

**OPTIMASI PRODUKSI KAYU DAN KARBON PADA TEGAKAN
JABON (*Neolamarckia cadamba* Miq.) DI KECAMATAN PAKENJENG,
GARUT, JAWA BARAT**
*(Optimizing Joint Production of Wood and Carbon Sequestration on
Caddam (*Neolamarckia cadamba* Miq.) Stand in Pakenjeng Sub-District,
Garut, West Java)*

Yonky Indrajaya¹ dan M. Siarudin²

^{1,2}Balai Penelitian Teknologi Agroforestry
Jl. Raya Ciamis-Banjar km 4, Ciamis 46201, Telp 0265771352, Fax 0265775866
Email: yonky_indrajaya@yahoo.com

Naskah diterima 1 April 2014 Naskah disetujui 29 November 2014

ABSTRACT

*Plantation forest is not only function for timber supply, but also also play an important role for climate change mitigation. Afforestation project is one the activities that is under Clean Development Mechanism (CDM) of the Kyoto Protocol can be rewarded for climate change mitigation. This study aims to analyze the effects of afforestation project for optimal management of caddam (*Neolamarckia cadamba* Miq.) stand in West Java. The method used in this study was Hartman rotation rule, which is an extension of Faustmann rotation rule. The result of this study showed that Hartman rotation in caddam stand under afforestation project always leads to longer rotation period than Faustmann rotation for all carbon prices. The existence of incentive for sequestering carbon may postpone the harvesting time due to the increasing profit from carbon price effect.*

Keywords: carbon sequestration, Faustmann, financial rotation, Hartman

ABSTRAK

Hutan tanaman berfungsi selain sebagai pemasok kayu, juga dapat berperan penting dalam mitigasi perubahan iklim. Proyek aforestasi merupakan salah satu kegiatan di bawah Mekanisme Pembangunan Bersih (MPB) dari Protokol Kyoto yang dapat diberikan reward untuk mitigasi perubahan iklim. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efek dari proyek aforestasi terhadap manajemen optimal dari tegakan jabon (*Neolamarckia cadamba* Miq.) di Jawa Barat. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah aturan daur Hartman yang merupakan kepanjangan dari aturan daur Faustmann. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa rotasi Hartman pada tegakan jabon dalam proyek aforestasi selalu lebih panjang dibandingkan daur Faustmann pada semua tingkat harga karbon. Adanya insentif untuk menambatkan karbon dalam biomassa hutan menyebabkan penundaan penebangan 2 tahun lebih lama menjadi lebih menguntungkan pada beberapa tingkat harga karbon.

Kata kunci: daur finansial, Faustmann, Hartman, cadangan karbon, jabon

I. PENDAHULUAN

Produksi kayu dari hutan rakyat telah menopang lebih dari 50% produksi kayu nasional (P3HT, 2006). Kenyataan ini menunjukkan betapa pentingnya peran hutan rakyat dalam memenuhi kebutuhan

kayu nasional. Oleh karena itu, perhatian seharusnya diberikan kepada para petani dan pengusaha hutan rakyat agar dapat memperoleh manfaat yang sebesar-besarnya dari hutan rakyat yang diusahakannya.

Selain kayu, hutan tanaman termasuk hutan rakyat dapat pula menghasilkan jasa

lingkungan seperti: pengatur tata air dan penyerapan karbon (Kanninen, 2010). Jasa lingkungan tersebut dapat dijual kepada para penerima manfaat (*beneficiaries parties*) melalui mekanisme imbal jasa lingkungan (*PES/Payment for Environmental Services*) (Wunder, 2005). Salah satu pasar jasa lingkungan terbesar yang telah ada adalah pasar jasa lingkungan karbon melalui kegiatan aforestasi dan reforestasi dalam mekanisme pembangunan bersih (*CDM/Clean Development Mechanism*) dalam kerangka Protokol Kyoto (Peters-Stanley *et al.*, 2012).

Keputusan akan waktu untuk memanen merupakan keputusan yang penting bagi petani dan pengusaha hutan tanaman untuk mendapatkan keuntungan yang maksimal. Pertimbangan ekonomi dalam penentuan daur optimal tegakan hutan tanaman dengan hanya mempertimbangkan kayu sebagai satu-satunya sumber pendapatan seringkali menggunakan daur Faustmann (Perman *et al.*, 2003; Amacher *et al.*, 2009; Bettinger *et al.*, 2009). Apabila jasa lingkungan karbon diperhitungkan pula sebagai sumber pendapatan, maka daur Faustmann dimodifikasi menjadi daur Hartman (Hartman, 1976), yang telah dilakukan di Eropa dan Amerika (Van Kooten *et al.*, 1995; Olschewski and Beniter, 2010; Galinato and Uchida, 2011).

