

MODEL PRODUKSI KAYU LESTARI DI HUTAN PRODUKSI DATARAN RENDAH KALIMANTAN¹⁾

Oleh:
Ronggo Sadono²⁾

ABSTRACT

The lowland production forest of Kalimantan has been managed that almost the same amount of commercial timber volume could be harvested under Indonesian Selective Logging every 35 year. This was an artificial form of an equilibrium state which the extracted volume could be compensated from the increment volume within 35 years. The equilibrium state is essential in forest utilization to assure the sustainability of timber production. The objectives of this study were to construct a diameter distribution of long-term timber production model in the expected equilibrium state and to compare it with the diameter distribution before selective logging.

The research plots data of Silvicultural Treatment for the Regeneration of Logged-over Forest in East Kalimantan Project were used to generate elements of long-term timber production model, i.e. recruitment rate and exploitation rate which should be described in function. The cubic function was then applied to describe both rates. The two accepted equations were used to quantify the diameter distribution of long-term timber production model. The quantified diameter distribution was compared to that before selective logging in term of stems concentration and volume composition. Finally, the quantified diameter distribution was examined to determine whether the resulted timber volume of both exploitation and recruitment remained the same.

The result showed that the cubic function could be used to describe the recruitment rate and the exploitation rate. Based on both equations the diameter distribution of long-term timber production model could be quantified using this formula:

$$X_{i-1} = X_i \cdot \frac{(p_i + e_i)}{P_{i-1}}$$

where X : number of stems, i : diameter class, p : recruitment rate and e : exploitation rate.

Comparing to the diameter distribution before selective logging showed that it was quite different in stems concentration and volume composition. By examining the sum of volume from recruitment and exploitation showed that the exploitation volume could be compensated from the recruitment volume. The constructed model was still to be afflicted with many assumptions because of fragmentary applicable research-based results. It was urgent to develop this model by carrying out much research about elements of long-term timber production model, especially the rate of recruitment.

Keywords : lowland production forest, equilibrium state, recruitment rate, exploitation rate

1) Penelitian dibiayai oleh Deutscher Akademischer Austauschdienst (DAAD)

2) A faculty staff of Forest Management, Faculty of Forestry, (GMU), Yogyakarta

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Sejak awal tahun tujuh puluhan hutan tropika humida di Kalimantan dieksploitasi dengan sistem tebang pilih. Pada awalnya sistem tebang pilih yang diterapkan dikenal dengan nama Sistem Tebang Pilih Indonesia atau TPI. Dalam perkembangannya sistem ini telah mengalami beberapa perbaikan dan penyempurnaan hingga mencapai bentuk akhirnya yang dikenal dengan Sistem Tebang Pilih Tanam Indonesia atau TPTI (Anonimous, 1993). Sampai dengan tahun 1996 hutan tropika humida Kalimantan telah ditebang sekitar 25 juta ha atau 53% dari luas hutan totalnya. Sementara itu, di hutan dataran rendah telah ditebang sekitar 14 juta ha. Luas hutan yang telah ditebang di hutan dataran rendah ini didominasi oleh hutan produksi, yaitu: hutan produksi biasa dan hutan produksi terbatas dan telah mencapai sekitar 61% dari luas total hutan produksinya (NFI, 1996).

Konsep pengusahaan hutan produksi dataran rendah di Kalimantan berdasar atas polisiklus 35 tahun, yang berarti bahwa setiap 35 tahun dapat dipanen dari areal hutan yang diusahakan volume kayu yang relatif sama dengan sistem tebang pilih secara terus menerus. Prinsip tebang pilih sendiri berdasar suatu anggapan bahwa hutan yang akan ditebang telah mencapai stadium klimaks, di mana dalam jangka panjang dijumpai riap yang relatif rendah atau bahkan nol. Dengan penebangan secara terencana dari jenis komersial dengan batas diameter 50 atau 60 cm dan dengan mempertimbangkan kecukupan jumlah pohon inti dari jenis dominan dan kodominan riapnya akan terakselerasi karena tersedianya ruang tumbuh yang lebih lebar. Di akhir periode 35 tahun diharapkan hutan bekas tebang dapat mencapai level volume kayu seperti halnya sebelum dilakukan tebang. Setelah itu, dilanjutkan dengan tebang untuk siklus berikutnya. Dengan demikian, jumlah volume kayu yang dikeluarkan dari tegakan akan dikompensasi dari volume pertumbuhan dalam jangka 35 tahun, sehingga tercapai kondisi seimbang antara volume yang dipungut dan mati dengan volume riap.

Stadium klimaks dapat didefinisikan sebagai suatu tegakan hutan dengan tampilan sebaran diameter yang meliputi seluruh kelas diameter, pohon yang masuk ke kelas diameter di atasnya atau mati digantikan pohon dari kelas diameter di bawahnya sedemikian rupa sehingga dalam jangka panjang terbentuk suatu keadaan yang stabil (Hanewinkel, 1998). Dinamika jumlah pohon yang ditampilkan dengan sebaran diameter ini apabila ditransfer ke dalam volume kayu akan menghasilkan kondisi seimbang, yaitu volume kayu yang mati akan dikompensasi dari volume riap.

Kondisi seimbang harapan dalam konsep pengusahaan hutan dengan sistem tebang pilih dapat dikatakan sebagai fenomena artifisial dan diterjemahkan dari fenomena alami yang terjadi pada stadium klimaks. Di dalam penelitian ini kondisi seimbang harapan akan dikaji dengan pendekatan model produksi kayu lestari.

Tujuan Penelitian

Penelitian dilakukan dengan tujuan untuk:

1. Menyusun kurva sebaran diameter model produksi kayu lestari berdasar atas laju rekrutmen dan tingkat pemungutan yang didekati dengan fungsi kubik.
2. Membandingkan konsentrasi pohon dan komposisi volume kayu antara sebaran diameter model produksi kayu lestari yang diperoleh dengan sebaran diameter tegakan sebelum dilakukan tebang pilih.

