

# MODEL SIMULASI PENJARANGAN HUTAN TANAMAN EKALIPTUS\*) (Simulation Model of Thinning for Eucalyptus Plantation Forest)

Oleh/By :  
Aswandi<sup>1)</sup>

Balai Penelitian Kehutanan Aek Nauli  
Sibaganding Km 10,5 Aek Nauli- Parapat 21174 Utara; Telp. (0625) 41659, 41653

<sup>1)</sup>Email : andiasw@yahoo.com

\*) Diterima : 25 Januari 2007; Disetujui : 21 Mei 2007

## ABSTRACT

The objective of this study was to develop a simulation model of thinning for eucalyptus plantation forest based on a system analysis. Approach the models were used for predicting optimal time and intensity of thinning. Simulation to various scenarios of thinning resulted 20 % of thinning intensity with 5 years rotation and 15 year, length of plantation rotation were the optimum prescription of thinning. Yield projection at this prescription were 610.5 m<sup>3</sup> per ha or MAI 40.7 m<sup>3</sup> per ha per year and average of stand diameter 39,0 cm. These value were accumulation of the volume of thinning 80.1 m<sup>3</sup>/ha and harvesting at the end of 530.4 m<sup>3</sup>/ha rotation. The models were hyphotetic models and they need validations by developing permanent sampling plots of thinning.

Key words : Model, simulation, system analysis, eucalyptus, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, North Sumatra

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan model hipotetis penjarangan hutan tanaman jenis ekaliptus (*Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden) berdasarkan pendekatan analisis sistem. Pada saat ini di lokasi penelitian kegiatan penjarangan belum dilakukan karena orientasi perusahaan masih pada hasil biomassa. Model sistem yang dibangun digunakan untuk mengetahui waktu dan intensitas penjarangan yang optimal. Berdasarkan simulasi terhadap berbagai skenario preskripsi penjarangan, intensitas penjarangan 25 % dengan rotasi penjarangan 15 tahun memberikan hasil maksimal sebesar 40,7 m<sup>3</sup> per ha per tahun atau 610,5 m<sup>3</sup> per ha tegakan dengan rata-rata diameter 39,0 cm. Hasil total tersebut diperoleh dari kegiatan penjarangan sebesar 80,1 m<sup>3</sup> per ha dan hasil tebangan akhir daur sebesar 530,4 m<sup>3</sup> per ha. Model yang dibangun merupakan model hipotetis sehingga validasi sangat perlu dilakukan dengan membangun petak ukur penjarangan di lapangan.

Kata kunci : Model, analisis sistem, simulasi, penjarangan, ekaliptus, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, Sumatera Utara

## I. PENDAHULUAN

Untuk mengurangi tekanan terhadap hutan alam, pemerintah memacu pembangunan hutan tanaman sebagai salah satu alternatif pemenuhan kebutuhan industri kayu serpih dan kayu pertukangan. Untuk itu diharapkan hutan tanaman yang dibangun memiliki kualitas dan kuantitas yang setara dengan hutan alam. Salah satu tindakan manajemen tegakan yang dapat diterapkan untuk mendorong terbentuknya tegakan yang memiliki kualitas

dan kuantitas yang baik adalah penjarangan (Daniel *et al.*, 1987).

Penjarangan dilakukan untuk berbagai alasan, yakni a) untuk mengurangi jumlah pohon dalam suatu tegakan sehingga memacu pertumbuhan riap diameter untuk mencapai ukuran pemanfaatan sesegera mungkin; b) meningkatkan kesehatan tegakan dengan menyisakan tegakan yang sehat, serta mengurangi kompetisi antar pohon; c) mengeluarkan pohon-pohon yang memiliki bentuk dan performa yang jelek, sehingga semua riap

masa depan terkonsentrasi hanya pada pohon-pohon terbaik; dan d) menyediakan pengembalian finansial antara, dari hasil penjarangan (Evans, 1992).

Karena respon pertumbuhan tegakan sangat berkaitan dengan kondisi tempat tumbuh, keadaan awal tegakan, dan jenis tanaman, maka teknik penjarangan (waktu penjarangan dan intensitas penjarangan) harus dibuat spesifik jenis dan kondisi tempat tumbuh. Perlakuan penjarangan yang terlambat atau terlalu keras akan berpengaruh terhadap kuantitas dan kualitas kayu yang dihasilkan.

Hingga saat ini masih sedikit data/informasi tentang teknik penjarangan hutan tanaman industri terutama untuk jenis-jenis cepat tumbuh yang umumnya diperuntukkan untuk kayu serpih. Hal ini dimungkinkan karena kayu serpih lebih mementingkan biomasa dibandingkan kualitas tegakan seperti halnya kayu pertukangan. Keadaan yang sama juga terjadi pada hampir semua hutan tanaman industri di Indonesia yang dibangun untuk menghasilkan kayu serpih. Akan tetapi, menjadi pertanyaan bagaimana jika hutan tanaman yang dibangun dikelola secara terpadu sehingga seluruh bagian pohon dimanfaatkan secara optimal, di mana sebagian tegakan dengan kualitas baik, disisakan untuk kayu pertukangan sedangkan hasil penjarangan dapat dimanfaatkan sebagai kayu serpih. Hasil kegiatan penjarangan ini juga diharapkan dapat menyediakan pengembalian finansial.

Salah satu jenis cepat tumbuh yang banyak ditanam adalah ekaliptus (*Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden). Di Amerika Serikat jenis ini telah dimanfaatkan untuk kayu serpih, kayu energi, dan vinir kayu lapis (Webb *et al.*, 1980; Mariani *et al.*, 1981). Di dataran tinggi Toba ekaliptus telah ditanam sejak tahun 1989 terutama untuk memenuhi kebutuhan industri kayu serpih PT. Toba Pulp Lestari (TPL) Tbk.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan model simulasi penjarangan hutan tanaman jenis ekaliptus. Model sistem

yang dibangun digunakan untuk mengetahui waktu dan intensitas penjarangan yang optimal.

## II. METODE PENELITIAN

### A. Kerangka Pemikiran

Model penjarangan hutan tanaman dibangun berdasarkan pendekatan analisis sistem. Analisis sistem sebagai metode penelitian dalam pengelolaan sumberdaya alam merupakan penyajian suatu sistem dengan menggunakan azas metode ilmiah sehingga dapat dibentuk suatu konsepsi atau model yang dapat digunakan untuk mensimulasikan berbagai strategi dan kebijakan (Grant *et al.*, 1997). Esensi dari analisis sistem bukan terletak pada teknik kuantitatifnya, tetapi lebih pada strategi pemecahan masalah-masalah yang sulit atau tidak dapat dipecahkan secara matematis maupun statistik (Grant *et al.*, 1997). Buongiorno dan Michie (1980) serta Buongiorno dan Gilles (1987) menyatakan bahwa simulasi model dapat digunakan sebagai alat yang paling baik dan serbaguna untuk pemecahan masalah pengelolaan hutan. Dengan simulasi dapat dilakukan percobaan-percobaan perlakuan manajemen hutan yang akan diterapkan pada tegakan sebenarnya.

