

## Modul 6

# LINEAR PROGRAMMING DALAM PENGATURAN TEBANGAN HUTAN SEUMUR

### Kompetensi yang ditawarkan:

Setelah membaca Modul ini mahasiswa dapat memahami dan memiliki kompetensi penggunaan LP dalam pengaturan tebangan hutan seumur serta memiliki karakter profesionalisme dalam pengelolaan hutan tanaman.

Rencana perkuliahan untuk pertemuan 12 dan 13:

Rencana Perkuliahan 2 x 120 menit	Aktivitas
<b>Pertemuan 12</b>	
Langkah 1 10 menit	Aktivitas: menjelaskan kompetensi yang akan dicapai dan menyepakati perubahan yang diperlukan sesuai hasil refleksi pembelajaran. <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Menjelaskan hasil dan rekomendasi refleksi pembelajaran yang telah dilaksanakan;</li> <li>2. Mereview materi modul 1 dan hubungannya dengan modul 2.</li> </ol>
Langkah 2 90 menit	Aktivitas: memahami konsep ekonomi konversi hutan dan nilai lahan kosong. <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mahasiswa dibagi kedalam dua kelompok diskusi, yaitu kelompok ekonomi konversi lahan dan kelompok nilai lahan kosong;</li> <li>2. Masing-masing kelompok membaca dengan cepat bagian modul yang relevan dengan tugas masing-masing;</li> <li>3. Masing-masing kelompok mengutarakan ide dan gagasan mereka yang relevan dengan tugas masing-masing.</li> </ol>
Langkah 3 20 menit	Aktivitas: membuat rangkuman hasil diskusi.
<b>Pertemuan 13</b>	
Langkah 1 100 menit	Aktivitas: menjelaskan rotasi optimum dan ekonomi tegakan hutan. <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mahasiswa dibagi kedalam dua kelompok diskusi, yaitu kelompok rotasi optimum dan kelompok ekonomi tegakan hutan;</li> <li>2. Setiap kelompok menginisiasi diskusi sesuai tema masing-masing.</li> </ol>
Langkah 2 10 menit	Aktivitas: membuat rangkuman. Semua kelompok secara bersama-sama merangkum hasil diskusi.
Langkah 3 10 menit	Aktivitas: refleksi pembelajaran. Mahasiswa secara bersama sama mengisi kusioner refleksi yang tersedia kemudian merumuskan rekomendasi perbaikan proses pembelajaran berikutnya.

### A. Konversi Hutan

Merencanakan jadwal penebangan yang akan dilakukan pada suatu kawasan hutan merupakan salah satu tugas penting seorang menejer kehutanan. Salah satu tujuan utama kehutanan hingga saat ini adalah menghasilkan kayu. Bahkan hal ini sering

menjadi tujuan dominan industri kehutanan. Namun demikian pada hutan negara atau hutan publik, keseimbangan antara kayu, rekreasi, dan air serta kehidupan liar merupakan suatu yang sangat diperlukan. Dalam pengelolaan hutan, tujuan memproduksi hasil hutan non kayu merupakan kendala untuk memproduksi hasil hutan kayu. Oleh sebab itu sangat penting untuk menyusun jadwal produksi kayu dengan cara yang paling baik.

Menejemen hutan seumur artinya menejemen hutan yang terdiri atas tegakan seumur. Sebuah tegakan seumur terdiri atas pohon-pohon yang berasal dari waktu yang hampir bersamaan, baik secara alami maupun buatan. Sebuah tegakan memiliki waktu tebang yang sama, artinya dimana semua pohon yang ada pada tegakan tersebut ditebang. Menebang secara keseluruhan pohon pada suatu tebang disebut tebang habis (*clear cut*).

Regenerasi pada tegakan seumur dapat dilakukan melalui penanaman (buatan) atau secara alami (benih). Contoh, dalam sistem *shelter* beberapa pohon besar tidak ditebang sehingga dapat menghasilkan biji dan melindungi pertumbuhan anakan alam. Regenerasi secara alami akan terjadi beberapa tahun sejak tahun pertama (*initial planting* atau *initial seedling*). Namun demikian pada umur tertentu perlu dilakukan penjarangan (*thinning*) untuk memperoleh tegakan seumur di akhir periode.

Hutan seumur terdiri atas mosaik tegakan seumur atau seukuran. Tegakan ini disebut “unit menejemen“ atau “kompartmen“. Ukuran untuk setiap unit harus memadai sehingga praktek pengelolaan dapat dilakukan dengan baik.

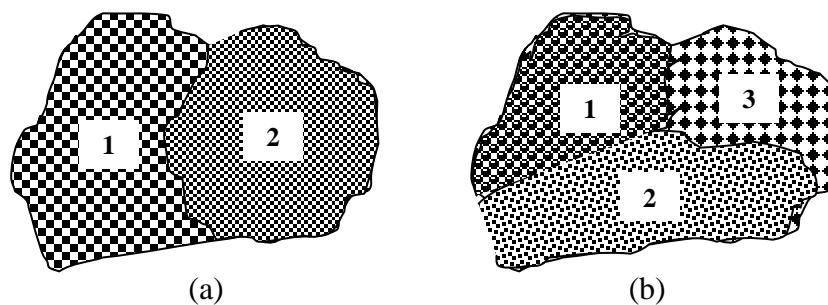
Pengelolaan hutan seumur digunakan secara meluas. Banyak jenis-jenis komersial yang bernilai memperlihatkan pertumbuhan yang terbaiknya pada kondisi dimana dapat diperoleh banyak sinar matahari. Kemudian dari pada itu pengelolaan hutan seumur memiliki banyak kelebihan-kelebihan yang bersifat ekonomi. Persiapan areal dan penanaman dapat dilakukan secara ekonomis pada areal yang luas dengan menggunakan alat-alat berat dan api. Regenerasi buatan memudahkan bagi menejer untuk mengawasi kualitas pohon dengan memilih pohon-pohon yang terbaik. Oleh karena pohon-pohon tumbuh dengan kondisi yang sama sehingga memperlihatkan ukuran yang kurang lebih sama. Hal tersebut akan memudahkan dalam melakukan penebangan dengan menggunakan mesin-mesin, bahkan sangat bermanfaat pada proses pengelolaan produk di industri

penggajian atau industri pulp. Ongkos logging lebih murah pada sistem tebang habis bila dibandingkan dengan sistem tebang pilih karena penebangan dengan sistem mekanis lebih mudah dilakukan.

### 1. Contoh Konversi Hutan

Suatu ilustrasi kawasan hutan yang terdiri atas dua kompartmen (Gambar VI-1a). Kompartmen 1 memiliki areal seluas 120 hektar, sedangkan kompartmen 2 seluas 180 hektar. Kedua kompartmen merupakan hutan campuran yang memiliki perbedaan hanya pada kondisi tanah dan pertumbuhan pohon dimana pada kompartmen 2 pertumbuhan pohon lebih baik dari pada pertumbuhan pohon pada kompartmen 1.

Tujuan yang ingin dicapai oleh pemilik hutan tersebut adalah ingin mengkonversi hutan campuran menjadi hutan tanaman pinus dengan jangka waktu pengelolaan selama 15 tahun. Sehingga dengan demikian pada akhir periode, pada tahun ke 15, diperoleh hutan teratur dengan umur rotasi adalah 15 tahun. Dengan kata lain pada tahun ke 15, sepertiga dari luas hutan terdiri atas tegakan berumur 0 sampai 5 tahun, sepertiga kedua terdiri atas tegakan berumur 6 sampai 10 tahun, dan sepertiga ketiga terdiri atas tegakan berumur 11 sampai 15 tahun. Sehingga ilustrasi hutan tanaman tersebut dapat dilihat pada Gambar VI-1b.



Gambar VI-1. Hutan campuran (a) dengan dua kelas umur yang dikonversi menjadi hutan tanaman pinus (b) dengan tiga kelas umur.

Tujuan akhir dari pemilik hutan yang diilustrasikan di atas adalah ingin memaksimalkan jumlah kayu yang akan diproduksi dari hutan tersebut selama periode konversi hutan dengan tidak melakukan penebangan terhadap tegakan pinus sebelum tahun ke 15.

## 2. Formulasi Model

### 2.1. Menentukan Variabel

Persoalan penjadwalan penebangan berhubungan dengan keputusan bagaimana kita menentukan *kapan*, *dimana*, dan *berapa banyak* kayu yang ditebang sehingga semua tujuan pengelolaan dapat tercapai. Oleh karena dalam contoh ini kita menggunakan sistem silvikultur hutan seumur maka variabel yang kita tentukan harus mencerminkan luasan areal yang ditebang. Secara matematis dapat kita tulis  $X_{i,j}$  untuk mengungkapkan areal yang ditebang dari kompartmen inisial  $i$  dan dalam periode  $j$ , dimana  $i$  dan  $j$  adalah bilangan bulat. Disini,  $i$  dapat memiliki nilai 1 atau 2 karena hanya ada dua kompartmen pada kondisi awal hutan. Agar jumlah variabel tidak banyak, sebaiknya kita menentukan unit waktu lebih lama dari satu tahun, katakanlah pada contoh ini adalah 5 tahun. Dengan demikian  $j$  memiliki nilai 1, 2 dan 3, artinya ada 3 unit waktu lima tahunan.

Sehingga dengan demikian semua kemungkinan jadwal pemanenan pada kompartmen 1 dapat didefinisikan oleh tiga variabel, yaitu:  $X_{1,1}$  ,  $X_{1,2}$  ,  $X_{1,3}$  , demikian juga pada kompartmen 2 dapat dituliskan:  $X_{2,1}$  ,  $X_{2,2}$  ,  $X_{2,3}$ .

