L\_Bottom = \text{MIN}(C\_CanUp, T\_CanUp_i)$$

- batas lapisan dibawah lapisan paling atas ( $L\_MidTop$ )

$$L\_MidTop = \text{MAX}(L\_Mid1, L\_Mid2)$$

dimana,

$L\_Mid1$  adalah batas lapisan 1 diantara lapisan paling atas dan paling bawah.

$L\_Mid1 = \text{IF} (C\_CanUp - L\_Bottom) > 0.0001 \text{ AND } (L\_Top - C\_CanUp) > 0.0001 \text{ THEN } C\_CanUp \text{ ELSE IF } (T\_CanUp_i - L\_Bottom) > 0.0001 \text{ AND } (L\_Top - T\_CanUp_i) > 0.0001 \text{ THEN } T\_CanUp_i \text{ ELSE } 0$

$L\_Mid2$  adalah batas lapisan 2 diantara lapisan paling atas dan paling bawah.

$L\_Mid2 = \text{IF} (C\_CanUp - L\_Bottom) > 0.0001 \text{ AND } (L\_Top - C\_CanUp) > 0.0001 \text{ AND } (L\_Mid1 - C\_CanUp) > 0.0001 \text{ THEN } C\_CanUp \text{ ELSE IF } (T\_CanUp_i - L\_Bottom) > 0.0001 \text{ AND } (L\_Top - T\_CanUp_i) > 0.0001 \text{ THEN } T\_CanUp_i \text{ ELSE } 0$

- batas lapisan diatas lapisan paling bawah ( $L\_MidButtom$ )

$$L\_MidButtom = \text{MIN}(L\_Mid1, L\_Mid2)$$

## 2. Menghitung LAI setiap lapisan kanopi ( $LAI_{Tj}$ )

$j$  adalah lapisan ke  $j$

- LAI lapisan 1 ( $LAI_{T1}$ )

$$LAI_{T1} = (LAI \times \text{MAX}(0, (\text{MIN}(T\_CanUp, L\_Top) - \text{MAX}(L\_MidTop, T\_CanLow)) / (T\_CanUp - T\_CanLow))))$$

- LAI lapisan 2 ( $LAI_{T2}$ )

$$LAI_{T2} = (LAI \times \text{MAX}(0, (\text{MIN}(T\_CanUp, L\_MidTop) - \text{MAX}(L\_MidButtom, T\_CanLow)) / (T\_CanUp - T\_CanLow))))$$

- LAI lapisan 3 ( $LAI_{T3}$ )

$$LAI_{T3} = (LAI \times \text{MAX}(0, (\text{MIN}(T\_CanUp, L\_MidButtom) - \text{MAX}(L\_Bottom, T\_CanLow)) / (T\_CanUp - T\_CanLow))))$$

- LAI lapisan 1, 2, 3 ( $LAI_{T4}$ )

$$LAI_{T4} = (LAI \times \text{MAX}(0, (\text{MIN}(T\_CanUp, L\_Bottom) - T\_CanLow) / (T\_CanUp - T\_CanLow))))$$

## 3. Menghitung intersepsi cahaya pada setiap lapisan kanopi ( $Light\_TCCap_j$ )

$$Light\_TCCap_j = 1 - \text{Exp}(-T\_klight_i \times LAI_{Tj})$$

dimana,

$j$  adalah lapisan kanopi ke  $j$

$T\_klight_i$  adalah koefisien pemadaman pohon ke  $i$ , merupakan input dalam model

**4. Menghitung sharing intersepsi cahaya pada setiap lapisan kanopi (Light\_TCap<sub>j</sub>)**

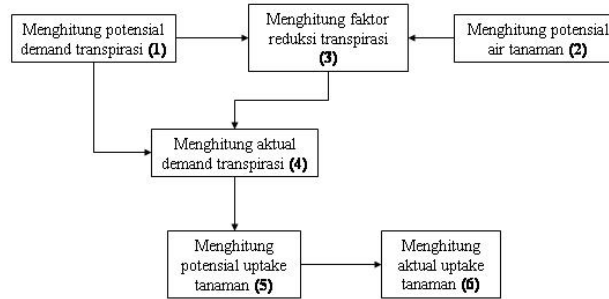
$$Light\_TCap_j = Light\_TCCap_j \frac{T\_klight_i \times LAIT_{ji}}{\sum_i T\_klight_i \times LAIT_{ji}}$$

