

**ANALISIS TRADE-OFF DAN NILAI EKONOMI DARI SISTEM PENANAMAN
CAMPURAN JATI (*Tectona grandis*) – JAGUNG DALAM BERBAGAI PILIHAN
PRAKTEK PENGELOLAAN DI GUNUNG KIDUL.**

Ni'matul Khasanah*, Aulia Perdana*, Arif Rahmanullah*, Gerhard Manurung, James M. Roshetko*, dan Meine van Noordwijk***

*World Agroforestry Centre, ICRAF, Southeast Asia, **Australian National University.
Email: n.khasanah@cgiar.org

ABSTRACT

The district of Gunung Kidul has been experiencing fast growing expansion on smallholder teak plantations. At present, smallholder teak plantation is dominating the forest cover in the area with various planting management. WaNuLCAS model is used to explore growth and production of intercropping teak (*Tectona grandis*) – maize of smallholder teak under different management options in Gunung Kidul, West Java to identify the best possible management practice that would increase the economic value of smallholder teak. Initial spacing (1600 tree ha⁻¹ (2.5 m x 2.5 m), 1111 tree ha⁻¹ (3 m x 3 m) and 625 tree ha⁻¹ (4 m x 4 m)), thinning (25%, 50% and 75% of tree density), and pruning (40% and 60% of crown biomass) are management practices explored in this study. The result show that the lowest cumulative maize yield at early stage of teak growth is provided by the system with narrow spacing (2.5 x 2.5 m) and cumulative maize yield is 10% – 37.5% higher when the tree spacing is widened to 3 x 3 m or 4 x 4 m. In this instance, where teak wood is the target of the systems, maize yield at the early stage of tree growth is clearly intercropping advantage either at low or high tree population density. This is shown by curve of plot of wood volume relative to monoculture versus crop yield relative to monoculture of all management practices explored is substantially above the straight trade-off curve. Optimum wood volume (m³ ha⁻¹) is provided by the system with initial tree density 625 trees ha⁻¹, 25% of it is thinned at year 5 and another 25% of it is thinned at year 15 and 40% of crown pruned at year 4, 10 and 15. However, greater stem diameter per tree is provided by 50% of thinning at year 5 results rather than 25% of thinning at year 5. Greater stem diameter is rewarded with higher market price. Currently, profitability analysis is applied to assess the trade-offs of the various managements and identify comparative practices.

Key words: intercropping, pruning, thinning, trade-off, smallholder, teak

1. Pendahuluan

Luasan perkebunan jati mencapai 4,35 juta ha dan 83%nya berada di Asia (Kollert and Cherubini 2012). Di Indonesia, sebagian besar perkebunan jati berada di Jawa dengan perusahaan terbesar adalah Perum Perhutani (**a state-owned forest enterprise**) yang mengelola kurang lebih 2.442.101 ha perkebunan jati (Perhutani, 2010). Dengan luasan tersebut, Perum Perhutani merupakan pemasok kayu jati terbesar di dunia (Pandey and Brown, 2000). Namun demikian, dengan berjalannya waktu, persediaan kayu Perum Perhutani tidak lagi mencukupi kebutuhan export. Dengan demikian, produksi kayu jati oleh petani skala kecil mempunyai kesempatan untuk mengisi kesenjangan produksi untuk kebutuhan export.

Diluar perkebunan yang dikelola oleh Perum Perhutani, terdapat kurang lebih 1,2 juta ha perkebunan jati yang dikelola oleh petani kecil (Nawir *et al.* 2007). Tutupan hutan di Gunung Kidul kurang lebih 42.000 ha atau sekitar 28,5 % dari total wilayah (Rohadi *et al.* 2012) dan perkebunan jati skala kecil mendominasi tutupan hutan ini. Secara umum, perkebunan jati skala petani kecil dikelola dalam bentuk: (1) *kitren*, produksi utama kayu jati; (2) *tegalan*, produksi utama kayu jati dan tanaman semusim; (3) *pekarangan*; dan (4) tanaman pagar dari sawah.

Dengan bentuk pengelolaan tersebut, petani jati skala kecil umumnya tidak menerapkan praktek-praktek pengelolaan, seperti aplikasi pemupukan, penyiangan, penjarangan dan pemangkasan yang intensif. Sehingga, kayu

jati yang dihasilkan mempunyai kualitas yang berbeda dengan kualitas kayu yang dihasilkan oleh perkebunan skala besar. Umumnya kualitas kayu yang dihasilkan oleh petani jati skala kecil, mempunyai diameter lebih kecil, kayu lebih pendek, lebih banyak mata kayu sehingga harga kayu pun lebih rendah (Roshetko and Manurung 2009). Dengan demikian, tantangan terbesar yang dihadapi petani skala kecil adalah menghasilkan kayu jati dengan kualitas tinggi yang memenuhi standart kualitas export.

Penelitian mengenai pengaruh praktek pengelolaan terhadap pertumbuhan jati telah banyak dilakukan, seperti: jarak tanam yang optimum (Ola-Adams, 1990), pengaruh penjarangan (Kanninen et al., 2004; Perez and Kanninen, 2005), pengaruh pemangkasan (Viquez and Perez, 2005) dan pengaruh melakukan sistem penanaman campuran (Djagbletey and Bredu, 2007). Namun demikian, tidak satupun dari penelitian tersebut memberikan informasi mengenai pengaruh gabungan beberapa praktek pengelolaan terhadap pertumbuhan jati, seperti: jarak tanam, pemangkasan dan penjarangan. Pertumbuhan jati yang dipengaruhi oleh pengaruh gabungan beberapa praktek pengelolaan tersebut dapat secara langsung dikaji dengan membuat plot contoh di lapangan. Namun demikian, pembuatan plot contoh di lapangan membutuhkan waktu, tenaga kerja dan biaya yang tidak sedikit. Dengan demikian, penggunaan simulasi model menjadi salah satu alat bantu untuk mengkaji pertumbuhan jati yang optimum sebagai pengaruh gabungan beberapa praktek pengelolaan tersebut.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji pertumbuhan dan produksi kayu jati (*Tectona grandis*) dalam sistem penanaman campuran – jagung dalam berbagai pilihan praktek pengelolaan di Kecamatan Wonosari, Kabupaten Gunung Kidul, Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dengan menggunakan WaNuLCAS (**Water, Nutrient and Light Capture in Agroforestry Systems**) model dan mengkaji aspek profitabilitas berbagai pilihan

