

**MODEL ANALISIS SISTEM DINAMIKA PERTUMBUHAN DAN
PENGATURAN HASIL HUTAN RAWA BEKAS TEBANGAN DI RIAU*)**
*(Analytical System Model of Growth Dynamic and Yield Regulation
for Logged-over Swamp Forest in Riau)*

Oleh/By :

Aswandi¹⁾

Balai Penelitian Kehutanan Aek Nauli

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

¹⁾Email : andiasw@yahoo.com

*) Diterima : 12 Juni 2006; Disetujui : 14 Mei 2007

ABSTRACT

This study was aimed to build a model of stand structure dynamic and yield regulation for logged-over uneven-aged swamp forest in Riau Province. A dynamic model of stand structure was developed based on a series of data collected from permanent sampling plot and yield regulation method which was developed based on a system analysis model approach. Logged-over natural forest in the concession area of PT. Diamond Raya Timber, Riau Province was selected for analysing the stand structure dynamic which consists of ingrowth, upgrowth, and mortality functions. The model was constructed based on a species grouping (Dipterocarpaceae, non-Dipterocarpaceae and non-commercial). The results, indicated that silviculture treatments (thinning and liberation) increased stand diameter. Average diameter increment in 3-10 years after timber cutting at permanent plot with silvicultural treatment was 0,43 cm/year and 0,37 cm/year without treatments. Results of the simulation showed that cutting cycle 35 years decreased the number of trees for cutting and it was unsustainable. The increasing of cutting cycle up to 40 years or the decreasing diameter cutting limit to 40 cm was an alternative of yield regulation for sustainable yield management.

Key words : Model, stand structure, logged-over forest, analytical system, yield regulation

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan model analisis sistem dinamika struktur tegakan dan pengaturan hasil hutan rawa tidak seumur di Riau. Model disusun berdasarkan pada seri data petak ukur permanen di hutan alam bekas tebangan pada kawasan perusahaan hutan PT. Diamond Raya Timber, Provinsi Riau. Dinamika struktur tegakan terdiri atas *ingrowth*, *upgrowth*, dan *mortality*. Model yang dibangun didasarkan pada kelompok jenis (Dipterocarpaceae, non-Dipterocarpaceae, dan non-komersial). Hasil simulasi menunjukkan bahwa dengan siklus tebang 35 tahun, tegakan pada siklus tebang kedua belum mencapai kondisi semula. Memperpanjang siklus tebang hingga 40 tahun atau menurunkan limit diameter hingga kelas diameter 40 cm merupakan alternatif untuk menjaga kelestarian hasil. Siklus tebang yang semakin panjang ini juga didukung oleh riap diameter yang lebih kecil dari satu cm/tahun yang menjadi dasar penetapan siklus tebang 35 tahun.

Kata kunci : Model, struktur tegakan, hutan bekas tebangan, analisis sistem, pengaturan hasil

I. PENDAHULUAN

Untuk mewujudkan pengelolaan hutan berkelanjutan, setiap unit manajemen dalam kegiatan pengelolaannya harus mengacu pada prinsip kelestarian. Dalam implementasinya, pengelolaan hutan harus memperhatikan penentuan rotasi

tebang dan limit diameter yang tepat, intensitas pemanenan serta tindakan silvikultur yang akurat, sehingga dapat memaksimalkan hasil. Salah satu upaya untuk meningkatkan kualitas perencanaan hutan adalah melalui penyediaan informasi pertumbuhan dan hasil dengan pemodelan dinamika struktur tegakan yang

disusun dari rangkaian data pertumbuhan dalam petak ukur permanen.

Pemodelan dinamika pertumbuhan hutan dapat digunakan untuk menentukan strategi pengaturan hasil seperti penaksiran hasil, penetapan siklus tebang, dan tindakan silvikultur untuk meningkatkan produktivitas tegakan. Model dugaan yang dihasilkan juga dapat digunakan sebagai dasar penilaian apakah kegiatan pengusahaan hutan telah dilakukan sebagaimana mestinya.

Model dinamika hutan bekas tebangan dibangun melalui pendekatan analisis sistem. Analisis sistem sebagai metode penelitian dalam perencanaan dan 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.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan model analisis sistem dinamika pertumbuhan hutan alam bekas tebangan pada hutan rawa konsesi Hak Pengusahaan Hutan (HPH) PT. Diamond Raya Timber (DRT) di Rokan Hilir Provinsi Riau.

II. KEADAAN UMUM LOKASI

Kawasan hutan konsesi HPH PT. DRT terletak pada kelompok hutan Sei

Senepis, Resort Pemangkuan Hutan (RPH) Bagan dan Dinas Kehutanan Rokan Hilir, secara administratif pemerintahan termasuk dalam Kecamatan Bangko Kabupaten Rokan Hilir Provinsi Riau. Berdasarkan Peta Satuan Lahan dan Tanah Lembar (0817) Bagan Siapi-api, Seri Petak Ukur Permanen (PUP) yang terletak pada areal topografi datar merupakan tanah rawa. Formasi geologi PUP termasuk dalam periode kuartar yang tersisa dari batuan sedimen berumur Plestosen sampai Holosen dan terdiri dari formasi Aluvium Muda. Formasi Aluvium Muda mengandung lempung lanau, pasir, kerikil, termasuk endapan longsor tanah dan gambut. Jenis tanah pada PUP adalah jenis Organosol (Tropo Hemist).