TINJAUAN PUSTAKA

Elemen Model Produksi Kayu Lestari

Produksi kayu lestari diartikan sebagai suatu kondisi tegakan hutan yang padanya dapat dilakukan pemungutan kayu baik tingkat volume maupun ukuran diameter secara periodik dalam jumlah yang relatif sama secara berkelanjutan. Dengan pemungutan kayu mengikuti sistem tebang pilih diharapkan tegakan tinggal di akhir periode akan tumbuh dan berkembang seperti bentuk awal sebelum dilakukan tebang. Prodan (1950) mengisyaratkan bahwa pembentukan tegakan seperti kondisi awal tersebut dipengaruhi oleh tempat tumbuh, perilaku pertumbuhan, penjarangan dan bentuk-bentuk usikan lainnya. Tegakan hutan yang telah mencapai kondisi seimbang (*equilibrium state*) biasanya dapat dicirikan dengan sebaran jumlah pohon pada kelas-kelas diameter (Yue, *et al.* 1997).

Konstruksi model produksi kayu lestari pada dasarnya dibangun atas dua elemen, yaitu laju rekrutmen dan tingkat pemungutan yang keduanya sejauh mungkin didekati dengan suatu fungsi tertentu (Schütz, 1989). Kedua elemen tersebut pada akhir periode yang ditentukan haruslah menghasilkan jumlah volume kayu dan sebaran diameter yang relatif sama. Di samping itu, model produksi kayu lestari dapat juga dipergunakan untuk mencari lama periode pertumbuhan yang memenuhi kondisi seimbang.

Laju Rekrutmen

Laju rekrutmen (p_t) adalah persen jumlah pohon dari jumlah pohon awal yang tiap tahun mencapai kelas diameter di atasnya. Elemen pertama dari model produksi kayu lestari ini idealnya didapatkan dari hasil pengamatan perilaku pertumbuhan hutan sekunder dalam jangka waktu yang relatif lama. Semakin lama jangka waktu pengamatan maka akan semakin baik, karena memungkinkan didapat perilaku pertumbuhan hutan sekunder yang relatif stabil, yang telah memperhitungkan pengaruh perlakuan silvikultur yang diterapkan, misalnya: tanaman pengkayaan dan perawatan pohon inti. Pengamatan demikian sayangnya jarang dijumpai dan oleh

karenanya elemen ini akan didekati dari perilaku pertumbuhan hutan primer dan hutan sekunder.

Laju rekrutmen didapat dari rata-rata riap diameter tiap kelas diameter (z_i). Lu (1999) menyatakan bahwa karena kelimpahan jenis pohon, perubahan situasi kompetisi yang kontinyu dan variasi perilaku riap antar jenis pohon yang relatif tinggi maka pendekatan riap diameter di hutan alam tropik sangatlah sulit. Hubungan antara rata-rata riap diameter dan kelas diameter pada umumnya relatif rendah karena keragaman riap dalam kelas diameter sangatlah tinggi. Untuk mengeliminasi hal tersebut maka dalam perhitungan rata-rata riap diameter per kelas diameter dianjurkan untuk menggunakan data yang diperoleh dari areal yang luas dan pengamatan dalam jangka yang relatif lama. Rata-rata riap diameter per diameter kelas selanjutnya dapat dihitung dengan metode diferens (*Differenzenmethode*) dari Meyer (1950). Kelemahan dari metode ini adalah adanya variasi nilai riap yang tinggi di kelas diameter besar karena pada kelas-kelas diameter tersebut biasanya ditempati oleh beberapa pohon saja dengan sebaran yang tidak kontinyu.

Perhitungan rata-rata riap diameter per kelas diameter menurut Meyer (1950) secara ringkas dapat diterangkan menggunakan contoh formulir yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Contoh formulir perhitungan rata-rata riap diameter per kelas diameter mengikuti metode diferens dari Meyer (1950)

Nilai tengah kelas diameter (cm)	Awal periode 1990	Akhir periode 1995	Naik ke kelas diameter di atasnya (R)	Tetap tinggal stasioner (S)	DR ¹	DE ²	DR/DE	Riap tahunan ³ (mm)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
			Jumlah pohon (big.)						
12,5	663	1051	637	414	-	1714	0,517	0,517	
17,5	410	523	249	-	886	-	-	-	
22,5									
Jumlah	2773	3410	637						

¹DR= jumlah pohon yang naik ke kelas diameter di atasnya, sebagai hasil dari dua nilai R yang berurutan

²DE= jumlah pohon dari pengukuran awal dan akhir pada kelas diameter yang sama

³Riap tahunan= DR/DE dikalikan dengan lebar kelas diameter dan dibagi dengan jumlah selang tahun antara kedua pengukuran

Angka-angka yang dicantumkan dalam kolom 2 dan 3 adalah contoh hasil pencacahan jumlah pohon per kelas diameter dari dua kali pengukuran yang berurutan. Selanjutnya akan dihitung jumlah pohon yang naik ke kelas diameter di atasnya (R) dan jumlah pohon yang tetap tinggal stasioner di kelas diameter semula (S). Selisih jumlah pohon antara kedua pengukuran dimasukkan sebagai jumlah pohon yang naik ke kelas diameter terkecil yang diperhitungkan, yaitu $R=3410-2773=637$. Jumlah

pohon yang masih tetap tinggal stasioner di kelas diameter semula adalah pengukuran kedua dikurangi R, yaitu $S=1051-637=414$. Selisih antara S dan jumlah pohon pada pengukuran pertama dihitung sebagai jumlah pohon yang naik ke kelas diameter di atasnya ($663-414=249$). Perhitungan dilanjutkan pada kelas-kelas diameter di atasnya sampai dengan kelas diameter terbesar. Jika ditemui R bernilai negatif berarti terdapat sejumlah pohon yang naik ke dua kelas diameter di atasnya.