Model penjarangan yang dibangun merupakan model hipotetis dengan menirukan unsur-unsur dan perilaku sistem hutan tanaman yang dipelajari. Dengan melakukan simulasi dan eksperimen terhadap model sistem maka dapat diketahui perilaku dan respon sistem yang diamati tanpa harus mengganggu atau mengadakan perlakuan terhadap sistem yang diteliti, kemungkinan kegagalan seperti yang terjadi pada eksperimen biasa, dan perlunya pengamatan dalam waktu yang sangat lama (Grant *et al.*, 1997). Belum adanya eksperimen penjarangan yang dilaksanakan langsung terhadap tegakan dapat diatasi dengan membangun model sistem atau model hipotetis. Karakteristik penting dari model hipotetis

yang dibangun adalah bahwa berbagai strategi penjarangan tidak bersifat *given* atau ditentukan melainkan merupakan luaran dari model sistem yang dipengaruhi oleh dinamika dan karakteristik tegakan hutan tanaman.

**B. Bahan dan Alat**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah data seri pengukuran tahunan tegakan *E. grandis* pada 15 petak ukur permanen (PUP) yang telah berumur delapan tahun pada HTI PT. TPL Tbk., Sektor Aek Nauli. Petak ukur yang diamati tersebut adalah PUP nomor 452, 455, 456, 457, 460, 461, 465, 468, 469, 470, 473, 474, 475, 476, dan 559.

HTI PT. TPL sektor Aek Nauli menurut administrasi pemerintahan wilayah tersebut termasuk dalam Kecamatan Girsang Sipangan Bolon, Kabupaten Simalungun dan sebagian lainnya masuk dalam Kabupaten Karo. Kawasan hutan seluas 22.533 ha tersebut memiliki topografi datar dan bergelombang dengan kemiringan 0-25 % pada ketinggian tempat 1.200 m dpl., jenis tanah pada kawasan ini adalah podsolik coklat, podsolik coklat kuning, dan podsolik coklat kelabu yang terbentuk dari bahan induk batuan beku dan batuan metamorf yang bersifat asam. Menurut klasifikasi Schmidt dan Ferguson (1951) areal HTI PT. TPL termasuk daerah beriklim sangat basah (tipe iklim A) dengan curah hujan rata-rata tahunan 1.927,7 mm.

Peralatan yang digunakan adalah komputer dengan perangkat lunak pengolahan data *Microsoft Office Excel 2003* (Blattner, 2003), *Minitab 14 for windows* (Mattjik dan Sumertajaya, 2002), dan analisis sistem dan simulasi *Stella 6.0.1* (Purnomo, 2004).

**C. Pengumpulan Data**

Data dikumpulkan melalui pengukuran diameter dan tinggi pohon penyusun petak ukur pada setiap tahunnya dengan menggunakan pita diameter dan

*clinometer*. Petak ukur permanen terletak pada berbagai tempat dengan luas masing-masing petak ukur 0,02 ha. Untuk penyusunan model indeks tempat tumbuh dipilih dua pohon tertinggi pada setiap petak ukur sebagai peninggi.

**D. Pengolahan Data**

**1. Penyusunan Model Indeks Tempat Tumbuh**

Model indeks tempat tumbuh didasarkan pada hubungan matematis antara peninggi dan umur tegakan. Model yang digunakan berdasarkan model terdahulu yang telah diuji untuk jenis *Acacia mangium* (Puspasari dan Achmad, 2000) dan *Gmelina arborea* (Aswandi dan Ali, 2005). Model yang digunakan adalah :

a.  $\log H = \beta_0 + \beta_1 A^{-1}$  (Avery, 1994)...(1)

Jika umur (A) setara dengan umur indeks ( $A_i$ ), maka peninggi (H) setara dengan SI (*site index*), yakni :

$\log SI = \beta_0 + \beta_1 A_i^{-1}$  .....(2)

Substitusi persamaan (2) ke persamaan (1) akan menghasilkan :

$\log H = \log SI - \beta_1 A_i^{-1} + \beta_1 A^{-1}$   
 $= \log SI + \beta_1 (A^{-1} - A_i^{-1})$

Sehingga perhitungan SI akhirnya diperoleh dari rumus :

$\log SI = \log H - \beta_1 (A^{-1} - A_i^{-1})$  .....(3)

b.  $H = \beta_0 + \beta_1 (\ln A)^k$  (Alder, 1980)...(4)

Jika umur (A) setara dengan umur indeks ( $A_i$ ), maka peninggi (H) setara dengan SI, maka :

$SI = \beta_0 + \beta_1 (\ln A_i)^k$  .....(5)

Jadi hubungan antara indeks tempat tumbuh dengan peninggi adalah :

$SI = (H - \beta_0)(\ln A / \ln A_i)^k + \beta_0$  .....(6)

dimana: H = peninggi (m), SI = indeks tempat tumbuh, A = umur,  $\beta_0$  = intersep,  $\beta_1$  = koefisien regresi, dan k = tetapan.

Selain kedua model di atas juga dicari model matematis hubungan peninggi dengan umur lainnya dengan bantuan perangkat lunak komputer *CurveExpert 1.3*.

**2. Penyusunan Model Pertumbuhan dan Hasil**

Model pertumbuhan dan hasil disusun berdasarkan hubungan matematis antara umur, diameter, kerapatan tegakan, luas bidang dasar, dan volume tegakan. Model prediksi dibangun dengan menguji berbagai persamaan dari berbagai kombinasi yang mungkin.

- a. Riap tahun berjalan (CAI) dan riap rata-rata tahunan (MAI) diameter dihitung dengan rumus :

$$CAI = Y_{t+1} - Y_t \dots \dots \dots (7)$$

$$MAI = Y_t / t \dots \dots \dots (8)$$

dimana :  $Y_t$  = diameter, tinggi, luas bidang dasar, dan volume tahun ke-t, t = umur tanaman.

Model rata-rata riap tahunan perjalan (CAI) dibangun berdasarkan hubungan antara besarnya rata-rata CAI dengan luas bidang dasar dan umur tegakan menggunakan analisis regresi dengan persamaan prediksi riap :

$$CAI = \beta_0 + \beta_1 B + \beta_2 A \dots \dots \dots (9)$$

dimana : B = luas bidang dasar tegakan, A = umur tegakan,  $\beta$  = tetapan.

- b. Laju kematian alami tegakan dihitung dengan rumus :

$$NMR = (M/N) * 100 \% \dots \dots \dots (10)$$

dimana: NMR = laju kematian alami tegakan (%), M = individu pohon yang mati, dan N = jumlah pohon/ha.

Model penduga laju kematian alami tegakan dibangun berdasarkan hu-

bugan antara laju kematian dengan kerapatan bidang dasar (luas bidang dasar) tegakan dan atau dengan umur tegakan.

Analisis yang digunakan untuk mengetahui hubungan matematis parameter tegakan tersebut dilakukan dengan analisis regresi *non linear* dengan bantuan perangkat lunak komputer *CurveExpert 1.3* dan *Minitab 14 for Windows*.

**3. Pemilihan Model Terbaik**

Model terbaik dan validasi dilakukan berdasarkan kriteria nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) dan nilai simpangan agregat (*Aggregate of Difference -AgD*).

$$AgD = [(\sum Ha - \sum Ht) / \sum Ht] * 100\% \dots \dots \dots (11)$$

dimana:  $H_a$  = nilai aktual hasil pengukuran lapang,  $H_t$  = nilai dugaan dari model, N = jumlah contoh.

Model yang dianggap baik memiliki nilai  $R^2$  cukup tinggi, serta nilai simpangan agregat yang lebih kecil dari 5 % (Husch *et al.*, 1971).

**E. Analisis Data**

**1. Pemilihan Model**

Model terbaik dan validasi dilakukan berdasarkan kriteria nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ), nilai simpangan agregat (*Aggregate of Difference -AgD*) dan uji t dan khi-kuadrat.

$$AgD = [(\sum Ha - \sum Ht) / \sum Ht] / N * 100\% \dots \dots (12)$$

dimana:  $H_a$  = nilai aktual hasil pengukuran lapang,  $H_t$  = nilai dugaan dari model, N = jumlah contoh.