### 2.2. Kendala

Seperangkat kendala pertama dapat dirumuskan berdasarkan informasi faktual tentang luas hutan yang dikonversi sesuai dengan perencanaan yang dibuat. Dengan demikian pada kompartmen inisial pertama kita memiliki:

$$X_{1,1} , X_{1,2} , X_{1,3} = 120 \text{ hektar}$$

dan pada kompartmen inisial kedua kita miliki:

$$X_{2,1} , X_{2,2} , X_{2,3} = 180 \text{ hektar.}$$

Seperangkat kendala kedua menjelaskan tentang sekuensi luasan hutan yang akan ditebang sehingga diperoleh hutan yang dapat diatur pada akhir tahun ke 15. Untuk mencapai ini, maka luas yang harus ditebang adalah sepertiga dari luas total hutan dalam setiap lima tahun, kemudian menanamnya dengan pohon pinus. Sehingga, sehubungan dengan variabel yang telah ditentukan sebelumnya, selanjutnya dapat ditulis:

$$X_{1,1} + X_{2,1} = \frac{180 + 120}{3} = 180 \text{ hektar}$$

Luasan 180 hektar itulah yang ditebang (dikonversi) selama lima tahun pertama dan dengan penanaman pohon pinus maka areal tersebut akan memiliki tegakan pinus berumur 11 hingga 15 tahun di akhir masa konversi (tahun ke 15). Sama halnya dengan periode lima tahun pertama tersebut, periode lima tahun kedua kita harus mengkonversi:

$$X_{1,2} + X_{2,2} = 100 \text{ hektar}$$

dan selama periode lima tahun ketiga diperoleh:

$$X_{1,3} + X_{2,3} = 100 \text{ hektar}$$

### 2.3. Fungsi Tujuan

Satu fungsi tujuan dalam contoh ini adalah memaksimalkan total jumlah kayu campuran yang diperoleh selama periode konversi. Dengan demikian fungsi tujuan mengekspresikan jumlah kayu yang ditebang dalam bentuk  $X_{i,j}$ . Oleh karena ekspresi tersebut sebenarnya menggambarkan luasan areal yang ditebang, maka kita membutuhkan data tentang potensi hutan campuran yang tentunya diperoleh dari kegiatan inventarisasi yang dilakukan disetiap kompartmen. Data tambahan ini dapat dilihat pada Tabel VI-1 sebagai berikut:

Tabel VI-1. Hasil yang diproyeksikan oleh setiap kompartmen dan lima tahunan periode manajemen

Kompartmen		Kubik per Hektar		
No	Luas (ha)	Periode I	Periode II	Periode III
1	120	16	23	33
2	180	24	32	45

Dengan data di atas, selanjutnya kita dapat mengekspresikan fungsi tujuan dalam bentuk fungsi linear dari variabel-variabel yang telah ditentukan. Total output hasil konversi hutan selama 15 tahun pengelolaan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Z = 16X_{1,1} + 23X_{1,2} + 33X_{1,3} + 24X_{2,1} + 32X_{2,2} + 45X_{2,3} \text{ kubik}$$

dimana  $16X_{1,1} + 23X_{1,2} + 33X_{1,3}$  merupakan ekspresi kubikasi hutan campuran dari kompartmen I dan yang sisanya dihasilkan dari kompartmen II.

Dengan cara yang sama, kita bisa menghitung jumlah kubikasi produksi selama satu dari tiga periode dalam bentuk variabel-variabel yang telah ditentukan. Sebagai contoh, jumlah kubikasi produksi pada lima tahun terakhir adalah  $33X_{1,3} + 45X_{2,3}$ .

Secara ringkas dapat dituliskan model yang mengekspresikan persoalan yang diangkat dalam contoh ini sebagai berikut:

$$Z = 16X_{1,1} + 23X_{1,2} + 33X_{1,3} + 24X_{2,1} + 32X_{2,2} + 45X_{2,3}$$

Subjek kepada:

$$\begin{array}{rcl} X_{1,1} + X_{1,2} + X_{1,3} & & = 120 \\ & X_{2,1} + X_{2,2} + X_{2,3} & = 180 \\ X_{1,1} & + X_{2,1} & = 100 \\ & X_{1,2} + X_{2,1} & = 100 \\ & X_{1,3} & + X_{2,3} = 120 \end{array}$$

Cara terbaik menyajikan model di atas diperlihatkan oleh Tabel VI-2. Format ini memberikan semua informasi yang dibutuhkan oleh hampir semua program komputer. Setiap kolom memiliki nama (merupakan variabel), dan setiap baris juga memiliki nama. Dengan cara ini, posisi setiap koefisien pada tabel didefinisikan oleh nama kolom dan baris.

Tabel VI-2. Tabel Linear Programming untuk Contoh Konversi Hutan Campuran

	$X_{1,1}$	$X_{1,2}$	$X_{1,3}$	$X_{2,1}$	$X_{2,2}$	$X_{2,3}$	
Z	16	23	33	24	32	45	
KOMP1	1	1	1				= 120
KOMP2				1	1	1	= 180
AGK1	1			1			= 100
AGK2		1			1		= 100
AGK3			1			1	= 100

### 3. Solusi

Solusi dari model yang telah dibahas pada bagian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel VI-3 dan Tabel VI-4. Tabel pertama memperlihatkan urutan penebangan yang bertujuan memaksimalkan kubikasi kayu yang ditebang dalam periode konversi hutan campuran.

Data pada Tabel VI-3 mengekspresikan areal tebangan pada setiap kompartmen dan periode. Sebagai contoh, 100 hektar kompartmen I ditebang selama periode lima tahun pertama dan 20 hektar lainnya ditebang selama periode lima tahun berikutnya. Kita sebaiknya mulai menebang pada kompartmen II hanya pada periode kedua, menebang 80 hektar sisanya dan menyelesaikan kompartmen di periode terakhir.

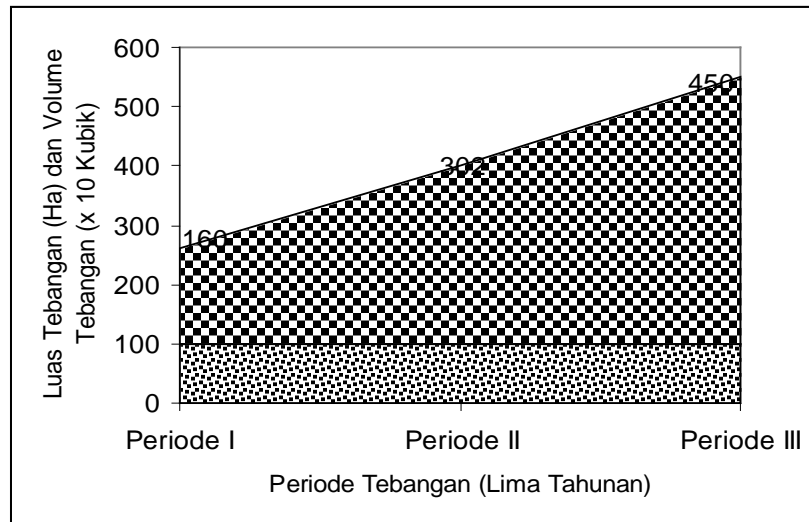
Tabel VI-3. Rencana penebangan untuk memaksimalkan perolehan dalam kubikasi: data luas

Kompartmen	Hektar per Periode			Total Hektar
	1	2	3	
1	100	20	0	120
2	0	80	100	180
Total	100	100	100	300

Tabel VI-4. Rencana penebangan untuk memaksimalkan perolehan dalam kubikasi: data kubikasi

Kompartmen	Kubik per Periode			Total Kubik
	1	2	3	
1	1600	400	0	2060
2	0	2560	4500	7060
Total	1600	3020	4500	9120

Kolom total memperlihatkan dengan jelas bahwa setiap periode lima tahunan terdapat seluas 100 hektar hutan yang ditebang untuk mengkonversi hutan campuran menjadi hutan tanaman pinus. Perlu dicatat bahwa pada akhirnya terdapat tiga kelas umur tegakan yang tumbuh di hutan dengan produktivitas yang berbeda seperti pada Gambar VIII-1b. Oleh karena itu pengaturan yang telah dibuat dengan cara yang telah dijelaskan ini tidak memberikan jaminan bahwa hasil periodik dari hutan tanaman nantinya bersifat konstan.



Gambar VI-2. Luas tebangan dan volume tebangan pada konversi hutan.

Tabel VI-4 dan Gambar VI-2 memperlihatkan kubikasi kayu yang ditebang dari setiap kompartmen hutan menurut periode. Volume total yang dihasilkan oleh hutan sebanyak 9120 kubik yang merupakan jumlah maksimum yang dapat dihasilkan. Namun demikian perlu diketahui bahwa bukan hanya cara ini yang dapat dilakukan sebagaimana teori LP menjelaskan bahwa solusi yang kita peroleh mungkin hanya salah satu dari solusi yang mungkin.

#### 4. Memaksimumkan Present Value

Kolom total pada Tabel VI-4 memperlihatkan peningkatan produksi dari 1600 kubik pada lima tahun pertama menjadi 3020 kubik pada lima tahun kedua dan 4500 kubik pada lima tahun terakhir. Hal ini terjadi mungkin karena hal inilah yang dikehendaki oleh pemiliknya. Tetapi bagi orang yang ingin menjual kayu demi keuntungan, maka biasanya ia cenderung memproduksi kayu lebih banyak di awal periode dan menginvestasikan hasil penjualan tersebut pada usaha-usaha yang memiliki *rate of return* yang lebih baik.

Linear programming yang telah kita gunakan pada pembahasan sebelumnya dapat digunakan untuk menentukan rencana penebangan yang dapat lebih menguntungkan. Untuk melakukan hal ini, fungsi tujuan harus diubah. Koefisien dari variabel harus mengekspresikan *present value* dari pohon yang ditebang pada setiap hektar lahan dan pada setiap waktu periode.



Oleh karena kayu yang dihasilkan homogen, maka harganya akan sama. Di sini juga diasumsikan bahwa harga kayu akan sama sepanjang periode. Dengan demikian di sini kita katakan bahwa harga kayu per meter kubik adalah Rp 1 juta.