Kolom 6 diperoleh dari penambahan dua angka berurutan pada kolom 4, yaitu $637+249=886$. Kolom 7 selanjutnya dihitung dari penjumlahan jumlah pohon pada pengukuran awal dan akhir tiap kelas diameter, yakni $663+1051=1714$. Selanjutnya kelas diameter dan dibagi dengan lama periode pertumbuhan, yaitu selisih tahun antara pengukuran awal dan akhir.

Rata-rata riap diameter per kelas diameter kemudian digunakan untuk menghitung laju rekrutmen. P_i dihitung dengan menggunakan formula berikut (Yue, et al. 1997):

$$p_i = \frac{z_i}{b} \cdot 100\% \tag{1}$$

Keterangan:

z_i = rata-rata riap diameter pada kelas diameter -i (mm/ha/thn.)
 b = lebar kelas diameter (cm).

Tingkat Pemungutan

Tingkat pemungutan (e_i) adalah persen jumlah pohon yang dipungut dan atau yang mati dalam pelaksanaan tebangan terhadap jumlah pohon awal. Dengan demikian tingkat pemungutan adalah proporsi pohon yang tiap tahun diambil dan mati terhadap jumlah pohon awal dari areal hutan yang diusahakan. Perhitungan tingkat pemungutan ini analog dengan laju rekrutmen (Yue, et al. 1997):

$$e_i = \frac{m_i}{X_i \cdot T} \cdot 100\% \tag{2}$$

Keterangan:

m_i = Pohon yang diambil dan atau mati di kelas diameter -i

X_i = Jumlah pohon di kelas diameter -i

T = Lama periode (tahun).

Tingkat pemungutan umumnya bergantung sangat erat dengan ukuran diameter maksimum yang ditebang (Schütz, 1989). Diameter maksimum ini dijadikan informasi penting untuk menentukan waktu dilakukan tebangan. Apabila ukuran diameter maksimum telah tercapai maka pada hutan tersebut boleh dilakukan tebangan dengan mengambil semua pohon yang telah melebihi ukuran batas diameter minimum yang ditetapkan. Namun dalam sistem tebangan pilih ukuran diameter maksimum tidak dikenal karena pohon berdiameter besar belum tentu dipungut karena berbagai

alasan, misalnya pohon non-niagawi, cacat fisik dan tidak dikehendaki (Matikainen, *et al.* 1998). Keadaan demikian akan menyebabkan terjadinya variasi nilai e_i yang sangat besar pada kelas diameter di atas batas diameter minimum yang boleh ditebang.

Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Lu (1999) tentang riap hutan tropis di China menunjukkan bahwa perilaku rata-rata riap tiap kelas diameter dapat didekati dengan fungsi kubik. Oleh sebab itu fungsi kubik dipakai untuk mendekati perilaku rata-rata riap diameter tiap kelas diameter di hutan primer dan hutan sekunder. Demikian juga fungsi ini dicoba penerapannya untuk mendekati tingkat pemungutan (Schütz, 1989).

Kurva Sebaran Diameter Model Produksi Kayu Lestari

Berdasar atas informasi laju rekrutmen dan tingkat pemungutan maka kurva sebaran diameter model produksi kayu lestari dapat dibangun. Sebaran diameter model ini dapat disebut sebagai sebaran diameter suatu tegakan yang memenuhi kondisi seimbang harapan. Jumlah pohon pada tiap kelas diameter dapat dihitung secara menurun atau menaik menggunakan formula berikut (Schütz, 1989):

$$X_{i+1} = X_i \cdot \frac{P_i}{(p_{i+1} + e_{i+1})} \quad (3a)$$

$$X_{i-1} = X_i \cdot \frac{(p_i + e_i)}{P_{i-1}} \quad (3b)$$

Persamaan 3a dipakai apabila perhitungan jumlah pohon tiap kelas diameter dimulai dari kelas diameter terkecil dan Persamaan 3b apabila perhitungan dimulai dari kelas diameter terbesar.

Perhitungan dari kelas diameter terkecil dibutuhkan informasi hubungan antara tingkat produksi kayu dengan jumlah pohon pada kelas diameter terkecil yang diperhitungkan (Schütz, 1997). Hasil perhitungan jumlah pohon per kelas diameter akan menunjukkan bahwa jumlah pohon yang naik ke kelas diameter di atasnya akan diisi dengan jumlah pohon yang sama dari kelas diameter di bawahnya (Yue, *et al.* 1997).

Langkah terakhir adalah pengujian apakah jumlah volume kayu yang diambil dan atau mati dapat dikompensasi dari volume kayu yang berasal dari rekrutmen. Dengan demikian persamaan berikut harus dapat dipenuhi (Schütz, 1989):

$$\sum e_i \cdot X_i \cdot t_i \approx \sum p_i \cdot X_i \cdot \delta t_i \quad (4)$$

Keterangan:

t_i : Volume kayu (m³/ha) di kelas diameter i

δt_i : Beda volume kayu (m³/ha) pada taraf volume = t_{i-1}

Jika terjadi perbedaan volume kayu yang sangat besar, kemungkinan disebabkan oleh fungsi yang dipakai untuk mendekati elemen model baik laju rekrutmen maupun tingkat pemungutan (Schütz, 1989). Perbedaan tersebut bisa juga disebabkan oleh modelnya sendiri, karena di dalam model tersebut tidak memperhatikan kepadatan tegakan. Sementara itu, riap diameter sebagai dasar perhitungan laju rekrutmen dipengaruhi juga oleh kepadatan tegakan (Pretzsch, 2000).

METODE PENELITIAN

Bahan Penelitian

Bahan penelitian berupa data diameter pohon berdiameter 10 cm ke atas berasal dari plot penelitian permanen proyek STREK (Silvicultural Treatment for the Regeneration of Logged-over Forest in East Kalimantan). Proyek kerjasama Indonesia dan Perancis ini dimulai pada bulan September 1989 (Bertault, *et al.* 1998). Pada tahun 1990 dibuat plot-plot penelitian permanen di Berau, Kalimantan Timur. Plot-plot yang dibuat berukuran 4 ha sebanyak 12 plot. Sebelum dilakukan perlakuan tebangan, telah dilakukan pengukuran pada semua plot. Sesudah itu plot-plot dapat dikelompokkan menjadi 3 plot untuk hutan primer dan 9 plot untuk hutan sekunder.