Penelitian ini menguraikan manajemen optimal dari tegakan jabon (*Neolamarckia cadamba* Miq.) apabila jasa lingkungan karbon diperhitungkan sebagai salah satu sumber pendapatan selain kayu. Penelitian tentang daur finansial tegakan jabon telah dilakukan (Indrajaya and Siarudin, 2013) dengan hanya memperhitungkan kayu sebagai satu-satunya sumber pendapatan dari tegakan jabon. Jenis jabon dipilih karena jenis jabon telah banyak diusahakan oleh para petani/ pengusaha hutan tanaman di Indonesia. Jenis jabon yang cepat tumbuh dan relatif tahan terhadap penyakit, mudah beradaptasi pada berbagai tempat tumbuh, dan membutuhkan perlakuan silvikultur yang relatif mudah menjadi alasan petani dan pengusaha untuk membudidayakannya (Krisnawati *et al.*, 2011).

Beberapa penelitian tentang daur optimal di hutan tanaman apabila jasa lingkungan karbon dimasukkan sebagai sumber pendapatan selain kayu telah banyak dilakukan di Eropa dan Amerika (Van Kooten *et al.*, 1995; Tassone *et al.*, 2004; Galinato and Uchida, 2010; Olschewski and Betitez, 2010; Galinato and Uchida, 2011). Penelitian tentang kelayakan usaha hutan tanaman dan jasa lingkungan karbon telah dilakukan di Indonesia (Ginoga *et al.*, 2004, 2005). Namun, belum ada penelitian tentang optimasi produksi bersama kayu dan karbon yang dilakukan di Indonesia. Tulisan ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi para pihak terkait dengan proyek aforestasi dan hutan tanaman di Indonesia.

II. METODE PENELITIAN

A. Lokasi dan Waktu Penelitian

Kecamatan Pakenjeng terletak di bagian selatan wilayah Kabupaten Garut pada koordinat 107,596 – 107,799 BT dan 7,382 – 7,584 LS dengan ketinggian tempat antara 600 - 900 m dpl dan suhu udara antara 30 – 40°C. Curah hujan rata-rata di lokasi penelitian adalah berkisar antara 4000 – 4500 mm/tahun (IWACO dan WASECO dalam Lestiana *et al.* (2010)) Jenis tanah pada umumnya adalah podsolik (Camat Pakenjeng, 2012), Luas wilayah Kecamatan Pakenjeng adalah 19.659 ha meliputi tanah hutan seluas 8.885 ha (45,2%), sawah 1.526 Ha (7,8%), perkebunan 3.405 ha (17,3%), tanah darat 5.726 ha (29,1%), fasilitas umum 14 ha (0,1%), dan lainnya seluas 103 ha (0,5%). Luasnya hutan yang berada di Kec. Pakenjeng didukung oleh kondisi geografis yang berbukit dengan kelerengan yang sedang hingga terjal.

Tanaman jabon di lokasi penelitian umumnya ditanam dengan jarak tanam 3 x 3 meter (kurang lebih 1000 pohon/ha), ditanam secara tumpang sari bersama dengan tanaman kapulaga. Pada beberapa lokasi, tanaman jabon juga ditanam bersama dengan tanaman keras lain seperti cengkeh,

kelapa, suren, gmelina, akasia, mahoni, mindi, afrika, tisuk, ganitri, nangka, manglid. Namun demikian, jenis jabon merupakan jenis dominan di lokasi penelitian. Luas lahan hutan rakyat yang diusahakan oleh petani berkisar antara 800 m² hingga 15.000 m². Pada umumnya lahan hutan rakyat yang diusahakan merupakan lahan milik petani. Kondisi tegakan jabon di lokasi penelitian sangat baik dengan tingkat pertumbuhan yang sangat tinggi. Pada penelitian ini tidak dilakukan analisis kesuburan tanah dan analisis kesesuaian lahan untuk jenis jabon. Penelitian ini dilakukan pada bulan Maret – Desember tahun 2012.

B. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode pengaturan hasil hutan berdasarkan waktu panen untuk diperoleh hasil yang maksimal. Penentuan waktu panen (daur) tegakan hutan tanaman yang digunakan dalam penelitian ini adalah daur biologis dan daur finansial (Faustmann dan Hartman).

C. Pengumpulan dan Analisis Data

Data yang dikumpulkan meliputi data pertumbuhan tegakan jabon (tinggi, diameter) pada beberapa kelas umur dan data total biaya dan pendapatan meliputi (biaya pembangunan hutan tanaman jabon, biaya pemanenan, dan harga kayu), serta tingkat suku bunga riil. Pengukuran diameter dan tinggi pohon dilakukan secara simultan, yaitu mengukur secara bersama pada berbagai kelas umur yang berbeda. Pengukuran dilakukan pada tegakan jabon umur 1-9 tahun. Perkiraan volume pohon diperoleh dengan persamaan:

$$V = 0.25D^2HF \quad (1)$$

Dimana V merupakan volume pohon (m³), D merepresentasikan diameter (m), H menotasikan tinggi (m), dan F merupakan faktor bentuk pohon (0,47) apabila tinggi pohon yang digunakan adalah tinggi total dan bukan tinggi batang bebas cabang (Krisnawati *et al.*, 2011).