Perhitungan akan dilakukan dengan menggunakan tingkat suku bunga (*discount rate*) 5% per tahun. Kubikasi kayu yang ditebang dihitung dipertengahan lima tahunan. Contoh, satu hektar dari kompartmen II pada periode 3 menghasilkan present value:

$$\frac{45}{(1 + 0,05)^{12,5}} = \text{Rp } 24,5 \text{ juta per hektar}$$

Hasil tersebut menjadi koefisien  $X_{2,3}$  dalam fungsi tujuan. Sehingga ekspresi akhir dari fungsi tujuan adalah sebagai berikut:

$$Z = 14,2X_{1,1} + 16X_{1,2} + 17,9X_{1,3} + 21,2X_{2,1} + 22,2X_{2,2} + 24,5X_{2,3}$$

Strategi penebangan optimal yang baru dapat dilihat pada Tabel VI-5 berikut:

Tabel VI-5. Rencana pemanenan yang memaksimumkan present value: data volume

Kompartmen	Kubik per periode			Total Kubik
	1	2	3	
1	0	2300	660	2960
2	2400	0	3600	6000
Total	2400	2300	4260	8960

## B. Pengaturan Berdasar Volume dan Luas

Konsep pengaturan berdasar volume dan luas didasarkan kepada model hutan teratur (*regulated forest*). Katakanlah A merupakan sebuah hutan. Hutan ini dikatakan teratur bila terdiri atas, katakanlah r blok yang memiliki luas yang sama dimana setiap  $A/r$  merupakan tegakan seumur. Oleh karena itu bila unit waktu adalah 1 tahun, maka kelas umur termuda terdiri atas pepohonan berumur 0 hingga 1 tahun, kemudian kelas umur tertua berikutnya terdiri atas pohon-pohon berumur

1 hingga 2 tahun, dan seterusnya dengan catatan bahwa umur tegakan yang lebih tua terdiri atas pohon-pohon dengan umur  $r-1$  hingga  $r$  tahun.

Setiap tahun kelas umur tertua ditebang, diawali dengan pohon-pohon yang berumur paling tua. Dengan alasan itulah maka  $r$  juga dikatakan sebagai *umur rotasi*. Katakanlah  $V_r$  adalah volume per hektar kayu dalam meter kubik pada kelas umur tertua. Maka produksi tahunan hutan teratur adalah:

$$Q_r = \frac{A}{r} \times V_r$$

$$(m^3/th) \quad (ha/th) \quad (m^3/ha)$$

Dengan rumus di atas kita dengan mudah dapat menentukan rotasi yang terbaik, atau paling tidak menentukan rotasi yang dapat memaksimumkan produksi kayu tahunan. Rotasi optimum merupakan umur tegakan dimana riap tahunan rata-rata bernilai paling besar.

Pengelolaan berdasarkan luas (*area control*) didasarkan kepada observasi yang mengatakan bahwa luas area yang harus ditebang adalah  $y(A/r)$  hektar. Selanjutnya metode ini menginginkan agar luasan yang ditebang dalam satu periode yang terdiri atas beberapa ( $y$ ) tahun adalah  $y(A/r)$ .

Pengelolaan berdasarkan volume menggunakan prinsip-prinsip pengelolaan berdasarkan luas dalam mengatur volume tegakan. Baik metode luas maupun metode volume, keduanya memberikan gambaran yang cukup jelas dalam pengaturan hasil hutan berupa kayu. Metode luas biasanya cocok digunakan pada hutan dengan potensi kayu yang kecil, atau jumlah pohon yang tidak banyak. Sehingga dengan demikian metode volume lebih cocok diterapkan pada hutan dengan kondisi pertumbuhan pohon yang baik.

### 1. Contoh: Mengoptimalkan Hasil Hutan Tanaman

Sebuah contoh 500 hektar hutan pinus yang terdiri atas dua kelas umur, yaitu 200 hektar tegakan pinus dengan pohon-pohon berumur 21 hingga 25 tahun dan sisanya 300 hektar terdiri atas tegakan pinus dengan pohon-pohon berumur 41 hingga 45 tahun.

Pemilik hutan pinus tersebut ingin memaksimalkan volume kayu yang dihasilkan selama 15 tahun ke depan. Selain itu jumlah kayu yang tersedia harus meningkat secara teratur sebesar 10% setiap 5 tahun. Silvikultur yang digunakan adalah pola hutan seumur, yaitu tebang habis yang diikuti oleh penanaman. Rencana awal adalah ingin menggunakan pengaturan berdasarkan luas, tetapi perlu juga ditelaah konsekuensi menggunakan Metode Volume.

### Formulasi Model

#### 1) Menentukan Variabel

Sebagaimana yang telah kita fahami bahwa model yang baik adalah model yang sifatnya sederhana. Oleh sebab itu agar jumlah variabel relatif kecil maka kita buat jumlah tahun dalam satu periode cukup besar. Di sini katakanlah lima tahun dalam satu periode, sehingga variabel yang akan digunakan dapat dituliskan:  $X_{1,1}$ ,  $X_{1,2}$ ,  $X_{1,3}$ ,  $X_{2,1}$ ,  $X_{2,2}$ ,  $X_{2,3}$ . Notasi tersebut menjelaskan dua kompartmen hutan dan tiga periode tebangan lima tahunan.

#### 2) Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan mengekspresikan total volume kayu yang ditebang selama 15 tahun. Untuk membangun model, kita butuhkan data tentang volume tegakan pada setiap kompartmen dan yang akan ditebang pada setiap periode. Data tersebut diperoleh dari hasil inventarisasi sehingga kita dapat menyajikannya seperti pada Tabel VI-5.

Tabel VI-6. Volume tegakan pinus berdasarkan kompartmen dan periode tebangan

Kompartmen	Volume ( $100\text{m}^3 / \text{ha}$ )		
	Periode I	Periode II	Periode III
1	1,2	2,3	2,5
2	3,1	3,2	3,5

Dengan menggunakan data pada Tabel di atas, selanjutnya dapat dituliskan model:

$$Z = 1,2X_{1,1} + 2,3X_{1,2} + 2,5X_{1,3} + 3,1X_{2,1} + 3,2X_{2,2} + 3,5X_{2,3} \quad (100\text{m}^3).$$

Tujuan dari persoalan ini adalah menemukan nilai variabel yang dapat memaksimalkan nilai fungsi dengan mempertimbangkan kendala-kendala yang mengekspresikan tujuan-tujuan manajemen lainnya dan jumlah sumberdaya yang dapat digunakan.

Terdapat tiga jenis kendala dalam model, yaitu kendala yang berhubungan dengan luas lahan hutan yang terbatas, kendala yang kedua berhubungan dengan pola produksi yang diinginkan selama perencanaan, dan kendala yang ketiga berhubungan dengan pola pengelolaan: berdasarkan luas atau volume.

### 3) Kendala Ketersediaan Lahan

Luas lahan yang ditebang pada setiap kompartmen tidak boleh melebihi luas hutan yang tersedia.

$$X_{1.1} + X_{1.2} + X_{1.3} \leq 200 \text{ hektar untuk kompartmen I dan}$$

$$X_{2.1} + X_{2.2} + X_{2.3} \leq 300 \text{ hektar untuk kompartmen II}$$

### 4) Kendala Produksi

Kendala ini mengekspresikan kenyataan bahwa jumlah kayu yang diproduksi oleh hutan harus meningkat secara teratur paling tidak 10% setiap lima tahun. Katakanlah  $V_1$ ,  $V_2$ , dan  $V_3$  adalah jumlah kayu yang ditebang selama periode lima tahunan pertama, kedua, dan ketiga. Sehingga pola produksi yang dapat mencapai tujuan pengelolaan yang memuaskan adalah:

$$V_2 = 1,10 V_1 \quad \text{dan} \quad V_3 = 1,10 V_2$$

Ekspresi  $V_1$ ,  $V_2$  dan  $V_3$  dalam bentuk variabel adalah

$$V_1 = 1,2 X_{1.1} + 3,1 X_{2.1}$$

$$V_2 = 2,3 X_{1.2} + 3,2 X_{2.2}$$

$$V_3 = 2,5 X_{1.3} + 3,5 X_{2.3}$$

Sehingga dengan demikian ekspresi akhir dari kendala produksi dapat dituliskan sebagai berikut:

$$2,3 X_{1,2} + 3,2 X_{2,2} = 1,1(1,2X_{1,1} + 3,1 X_{2,1})$$

dan

$$2,5 X_{1,3} + 3,5 X_{2,3} = 1,1(2,3X_{1,2} + 3,2X_{2,2})$$

atau dapat ditulis dengan cara yang lebih kompak:

$$2,3 X_{1,2} + 3,2 X_{2,2} - 1,3X_{1,1} - 3,4 X_{2,1} = 0$$

dan

$$2,5 X_{1,3} + 3,5 X_{2,3} - 2,5 X_{1,2} - 3,5 X_{2,2} = 0$$

#### 5) Kendala Kontrol Area

Bila hutan dikelola dengan menggunakan sistem kontrol area, maka hanya fraksi  $t/r$  dari total luas area hutan yang dapat ditebang sepanjang durasi penebangan yang telah direncanakan, dimana  $r$  adalah umur rotasi, yaitu pada contoh ini adalah 15 tahun.

Oleh karena tujuan pengelola adalah ingin memaksimalkan volume kayu yang dihasilkan oleh hutan, maka nilai yang sesuai dari rotasi adalah umur yang memaksimalkan riap tahunan. Untuk hutan tanaman pinus pada site 70, riap maksimum terjadi pada umur 30 tahun. Maka produktivitas diperkirakan sebesar  $83,3 \text{ m}^3/\text{hektar}/\text{tahun}$ .

Dengan umur rotasi ini, maka maksimum banyaknya volume yang ditebang dari hutan pinus dengan menggunakan kontrol area adalah

$$500 \times (15/30) = 250 \text{ hektar.}$$

Sehingga ekspresi kendala kontrol area dapat dituliskan sebagai berikut:

$$X_{1,1} + X_{1,2} + X_{1,3} + X_{2,1} + X_{2,2} + X_{2,3} \leq 250 \text{ hektar}$$

#### 6) Kendala Kontrol Volume

Bila kita memilih sistem kontrol volume dalam pengelolaan hutan, maka sepertiga puluh dari volume tegakan dapat ditebang selama tahun rata-rata dari perencanaan, yaitu setengah dari volume dalam 15 tahun.