Tiap plot berbentuk kuadrat dan dipecah menjadi empat subplot masing-masing 1 ha berukuran 100 x 100 m. Pada tiap subplot dilakukan pengukuran diameter pohon secara terpisah. Sampai dengan akhir proyek telah dilakukan beberapa kali pengukuran. Untuk kepentingan penelitian ini digunakan pengukuran pertama dan terakhir dengan lama periode 5 tahun di hutan primer dan pengukuran sebelum dan sesudah tebangan di hutan sekunder serta lama pengamatan riap selama 4 tahun.

Sejak tahun 1997 pengelolaan plot permanen ini diteruskan oleh proyek kerjasama dengan Uni Eropa dengan nama Berau Forest Management Project (BFMP). Pada tahun 1998/1999 dilakukan pengukuran ulang. Karena data belum bisa diperoleh, maka dalam penelitian ini data BFMP tidak diikutsertakan.

Cara Penelitian

Penelitian dilakukan dalam empat tahap dengan urutan kegiatan sebagai berikut:

1. Menghitung laju rekrutmen
 - a. menghitung rata-rata riap diameter per kelas diameter baik pada hutan primer maupun pada hutan sekunder menggunakan metode diferensial dari Meyer (1950).
 - b. menghitung laju rekrutmen hutan primer dan hutan sekunder serta menerapkan fungsi kubik untuk mendekati laju rekrutmen hutan primer dan hutan sekunder.
 - c. menentukan laju rekrutmen untuk satu siklus tebang pilih. Karena tidak tersedia laju rekrutmen yang diperoleh dari pengamatan jangka lama atau satu siklus tebang pilih maka untuk mendekati nilai tersebut

dilakukan pembobotan dari laju rekrutmen hutan primer dan hutan sekunder. Langkah ini ditempuh berdasar hasil penelitian dari Silva (1989) dan Silva, *et al.* (1995) yang menyebutkan bahwa dalam kurun waktu relatif pendek setelah tebangan, perilaku riap hutan sekunder hampir sama dengan yang terjadi di hutan primer. Oleh sebab itu pembobotannya dilakukan sebagai berikut: untuk sepertiga periode pertama laju rekrutmen berasal dari laju rekrutmen hutan sekunder. Untuk sepertiga periode kedua laju rekrutmen diperoleh dari rata-rata laju rekrutmen hutan sekunder dan hutan primer. Selanjutnya sepertiga periode terakhir laju rekrutmen sama dengan laju rekrutmen hutan primer.

Penjelasan tentang pembobotan di atas dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$p_i = \frac{p_{ks}}{3} + \frac{2}{3} \frac{(p_{ks} + p_{pp})}{3} + \frac{p_{pp}}{3}$$

Melalui penyederhanaan akhirnya diperoleh:

$$p_i = \frac{p_{ks} + p_{pp}}{2} \tag{5}$$

Keterangan:

p_{ks} = laju rekrutmen hutan sekunder

p_{pp} = laju rekrutmen hutan primer

2. Menghitung tingkat pemungutan
 - a. menghitung jumlah pohon yang diambil dan mati untuk satu siklus tebang pilih. Karena tidak tersedianya hasil penelitian tentang jumlah pohon yang diambil dan mati selama satu periode yang bisa dijadikan acuan maka tingkat pemungutan dihitung berdasarkan asumsi bahwa jumlah pohon yang diambil dan mati selama satu periode sama dengan satu setengah dari jumlah pohon yang diambil dan mati pada saat dilaksanakannya tebang pilih.
 - b. menghitung tingkat pemungutan dan menerapkan fungsi kubik untuk menggambarkan tingkat pemungutan. Tingkat pemungutan dipengaruhi oleh lama periode. Namun pada pelaksanaan tebang pilih tidak dijumpai variasi lama periode melainkan hanya lama periode tunggal yakni 35 tahun, maka lama periode 35 tahun ini dipakai dalam perhitungan tingkat pemungutan.
3. Menghitung jumlah pohon tiap kelas diameter untuk penggambaran kurva sebaran diameter model produksi kayu lestari. Perhitungan jumlah pohon dimulai dari diameter terbesar. Hal ini dilakukan karena tidak tersedia hasil penelitian tentang hubungan antara jumlah pohon pada kelas diameter terkecil dan tingkat produksi kayu yang dapat dijadikan acuan. Dengan demikian model yang diajukan adalah:

$$X_{i+1} = X_i \cdot \frac{p_i}{(p_{i+1} + e_{i+1})} \tag{6}$$

4. Menguji jumlah volume kayu dari hasil laju rekrutmen dan tingkat pemungutan. Volume kayu tiap kelas diameter dihitung menggunakan persamaan volume berikut:

$$V = 4,0747E-04 * d^{2,2503} \tag{7}$$

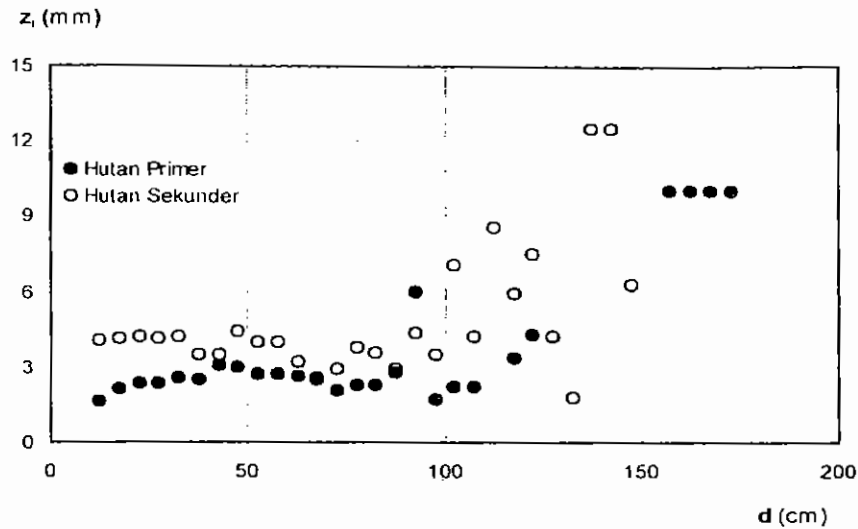
dengan V = volume kayu (m³) dan d = diameter setinggi dada (cm).