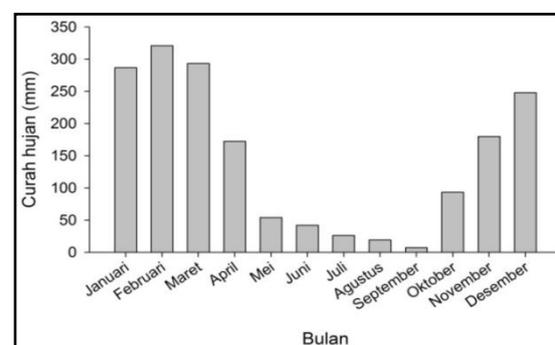
praktek pengelolaan tersebut. Lebih detail, tujuan dari kajian ini adalah untuk:

1. Mensimulasikan interaksi pertumbuhan jati – jagung dalam berbagai pilihan praktek pengelolaan: jarak tanam, pemangkasan dan penjarangan.
2. Menganalisa berbagai pilihan praktek pengelolaan tersebut dari persepsi biofisik (kualitas kayu jati) dan ekonomi (profitabilitas) untuk mengidentifikasi praktek pengelolaan yang terbaik dan menguntungkan untuk petani jati skala kecil.

2. Bahan dan metode

2.1. Lokasi kajian

Lokasi kajian terletak di Kecamatan Wonosari, Kabupaten Gunung Kidul, Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Rerata curah hujan tahunan berkisar 1750 mm dengan curah hujan puncak pada bulan Desember – Maret dan musim kemarau pada bulan Mei – September (Gambar 1). Kisaran kelembaban relatif berkisar 70 – 90 % dengan suhu udara maksimum dan minimum, berturut-turut sebesar 27 °C dan 24 °C.

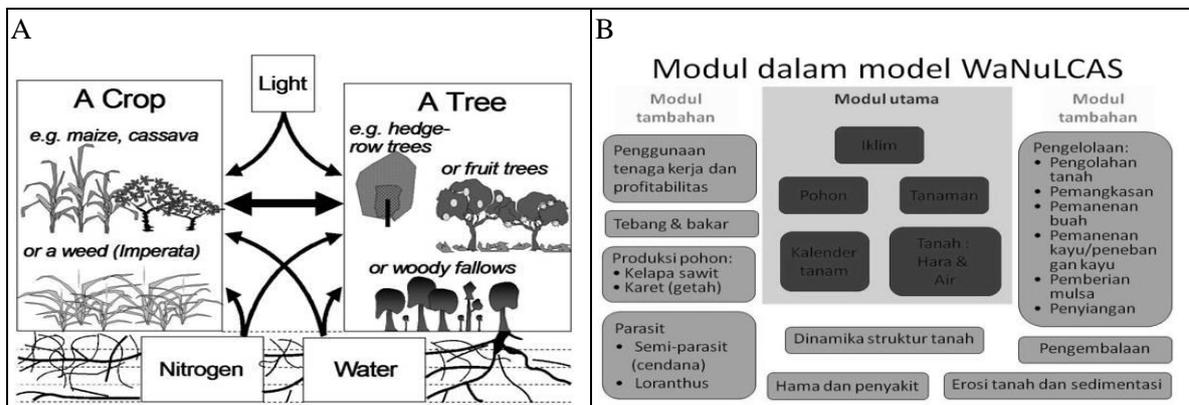


Gambar 1. Rerata curah hujan tahunan tahun 1989 – 2008 (stasiun Karangmojo)

Tekstur tanah di lokasi kajian tergolong liat berdebu pada lapisan atas dan liat pada lapisan bawah dengan kemasaman tanah sekitar 6. Karakteristik fisika dan kimia tanah lebih detail yang terbagi dalam empat kedalaman tanah yaitu: 0 – 10 cm, 10 – 25 cm, 25 – 40 cm and 40 – 100 cm disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik fisika dan kimia tanah.

Lapisan tanah (cm)	Pasir	Debu (%)	Liat	pH H ₂ O	pH KCl	BD g cm ⁻³	C (%)	N (%)	C/N	P ₂ O ₅ (ppm)	KTK (cmol/kg)	Batu (%)
0 – 10	11.33	40.67	48.00	6.10	5.19	1.233	1.07	0.10	11.05	9.23	28.65	1.67
10 – 25	11.33	40.67	48.00	6.10	5.19	1.233	1.07	0.10	11.05	9.23	28.65	13.33
25 – 40	6.00	25.33	68.67	6.30	5.28	1.146	0.45	0.04	10.40	1.85	34.74	13.33
40 – 100	6.33	25.33	68.33	6.25	5.37	1.146	0.46	0.04	10.53	1.32	32.86	23.33



Gambar 2. A. Tiga sumberdaya lahan utama dan interaksinya yang dimodelkan dalam model WaNuLCAS. B. Modul dalam model WaNuLCAS yang mencerminkan tiga sumberdaya lahan utama (cahaya, air dan tanah) dan interaksinya.

2.2. Diskripsi singkat WaNuLCAS model

Model WaNuLCAS merupakan model interaksi pohon – tanaman – tanah dalam sistem agroforestri. Model WaNuLCAS mempunyai resolusi *spatial* skala plot dan resolusi waktu skala harian. Secara *spatial*, model WaNuLCAS merupakan model dengan empat lapisan tanah dan empat zona dengan pohon atau tanaman yang dapat ditanam di keempat zona tersebut (van Noordwijk and Lusiana 1999; van Noordwijk et al. 2004).

WaNuLCAS mempertimbangkan tiga sumberdaya lahan utama antara lain: ketersediaan cahaya (sumberdaya di atas tanah), ketersediaan hara dan air (sumberdaya di bawah tanah) dimana pohon dan tanaman saling berbagi dalam menggunakan sumberdaya tersebut (Gambar 2A). Interaksi dari penggunaan sumber daya tersebut dimodelkan melalui berbagai modul dalam model WaNuLCAS yang terbagi dalam modul utama dan modul tambahan (Gambar 2B).