Berdasarkan klasifikasi iklim Schmidt dan Ferguson (1951), kawasan hutan sebagai PUP tergolong tipe iklim A dengan nilai Q sebesar 10,1 % dengan curah hujan rata-rata 2.415,1 mm per tahun dan hari hujan 136,1 hari per tahun. Kawasan hutan kaya jenis komersial seperti ramin (*Gonystilus bancanus*), meranti (*Shorea* spp.), balam (*Palaquium* sp.), geronggang (*Cratoxylon* sp.), dan bintangur (*Calophyllum inophyllum*). Potensi tegakan PUP pada saat tegakan primer adalah 52 m³/ha (Laporan Petak Ukur Permanen HPH PT. Diamond Raya Timber, 1995).

III. METODOLOGI

A. Kerangka Pemikiran Penelitian

Model dinamika hutan yang dibangun menirukan unsur-unsur dan perilaku sistem hutan bekas tebangan. Dengan melakukan simulasi dan eksperimentasi 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).

Konsep model yang dibangun berdasarkan pendekatan model proyeksi kelas tegakan (*stand class projection*) hutan alam tropika tidak seumur dengan berbagai jenis dan ukuran. Model dibangun berdasarkan data pertumbuhan hutan pada plot ukur permanen. Dengan pendekatan ini dimungkinkan untuk memperoleh proyeksi pertumbuhan tegakan pada masa yang akan datang.

B. Bahan dan Alat

Bahan penelitian adalah data primer hasil pengukuran PUP hutan rawa PT. DRT tahun 2003 serta data sekunder pengukuran PUP tahun 1995, 1997, 2000, dan data inventarisasi tegakan sebelum penebangan. Seri PUP tersebut terdapat pada petak tebangan 206 tahun 1994/1995 kawasan hutan RKL perusahaan hutan ke IV tahun 1994-1999. PUP dibangun pada bulan September 1995. Peralatan yang digunakan adalah peralatan inventarisasi, alat tulis, perangkat komputer dengan *software* pengolahan *Excel*, *Minitab* dan *Stella* 6.0.2.

C. Pengolahan Data

Data tegakan yang digunakan adalah data dinamika tegakan (riap, perpindahan individu pohon antar kelas diameter, dan kematian pohon) mulai dari diameter 20 cm yang dikelompokkan berdasarkan kelas diameter rentang kelas 10 cm. Perhitungan dinamika tegakan adalah sebagai berikut :

1. Ingrowth (Alih Tumbuh)

Ingrowth merupakan proporsi pohon-pohon baru yang masuk ke kelas diameter terkecil (20-29 cm). Laju *ingrowth* dihitung dengan rumus :

$$I = \frac{\sum r_i}{\sum N_i} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan: *I* = Laju *ingrowth* (%); *r_i* = Jumlah pohon baru yang masuk ke kelas diameter terkecil pada tahun *i*; dan *N_i* = Jumlah pohon pada kelas diameter terkecil pada tahun *i*.

2. Upgrowth (Tambah Tumbuh)

Upgrowth diartikan sebagai proporsi pohon yang naik ke kelas diameter berikutnya yang lebih besar. Laju *upgrowth* dihitung dengan rumus :

$$U_i = \frac{\sum u_{ij}}{\sum N_{ij}} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan: *U_i* = Laju *upgrowth* pada kelas diameter *i*; *u_{ij}* = Jumlah pohon yang naik ke kelas diameter *i* dan tahun *j*; *N_{ij}* = Jumlah pohon pada kelas diameter *i* dan tahun *j*.

3. Mortality (Kematian)

Mortality merupakan proporsi pohon mati dalam periode pengukuran. Laju *mortality* dihitung dengan rumus:

$$M_i = \frac{\sum m_{ij}}{\sum N_{ij}} \times 100\% \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan: *M_i* = Laju *mortality* pada kelas diameter *i*; *m_{ij}* = Jumlah pohon yang mati pada kelas diameter *i* dan tahun *j*; *N_{ij}* = Jumlah pohon dalam kelas diameter *i* dan tahun *j*.

4. Riap

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

$$CAI = D_{t+1} - D_t \dots\dots\dots(4)$$

$$MAI = (D_{t+n} - D_t)/n$$

Keterangan: *D_t* = diameter tahun ke-*t*; *t* = tahun pengukuran.

D. Analisis Data

1. Penyusunan Model Struktur Tegakan

Model struktur tegakan dibangun untuk setiap tahun pengukuran. Model yang digunakan adalah model struktur tegakan $N_t = N_o e^{-kD}$ (Meyer, 1952; Prodan, 1968) di mana *N_t* = Jumlah pohon per ha per kelas diameter; *D* = Diameter; *k* = Konstan-ta; *N_o* = Jumlah pohon pada diameter terkecil; dan *e* = Logaritma dasar.