Jika terdapat selisih volume yang besar antara volume hasil laju rekrutmen dan tingkat pemungutan, maka harus dilakukan perbaikan pada fungsi yang digunakan untuk mendekati kedua elemen model tersebut. Apabila jumlah volume kedua elemen model tersebut relatif sama atau relatif kecil selisihnya, maka model yang diajukan dapat diterima.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Laju Rekrutmen

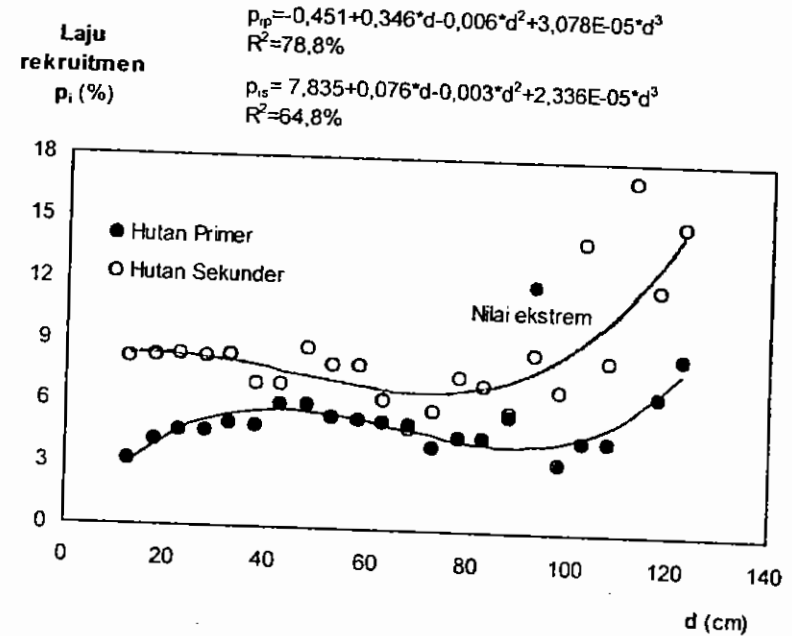
Rata-rata riap diameter tiap kelas diameter di hutan primer dan sekunder yang dihitung berdasarkan metode diferensial (Meyer, 1950) menunjukkan bahwa rata-rata riap diameter di hutan sekunder lebih tinggi dari pada di hutan primer karena tersedianya ruang tumbuh yang lebih lebar. Perbedaan sangat jelas dapat dilihat pada segmen diameter kecil. Pada segmen diameter kecil pohon-pohon di hutan sekunder pertumbuhannya terakselerasi sangat cepat (Gambar 1), karena stimulasi pembukaan tajuk pohon dominan yang dipungut. Sementara itu, pada segmen diameter besar baik di hutan primer maupun di hutan sekunder dijumpai variasi nilai rata-rata riap yang sangat besar. Pada bagian ini ada beberapa kelas diameter yang hanya ditempati beberapa pohon. Berdasar perhitungan rata-rata riap mengikuti metode diferensial hal ini menyebabkan perolehan nilai riap relatif tinggi. Di samping itu, ada beberapa kelas diameter yang tidak ada pohonnya yang menyebabkan nilai riapnya nol. Variasi jumlah pohon di segmen diameter besar yang sangat besar ini tidak bisa dihindari, karena keadaan demikian secara alami sering dijumpai baik di hutan primer maupun hutan sekunder. Oleh sebab itu, variasi jumlah pohon di kelas diameter besar ini dilihat sebagai sumber kesalahan potensial dari model yang akan dibangun. Selain itu, harus diingat pula bahwa penguasaan perilaku riap pohon-pohon penyusun tegakan di hutan tropis dataran rendah relatif kurang.



Gambar 1. Rata-rata riap diameter per kelas diameter di hutan primer dan sekunder berdasar metode diferensial dari Meyer (1950)

Untuk hanya beroperasi dengan data yang relatif baik, maka digunakan nilai rata-rata riap diameter sampai dengan kelas diameter 125 cm. Selanjutnya pendekatan laju rekrutmen dengan fungsi kubik menunjukkan bahwa fungsi kubik di hutan primer lebih stabil dan lebih baik karena tidak adanya faktor usikan (Gambar 2). Namun harus diingat bahwa data untuk perhitungan nilai rata-rata riap diameter di hutan sekunder masih terletak dalam fase stabilisasi, yaitu suatu periode pendek setelah terjadinya suatu usikan atau bencana (Bormann dan Likens, 1979). Di dalam fase ini nilai riap masih labil dan keragamannya relatif tinggi. Perilaku laju rekrutmen yang ditunjukkan pada Gambar 2 dapat diartikan bahwa riap diameter semakin tinggi setelah pohon mencapai kelas diameter 100 cm ke atas dan menempati stratum dominan.

Laju rekrutmen tidak diperoleh dari data yang seharusnya, yaitu dari pengamatan hutan sekunder melainkan menyertakan hutan primer melalui pembobotan (Persamaan 5). Hal ini dilakukan karena tidak dijumpai hasil pengamatan perilaku riap hutan sekunder dalam jangka yang relatif lama. Oleh karenanya, pendekatan pembobotan ini dilihat sebagai sumber kesalahan potensial. Di samping itu, pembatasan perhitungan laju rekrutmen hanya sampai dengan diameter maksimum 125 cm juga harus diperhitungkan sebagai sumber kesalahan potensial.

