

**PENENTUAN DAUR OPTIMAL HUTAN TANAMAN SENGON  
(*Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen) DENGAN METODE  
FAUSTMANN  
(*Determining Optimal Rotation of Sengon (Paraserianthes falcataria* (L.)  
*Nielsen) Plantation Forest Using Faustmann Method*)**

**Yonky Indrajaya**

<sup>1</sup>Balai Penelitian Teknologi Agroforestry  
Jalan Raya Ciamis-Banjar Km 4. Ciamis 46201 Telp. (0265)771352, Fax. (0265)775866  
Email: yonky\_indrajaya@yahoo.com

Diterima 19 November 2012 disetujui 9 April 2013

***ABSTRACT***

*Sengon plantation forest has been developed in Indonesia particularly in Java Island to fulfill the need on materials of construction and industry. Decision making on harvesting time of forest stand is an important step to gain maximum profit. On sengon (*Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen) forest stand, optimal rotation generally is determined by biological rotation, that sometimes do not provide maximum profit. This paper aims to determine optimal financial rotation of sengon stand using Faustmann rule. The method used in this paper is the profit maximization of forest stand using Faustmann rule, where the silvicultural system used is clear cutting. The results of this study show that ecological rotations (maximum timber yield) in site quality (bonita) II, III, and IV are 7.2, 6, and 5 year respectively. Under Faustmann rotation, the rotation ages in bonita II, III, and IV are 7, 6 and 5 years respectively. This similarity of rotation period is due to high growth rate of sengon.*

*Keywords: Optimal rotation, sengon*

**ABSTRAK**

Hutan tanaman sengon telah banyak dikembangkan di Indonesia khususnya di Jawa untuk memenuhi kebutuhan masyarakat terutama untuk bahan bangunan dan industri. Pengambilan keputusan untuk melakukan penebangan dari suatu tegakan hutan tanaman merupakan suatu langkah yang sangat penting untuk memperoleh keuntungan yang maksimum. Pada hutan tanaman monokultur sengon, daur optimal yang umumnya digunakan adalah daur biologis, yang belum tentu memberikan keuntungan yang maksimal. Tulisan ini bertujuan untuk menentukan daur optimal finansial tegakan sengon menggunakan aturan Faustmann. Metode yang digunakan dalam tulisan ini adalah maksimasi keuntungan dengan aturan Faustmann di mana hutan tanaman sengon dikelola dengan sistem silvikultur tebang habis permudaan buatan. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa daur ekologis sengon pada bonita II, III, dan IV berturut turut adalah 7.2, 6 dan 5 tahun. Sementara itu, daur finansial (Faustmann) tegakan hutan sengon pada bonita II, III, dan IV berturut turut adalah 7, 6 dan 5 tahun. Kesamaan daur biologis dengan Faustmann dalam penelitian ini disebabkan oleh tingginya tingkat pertumbuhan sengon.

Kata kunci: Daur optimal, sengon

**I. PENDAHULUAN**

Hutan tanaman sengon telah banyak dikembangkan di Jawa untuk memenuhi kebutuhan masyarakat terutama untuk bahan bangunan dan industri. Hutan tanaman sengon selain dilakukan oleh para

perusahaan besar, juga telah dilakukan oleh masyarakat di lahan milik mereka. Hal ini karena selain memiliki nilai ekonomis yang tinggi, jenis sengon memiliki tingkat pertumbuhan yang sangat cepat dan mampu beradaptasi dengan berbagai jenis tanah (Krisnawati *et al.*, 2011). Selain ditanam

secara monokultur, hutan rakyat sengon juga banyak dikelola dengan sistem *agroforestry*, misalnya dicampur dengan tanaman kapulaga (*A. compactum*) atau kopi (*Coffea arabica* L.).

Pengambilan keputusan untuk melakukan penebangan dari suatu tegakan hutan tanaman merupakan suatu langkah yang sangat penting sehingga tujuan dari manajemen dapat diperoleh yaitu mendapatkan keuntungan yang maksimal (Bettinger *et al.*, 2009). Hal yang biasa dilakukan adalah dengan menentukan daur optimal hutan tanaman sengon. Daur hutan rakyat sengon di lahan milik masyarakat pada umumnya dilakukan dengan “daur butuh” dimana pohon sengon akan ditebang apabila petani pemilik hutan membutuhkan dana untuk misalknya hajatan atau keperluan anaknya sekolah. Dengan daur ini petani bisa jadi tidak dapat memperoleh keuntungan maksimalnya, karena pohon sengon tidak ditebang pada saat keuntungan dapat diperoleh secara maksimal.

