MODEL *INGROWTH*, *UPGROWTH*, DAN *MORTALITY* PADA HUTAN RAWA
BEKAS TEBANGAN DI PROVINSI RIAU

(*Ingrowth, Upgrowth, and Mortality Models for Overlogged Swamp Forest
in Province of Riau*)

Oleh /By :

Aswandi

ABSTRACT

Forest growth after selective logging represent stand dynamics through growth of new tree (ingrowth), increasing of growth phase (upgrowth) and death trees (mortality). The objective of this study were to develop ingrowth, upgrowth and mortality estimation models for swamp forest by using permanent plot data series at timber consessioner PT. Inti Prona Province of Riau. Model built indicated that rate of ingrowth, upgrowth and mortality were influenced by basal area, stand density, and size of tree. Ingrowth and upgrowth rate correlated negatively with stand basal area, and ingrowth and upgrowth were progressively lower at basal area of which excelsior. When mortality rate correlate positively with basal area, mortality rate would be excelsior with a greater basal area.

Key words: Ingrowth, upgrowth, mortality, basal area, density, model, stand structure, swamp forest

ABSTRAK

Pertumbuhan hutan setelah penebangan merepresentasikan dinamika pertumbuhan tegakan melalui penambahan individu pohon baru (*ingrowth*), peningkatan fase pertumbuhan melalui penambahan diameter (*upgrowth*), dan kematian pohon penyusun tegakan (*mortality*). Penelitian ini bertujuan untuk menyusun model penduga *ingrowth*, *upgrowth*, dan *mortality* hutan rawa dengan menggunakan data seri petak ukur permanen HPH PT. Inti Prona Provinsi Riau. Model yang dibangun menunjukkan bahwa laju *ingrowth*, *upgrowth*, dan *mortality* dipengaruhi oleh luas bidang dasar tegakan, kerapatan tegakan, dan ukuran pohon. Laju *ingrowth* dan *upgrowth* berhubungan negatif dengan luas bidang dasar tegakan, dan *ingrowth* dan *upgrowth* akan semakin rendah pada luas bidang dasar tegakan yang semakin besar (tegakan yang lebih rapat). Sedangkan laju *mortality* berhubungan positif dengan luas bidang dasar tegakan, sehingga laju *mortality* akan semakin tinggi pada luas bidang dasar tegakan yang semakin besar.

Kata kunci : *Ingrowth, upgrowth, mortality*, luas bidang dasar, kerapatan tegakan, model, struktur tegakan, hutan rawa

I. PENDAHULUAN

Hutan hujan tropika merupakan salah satu ekosistem yang kompleks yang disusun oleh berbagai komponen yang saling terkait. Salah satu unsur penting penyusun ekosistem hutan adalah tegakan yang berkembang secara dinamis melalui penambahan dimensi, pengurangan, dan penambahan individu-individu pohon penyusunnya dari waktu ke waktu (Davis dan Johnson, 1987; Goley, 1983).

Dinamika struktur tegakan hutan dipengaruhi oleh banyak faktor. Selain faktor

eksternal seperti iklim, kesuburan tanah, dan hama penyakit, faktor internal seperti sifat genetik pohon juga tidak boleh dikesampingkan. Dalam pertumbuhannya, pohon-pohon penyusun tegakan mengalami persaingan untuk memperoleh unsur-unsur penting seperti cahaya dan hara untuk kehidupannya. Akibatnya, pohon-pohon yang tidak mampu bersaing akan mengalami hambatan pertumbuhan, atau bahkan kemudian mati (Golley, 1983; Schulte, 1996; Waring dan Schlesinger, 1985).

Beberapa komponen pertumbuhan tegakan yang penting adalah *ingrowth* (alih

tumbuh), *upgrowth* (tambah tumbuh), dan *mortality* (kematian). *Ingrowth* diartikan sebagai pohon-pohon yang tumbuh ke kelas diameter atau tahap pertumbuhan terkecil yang diukur selama waktu tertentu. *Upgrowth* menunjukkan pohon-pohon yang naik ke kelas diameter berikutnya yang lebih besar, dan *mortality* adalah pohon yang mati dalam suatu periode waktu. Walaupun kematian pohon ini mengurangi luas bidang dasar tegakan, ruang tumbuh yang ditinggalkannya akan meningkatkan pertumbuhan pohon-pohon penyusun tegakan (Buongiorno dan Michie, 1980; Golley, 1983; Waring dan Schlesinger, 1985; Davis dan Johnson, 1987).

Walaupun telah banyak penelitian yang mengukur tingkat *ingrowth*, *upgrowth*, dan *mortality* pada hutan alam bekas tebangan, tetapi masih sedikit penelitian yang mengukur laju pertumbuhan masing-masing parameter pertumbuhan ini dalam setiap kelas diameter atau setiap jenis atau kelompok jenis, walaupun laju pertumbuhan pohon per kelas diameter ini sangat penting untuk menentukan teknik silvikultur yang diterapkan seperti pemanenan, penjarangan, dan lain-lain (Korol, Milner dan Running, 1996). Berdasarkan pertimbangan di atas penting untuk menyusun persamaan matematika untuk menjelaskan pola *ingrowth*, *upgrowth*, dan *mortality* sebagai bagian dari dinamika pertumbuhan tegakan.

Penelitian ini bertujuan untuk menyusun model penduga *ingrowth*, *upgrowth* dan *mortality*, serta model struktur tegakan hutan rawa konsesi Hak Pengusahaan Hutan (HPH) PT. Inti Prona Kabupaten Bengkalis Provinsi Riau dengan menggunakan data seri petak ukur permanen.

II. METODE PENELITIAN

A. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah data hasil pengukuran seri Petak Ukur Permanen (PUP) hutan rawa sebagai bagian kawasan konsesi HPH PT. Inti Prona Kabupaten Bengkalis Provinsi Riau yang telah diukur pada tahun 1994, 1995, 1996, dan 1997. Untuk memperoleh dinamika pertumbuhan secara alami, maka data yang dianalisis adalah

data PUP yang tidak memperoleh perlakuan silvikultur yakni PUP nomor 5, 6, 7, 8, 13, 14, 15, dan 16. Peralatan yang digunakan adalah seperangkat komputer dengan perangkat lunak pengolahan data Minitab, Microsoft Excel, CurveExpert 3.1 dan program model, dan simulasi Stella 6.0.1.