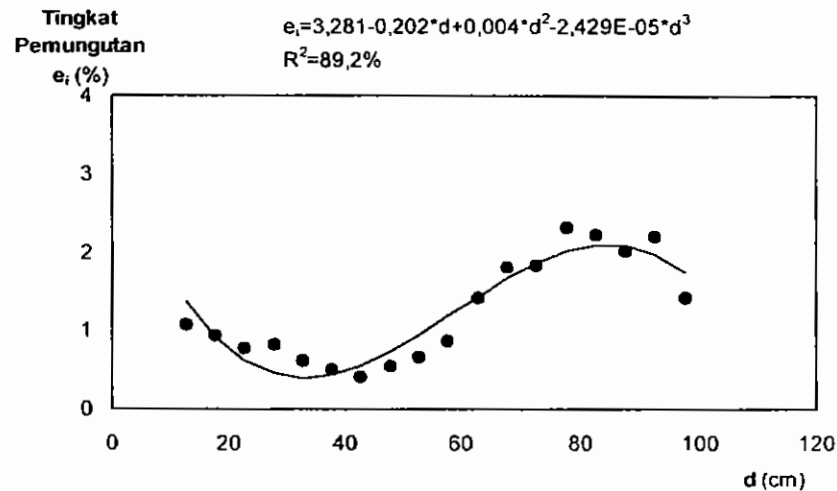


Gambar 2. Laju rekrutmen di hutan primer (p_{ip}) dan hutan sekunder (p_{is})

Tingkat Pemungutan

Sekali lagi untuk hanya beroperasi dengan data yang relatif baik maka tingkat pemungutan dihitung hanya sampai dengan diameter 100 cm. Nilai ini kemudian didekati dengan fungsi kubik. Hasilnya menunjukkan bahwa sekitar 90% data dapat dijelaskan dengan baik (Gambar 3). Dari Gambar 3 dapat diinterpretasikan bahwa pada tebang pilih pohon yang besar belum tentu menjadi prioritas utama untuk ditebang karena jenis dan kualitas pohon menjadi faktor yang sangat penting dalam penentuan pohon yang akan ditebang.

Dalam perhitungan nilai tingkat pemungutan harus diingat bahwa data jumlah pohon yang diambil dan mati selama satu siklus tebang pilih tidak diperoleh dari pengamatan secara langsung, melainkan melalui pendekatan asumsi. Selanjutnya tingkat pemungutan hanya dihitung sampai dengan diameter maksimum 100 cm. Dua hal tersebut dapat dicatat sebagai sumber kesalahan potensial.

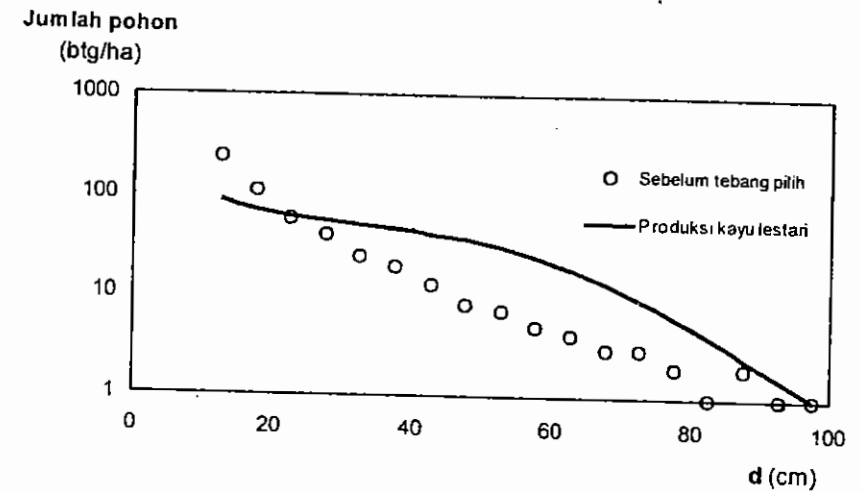


Gambar 3. Tingkat pemungutan (e_i) berdasar periode regenerasi 35 tahun dan diameter maksimum 100 cm

Kurva Sebaran Diameter Model Produksi Kayu Lestari

Perhitungan jumlah pohon tiap kelas diameter dimulai dari kelas diameter tertinggi atau secara menurun dengan menganggap bahwa pada kelas diameter terbesar hanya dijumpai satu batang pohon saja, sehingga masukan pertama di kelas diameter tertinggi adalah satu batang pohon. Seterusnya, perhitungan jumlah pohon tiap kelas diameter di bawahnya dilakukan menggunakan Persamaan 6. Sebaran diameter tiap kelas diameter model produksi kayu lestari yang diperoleh disajikan pada Gambar 4.

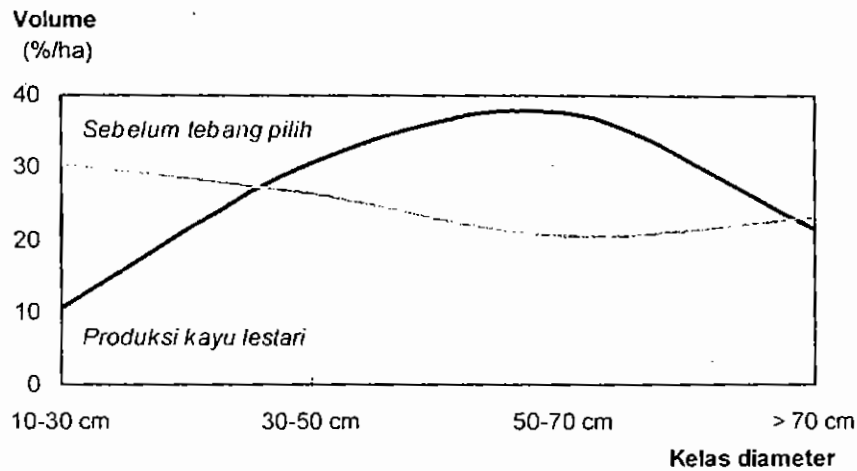
Dari Gambar 4 terlihat bahwa sebaran diameter model produksi kayu lestari pada kelas diameter di atas 20 cm sangat jelas terletak di atas sebaran diameter sebelum dilakukan tebang pilih. Dalam pada itu, sebaran diameter model produksi kayu lestari pada kelas diameter di bawah 20 cm terletak di bawah sebaran diameter sebelum tebang pilih. Ini bisa diartikan bahwa pada produksi kayu lestari ruang tumbuh dimanfaatkan secara penuh oleh pohon-pohon berdiameter di atas 20 cm, sehingga tegakannya tertutup atau *fully-stocked*. Dalam kondisi demikian dapat dimengerti apabila hanya dijumpai sedikit pohon berdiameter kurang dari 20 cm. Pada tegakan sebelum tebang pilih terdapat sejumlah pohon yang tidak diperhitungkan dalam sebaran diameter, yaitu pohon-pohon berdiameter lebih dari 100 cm. Oleh sebab itu tampilan sebaran diameter sebelum tebang pilih hendaknya tidak dipakai sebagai sebaran acuan karena tidak mencerminkan kondisi yang sebenarnya.