Pada hutan tanaman monokultur sengon, daur optimal yang umumnya digunakan adalah daur biologis (Riyanto and Putra, 2010; Krisnawati *et al.*, 2011). Daur biologis ini diperoleh pada saat riap volume tahunan rata-rata (MAI/*mean annual increment*) sama dengan riap volume berjalan rata-rata (CAI/*current annual increment*) (Bettinger *et al.*, 2009). Namun demikian, daur optimal biologis ini belum tentu memberikan keuntungan yang maksimal kepada pengelola hutan tanaman sengon. Dalam pola *agroforestry* sengon, apabila tanaman campuran seperti kapulaga dan kopi bukan sebagai produk utama, maka penentuan daur biologis dapat mengikuti daur optimal hutannya yaitu tanaman kopi dan kapulaga yang bersifat toleran terhadap naungan akan juga dipanen dan diremajakan saat semua pohon sengon dipanen.

Tulisan ini bertujuan untuk menentukan daur optimal secara finansial hutan tanaman sengon yang dikelola dengan tebang habis permudaan buatan. Daur optimal finansial yang digunakan adalah daur optimal Faustmann. Penentuan daur optimal

Faustmann ini masih jarang dilakukan di Indonesia, khususnya di hutan tanaman milik (hutan rakyat). Tulisan ini diharapkan dapat memberikan gambaran tentang daur optimal finansial hutan rakyat sengon sehingga diharapkan petani dapat memperoleh keuntungan yang maksimal dari tegakan hutan sengonnya.

## II. METODE PENELITIAN

### A. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah penentuan daur finansial Faustmann yaitu menentukan waktu tebang optimal dari tegakan sengon dimana keuntungan dapat diperoleh secara maksimal. Penentuan daur optimal hutan tanaman secara finansial dengan metode Faustmann telah banyak diterapkan di dunia khususnya di dataran Eropa dan Amerika (Samuelson, 1976; Kooten *et al.*, 1995; Chang, 2001; Tassone *et al.*, 2004; Olschewski and Benitez, 2010). Selain pada hutan tanaman seumur, daur Faustmann juga telah diterapkan pada hutan tak seumur (Chang, 1981, 1984; Haight, 1985; Buongiorno *et al.*, 1994; Buongiorno *et al.*, 1995; Ingram and Buongiorno, 1996; Mendoza *et al.*, 2000; Xabadia and Goetz, 2010; Buongiorno *et al.*, 2012). Daur Faustmann juga telah digunakan untuk menilai biaya kesempatan (*opportunity cost*) dalam membandingkan sistem penggunaan lahan berbasis pohon (Romero *et al.*, 2013). Pendekatan Faustmann merupakan pendekatan yang benar dalam teori kapital (Samuelson, 1976).

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data pertumbuhan pohon dari tegakan normal hutan tanaman sengon (Suharlan *et al.*, 1975) yang dinyatakan dalam m<sup>3</sup>/ha. Jumlah penjarangan yang dilakukan diasumsikan sama dengan yang dianjurkan oleh Suharlan *et al.* (1975) sesuai dengan bonitanya. Walaupun data yang digunakan cukup lama, namun demikian masih cukup relevan sebagai referensi

tegakan normal hutan tanaman sengon, seperti misalnya digunakan oleh Krisnawati *et al.* (2011). Bonita yang umumnya diukur berdasarkan rata-rata tinggi pohon dominan dan ko-dominan telah diperkenalkan oleh seorang rimbawan pada tahun 1921 (Bettinger *et al.*, 2009) dan karena cukup sederhana, bonita masih digunakan sampai sekarang.

Data biaya pembangunan hutan tanaman sengon (Rp/ha), biaya pemanenan (Rp/m<sup>3</sup>), dan harga kayu (Rp/m<sup>3</sup>) diperoleh dari wawancara dengan petani pengusaha hutan tanaman sengon di wilayah Ciamis, Jawa Barat. Data tingkat suku bunga dan tingkat inflasi diperoleh dari Bank Indonesia.

### B. Penentuan Daur Optimal

#### 1. Daur Biologis atau (*Maximum Sustainable Timber Yield/MSTY*)

Penentuan daur optimal biologis tegakan sengon dilakukan dengan menentukan titik pertotongan antara riap rata-rata tahunan  $S(T)/T$  atau *mean annual increment* (MAI) dan riap tahun berjalan  $S(T)$  atau *current annual increment* (CAI) (Bettinger *et al.*, 2009). Secara matematis, hubungan MAI dan CAI dapat dilihat dalam persamaan 1:

$$\text{Max}_T \{S(T)/T\}, S'(T) = \frac{S(T)}{T} \quad (1)$$

Untuk dapat memberikan gambaran ilustratif dari kondisi daur biologis, apabila kedua sisi dari persamaan 1 dibagi dengan  $S(T)$ , maka dapat diperoleh persamaan 2, yaitu:

$$\frac{S'(T)}{S(T)} = \frac{1}{T} \quad (2)$$

Sisi kiri dari persamaan 2 biasa disebut dengan *Periodic Annual Increment/PAI*. Daur biologis optimal  $T_y$  merupakan waktu dimana perubahan stok hutan (volume kayu berdiri) pada waktu  $T$  setara dengan rata-rata volume yang dapat ditebang. Daur optimal ini banyak digunakan oleh ahli kehutanan karena secara biologis, pohon seperti makhluk hidup lainnya, akan mencapai titik

maksimal dalam pertumbuhannya dan akan mati.

#### 2. Daur Finansial (Daur Faustmann)

Dalam menentukan daur optimal secara finansial, pendekatan yang diambil adalah pendekatan NPV (*Net Present Value*) dari suatu tegakan hutan dalam rantai rotasi tak terhingga, yang menunjukkan bahwa hutan tidak akan dirubah menjadi penggunaan lahan lain dan kondisi kesuburan tanah relative tidak berubah (Olschewski and Benitez, 2010; Wise and Cacho, 2011). Amacher *et al.* (2009) menyebutkan bahwa untuk memaksimalkan NPV, dapat digunakan formula Faustmann, dimana  $p$  merepresentasikan harga net (setelah dikurangi dengan biaya pemanenan) dari tegakan hutan,  $C$  biaya pembangunan hutan, dan  $i$  sebagai suku bunga riil (Persamaan 3):

$$\begin{aligned} NPV = \lambda(T) &= \sum_{k=1}^{\infty} (pS(T) - C)e^{-iT} - C \\ &= \frac{pS(T)e^{-iT} - C}{1 - e^{-iT}} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\text{Max}_T \{\lambda(T)\}, \lambda'(T) = 0 \quad (4)$$

$$pS'(T) = i[pS(T) + \lambda^*] \quad (5)$$

Persamaan (5) merupakan kondisi untuk rotasi optimal Faustmann, dimana keuntungan marjinal dari menunda penebangan (sisi kiri persamaan) setara dengan biaya kesempatan (*opportunity cost*) yang disebabkan oleh penundaan ini (sisi kanan persamaan). Terminologi  $[pS(T) + \lambda^*]$  menunjukkan jumlah nilai dari lahan  $\lambda^*$  dan stok kayu  $pS(T)$  pada waktu pemanenan. Apabila kita ganti  $\lambda^*$  dengan terminologi dari sisi kanan persamaan (3) dan menata kembali persamaan (5) akan menghasilkan persamaan (6) yang dapat digunakan dalam memberikan gambaran secara grafis.

$$\frac{pS'(T)}{pS(T) - C} = \frac{i}{1 - e^{-iT}} \quad (6)$$

Persamaan (5) dan persamaan (6) sama-sama merupakan kondisi optimal Faustmann. Persamaan (5) menunjukkan nilai dari riap tahunan berjalan (CAI)  $pS'(T)$  dimana menunda penebangan 1 tahun setara dengan biaya kesempatan dari penundaan penebangan. Persamaan (6) lebih banyak digunakan untuk membandingkan metode Faustmann dengan daur biologis ataupun daur Hartman (1976), yaitu apabila ada keuntungan dari jasa lingkungan (Olschewski and Benitez, 2010).

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Daur Biologis

Tabel 1 merupakan data pertumbuhan volume pohon sengon pada beberapa tempat dengan kualitas tempat tumbuh (Bonita) yang berbeda. Volume tegakan hutan sengon terus meningkat seiring berjalannya waktu. Semakin baik kualitas tempat tumbuhnya (makin tinggi Bonita), semakin baik pula pertumbuhan tegakan sengonnya.

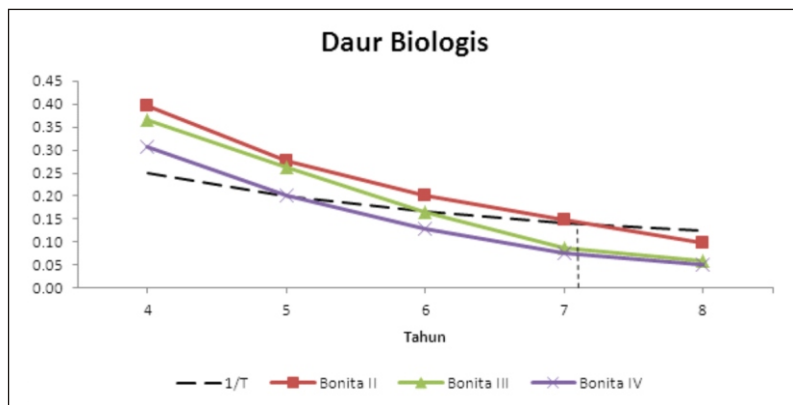
Tabel 1. Pertumbuhan Tegakan Sengon pada Beberapa Bonita  
 Table 1. Growth of Sengon Stand on different site quality