Rumus perhitungan uji *t-student* adalah sebagai berikut :

$$t = \frac{\overline{X_1} - \overline{X_2}}{s \sqrt{(1/N_1) + (1/N_2)}} \dots \dots \dots (13)$$

dimana: t = nilai  $t_{hitung}$  (*t-value*), s = simpangan baku,  $s^2$  = ragam,  $N_i$  = jumlah sampel populasi ke-i.

**2. Pembentukan Model Sistem**

Tahapan pembentukan dan penggunaan sebuah model sistem meliputi (Grant *et al.*, 1997) :

- a. Perumusan model konseptual. Membangun pemahaman terhadap sistem yang diamati ke dalam sebuah konsep untuk mendapatkan gambaran secara menyeluruh tentang model yang dibuat. Tahapan ini dimulai dengan mengidentifikasi semua komponen sistem serta keterkaitannya dengan menggunakan diagram kotak dan panah. Identifikasi keterkaitan komponen tersebut didasarkan pada keadaan nyata agar hasil yang digambarkan model mendekati keadaan sebenarnya.
- b. Spesifikasi model kuantitatif. Bertujuan untuk memberikan nilai kuantitatif terhadap masing-masing variabel dan menerjemahkan hubungan antar variabel dan komponen model ke dalam persamaan matematika. Persamaan tersebut dapat diperoleh dari hasil regresi terhadap data yang ada atau berdasarkan hasil rujukan.
- c. Evaluasi model. Proses pengujian dilakukan dengan mengamati kelogisan relasi-relasi yang menyusun model serta membandingkan perilaku model dengan data hasil pengukuran. Kesesuaian akan diuji dengan uji-uji statistika, seperti uji khi kuadrat, di mana  $\chi^2$  diperoleh dengan rumus :

$$\chi^2_{hitung} = \sum (y_{riil} - y_{model})^2 / y_{model}$$

dengan hipotesis uji :  $H_0 : y_{model} = y_{riil}$  vs  $H_1 : y_{model} \neq y_{riil}$   
 dengan kriteria uji :  $\chi^2_{hitung} \geq \chi^2_{tabel}$  : tolak  $H_0$  vs  $\chi^2_{hitung} < \chi^2_{tabel}$  : terima  $H_0$

Namun jika ternyata model yang dibuat tidak dapat memprediksi kompleksitas dunia nyata, bukan berarti model yang dibangun tidak baik. Lee (1993) dalam Purnomo (2004) menyatakan bahwa perilaku dari sistem alam tidak dapat dipahami dengan lengkap sehingga prediksi atas perilakunya sering salah dan sulit dilakukan. Menurut Purnomo (2004) model

sistem alam jarang teliti dan andal. Kegunaan model tersebut terletak pada kemampuannya untuk memenuhi asumsi-asumsi dalam memahami sistem alam atau dengan kata lain ketepatan prediksi adalah penting, tetapi yang lebih penting adalah bagaimana model tersebut bisa dimanfaatkan sesuai dengan tujuan pemodelan.

- d. Penggunaan model. Model yang telah dibentuk digunakan untuk mencapai tujuan pembentukannya dengan menyusun skenario.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Sebaran Data

Sebaran data rata-rata peninggi, diameter, tinggi, dan volume masing-masing petak ukur permanen dapat dilihat pada Gambar 1.

Dari Gambar 1 terlihat bahwa pertumbuhan rata-rata peninggi, diameter, tinggi, dan volume tegakan cenderung logistik dan *linear*. Gambar 1 juga menunjukkan terdapatnya *range* rata-rata yang cukup signifikan variabel pertumbuhan pada setiap umur tegakan. Kondisi ini dapat diakibatkan perbedaan produktivitas tempat tumbuh (kualitas tapak).

#### B. Model Peninggi

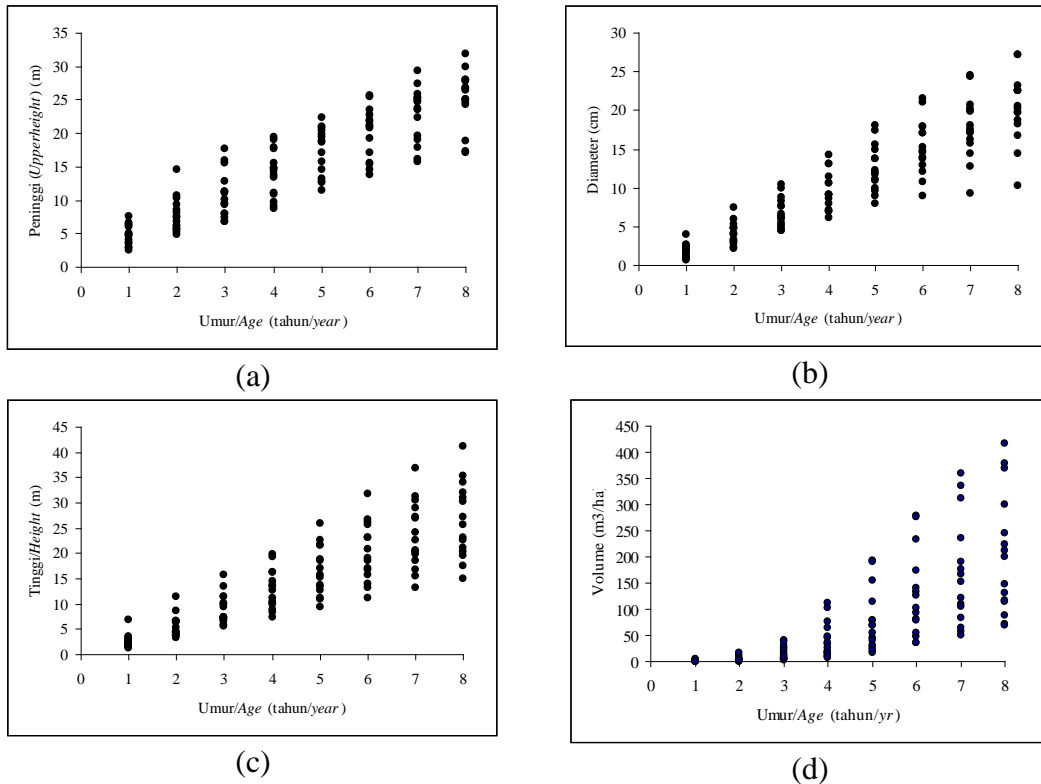
Dengan menggunakan analisis regresi *non linear*, diperoleh model-model peninggi sebagai berikut :

- a.  $\log H = \beta_0 + \beta_1 A^{-1}$  (Avery, 1994)  
 $\log H = 1,390 - 0,816 A^{-1}$  .....(14)
- b.  $H = b_0 + b_1 (\ln A)^k$  (Alder, 1980)  
 $H = 4,725 + 5,121 (\ln A)^{1,88}$  .....(15)
- c. Model logistic :  $H = a / (1 + b * e^{-cA})$   
 $H = 26,55 / (1 + 10,03 * e^{-0,59A})$  .....(16)

Model penduga indeks tempat tumbuh terbaik dipilih berdasarkan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ), simpangan agregat (SA), dan simpangan rata-rata (SR). Besarnya nilai untuk masing-masing kriteria tersebut untuk kedua model yang diuji dapat dilihat pada Tabel 1.