### C. Model Dinamis Hutan Seumur

Model yang telah dijelaskan sebelumnya tidak menjelaskan tentang bagaimana melakukan penebangan sebanyak dua kali pada suatu areal hutan. Akibatnya fungsi tujuan hanya dipengaruhi oleh tebangan terhadap tegakan yang ada pada perencanaan awal. Tegakan baru yang muncul dari kegiatan penanaman setelah penebangan tidak dibicarakan dalam pembuatan solusi. Artinya potensi produktivitas diacukan dalam konsep tersebut.

Dengan menggunakan pendekatan Model Dinamis maka tegakan muda yang dihasilkan oleh teknik penebangan dan jadwal reforestasi dapat dijadwalkan dan dipertimbangkan dalam produktivitas jangka panjang hutan dan nilainya. Oleh karena itu semakin panjang horison perencanaan, maka semakin penting untuk mempertimbangkan pengaruh regenerasi hutan dalam kriteria pengelolaan. Memang model yang telah dipelajari sebelumnya merupakan model untuk aplikasi perencanaan jangka pendek (15 hingga 50 tahun). Perencanaan jangka panjang dalam pengelolaan hutan biasanya berkisar 100 tahun. Dengan jangka panjang seperti itu maka Model Dinamis dibutuhkan, artinya ketika tegakan muda dapat dipanen atau ditebang untuk menghasilkan kayu maka seharusnya dapat dihasilkan tegakan muda yang lebih banyak untuk mencapai tujuan pengelolaan selama periode perencanaan. Model Dinamis dikembangkan oleh Nautiyal dan Pearse (1967). Model Dinamis menggambarkan kondisi hutan pada akhir perencanaan.

Untuk membahas Model Dinamis maka di sini diberikan contoh ilustrasi sebuah hutan pinus yang terdiri atas dua kompartimen yang berbeda. Lahan pada kedua kompartimen memiliki kualitas yang sama. Kompartimen pertama seluas 100 hektar yang ditumbuhi tegakan pinus berumur 1 hingga 10 tahun, sedangkan kompartimen kedua dengan luas 200 hektar ditumbuhi tegakan dengan umur 11 hingga 20 tahun.

Pemilik hutan ingin mempertahankan kepemilikannya dalam jangka panjang yang tak tentu. Oleh karena itu semua konsekuensi yang muncul dari pengelolaan hutan harus diprediksi.

### 1. Model Pertumbuhan

Pada Model Dinamis hutan seumur, hutan didefinisikan oleh luas pada setiap kelas umur. Kelas umur dapat berdekatan atau terpisah jauh dalam suatu wilayah hutan. Prosedur silvikultur yang dapat dilakukan adalah tebang habis sebagian atau keseluruhan kelas umur yang kemudian diikuti secepatnya oleh kegiatan penanaman pohon-pohon berjenis sama.

Variabel dalam model ini biasanya ditulis  $X_{i,j}$ , artinya luasan yang ditebang dari kelas umur  $j$  pada periode  $i$ .  $j$  tidak menunjukkan suatu kompartimen yang spesifik dengan lokasi geografis yang pasti, misalnya  $X_{3,4}$  dan  $X_{1,4}$  berarti bahwa penebangan dilakukan untuk tegakan kelas 4 pada periode 3 dan 1. Di sini lokasi penebangan tidak disebutkan secara spesifik. Hal ini dilakukan agar variabel yang dilibatkan tetap sedikit dan waktu yang digunakan cukup panjang dalam memodelkan kelas umur dan periode tebang. Dalam contoh ini akan digunakan 10 tahun. Namun demikian,  $X_{3,4}$  berarti penebangan dilakukan pada dekade ketiga, yaitu tahun ke 21 hingga ke 30 setelah awal perencanaan penebangan pada area yang memiliki pepohonan dengan kelas umur 4 yaitu pohon-pohon yang berumur 31 hingga 40 tahun. Dengan menggunakan variabel ini dan dengan kondisi inisial hutan maka sekarang memungkinkan untuk menghitung area pada masing-masing kelas umur pada setiap titik waktu di masa yang akan datang.

Untuk contoh yang telah diutarakan di atas dijelaskan bahwa kondisi hutan pada awal perencanaan adalah bahwa terdapat 100 hektar hutan dengan tegakan kelas umur 1 dan 200 hektar hutan dengan tegakan kelas umur 2. Selama dekade pertama,  $X_{1,1}$  hektar hutan ditebang dari kelas umur 1 dan  $X_{1,2}$  hektar hutan ditebang dari kelas umur 2. Sehingga total luas hutan yang ditebang pada dekade pertama adalah  $X_{1,1} + X_{1,2}$ . Hal ini akan membuat kelas umur 1 pada awal dekade kedua. Pada saat yang bersamaan, tegakan yang disisakan oleh kelas umur 1,  $100 - X_{1,1}$ , telah menjadi kelas umur 2 dan tegakan yang disisakan oleh kelas umur 2,  $200 - X_{1,2}$  telah menjadi kelas umur 3.

Tabel VI-7. Deskripsi proses tebangan dan pertumbuhan pada hutan seumur

Dekade	Kelas Umur				
	1	2	3	4	5
1. Stok Tebang	100 $X_{1,1}$	200 $X_{1,2}$			
2. Stok Tebang	$X_{1,1} + X_{1,2}$ $X_{2,1}$	$100 - X_{1,1}$ $X_{2,2}$	$200 - X_{1,2}$ $X_{2,3}$		
3. Stok Tebang	$X_{2,1} + X_{2,2} + X_{2,3}$ $X_{3,1}$	$X_{1,1} + X_{1,2} - X_{3,2}$ $X_{3,2}$	$100 - X_{1,2} - X_{2,2}$ $X_{3,3}$	$200 - X_{1,2} - X_{2,3}$ $X_{3,4}$	
4. Stok	$X_{3,1} + X_{3,2} + X_{3,3} + X_{3,4}$	$X_{2,1} + X_{2,2} + X_{2,3} - X_{3,1}$	$X_{1,1} + X_{1,2} - X_{2,1} - X_{3,2}$	$100 - X_{1,1} - X_{2,2} - X_{3,3}$	$200 - X_{1,2} - X_{2,3} - X_{3,4}$

Tabel di atas memperlihatkan perhitungan yang telah dilakukan dengan memperlihatkan kondisi hutan pada awal empat dekade, sebelum penebangan dilakukan. Hasilnya dengan jelas memperlihatkan area pada masing-masing kelas umur pada setiap titik waktu yang merupakan fungsi linear dari kondisi inisial hutan dan tebangan yang telah dibuat. Sebagai contoh, area pada kelas 4 pada awal dekade ke tiga adalah  $200 - X_{1,2} - X_{2,3}$ . Ini adalah sisa dari tegakan yang diinisiasi oleh kelas umur 2. Area pada kelas umur 2 pada awal dekade ke tiga adalah  $X_{1,1} + X_{1,2} - X_{2,1}$  dan ini adalah tegakan yang tidak terdapat atau bukan merupakan hutan inisial yang sudah ada di awal perencanaan, tetapi merupakan hasil reforestasi yang dilakukan sejak awal perencanaan.

## 2. Kondisi Akhir Tegakan

Akan sangat bermanfaat bila kondisi akhir tegakan dapat diperjelas, karena dengan demikian maka nilai tegakan akan dapat ditentukan dengan mudah. Nilai tegakan hutan akan sangat tergantung kepada apa yang dihasilkan oleh tegakan tersebut. Dengan demikian yang kita butuhkan adalah kondisi akhir dari tegakan dan apa yang dihasilkan oleh tegakan tersebut. Hal ini akan disediakan oleh model hutan teratur, yaitu hutan yang diatur dan stok yang tumbuh dan tebangan cenderung konstant secara terus menerus.

Dengan mengetahui kondisi dan nilai tegakan maka manajemen akan dapat memastikan apakah tujuan pemilik hutan benar-benar tercapai atau tidak dalam pengelolaan hutan tersebut. Telah dijelaskan bahwa tujuan dari penebangan adalah ingin mengkonversi hutan menjadi hutan yang memiliki struktur yang lebih teratur sehingga periode dalam perencanaan disebut *periode konversi*. Setelah periode ini



tentunya produksi akan terus berlanjut pada suatu tingkatan yang konstan yang akan ditentukan oleh umur rotasi yang telah ditentukan untuk hutan normal tersebut.

Perlu ditekankan di sini bahwa hutan teratur di akhir periode tidak akan pernah tercapai. Hutan teratur di akhir periode hanya merupakan aturan atau regulasi yang dimaksudkan agar model yang digunakan akan sangat berguna dalam menentukan kondisi akhir tegakan hutan yang dikelola. Sejalan dengan waktu dalam pengelolaan, kondisi pengelolaan akan dapat berubah-ubah, skedul penebangan baru dimungkinkan untuk dibuat sebagai acuan baru, dan tentunya kondisi teratur dapat ditunda.

Meskipun demikian, kondisi akhir hutan seharusnya konsisten dengan tujuan pengelolaan. Sebagai contoh, bila tujuan umum pengelolaan adalah memaksimalkan produksi kayu, maka umur rotasi yang sesuai untuk hutan teratur di akhir periode adalah umur dimana riap tahunan adalah maksimum. Hal ini akan memastikan suatu keadaan yang mantap yang memaksimalkan jumlah kayu yang diproduksi tahun demi tahun pada tahun-tahun setelah periode konversi.

Untuk kasus hutan pinus dengan dua kompartimen, riap tahunan rata-rata maksimum pada umur 30 tahun. Dengan unit waktu yang digunakan maka hal ini berhubungan atau sesuai dengan kelas umur 3 dan dengan hasil kurang lebih 5 ratus meter kubik per hektar.

#### **D. WTP Lahan Kosong**

Lahan hutan seharusnya dikelola dengan melakukan berbagai aktivitas pengelolaan yang dapat menghasilkan NPV terbesar dan dapat memberikan kepuasan kepada pemiliknya. Prinsip dasar ini merupakan sebuah teori yang seharusnya dapat digunakan dalam menentukan banyak hal, termasuk dalam hal menentukan berapa banyak *seedling* yang sebaiknya ditanam dalam satu hektar lahan hutan, berapa banyak pohon yang sebaiknya dipertahankan dan dipelihara dalam satu hektar lahan hutan, apakah penjarangan harus atau tidak harus dilakukan, dan bila dilakukan berapa banyak pohon yang harus ditebang dalam penjarangan tersebut, berapa banyak pupuk yang seharusnya diberikan dalam satu hektar hutan, dan kapan pemanenan hutan dilaksanakan. Persoalan-persoalan tersebut merupakan masalah ekonomi dalam pengelolaan tegakan hutan yang memerlukan keputusan-keputusan ekonomi.