Untuk mengetahui volume tegakan jabon pada kelas umur > 9 tahun dilakukan pemodelan hubungan antara umur (A) dengan diameter (D) dan tinggi total (H), yaitu (Siarudin *et al.*, 2012):

$$D = 10,556A^{0,588} \quad (2)$$

$$H = 9,3891nA + 2,535 \quad (3)$$

Sementara itu, untuk mengetahui jumlah pohon per ha (N/ha), digunakan modifikasi model yang dibuat oleh Harbagung (2010):

$$N_{ha} = 1994,705(1,033^{(A+1)})(A+1)^{-1,097} \quad (4)$$

Model estimasi diameter dan tinggi pohon jabon dengan persamaan (2) dan (3) karena persamaan (2) dan (3) dibangun di lokasi penelitian yang sama dengan lokasi penelitian ini. Sementara itu, model estimasi jumlah pohon per ha digunakan persamaan (4) karena persamaan (4) dibuat khusus untuk tegakan jabon di Jawa. Modifikasi dilakukan pada persamaan yang dibuat oleh Harbagung (2010) dengan menambahkan satu pada variabel tahun (A). Hal ini dilakukan karena pada tahun ke-1 rata-rata jarak tanam di lokasi penelitian adalah 3 x 3 meter, karena lahan di bawah tegakan banyak dimanfaatkan untuk tanaman kapulaga.

Data ekonomi (biaya pembangunan hutan, biaya pemanenan, dan harga kayu) dan pengelolaan hutan rakyat (jarak tanam dan penjarangan) diperoleh dengan melakukan wawancara dengan petani. Suku bunga riil diperoleh dari data sekunder Bank Indonesia. Harga karbon diperoleh dari literature (e.g. laporan dari *Ecosystem Marketplace*).

A. Penentuan Daur Optimal Tegakan Jabon

1. Daur Biologis

Daur biologis atau titik kulminasi merupakan daur yang sering digunakan oleh para rimbawan dalam pengaturan hasil hutan tanaman. Prinsip dari daur ini adalah waktu panen dari tegakan hutan tanaman adalah ketika riap tahunan rata-rata (MAI)

sama dengan riap tahun berjalan (CAI):

$$S(T)/T = S'(T) \quad (5)$$

Untuk membandingkan dengan daur yang lain secara grafis, nilai MAI dan CAI apabila dibagi dengan stok hutan $S'(T)$ akan diperoleh:

$$1/T = S'(T)/S(T) \quad (6)$$

Dimana $S'(T)/S(T)$ biasa disebut dengan riap tahunan periodik (*PAI/Periodic Annual Increment*).

2. Daur Faustmann

Daur optimal Faustmann atau seringkali disebut sebagai daur finansial menggunakan pendekatan NPV (*Net Present Value*) dari seluruh manfaat kayu dan biaya (pembangunan hutan dan pemanenan) pada semua daur (Perman *et al.*, 2003; Amacher *et al.*, 2009; Bettinger *et al.*, 2009). Daur ini banyak digunakan oleh para ekonom kehutanan di Eropa dan Amerika (Chang, 2001), terutama setelah Samuelson (1976) menunjukkan bahwa hanya Faustmann yang secara analitik benar dalam analisis ekonomi kehutanannya dalam perspektif teori kapital.

Apabila p merepresentasikan harga net (setelah dikurangi biaya pemanenan per m^3) dari suatu tegakan hutan yang memiliki stok $S(T)$, K merupakan biaya pembangunan hutan, dan i merupakan suku bunga riil, nilai NPV kayu pada daur tak hingga/nilai ekspektasi lahan (*Land Expectation Value/LEV*):

$$NPV^w = \lambda = \frac{pS(T)e^{-iT} - K}{1 - e^{-iT}} \quad (7)$$

Untuk mendapatkan daur optimal Faustmann, maka dicari nilai T dimana nilai LEV maksimal. Secara matematis, kondisi optimal diperoleh (lihat persamaan 8) ketika keuntungan marjinal dari menunda penebangan (sisi kiri persamaan 8) setara dengan biaya kesempatan yang disebabkan oleh penundaan ini (sisi kanan persamaan 8):

$$pS^{(T)} = i[pS(T) + \lambda^*] \quad (8)$$

Terminologi $[pS(T) + \lambda^*]$ menunjukkan jumlah nilai dari lahan λ^* dan stok kayu $pS(T)$ pada waktu pemanenan. Apabila λ^* diganti dengan terminologi dari sisi kanan persamaan (6), dan menata kembali persamaan (8), maka akan diperoleh persamaan (9). Persamaan (9) digunakan untuk memberikan ilustrasi secara grafis.