Menurut Husch *et al.* (1971), suatu model dapat diandalkan apabila memiliki nilai simpangan agregat (AgD) lebih

besar dari -5 % atau lebih kecil dari 5 %. Tabel 1 menunjukkan bahwa model 2 dan model 3 memenuhi persyaratan untuk



Gambar (Figure) 1. Sebaran data rata-rata parameter pertumbuhan tegakan *E. grandis* di Aek Nauli, Sumatera Utara: (a) Peninggi, (b) Diameter, (c) Tinggi, dan (d) Volume (*Distribution of mean of stand growth parameter of E. grandis at Aek Nauli, North Sumatra: (a) Dominant height, (b) dbh, (c) height, and (d) Stand volume*)

Tabel (Table) 1. Nilai R<sup>2</sup> simpangan agregat dan nilai t ketiga model yang diujikan (*The value of R<sup>2</sup>, AgD and t-value of the predicted models*)

No	Model prediksi ( <i>Prediction model</i> )	R <sup>2</sup>	AgD	t-value
1	$\log H = 1,390 - 0,816 A^{-1}$	73,0	6,73	2,44
2	$H = 4,725 + 5,121 (\ln A)^{1,88}$	79,9	0,44	0,22
3	$H = 26,55 / (1 + 10,03 * e^{-0,59A})$	90,6	2,79	1,35

Nilai t<sub>tabel(0.05,120)</sub> = 1,980

digunakan sebagai penduga indeks tempat tumbuh karena memiliki nilai AgD yang lebih kecil dari 5 %. Akan tetapi model 3 memiliki kelebihan dalam menerangkan hubungan antara umur dengan peninggi tegakan karena memiliki nilai koefisien determinasi (R<sup>2</sup>) yang lebih tinggi. Nilai uji t juga menunjukkan bahwa kecuali model 1, nilai prediksi kedua model tidak berbeda signifikan dengan nilai aktualnya.

Jika umur (A) setara dengan umur indeks (A<sub>i</sub>), maka peninggi (H) setara dengan SI (*site index*), yakni :

$$SI = a / (1 + b * e^{-cA_i}) \dots \dots \dots (17)$$

$$H = a / (1 + b * e^{-cA}) \dots \dots \dots (18)$$

Substitusi persamaan (17) ke persamaan (18) akan menghasilkan :

$$H = SI / \{ (1 + b * e^{-cA}) / (1 + b * e^{-cA_i}) \} \dots \dots \dots (19)$$

Sehingga perhitungan SI akhirnya diperoleh dari rumus :

$$SI = H * \{ (1 + b * e^{-cA}) / (1 + b * e^{-cAi}) \} \dots\dots(20)$$

Jika umur indeks yang digunakan adalah delapan tahun, maka persamaan indeks tempat tumbuh yang terbentuk akan menjadi :

$$SI_{(8)} = H * \{ (1 + 10,03 * e^{-0,59A}) / (1 + 10,03 * e^{-0,59 * 8}) \} \dots\dots\dots(21)$$

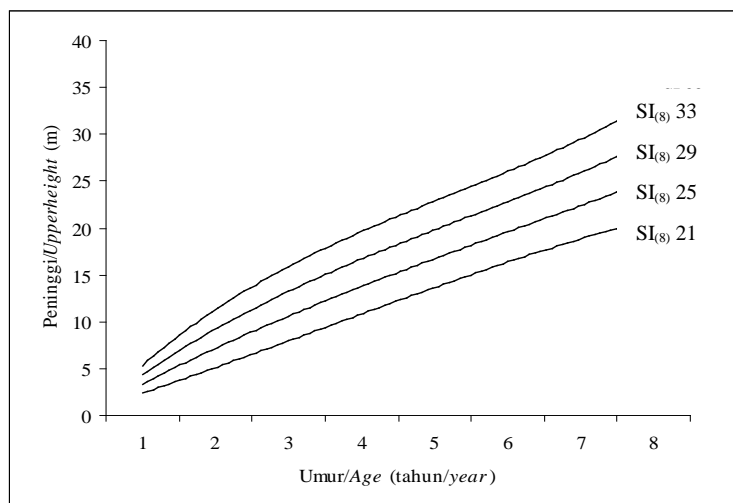
di mana  $SI_{(8)}$  : indeks tempat tumbuh umur 8 tahun, H : peninggi, A : umur.

Hasil pendugaan menunjukkan bahwa indeks tempat tumbuh dari petak-petak ukur di lokasi penelitian memiliki variasi antara 18,99-35,26. Oleh karena itu, grafik indeks tempat tumbuh disusun mulai 18,9 hingga 32,3 dengan selang 3,2 meter. Secara rinci perkembangan peninggi tegakan pada setiap kelas indeks tempat tumbuh dapat dilihat pada Lampiran 1.

Rata-rata pertumbuhan diameter, tinggi, luas bidang dasar, dan volume tegakan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 menunjukkan bahwa rata-rata hasil volume pada umur tegakan delapan tahun mencapai 205,73 m<sup>3</sup>/ha dengan riap rata-rata tahunan (MAI) sebesar 25,72 m<sup>3</sup>/ha/tahun. Sedangkan rata-rata riap tahunan berjalan tertinggi terdapat pada umur enam tahun sebesar 47,35 m<sup>3</sup>/ha/tahun. Besarnya MAI pada lokasi studi ini relatif sama dengan di Dehra Dun dengan MAI 22 m<sup>3</sup>/ha/tahun serta lebih kecil dari hasil rata-rata 30 m<sup>3</sup>/ha/tahun dengan rotasi enam tahun di Kenya. Pada tegakan yang mendapat irigasi yang baik di Zimbabwe menghasilkan 40 m<sup>3</sup>/ha/tahun, di Uganda dengan MAI 17-45 m<sup>3</sup>/ha/tahun, dan 35 m<sup>3</sup>/ha/tahun di Afrika

**C. Pertumbuhan Tegakan**



Gambar (Figure) 2. Kurva indeks tempat tumbuh *E. grandis* di Aek Nauli Sumatera Utara (Site class curve of *E. grandis* at Aek Nauli North Sumatra)

Tabel (Table) 2. Rata-rata pertumbuhan tegakan *E. grandis* pada plot penelitian di Aek Nauli (Mean of stand growth for *E. grandis* at Aek Nauli)

Umur (Age)	Rata-rata diameter (Average of diameter) cm			Rata-rata tinggi (Average of height) m			Volume tegakan (Stand volume) m <sup>3</sup>			LBDs (Basal area)	Jumlah pohon (Number of trees) (N/ha)	M (%)
	CAI	MAI	D	CAI	MAI	H	CAI	MAI	V			
1	1,89	1,89	1,89	2,6	2,6	2,6	0,84	0,84	0,84	0,37	1140	0,000
2	2,53	2,21	4,10	3,3	3,0	5,6	3,52	2,18	4,36	1,66	1138	0,176
3	3,51	2,64	6,70	4,1	3,3	8,8	11,95	5,44	16,31	4,32	1135	0,441
4	3,49	2,85	9,47	4,5	3,7	12,4	25,53	10,46	41,84	8,55	1126	1,243

5	3,04	2,91	12,28	4,1	3,7	16,0	36,93	15,75	78,77	13,94	1110	2,703
6	2,62	2,86	15,04	3,3	3,7	19,4	47,35	21,02	126,13	20,77	1103	3,323
7	1,44	2,68	17,61	1,7	3,4	22,6	42,11	24,03	168,23	27,32	1050	8,571
8	0,85	2,45	19,93	1,2	3,1	25,5	37,50	25,72	205,73	33,63	1007	13,245

Keterangan (*Remark*): LBDS = Luas bidang dasar tegakan (m<sup>2</sup>/ha); M = Laju kematian alami (*Natural mortality rate*)

Selatan. Webb *et al.* (1980) melaporkan riap rata-rata tahunan jenis ini berkisar antara 24-70 m<sup>3</sup>/ha/tahun.