2. Pembentukan Model Sistem

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

- Perumusan model konseptual. Membangun pemahaman terhadap sistem yang diamati ke dalam sebuah konsep untuk mendapatkan gambaran 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.
- Spesifikasi model kuantitatif. Bertujuan untuk memberikan nilai kuantitatif terhadap masing-masing variabel dan menterjemahkan 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.
- Evaluasi model. Pengujian dilakukan dengan mengamati kelogisan relasi-relasi penyusun model serta membandingkan perilaku model dengan data hasil pengukuran. Kesesuaian akan diuji dengan uji-uji statistika, seperti uji Khi kuadrat, di mana χ^2 diperoleh dengan rumus :

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

dengan hipotesis uji :

$$H_0 : y_{model} = y_{riil} \text{ vs } H_1 : y_{model} \neq y_{riil}$$

dengan kriteria uji :

$$\chi^2_{hitung} \geq \chi^2_{tabel} : \text{tolak } H_0 \text{ vs } \chi^2_{hitung} < \chi^2_{tabel} : \text{terima } H_0$$

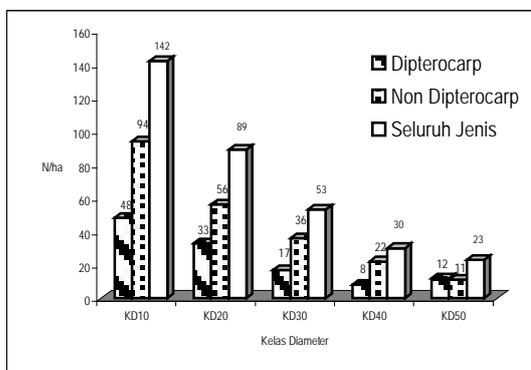
- Penggunaan model. Model yang telah dibentuk digunakan untuk mencapai tujuan pembentukannya dengan menyusun skenario.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

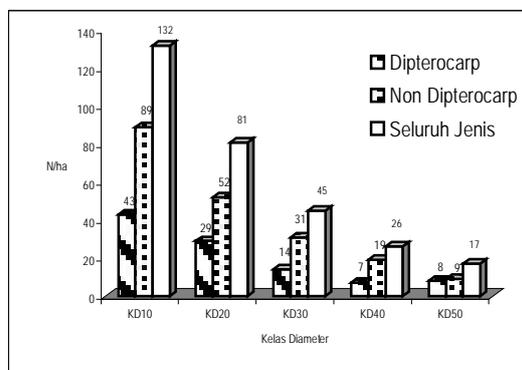
A. Struktur Tegakan

Pada umumnya struktur tegakan hutan alam campuran berbentuk huruf J terbalik, karena jumlah pohon per hektar akan semakin menurun dengan bertambahnya besar diameter. Struktur tegakan setelah tebangan menggambarkan sebaran jumlah pohon sesaat setelah terjadinya pembalakan. Selain mengakibatkan berkurangnya jumlah pohon masak tebang (diameter >50 cm), kerusakan tegakan tinggal, pembalakan juga mengakibatkan berubahnya struktur tegakan setelah penebangan (Kofod, 1982). Struktur tegakan sebelum dan sesudah tebangan pada lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

Gambar 1 menunjukkan bahwa kondisi tegakan relatif tidak ada perubahan komposisi jenis penyusun tegakan. Pada kondisi primer dan setelah tebangan, komposisi tegakan lebih didominasi oleh



a



b

Gambar (Figure) 1. Struktur tegakan sebelum (a) dan dua tahun setelah (b) tebangan pada hutan rawa PT. DRT (*Stand structure before (a) and two years after (b) cutting at swamp forest PT. DRT*)

kelompok jenis non dipterocarp pada hampir semua kelas diameter. Pengelompokan jenis menjadi Dipterocarpaceae dan non-Dipterocarpaceae telah banyak dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya antara lain Boscolo dan Buongiorno (1997), Favrichon (1998), Favrichon dan Kim (1998), dan Krisnawati (2001). Gambar 1 menunjukkan bahwa struktur tegakan hutan mengikuti fungsi eksponensial negatif seperti halnya struktur tegakan hutan alam campuran umumnya di mana jumlah pohon semakin berkurang pada kelas diameter yang lebih besar.

B. Dinamika Tegakan

Riap menggambarkan besarnya pertumbuhan pohon maupun tegakan pada rentang waktu tertentu. Besarnya riap sangat dipengaruhi oleh jenis (genetik), tempat tumbuh (lingkungan), dan tindakan silvikultur yang diterapkan. Beberapa perlakuan silvikultur yang diterapkan pada PUP adalah pembebasan permudaan, penjarangan, dan pengayaan. Besarnya riap tegakan pada petak ukur dengan per-

lakukan silvikultur serta tanpa perlakuan pada kedua lokasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 2 dan Tabel 3 menunjukkan bahwa tindakan silvikultur yang diterapkan seperti pembebasan dan penjarangan memberikan peningkatan riap diameter tegakan pada kelompok jenis Dipterocarpaceae komersial dan non-Dipterocarpaceae komersial, sedangkan terhadap kelompok jenis non-komersial tidak terlihat peningkatan riap diameter. Hal ini dikarenakan tindakan pembinaan tegakan pada suatu petak ukur lebih diarahkan pada pohon-pohon binaan yang umumnya merupakan jenis-jenis komersial.