Sebelumnya model WaNuLCAS telah digunakan untuk memodelkan berbagai macam sistem agroforestri antara lain: sistem penanaman rotasi (Walker, 2007), sistem penanaman karet–tebu (Pinto, 2005), sistem penanaman *Gliricidia sepium* monokultur (Wise and Cacho 2005), sistem agroforestri didaerah semi arid (Muthuri, 2003) dan berbagai macam sistem penanaman kayu (Martin and van Noordwijk, 2009).

2.3. Parameterisasi, evaluasi dan skenario model WaNuLCAS

2.3.1. Parameterisasi model

Sebelum WaNuLCAS digunakan untuk mengkaji pertumbuhan dan produksi jati dalam berbagai pilihan praktek pengelolaan, terlebih dahulu dilakukan kalibrasi dan validasi terhadap

model WaNuLCAS dengan melakukan: (1) parameterisasi model untuk menguji kesesuaian model dan (2) menguji kesesuaian model dengan membandingkan data hasil pengukuran dengan data hasil simulasi model.

Sistem dan pengelolaan yang disimulasikan dalam tahap kalibrasi dan validasi

Sistem yang disimulasikan dalam tahap kalibrasi dan validasi adalah penanaman campuran jati (*Tectona grandis*) dan akasia (*Acacia mangium*) berdasarkan informasi dan data-data yang dikumpulkan dalam plot contoh di Kecamatan Wonosari, Kabupaten Gunung Kidul, Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (Roshetko et al., *in press*). Tujuan pembangunan plot contoh di lahan petani adalah untuk mengetahui pengaruh dari perlakuan pemangkasan dan penjarangan terhadap pertumbuhan dan produksi kayu jati. Lebih detail sistem dan pilihan pengelolaan yang dikaji dalam plot contoh ini disajikan dalam Tabel 2.

Penanaman jati dan akasia dengan jarak tanam yang tidak teratur merupakan pola penanaman yang umum dijumpai di Gunung Kidul. Berdasarkan inventarisasi lapangan, rerata jarak tanam untuk akasia adalah 5 m x 18 m dan untuk jati 1.5 m x 3 m digunakan dalam simulasi model WaNuLCAS. Pemangkasan dilakukan pada jati, sementara penjarangan dilakukan pada akasia atau pohon selain jati. Pemangkasan dilakukan pada tiga level kanopi (%): (1) 0% (tidak dilakukan pemangkasan), (2) pemangkasan 50%, dan (3) pemangkasan 60%. Penjarangan dilakukan pada dua level (%) populasi pohon yang dijarangkan: (1) 0% (tidak dilakukan

penjarangan), dan (2) penjarangan 40% dari total populasi pohon. Penjarangan 40% populasi pohon dilakukan dengan pada pohon yang mempunyai pertumbuhan kurang optimum (tebang pilih). Dalam model WaNuLCAS model, penjarangan dilakukan secara teratur yang menghasilkan jarak tanam akhir jati 3 m x 3 m. Penyederhanaan jarak taman dan lebar zona yang disimulasikan dalam model WaNuLCAS disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 2. Sistem dan pilihan pengelolaan yang dikaji dalam plot contoh untuk mengetahui pengaruh dari perlakuan pemangkasan dan penjarangan.

Sistem	Pilihan praktek pengelolaan	
	Pemangkasan untuk jati	Penjarangan untuk akasia, jati atau pohon yang lain
Jati+ Akasia + Jenis lainnya	Tanpa pemangkasan (0%)	Tanpa penjarangan
	Pemangkasan 50%	
	Pemangkasan 60%	Dilakukan penjarangan
	Tanpa pemangkasan (0%)	
Pemangkasan 50%		
Pemangkasan 60%		

Tabel 3. Sistem dan jarak taman yang disimulasikan dalam model WaNuLCAS.

Pohon	Jarak tanam	Posisi pohon		Lebar zona, m			
		Zona	Rel. Zona ³⁾	1	2	3	4
<i>Tectona grandis</i> ¹⁾	1.5 x 3	1	0				
<i>Tectona grandis</i> ²⁾	3 x 3	2	1	0.5	1	1	0.5
<i>Acacia mangium</i>	5 x 18	4	0				

Selama tiga tahun pertama pada awal penanaman pohon, jagung ditanam di antara pohon dengan dua kali tanam pertahun. Pupuk Nitrogen/N (90 kg N ha⁻¹) dan Phosphorous/P (30 kg P₂O₅ ha⁻¹) diberikan untuk jagung. Pemberian pupuk N dilakukan dua kali, setengah dosis pada awal tanam jagung, dan setengah dosis pada satu bulan setelah tanam. Sedangkan pupuk P diberikan satu kali pada awal tanam.

1) Sebelum penjarangan, 2) Setelah penjarangan, 3) Zona relatif, merupakan parameter yang menentukan posisi pohon

setiap zona, nilai 0 menandakan posisi pohon berada pada sebelah kiri zona, sedangkan nilai 1 menandakan posisi pohon berada pada sebelah kanan zona.

Karakteristik pohon

Pertumbuhan pohon bagian atas dalam model WaNuLCAS disimulasikan menggunakan persamaan allometri yang merupakan fungsi dari diameter pohon ($Y = aD^b$) untuk setiap komponen pohon (biomassa total, biomassa dahan dan ranting, biomassa batang dan biomassa daun yang gugur) (Van Noordwijk and Mulia, 2002). Pertumbuhan pohon bagian atas juga disimulasikan berdasarkan parameter pertumbuhan yang lain seperti lebar dan tinggi kanopi, rasio batang – daun (*leaf weight ratio*), luas daun spesifik (*specific leaf area*), koefisien pepadaman (*light extinction coefficient*), dan lain sebagainya (van Noordwijk and Lusiana 1999; van Noordwijk et al. 2004). Persamaan allometri (Tabel 4) yang digunakan dalam kajian ini dikembangkan menggunakan metode analisis percabangan (*fractal branching analysis*) yang dikembangkan oleh Van Noordwijk and Mulia, 2002. Parameter pertumbuhan pohon yang lain seperti lebar dan tinggi kanopi, luas daun spesifik menggunakan nilai-nilai hasil pengukuran dilapangan.