Lampiran 2 dan Lampiran 3 menunjukkan bahwa hasil volume tertinggi pada umur delapan tahun dihasilkan oleh tegakan pada indeks tempat tumbuh tertinggi yakni SI<sub>(8)</sub> 33 sebesar 320,12 m<sup>3</sup> dengan MAI 40,02 m<sup>3</sup>/ha/tahun diikuti SI<sub>(8)</sub> 29 dengan hasil volume 249,93 m<sup>3</sup> dan MAI 31,24 m<sup>3</sup>/ha/tahun<sup>-1</sup>, SI<sub>(8)</sub> 25 dengan hasil volume 189,15 m<sup>3</sup> dan MAI 23,64 m<sup>3</sup>/ha/tahun, dan SI<sub>(8)</sub> 20 dengan hasil volume 137,39 m<sup>3</sup> dan MAI 17,17 m<sup>3</sup>/ha/tahun.

**D. Model Pertumbuhan**

Berdasarkan analisis regresi terhadap berbagai kombinasi variabel pertumbuhan diperoleh model-model pertumbuhan sebagai berikut :

- a. Model Diameter Tegakan
  - log D = 0,231 + 1,202 log A (R<sup>2</sup> = 88,0 %).....(22)
  - log D = 0,983+0,430 log A + 0,335 log B (R<sup>2</sup> = 98,0 %).....(23)
  - ln D = 0,743+0,363 ln A + 0,142 ln S + 0,313 ln B (R<sup>2</sup> = 98,1%).....(24)
- b. Model Tinggi Tegakan
  - log H = 0,369 + 1,173 log A (R<sup>2</sup> = 85,7 %).....(25)
  - ln H = - 0,554 + 0,340 ln A + 0,955 log S (R<sup>2</sup> = 95,2 %).....(26)
  - ln H = - 0,206+0,247 ln A + 0,100 ln B + 0,822 ln S (R<sup>2</sup> = 96,0 %).....(27)
- c. Model Luas Bidang Dasar Tegakan
  - ln B = - 2,24 + 2,12 ln D - 0,213 ln S (R<sup>2</sup> = 95,5 %).....(28)
  - B = - 5,22 - 0,122 S + 2,87 D - 2,41 A (R<sup>2</sup> = 93,2 %) .....(29)
  - ln B = - 2,61 + 2,50 ln D - 0,035 ln S - 0,679 ln A (R<sup>2</sup> = 96,3 %).....(30)

- d. Model Volume Tegakan
  - ln V = - 0,857 + 3,00 ln A (R<sup>2</sup> = 85,8 %).....(31)
  - ln V = 0,149 + 1,21 ln A + 0,790 ln B (R<sup>2</sup> = 94,5 %).....(32)
  - ln V = - 2,22 + 0,556 ln A + 0,568 ln B + 1,41 ln S (R<sup>2</sup> = 96,8 %).....(33)
- e. Model penduga CAI dan laju kematian alami
  - CAI = 1,24 - 0,116 B + 0,502 A (R<sup>2</sup> = 94,1 %).....(34)
  - M = (0,000249+0,000452 B)/ (1-0,0516 B + 0,0011 B<sup>2</sup>) (R<sup>2</sup> = 99,1).....(35)

dimana: D = rata-rata diameter setinggi dada, H = rata-rata tinggi tegakan, V = volume tegakan per hektar, A = umur tegakan, B = luas bidang dasar tegakan, S = indeks tempat tumbuh, CAI = riap rata-rata tahunan, V = volume (angka bentuk 0,42), M = laju kematian.

Ketelitian statistik dan hasil uji validasi terhadap model-model di atas disajikan pada Tabel 3.

Pada Tabel 3, terlihat bahwa model-model di atas dapat digunakan untuk menduga pertumbuhan tegakan karena memiliki simpangan agregat yang lebih kecil dari lima persen serta koefisien determinasi yang lebih besar dari 96 %. Hasil perhitungan nilai t juga menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara nilai tegakan aktual dengan nilai prediksi dari 15 plot penelitian yang diamati.

**E. Model Konseptual Penjarangan**

Dinamika tegakan hutan tanaman menggambarkan pertumbuhan dan kematian individu pohon penyusun tegakan. *System of interest* dinamika tegakan antara

Tabel (*Table*) 3. Ketelitian statistik persamaan penduga pertumbuhan dan hasil (*Statistics expressing precision of growth and yield prediction equations*)



Model prediksi ( <i>Prediction model</i> )	R <sup>2</sup> (%)	AgD (%)	PRESS	RMS error	F-value	t-value
Dbh	98,1	0,15	1,83785	0,014	1999,64	0,18
Tinggi ( <i>Height</i> )	96,0	1,29	3,45251	0,028	920,39	0,77
LBDs ( <i>Basal area</i> )	96,3	4,11	14,1002	0,11	1004,07	1,43
Volume	96,8	0,23	19,1472	0,15	1166,38	0,05

Nilai  $t_{\text{-tabel}(0,05,120)} = 1,980$

lain meliputi riap dan kematian tegakan, kerapatan tegakan (jumlah pohon per ha dan luas bidang dasar tegakan), ukuran pohon (diameter), dan tindakan silvikultur yang diterapkan (penjarangan). Riap tegakan terdiri atas riap rata-rata tahun (MAI) dan riap tahunan berjalan (CAI). Dalam model yang dibangun, indeks tempat tumbuh tidak menjadi pembatas model sistem.

Penjarangan akan dilakukan dengan intensitas tertentu apabila laju pertumbuhan diameter berada pada titik maksimal (CAI maksimal). Setelah titik ini laju pertumbuhan pohon akan cenderung menurun terutama akibat luas bidang dasar tegakan yang semakin rapat sehingga kompetisi pohon memperebutkan cahaya dan unsur hara semakin tinggi. Laju CAI sangat dipengaruhi oleh umur dan kerapatan tegakan (luas bidang dasar) maka tindakan manajemen yang mengurangi kerapatan tegakan (penjarangan) sampai tingkat tertentu akan mengakibatkan meningkatnya laju pertumbuhan (Davis dan Johnson, 1987).

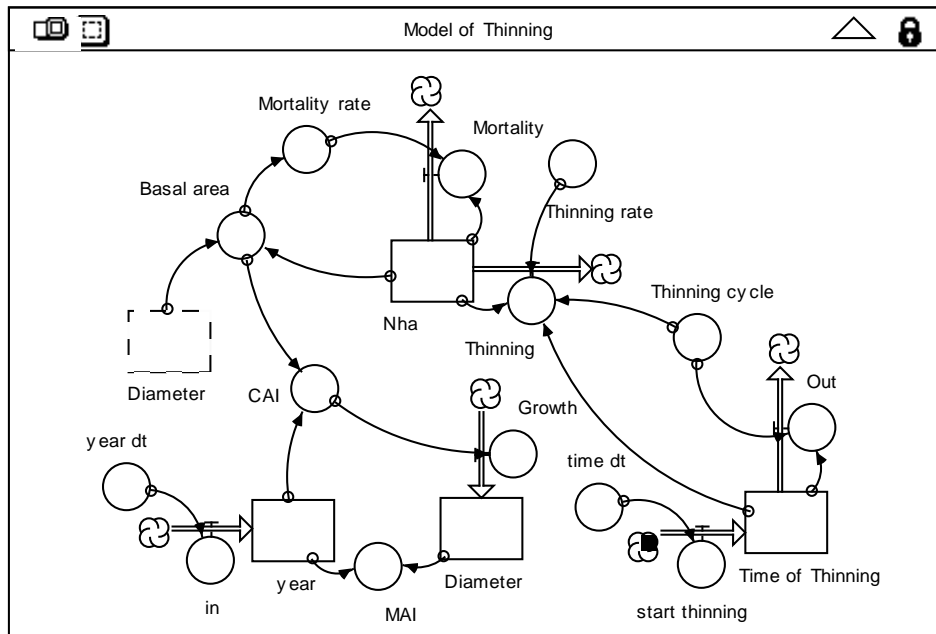
Hubungan antara riap dengan luas bidang dasar merupakan hubungan negatif, sehingga semakin besar luas bidang dasar