Tabel 2 menunjukkan besarnya riap tegakan juga tergantung besarnya diameter pohon. Laju riap tertinggi terdapat pada diameter 40-49 cm. Hal ini menandakan bahwa terbentuknya rumpang akibat penebangan mendorong pertumbuhan pohon-pohon kodominan (30-49 cm) yang selama ini tertekan.

Pada kelas diameter kecil kelompok jenis non-Dipterocarp cenderung memiliki riap diameter yang lebih besar. Hal ini

Tabel (Table) 1. Model struktur tegakan sebelum dan sesudah tebangan (*Stand structure model for before and after cutting*)

Kelompok (Group)	Sebelum tebangan (Before cutting)	Dua tahun sesudah tebangan (After cutting)
Seluruh jenis (All)	$N = 7999 e^{-0,2358 D} (R^2 = 97,22 \%)$	$N = 11348 e^{-0,203844 D} (R^2 = 96,87 \%)$
Diperocarpaceae	$N = 1860 e^{-0,2664 D} (R^2 = 86,23 \%)$	$N = 2709 e^{-0,2259 D} (R^2 = 92,72 \%)$
Non-Dipterocarpaceae	$N = 7673 e^{-0,2089 D} (R^2 = 93,88 \%)$	$N = 9926 e^{-0,187 D} (R^2 = 94,09 \%)$

Tabel (Table) 2. Riap diameter berdasarkan kelas diameter hutan rawa PT. DRT (*Diameter increment based on diameter class for swamp forest of PT. DRT*)

Perlakuan silvikultur (Silviculture treatment)	Riap diameter (<i>Diameter increment</i>) cm yr ⁻¹					Rata-rata (Average) (cm/tahun)
	10-19	20-29	30-39	40-49	>50	
Tanpa perlakuan (<i>No treatment</i>)						
Dipterocarp komersial	0,393	0,407	0,274	0,370	0,351	0,355
Non-Dipterocarp komersial	0,422	0,381	0,396	0,354	0,376	0,386
Non-komersial	0,352	0,307	0,314	0,357	0,479	0,336
Rata-rata	0,352	0,307	0,314	0,357	0,479	0,336
Dengan perlakuan (<i>With treatment</i>)						
Dipterocarp komersial	0,725	0,556	0,391	0,451	0,377	0,533

Non-Dipterocarp komersial	0,462	0,449	0,860	0,508	0,541	0,553
Non-komersial	0,417	0,403	0,411	0,419	0,390	0,409
Rata-rata	0,454	0,429	0,608	0,464	0,454	0,478

Tabel (Table) 3. Perbandingan riap rata-rata diameter pada pemberian perlakuan silvikultur (*Comparison of average diameter increment in different silvicultural treatments*)

Kelompok jenis (Group of species)	Riap rata-rata (Average of diameter increment) (cm/yr)		t _{-hitung} (t-value)
	Tanpa perlakuan (Without treatments)	Perlakuan (With treatments)	
Dipterocarpaceae	0,3501	0,4823	-3,035
Non-Dipterocarp komersial	0,4657	0,5640	-2,642
Non-komersial	0,3618	0,4078	-2,306

T_{table} (0,05,5) = 2,571

diakibatkan perubahan kondisi hutan akibat penebangan yang mempengaruhi kesesuaian tumbuh jenis Dipterocarp yang mendominasi sebelumnya pada saat kondisi primer.

C. Model Sistem Dinamika Tegakan

Dinamika tegakan dipengaruhi oleh besarnya alih tumbuh (*ingrowth*), tambah tumbuh (*upgrowth*), dan kematian (*mortality*) tegakan yang mempengaruhi banyaknya jumlah pohon yang ada dalam suatu kelas diameter. *Ingrowth* dan *upgrowth* memberikan masukan materi yang dalam hal ini individu pohon dalam suatu kelas diameter, sedangkan mortalitas menyebabkan berkurangnya jumlah pohon dalam suatu kelas diameter. Masuk dan keluarnya individu pohon dari suatu kelas diameter menyebabkan terjadinya dinamika tegakan.

Hubungan antara *ingrowth* dengan jumlah pohon dalam suatu kelas diameter merupakan hubungan positif. Semakin besar *ingrowth* maka jumlah pohon dalam kelas diameter semakin bertambah karena proporsi pohon baru yang masuk ke kelas diameter terkecil tersebut semakin besar. Sebaliknya *upgrowth* berhubungan negatif dengan jumlah pohon dalam suatu kelas diameter sehingga pada *upgrowth* yang semakin tinggi akan mengakibatkan berkurangnya jumlah pohon pada kelas diameter tersebut, namun proporsi pohon yang berpindah tersebut akan meningkatkan jumlah pohon pada kelas diameter yang lebih besar, sedangkan kematian tegakan berhubungan nega-

tif dengan jumlah pohon sehingga akan mengurangi jumlah pohon dalam kelas diameter tersebut.