3. Daur Hartman

Daur Hartman (1976) merupakan modifikasi dari daur Faustmann dengan memperhitungkan pendapatan yang dapat diperoleh dari hasil hutan non kayu (dalam studi ini jasa lingkungan yang diperhitungkan adalah jasa lingkungan karbon). Apabila jumlah karbon tersimpan dalam biomassa tegakan hutan jabon dinotasikan dengan δ dan harga karbon p_c , maka jumlah pendapatan yang diperoleh dari penjualan jasa lingkungan karbon disajikan dalam persamaan (10):

$$NPV^c = \psi = \frac{\int_0^T p_c \delta(t) e^{-it} dt}{1 - e^{-iT}} \quad (10)$$

Nilai δ (dalam kg/pohon) diperhitungkan berdasarkan persamaan alometrik yang dibangun oleh Chave *et al.* (2005), yaitu:

$$\delta = \{\rho \times \exp(-1,499 + 2,148 \ln(D) + 0,207(\ln(D))^2 - 0,028(\ln(D))^3)\} \quad (11)$$

Dimana ρ merupakan berat jenis kayu jabon yang diasumsikan memiliki kerapatan kayu sebesar $0,465 \text{ kg/m}^3$ (ICRAF, 2014). Untuk mendapatkan berat biomassa dalam ton/ha, maka biomassa pohon dikalikan dengan jumlah pohon per ha N_{ha} dibagi 1000. Proporsi karbon dalam biomassa adalah sebanyak 0,47 dari berat biomasanya (IPCC, 2006). Jumlah CO_2 equivalen yang tersimpan dalam biomassa pohon diperoleh dengan mengalikan jumlah karbon tersimpan dalam biomassa dengan proporsi C dalam CO_2 , yaitu 44/12. Total NPV yang diperoleh dari kayu dan jasa lingkungan karbon yaitu (Olschewski and Benitez, 2010):

$$NPV^w + NPV^c = \pi(T) = \lambda(T) + \psi(T) = \frac{pS(T)e^{-iT} + \int_0^T pc^\delta(t)e^{-it} dt - K}{1 - e^{-iT}} \quad (12)$$

$$\max_T \{ \pi(T) + \psi(T) \}, \pi'(T) = 0$$

$$pS^{(T)} + \psi'(T) = i[pS(T) + K] \quad (13)$$

Kondisi optimal pada persamaan (13) serupa dengan persamaan (7), dimana sisi kiri persamaan (13) merupakan keuntungan marjinal dari menunda penebangan, dan sisi kanan persamaan (13) merupakan biaya kesempatan (*opportunity costs*) dari penundaan penebangan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Daur Biologis

Berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan (1) – (4), diperoleh hasil estimasi volume per ha tegakan jabon yang disajikan dalam Tabel 1. Jabon merupakan

jenis cepat tumbuh yang dapat mencapai riap 20 m³/ha/ tahun (Krisnawati *et al.*, 2011). Pertumbuhan jabon di lokasi penelitian sangat cepat yaitu dengan riap tertinggi mencapai lebih dari 30 m³/ha/tahun (Tabel 1). Kondisi lokasi penelitian yang sangat sesuai diduga menjadi sebab cepatnya pertumbuhan jabon ini (Indrajaya and Siarudin, 2013).

Daur biologis tegakan jabon di lokasi penelitian ini adalah 5 tahun, dimana nilai riap volume rata-rata tahunan (MAI) sama dengan riap volume tahun berjalan (CAI), atau nilai PAI (*Periodic Annual Increment*) sama dengan 1/T seperti disajikan dalam Gambar 1.

B. Daur Faustmann

Data ekonomi yang digunakan dalam penelitian ini adalah data yang digunakan dalam penelitian Indrajaya and Siarudin (2013) di lokasi penelitian, yaitu: (1) harga kayu jabon adalah Rp 500.000,- per m³, (2)

Tabel 1. Estimasi volume per ha tegakan jabon
Table 1. *Estimation of volume per ha of jabon stand*

Umur / Age (Tahun / Year)	Diameter (cm)	Tinggi / Height (m)	Populasi / population (N/ha)	Volume/ha (m ³ /ha)	CAI (m ³ /ha)	MAI (m ³ /ha)
1	10,6	2,5	995	10,4	10,4	10,4
2	15,9	9,0	659	55,4	45,0	27,7
3	20,1	12,8	496	95,5	40,1	31,8
4	23,9	15,6	401	131,1	35,6	32,8
5	27,2	17,6	340	163,6	32,5	32,7
6	30,3	19,4	296	194,0	30,4	32,3
7	33,1	20,8	264	223,0	29,0	31,9
8	35,9	22,1	240	251,2	28,1	31,4
9	38,4	23,2	221	278,8	27,6	31,0
10	40,9	24,2	205	306,1	27,4	30,6
11	43,2	25,0	193	333,5	27,3	30,3
12	45,5	25,9	182	360,9	27,4	30,1
13	47,7	26,6	174	388,6	27,7	29,9
14	49,8	27,3	166	416,7	28,1	29,8
15	51,9	28,0	160	445,2	28,5	29,7
16	53,9	28,6	155	474,3	29,1	29,6
17	55,8	29,1	150	504,0	29,7	29,6
18	57,8	29,7	146	534,5	30,4	29,7
19	59,6	30,2	143	565,7	31,2	29,8
20	61,4	30,7	140	610,4	44,8	30,5