(kerapatan semakin tinggi) maka riap semakin kecil. Sedangkan laju kematian alami tegakan berbanding lurus dengan luas bidang dasar di mana laju kematian individu pohon akan semakin tinggi pada tegakan yang lebih rapat. Riap CAI memberikan masukan materi yang dalam hal ini penambahan besarnya diameter, sedangkan mortalitas menyebabkan berkurangnya jumlah pohon luas tertentu. Walaupun kualitas tempat tumbuh sangat mempengaruhi pertumbuhan tegakan pada model yang dibangun, kondisi kualitas tempat tumbuh dalam model ini tidak dibedakan. Representasi komponen penyusun model pertumbuhan dan penjarangan hutan tanaman dapat dilihat pada Gambar 3.

## F. Evaluasi Model

Pengujian dilakukan dengan melihat kelogisan model dengan pengetahuan yang ada serta dengan membandingkan hasil simulasi model dengan data hasil pengukuran lapangan. Pada pertumbuhan alami tegakan tanpa adanya gangguan, luas bidang dasar tegakan merupakan





Gambar (Figure) 3. Model representasi model pertumbuhan dan penjarangan hutan tanaman (A representative model of growth and thinning for plantation forest)

faktor pembatas pertumbuhan yang penting. Sebagai akumulasi luas bidang dasar pohon penyusun tegakan yang mencerminkan kerapatan dan kompetisi pohon memperebutkan hara dan cahaya, luas bidang dasar tegakan mempengaruhi pertumbuhan diameter dan kematian pohon dalam tegakan (Davis dan Johnson, 1987).

Pengujian keterandalan model dilakukan dengan melakukan pengujian validitas antara data hasil simulasi dengan data aktual yang diperoleh dari pengukuran di lapangan. Hasil uji khi-kuadrat data pengukuran dengan proyeksi model menunjukkan bahwa pada tingkat kepercayaan 95 %, model yang dibangun memberikan proyeksi pertumbuhan yang sama dengan hasil pengukuran lapangan. Hal ini juga didukung oleh hasil uji t ( $t_{paired}$ ) dan besarnya simpangan agregat (AgD) yang lebih kecil dari 1 %. Secara rinci hasil pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 4. Hasil ini menunjukkan bahwa model sistem yang dibangun dapat digunakan untuk menduga pertumbuhan tegakan serta menduga respon tegakan terhadap tindakan penjarangan yang diterapkan.

### G. Penggunaan Model

Model yang telah diuji digunakan untuk menjalankan beberapa skenario pengaturan penjarangan hutan tanaman.

1. Skenario pertama : Penjarangan setiap periode dua tahun dengan berbagai intensitas penjarangan (0 %-50 %) dan berbagai panjang daur.
2. Skenario kedua : Penjarangan setiap periode tiga tahun dengan berbagai intensitas penjarangan (0 %-50 %) dan berbagai panjang daur.

Penetapan periode empat dan lima tahun dalam skenario yang diujikan didasarkan atas asumsi bahwa dalam waktu tersebut pertumbuhan tajuk terutama ke arah horizontal telah cukup memberikan penutupan tajuk. Panjang daur yang akan disimulasikan adalah 10 tahun (umur daur yang sering digunakan pada ekaliptus), 15 tahun, dan 20 tahun. Simulasi dengan umur daur yang lebih panjang dihindari karena seri data yang digunakan untuk menghasilkan model pertumbuhan dan hasil sangat terbatas yakni hanya sampai umur delapan tahun.

Hasil simulasi model berdasarkan berbagai skenario yang dibangun secara ringkas terlihat pada Tabel 5 dan Lampiran 5.

Hasil simulasi pada Tabel 5 menunjukkan bahwa penjarangan dengan inten-

sitas tertentu dapat meningkatkan hasil tegakan dengan menjaga laju pertumbuhan tegakan (MAI) relatif lebih tinggi dibandingkan tanpa penjarangan. Pada daur

Tabel (Table) 4. Pengujian kesahihan model (*Validity test of model*)

Umur (Age)	Diameter (cm)		Luas bidang dasar (Basal area) (m <sup>2</sup> /ha)		Jumlah pohon (Number of trees) (N/ha)		Volume (m <sup>3</sup> /ha)	
	Dreal	Dmodel	Breal	Bmodel	Nreal	Nmodel	Vreal	Vmodel
1	1,89	1,89	0,37	0,32	1140	1140	0,529	0.514
2	4,09	4,10	1,66	1,50	1139	1139	3,691	3.723
3	6,66	6,67	4,32	3,96	1135	1135	12,999	12.968
4	9,45	9,46	8,55	7,91	1126	1126	31,789	31.772
5	12,29	12,29	13,94	13,11	1106	1106	62,129	62.396
6	15,02	15,02	20,77	19,02	1074	1074	103,942	104.996
7	17,57	17,57	27,32	25,22	1041	1041	156,536	157.931
8	19,90	19,90	33,63	31,51	1014	1014	219,393	218.570
	t <sub>value</sub> = 2,05 χ <sup>2</sup> <sub>hitung</sub> = 0,00003 AgD = 0,02		t <sub>value</sub> = 3,28 χ <sup>2</sup> <sub>hitung</sub> = 0,63808 AgD = 7,79		t <sub>value</sub> = 1,00 χ <sup>2</sup> <sub>hitung</sub> = 0,0149 AgD = 0,003		t <sub>value</sub> = 0,95 χ <sup>2</sup> <sub>hitung</sub> = 0,02798 AgD = 0,31	
Kriteria	Dmodel = Dreal		Bmodel = Breal		Nmodel = Nreal		Vmodel = Vreal	

X<sup>2</sup><sub>(0,05,8)</sub> tabel =15,5

Tabel (Table) 5. Perbandingan proyeksi diameter, jumlah pohon, riap rata-rata tahunan, dan volume hasil tegakan pada berbagai panjang daur dan rotasi penjarangan (*Comparison of projection for diameter, number of trees per ha, mean annual increment and yield volume at various scenarios of length of thinning rotation*)

Daur (Rotation)	Intensitas (Intensity)	Dbh (cm)	MAI (m <sup>3</sup> /ha/thn)	Volume (m <sup>3</sup> /ha)		
				Vyt	Vth	Vtot
<b>Daur 10 tahun</b>						
Tanpa penjarangan	0 %	23,9	35,2	351,9	0	351,9
Siklus 4 tahun	10 %	25,2	39,8	359,7	38,1	397,8
Siklus 5 tahun	5 %	24,2	37,3	369,8	3,4	373,2
<b>Daur 15 tahun</b>						
Tanpa penjarangan	0 %	31,0	32,3	484,7	0	484,7
Siklus 4 tahun	20 %	39,8	34,7	408,0	112,0	520,0
Siklus 5 tahun	25 %	39,0	40,7	530,4	80,1	610,5
<b>Daur 20 tahun</b>						
Tanpa penjarangan	0 %	36,4	29,0	579,8	0	579,8
Siklus 4 tahun	25 %	58,6	34,4	501,2	187,2	688,4
Siklus 5 tahun	30 %	57,3	34,8	512,5	182,9	695,4