Besarnya *ingrowth*, *upgrowth*, dan kematian individu pohon dipengaruhi oleh basal area atau kerapatan tegakan. Laju *ingrowth* dan *upgrowth* menurun pada luas bidang dasar tegakan yang tinggi, dan sebaliknya laju kematian pohon akan meningkat dengan semakin luasnya bidang dasar tegakan. Penurunan laju *ingrowth* dan *upgrowth* serta meningkatnya kematian tegakan ini disebabkan oleh meningkatnya kompetisi individu pohon untuk memperoleh unsur hara dan cahaya yang terbatas pada bidang dasar tegakan yang semakin luas atau tegakan yang semakin rapat.

Seperti halnya *ingrowth* dan *upgrowth*, laju kematian tegakan terutama kematian alami juga merupakan fungsi luas bidang dasar tegakan. Laju kematian alami tegakan merupakan laju kematian alami individu pohon dalam suatu kelas diameter. Kematian alami tegakan ini berbanding lurus dengan luas bidang dasar tegakan sehingga peluang kematian individu pohon akan semakin tinggi dengan semakin besarnya luas bidang dasar tegakan atau semakin rapatnya tegakan.

Dalam model, struktur tegakan dikategorikan sebagai *state variable*. Pemilihan struktur tegakan ini didasarkan atas kepraktisan pemodelan dinamika tegakan dan kemudahan pengaturan hasil berdasar jumlah pohon dibandingkan volume tegakan terutama dengan tingginya korelasi diameter dan volume tegakan yang cukup

tinggi. Sebaran diameter ini merupakan komponen silvikultur hutan tidak seumur yang penting, di mana manajer kehutanan

harus mengatur sebaran diameter untuk menyediakan pohon secara lestari (Davis dan Johnson, 1987).

Tabel (Table) 4. Laju *ingrowth*, *upgrowth*, dan *mortality* hutan rawa tidak seumur bekas tebangan di Riau (*Ingrowth, upgrowth, and mortality rate for logged-over uneven-aged swamp forest in Riau*)

Variabel	Kelas diameter/KD (<i>Diameter class</i>)			
	KD 10 cm	KD 20 cm	KD 30 cm	KD 40 cm
Tanpa perlakuan (<i>Without treatment</i>)				
<i>Ingrowth</i>	0,04707			
<i>Upgrowth</i>	0,01858	0,03391	0,03420	
<i>Mortality</i>	0,04017	0,04942	0,05051	0,07123
Perlakuan silvikultur (<i>With silviculture treatment</i>)				
<i>Ingrowth</i>	0,05416			
<i>Upgrowth</i>	0,03177	0,04055	0,02013	
<i>Mortality</i>	0,04965	0,05288	0,06162	0,07287

Keterangan : *Ingrowth* = proporsi pohon yang masuk ke kelas diameter pohon terkecil (tiang), *Upgrowth* = proporsi pohon yang berpindah ke kelas diameter yang lebih besar, dan *Mortality* = proporsi kematian pohon dalam suatu kelas diameter dalam satu tahun

Pada dasarnya model dinamika struktur tegakan tersusun atas beberapa *stock* yang berhubungan secara seri yang dapat mewakili struktur tegakan dan unsur dinamikanya. Aliran materi akibat pertumbuhan individu pohon antar masing-masing stok kelas diameter bersifat *series irreversible* (berurutan tidak dapat berbalik) melalui kelas-kelas diameter secara berurutan. Aliran pertumbuhan pohon ini dimulai dari pertumbuhan tingkat tiang (diameter 10 cm), kelas diameter 20 cm hingga kelas diameter 50 cm ke atas.

Jumlah pohon dalam suatu kelas diameter dipengaruhi oleh aliran jumlah pohon baru yang masuk ke kelas diameter tersebut, naik ke kelas diameter yang lebih besar (*upgrowth-Upg*) ataupun mengalami kematian (*mortality-Mort*). Pada kelas diameter terkecil (*pole*), pohon baru yang masuk ke kelas diameter tersebut merupakan *ingrowth (Ing)* yang besarnya dipengaruhi laju *ingrowth (ingrate)* yang merupakan persentase pohon baru dan jumlah pohon pada kelas diameter tersebut. Sedangkan besarnya *upgrowth* dan *mortality* masing-masing ditentukan oleh laju *upgrowth (upgrate)* dan laju *mortality (mrate)* dan jumlah pohon masing-masing kelas diameter setiap kelompok jenis. Besarnya *ingrate, up-*

grate, dan *mrate* ditentukan oleh luas bidang dasar tegakan total (*TotLBD*).

Representasi hubungan antar masing-masing komponen dinamika tegakan dengan perangkat lunak Stella 6.0.2 dapat dilihat pada Gambar 2.

D. Evaluasi Model

Evaluasi model dilakukan dengan membandingkan data hasil simulasi dengan hasil pengukuran lapangan. Pengujian yang valid antara prediksi model dengan sistem nyata belum dapat dilakukan. Hal ini disebabkan data pembanding yang baik, minimal menggunakan data 10-15 tahun setelah penebangan belum tersedia.