Umur (Year)	Bonita (Site quality) II		Bonita (Site quality) III		Bonita (Site quality) IV	
	N/Ha	Vol (m <sup>3</sup> /ha)	N/Ha	Vol (m <sup>3</sup> /ha)	N/Ha	Vol (m <sup>3</sup> /ha)
2	1075	14	915	26	775	41
3	800	38	645	57	465	83
4	595	63	425	90	280	120
5	440	87	275	122	180	150
6	330	109	195	146	135	172
7	250	128	160	160	120	186
8	200	142	140	170	110	196

Sumber: Suharlan *et al.* (1975)  
 Source: Suharlan *et al.* (1975)

Mengolah data dari Tabel 1 ke dalam persamaan (2) akan memberikan hasil seperti disajikan dalam Gambar 1. Sumbu X

merupakan tahun, sementara sumbu Y merupakan angka yang menunjukkan  $\frac{S'(T)}{S(T)}$  dan  $\frac{1}{T}$  (Persamaan 2).



Gambar 1. Daur optimal biologis pada beberapa kualitas tempat tumbuh  
 Figure 1. Biological optimal roation in different site quality

Dari Gambar 1 terlihat bahwa hutan sengon dengan Bonita II, III, dan IV mencapai daur optimal biologisnya ( $T_y$ ) berturut-turut pada tahun ke 7.2, 6 dan 5. Hal ini menunjukkan bahwa kualitas tempat tumbuh memberikan pengaruh yang besar terhadap tingkat pertumbuhan sengon. Namun demikian, informasi ini belum tentu digunakan oleh petani, karena petani cenderung untuk menganggap hutan sengon sebagai sebuah tabungan yang akan ditebang apabila dibutuhkan.

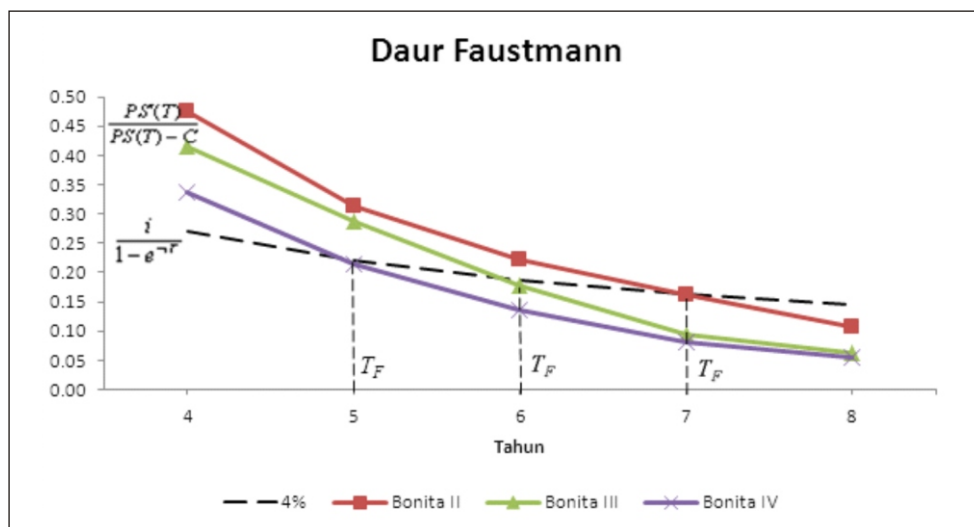
**B. Daur Finansial (Faustmann)**

Tabel 2 menunjukkan parameter yang digunakan dalam perhitungan daur Faustmann. Data diperoleh dari komunikasi

personal dengan tengkulak kayu sengon dan pengusaha hutan rakyat sengon. Pertumbuhan tegakan sengon diasumsikan mengikuti pertumbuhan normal hutan sengon. Memasukkan parameter dalam Tabel 2 ke dalam persamaan (5) akan diperoleh Gambar 2 yang menunjukkan daur optimal Faustman ( $T_F$ ). Sumbu X merupakan tahun, sementara sumbu Y merupakan angka yang menunjukkan  $\frac{pS'(T)}{pS(T)-C}$  dan  $\frac{i}{1-e^{-iT}}$  (Persamaan 6). Tingkat suku bunga riil yang digunakan adalah 4%, karena diasumsikan tingkat suku bunga nominal adalah sebesar 12% dan tingkat inflasi rata-rata selama 10 tahun terakhir adalah 8%.