Keterangan : Dbh = rata-rata diameter setinggi dada pada akhir daur; Vyt = volume tebangan akhir daur, Vth = volume hasil penjarangan, dan Vtot = volume total selama satu daur

10 tahun, penjarangan dengan siklus empat tahun dan intensitas 10 % memberikan hasil volume total sebesar 397,8 m<sup>3</sup>/ha atau 39,8 m<sup>3</sup>/ha/tahun atau lebih besar 13 % dari tegakan tanpa dijarangi. Proyeksi hasil ini lebih tinggi dibandingkan hasil proyeksi skenario siklus lima tahun

dengan berbagai intensitas penjarangan. Sebaliknya, pada daur pengusahaan 15 tahun dan 20 tahun, rotasi penjarangan lima tahun memberikan hasil volume yang lebih besar.

Intensitas penjarangan 25 % dengan periode penjarangan lima tahun pada ro-

tasi penjarangan 15 tahun memberikan hasil maksimal sebesar 40,7 m<sup>3</sup>/ha/tahun atau 610,5 m<sup>3</sup>/ha tegakan dengan rata-rata diameter 39 cm. Hasil total tersebut diperoleh dari dua kali penjarangan pada tahun kelima dan kesepuluh sebesar 80,1 m<sup>3</sup>/ha dan hasil tebangan akhir daur sebesar 530,4 m<sup>3</sup>/ha.

Apabila penentuan daur pengusahaan dan rotasi penjarangan optimal hutan tanaman kayu pertukangan didasarkan hanya pada MAI terbesar maka siklus penjarangan lima tahun dengan intensitas penjarangan 25 % dan lama daur 15 tahun merupakan preskripsi manajemen penjarangan yang optimal. Proyeksi diameter berdasarkan preskripsi penjarangan tersebut adalah 39,0 cm pada akhir daur.

#### **H. Implikasi Kebijakan**

Pemanfaatan optimal hutan tanaman dengan manfaat ganda untuk kayu serpih dan pertukangan memberikan implikasi perubahan preskripsi pengelolaan hutan seperti panjang daur dan tindakan silvikultur yang diterapkan. Dengan pengaturan hasil secara optimal sebagian tegakan dengan kualitas baik dapat disisakan untuk kayu pertukangan sedangkan hasil penjarangan dan bagian pohon yang tidak dimanfaatkan untuk kayu pertukangan dapat dimanfaatkan sebagai kayu serpih.

Terdapatnya peluang pengembangan manfaat ganda hutan tanaman ini harus didukung dengan berbagai perangkat kebijakan dan manajemen hutan. Penentuan daur pengusahaan, intensitas dan waktu penjarangan optimal melalui dukungan data pertumbuhan dan perlakuan penjarangan jangka panjang merupakan suatu keharusan untuk dilakukan. Karena daur pengusahaan juga terkait dengan pengembalian finansial, diharapkan intensitas penjarangan yang tepat dapat menyediakan pengembalian finansial antara dan tegakan kayu pertukangan yang bernilai ekonomis tinggi pada akhir daur. Analisis kelayakan hasil penjarangan juga harus dilakukan terutama terkait dengan kapasitas terpasang industri kayu serpih yang

dibangun dan biasanya terintegrasi dengan hutan tanaman industri.

Diversifikasi hasil hutan tanaman juga harus didukung oleh teknologi pemanfaatan kayu dari hutan tanaman yang dibangun. Pengetahuan terhadap sifat dasar kayu dan alternatif pemanfaatan kayu ekaliptus yang optimal seperti untuk bahan baku kayu lapis atau industri perabotan akan meningkatkan nilai hutan yang dibangun. Pengikutsertaan masyarakat, baik dalam kegiatan penjarangan dan pengolahan produk kayu merupakan nilai lebih dari kegiatan penjarangan hutan tanaman industri.

Kayu pertukangan yang dihasilkan dari hutan tanaman ini dapat menjadi alternatif bahan baku industri kayu gergajian dan vinir selain dari hutan alam. Potensi pengurangan tekanan terhadap hutan alam ini juga harus didukung oleh kebijakan pemerintah berupa regulasi dan insentif bagi hutan tanaman industri yang mengembangkan kayu pertukangan. Regulasi dan insentif tersebut dapat berupa antara lain kemudahan perizinan, regulasi yang mendukung pemasaran kayu pertukangan yang dihasilkan, bantuan permodalan dan teknologi.

## **IV. KESIMPULAN DAN SARAN**

### **A. Kesimpulan**

Intensitas penjarangan 25 % dengan periode lima tahun pada rotasi penjarangan 15 tahun memberikan hasil maksimal sebesar 40,7 m<sup>3</sup>/ha per tahun atau 610,5 m<sup>3</sup>/ha dengan rata-rata diameter 39,0 cm. Hasil total tersebut diperoleh dari kegiatan penjarangan sebesar 80,1 m<sup>3</sup>/ha dan hasil tebangan akhir daur sebesar 530,4 m<sup>3</sup>/ha.

### **B. Saran**

Model yang dibangun merupakan model hipotetis sehingga validasi sangat perlu dilakukan dengan membangun petak ukur penjarangan di lapangan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alder, D. 1980. Forest Volume Estimation and Yield Prediction. Volume 2. Yield Prediction. FAO. Rome.
- Aswandi dan Cica Ali. 2005. Model Pertumbuhan dan Hasil Hutan Tanaman *Gmelina arborea* Menggunakan Petak Ukur Temporer di Sumatera Utara. Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam II (4):349-360.
- Blattner, P. 2003. Using Microsoft Office 2003. Que Publishing. Indiana.
- Buongiorno, J. and B. Michie. 1980. A Matrix Model of Uneven-Aged Forest Management. Forest Science 26(4):609-625.
- Buongiorno and Gilles. 1987. Forest Management and Economics (a Primer in Quantitative Methods). Mac Millan Publishing Company. New York.
- Daniel, T.W., J.A. Helms and F.S. Baker. 1987. Principles of Silviculture. Mc Graw-Hill Book Comp. New York.
- Davis, L.S. and K.N. Johnson. 1987. Forest Management. McGraw-Hill Book Co. New York
- Evans, J. 1992. Plantation Forestry in The Tropics. 2<sup>nd</sup> Edition. Clarendon Press, Oxford.
- Grant, W.E., E.K. Pedersen and S.L. Marin. 1997. Ecology and Natural Resource Management : Systems Analysis and Simulation. John Wiley & Sons, Inc. Toronto Canada.
- Husch, B., C.I. Miller and T.W. Beers. 1971. Forest Mensuration. Second Edition. The Ronald Press Company.
- Mariani, E.O., C.E. Mariani, and S.B. Lipinsky. 1981. Tropical Eucalyptus. p. 373-386. In: McClure, T.A. and E.S. Lipinsky (eds.), CRC Handbook of Biosolar Resources, vol. II. Resource Materials. CRC Press, Inc., Boca Raton, FL.
- Mattjik, A. A. dan I. M. Sumertajaya. 2002. Perancangan Percobaan dengan Aplikasi SAS dan Minitab Jilid I Edisi Kedua. Penerbit IPB Press. Bogor.
- Purnomo, H. 2004. Teori Sistem Kompleks, Pemodelan dan Manajemen Sumberdaya. Bahan Kuliah. Departemen Manajemen Hutan Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor.
- Puspasari, D. dan B. Achmad. 2000. Model Penaksiran Tempat Tumbuh Hutan Tanaman *Acacia mangium*. Buletin Penelitian Kehutanan 16 (1).
- Schmidt, F.G. and J.H.A. Ferguson. 1951. Rainfall Types Based on Wet and Dry Period Ratios for Indonesia with Western New Guinea. Verhand 42. Direktorat Meteorologi dan Geofisika. Djakarta.
- Webb, D.E., P.J. Wood, and J. Smith. 1980. A Guide to Species Selection for Tropical and Sub-Tropical Plantations. Tropical Forestry Papers 15. CFI, Oxford.