B. Pengolahan Data

Data tegakan yang digunakan adalah data diameter per kelas diameter dan riap, perpindahan individu pohon antar kelas diameter, dan kematian pohon mulai dari diameter 20 cm sampai diameter 50 cm ke atas dengan 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:

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

di mana (*where*) I : Laju *ingrowth* (*ingrowth rate*); r_i : Jumlah pohon baru yang masuk ke kelas diameter terkecil pada tahun i (*Number of new trees coming to smallest class of diameter at year i*); dan N_i : Jumlah pohon pada kelas diameter terkecil pada tahun i (*Number of trees in smallest class of diameter at year i*).

2. *Upgrowth* (Tambah Tumbuh)

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

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

di mana (*where*) U_i : Laju *upgrowth* pada kelas diameter i (*upgrowth rate for class of diameter i*); u_{ij} : Jumlah pohon yang naik ke kelas diameter i dan tahun j (*Number of trees coming to next class of diameter at year i*); N_{ij} : Jumlah pohon pada kelas diameter i dan tahun j (*Number of trees in class of diameter i at year j*).

3. Mortality (Kematian)

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

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

di mana (*where*) M_i : Laju *mortality* pada kelas diameter i (*Mortality rate for class of diameter i*); m_{ij} : Jumlah pohon yang mati pada kelas diameter i dan tahun j (*Number of mortality trees in class of diameter i at year j*) ; N_{ij} : Jumlah pohon dalam kelas diameter i dan tahun j (*Number of trees in class of diameter i at year j*).

4. Riap

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

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

di mana (*where*) : D_t = diameter tahun ke- t (*diameter at year t*), t = tahun pengukuran (*year of measurement*).

C. Analisis Data

1. Penyusunan Model Struktur Tegakan

Model struktur tegakan dibangun untuk setiap tahun pengukuran. Model yang digunakan adalah model struktur tegakan Meyer (1952) :

$$N_t = N_0 e^{-kD}$$

di mana (*where*) N_t : Jumlah pohon per ha per kelas diameter (*Number of trees per ha per class of diameter*); D : Diameter; k : Konstanta (*constant*); N_0 : Jumlah pohon pada diameter terkecil (*Number of trees in smallest class of diameter*); dan e : Logaritma dasar.

Nilai N_0 dan k ditentukan dengan menggunakan metode kuadrat terkecil (*least square method*).

2. Penyusunan Model Riap, Ingrowth, Upgrowth, dan Mortality

Model riap, *ingrowth*, *upgrowth*, dan *mortality* dibangun berdasarkan hubungan antar masing-masing variabel dengan luas

bidang dasar tegakan, jumlah pohon, dan ukuran (diameter) pohon. Nilai dari masing-masing variabel terlebih dahulu ditransformasikan ke dalam logaritma. Persamaan penduga variabel pertumbuhan tegakan yang digunakan adalah :

$$a. Y = f[D, B, N]$$

$$b. Y = f[B, N]$$

$$c. Y = f[B]$$

di mana (*where*) : Y = *CAI* diameter, laju *ingrowth*, *upgrowth*, dan *mortality rate*, D = nilai tengah diameter (*mean of diameter*), B = luas bidang dasar tegakan (*basal area of stand*), N = jumlah pohon per ha (*number of trees per ha*).

Untuk mengetahui nilai-nilai tersebut dilakukan dengan analisis regresi dengan program MINITAB 14 for Windows. Prediksi model pertumbuhan dengan satu variabel bebas (persamaan c) dilakukan dengan menguji berbagai persamaan yang mungkin dengan menggunakan program CurveExpert 3.1.

3. Pemilihan Model

Model terbaik dipilih berdasarkan nilai koefisien determinasi (R^2), simpangan baku (s), PRESS dan P_{-value} . Model terbaik adalah model yang memiliki nilai R^2 tertinggi dan simpangan baku (s), PRESS dan P_{-value} terendah.

4. Penyusunan Model Sistem Dinamika Tegakan

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

- Perumusan model konseptual. Bertujuan 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.
- 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, hasil rujukan atau berdasarkan rekaan yang dapat dipertanggungjawabkan.

- c. Evaluasi model. Dilakukan dengan membandingkan data proyeksi model dengan data yang didapat dari 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 :

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

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

4. Penggunaan Model

Model yang telah dibentuk digunakan untuk mencapai tujuan pembentukannya.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Kondisi Umum Lokasi

Seri PUP yang menjadi obyek penelitian dibangun pada hutan rawa yang mendominasi kawasan HPH PT. Inti Prona yang terletak di kelompok hutan Sungai Simpang Kanan Kabupaten Bengkalis Provinsi Riau. Hutan rawa ini tumbuh pada tanah organosol saprik yang berasal dari bahan organik hasil pembusukan vegetasi yang tumbuh di

atasnya. Ciri khas dari tipe tanah ini adalah digenangi air secara permanen dari waktu ke waktu. Struktur tegakan hutan rawa di dalam PUP secara umum terdiri dari jenis bintangur (*Callophyllum inophyllum*), balam (*Palaquium warsufolium*), suntai (*Palaquium* spp.), rengas (*Gluta rengas*), meranti merah (*Shorea* spp.), pisang-pisang (*Alphonsea javanica*), arang-arang (*Diospyros macrophylla*), medang (*Litsea* spp.), jambu-jambu (*Eugenia* sp.), jelutung (*Dyera costulata*), dan lainnya. Potensi tegakan untuk pohon-pohon komersial yang dapat dipanen adalah 68,78 m³/ha.

B. Struktur Tegakan

Struktur tegakan dapat diartikan sebagai sebaran dimensi tegakan terpilih (jumlah pohon atau luas bidang dasar per hektar) pada setiap tahapan pertumbuhan. Karena umur tegakan tidak diketahui dan tidak dapat ditentukan dengan tepat pada hutan alam, maka sebaran diameter pohon per hektar dapat digunakan untuk menjelaskan tahapan pertumbuhan pohon (struktur tegakan horizontal) (Davis dan Johnson, 1987). Secara umum struktur tegakan hutan normal hutan alam campuran berbentuk eksponensial negatif (huruf J terbalik), di mana jumlah pohon berkurang dengan meningkatkan diameter pohon.