Melakukan analisis ekonomi dalam pengambilan keputusan pengelolaan tegakan hutan, di sini pajak tidak dipertimbangkan, artinya diasumsikan bahwa cash flow dilakukan setelah pajak. Cash flow merupakan nilai harapan (*expected value*), misalnya bila 80% waktu investasi akan menghasilkan \$1000 dan 20% akan menghasilkan \$500 maka nilai harapan adalah  $0,8(1000)+0,2(500)= \$900$ . Menghitung atau menerapkan analisis ekonomi dalam pengambilan keputusan tentang pengelolaan tegakan dilakukan diawal proyek investasi. Data yang digunakan tentunya berasal dari pengalaman-pengalaman atau referensi yang telah ada. Yang terpenting di sini adalah bahwa analisis ekonomi ini harus dilakukan untuk mengetahui NPV sebagai jaminan bagi investor dalam meramalkan kepuasan yang bakal diterimanya sebagai konsekuensi hasil dari investasi yang dilakukan.

Dalam ekonomi pasar bebas, lahan akan dibeli oleh pembeli yang menawarkan harga tertinggi. Katakanlah sebuah hutan di pedalaman (bukan termasuk hutan negara) adalah sebuah lahan yang dapat digunakan untuk pembangunan peternakan, pembangunan hutan seumur untuk memproduksi pulp, atau pembangunan hutan seumur untuk menghasilkan kayu gergajian. Tipe tanah, kelerengan, dan beberapa kondisi juga mengindikasikan bahwa lahan tersebut dapat menguntungkan bila dikembangkan sebagai lahan pertanian. Namun diasumsikan bahwa lahan tersebut cukup terisolasi sehingga tidak ada permintaan untuk menggunakan lahan tersebut sebagai lokasi pemukiman (perumahan), rekreasi, atau penggunaan untuk kepentingan manufaktur.

Katakanlah tiga calon investor yang memproyeksikan ongkos dan perolehan yang berbeda (Tabel VI-8). Oleh karena itu tentunya akan ada beberapa model cash flow yang dapat dibuat untuk kasus ini, dan sekali lagi bahwa tiga jenis cash flow yang digunakan di sini hanyalah merupakan kasus hipotetis.

Tabel VI-8. Tiga Penawaran terhadap Sebuah Lahan Hutan

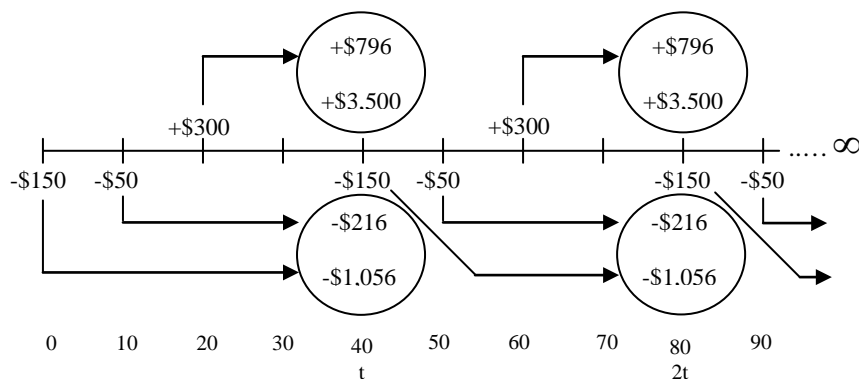
Penawar	Tujuan Penggunaan	Ongkos \$/ha	Penghasilan \$/ha	Harga maksimum \$/ha
1	Hutan seumur untuk menghasilkan kayu gergajian	\$150 reforestasi, sekarang dan setiap 40 tahun. \$50 penjarangan pada tahun ke 10, dan selanjutnya 40 tahun kemudian. \$4 ongkos tahunan	\$3,500 dari pemanenan pada t= 40. \$300 dari penjarangan pada y= 20 dan 40 tahun kemudian.	\$421
2	Hutan seumur untuk menghasilkan kayu pulp	\$150 reforestasi sekarang and t= 20. \$4 ongkos tahunan	\$1000 dari pemanenan setiap t = 20	\$284
3	Peternakan	\$175 penanaman sekarang	\$20/tahun perolehan bersih	\$225

Dari cash flow, investor dapat menghitung NPV yang merupakan harga penawaran investor terhadap lahan hutan sebagaimana yang tercantum pada kolom terakhir dari Tabel VI-8 dengan asumsi minimum acceptable rate of return (MAR) investor adalah 5%.

Bila proyek tersebut di atas bersifat tidak berjangka (*perpetual*) maka untuk proyek hutan tanaman penghasil kayu gergajian akan diperoleh pendapatan p per hektar pada setiap akhir rotasi, yaitu t tahun. Present value pendapatan tersebut ( $V_0$ ) dapat dihitung dengan menggunakan discount rate r dengan menggunakan rumus berikut.

$$V_0 = \frac{P}{(1+r)^t - 1}$$

Dengan menggunakan 5% tingkat suku bunga, garis waktu berikut memperlihatkan nilai p yang merupakan jumlah dari nilai-nilai yang berada dalam lingkaran yang berada pada setiap akhir rotasi (t= 40). Pada garis waktu tersebut p merupakan jumlah dari  $796 + 3500 - 216 - 1056 = \$3.024$ .



Garis waktu tersebut di atas memperlihatkan sebuah seri pengulangan cash flows setiap  $t = 40$  tahunan. Untuk setiap rotasi nilai dicompounded pada 5% tingkat suku bunga untuk  $t - y$  tahun sehingga diperoleh net value  $p$  setiap  $t$  tahun sebagaimana ditunjukkan oleh Tabel VI-9 berikut:

Tabel VI-9. Nilai Compounded Bersih (p) pada Tahun ke 40

Cash Flow	Nilai Compounded t-y tahun ke t= 40 (\$/ha)
Pendapatan dari penjarangan (y= 20)	$+300(1,05)^{20} = +\$796$
Pendapatan dari pemanenan (y= t= 40)	$+\$3.500$
Ongkos reforestasi (y= 0)	$-150(1,05)^{40} = -\$1.056$
Ongkos penjarangan tidak komersial (y= 10)	$-50(1,05)^{10} = -\$216$
Nilai Compounded Bersih (p) Tahun ke 40 = \$3.024	

Nilai Compounded bersih (p) diperoleh dengan menggunakan rumus berikut:

$$p = \sum_{y=0}^t R_y (1+r)^{(t-y)} - \sum_{y=0}^t C_y (1+r)^{(t-y)}$$

Dimana  $R_y$  dan  $C_y$  adalah ongkos dan perolehan. Karena  $p$  terjadi pada setiap  $y$  tahun pada skala proyek tak berjangka, maka persamaan di atas dapat disubstitusikan ke dalam persamaan sebelumnya sehingga menghasilkan rumus untuk mengetahui harga per unit lahan berupa *willingness to pay for land* (WPL) sebagai berikut:

$$WPL_{\infty} = \frac{\sum_{y=0}^t R_y (1+r)^{(t-y)} - \sum_{y=0}^t C_y (1+r)^{(t-y)}}{(1+r)^t - 1} + \frac{a - c}{r}$$

Persamaan tersebut di atas dikenal sebagai “rumus Faustmann” sesuai nama pembuatnya Martin Faustmann (1849). Dalam literatur kehutanan rumus ini disebut “nilai espektasi lahan” (*land expectation value*) atau *soil expectation value* (SEV atau LEV). WPL merupakan NPV lahan hutan yang kosong, yaitu present value dari perolehan akan datang dikurang dengan present value ongkos akan datang, yang dihitung sebelum dilakukannya reforestasi. WPL adalah nilai

maksimum yang investor ingin bayar terhadap lahan hutan yang kosong dengan mempertimbangkan MAR ( $r$ ).

Persamaan di atas dapat dituliskan secara spesifik untuk kasus hutan tanaman untuk memproduksi kayu gergajian sebagai berikut:

$$WPL_{\infty} = \frac{H_t + R_y(1+r)^{t-y} - C_0(1+r)^t - (C_y(1+r)^{t-y}}{(1+r)^t - 1} + \frac{a-c}{r}$$

Dimana  $H_t$  adalah perolehan dari hasil pemanenan pada tahun ke 40,  $R_y$  adalah perolehan dari penjarangan pada tahun ke 20,  $C_0$  adalah ongkos reforestasi, dan  $C_y$  adalah ongkos penjarangan pada tahun ke 10. Dengan demikian WPL hutan untuk produksi kayu gergajian dapat dihitung dengan memasukkan nilai-nilai sebagai berikut:

$$WPL_{\infty} = \frac{3.500 + 300(1,05)^{20} - 150(1,05)^{40} - 50(1,05)^{30}}{(1,05)^{40} - 1} + \frac{4}{0,05} = \frac{3.024}{6,04} = \$421/ha$$

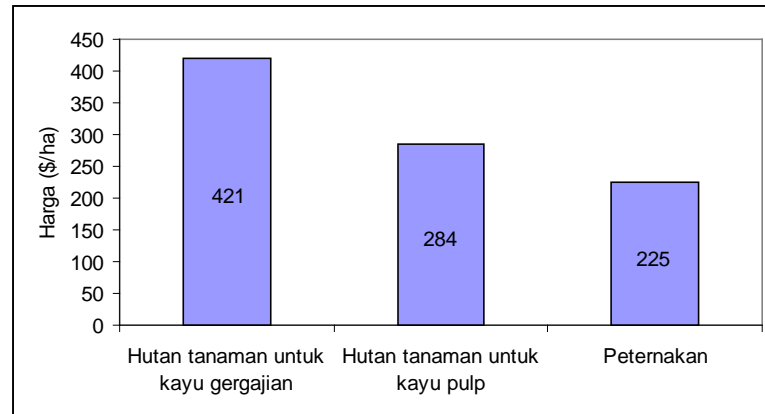
Dengan membayar \$421 per hektar hutan maka diperoleh 5% rate of return atau Internal Rate of Return (IRR), yaitu interest rate dimana NPV = 0. Selanjutnya WPL untuk memproduksi kayu pulp dapat dihitung sebagai berikut:

$$WPL_{\infty} = \frac{1000 - 150(1,05)^{20}}{(1,05)^{20} - 1} - \frac{4}{0,05} = \$284/ha$$

Demikian juga harga penawaran untuk lahan bila akan dikelola untuk pengembangan peternakan dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Harga Penawaran} = \frac{a-c}{r} - C_0 = \frac{20}{0,05} - 174 = \$225/ha$$

Gambar VI-3 memperlihatkan tiga harga penawaran per hektar lahan hutan dengan asumsi tertentu. Oleh karena pemilik lahan cenderung akan menjual lahannya ke pembeli yang menawarkan harga tertinggi maka investor yang akan mengembangkan hutan tanaman untuk memproduksi kayu gergajian akan memenangkan pembelian lahan hutan tersebut. Bila harga \$421 per hektar merupakan harga rata-rata lahan yang serupa, maka harga tersebut merupakan harga pasar atau nilai pasar (*market value*).