Tabel 2. Parameter yang digunakan dalam perhitungan  
 Table 2. Parameters used in the calculation

Parameter	Nilai	Keterangan
Harga kayu per m <sup>3</sup>	Rp. 800.000	Harga kayu rata-rata di pasar
Biaya pemanenan per m <sup>3</sup>	Rp. 50.000	Diperoleh dari komunikasi personal terhadap tengkulak kayu sengon
Biaya pembuatan hutan (pengadaan bibit, penanaman, pemupukan, dll) per ha	Rp 15.000.000	Diperoleh dari komunikasi personal dengan pengusaha hutan rakyat sengon
Suku bunga riil	4%	



Gambar 2. Daur Faustmann tegakan sengon pada bonita II, III, dan IV  
 Figure 2. Faustmann rotation in site quality (bonita) II, III, and IV

Gambar 2 menunjukkan bahwa pada tingkat harga kayu bulat sengon Rp 800.000,- per m<sup>3</sup> dan suku bunga riil 4%, daur Faustmann ternyata sama dengan daur biologisnya. Temuan ini menarik mengingat pada umumnya daur Faustman lebih pendek dari daur biologisnya (Perman *et al.*, 2003; Tassone *et al.*, 2004; Amacher *et al.*, 2009). Hubungan antara daur ekonomis Faustmann dan daur biologis dapat diterangkan sebagai berikut: Diasumsikan biaya pembangunan hutan tanaman  $C$  sama dengan nol, maka persamaan 3 menjadi mirip dengan persamaan 1, hanya ditambahkan dengan faktor harga  $p$ . Sehingga persamaan 6 menjadi sama dengan persamaan 2:

$$\frac{pS'(T)}{pS(T)} = \frac{i}{1-e^{-iT}} = \frac{1}{T} \quad (7)$$

Kondisi di atas hanya berlaku, menggunakan hukum L'Hopital:

$$\lim_{i \rightarrow 0} \frac{i}{(1-e^{-iT})} = \frac{1}{T} \quad (8)$$

Persamaan 8 menunjukkan bahwa daur biologis hanya akan sama dengan daur Faustmann apabila biaya pembangunan hutan dan suku bunga riil sama dengan nol. Dari persamaan 7 dan 8 dapat pula dilihat bahwa apabila tingkat suku bunga riil positif, maka biaya kesempatan dari dalam model Faustmann selalu lebih besar dari model daur biologis, sehingga daur Faustmann akan selalu lebih pendek dari daur biologisnya.

Kemudian, apabila biaya pembangunan hutan positif, maka

$$\frac{pS'(T)}{pS(T)} = \frac{i \left( 1 - \frac{c}{pS(T)} \right)}{1-e^{-iT}} = \frac{1}{T} \quad (9)$$

Mengatur persamaan di atas menjadi

$$\frac{c}{p} = S(T) \left[ 1 - \frac{1-e^{-iT}}{iT} \right] \quad (10)$$

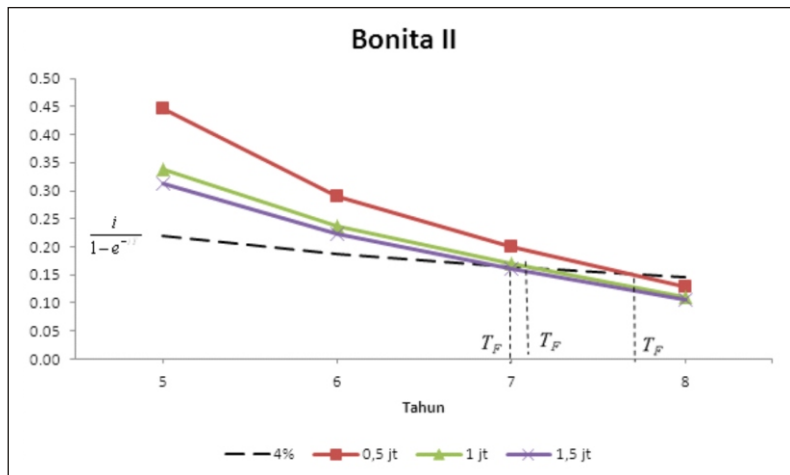
Apabila kita asumsikan bahwa *land rent* harus positif dari kegiatan kehutanan  $c/p \leq S(T)e^{-iT}$  maka kita dapat memperoleh kondisi seperti persamaan 11 berikut:

$$(1 - e^{-iT})(iT - 1) \leq 0 \quad (11)$$

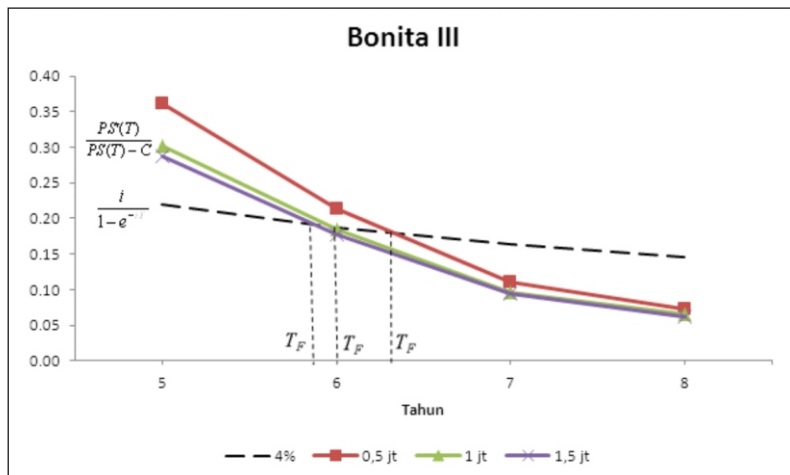
Karena  $(1 - e^{-iT}) > 0$  untuk semua  $i > 0$  dan  $T > 0$ , kita harus membentuk terminologi dalam tanda dalam kurung yang kedua dalam persamaan 11 menjadi  $r1/T$  sedemikian rupa sehingga kondisi daur Faustmann yang lebih panjang dari daur biologisnya.

Binkley (1987) menyebutkan bahwa untuk species yang lambat tumbuh seperti *Douglas fir*, di mana daur biologisnya berkisar 100 tahun, maka agar daur Faustmann lebih panjang dari 100 tahun, diperlukan tingkat suku bunga riil yang lebih rendah dari  $1/100 = 0,01$ . Kondisi ini sangat sulit ditemukan. Namun, pada hutan tanaman yang relatif cepat tumbuh seperti di daerah tropis, dimana nilai MAI maksimum dapat diperoleh pada tahun  $< 20$ , maka daur Faustmann pada tingkat suku bunga riil 4 % bisa lebih panjang dari daur biologisnya.

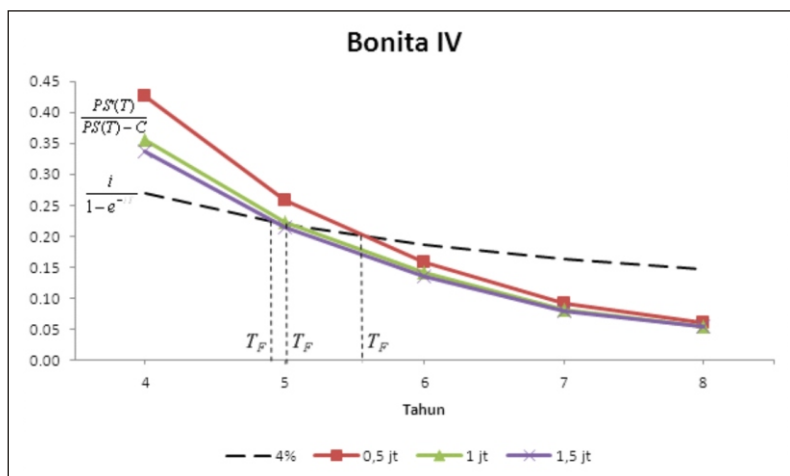
Untuk mengetahui pengaruh perubahan tingkat harga dan tingkat suku bunga riil yang terjadi terhadap daur Faustmann, analisis sensitivitas perlu dilakukan. Harga kayu yang digunakan dalam analisis sensitivitas ini adalah Rp 500.000,- hingga Rp. 1.500.000,- dan tingkat suku bunga 3, 7, 10, dan 15 %. Menentukan tingkat suku bunga yang tepat merupakan hal yang cukup kontroversial (Tassone *et al.*, 2004) mengingat secara umum, manusia memiliki sifat *myopia*, yaitu menilai kondisi saat ini lebih tinggi dibandingkan masa mendatang. Pada konteks sumberdaya alam, beberapa penggiat lingkungan mengusulkan untuk menggunakan *zero discount rate* dalam menilai sumberdaya alam, sehingga nilainya tidak lebih rendah dari sekarang.