Struktur tegakan rata-rata dari delapan PUP yang diukur pada waktu tegakan primer (rata-rata data Inventarisasi Tegakan Sebelum Penebangan Petak Ukur) dan beberapa tahun setelah penebangan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel (Table) 1. Dinamika struktur tegakan hutan rawa primer dan beberapa tahun setelah tebangan (Stand structure dynamic for swamp forest at primary forest and after cutting)

Kelas diameter (Diameter class)	Struktur tegakan (Jumlah pohon/ha) Stand structure (Number of trees/ha)				
	Primer (Primary)	t+3 (1994)	t+4 (1995)	t+5 (1996)	t+6 (1997)
20-29	96,14	83,50	86,50	87,00	86,50
30-39	52,73	37,00	41,25	43,13	41,50
40-49	29,65	19,25	20,63	21,75	20,88
>50	17,28	9,63	9,88	9,00	8,75
N _{Tot}	195,80	149,38	158,25	160,88	157,63
Basal area	18,604	15,792	16,151	15,927	15,602

Dengan menggunakan metoda kuadrat terkecil, maka model struktur tegakan pada saat primer dan beberapa tahun setelah tebangan (Tabel 2).

C. Pertumbuhan

Pertumbuhan tegakan hutan merupakan pertumbuhan yang dinamis karena selain peningkatan dimensi pohon, pertumbuhan juga dipengaruhi oleh berkembangnya pohon-pohon baru dan pergantian pohon-pohon penyusun tegakan. Sebagian pohon pada kegiatan inventarisasi awal tumbuh berkembang ke kelas diameter berikutnya yang lebih besar pada periode pengukuran berikutnya. Pada kelas diameter terkecil, penambahan pohon pada inventarisasi berikutnya berasal dari *ingrowth* yang tidak dihitung pada inventarisasi awal karena belum masuk kelas diameter yang terukur. Jumlah pohon dalam tegakan dapat menurun akibat kematian, di mana tingkat kematian

tertinggi terjadi pada kelas diameter terbesar (Davis dan Johnson, 1987; Oliver dan Larson, 1990).

Besarnya riap rata-rata tahunan berjalan (CAI) dan laju dari masing-masing parameter pertumbuhan pada beberapa tahun setelah pengukuran ditunjukkan pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3 menunjukkan bahwa rata-rata riap tegakan adalah 0,434 cm per tahun dengan riap terbesar terdapat pada kelas diameter 30-39 cm sebesar 0,550 cm per tahun dan terkecil pada kelas diameter 50 cm ke atas sebesar 0,090 cm per tahun. Rata-rata riap diameter tegakan ini tidak jauh berbeda dengan rata-rata riap diameter hutan rawa HPH PT. Diamond Raya Timber Rokan Hilir Riau sebesar 0,41 cm per tahun (Aswandi dan Edy, *in press*). Besarnya riap diameter pada kelas diameter 30-39 cm dapat disebabkan karena terbukanya ruang akibat penebangan mengakibatkan pohon-pohon

Tabel (Table) 2. Model struktur tegakan hutan rawa primer dan beberapa tahun setelah tebangan (*Model of stand structure for swamp forest at primary forest and after cutting*)

No.	Waktu pengukuran (Time of measurement)	Model struktur tegakan (Model of stand structure)	R ² (%)
1.	Tegakan primer	$N = 396 e^{-0,0572D}$	99,9
2.	Setelah tebangan		
	a. t+3	$N = 477 e^{-0,0713D}$	99,8
	b. t+4	$N = 520 e^{-0,0720D}$	99,9
	c. t+5	$N = 585 e^{-0,0749D}$	99,6
	d. t+6	$N = 586 e^{-0,0756D}$	99,8

di mana N : Jumlah pohon per hektar (*number of trees per ha*); dan D = Diameter.

Gambar (Figure) 1. Struktur tegakan hutan rawa sebelum dan setelah tebangan (*Stand structure of swamp forest before and after timber cutting*)

Tabel (Table) 3. Rata-rata riap tahunan berjalan pada berbagai kelas diameter dan tahun pengukuran (*Average of Current Annual Increment at several class of diameter and year of measurement*)

Kelas diameter (Class of diameter) (cm)	Waktu pengukuran (Time of measurement)			Rata-rata(Average)
	t_{+3-4} (1994-1995)	t_{+4-5} (1995-1996)	t_{+5-6} (1996-1997)	
10-19	0,420	0,554	0,472	0,482
20-29	0,403	0,596	0,464	0,488
30-39	0,367	0,706	0,577	0,550
40-49	0,458	0,318	0,308	0,361
> 50	0,140	0,083	0,045	0,090
Rata-rata (Average)	0,433	0,462	0,407	0,434

Tabel (Table) 4. Laju pertumbuhan pohon pada berbagai kelas diameter beberapa tahun setelah penebangan (*Rate of tree growth at several class of diameter in swamp logged over forests*)

Kelas diameter (Class of diameter) (cm)	Laju pertumbuhan (Rate of growth parameters) (%)								
	1994 – 1995 (E_{t+3-4})			1995 – 1996 (E_{t+4-5})			1996 – 1997 (E_{t+5-6})		
	Ingr	Upgr	Mort	Ingr	Upgr	Mort	Ingr	Upgr	Mort
20-29	3,293		5,988	7,659		3,902	5,460		3,879
30-39		2,994	7,770		5,202	5,758		3,017	5,797
40-49		2,027	9,091		5,152	10,909		3,188	10,345
>50		0,649	10,390		1,212	12,658		1,149	12,500
Basal Area		15,792			16,151			15,927	

Keterangan (Remark): Ingr = Ingrowth rate, Upgr = Upgrowth rate, Mort = Mortality rate

pada kelas diameter ini yang sebelumnya ada di bawah lapisan tajuk tegakan hutan naik mengisi ruang yang ditinggalkan pohon yang ditebang. Sedangkan pohon-pohon diameter besar (diameter 50 cm ke atas) cenderung tidak terpengaruh oleh terbukanya ruang akibat penebangan sehingga laju pertumbuhannya (riap) relatif tetap rendah.