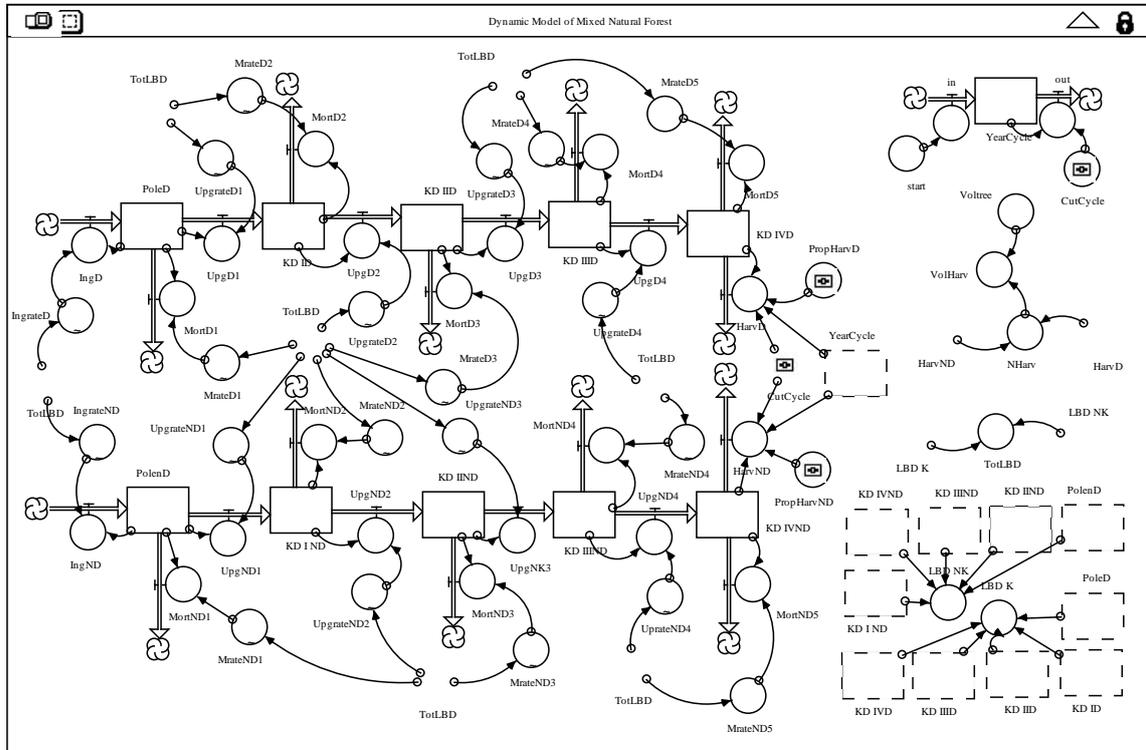
Hasil uji statistik *chi square* menunjukkan bahwa hasil pendugaan model dinamika struktur tegakan pada tahun ke-6 setelah penebangan tidak berbeda secara nyata dengan kondisi aktualnya pada selang kepercayaan 95 %, di mana nilai χ^2 hitung sebesar 2,69, jauh lebih rendah apabila dibandingkan dengan nilai χ^2 tabel yaitu sebesar 27,59 pada derajat bebas 17 dan taraf nyata 5 %. Hal ini berarti bahwa penggunaan model dinamika struktur tegakan handal (akurat) dalam menerangkan dinamika struktur tegakan dalam kurun waktu selama enam tahun.

E. Penggunaan Model

1. Proyeksi Dinamika Struktur Tegakan

Hasil simulasi dinamika struktur tegakan menunjukkan bahwa pada siklus tebang 35 tahun tegakan belum mencapai

kondisi semula (primer) dengan luas bidang dasar tegakan 18,12 m²/ha (LBDs



Gambar (Figure) 2. Representasi model sistem dinamika struktur tegakan (*Representative of system model for stand structure dynamic*)

tegakan primer 18,42 m²/ha). Apabila jumlah penebangan sebagai batasan, panjang siklus tebang 35 tahun juga belum mencapai kondisi primer dengan jumlah pohon masak tebang 8 pohon/ha (tegakan primer KD 50 cm up 12 pohon/ha). Apabila limit diameter penebangan diturunkan menjadi 40 cm, maka siklus penebangan 35 tahun juga tidak lestari dengan jumlah pohon masak tebang 44 pohon/ha dibandingkan kondisi primernya 53 pohon/ha (Tabel 5).

Panjang siklus tebang yang mendekati jumlah pohon masak tebang primer (> 50 cm) adalah siklus 40 tahun dengan jumlah pohon masak tebang Dipterocarpaceae 10 pohon/ha dengan LBDs tegakan 18,84 m²/ha. Berdasarkan hasil simulasi ini yang didukung oleh riap dia-

meter lebih kecil dari satu cm/tahun yang menjadi dasar penetapan siklus tebang 35 tahun, maka semakin panjang siklus tebang yang lestari.

2. Simulasi Pertumbuhan Tegakan pada Berbagai Intensitas Penebangan

Apabila tegakan tinggal hasil simulasi penebangan pada berbagai intensitas penebangan atau jumlah pohon yang ditebang diproyeksikan sampai beberapa tahun, maka akan diperoleh lamanya waktu pencapaian kondisi tegakan awal atau hutan primer (*steady state*) yang ditandai dengan luas bidang dasar tegakan yang lebih besar atau sama dengan hutan primer ($\geq 31,5$ m²/ha) dan distribusi tegakan hutan bekas tebangan mendekati tegakan awal yang ditandai nilai χ^2 hitung yang terkecil. Waktu yang diperlukan

oleh tegakan untuk kembali ke kondisi semula atau dalam keadaan *steady state* disebut sebagai siklus tebang.