Gambar 4. Sebaran diameter model produksi kayu lestari dihadapkan dengan sebaran diameter sebelum tebang pilih

Perhitungan jumlah pohon tiap kelas diameter model produksi kayu lestari sangat sensitif terhadap jumlah pohon sebagai masukan pertama baik pada kelas diameter terbesar maupun pada kelas diameter terkecil. Idealnya perhitungan jumlah pohon tiap kelas diameter ini dimulai dari kelas diameter terkecil, karena jumlah pohon di kelas diameter ini yang akan menempati kelas-kelas diameter di atasnya. Perhitungan secara menurun dipengaruhi oleh dimensi diameter maksimum dan jumlahnya. Sayangnya, diameter maksimum yang boleh ditebang tidak dikenal dalam sistem tebang pilih. Oleh sebab itu, sebaran diameter model produksi kayu lestari yang diperoleh dibangun atas dasar beberapa pendekatan dan asumsi.

Jika model produksi kayu lestari ditampilkan komposisi persen volume kayunya, maka dapat dilihat bahwa bagian terbesar volume kayu terletak pada kelas diameter antara 30 sampai 70 cm. Sebelum tebang pilih, persen volume kayu tertinggi dijumpai pada kelas diameter 10 - 30 cm. Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa komposisi volume kayu model produksi kayu lestari dan sebelum tebang pilih sangat jelas perbedaannya. Perbedaan ini masih ada kaitannya dengan sejumlah pohon berdiameter besar yang tidak diikutsertakan pada perhitungan volume tegakan sebelum tebang pilih. Oleh sebab itu, perbedaan ini hendaknya dibaca secara seksama.



Gambar 5. Komposisi volume model produksi kayu lestari dibandingkan dengan komposisi volume sebelum tebang pilih

Akhirnya dilakukan pengujian jumlah volume kayu hasil laju rekrutmen dan tingkat pemungutan, apakah volume yang diambil atau mati dapat dikompensasi dari volume hasil rekrutmen. Pengujian dilakukan menggunakan Persamaan 4 dan hasilnya disajikan pada Tabel 2.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa volume hasil rekrutmen sedikit lebih besar dari volume kayu yang diambil/mati yaitu 0,2 m³/ha/tahun (Tabel 2). Dari pengujian tersebut dapat dikatakan bahwa volume yang diambil/mati dapat dikompensasi dari volume hasil rekrutmen. Hasil ini harus dibaca secara hati-hati karena dalam penyusunan model banyak digunakan asumsi karena keterbatasan informasi hasil penelitian yang dapat dijadikan acuan, seperti perilaku riap hutan sekunder dan persen jumlah pohon yang diambil dan mati terhadap jumlah pohon awal selama satu siklus tebang pilih.

Konstruksi model produksi kayu lestari sangat sensitif terhadap fungsi yang digunakan untuk mendekati perilaku p_i dan e_i . Yuc, *et al.* (1997) mengatakan bahwa laju rekrutmen dan tingkat pemungutan mempunyai variasi besar dan pemilihan persamaan untuk mendekati nilai tersebut di hutan tropis sangat sulit, padahal jenis persamaan yang digunakan berpengaruh sangat besar terhadap sebaran diameter produksi kayu yang didapatkan.

Tabel 2. Pengujian jumlah volume hasil rekrutmen dan volume yang diambil/mati dari model produksi kayu lestari

Nilai tengah kelas diameter (cm)	p_i	e_i	Jumlah Pohon n_i (N/ha)	Tarif volume t_i (m ³ /ha)	Beda volume $\delta t_i = t_{i+1} - t_i$ (m ³ /ha)	Volume diambil/mati $e_i \cdot n_i \cdot t_i$ (m ³ /ha)	Volume rekrutmen $p_i \cdot n_i \cdot \delta t_i$ (m ³ /ha)
12,5	5,7	1,4	87	0,1	0,1	0,1	0,7
17,5	6,2	1,0	70	0,3	0,2	0,2	0,8
22,5	6,5	0,7	60	0,4	0,3	0,2	1,0
27,5	6,7	0,6	54	0,7	0,3	0,2	1,2
32,5	6,7	0,6	49	1,0	0,4	0,3	1,3
37,5	6,7	0,6	45	1,4	0,5	0,4	1,4
42,5	6,6	0,8	40	1,9	0,5	0,6	1,4
47,5	6,5	1,1	35	2,4	0,6	0,9	1,4
52,5	6,3	1,4	30	3,0	0,7	1,2	1,3
57,5	6,1	1,7	24	3,7	0,8	1,5	1,1
62,5	5,9	2,0	19	4,5	0,8	1,7	0,9
67,5	5,8	2,3	14	5,3	0,9	1,7	0,7
72,5	5,7	2,6	9	6,3	1,0	1,6	0,5
77,5	5,7	2,9	6	7,3	1,1	1,3	0,4
82,5	5,7	3,1	4	8,4	1,2	1,0	0,3
87,5	5,9	3,2	3	9,6	1,3	0,8	0,2
92,5	6,2	3,2	2	10,8	1,4	0,6	0,1
97,5	6,7	3,2	1	12,2	1,5	0,4	0,1
102,5				13,6			
Jumlah			552			14,7	14,9
Beda volume antara volume diambil/mati dan rekrutmen							0,2