**5. Menghitung total intersepsi cahaya dari seluruh lapisan kanopi (Light\_TCap<sub>i</sub>)**

$$Light\_TCap_i = \sum_j Light\_TCap_j$$

## Lampiran 1b. Modul penyerapan air dalam model WaNuLCAS

Flowchart perhitungan penyerapan air oleh tanaman dalam model WaNuLCAS



### 1. Menghitung potensial demand ( $E_{pi}$ ) ( $\text{mm hr}^{-1} = \text{l m}^{-2}$ )

$$E_{pi} = \text{Light\_TCap}_i \times T\_GroMax_i \times T\_TranspRatio_i$$

dimana,

$\text{Light\_TCap}_i$  adalah fraksi intersepsi cahaya oleh tanaman

$T\_GroMax_i$  adalah laju produksi biomasa per unit  $\text{m}^2$  intersepsi cahaya ( $\text{kg m}^{-2} \text{hr}^{-1}$ ), merupakan input dalam model (*A. mangium* sebesar 0.025 dan *H. brasiliensis* sebesar  $0.0085 \text{ kg m}^{-2} \text{hr}^{-1}$ )

$T\_TranspRatio_i$  adalah efisiensi penggunaan air, jumlah air yang dibutuhkan per unit biomasa ( $\text{l kg}^{-1}$ ), merupakan input dalam model ( $300 \text{ l kg}^{-1}$ )

$i$  adalah pohon ke  $i$

### 2. Menghitung potensial air tanaman ( $\psi_{pi}$ )

$$\psi_{pi} = \psi_{rsi} + \psi_{ri} + \psi_{li}$$

$\psi_{rs}$  adalah potensial air tanah pada daerah perakaran (cm)

$\psi_{ri}$  adalah potensial gradien dari tanah ke akar tanaman ( $\text{cm hr}^{-1}$ ) atau transport radial

$\psi_{li}$  adalah potensial gradien dari akar ke posisi tanaman-batang tanaman) atau transport longitudinal

$\psi_{rsi}$

$$\psi_{rsi} = -1 \times \left( \left( \frac{Rt\_TField_i}{TW\_PotSoilStep} \right)^{\frac{1}{TW\_DrySoilWeightFac}} \right)$$

$Rt\_TField_i$  adalah total jumlah akar ( $\text{cm cm}^{-2}$ )

$$Rt\_TField_i = \sum_{\text{voxel}} Rt\_TLra_i$$

$Rt\_TLra_i$  ( $\text{cm cm}^{-2}$ ) adalah panjang akar per luas permukaan tanah

$$Rt\_TLra_i = 100 \times \sum_j Rt\_Lrv_j \times AF\_Depth_j$$

$Rt\_Lrv_j$  = kerapatan akar ( $\text{cm cm}^{-3}$ ) pada kedalaman tanah j, merupakan input dalam model:

Kedalaman/Zona	<i>A. mangium</i>	<i>H. brasiliensis</i>
1/1	1.109	0.470
1/2	0.051	0.135
1/3	0.000	0.000
1/4	0.000	0.000
2/1	0.089	0.128
2/2	0.160	0.129
2/3	0.191	0.129
2/4	0.200	0.129
3/1	0.181	0.063
3/2	0.141	0.128
3/3	0.123	0.158
3/4	0.118	0.168
4/1	0.286	0.381
4/2	0.034	0.055
4/3	0.000	0.000
4/4	0.000	0.000

$AF\_Depth_j$  = tebal lapisan tanah pada kedalaman tanah j (m), merupakan input dalam model (0.05, 0.15, 0.3, 0.5 m)

100 adalah faktor konversi dari kedalaman tanah (m) ke cm

$$TW\_DrySoilWeightFac_i = TW\_DryFactRangeInit^{TW\_DryFactPower_i}$$

$TW\_DryFactPower_i$  adalah dry soil factor = 1

$TW\_DryFactRangeInit$  adalah buffer faktor = 0.1 – 2

$$TW\_PotSoilStep_i = 100 \times \sum \frac{Rt\_Lrv_j \times AF\_Depth}{W\_PTheta^{TW\_DrySoilWeightFac}}$$