Sumber (*Source*): Indrajaya dan Siarudin (2013)

biaya pemanenan sebesar Rp 50.000,- per m³, (3) biaya pembuatan hutan sebesar Rp 14.975.000,-, dan (4) tingkat suku bunga riil yang digunakan adalah 4%. Perhitungan daur Faustmann di lokasi penelitian telah dilakukan oleh Indrajaya dan Siarudin (2013) yang hasilnya adalah daur Faustmann tegakan jabon di lokasi penelitian adalah 6 tahun (Gambar 2). Tidak seperti yang terjadi di banyak negara di Eropa dan Amerika dimana pada umumnya daur Faustmann lebih panjang dari daur biologisnya (Olschewski and Benitez, 2010), daur Faustmann di lokasi penelitian lebih panjang dari daur biologisnya. Hal ini disebabkan oleh tingginya tingkat pertumbuhan tegakan jabon di lokasi penelitian.

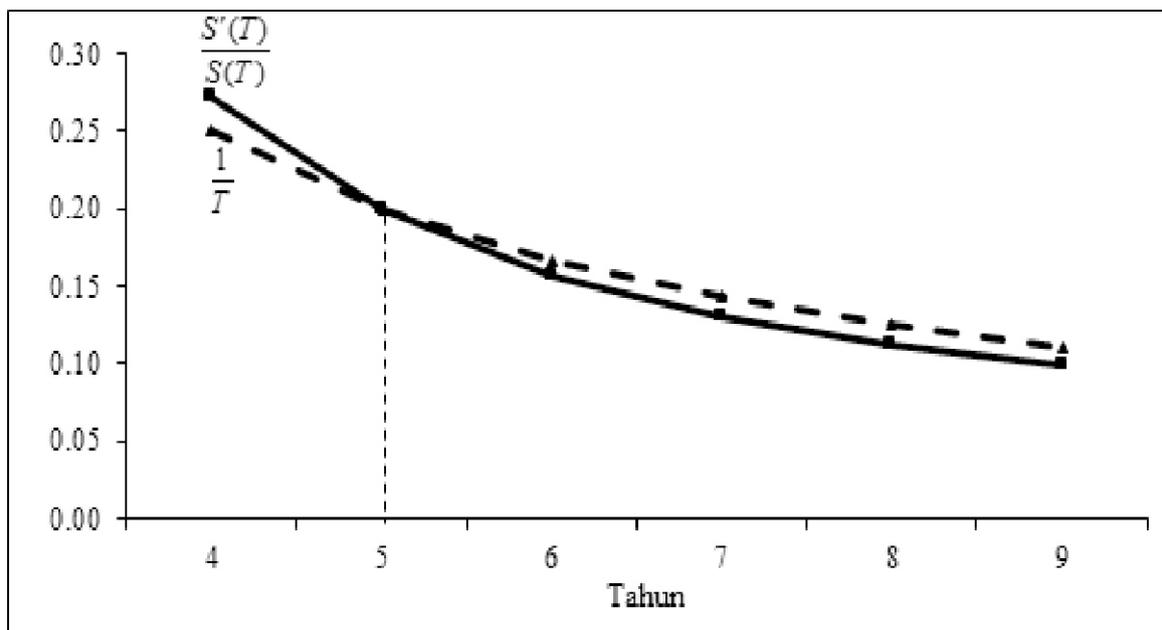
C. Daur Hartman

Jasa lingkungan karbon yang tersimpan dalam biomassa tegakan jabon berdasarkan persamaan (11) disajikan dalam Tabel 2. Cepatnya tingkat pertumbuhan tegakan jabon di lokasi penelitian berakibat pula