Tabel 4 menunjukkan bahwa laju kematian (*mortality rate*) tertinggi terdapat pada kelas diameter 50 cm ke atas pada periode pengukuran 1995-1996 sebesar 12,658 %. Laju *upgrowth* tertinggi terdapat pada kelas diameter 30-39 cm pada tahun kelima setelah penebangan sebesar 5,202 %. Sedangkan laju *ingrowth* tertinggi selama periode pengukuran tahun 1994-1997 ($E_{t+3}-E_{t+6}$) adalah sebesar 7,659 % pada tahun keempat setelah penebangan.

D. Model Riap

Rata-rata riap tahunan berjalan berdasarkan kelas diameter terlihat pada Gambar 2.

Berdasarkan pengujian terhadap beberapa kombinasi yang mungkin diperoleh beberapa model penduga riap diameter sebagaimana pada Tabel 5.

Berdasarkan besarnya nilai koefisien determinasi (R^2) dan simpangan bakunya terlihat bahwa model kuadratik $CAI = 0,0309 + 0,0368 D - 0,00065 D^2$ merupakan model terbaik untuk menduga laju riap tahunan berjalan diameter hutan rawa di lokasi penelitian.

E. Model Ingrowth dan Upgrowth

Ingrowth merupakan jumlah pohon baru yang masuk ke kelas pengukuran terkecil

Gambar (Figure) 2. Rata-rata riap tahunan berjalan berdasarkan kelas diameter (*Average of Current Annual Increment based on class of diameter*)

Tabel (Table) 5. Model prediksi riap tahunan berjalan hutan rawa (*Prediction model of Current Annual Increment for swamp forest*)

No	Model prediksi (<i>Prediction model</i>)	R ² (%)	s	P-value
1	CAI = - 4,03 - 0,00912 D + 0,321 B - 0,00241 N	53,8	0,1463	0,031
2	CAI = - 3,60 - 0,00912 D + 0,270 B	53,6	0,1404	0,010
3	CAI = 0,713 - 0,00912 D	48,9	0,1416	0,004
4	ln CAI = - 16,1 - 1,02 ln D + 13,5 ln B - 3,77 ln N	40,1	0,6836	0,118
5	ln CAI = - 12,2 - 1,02 ln D + 5,3 ln B	38,6	0,6625	0,054
6	ln CAI = 2,39 - 1,02 ln D	38,2	0,6387	0,014
7	CAI = 0,0309 + 0,0368 D - 0,00065 D ²	80,9	0,0981	0,001

Gambar (Figure) 3. Laju *Ingrowth* (a); *Upgrowth* pada kelas diameter 20-29 (b); 30-39 (c); 40-49 (d); pada beberapa periode pengukuran (*Rates of ingrowth (a); upgrowth at diameter class 20-29 (b); 30-39 (c); 40-49 (d) at several measurements*)

pada suatu periode waktu pengukuran, sedangkan *upgrowth* merupakan jumlah pohon yang naik ke kelas diameter berikutnya yang lebih besar. Tabel 4 dan Gambar 3 menunjukkan bahwa laju *ingrowth* masih rendah pada tahun ketiga setelah tebangan (3,293 %), meningkat pada tahun keempat (7,659 %), dan kemudian menurun pada tahun berikutnya (5,460 %), walaupun laju ini tetap lebih tinggi dibandingkan pada tahun ketiga setelah penebangan. Keadaan yang sama juga ditunjukkan oleh besarnya laju *upgrowth* (Tabel 4).

Terbukanya ruang akibat penebangan pohon mendorong pertumbuhan pohon-pohon kecil yang selama ini berada di bawah tajuk pohon-pohon yang tinggi atau dominan. Walaupun ruang telah terbuka, tingginya pengaruh penebangan yang mengakibatkan perubahan iklim mikro secara ekstrim, mengakibatkan laju *ingrowth* dan *upgrowth* pada tahun ketiga setelah penebangan masih relatif rendah. Sejalan dengan semakin baiknya kondisi iklim mikro (dibandingkan tahun pertama setelah tebangan), tegakan mulai memulihkan dirinya dengan baik, dan pohon-pohon mulai tumbuh dengan baik mengisi ruang tumbuh yang ditinggalkan oleh pohon-pohon yang ditebang (Golley, 1983). Tetapi dengan meningkatnya kerapatan tegakan akibat pertumbuhan diameter pohon yang meningkatkan luas bidang dasar tegakan dan kompetisi tegakan memperebutkan unsur hara mengakibatkan laju *ingrowth* dan *upgrowth* akhirnya menurun pada tahun-tahun berikutnya.

Laju *ingrowth* dipengaruhi oleh luas bidang dasar, diameter, dan kerapatan tegakan, di mana laju *ingrowth* semakin menurun pada luas bidang dasar tegakan, diameter dan kerapatan pohon yang semakin tinggi. Karakteristik yang hampir sama juga ditunjukkan oleh *upgrowth*. Rata-rata laju *upgrowth* semakin menurun pada diameter tegakan yang lebih besar, kerapatan tegakan yang lebih rapat (jumlah pohon yang lebih tinggi) tetapi meningkat pada luas bidang dasar tegakan yang lebih besar (persamaan 5). Fenomena pertumbuhan ini dapat dijelaskan oleh model *ingrowth* dan *upgrowth* yang dibentuk :

a. *Ingrowth* :

$$\log I = 50,9 - 29,8 \log B - 6,76 \log N$$

$$(R^2 = 91,7 \%)$$

b. *Upgrowth* :

$$U = -85,0 + 6,01 B - 0,0218 N - 0,137 D$$

$$(R^2 = 79,0 \%) \dots \dots \dots (5)$$

o KD 20-29 :

$$\log U = 79,3 - 36,1 \log B - 16,3 \log N$$

$$(R^2 = 86,7 \%)$$

o KD 30-39 :

$$\log U = 71,0 - 38,3 \log B - 11,4 \log N$$

$$(R^2 = 86,8 \%)$$

o KD 40-49 :

$$U = 24,8 - 26,4 \log B + 3,47 \log N$$

$$(R^2 = 84,8 \%)$$

di mana (where)

I : *ingrowth* rate (%); U : *upgrowth* rate (%); B : Luas bidang dasar tegakan (*Basal area of stand*) (m^2); N = Jumlah pohon (*Number of tree*) (N/ha).