$W\_PTheta$  adalah plot hubungan antara volumetric water content dengan pressure head (di bangkitkan dari fungsi pedotransfer dengan rumus Van Genuchten)

$\Psi_{ri}$

$$\psi_{ri} = -E_{pi} \times 0.1 / (T\_RootConductivity_i \times (Rt\_TField_i))$$

$T\_RootConductivity_i$  adalah konduktivitas akar ( $\text{cm hr}^{-1}$ ), merupakan input dalam model (*A. mangium* sebesar 0.000015 dan *H. brasiliensis* sebesar 0.000002  $\text{cm hr}^{-1}$ )

$$\psi_{li}$$

$$\psi_{li} = -E_{pi} / (TW\_MeanDist_i \times TW\_ResistFact_i)$$

$TW\_MeanDist_i$  adalah rerata jarak terboboti dari akar ke posisi tanaman (batang tanaman)

$$TW\_MeanDist_i = \frac{\sum_{\text{voxel}} TW\_DistAxialTransp * Rt\_TLra}{\sum_{\text{voxel}} Rt\_TLra}$$

$TW\_DistAxialTransp$  adalah jarak Euclidian dari mid-voxel ke posisi tanaman (batang tanaman)

$TW\_ResistFact_i$  adalah konstanta = 50

### 3. Menghitung faktor reduksi potensial demand ( $TW\_DemandRedFac_i$ )

$$TW\_DemandRedFac_i = \frac{1}{1 + \left( \frac{\psi_{pi}}{TW\_PotSuctHalf_i} \right)^{TW\_m_i}}$$

dimana,

$TW\_m$  adalah faktor campbell (De Willigen *et al.*, 2000)

$TW\_PotSuctHalf_i$  adalah potensial air tanaman pada saat potensial demand setengah dari potensial air tanaman (cm)

**$TW\_m$**

$$TW\_m_i = \frac{2 \times \text{Log} \left( \frac{TW\_Alpha}{1 - TW\_Alpha} \right)}{\text{Log} \left( \frac{TW\_PotSuctAlphMax_i}{TW\_PotSuctAlphMin_i} \right)}$$

$TW\_PotSuctAlphMax_i$  adalah potensial air tanaman pada tingkat maksimum transpirasi (cm), merupakan input dalam model (-5000 cm)

$TW\_PotSuctAlphMin_i$  adalah potensial air tanaman pada tingkat minimum transpirasi (cm) , merupakan input dalam model (-15000 cm)

$TW\_Alpha$  adalah konstanta = 0.1

#### $TW\_PotSuctHalf_i$

$$TW\_PotSuctHalf_i = -\left((TW\_PotSuctAlphMax_i \times TW\_PotSuctAlphMin_i)^{0.5}\right)$$

#### 4. Menghitung aktual demand ( $Ea_i$ ) ( $mm\ hr^{-1} = l\ m^{-2}$ )

$$Ea_i = Ep_i \times TW\_DemandRedFac_i$$

#### 5. Menghitung potensial water uptake ( $Up_i$ )

$$U_{p_i} = 10 \times \pi \times AF\_Depth \times (\max(0, W\_PhiTheta - Phi\_pF)) \times Rt\_G \times Rt\_Lrv$$

$$Rt\_G = \frac{Rt\_Rho^2 - 1}{0.5 \times \frac{1 - (3 \times Rt\_Rho^2)}{4} + \frac{Rt\_Rho^4 \times \log(Rt\_Rho)}{Rt\_Rho^2 - 1}}$$

$$Rt\_Rho = \frac{1}{(\pi \times Rt\_Lrv)^{0.5} \times 0.5 \times Rt\_Diam}$$

$W\_PhiTheta$  adalah plot hubungan antara potensial matrik tanah dengan kandungan air tanah (di bangkitkan dari fungsi pedotransfer dengan rumus Van Genuchten)

$Phi\_pF$  adalah plot hubungan antara pressure head dan fluks potensial matrik (di bangkitkan dari fungsi pedotransfer dengan rumus Van Genuchten)

$Rt\_Diam$  adalah diameter akar (cm), merupakan input dalam model (0.1 cm).

$Rt\_Lrv$  adalah kerapatan akar ( $cm\ cm^{-3}$ ), merupakan input dalam model.