Pertumbuhan pohon bagian bawah pada semua zona dan lapisan tanah selama simulasi diasumsikan tetap, dengan demikian panjang akar maksimum pada setiap zona dan lapisan tanah merupakan bagian dari parameter masukan dalam simulasi.

Tabel 4. Persamaan allometri ($Y = aD^b$) untuk mensimulasikan pertumbuhan pohon; Y = biomassa pohon (kg per pohon), D = diameter pohon (cm).

Species	Tree biomass	a	b
<i>Acacia mangium</i>	Total	0.356	2.240
	Batang	0.304	2.238
	Dahan dan ranting	0.035	2.406
	Daun gugur	0.002	3.326
<i>Tectona grandis</i>	Total	0.153	2.382
	Batang	0.104	2.358
	Dahan dan ranting	0.049	2.427
	Daun gugur	0.002	3.004

Karakteristik tanah dan iklim

Karakteristik fisika dan kimia tanah yang terbagi dalam empat kedalaman tanah 0 – 10 cm, 10 – 25 cm, 25 – 40 cm and 40 – 100 cm disajikan dalam Tabel 1. Data-data tersebut merupakan hasil analisa laboratorium, kecuali untuk kerapatan isi tanah. Kerapatan isi tanah diestimasi menggunakan pedotransfer (Woesten et al. 1998). Nilai N (*ammonium* dan *nitrit*) menggunakan nilai default yang tersedia dalam model. Curah hujan harian yang digunakan berdasarkan data curah hujan bulanan dari stasiun Karangmojo, Jawa Tengah (Gambar 1). Potensial evapotranspirasi harian juga menggunakan data dari stasiun yang sama.

2.3.2. Uji kesesuaian model

Uji kesesuaian model dilakukan dengan membandingkan data hasil pengukuran dengan data hasil simulasi model dalam hal ini untuk dua parameter pertumbuhan pohon, tinggi pohon dan diameter pohon. Indikator nilai-nilai statistik yang dikembangkan oleh Loague and Green (1991) dan uji t juga digunakan untuk menguji kesesuaian model.

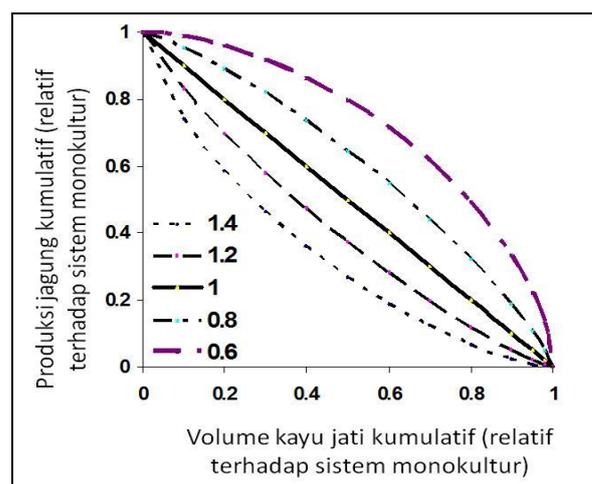
2.3.3. Skenario model

Pilihan-pilihan praktek pengelolaan di bawah ini dikaji untuk mencari praktek pengelolaan yang terbaik “**best management options**” untuk jati dari persepsi jarak tanam (populasi pohon ha^{-1}); tingkat dan waktu pemangkasan; dan tingkat dan waktu penjarangan:

1. Jati + jagung (dua musim tanam/tahun)
 - a. Populasi pohon awal (pohon ha^{-1}) dengan jarak tanam awal (m): 1600 (2.5 x 2.5), 1111 (3 x 3), 625 (4 x 3)
 - b. Tahun penjarangan (% penjarangan): 10 (25%), 5 (25%) dan 15 (25%), 5 (25%) dan 20 (25%), 5 (50%) dan 15 (25%), 5 (50%) dan 20 (25%)
 - c. Tahun pemangkasan (% kanopi yang dipangkas): 4 (40%), 10 (40%), 15 (40%) dan 4 (60%), 10 (60%), 15 (60%)
2. Jati monokultur: tanpa pemangkasan dan penjarangan, penyiangan hanya dilakukan disekitar batang pohon (populasi pohon awal 1600, 1111, 625, 1200, 800, 400, 833, 556, 278, 469, 313, dan 156 pohon ha^{-1}).
3. Jagung monokultur: dua musim tanam/tahun.

Musim tanam secara otomatis akan terhenti saat hasil panen jagung musim sebelumnya tidak menguntungkan. Aturan penghentian

musim tanam jagung berdasarkan pada keuntungan yang didapatkan petani pada musim sebelumnya. Saat keuntungan petani hanya 10% dari keuntungan yang seharusnya didapatkan, maka musim berikutnya tidak dilakukan penanaman jagung. Pupuk Nitrogen/N (90 kg N ha^{-1}) dan Phosphorous/P ($30 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$) diberikan untuk jagung. Pemberian pupuk N dilakukan dua kali, setengah dosis pada awal tanam jagung, dan setengah dosis pada satu bulan setelah tanam. Sedangkan pupuk P diberikan satu kali pada awal tanam. Kayu jati dipanen pada tahun ke tiga puluh.



Gambar 3. Trade-off yang diharapkan antara produksi tanaman dan pohon dalam sistem agroforestri, interaksi negatif dicapai saat $X < 1$ atau positif saat $X > 1$.