Persamaan-persamaan di atas menunjukkan bahwa terdapat perbedaan fenomena laju *upgrowth* pada diameter besar dan diameter kecil. Pada diameter kecil 20-39, laju *upgrowth* berhubungan negatif dengan luas bidang dasar tegakan (B) dan jumlah pohon (N), sehingga laju *upgrowth* akan semakin menurun pada luas bidang dasar yang rendah dan jumlah pohon yang semakin tinggi. Sedangkan pada kelas diameter besar 40-49, laju *upgrowth* berhubungan negatif dengan luas bidang dasar tetapi berbanding lurus dengan jumlah pohon (kerapatan tegakan). Hal ini berarti *upgrowth* akan semakin tinggi dengan bidang dasar yang semakin rendah dan jumlah pohon (kerapatan tegakan) yang semakin tinggi (Buongiorno dan Michie, 1980; Buongiorno *et al*, 1995; Kofod, 1982; Oliver dan Larson, 1990). Kondisi ini menjelaskan fenomena pertumbuhan hutan bekas tebangan. Terbukanya ruang setelah penebangan mendorong pertumbuhan pohon sehingga meningkatkan luas bidang dasar tegakan (Davis dan Johnson, 1987).

Perbedaan ini diakibatkan oleh perbedaan kemampuan pohon menghadapi persaingan. Karena pohon-pohon berdiameter besar umumnya merupakan pohon dominan dalam struktur tegakan, mereka tidak terpengaruh oleh persaingan dengan semakin meningkatnya bidang dasar tegakan (Golley, 1983).

Fenomena ini sangat berbeda dibandingkan pohon-pohon kecil yang umumnya merupakan pohon tertekan dan tumbuh pada lapisan tajuk di bawah pohon dominan.

F. Mortality

Mortality menunjukkan jumlah pohon yang mati pada setiap kelas diameter atau tahapan pertumbuhan selama periode tertentu. Kematian pohon dipengaruhi oleh luas bidang dasar, diameter, dan kerapatan tegakan (persamaan 6). Laju kematian tertinggi terjadi pada luas bidang dasar yang semakin rapat dan kerapatan tegakan yang semakin tinggi. Demikian juga, laju kematian terendah terjadi pada kelas diameter terkecil, yakni antara 3,879 %-5,988 % dan tertinggi pada kelas diameter terbesar yakni antara 10,390 dan 12,658 %.

o Keseluruhan :

$$M = -7,0 - 0,0216 N + 0,255 D + 0,53 B$$

($R^2 = 88,5\%$).....(6)

o KD 20-29 :

$$\log M = 0,395 + 5,99 \log B - 3,12 \log N$$

($R^2 = 88,7\%$)

o KD 30-39 :

$$M = -18,1 + 72,6 \log B - 28,1 \log N$$

($R^2 = 86,7\%$)

o KD 40-49 :

$$\log M = -6,76 + 2,42 \log B + 2,22 \log N$$

($R^2 = 88,7\%$)

o KD > 50 :

$$\log M = -7,61 + 3,38 \log B + 2,10 \log N$$

($R^2 = 92,9\%$)

di mana (where) :

M : mortality rate (%); B : Luas bidang dasar tegakan (Basal area of stand) (m^2); N : Jumlah pohon (Number of tree) (N/ha), D = Diameter pohon (Diameter of trees).

Seperti halnya *upgrowth*, persamaan-persamaan di atas menunjukkan bahwa terdapat perbedaan fenomena kematian (*mortality*) pada diameter besar dan diameter kecil. Pada kelas diameter kecil, laju *mortality* berhubungan positif dengan luas bidang dasar (B) dan berhubungan negatif dengan jumlah pohon (N), sehingga laju *mortality* akan semakin tinggi pada luas bidang dasar yang semakin besar pada diameter kecil, pengaruh luas bidang dasar tegakan relatif lebih besar sehingga apabila semakin sedikit jumlah pohon kelas diameter kecil, maka proporsi kematian (perbandingan kematian dengan jumlah pohon) akan semakin besar. Sedangkan pada kelas diameter besar, meningkatnya luas bidang dasar dan jumlah pohon akan mengakibatkan tingginya laju *mortality* (Buongiorno dan Michie, 1980). Secara keseluruhan (persamaan 6) laju *mortality* meningkat pada diameter dan luas bidang dasar tegakan yang lebih besar dan menurun pada jumlah pohon yang lebih besar.

Gambar 5 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan fenomena kematian pohon setelah penebangan pada kelas diameter besar dan diameter kecil. Pada kelas diameter kecil (20-39), persentase kematian tertinggi terjadi pada tahun pertama setelah penebangan yang kemudian menurun pada tahun-tahun berikutnya (Tabel 4). Hal ini berbeda dibandingkan dengan pohon-pohon berdiameter besar di mana persentase kematian individu pohon tertinggi terdapat pada tahun kedua setelah penebangan. Perbedaan ini disebabkan oleh perbedaan respon pohon terhadap gangguan akibat

Gambar (Figure) 4. Hubungan laju *ingrowth/upgrowth* (a) dan *mortality* (b) terhadap kelas diameter (Correlation of *ingrowth/upgrowth* (a) and *mortality* rate (b) and diameter class)

Gambar (Figure) 5. Hubungan laju *mortality* dengan periode pengukuran setelah penebangan pada kelas diameter 20-29 (a); 30-39 (b); 40-49 (c); dan >50 (d) (*Correlation of mortality rate and measurement periodic for diameter class of 20-29 (a); 30-39 (b); 40-49 (c); > 50 (d)*)

penebangan (Golley, 1983). Perubahan kondisi iklim mikro yang sangat ekstrim setelah penebangan dan kerusakan yang ditimbulkan akibat penebangan sangat mempengaruhi pohon-pohon muda yang berukuran kecil sehingga pohon-pohon ini relatif lebih cepat mengalami kematian dibandingkan pohon-pohon yang berdiameter besar (Golley, 1983; Schulte, 1996; Waring dan Schlesinger, 1985).

G. Model Dinamika Tegakan

System of interest dinamika tegakan hutan antara lain meliputi unsur-unsur dinamika seperti *ingrowth*, *upgrowth*, dan *mortality* tegakan. Dinamika unsur-unsur ini mempengaruhi banyaknya jumlah pohon yang berada 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. Besarnya *ingrowth*, *upgrowth*, dan kematian individu pohon dipengaruhi oleh basal area atau kerapatan tegakan.