Berbagai preskripsi intensitas penebangan dan jumlah pohon yang ditebang

dalam simulasi pengaturan hasil dengan menggunakan model dinamika sistem dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel (Table) 5. Proyeksi dinamika struktur tegakan (*Projection of stand structure dynamic*)

Kelas diameter (Diameter class) (Cm)	Siklus tebang (<i>Cutting cycle</i>)											
	Primer		t+3		t+20		T+35		t+40		t+45	
	Dip	Tot	Dip	Tot	Dip	Tot	Dip	Tot	Dip	Tot	Dip	Tot
KD 20-29	33	89	29	81	33	90	36	94	34	92	32	90
KD 30-39	17	53	14	45	18	51	19	53	20	55	19	53
KD 40-49	8	22	7	26	10	27	11	26	9	27	12	26
KD > 50	12	23	8	17	7	19	8	18	10	20	11	21
LBDs (m ² /ha)	7,38	18,42	5,78	16,47	6,60	18,12	7,24	18,12	7,40	18,84	7,92	18,63
KD >40	20	53	15	43	17	46	19	44	19	47	23	47

Keterangan : LBDs = luas bidang dasar tegakan; Primer = kondisi pada saat hutan primer; t+3, 20...= kondisi pada saat t tahun setelah penebangan; Dip = kelompok jenis Dipterocarpaceae, Tot = jumlah total; KD = kelas diameter

Tabel (Table) 6. Preskripsi intensitas penebangan dan jumlah pohon yang ditebang serta panjang siklus tebang dalam simulasi pengaturan hasil (*Cutting intensity prescription and number of felled trees and cutting cycle based on simulation of yield regulation*)

No.	Intensitas penebangan (<i>Harvesting intensity</i>)	Jumlah pohon yang ditebang (<i>Number of felled trees</i>) (N/ha)	Siklus tebang (tahun) (<i>Cutting cycle, year</i>)
1	10 % dari Ø 50 cm up	1,2	5
2	20 % dari Ø 50 cm up	2,4	8
3	30 % dari Ø 50 cm up	3,6	12
4	40 % dari Ø 50 cm up	4,9	16
5	50 % dari Ø 50 cm up	6,0	22
6	60 % dari Ø 50 cm up	7,2	33
7	70 % dari Ø 50 cm up	8,4	41
8	80 % dari Ø 50 cm up	9,6	46
9	10 % dari Ø 40 cm up	2,0	6
10	20 % dari Ø 40 cm up	4,0	11
11	30 % dari Ø 40 cm up	6,0	18
12	40 % dari Ø 40 cm up	8,0	26
13	50 % dari Ø 40 cm up	10,0	37
14	60 % dari Ø 40 cm up	12,0	49

Tabel 6 menunjukkan bahwa makin tinggi intensitas penebangan atau makin besar jumlah pohon yang ditebang maka semakin panjang siklus tebang lestari yang dibutuhkan. Setiap kenaikan satu pohon yang ditebang maka akan memperpanjang siklus tebang sebesar tiga sampai empat tahun pada penebangan dengan diameter 50 cm dan memperpanjang siklus tebang sebesar empat sampai lima tahun pada penebangan dengan diameter 40 cm. Hubungan antara jumlah pohon yang ditebang dengan siklus tebang cen-

derung berbentuk eksponensial positif ($r = 96,2$).

F. Implikasi Kebijakan dari Simulasi

Hasil simulasi dinamika struktur tegakan menunjukkan bahwa pada siklus tebang 35 tahun tegakan belum mencapai kondisi primer sehingga alternatif untuk memperpanjang siklus tebang atau menurunkan limit penebangan merupakan salah satu alternatif untuk menjaga keles-

tarian hutan dengan menghindari penye- ragaman preskripsi pengaturan hasil.

Untuk tebang pilih, terdapat variabel pilihan yang mempengaruhi hasil yang optimum dari pengelolaan hutan tidak se- umur, yaitu : 1) panjang siklus tebang, 2) tingkat pemanenan, 3) struktur tegakan awal, dan 4) tegakan tinggal yang akan mengalami dinamika untuk mendekati kondisi semula.

Dalam setiap siklus tebang terdapat dua pilihan variabel yang optimum, jum- lah pohon yang dipanen yang berdampak positif terhadap pengembalian ekonomi dan tegakan tinggal sebagai modal perusahaan berikutnya. Pemulihan te- gakan setelah penebangan dipengaruhi oleh ukuran dan distribusi tegakan ting- gal, bukan pada jumlah pohon yang dipa- nen. Oleh karena itu dasar manajemen te- bang pilih tidak hanya tergantung pada jumlah pohon yang dipanen atau limit diameter tetapi juga pada jumlah pohon yang cukup dalam setiap jenis dan kelas diameter. Trimble (1971) dalam Sianturi (1993) merekomendasikan bahwa tidak menguntungkan apabila suatu konsep pe- ngelolaan hanya didasarkan pada limit diameter sendiri. Dengan menggunakan tegakan tinggal yang terdistribusi secara normal sebagai prinsip manajemen hutan bekas tebangan diharapkan tegakan ting- gal tersebut akan tumbuh kembali mende- kati ke keadaan sebelum dilakukan pene- bangan sehingga kegiatan-kegiatan sepe- rti pemulihan hutan memiliki peran pen- ting pada masa datang.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Tindakan silvikultur seperti pembe- basan dan penjarangan memberikan pengaruh terhadap riap diameter te- gakan. Rata-rata riap diameter tanpa perlakuan silvikultur adalah 0,37 cm per tahun dan 0,43 cm per tahun pada petak yang mendapat perlakuan silvi- kultur.