2.4. Analisa trade-off antara pertumbuhan dan produksi jati dan jagung

Dari persepsi biofisik, analisa skenario ditekankan pada analisa trade-off antara produksi jagung dan produksi kayu jati dalam sistem penanaman campuran, dengan demikian analisa dilakukan dengan membuat grafik hubungan antara produksi jagung kumulatif (relatif terhadap sistem monokultur) dan volume kayu jati kumulatif (relatif terhadap sistem monokultur) (Gambar 3). Interaksi positif dalam sistem dicapai saat kombinasi produksi pohon dan tanaman berada diatas garis 1:1 atau $X > 1$, dan sebaliknya. Analisa skenario juga dilakukan dengan membandingkan pertumbuhan pohon antara skenario satu dengan skenario yang lain.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil

3.1.1. Model kalibrasi dan validasi

Perbandingan tinggi jati dan diameter jati antara hasil pengukuran dan hasil simulasi disajikan dalam Gambar 4. Evaluasi uji kesesuaian model untuk kedua parameter tersebut disajikan dalam Tabel 5.

Evaluasi uji kesesuaian model untuk parameter diameter pohon antara hasil pengukuran dan hasil simulasi menunjukkan kesesuaian yang cukup baik dengan nilai koefisien determinasi dan koefisien regresi berturut-turut sebesar 1.19 (nilai optimum 1) dan 1.089 (nilai optimum 1). Ketidaksesuaian hasil yang cukup mencolok diperlihatkan oleh perlakuan penjarangan sebesar 40% dan pemangkasan sebesar 50% atau 60%. Hal ini dapat dijelaskan melalui data pengukuran diameter pohon, kedua perlakuan tersebut mempunyai diameter awal lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan yang lain (Gambar 5). Evaluasi uji kesesuaian model

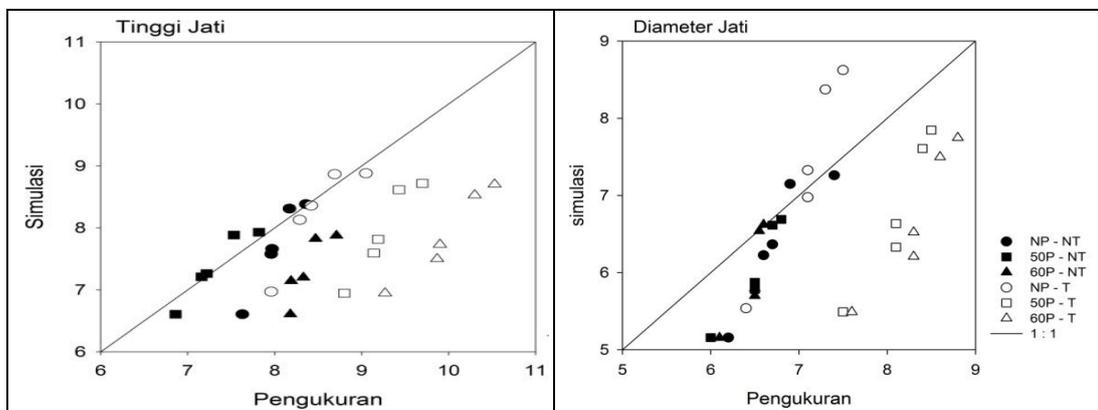
untuk paratemer tinggi pohon menunjukkan pola hasil yang sama dengan evaluasi uji kesesuaian model untuk paratemer diameter pohon.

Tabel 5. Hasil evaluasi uji kesesuaian model menggunakan WaNuLCAS 3.2 untuk semua perlakuan.

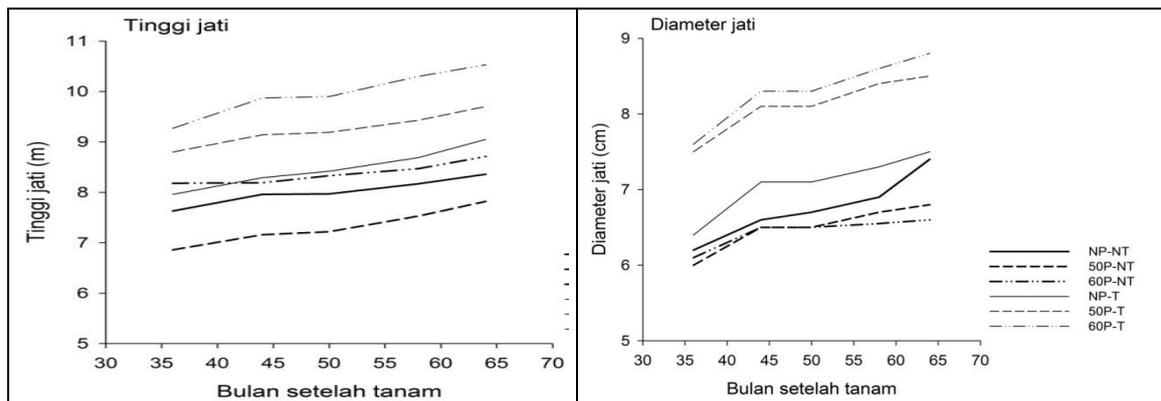
Kriteria	Tinggi jati, m	Diameter jati, cm
CD (1)	0.62	1.19
CRM (0)	0.10	0.09
EF (1)	-0.61	0.16
RMSE (0)	13.49	12.23
ME (0)	0.36	1.12
Regression	1.103 ± 0.020	1.089 ± 0.024

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

Tabel 5 menggambarkan pertambahan diameter jati dan tinggi jati baik hasil pengukuran maupun hasil simulasi sebagai pengaruh dari perlakuan pemangkasan dan



Gambar 4. Perbandingan tinggi jati (m) dan diameter jati (cm) antara hasil pengukuran dan hasil simulasi. P = pemangkasan, T = penjarangan, NP = tanpa pemangkasan NT = tanpa penjarangan.



Gambar 5. Hasil pengukuran tinggi jati (m) dan diameter jati (cm). P = pemangkasan, T = penjarangan, NP = tanpa pemangkasan NT = tanpa penjarangan.

penjarangan. Hasil pengukuran di lapangan, perlakuan penjarangan memberikan kesempatan kepada pohon yang tersisa untuk tumbuh lebih tinggi (tinggi pohon) dan lebih besar (diameter) sebesar 0.086 m dan 0.067 cm. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pengaruh perlakuan penjarangan memberikan hasil tiga kali lebih besar jika dibandingkan dengan hasil pengukuran. Hal ini dapat dijelaskan melalui perbedaan perlakuan penjarangan antara yang dilakukan di lapangan dan yang diterapkan dalam model WaNuLCAS. Di lapangan, perlakuan penjarangan dilakukan dengan sistem tebang pilih. Sedangkan dalam model WaNuLCAS, karena keterbatasan model, perlakuan penjarangan dilakukan secara teratur.