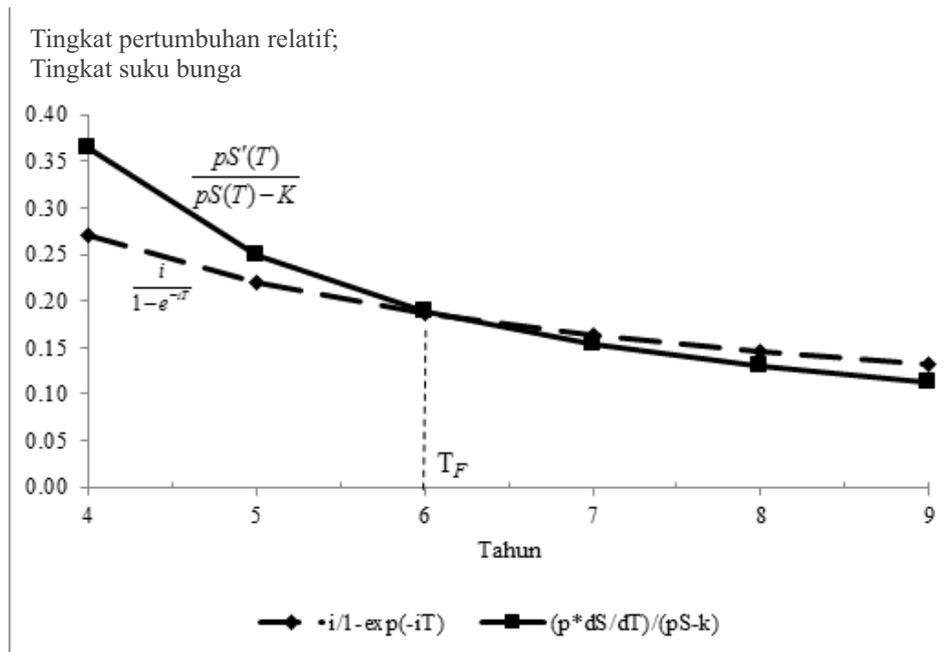
pada tingginya karbon yang tersimpan dalam biomassa tegakan jabon. Pada umur 20 tahun, karbon yang tersimpan dalam biomassa di atas permukaan tanah tegakan jabon adalah 223 ton/ha. Jumlah karbon tersimpan ini menyerupai jumlah karbon tersimpan dalam biomassa tegakan hutan alam (Samsudin *et al.*, 2009; Indrajaya, 2012, 2013).

Harga karbon di dunia (tCER) berada pada kisaran 0,9 – 5,9 USD per ton CO₂ eq. (Peters-Stanley *et al.*, 2012). Berdasarkan data ekonomi dari penelitian yang dilakukan oleh (Indrajaya dan Siarudin, 2013), maka berdasarkan persamaan (12), daur Hartman pada beberapa tingkat harga karbon dapat dihitung (Tabel 3).

Perubahan NPV kayu dan karbon, disajikan ilustrasi grafis (Gambar 3). Gambar 3 menunjukkan NPV maksimal kayu diperoleh pada tegakan jabon umur 6 tahun seperti daur optimal finansialnya, sedangkan NPV maksimal karbon diperoleh



Gambar 1. Daur biologis tegakan jabon
 Figure 1. Optimal biological rotation of jabon stand



Gambar 2. Daur Faustmann tegakan jabon
 Figure 2. Faustmann rotation of jabon stand

Tabel 2. Estimasi karbon tersimpan dalam biomassa di atas permukaan tanah tegakan jabon
 Table 2. Estimation of carbon stored in above ground biomass of caddam stand

Umur/Age (Tahun/Year)	Diameter (cm)	Populasi/ population (N/ha)	C stok AGB / C stored in AGB (ton ha ⁻¹)	CO ₂ eq (ton ha ⁻¹)	Akumulasi/ Accumulated CO ₂ eq (ton ha ⁻¹)
1	11	995	17	61	61
2	16	659	33	120	182
3	20	496	46	170	351
4	24	401	58	214	565
5	27	340	69	255	820
6	30	296	80	293	1113
7	33	264	90	330	1444
8	36	240	100	367	1810
9	38	221	110	402	2213
10	41	205	119	438	2651
11	43	193	129	473	3124
12	46	182	139	509	3633
13	48	174	149	545	4179
14	50	166	159	582	4761
15	52	160	169	619	5380
16	54	155	179	657	6037
17	56	150	190	696	6733
18	58	146	201	735	7469
19	60	143	212	776	8245
20	61	140	223	818	9062

Sumber (Source) : analisis lanjutan dari Indrajaya dan Siarudin (2013)

pada tahun ke 32. NPV joint (kayu-karbon) maksimal diperoleh pada umur tegakan jabon 8 tahun pada tingkat harga karbon 2 USD (Gambar 3). Hal ini berarti bahwa pada tingkat harga karbon 2 USD, keputusan untuk menunda penebangan selama 2 tahun akan memberikan keuntungan yang maksimal bagi petani/pengelola tegakan jabon. Tingkat harga karbon sangat menentukan daur optimalnya. Semakin tinggi harga karbon, semakin tinggi pula insentif bagi