#### 6. Menghitung aktual water uptake ( $U_{ai}$ )

$$U_{ai} = (Ea_i \times W\_TUptPotAct_i \times Rt\_TLrv_i) / TW\_UptDeno$$



$W\_TUptPotAct_i$  adalah aktual air tersedia yang dapat diserap oleh akar tanaman

$TW\_UptDeno$  adalah parameter kontrol dimana jumlah water uptake sama atau kurang dari demand

$W\_TUptPotAct_i$

$W\_TUptPotAct_i = \text{IF } W\_TUptPotSum > W\_StockAcc \text{ then } W\_StockAcc \times U_{pi} / W\_TUptPotSum \text{ ELSE } U_{pi}$

$W\_TUptPotSum$  adalah jumlah potensial dari semua  $i$

$W\_StockAcc$  adalah accessible Water

$W\_StockAcc = \max(0, W\_Stock - \text{Evap\_Surf} - W\_ThetaInacc \times AF\_Depth \times 1000)$

$W\_Stock$  adalah stok air dalam tanah (mm), diestimasi dalam modul air tanah

$\text{Evap\_Surf}$  adalah evaporasi tanah (mm), diestimasi dalam modul evaporasi tanah

$W\_ThetaInacc$  adalah inaccessibleWater ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) diestimasi dari fungsi pedotransfer dengan rumus Van Genuchten

1000 adalah faktor konversi dari m ke mm

$TW\_UptDeno$

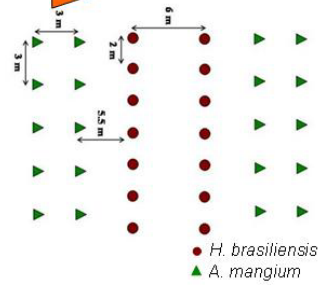
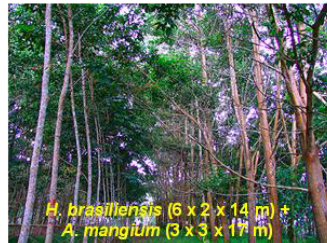
$TW\_UptDeno = (Rt\_TLrv1_i \times W\_TUptPotAct1_i + Rt\_TLrv2_i \times W\_TUptPotAct2_i + Rt\_TLrv3 \times W\_TUptPotAct3_i + Rt\_TLrv4_i \times W\_TUptPotAct4_i) \times AF\_ZoneWidth$

**Lampiran 2.** Denah percobaan dan skema pengaturan jarak tanam

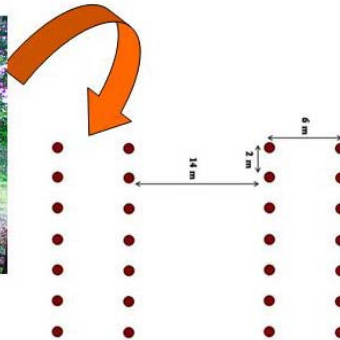
<i>H. brasiliensis</i> monokultur (6 x 3.3 m)	<i>H. brasiliensis</i> monokultur (6 x 2 x 14 m)			<i>H. brasiliensis</i> (6 x 2 x 14 m) + <i>A. mangium</i> (3 x 4 x 17 m)		
Ulangan 3	Ulangan 1	Ulangan 2	Ulangan 3	Ulangan 1	Ulangan 2	Ulangan 3
Ulangan 2						
Ulangan 1						

**Lanjutan Lampiran 2. Denah percobaan dan skema pengaturan jarak tanam**

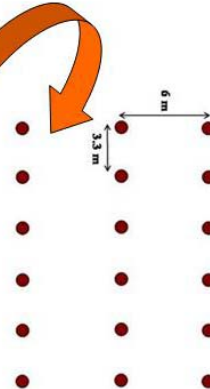
*H. Brasiliensis* 6 x 2 x 14 m (500 phn ha<sup>-1</sup>) +  
*A. mangium* 3 x 3 x 17 m (333 phn ha<sup>-1</sup>)



*H. Brasiliensis* monokultur 6 x 2 x 14 m  
 (500 phn ha<sup>-1</sup>)



*H. Brasiliensis* monokultur 6 x 3.3 m  
 (500 phn ha<sup>-1</sup>)