Perlakuan pemangkasan cenderung membuat pohon tumbuh lebih lambat jika dibandingkan dengan pohon yang tidak dipangkas, hal ini dijumpai baik pada hasil simulasi maupun hasil pengukuran di lapangan. Hasil simulasi memberikan gambaran bahwa, pohon yang dipangkas tumbuh lebih lambat sebesar 0.02 – 0.19 cm jika dibandingkan dengan hasil pengukuran di lapangan. Hal ini dapat dijelaskan melalui perbedaan perlakuan pemangkasan antara yang dilakukan di lapangan dan yang diterapkan dalam model WaNuLCAS. Di lapangan, perlakuan pemangkasan dilakukan pada cabang atau ranting yang paling rendah.

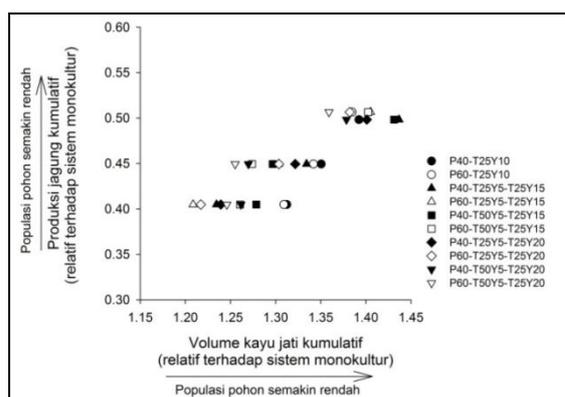
Tabel 6. Perbandingan tinggi jati (m) dan diameter jati (cm) antara hasil pengukuran dan hasil simulasi. P = pemangkasan, T = penjarangan, NP = tanpa pemangkasan NT = tanpa penjarangan. Angka dalam table merupakan nilai rerata dari empat titik baik pengukuran maupun simulasi.

Perlakuan	Tinggi jati, m		Diameter jati, cm	
	Pengukuran	Simulasi	Pengukuran	Simulasi
NP-NT	0.18	0.44	0.30	0.53
50P-NT	0.24	0.33	0.20	0.38
60P-NT	0.13	0.32	0.13	0.37
NP-T	0.27	0.48	0.28	0.77
50P-T	0.23	0.44	0.25	0.59
60P-T	0.32	0.44	0.30	0.56
Pengaruh penjarangan	0.086	0.089	0.067	0.217
Pengaruh pemangkasan-NT	0.004	-0.120	-0.138	-0.151
Pengaruh pemangkasan-T	-0.003	-0.036	0.000	-0.195

Sedangkan dalam model WaNuLCAS, karena keterbatasan model, perlakuan pemangkasan dilakukan dengan mengurangi massa kanopi pohon tanpa memperhatikan posisi kanopi.

3.1.2. Analisis skenario: *trade-off* antara pertumbuhan dan produksi jati dan jagung

Semua skenario (pilihan praktek pengelolaan) yang dikaji berada di atas garis lurus kurva ($X > 1$), hal ini menunjukkan bahwa penanaman jagung disela-sela jati memberikan keuntungan tersendiri dibandingkan dengan sistem penanaman jati monokultur (Gambar 6).



Gambar 6. Analisis trade-off antara pertumbuhan dan produksi jati dan jagung pada berbagai pilihan praktek pengelolaan. P: pemangkasan, T: penjarangan, Y: tahun; contoh: P40-T25Y5-T25Y15: pemangkasan 40%, penjarangan 25% pada tahun ke 5 dan 25% pada tahun ke 15. Volume pohon, merupakan volume pohon tersisa pada tahun ke 30 (tahun pemanenan).

Produksi jagung kumulatif terendah dijumpai pada sistem dengan jarak tanam 2.5 m x 2.5 m dan produksi jagung kumulatif 10% - 37% lebih tinggi jika jarak tanam diperlebar menjadi 3 m x 3 m atau 4 m x 4 m. Saat produksi kayu jati merupakan target utama dari sistem penanaman campuran jati - jagung, penanaman jagung pada awal pertumbuhan jati merupakan keuntungan tersendiri dari sistem penanaman campuran jati – jagung baik pada populasi jati per ha rendah ataupun tinggi.

3.1.3. Analisis skenario: perbandingan antar pilihan praktek pengelolaan

Gambar 7A-10B menggambarkan volume kayu pada tahun ke 30 sebagai pengaruh intensitas dan waktu penjarangan; dan intensitas dan waktu pemangkasan. Peningkatan penjarangan

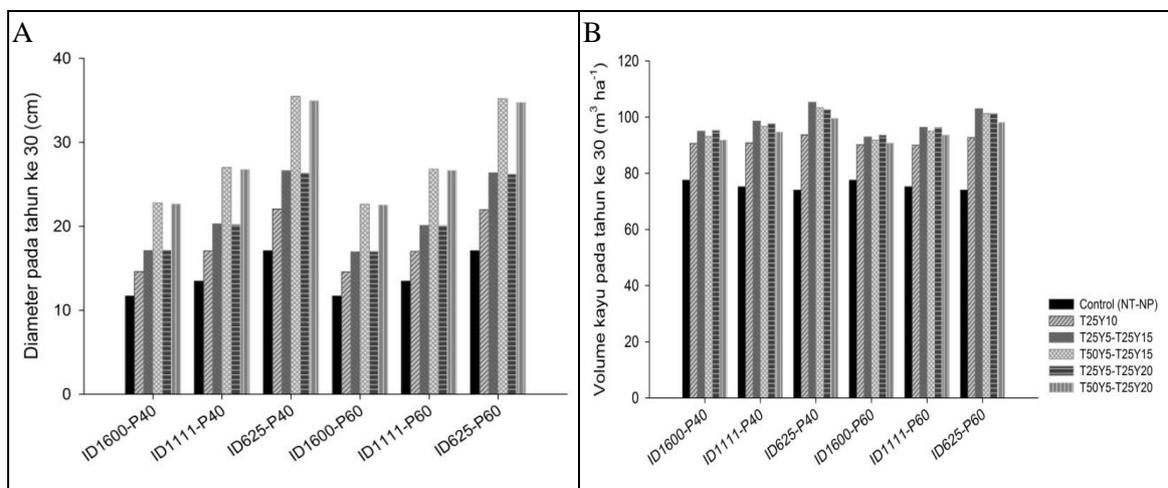
dari 25% sampai 50% dari total populasi pohon memberikan pengaruh positif terhadap volume kayu, namun penjarangan dari 50% sampai 75% dari total populasi pohon memberikan pengaruh negatif terhadap volume kayu. Penundaan lima tahun waktu penjarangan (menunggu umur jati mencapai 10 tahun) memberikan pengaruh penurunan volume kayu yang tidak terlalu nyata. Hasil analisa juga menunjukkan bahwa pemangkasan sebesar 60% membuat jati tumbuh sedikit lebih lambat jika dibandingkan dengan pemangkasan sebesar 40%.