Dalam model, struktur tegakan dikategorikan sebagai *state variable*. Pada

dasarnya model dinamika struktur tegakan tersusun atas beberapa *stock* yang berhubungan secara seri yang merepresentasikan struktur tegakan dan unsur dinamikanya. Aliran materi akibat pertumbuhan individu pohon antar masing-masing *stock* kelas diameter bersifat *series irreversible* (berurutan tidak dapat balik) melalui kelas-kelas diameter secara berurutan. Hubungan antar masing-masing komponen tegakan serta berbagai unsur dinamikanya direpresentasikan pada Gambar 6.

Hubungan kuantitatif dari masing-masing komponen model (Gambar 6) dibangun berdasarkan model-model *ingrowth*, *upgrowth*, dan *mortality* yang telah terbentuk sebelumnya. Hubungan antar masing-masing komponen adalah sebagai berikut :

- $KD20(t) = KD20(t - dt) + (Ingrowth - Upgrowth1 - Mortality1) * dt$
 $INIT\ KD20 = 96.14$
 INFLOWS:
 $\Rightarrow Ingrowth = Ingrate * KD20$
 OUTFLOWS:
 $\Rightarrow Upgrowth1 = Upgrate1 * KD20$
 $\Rightarrow Mortality1 = Mortrate1 * KD20$
- $KD30(t) = KD30(t - dt) + (Upgrowth1 - Upgrowth2 - Mortality2) * dt$
 $INIT\ KD30 = 52.73$

Gambar (Figure) 6. Model representasi dinamika struktur tegakan (*Representative model for dynamic of stand structure*)

INFLOWS:

$$\Rightarrow \text{Upgrowth1} = \text{Upgrade1} * \text{KD20}$$

OUTFLOWS:

$$\Rightarrow \text{Upgrowth2} = \text{Upgrade2} * \text{KD30}$$

$$\Rightarrow \text{Mortality2} = \text{Mortrate2} * \text{KD30}$$

$$\square \text{KD40}(t) = \text{KD40}(t - dt) + (\text{Upgrowth2} - \text{Upgrowth3} - \text{Mortality3}) * dt$$

$$\text{INIT KD40} = 29.65$$

INFLOWS:

$$\Rightarrow \text{Upgrowth2} = \text{Upgrade2} * \text{KD30}$$

OUTFLOWS:

$$\Rightarrow \text{Upgrowth3} = \text{Upgrade3} * \text{KD40}$$

$$\Rightarrow \text{Mortality3} = \text{Mortrate3} * \text{KD40}$$

$$\square \text{KD50}(t) = \text{KD50}(t - dt) + (\text{Upgrowth3} - \text{Mortality4}) * dt$$

$$\text{INIT KD50} = 17.28$$

INFLOWS:

$$\Rightarrow \text{Upgrowth3} = \text{Upgrade3} * \text{KD40}$$

OUTFLOWS:

$$\Rightarrow \text{Mortality4} = \text{Mortrate4} * \text{KD50}$$

$$\begin{aligned} \bigcirc \text{Basal_area} = & (0.25 * 3.14 * (0.25^2) * \text{KD20}) + \\ & (0.25 * 3.14 * (0.35^2) * \text{KD30}) + \\ & (0.25 * 3.14 * (0.45^2) * \text{KD40}) + \\ & (0.25 * 3.14 * (0.55^2) * \text{KD50}) \end{aligned}$$

$$\bigcirc \text{Ingrate} = 10^{(50.9 - (29.8 * \log_{10}(\text{Basal_area})) - (6.76 * \log_{10}(\text{Nha})))}$$

$$\bigcirc \text{Mortrate1} = 10^{(0.395 + (5.99 * \log_{10}(\text{Basal_area})) - (3.12 * \log_{10}(\text{Nha})))}$$

$$\bigcirc \text{Mortrate2} = -18.1 + (72.6 * \log_{10}(\text{Basal_area})) - (28.1 * \log_{10}(\text{Nha}))$$

$$\bigcirc \text{Mortrate3} = 10^{(-6.76 + (2.42 * \log_{10}(\text{Basal_area})) + (2.22 * \log_{10}(\text{Nha})))}$$

$$\bigcirc \text{Mortrate4} = 10^{(-7.61 + (3.38 * \log_{10}(\text{Basal_area})) + (2.21 * \log_{10}(\text{Nha})))}$$

$$\bigcirc \text{Nha} = \text{KD20} + \text{KD30} + \text{KD40} + \text{KD50}$$

$$\bigcirc \text{Upgrade1} = 10^{(79.3 - (36.1 * \log_{10}(\text{Basal_area})) - (16.3 * \log_{10}(\text{Nha})))}$$

$$\bigcirc \text{Upgrade2} = 10^{(71.0 - (38.3 * \log_{10}(\text{Basal_area})) - (11.4 * \log_{10}(\text{Nha})))}$$

$$\bigcirc \text{Upgrade3} = 24.8 - (26.4 * \log_{10}(\text{Basal_area})) + (3.47 * \log_{10}(\text{Nha}))$$

Hasil uji statistik Khi-kuadrat menunjukkan proyeksi struktur tegakan tahun keempat, kelima, dan keenam tidak berbeda dibandingkan struktur tegakan rata-rata pada PUP yang menjadi pengamatan pada tingkat kepercayaan 95 % ($\chi^2_{(0.05,11)} \text{ hitung} = 16,54 < \chi^2_{(0.05,11)} \text{ tabel} = 19,67$). Hasil ini menunjukkan bahwa model dapat secara realistis menjelaskan dinamika pertumbuhan hutan beberapa tahun setelah penebangan, sedangkan dalam jangka panjang model ini harus diuji lebih lanjut serta disusun berdasarkan rangkaian data pertumbuhan yang lebih panjang.