**Lampiran 3a.** Parameter yang diukur dan alat yang digunakan selama penelitian

<b>Parameter</b>		<b>Alat</b>
Faktor lingkungan	Intensitas cahaya	<ul style="list-style-type: none"> <li>- PAR sensor (LI-190 quantum sensor, LI-191 line quantum sensor, HOBO PAR smart sensor).</li> <li>- Data logger (HOBO micro station).</li> </ul>
	Curah hujan	Penakar hujan tipe observatorium (Ombrometer)
	Sifat kimia dan fisika tanah (pH, C, N, P, K, Ca, Mg, KTK dan tekstur)	Peralatan di laboratorium untuk analisa tanah.
	Lilit batang	Meter tape
Pertumbuhan pohon	Indeks luas daun	Scanner
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lebar kanopi</li> <li>- Jumlah daun dalam 1 pohon</li> </ul>	Software adobe photoshop
Fisiologi pohon	Potential air daun	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Scholander Pressure chamber model 1000.</li> <li>- Portable tank.</li> </ul>

**Lampiran 3b.** Jumlah contoh per plot (per ulangan) dalam setiap parameter pengukuran

Parameter			Jumlah contoh per plot
Faktor lingkungan	Intensitas cahaya : - Pengukuran secara terus menerus (HOBO PAR smart sensor dan Data logger HOBO micro station)  - Dibawah kanopi (LI-191 line quantum sensor)   - Diatas kanopi (LI-190 quantum sensor)  - Medium (LI-190 quantum sensor)		Jam 06.00 – 18.00 WIB di stasiun klimatologi 20 titik pengukuran (plot campuran dan plot karet monokultur 6 x 2 x 14 m), 6 titik pengukuran (plot karet monokultur 6 x 3.3 m) Pararel dengan pengukuran dibawah kanopi 2 titik pengukuran
	Sifat kimia dan fisika tanah (pH, C, N, P, K, Ca, Mg, KTK dan tekstur)		Komposit dari 3 titik pengambilan
	Pertumbuhan pohon	Lilit batang :	
<i>H. brasiliensis</i>		+ <i>A. mangium</i>	46 pohon
		Monokultur 6 x 2 x 14 m	41 pohon
		Monokultur 6 x 3.3 m	26 pohon
<i>A. mangium</i>		+ <i>H. brasiliensis</i>	28 pohon
Lebar kanopi :			
<i>H. brasiliensis</i>		+ <i>A. mangium</i>	12 pohon
		Monokultur 6 x 2 x 14 m	12 pohon
		Monokultur 6 x 3.3 m	12 pohon
<i>A. mangium</i>		+ <i>H. brasiliensis</i>	8 pohon
Jumlah daun dalam 1 pohon		5 pohon	
Luas daun		15 daun	
Fisiologi pohon	Potential air daun	2 daun	

**Lampiran 4.** Pengukuran potensial air daun menggunakan Scholander Pressure Chamber model 1000 (disarikan dari Clearly *et al.*, 1998)

- Tombol ***control valve*** diputar pada posisi ***off***. Portable tank yang sudah berisi gas Nitrogen dihubungkan dengan pressure chamber.
- Contoh daun yang telah diambil segera dimasukkan kedalam ***Compression Gland Cover***, selanjutnya dimasukkan dalam chamber dan ***Compression Gland Cover*** diputar sampai tertutup rapat. Kemungkinan terjadi kebocoran gas dapat diatasi dengan memasang rubber pada ***Compression Gland Cover***.
- Tombol ***control valve*** diputar ke posisi ***chamber***, pada posisi ini gas akan mengalir ke dalam chamber.
- Selanjutnya tombol ***rate valve*** diputar dan diamati gelembung air yang keluar dari petiole daun (untuk memudahkan pengamatan digunakan kaca pembesar). Nilai potensial air daun adalah nilai yang tertera pada ***analog gauge*** pada saat pertama kali gelembung air keluar dari petiole daun.
- Setelah dilakukan pencatatan, tombol ***control valve*** diputar pada posisi ***exhaust***, pada posisi ini gas akan keluar dari chamber.

**Lampiran 5.** Foto-foto pengukuran dilapangan



Pengukuran potensial air daun



Pengukuran lilit batang