Gambar 3. Daur Faustmann tegakan sengon pada beberapa tingkat harga kayu pada Bonita II  
 Figure 3. Faustmann rotation on sengon stand under different wood price in site quality II



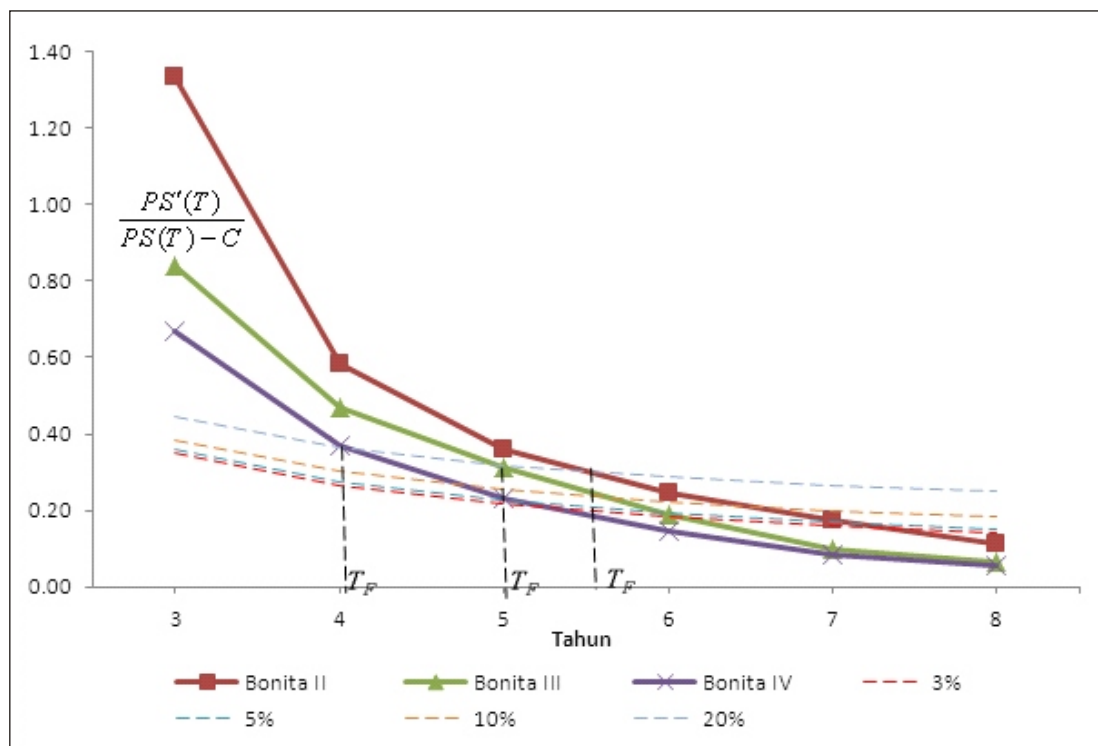
Gambar 4. Daur Faustmann tegakan sengon pada beberapa tingkat harga kayu pada Bonita III  
 Figure 4. Faustmann rotation on sengon stand under different wood price in site quality III



Gambar 5. Daur Faustmann tegakan sengon pada beberapa tingkat harga kayu pada Bonita IV  
 Figure 5. Faustmann rotation on sengon stand under different wood price in site quality IV

Gambar 3, 4 dan 5 menunjukkan bahwa semakin tinggi harga kayu bulat sengon akan memperpendek daur Faustmann karena petani akan memperoleh keuntungan yang maksimal apabila segera memanen tegakan sengonnya dan kemudian segera menanamnya kembali. Sementara itu, analisis sensitivitas juga dilakukan terhadap perubahan suku bunga riil.

Gambar 6 menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai suku bunga riil, semakin cepat pula petani akan memanen tegakan-nya, karena semakin tinggi nilai suku bunga riil, berarti semakin rendah nilai tegakan sengon di masa yang akan datang. Oleh karena itu, memanen tegakan sengon menjadi lebih menguntungkan untuk dilakukan lebih cepat apabila suku bunga riil tinggi.



Gambar 6. Daur Faustmann pada beberapa tingkat suku bunga dan bonita  
 Figure 6. Faustmann rotation under different interest rate and site qualities

Pada tingkat suku bunga 20%, daur Faustmann menjadi lebih pendek dari daur biologisnya pada semua bonita, yaitu berturut-turut 5.5, 5 dan 4 tahun pada bonita II, III, dan IV. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat suku bunga yang tinggi akan membuat nilai tegakan sengon menjadi lebih rendah di masa yang akan datang dan akan lebih menguntungkan apabila pemanenan dilakukan lebih cepat.

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

##### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan di atas, dapat disimpulkan:

1. Daur biologis sengon pada bonita II, III, dan IV berturut turut adalah 7.2, 6 dan 5 tahun.
2. Daur finansial (Faustmann) tegakan hutan sengon pada bonita II, III, dan IV berturut turut adalah 7, 6 dan 5 tahun.