Proyeksi struktur tegakan dalam jangka panjang berdasarkan simulasi terhadap model

Gambar (Figure) 7. Proyeksi struktur tegakan berdasarkan hasil simulasi model dinamika (*Stand structure projection resulted by simulation of dynamic system model*)

sistem yang dibangun dapat dilihat pada Gambar 7. Gambar 7c dan 7d menunjukkan bahwa dalam jangka panjang proyeksi model cenderung eksponensial dan struktur tegakan proyeksi cenderung melebihi struktur tegakan pada kondisi primernya. Hal ini dapat diakibatkan oleh terbatasnya data hasil pengamatan yang mendasari penyusunan model dinamika yang dibangun.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Pertumbuhan tegakan setelah penebangan merupakan pertumbuhan yang dinamis melalui penambahan pohon baru, peningkatan pertumbuhan dimensi pohon, dan kematian pohon penyusun tegakan. Hubungan antar masing-masing parameter pertumbuhan ini dimodelkan :

a. Ingrowth :

$$\log I = 50,9 - 29,8 \log B - 6,76 \log N$$

$$(R^2 = 91,7 \%)$$

b. Upgrowth :

$$U = -85,0 + 6,01 B - 0,0218 N - 0,137 D$$

$$(R^2 = 79,0 \%)$$

o KD 20-29 :

$$\log U = 79,3 - 36,1 \log B - 16,3 \log N$$

$$(R^2 = 86,7 \%)$$

o KD 30-39 :

$$\log U = 71,0 - 38,3 \log B - 11,4 \log N$$

$$(R^2 = 86,8 \%)$$

o KD 40-49 :

$$U = 24,8 - 26,4 \log B + 3,47 \log N$$

$$(R^2 = 84,8 \%)$$

c. Mortality :

$$M = -7,0 - 0,0216 N + 0,255 D + 0,53 B$$

$$(R^2 = 88,5 \%)$$

o KD 20-29 :

$$\log M = 0,395 + 5,99 \log B - 3,12 \log N$$

$$(R^2 = 88,7 \%)$$

o KD 30-39 :

$$\log M = -18,1 + 72,6 \log B - 28,1 \log N$$

$$(R^2 = 86,7 \%)$$

o KD 40-49 :

$$\log M = -6,76 + 2,42 \log B + 2,22 \log N$$

$$(R^2 = 88,7 \%)$$

o KD > 50 :

$$\log M = -7,61 + 3,38 \log B + 2,10 \log N$$

$$(R^2 = 92,9 \%)$$

di mana (where) : I = ingrowth rate, U = upgrowth rate, M = mortality rate, B = luas bidang dasar tegakan (*basal area of stand*), N = jumlah pohon per ha (*number of trees per ha*), D = diameter pohon (*diameter of trees*).

Laju *ingrowth* dan *upgrowth* berhubungan negatif dengan luas bidang dasar di mana *ingrowth* dan *upgrowth* akan semakin rendah pada bidang dasar tegakan yang semakin tinggi, sebaliknya laju *mortality* berhubungan positif dengan luas bidang dasar, di mana *mortality* akan semakin besar pada bidang dasar tegakan yang semakin tinggi.

B. Saran

Keterbatasan seri data pertumbuhan hutan bekas tebangan dapat menimbulkan bias terutama akibat hutan belum sepenuhnya dapat memulihkan diri akibat gangguan penebangan. Oleh karena itu keberlanjutan pengukuran pertumbuhan hutan bekas tebangan melalui seri data PUP yang panjang sangat diharapkan untuk menggambarkan dinamika pertumbuhan hutan bekas tebangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Buongiorno, J. and B. Michie. 1980. A matrix model of uneven-aged forest management. *Forest Science* 26(4): 609-625.
- Buongiorno, J., J.L. Peyron, F. Houllier, and M. Bruciamacchie. 1995. Growth and management of mixed-species uneven-aged forest. *In* French Jura : Implication for Economic Return and tree Diversity. *Forest Science* 14 (3).
- Davis, L.S. and K.N. Johnson. 1987. *Forest management*. McGraw-Hill Book Co. New York
- Golley, F.B. 1983. *Tropical rain forest ecosystem : Structure and function*. Elsevier Scientific, Amsterdam.
- 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.
- 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, 13pp.
- Korol, R.L., K.S. Milner, and S.W. Running. 1996. Testing a mechanistic model for predicting stand and tree growth. *Forest Science* 42(2):139-153.
- Meyer, H.A. 1952. *Forest mensuration*. Penn Valley Publishers, State College, Pa. 357p.
- Oliver, C.D. and B.C. Larson. 1990. *Forest stand dynamics*. McGraw-Hill, Inc. New York.
- Schulte, A. 1996. Dipterocarp forest ecosystem theory based on matter balance and biodiversity. *In* Dipterocarp Forest Ecosystems : Toward Sustainable Management. A. Schulte and D. Schone (Eds). World Scientific. Singapore.
- Waring and Schlesinger. 1985. *Forest Ecosystems, concepts and management*. Academic Press, Orlando, FL.

Lampiran (Appendix) 1. *Ingrowth, upgrowth, dan mortality pada beberapa periode pengukuran.*
(*Ingrowth, upgrowth, and mortality in some periodic measurements*)

Kelas diameter (Diameter class)	Waktu pengukuran (Time of measurement)											
	1995 - 1996				1996 - 1997				1997 - 1998			
	Ing	Upg	Mort	Rem	Ing	Upg	Mort	Rem	Ing	Upg	Mort	Rem
20-29	2,75		5,00	78,75	6,63		3,38	77,00	4,75		3,38	78,38
30-39		2,50	2,88	35,88		4,50	2,38	36,25		2,63	2,50	36,38
40-49		0,75	1,75	18,13		2,13	2,25	17,38		1,38	2,25	17,25
>50		0,13	1,00	8,75		0,25	1,25	7,50		0,25	1,13	7,38

Keterangan (Remark) : Ing = *Ingrowth*; Upg = *Upgrowth*; Mort = *Mortality*; Rem = *Remain* (Pohon yang tetap di kelas diameter *i* setelah *j* tahun).