Gambar VI-3. Harga penawaran lahan kosong untuk tiga jenis investasi.

Dapat juga terjadi pada pemilik lahan tertentu berkeinginan untuk menjual lahannya setelah panen rotasi pertama. Dengan demikian persamaan IX-2 dapat digunakan dengan melakukan berbagai perubahan atau adaptasi, tentunya bahwa yang akan dihitung adalah hanya rotasi pertama dengan melibatkan present value perolehan dan present value ongkos setiap tahun  $y$ , serta yang terpenting adalah memasukkan nilai pasar (*market value*) lahan kosong ( $L_t$ ) sebagai perolehan setelah pemanenan pada tahun  $t$ . Dengan demikian maka WPL dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$WPL = \sum_{y=0}^t \frac{R_y}{(1+r)^y} - \sum_{y=0}^t \frac{C_y}{(1+r)^y} + \frac{L_t}{(1+r)^t}$$

Oleh karena rumus di atas digunakan untuk menghitung nilai lahan kosong dalam suatu kondisi investasi berjangka (*terminating*), maka tidak perlu dilakukan akumulasi cash flow seperti pada persamaan sebelumnya. Perlu digarisbawahi bahwa pada kondisi persaingan pasar, nilai pasar lahan melewati kontrol pemilik lahan dan bebas dari input-input lainnya. Di sini WPL merepresentasikan NPV untuk satu investor. Perilaku penawaran kolektif dari semua pembeli menentukan nilai pasar dari lahan. Lebih spesifik lagi persamaan tersebut dapat dituliskan sebagai berikut:

$$WPL = \frac{H_t + L_t}{(1+r)^t} + \frac{R_y}{(1+r)^y} - C_0 - \frac{C_y}{(1+r)^y} + \frac{(a-c)(1-(1+r)^{-t})}{r}$$

Persamaan di atas dapat digunakan untuk menghitung data pada Tabel IX-1 dengan asumsi bahwa diharapkan lahan akan terjual \$600 setelah pemanenan pada tahun ke 40, maka:

$$WPL = \frac{3500 + 600}{(1,05)^{40}} + \frac{300}{(1,05)^{20}} - 150 - \frac{50}{(1,05)^{10}} - \frac{4(1 - (1,05)^{-40})}{0,05} = \$446$$

Harga lahan yang dihasilkan di sini (\$446) lebih besar dari pada harga lahan yang dihasilkan dari rencana proyek investasi hutan tanaman penghasil kayu gergajian, yaitu sebesar \$421. Hal ini disebabkan karena harga penjualan lahan \$600 melebihi WPL pada investasi penghasil kayu gergajian.

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi nilai jual lahan hutan adalah sebagai berikut:

- Kualitas tempat tumbuh karena mempengaruhi secara positif volume tegakan sehingga meningkatkan nilai pemanenan, dengan demikian meningkatkan nilai lahan.
- Menguatnya harga kayu menyebabkan harga lahan hutan juga meningkat. Hal ini biasanya disebabkan oleh persaingan industri perkayuan dalam membeli kayu bulat.
- Ongkos pengangkutan kayu dari hutan ke industri. Semakin ongkos lebih besar, semakin rendah harga lahan hutan.
- Faktor fisik lahan yang mempengaruhi ongkos logging. Misalnya lahan hutan yang terjal menyebabkan ongkos logging membesar dan hal ini memperkecil nilai harga lahan.
- Kondisi lahan yang dapat meningkatkan meningginya biaya persiapan lahan. Misalnya kondisi lahan yang bersemakbelukar akan menyebabkan rendahnya harga lahan hutan tersebut karena biaya persiapan, yaitu biaya pemusnahan semak belukar yang tinggi.
- Pajak yang tinggi akan merendahkan harga lahan hutan.

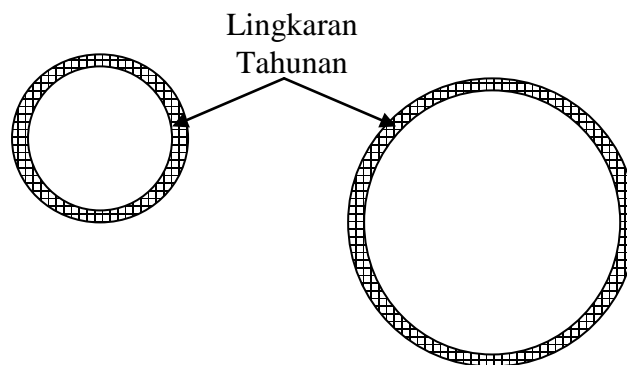
### **E. Umur Rotasi Optimum untuk Hutan Seumur**

Kita dapat menghitung WPLs melalui beberapa cara yang berbeda untuk satu tipe lahan hutan, misalnya hutan tanaman akasia pada kondisi tempat tumbuh tertentu. Menghitung WPLs tentunya harus mempertimbangkan berbagai variabel menejemen seperti jarak tanam, pilihan-pilihan dalam mempersiapkan tempat tumbuh, frekuensi dan intensitas penjarangan, pemupukan, dan penebangan (rotasi).

Rencana manajemen tegakan yang optimum secara ekonomi adalah rencana yang memaksimalkan NPV atau WTP untuk lahan kosong sebelum aforestasi.

Pada pembahasan ini kita hanya akan mempertimbangkan rotasi sebagai variabel manajemen. Katakanlah terdapat dua umur tebangan yang ekstrim bagi sebuah tegakan hutan, yaitu: (1) menebang pohon-pohon jauh lebih awal dimana pohon-pohon yang ditebang masih berdiameter sangat kecil sehingga tidak menghasilkan revenue; (2) menunggu hingga waktu yang sangat panjang sehingga potensi revenue dari tahun ke tahun menjadi stagnan, bahkan terjadi penurunan oleh karena matinya beberapa pohon yang telah tua. Pada kedua kasus tersebut, WPL akan kurang dari maksimum. Bila kita menghitung WPL dengan menggunakan umur rotasi yang berbeda antara kasus ekstrim tersebut, maka WPL akan meningkat dan mencapai maksimum pada umur tebangan optimum dan kemudian akan menurun lagi. Hal ini terjadi karena setelah melebihi umur rotasi optimum, nilai tingkat pertumbuhan hutan akan jatuh di bawah minimum rate acceptable rate of return (MAR) pemilik hutan.

Gambar VI-4 di bawah memperlihatkan kemunduran nilai pertumbuhan sebagai hasil bagaimana pohon tersebut tumbuh. Area yang diarsir merepresentasikan lingkaran pertumbuhan tahunan dengan ketebalan yang sama. Kita bisa melihat bahwa lingkaran pertumbuhan pada kayu berukuran besar memiliki persentase yang lebih kecil dari luas penampang kayu bila dibandingkan dengan lingkaran pertumbuhan pada kayu berukuran yang lebih kecil. Dengan demikian lingkaran pertumbuhan dengan ketebalan sama akan memiliki persentase yang lebih kecil terhadap volume pohon ketika pohon tersebut semakin tua. Artinya, nilai pertumbuhan pohon juga akan menurun seiring dengan menurunnya umur.

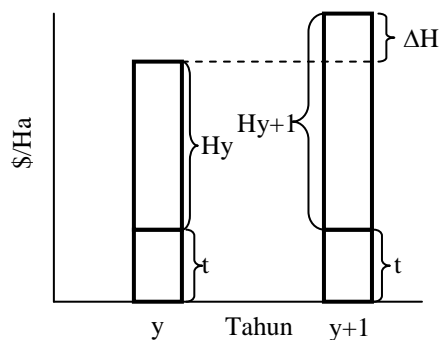


Gambar VI-4. Penurunan persentase pertumbuhan seiring bertambahnya umur.



Sebagaimana yang telah dibahas sebelumnya bahwa areal hutan merupakan sebuah asset kapital, dengan demikian persentase nilai pertumbuhan pohon yang berada dalam areal hutan merupakan hal yang sangat krusial bagi investor. Hal ini sama dengan kalau kita membahas tentang keuntungan dimana keuntungan selalu harus diukur sebagai persentase nilai kapital sehingga kita dapat memahami efisiensi dari kapital tersebut bekerja. Oleh karena itu dalam konteks hutan maka volume atau nilai pertumbuhan tahunan per hektar tidak menjadi hal yang terpenting, tetapi yang terpenting adalah mengetahui nilai dalam persentase dari total nilai hutan per hektar.

Bagaimana kita mengukur persentase tahunan nilai pertumbuhan suatu hutan? Caranya adalah dengan membagi satu penambahan tahunan dalam nilai dengan nilai hutan tahun lalu. Ilustrasi dapat dilihat pada Gambar VI-5, persen pertumbuhan nilai hutan antara tahun  $y$  dengan tahun  $y+1$  adalah  $\Delta H / (H_y + L)$ . Contoh, katakanlah anda telah menebang pohon pada suatu lahan hutan dan menjual lahan tersebut seharga \$1000 tahun lalu, bila peningkatan nilai selama tahun lalu adalah \$100, maka persen pertumbuhan nilai adalah  $100/1000 = 0,01$  atau 10% untuk tahun lalu.