2. Hasil simulasi menunjukkan bahwa dengan siklus tebang 35 tahun, tegak- an pada siklus tebang kedua belum mencapai kondisi semula dengan jumlah pohon masak tebang 8 pohon/ ha dan luas bidang dasar tegakan 18,12 m²/ha (jumlah pohon dan LBDs tegakan primer 12 pohon/ha dan 18,42 m²/ha).
3. Panjang siklus tebang yang mende- kati jumlah pohon masak tebang pri- mer (> 50 cm) adalah siklus 40 tahun dengan jumlah pohon masak tebang Dipterocarpaceae 10 pohon/ha de- ngan LBDs tegakan 18,84 m²/ha.
4. Memperpanjang siklus tebang atau menurunkan limit diameter merupa- kan alternatif untuk menjaga kelestaa- rian hasil. Siklus tebang yang sema- kin panjang ini juga didukung oleh riap diameter yang lebih kecil dari satu cm per tahun yang menjadi dasar pe- netapan siklus tebang 35 tahun.

B. Saran

1. Keterbatasan seri data pertumbuhan dapat menimbulkan bias terutama da- lam proyeksi struktur tegakan jangka panjang karena pengukuran belum sampai pada saat tegakan hutan dapat memulihkan diri akibat gangguan pe- nebangan. Oleh karena itu keberlan- jutan pengukuran dan seri data yang lebih lama sangat diharapkan untuk menggambarkan dinamika struktur tegakan hutan alam.
2. Rencana pengaturan hasil hutan dapat dan seharusnya dikembangkan berda- sarkan informasi terkini dari kondisi hutan dan data pertumbuhan dan hasil pada setiap unit pengelolaan hutan.
3. Pembuatan Petak Ukur Permanen (PUP) mutlak diperlukan dalam seti- ap unit pengelolaan hutan dengan jumlah dan penyebarannya mewakili keadaan tipe hutan dan tipe tempat tumbuhnya.
4. Pendugaan persamaan *ingrowth*, *up- growth*, dan *mortality* dalam penyus- sunan model dinamika struktur tegak-

an perlu dipertajam dengan data *time-series* yang lebih lama dan dengan penambahan peubah-peubah penduga lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Boscolo, M. and J. Buongiorno. 1997. Managing a Tropical Rainforest for Timber, Carbon Storage and Tree Diversity. *Commonwealth Forestry Review* 76 (4) : 246-253.
- Buongiorno, J. and B. R. Michie. 1980. A Matrix Model of Uneven-Aged Forest Management. *Forest Science* 26 (4) : 609-625.
- Buongiorno, J. and J. K. Gilles. 1987. *Forest Management and Economics*. Mc Millan Publishing Company. New York.
- Davis, L. S. and K. N. Johnson. 1987. *Forest Management*. Third Edition. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York.
- Diamond Raya Timber. 1995. Laporan Petak Ukur Permanen HPH PT. Diamond Raya Timber. Pekanbaru.
- Favrichon, V. 1998. Modelling The Dynamics and Species Composition of A Tropical Mixed-Species Uneven-Aged Natural Forest: Effects of Alternative Cutting Regimes. *Forest Science* 44 (1) : 113-124.
- Favrichon, V. and Y.C. Kim. 1998. Modelling The Dynamics of A Lowland Mixed Dipterocarp Forest Stand : Application of A Density-Dependent Matrix Model. *In* : Bertault, J.G. and Kadir (Editors). *Silvicultural Research in A Lowland Mixed Dipterocarp Forest of East Kalimantan*. The Contributions of STREK Project, CIRAD-forêt, FORDA, and PT. INHUTANI I. CIRAD-forêt Publication: 229-245.
- 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.
- Krisnawati, H. 2001. Pengaturan Hasil Hutan Tidak Seumur dengan Pendekatan Dinamika Struktur Tegakan (Kasus Hutan Alam Bekas Tebangan). Tesis. Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Tidak diterbitkan.
- Kofod, E.O. 1982. Stand Table Projection for The Mixed Dipterocarp Forest of Sarawak, FAO/MAL/76/008. Working Paper No. 11, Forest Department, Kuching, 13 pp.
- Meyer, H.A. 1952, *Forest Mensuration*. Penn Valley Publishers, State Coledge, Pa. 357p.
- Prodan, M. 1968. *Forest Biometrics*. Pergamon Press. Oxford.
- Sianturi, A. 1993. An Optimal Harvesting Model to Evaluate The Indonesian Selective Cutting System (TPI). *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* 11(7) : 267-281.