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian tentang model produksi kayu lestari di hutan produksi dataran rendah Kalimantan dapat diformulasikan sebagai berikut:

1. Kurva sebaran diameter model produksi kayu lestari dapat dibangun berdasarkan laju rekrutmen (p_i) dan tingkat pemungutan (e_i), yang keduanya dapat didekati dengan fungsi kubik, menggunakan formula:

$$X_{i-1} = X_i \cdot \frac{(p_i + e_i)}{p_{i-1}}$$

2. Terdapat perbedaan konsentrasi jumlah pohon dan komposisi volume kayu yang signifikan antara model produksi kayu lestari yang dibangun dengan tegakan sebelum tebang pilih.

Saran

Penelitian tentang elemen penyusun model produksi kayu lestari masih harus diintensifkan, di antaranya: perilaku riap hutan sekunder dengan pengamatan jangka lama untuk didapatkan perilaku riap hutan sekunder yang relatif stabil dan persen volume kayu dan jumlah pohon yang diambil/mati selama satu siklus tebang pilih terhadap volume dan jumlah pohon awal sebelum tebang pilih serta hubungan antara tingkat produksi kayu dengan jumlah pohon pada kelas diameter kecil yang diperhitungkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dapat diselesaikan berkat dukungan data Proyek STREK yang dikelola oleh Balai Penelitian Kehutanan (BPK) Samarinda. Ucapan terima kasih disampaikan kepada Ir. Ida Lamiari, Ir. Ayi Suyana, Ir. Abdurrahman dan Ir. Ruslandi yang telah membantu melacak untuk mendapatkan data STREK. Terima kasih juga disampaikan kepada *editors* dan *reviewers* Bulletin Kehutanan yang menjadikan naskah ini lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonimous. 1993. Pedoman Tebang Pilih Tanam Indonesia (TPFI). Direktorat Jenderal Pengusahaan Hutan. Jakarta.
- Bertault, J-G., P. Sist, N. Nguyen-The. 1998. STREK Project objectives and methodology. In Bertault, J-G. and K. Kadir. (Eds.). *Silvicultural research in a lowland mixed dipterocarp forest of East Kalimantan. The contribution of STREK project.* CIRAD-forêt, FORDA, PT. INHUTANI I. p. 29-49
- Bormann, F.H. and G.E. Likens. 1979. *Pattern and process in a forested ecosystem.* Springer-Verlag, New York Berlin Heidelberg. 253 S.
- Hanewinkel, M. 1998. *Plenterwald und Plenterwaldüberführung. Modellstudien zu planungstechnischen, waldbaulichen und ökonomischen Aspekten am Fallbeispiel des Wuchsgebietes Schwarzwald.* Schriften aus dem Institut für Forstökonomie der Universität Freiburg.
- Lu, Y. 1999. *Development of Models for Sustainable Management of the Mixed Tropical Rain Forest in Xishuangbanna, Yunnan Province, PR of China.* Gött. Beiträge zur Land- und Forstwirtschaft in den Tropen und Subtropen. Heft 132. Göttingen.

- Matikainen, M., D. Herika, E. Muntoko. 1998. Logging trials in compartment 17, RKT 1997/1998. In Muljadi, A.T. and A.I. Fraser. 1998. (Eds.). *Proceedings joint workshop on silviculture and reduced impact logging and workshop on silviculture, growth & yield and reduced impact logging: 14 - 17 April 1998.* DFID-Ministry of Forestry and Estate Crops, Indonesia - UK Tropical Forest Management Programme, Provincial Forest Management Project. Jakarta. p. 78-102.
- Meyer, H.A. 1950. Berechnung und Auswertung des Stärkerzuwachses. *Schweiz. Zeitschr. f. Forstwesen*, 27-38.
- NFI-National Forest Inventory. 1996. *Final Forest Resources Statistics Report. National Forest Inventory of Indonesia.* Directorate General of Forest Inventory and Land Use Planning and Food and Agriculture Organization of The United Nations. Jakarta.
- Pretzsch, H. 2000. *Komunikasi pribadi.* Fakultas Kehutanan. Technische Universität München. Munich.
- Prodan, M. 1950. Die theoretische Bestimmung des Gleichgewichtszustandes im Plenterwald. *Schweiz. Zeitschr. f. Forstwesen*, 81-99.
- Schütz, J-P. 1989. *Der Plenterbetrieb - Vorlesungsunterlagen zur Vorlesung Waldbau III und zu SANASILVA Fortbildungskursen, ETH Zürich*, 54 S.
- Schütz, J-P. 1997. *Conditions of equilibrium in fully irregular, uneven-aged forests: The state-of-the-art in European Plenter Forests.* Submitted paper. IUFRO Symposium on „Uneven-aged“ Silviculture. Corvallis, Oregon (USA), September, 15-19.
- Silva, J.N.M. 1989. *The behaviour of the tropical rain forest of the Brazilian Amazon after logging.* Oxford, Univ. Diss.
- Silva, J.N.M., J.O.P.Carvalho de, J. Lopes do, B.F. Almeida de, D.H.M. Costa, L.C. Oliveira de, J.K. Vanclay and J.P. Skovsgaard. 1995. *Growth and yield of tropical rain forest in the Brazilian Amazon 13 years after logging.* *For. Ecology and Management* 71:267-274.
- Yue, CH., J. Klädtke und E. Lenk. 1997. *Ein Verfahren zur Bestimmung zielorientierter Gleichgewichtskurven im Plenterwald.* Deutscher Verband, Forstlicher Forschungsanstalten, Sektion Forstliche Biometrie und Informatik. 10. Tagung. Freiburg, 24. - 26. September 1997.