Pada tahun ke 30, volume kayu jati yang optimum ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) dijumpai pada sistem dengan populasi jati 625 pohon ha^{-1} , 25% dari total populasi pohon dijarangkan pada tahun ke 5 dan 25% pada tahun ke 15, dan 40% biomassa kanopi dipangkas pada tahun ke 4, 10 dan 15 (Gambar 7B). Namun demikian, bila memperhatikan kualitas kayu (diameter pohon, cm per pohon), volume kayu yang optimum (m^3 per pohon) dijumpai pada sistem dengan populasi jati 625 pohon ha^{-1} , 50% dari total populasi pohon dijarangkan pada tahun ke 5 dan 25% pada tahun ke 15, dan 40% biomassa kanopi dipangkas pada tahun ke 4, 10 dan 15 (Gambar 7A). Diameter pohon yang lebih besar memberikan nilai tambah dengan harga kayu yang lebih tinggi. Volume kayu jati yang terendah ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) dijumpai pada sistem dengan populasi jati 1600 pohon ha^{-1} , 25% dari total populasi pohon dijarangkan pada tahun ke 10, dan 60% biomassa kanopi dipangkas pada tahun ke 4, 10 dan 15 (Gambar 7B).

3.2. Pembahasan

Penggunaan model WaNuLCAS untuk mengkaji interaksi pertumbuhan jati – jagung dalam berbagai pilihan praktek pengelolaan dan menganalisa berbagai pilihan praktek pengelolaan tersebut dari persepsi biofisik (kualitas kayu jati) untuk mengidentifikasi praktek pengelolaan yang terbaik untuk petani jati skala kecil memperlihatkan bahwa pada awal pertumbuhan jati, penanaman jagung disela-sela jati memberikan keuntungan tersendiri dibandingkan dengan sistem penanaman jati monokultur dan ini dijumpai baik pada populasi jati per ha rendah ataupun tinggi. Hasil ini sejalan dengan hasil penelitian serupa yang dilakukan oleh Martin dan Van Noordwijk (2009) dan Khasanah et al., (2010).

Ola-Adams (1990) yang melakukan kajian tentang pengaruh jarak tanam terhadap pertumbuhan jati melaporkan bahwa diameter pohon meningkat seiring dengan bertambah lebarnya jarak tanam. Hasil kajian juga memperlihatkan hasil yang serupa, semakin rendah populasi awal jati per ha, kompetisi pertumbuhan antar jati semakin rendah, sehingga diameter jati lebih tinggi. Namun demikian, hasil simulasi model WaNuLCAS tidak mewakili adanya variasi pertumbuhan pohon dalam satu bentang lahan. Dengan keterbatasan ini, perlakuan penjarangan yang dilapangan dilakukan dengan sistem tebang pilih, dalam model WaNuLCAS perlakuan penjarangan dilakukan secara teratur.



Gambar 7. Diameter, cm (A) dan volume kayu, $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ (B) pada berbagai pilihan praktek pengelolaan. P: pemangkasan, T: penjarangan, Y: tahun; contoh: P40-T25Y5-T25Y15: pemangkasan 40%, penjarangan 25% pada tahun ke 5 dan 25% pada tahun ke 15. Volume pohon, merupakan volume pohon tersisa pada tahun ke 30 (tahun pemanenan).

Hasil kajian pada perlakuan penjarangan memperlihatkan bahwa semakin banyak jumlah pohon yang dijarangkan pada rotasi penjarangan yang pertama, memberikan kesempatan kepada pohon yang tersisa untuk memiliki diameter lebih besar. Sebagai contoh dari hasil kajian ini, dengan populasi pohon awal 625 pohon per ha, pada plot dengan penjarangan sebesar 50% pada tahun ke 5, diameter jati pada masa panen lebih besar jika dibandingkan dengan plot dengan penjarangan sebesar 25% pada tahun ke 5. Walaupun perlakuan penjarangan dalam model WaNuLCAS dilakukan secara teratur, hasil ini sejalan dengan hasil penelitian serupa yang dilakukan oleh Kanninen et al., (2004) dan Perez dan Kanninen (2005).

Lebih jauh, hasil kajian juga memperlihatkan bahwa pemangkasan yang lebih intensif (60% dari kanopi) baik pada populasi jati per ha rendah maupun tinggi, cenderung membuat jati tumbuh (diameter dan tinggi pohon) lebih lambat jika dibandingkan dengan persentase pemangkasan yang lebih rendah (40%). Hasil ini sejalan dengan hasil penelitian serupa yang dilakukan oleh Bertemou 2011. Bagaimana pengaruh populasi awal jati per ha terhadap pertumbuhan percabangan jati dan intensitas pemangkasan ini berpengaruh terhadap kualitas kayu seperti mengurangi mata kayu (**knots**) tidak disimulasikan dalam WaNuLCAS model. Namun dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Viquez dan Perez (2005) memperlihatkan bahwa pemangkasan yang intensif mampu mengurangi timbulnya mata kayu jika dibandingkan dengan pemangkasan alami (**self-pruning**).