Gambar VI-5. Pertambahan nilai hutan.

Terdapat dua hal yang penting sebagai klarifikasi dalam menghitung persen pertumbuhan nilai hutan:

1. Yakinkan bahwa dalam menentukan nilai hutan telah digunakan nilai pasar, yaitu nilai rata-rata lahan yang sedang berlaku dalam masyarakat setempat.
2. Karena kita memutuskan apakah akan menebang pohon sekarang atau nanti, maka yang terpenting adalah bahwa nilai kayu seharusnya merupakan potensi perolehan dari pemanenan yang akan dilakukan (*stumpage value*).

Stumpage value adalah jumlah uang yang dibayarkan oleh investor (WTP investor) untuk tegakan yang siap tebang. Stumpage value ditambah dengan nilai lahan disebut nilai likuidasi (*liquidation value*).

Persen pertumbuhan nilai hutan antara tahun  $y$  dengan  $y+1$  adalah peningkatan nilai likuidasi hutan dibagi dengan nilai likuidasi pada tahun  $y$ .

$$\text{Persen Pertumbuhan Nilai Hutan Tahunan} = \frac{(H_{y+1} + L_{y+1}) - (H_y + L_y) + (a - c)}{H_y + L_y}$$

Sebagai contoh, katakanlah nilai stumpage  $H$  tegakan berumur 24 tahun adalah \$500 dan pada umur 25 tahun menjadi \$560; perolehan tahunan dikurangi ongkos tahunan  $(a - c) = -\$5$ , dan nilai lahan adalah  $L = \$250$ . Dengan menggunakan persamaan di atas maka diperoleh persen pertumbuhan nilai hutan adalah:

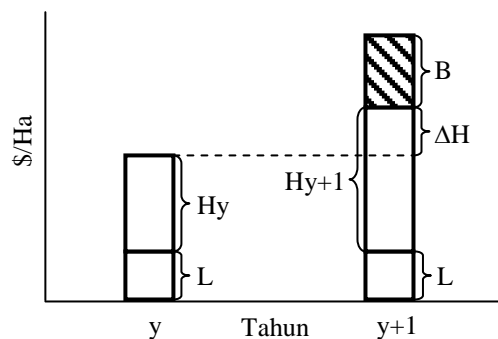
$$(560 - 500 - 5)/(500 + 250) = 0,073, \text{ atau } 7,3\%$$

Sehingga bila pemilik tegakan hutan tersebut memiliki MAR sebesar 8% tidak akan merasa puas. Maka yang akan dilakukan selanjutnya adalah menebang atau memanen tegakan tersebut secepatnya atau melakukan kegiatan silvikultur yang mempercepat pertumbuhan, misalnya penjarangan dan atau pemupukan bila secara ekonomi menguntungkan. Bila ongkos tahunan sebesar \$5 diacukan maka persen pertumbuhan nilai hutan adalah 8%, dan bila yang diacukan adalah nilai lahan maka diperoleh 11%, dan bila keduanya diacukan maka diperoleh persen pertumbuhan nilai hutan sebesar 12%. Bila ongkos tahunan, perolehan tahunan dan nilai lahan tidak diperhitungkan, maka persen pertumbuhan nilai hutan (persamaan IX-7) akan hanya merupakan persen perubahan potensial perolehan penebangan pohon  $(H_{y+1} - H_y)/(H_y)$  yang juga disebut sebagai persen pertumbuhan nilai tegakan (*timber value growth percent*).

Persamaan di atas juga disebut sebagai indikator performansi hutan. Bila persen pertumbuhan nilai hutan melebihi MAR, maka kita akan membiarkan atau memberikan waktu kepada hutan untuk meneruskan pertumbuhannya. Namun bila

persen pertumbuhan nilai hutan lebih kecil dari MAR maka manajemen harus segera memutuskan untuk segera melakukan pemanenan, atau melakukan tindakan silvikultur dengan syarat investasi untuk itu dapat memberikan nilai lebih.

Bila tegakan hutan menghasilkan nilai non-moneter, misalnya estetika yang dapat memberikan manfaat kepada pemilik dan orang lain yang suka melakukan kegiatan rekreasi, maka secara ekonomi rotasi tebangan dapat lebih panjang atau diperpanjang. Bila manfaat non-moneter itu cukup besar, maka rotasi optimal dapat menyerupai hutan alam yang memiliki kehidupan liar yang bernilai tinggi. Gambar VI-6 memperlihatkan nilai liquidasi hutan (nilai pasar lahan dan nilai hasil penebangan tegakan) pada tahun  $y$  dan  $y+1$ .



Gambar VI-6. Menambahkan manfaat non moneter ke dalam pertambahan nilai hutan.

Bagian yang diarsir pada  $y+1$  menggambarkan nilai uang (dolar) dari manfaat estetika  $B$  yang diterima dari tegakan hutan dalam jangka waktu dua tahun. Penerima manfaat dapat merupakan pemilik lahan hutan itu sendiri atau masyarakat lainnya yang menggunakannya sebagai lahan publik. Nilai uang ini (dolar) merupakan WTP untuk manfaat tersebut atau dapat juga berupa kompensasi yang dapat dibayarkan bila manfaat tersebut hilang (*willingness to sell*). Bila kita memasukkan nilai non-moneter ini dalam perhitungan persen pertumbuhan nilai hutan maka akan menjadi  $(\Delta H + B)/(L + H_y)$ .

## F. Volume Optimal Tegakan

Pembahasan pada bagian ini berbeda dengan pembahasan pada bagian A dimana pada bagian A kita sebenarnya banyak berasumsi tentang jumlah pohon per hektar, panjang rotasi. Hal itu dilakukan dalam perencanaan sebelum aforestasi atau

penanaman. Pada bagian ini juga kita tetap berasumsi bahwa tegakan hutan yang tumbuh merupakan sebuah pertumbuhan finansial yang terbaik pada lahan hutan tersebut. Untuk mewujudkan ini, kita seharusnya mengetahui berapa banyak pohon yang seharusnya ditanam dan dipelihara dalam satu hektar lahan hutan dan berapa besar volume tegakan yang optimal seiring dengan bertambahnya umur tegakan tersebut. Kita bisa mengatur volume dengan melakukan kegiatan penjarangan, atau dalam pemanenan tidak dilakukan tebang habis melainkan menyisahkan sebagian tegakan untuk membentuk tegakan tidak seumur (*uneven aged* atau *multi-aged stand*). Biasanya kita membuat hutan atau tegakan tidak seumur bila ingin memperoleh pemandangan yang indah dan atau kondisi tanah hutan yang tidak stabil. Hal-hal inilah yang menimbulkan pertanyaan yang berhubungan dengan volume optimal tegakan atau jumlah optimal pohon per hektar seiring dengan berjalannya waktu yang mempengaruhi pertumbuhan tegakan. Perlu diingat di sini bahwa yang dimaksudkan dengan optimum adalah maksimumnya NPV dari semua output dengan menggunakan MAR pemilik lahan hutan.

### **1. Kerapatan Penanaman yang Optimal**

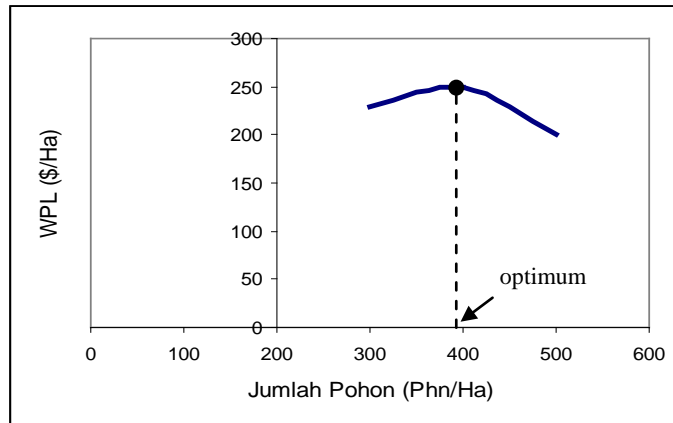
Untuk memahami ide tentang kerapatan penanaman yang optimal, maka kita sebaiknya mencoba menggambarkan kondisi penanaman yang ekstrim, yaitu menanam satu pohon per hektar. Hasilnya adalah pohon tersebut akan tumbuh cepat dan ongkos penanaman akan murah, tetapi volume per hektar akan sangat sedikit dan pohon tersebut akan memiliki percabangan yang jelek dan batangnya pun kemungkinan tidak lurus. Kondisi penanaman ekstrim lainnya adalah kita menanam 20.000 pohon per hektar. Kondisi ini akan memberikan penanaman yang sangat rapat sehingga menyebabkan ongkos yang sangat tinggi dan akan menghasilkan tegakan yang memiliki nilai komersial rendah, demikian juga pertumbuhan volume dan hasil akan sangat rendah. Di antara kedua kondisi ekstrim itu akan diperoleh titik optimum yang memaksimalkan NPV. Untuk mendapatkan titik optimum, simulasi dapat dilakukan dengan menggunakan spreadsheet dengan membangun beberapa tabel yang berbeda yang masing-masing merepresentasikan kerapatan tanaman tertentu. Dengan memasukkan item ongkos untuk setiap skenario kerapatan penanaman kita dapat menentukan kerapatan optimum yang memberikan WPL terbesar.

Tabel VI-10 memperlihatkan nilai WPL hipotetik untuk tiga macam kerapatan tanaman. Untuk setiap kerapatan tanaman, maksimum nilai WPL dan rotasi yang menyertainya dapat dihitung dengan menggunakan spreadsheet. Contoh, dengan menejemen hutan seumur untuk jenis pohon dan kualitas tempat tumbuh tertentu, maka untuk masing-masing kerapatan tanaman, setelah disimulasikan dengan menggunakan persamaan matematik yang telah dijelaskan terdahulu maka simulasi memberikan masing-masing volume pemanenan pada umur yang berbeda. Volume tersebut akan dikalikan dengan nilai tegakan (*stumpage value*) untuk memperoleh nilai tebangan pada setiap umur tertentu. Input lainnya yang harus dimasukkan dalam persamaan WPL adalah ongkos penanaman untuk setiap ukuran penanaman atau kerapatan, interest rate yang sedang berlaku, serta ongkos dan perolehan lainnya.