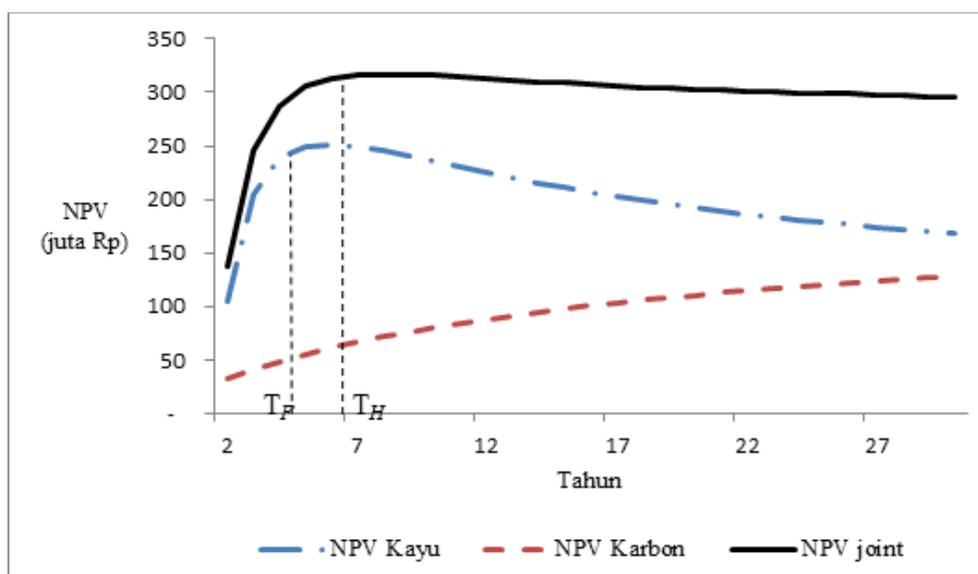
petani/pengusaha hutan rakyat jabon untuk menunda penebangannya.

Penelitian yang dilakukan oleh Olschewski and Benitez (2010) di bagian barat laut Ekuador pada jenis pohon *Cordia alliodora* menunjukkan bahwa peningkatan harga karbon sebesar 2 USD akan menyebabkan daur optimal menjadi 2 tahun lebih lama. Pada tingkat harga karbon yang lebih tinggi, daur optimal menjadi semakin panjang.

Tabel3. NPV Kayu, Karbon, Joint kayu-karbon, dan daur optimal pada beberapa harga karbon

Table3. NPV Wood, Carbon, Joint Wood-Carbon, and optimal rotation of different carbon prices

Harga Karbon/ Carbon price (USD per CO ₂ eq)	NPV-W Kayu/Wood (Juta Rp ha ⁻¹ / million IDR ha ⁻¹)	NPV-C (Juta Rp ha ⁻¹ / million IDR ha ⁻¹)	NPV Joint W-C (Juta Rp ha ⁻¹ / million IDR ha ⁻¹)	Tahun/ Years
0.2	251,7	6,1	257,8	6
0.4	251,7	12,3	264,0	6
0.6	251,7	18,4	270,1	6
0.8	251,7	24,6	276,3	6
1	249,3	33,4	282,7	7
1.5	249,3	50,2	299,4	7
2	245,0	71,9	316,9	8
2.5	234,7	100,8	335,5	10
3	164,4	195,2	359,6	32



Gambar 3. Daur Hartman tegakan jabon pada harga karbon 2 USD
Figure 2. Hartman rotation of jabon stand on carbon price of 2 USD

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan di atas, dapat ditarik kesimpulan:

1. Daur optimal biologis tegakan jabon di Kecamatan Pakenjeng adalah 5 tahun
2. Daur optimal finansial Faustmann di Kecamatan Pakenjeng adalah 6 tahun
3. Daur optimal Hartman, yaitu perhitungan dengan mempertimbangkan jasa lingkungan karbon sebagai sumber pendapatan dalam daur Faustmann, maka hasilnya tergantung pada tingkat harga karbon. Semakin tinggi harga karbon, maka semakin tinggi insentif untuk menunda penebangan, sehingga daur menjadi lebih panjang.

B. Saran

Penelitian dapat memberikan manfaat kepada pengembang proyek aforestasi sebagai bahan pertimbangan dalam pengelolaan hutan yang dapat memberikan keuntungan yang sebesar-besarnya. Penelitian ini dilakukan di lokasi yang diduga memiliki kesesuaian tumbuh jabon sehingga penerapan di tempat lain perlu dipertimbangkan kondisi biofisik dan iklimnya. Perlu penelitian lebih lanjut apabila imbal jasa lingkungan karbon menggunakan skema yang berbeda misalnya *Verified Carbon Standard*.

conclusions, 150 years of practicing the faustmann formula in central Europe and the USA. Forest policy and economics 2.

Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M.A., Chambers, J.Q., Eamus, D., Folster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, J.P., Nelson, B.W., Ogawa, H., Puig, H., Riera, B., Yamakura, T., 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia* 145, 87-99.

Galinato, G.I., Uchida, S., 2010. Evaluating Temporary Certified Emission Reductions in Reforestation and Afforestation Programs. *Environ Resour Econ* 46, 111-133.

Galinato, G.I., Uchida, S., 2011. The Effect of Temporary Certified Emission Reductions on Forest Rotations and Carbon Supply. *Canadian Journal of Agricultural Economics*.