DAFTAR PUSTAKA

- Buongiorno, J. and B. Michie, 1980. A matrix model of uneven-aged forest management. *Forest Science* 26(4): 609-622.
- Buongiorno, J., J.E. Peyton, F. Houllier, and M. Bruijnsmacie, 1993. Growth and management of mixed-species uneven-aged forest in French Jura: publication for Economic Return and tree Diversity. *Forest Science* 14(3).
- Davis, F.S. and K.N. Johnson, 1987. *Forest management*. McGraw-Hill Book Co. New York.
- Waring, and N. S. 1984. *Forest dynamics*. Academic Press, New York.
- Schulze, 1984. *Forest dynamics*. Academic Press, New York.
- Phipps, 1984. *Forest dynamics*. Academic Press, New York.
- Balance, 1984. *Forest dynamics*. Academic Press, New York.
- Schulze, 1984. *Forest dynamics*. Academic Press, New York.
- Waring, and N. S. 1984. *Forest dynamics*. Academic Press, New York.

Lampiran (Appendix) 2. Nilai koefisien determinasi (R^2), simpangan baku (s), PRESS dan P_{value} dari model-model yang disusun (*Value of determination coefficient (R^2), standard deviation (s), PRESS and P_{value} from compiled models*)

No.	Persamaan (Equation)	R^2	s	PRESS	P_{value}
Ingrowth					
1	$\log I = -18,7 + 8,86 \log N$	56,0	0,1522	0,0035	0,128
2	$I = 97,7 - 5,99 B$	77,8	1,079	0,0433	0,118
3	$\log I = 50,9 - 29,8 \log B - 6,76 \log N$	91,7	0,0078	2,57 ⁻³	0,000
4	$I = 750 - 408 \log B - 119 \log N$	89,9	0,4514	0,0075	0,002
Upgrowth					
1	$U = -85,0 + 6,01 B - 0,0218 N - 0,137 D$	79,0	0,9595		0,038
2	$\log U = -32,7 + 1,48 \log N - 2,14 \log D + 27,5 \log B$	76,8	0,1888		0,048
Upgrowth of diameter class 20 - 29					
1	$\log U = -5,1 + 2,58 \log N$	10,0	0,1845	1,2898	0,795
2	$\log U = 11,7 - 9,4 \log B$	42,4	0,1476	1,1885	0,548
3	$U = 22,1 - 0,0772 B$	41,5	1,372	105,28	0,552
4	$\log U = 79,3 - 36,1 \log B - 16,3 \log N$	86,7	0,0238	0,0032	0,001
5	$U = 731 - 333 \log B - 151 \log N$	83,6	0,1729	0,1922	0,001
Upgrowth of diameter class 30 - 39					
1	$\log U = -18,7 + 8,74 \log N$	53,2	0,1960	1,4551	0,480
2	$\log U = 24,0 - 19,7 \log B$	87,2	0,1026	0,5732	0,223
3	$\log U = 4,74 - 0,0178 B$	86,7	0,1043	0,6023	0,235
4	$\log U = 71,0 - 38,3 \log B - 11,4 \log N$	86,8	0,0026	2,6 ⁻⁵	0,000
5	$U = 663 - 338 \log B - 118 \log N$	83,6	0,3423	0,7865	0,003
Upgrowth of diameter class 40 - 49					
1	$\log U = -18,7 + 8,51 \log N$	71,8	0,06079	0,1399	0,185
2	$\log U = 18,5 - 15,6 \log B$	72,1	0,02058	0,0230	0,062
3	$\log U = 3,34 - 0,0141 B$	73,2	0,01925	0,0223	0,060
4	$\log U = 9,10 - 11,9 \log B + 2,28 \log N$	79,8	0,01942	0,0062	0,008
5	$U = 24,8 - 26,4 \log B + 3,47 \log N$	84,8	0,0163	0,0008	0,000
Mortality					
	$M = -7,0 - 0,0216 N + 0,255 D + 0,53 B$	88,5	1,254	29,2548	0,000
	$\log M = 2,31 - 1,34 \log N + 1,28 \log D - 0,43 \log B$	88,3	0,07380	0,105571	0,000
Mortality of diameter class 20 - 29					
1	$\log M = 14,4 - 6,26 \log N$	76,0	0,03061	0,0355	0,128
2	$\log M = -12,5 + 11,1 \log B$	77,6	0,02820	0,0433	0,118
3	$\log M = 0,395 + 5,99 \log B - 3,12 \log N$	88,7	0,00206	2,3 ⁻³	0,000
4	$M = -0,163 + 67,8 \log B - 34,6 \log N$	85,6	0,03461	0,0075	0,000
5	$M = -71,085 + 69,955 \log B - 0,000303N^2$	82,7	0,00389	5 ⁻³	0,000
Mortality of diameter class 30 - 39					
1	$\log M = 10,2 - 4,27 \log N$	74,7	0,02427	0,0223	0,148
2	$\log M = -8,30 + 7,67 \log B$	77,6	0,01612	0,0141	0,098
3	$\log M = -0,915 + 4,75 \log B - 1,79 \log N$	85,6	0,03488	0,0058	0,000
4	$M = -18,1 + 72,6 \log B - 28,1 \log N$	86,7	0,00798	0,0003	0,000
5	$M = -75,843 + 74,366 \log B - 0,000247N^2$	84,2	0,39290	5,2619	0,155
Mortality of diameter class 40 - 49					
1	$\log M = -5,53 + 2,98 \log N$	67,0	0,02763	0,0289	0,319
2	$\log M = -8,24 + 7,69 \log B$	78,7	0,006511	0,0023	0,072
3	$\log M = -6,76 + 2,42 \log B + 2,22 \log N$	88,7	1,16 ⁻²	0,0000	0,000
4	$M = -171 + 63,2 \log B + 48,0 \log N$	78,7	0,0114	5,52 ⁻²	0,000
5	$M = -74,2 + 61,2 \log B + 0,000447 N^2$	78,6	0,0065	1,78 ⁻²	0,000
Mortality of diameter class > 50					
1	$\log M = -4,93 + 2,74 \log N$	72,9	0,01812	0,1243	0,172
2	$\log M = -8,56 + 8,01 \log B$	78,7	0,006511	0,0034	0,074
3	$\log M = -7,61 + 3,38 \log B + 2,10 \log N$	92,9	4,6 ⁻³	0,0001	0,000
4	$M = -218 + 91,0 \log B + 55,1 \log N$	88,6	6,15 ⁻²	1,5 ⁻⁴	0,000
5	$M = -114 + 94,4 \log B + 0,000494 N^2$	89,9	5,02 ⁻³	3,5 ⁻⁴	0,000