Lampiran (Appendix) 1. Perkembangan peninggi *E. grandis* pada berbagai kelas indeks tempat tumbuh (*Height development of E. grandis on various site indices*)

Umur (Age)	Peninggi ( <i>Dominant height</i> )			
	SI <sub>(8)</sub> 21	SI <sub>(8)</sub> 25	SI <sub>(8)</sub> 29	SI <sub>(8)</sub> 33
1	1,7-2,5	2,6-3,4	3,5-4,3	4,4-5,3
2	4,4-6,5	6,6-8,8	8,9-11,0	11,1-13,3
3	6,7-9,3	9,4-12,0	12,1-14,7	14,8-17,5
4	9,0-11,7	11,8-14,7	14,7-17,4	17,5-20,3
5	12,2-15,0	15,1-17,9	18,0-20,8	20,9-23,8
6	14,8-18,0	18,1-21,3	21,4-24,5	24,6-27,9
7	17,2-20,9	21,0-24,6	24,7-28,4	28,5-32,2
8	18,9-22,9	23,0-27,0	27,1-31,1	31,2-35,3

Lampiran (Appendix) 2. Pertumbuhan dan hasil *E. grandis* di Aek Nauli pada berbagai indeks tempat tumbuh (*Growth and yield of E. grandis at Aek Nauli for different site indice*)

Umur (Age)	SI <sub>(8)</sub> 21			SI <sub>(8)</sub> 25			SI <sub>(8)</sub> 29			SI <sub>(8)</sub> 33		
	Dbh	H	V	Dbh	H	V	Dbh	H	V	Dbh	H	V
1	0,50	1,19	0,03	0,86	1,67	0,10	1,21	2,14	0,21	1,57	2,60	0,36
2	3,36	3,72	1,57	4,23	5,14	3,14	5,11	6,54	5,37	5,98	7,93	8,33
3	5,88	6,12	6,15	6,94	8,07	10,71	8,01	10,00	16,74	9,07	11,91	24,34
4	8,34	8,64	15,07	9,45	10,86	23,52	10,56	13,06	34,10	11,67	15,25	46,94
5	11,14	12,07	33,72	12,28	14,50	48,04	13,42	16,92	65,19	14,56	19,32	85,31
6	13,77	15,33	60,49	15,06	18,23	84,22	16,34	21,12	112,29	17,63	23,98	144,90
7	16,34	18,62	97,21	17,81	22,10	134,49	19,28	25,56	178,43	20,76	28,99	229,31
8	18,60	21,31	137,39	20,21	25,28	189,15	21,83	29,22	249,93	23,44	33,13	320,12

Lampiran (Appendix) 3. Riap volume tahunan berjalan dan riap rata-rata tahunan *E. grandis* di Aek Nauli pada berbagai indeks tempat tumbuh (*Volume Current Annual Increment and Mean Annual Increment of E. grandis for different site indice*)

Umur (Age)	SI <sub>(8)</sub> 21		SI <sub>(8)</sub> 25		SI <sub>(8)</sub> 29		SI <sub>(8)</sub> 33	
	CAI	MAI	CAI	MAI	CAI	MAI	CAI	MAI
1	0,03	0,03	0,10	0,10	0,21	0,21	0,36	0,36
2	1,53	0,78	3,04	1,57	5,17	2,69	7,96	4,16
3	4,58	2,05	7,57	3,57	11,36	5,58	16,02	8,11
4	8,92	3,77	12,81	5,88	17,37	8,53	22,60	11,73
5	18,65	6,74	24,52	9,61	31,09	13,04	38,37	17,06
6	26,77	10,08	36,18	14,04	47,10	18,71	59,59	24,15
7	36,72	13,89	50,27	19,21	66,14	25,49	84,42	32,76
8	40,18	17,17	54,66	23,64	71,51	31,24	90,81	40,02

Lampiran (Appendix) 4. Proyeksi tegakan hasil simulasi terhadap skenario penjarangan (*Stand projection resulted by simulations for thinning scenarios*)

Intensitas (Intensity) (%)	Daur (Rotation)								
	10 tahun (Year)			15 tahun (Year)			20 tahun (Year)		
	Dbh (cm)	Vtot (m <sup>3</sup> /ha)	MAI (m <sup>3</sup> /ha/thn)	Dbh (cm)	Vtot (m <sup>3</sup> /ha)	MAI (m <sup>3</sup> /ha/thn)	Dbh (cm)	Vtot (m <sup>3</sup> /ha)	MAI (m <sup>3</sup> /ha/thn)
0	23,9	351,9	35,2	31,0	484,7	32,3	36,4	579,8	29,0
Siklus 4 tahun									
5	24,4	394,9	39,5	32,5	489,0	32,6	39,1	615,9	30,8
10	<b>25,2</b>	<b>397,8</b>	<b>39,8</b>	34,8	509,6	34,0	43,1	646,6	32,3
15	26,0	389,0	38,9	37,2	517,0	34,5	47,7	669,6	33,5
20	26,8	378,6	37,9	<b>39,8</b>	<b>520,0</b>	<b>34,7</b>	52,9	684,5	34,2
25	27,6	366,5	36,7	42,6	518,4	34,6	<b>58,6</b>	<b>688,4</b>	<b>34,4</b>
30	28,5	353,2	35,3	45,5	507,5	33,8	64,9	679,3	34,0
35	29,3	339,2	33,9	48,6	493,7	32,9	71,6	653,3	32,7
40	30,2	325,4	32,5	51,7	470,9	31,4	78,8	614,7	30,7
45	30,9	307,1	30,7	54,9	442,7	29,5	86,1	561,4	28,1
50	31,8	270,3	27,0	58,0	372,7	24,8	93,3	499,1	25,0
Siklus 5 tahun									
5	<b>24,2</b>	<b>373,2</b>	<b>37,3</b>	31,9	589,5	39,3	38,3	608,8	30,4
10	24,6	370,8	37,1	33,5	598,4	39,9	41,3	634,4	31,7
15	25,1	368,2	36,8	35,2	605,0	40,3	44,7	657,4	32,9
20	25,6	365,6	36,6	37,0	608,9	40,6	48,5	675,6	33,8
25	26,1	363,0	36,3	<b>39,0</b>	<b>610,5</b>	<b>40,7</b>	52,6	689,2	34,5
30	26,7	359,5	36,0	41,1	608,9	40,6	<b>57,3</b>	<b>695,4</b>	<b>34,8</b>
35	27,3	356,7	35,7	43,4	603,6	40,2	62,4	693,6	34,7
40	27,9	353,8	35,4	45,8	595,1	39,7	67,9	684,4	34,2
45	28,5	351,0	35,1	48,4	580,4	38,7	73,9	660,6	33,0
50	29,2	348,8	34,9	51,1	560,9	37,4	80,4	626,0	31,3