Ginoga, K., Wulandari, Y.C., Djaennudin, D., 2004. Potential of Indonesia smallholder agroforestry in the CDM: A case study in the upper Citanduy watershed area. In, *ACIAR Working Paper CC12*.

Ginoga, K., Wulandari, Y.C., Djaennudin, D., 2005. Karbon dan peranannya dalam meningkatkan kelayakan usaha hutan tanaman jati (*Tectona grandis*) di KPH Saradan, Jawa Timur. *Jurnal Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan* 2, 183-202.

Harbagung, 2010. Teknik dan Perangkat Pengaturan Hasil: Sintesa Hasil Penelitian Kuantifikasi Pertumbuhan dan Hasil Tegakan Hutan Tanaman. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hutan Tanaman, Bogor.

Hartman, R., 1976. Harvesting Decision When a Standing Forest Has Value. *Econ Inq* 14, 52-58.

ICRAF, 2014. Wood Density Database. In. ICRAF, Bogor Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

Amacher, G.S., Ollikainen, M., Koskela, E., 2009. *Economics of forest resources*. MIT Press, Cambridge, Mass.

Bettinger, P., Boston, K., Siry, J.P., Grebner, D.L., 2009. *Forest management and planning*. Academic Press, Burlington USA.

Camat Pakenjeng, 2012. Laporan Pelaksanaan Penyelenggaraan Pembangunan Kecamatan Pakenceng. In.

Chang, S.J., 2001. One formula, myriad

- Indrajaya, Y., 2012. Cadangan karbon hutan bekas tebangan pembalakan berdampak rendah dan konvensional di Kalimantan Timur: studi kasus di hutan Malinau. *Jurnal Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan* 9, 21-30.
- Indrajaya, Y., 2013. Cadangan karbon hutan lindung Long Ketrok, di Kabupaten Malinau, Kalimantan Timur untuk mendukung mekanisme REDD+. *Jurnal Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan* 10, 99-109.
- Indrajaya, Y., Siarudin, M., 2013. Daur Finansial Hutan Rakyat Jabon di Kecamatan Pakenjeng, Kabupaten Garut, Jawa Barat. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman* 10, 201-211.
- IPCC, 2006. IPCC Guideline 2006 Guidelines for national green house gas inventories. In: IPCC.
- Kanninen, M., 2010. Plantation forests: global perspectives. In: Bauhus, J., Meer, P.J.v.d., Kanninen, M. (Eds.), *Ecosystem goods and services from plantation forests*. Earthscan.
- Krisnawati, H., Kallio, M., Kanninen, M., 2011. *Anthocephalus cadamba* Miq.: Ekologi, Silvikultur, Produktivitas. CIFOR, Bogor.
- Lestiana, H., S., I.H., Bakti, H., Mulyadi, D., 2010. Penyusunan basis data spasial sumberdaya alam dan keberlanjutan sebagai acuan Rencana Tata Ruang Wilayah dan pengembangan di Garut Selatan. In.
- Olschewski, R., Benitez, P.C., 2010. Optimizing joint production of timber and carbon sequestration of afforestation projects. *J Forest Econ* 16, 1-10.
- P3HT, 2006. Review hasil penelitian hutan rakyat. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hutan Tanaman (P3HT) Badan Litbang Kehutanan, Bogor.
- Perman, R., Ma, Y., McGilvray, J., Common, M., 2003. *Natural resource and environmental economics*. Third Edition. Pearson Education Limited, England.
- Peters-Stanley, M., Hamilton, K., Yin, D., 2012. Leveraging the landscape: State of the forest carbon markets 2012. In: *Ecosystem Marketplace*.
- Samsuudin, I., Dharmawan, I.W.S., Siregar, C.A., 2009. Potensi biomassa karbon hutan alam dan hutan bekas tebangan setelah 30 tahun di hutan penelitian Malinau, Kalimantan Timur. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam* VI, 47-56.
- Samuelson, P.A., 1976. Economics of Forestry in an Evolving Society. *Econ Inq* 14, 466-492.
- Siarudin, M., Indrajaya, Y., Handayani, W., Badrunasar, A., Nurochmah, Y., 2012. Laporan Hasil Penelitian "Pemanfaatan Lahan Agroforestry untuk Mendukung Mekanisme REDD+". In: *Balai Penelitian Teknologi Agroforestry*, Ciamis.
- Tassone, V.C., Wesseler, J., Nesci, F.S., 2004. Diverging incentives for afforestation from carbon sequestration: an economic analysis of the EU afforestation program in the south of Italy. *Forest policy and economics* 6, 567-578.
- Van Kooten, G.C., Binkley, C.S., Delcourt, G., 1995. Effect of Carbon Taxes and Subsidies on Optimal Forest Rotation Age and Supply of Carbon Services. *American Journal of Agricultural Economics* 77, 365-374.
- Wunder, S., 2005. Payments for environmental services: Some nuts and bolts. In: CIFOR (Ed.), *Occasional Paper No. 42*, Bogor Indonesia.