3. Semakin tinggi tingkat suku bunga, maka nilai dari tegakan hutan sengon menjadi lebih rendah di masa yang akan datang sehingga membuat daur menjadi lebih pendek.
4. Semakin tinggi harga kayu bulat sengon akan memperpendek daur Faustmann.

### B. Saran

Penentuan daur optimal hutan tanaman sengon dalam penelitian ini dapat memberikan masukan bagi pengelola hutan tanaman sengon untuk memilih daur optimal yang sesuai. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut apabila hutan tanaman sengon ditanam dalam pola agroforestry. Selain itu, pertimbangan keuntungan dari non-kayu e.g. jasa lingkungan karbon dan air dalam penentuan daur optimal hutan tanaman sengon menarik pula untuk diteliti.

### 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.
- Binkley, C.S., 1987. When Is the Optimal Economic Rotation Longer Than the Rotation of Maximum Sustained Yield. *J Environ Econ Manag* 14, 152-158.
- Buongiorno, J., Dahir, S., Lu, H.-C., Lin, C.-R., 1994. Tree size diversity and economic returns in uneven-aged forest stands. *Forest Science* 40, 83-103.
- Buongiorno, J., Holvorsen, E.A., Bollandas, O.M., Gobakken, T., Hofstad, O., 2012. Optimizing management regimes for carbon storage and other benefits in uneven-aged stands dominated by Norway spruce, with a derivation of the economic supply of carbon storage. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 1-14.
- Buongiorno, J., Peyron, J.L., Houllier, F., Bruciamacchie, M., 1995. Growth and Management of Mixed-Species, Uneven-Aged Forests in the French Jura - Implications for Economic Returns and Tree Diversity. *Forest Science* 41, 397-429.
- Chang, S.J., 1981. Determination of the Optimal Growing Stock and Cutting Cycle for an Uneven-Aged Stand. *Forest Science* 27, 739-744.
- Chang, S.J., 1984. Determination of the Optimal Rotation Age - a Theoretical-Analysis. *Forest Ecol Manag* 8, 137-147.
- Chang, S.J., 2001. One formula, myriad conclusions, 150 years of practicing the faustmann formula in central Europe and the USA. *Forest Policy Econ* 2.
- Haight, R.G., 1985. A Comparison of Dynamic and Static Economic-Models of Uneven-Aged Stand Management. *Forest Science* 31, 957-974.
- Hartman, R., 1976. Harvesting Decision When a Standing Forest Has Value. *Economic Inquiry* 14, 52-58.
- Ingram, C.D., Buongiorno, J., 1996. Income and diversity tradeoffs from management mixed lowland dipterocarps in Malaysia. *Journal of Tropical Forest Science* 9, 242-270.
- Kooten, G.V., Binkley, C., Delcourt, G., 1995. Effects of carbon taxes and subsidies on optimal forest rotation age and supply of carbon services. *American Journal of Agricultural Economics* 77, 365-374.
- Krisnawati, H., Varis, E., Kallio, M., Kanninen, M., 2011. *Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen. *Ekologi*,

- Silvikultur dan Produktivitas. CIFOR, Bogor Indonesia.
- Mendoza, G.A., Onal, H., Soetjipto, W., 2000. Optimising tree diversity and economic returns from managed mixed forest in Kalimantan, Indonesia. *Journal of Tropical Forest Science* 12, 298-319.
- Olschewski, R., Benitez, P.C., 2010. Optimizing joint production of timber and carbon sequestration of afforestation projects. *J Forest Econ* 16, 1-10.
- Perman, R., Ma, Y., McGilvray, J., Common, M., 2003. *Natural resource and environmental economics*. Third Edition. Pearson Education Limited, England.
- Riyanto, H.D., Putra, P.B., 2010. Model pertumbuhan tegakan hutan tanaman sengon untuk pengelolaan hutan. *Tekno Hutan Tanaman* 3.
- Romero, M.Z., Traerup, S., Wieben, E., Moller, L.R., Koch, A., 2013. Economics of forest and forest carbon projects: Translating lessons learned into national REDD+ implementation. In. UNEP, UN-REDD Programme.
- Samuelson, P.A., 1976. Economics of Forestry in an Evolving Society. *Economic Inquiry* 14, 466-492.
- Suharlan, A., Sumarna, K., Sudiono, J., 1975. *Tabel Tegakan Sepuluh Jenis Kayu Industri*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hutan, Bogor.
- 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 Econ* 6, 567-578.
- Wise, R.M., Cacho, O.J., 2011. A bioeconomic analysis of the potential of Indonesian agroforests as carbon sinks. *Environmental Science & Policy* 14, 451-461.
- Xabadia, A., Goetz, R.U., 2010. The optimal selective logging regime and the Faustmann formula. *J Forest Econ* 16, 63-82.