Hal tersebut cukup menarik bila dikaitkan dengan pemasaran kayu jati, pasar akan memberikan harga kayu yang lebih tinggi untuk kayu dengan diameter lebih besar dan jumlah mata kayu yang lebih sedikit. Dengan pemangkasan yang intensif, pertumbuhan diameter kayu jati lebih lambat, namun jumlah mata kayu berkurang. Lebih lambatnya pertumbuhan diameter akibat pemangkasan yang lebih intensif ini dapat dikompensasikan dengan intensitas penjarangan yang dilakukan pada rotasi penjarangan yang pertama.

4. Kesimpulan

Dapat disimpulkan dari hasil kajian bahwa: (1) penanaman jagung pada awal pertumbuhan jati dapat menghasilkan keuntungan tersendiri dengan sistem penanaman campuran jati – jagung baik pada populasi jati per ha rendah

ataupun tinggi. Diameter pohon yang optimum dicapai pada pilihan praktek pengelolaan dengan populasi jati 625 pohon ha⁻¹, 50% dari total populasi pohon dijarangkan pada tahun ke 5 dan 25% pada tahun ke 15, dan 40% biomassa kanopi dipangkas pada tahun ke 4, 10 dan 15. Analisis profitabilitas masih perlu dilakukan untuk mengkaji trade-offs dari produksi kayu/kualitas kayu dan nilai ekonominya pada berbagai pilihan praktek pengelolaan.

5. Ucapan terima kasih

Penelitian ini didanai oleh Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR) melalui proyek “Peningkatan Manfaat Ekonomi Usaha Hutan Rakyat Jati dalam Sistem Agroforestri di Indonesia”. Ucapan terima kasih disampaikan kepada Harti Ningsih yang telah memberikan masukan pada penulisan artikel ini

6. Daftar pustaka

- Bertomeu M, Roshetko JM, and Rahayu S (2011) Optimum Pruning Strategies for Reducing Crop Suppression in a melinamize Smallholder Agroforestry System in Claveria, Philippines. *Agroforestry Systems* 83: 167-180.
- Djagbletey GD and Bredu SA (2007) Adoption of agroforestry by small scale teak farmers in Ghana - the case of nkoranza district. *Ghana Journal of forestry* Vol. 20 and 21.
- Kanninen M, Pérez D, Monterob M and Viquez E (2004) Intensity and timing of the first thinning of *Tectona grandis* plantations in Costa Rica: results of a thinning trial. *Forest Ecology and Management* 203: 89–99.
- Khasanah N, Lusiana B, Suprayogo D, van Noordwijk M and Cadisch G. 2010. Exploration of tree management options to manipulate tree and crop interaction trade-off using WaNuLCAS model . Bogor, Indonesia. World Agroforestry Centre - ICRAF, SEA Regional Office.
- Kollert, W. and Cherubini, L. 2012. Teak resources and market assessment 2010 (*Tectona grandis* Linn. F.). Food and Agriculture Organization, Rome.

- Martin FS and van Noordwijk M (2009) Trade-offs analysis for possible timber-based agroforestry scenarios using native trees in the Philippines. *Agroforestry System*.
- Muthuri CW, Ong CK, Black CR, Mati BM, Ngumi VW, van Noordwijk M (2002) Modelling the effect of leaving phenology on growth and water use by selected agroforestry tree species in semi arid Kenya. *Land Use and Water Resources Research* 4: 1 -11.
- Nawir, A.A., Murniati and Rumboko, L. 2007. Past and present policies and programmes affecting forest and land rehabilitation initiatives. In: Nawir, A.A., Murniati and Rumboko, L. (eds) *Forest rehabilitation in Indonesia: Where to after more than three decades?* Center for International Forestry Research, Bogor, Indonesia, 77 pp.
- Ola-Adams BA (1990) Influence of spacing on growth and yield of *Tectona grandis* linn. F. (teak) and *terminalia superba* engl. & dbels (afara). *Journal of Tropical Forest Science* 2(3): 180-186.
- Pandey D and Brown C (2000) Teak: a global overview, an overview of global teak resources and issues affecting their future outlook. *Unasylya* 201, Vol. 51.
- Perez D and Kanninen M (2005) Effect of Thinning on Stem Form and Wood Characteristics of Teak (*Tectona grandis*) in a Humid Tropical Site in Costa Rica. *Silva Fennica* 39(2).
- Perhutani. 2010. Annual Report 2010. Perum Perhutani, Jakarta.
- Pinto LFG, Bernardes MS, Van Noordwijk M, Pereira AR, Lusiana B, Mulia R (2005) Simulation of agroforestry systems with sugarcane in Piracicaba, Brazil. *Agricultural Systems* 86: 275–292.
- Rohadi, D., Roshetko, J.M., Perdana, A., Blyth, M., Nuryartono, N., Kusumowardani, N., Pramono, A.A., Widyani, N., Fauzi, A., Sasono, J., Sumardamto, P. and Manulu, P. 2012. Improving economic outcomes for smallholders growing teak in agroforestry systems in Indonesia. Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR), Canberra.
- van Noordwijk M and Mulia R (2002) Functional branch analysis as tool for scaling above and belowground trees for their additive and non-additive properties. *Ecol Model* 149:41–51.
- van Noordwijk M, Luisiana B and Khasanah N (2004) WaNuLCAS version 3.01. Background on a model of water, nutrient and light capture in agroforestry systems. ICRAF, Bogor, Indonesia.
- van Noordwijk M, Lusiana B (1999) WaNuLCAS a model of water, nutrient and light capture in agroforestry systems. *Agroforestry System* 43:217–242.
- Viquez E and Perez D (2005) Effect of Pruning on Tree Growth, Yield, and Wood Properties of *Tectona grandis* Plantations in Costa Rica. *Silva Fennica* 39(3).
- Walker AP, van Noordwijk M, Cadisch G (2008) Modelling of planted legume fallows in Western Kenya. (II) Productivity and sustainability of simulated management strategies. *Agroforestry System* 74:143–154.
- 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.
- Wosten, J.H.M., P.A. Finke and M.J.W. Jansen (1995) Comparison of class and continuous pedotransfer functions to generate soil hydraulic characteristics. *Geoderma* 66 : 227-237.