Tabel VI- 10. Data hipotetik tentang kerapatan tanaman yang berbeda

Kerapatan Tanaman (pohon/ha)	Ongkos Penanaman (\$/ha)	Rotasi Optimal (tahun)	WPL (\$/Ha)
300	60	34	230
400	70	35	250
500	80	36	200

Dari Tabel di atas, Gambar VI-7 memperlihatkan WPL berdasarkan kerapatan tanaman. Nampak bahwa WPL maksimum pada kerapatan optimal 400 pohon per hektar. Kerapatan tanaman optimal dapat dipengaruhi oleh berbagai hal seperti kualitas tempat tumbuh, interest rate, regim penebangan, hubungan antara harga stumpage dengan diameter pohon, pajak, ongkos penanaman, dan jenis pohon. Sehingga dalam melakukan analisa, sebaiknya dilakukan secara terpisah.



Gambar VI-7. Kerapatan tanaman yang optimum.

Dari Gambar di atas, present value termaksimalkan bila ongkos setiap penambahan tanaman telah memberikan kontribusi yang sama terhadap NPV. Bila kita menambahkan tanaman lagi sehingga melebihi jumlah optimum maka kondisi ini berarti penambahan ongkos telah melebihi present value, artinya present value menjadi berkurang. Kendatipun secara teori, kerapatan penanaman dapat dihitung namun dalam aplikasi terdapat kecenderungan seringkali sebuah rekomendasi teori masih dipertimbangkan lagi karena sulitnya memprediksi hasil tegakan yang dipelihara. Masalah yang dapat muncul misalnya adalah memprediksi bagaimana memperluas jarak tanam yang akan mempengaruhi kualitas batang dan nilai hasil penebangan nantinya.

## 2. Regim Penjarangan Hutan Seumur yang Optimal

Penjarangan berarti mengeluarkan beberapa pohon dari tegakan dengan tujuan memberikan pohon-pohon yang masih tumbuh ruang pertumbuhan yang lebih baik, serta kelembaban, nutrien, dan sinar matahari yang optimal untuk pertumbuhan pohon-pohon yang tetap dipelihara. Penjarangan yang dilakukan dengan baik biasanya tidak akan meningkatkan secara signifikan volume tegakan per hektar melainkan penjarangan dapat meningkatkan pertumbuhan volume pohon yang berkualitas pasar serta dapat memberikan beberapa kelebihan sebagai berikut, yaitu:

- 1) Dengan mengeluarkan pohon-pohon yang kerdil dan yang tertekan maka dengan demikian upaya pertumbuhan pohon dapat dikonsentrasikan kepada pohon-pohon yang lebih bernilai ekonomis, seperti pohon-pohon

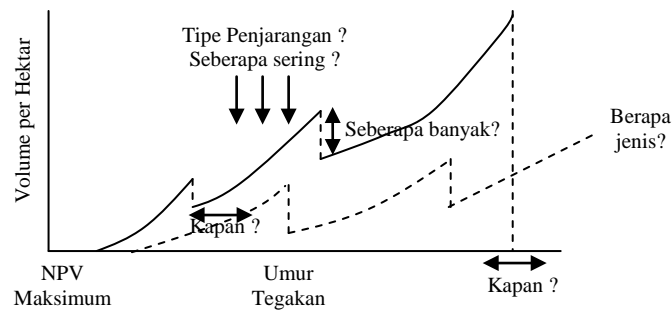
yang menghasilkan log untuk kayu gergajian berkualitas tinggi, log untuk veneer, dan lain sebagainya.

- 2) Dengan menebang dengan perlahan pohon-pohon yang tumbuh, persen pertumbuhan nilai hutan dari pohon-pohon yang ditumbuhkan dalam tegakan dapat diperbaiki.
- 3) Beberapa kegiatan penjarangan dapat menghasilkan pendapatan sebelum rotasi berakhir.
- 4) Secara estetika, masyarakat dapat lebih menyenangi tegakan hutan yang telah dijarangkan ketimbang tegakan hutan yang rapat.

Penjarangan pra-komersial (*precommercial thinning*) menghasilkan kayu-kayu hasil penjarangan yang berdiameter kecil sehingga tidak memiliki nilai jual. Sedangkan pada penjarangan komersial (*commercial thinning*) akan dihasilkan log yang sudah cukup besar sehingga dapat dijual ke pasar.

Sebenarnya dapat kita setarakan masalah kerapatan penanaman dengan bentuk penjarangan pada tahun ke 0. Masalahnya adalah kerapatan penanaman optimum atau penjarangan tahun ke 0 yang optimum. Regim penjarangan yang optimum adalah penjarangan yang memaksimalkan NPV atau WTP untuk lahan hutan dimaksud. Masalahnya adalah bahwa penjarangan tidak selalu meningkatkan NPV.

Gambar VI-8 memperlihatkan permasalahan penjarangan yang optimal pada tegakan seumur. Secara simultan kita harus menemukan kerapatan penanaman, tipe penjarangan, umur dilakukannya penjarangan, volume yang harus dikeluarkan saat penjarangan, jumlah jenis, dan umur panen yang optimal. Permasalahan tersebut akan semakin kompleks bila kita mempertimbangkan berbagai tipe penjarangan, misalnya penjarangan dari atas dengan mengeluarkan pohon-pohon dominan dan atau kodominan, penjarangan dari bawah dengan mengeluarkan pohon-pohon pada bagian bawah atau *understory*, penjarangan jalur dengan mengeluarkan pohon-pohon pada jalur-jalur tertentu yang dibuat pada saat penanaman.



Gambar VI-8. Persoalan penjarangan optimal pada tegakan seumur.

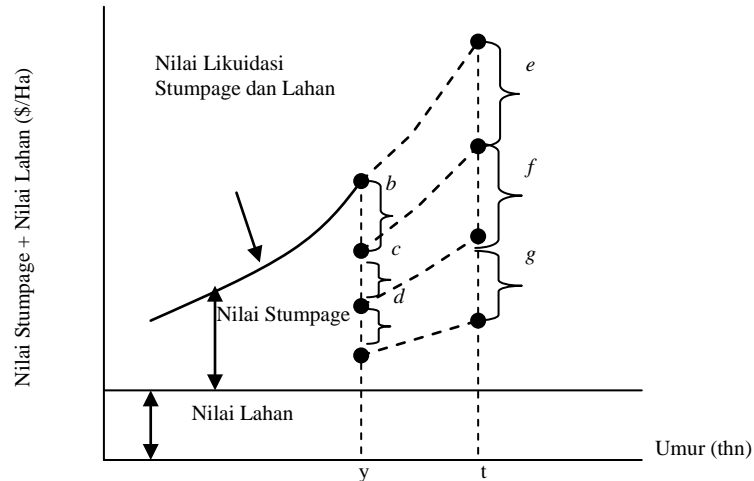
Bila kita mengelola tegakan yang terdiri atas berbagai jenis tanaman pohon, maka kita akan memiliki banyak sekali alternatif penjarangan yang dapat dilakukan dalam satu rotasi. Setiap alternatif disebut regim penjarangan. Contoh, sebuah regim penjarangan dapat merupakan penjarangan dari atas pada umur 15 dan 25 tahun, mengeluarkan 30% volume kayu setiap penjarangan, dan pemanenan dilakukan pada tahun ke 35. Pada Gambar IX-6 garis atau kurva solid memperlihatkan satu regim penjarangan.

### 2.1. Intensitas Penjarangan yang Optimal

Untuk menemukan intensitas optimal dari setiap penjarangan kita harus memutuskan berapa banyak volume yang harus dikeluarkan dari sebuah tegakan (Gambar VI-8). Agar WPL dapat dimaksimalkan, kita harus mengeluarkan dari tegakan pohon-pohon yang memiliki tingkat pertumbuhan nilai harapan kurang dari MAR pemilik hutan. Perlu juga diketahui bahwa bila kita mengeluarkan satu pohon tertentu dalam kegiatan penjarangan maka biasanya hal ini akan menyebabkan peningkatan tingkat pertumbuhan nilai harapan pohon-pohon yang berada di dekatnya.

Gambar VI-9 memperlihatkan teori tentang intensitas penjarangan yang optimal pada satu kasus penjarangan. Sumbu vertikal menunjukkan nilai uang per hektar ditambah dengan nilai tebangan potensial atau nilai stumpage. Sedangkan sumbu horisontal merupakan umur (t).





Gambar VI-9. Intensitas penjarangan tegakan seumur.

Asumsikan bahwa tanpa melakukan penjarangan maka rotasi optimal secara ekonomis, yaitu dimana WPL maksimum adalah pada umur  $t$ . Pada umur  $y$ , katakanlah kita mengeluarkan pertambahan volume senilai  $b$ ,  $c$ , dan  $d$ . Dalam penjarangan, telah dikeluarkan pohon-pohon yang rapat pada tegakan yang paling rapat. Bila pohon-pohon yang ditinggalkan tumbuh di dalam hutan, katakanlah dengan pertumbuhan  $b$  akan tumbuh mencapai nilai  $e$  pada tahun  $t - y$ , maka selama dalam waktu  $t - y$  tahun maka nilai proyeksi tingkat pertumbuhan  $V_a$  adalah:

$$V_a = \sqrt[t-y]{\frac{e}{b}} - 1$$

Dimana  $e$  dan  $b$  adalah penambahan nilai stumpage sebagaimana pada Gambar VI-9. Bila  $V_a \geq \text{MAR}$ , jangan melakukan penjarangan karena pepohonan dalam tegakan memiliki pertumbuhan yang lebih cepat dari MAR. Oleh karena riap  $c$  dan  $d$  tumbuh lebih cepat dan oleh karena itu seharusnya juga dibiarkan dalam tegakan. Bila  $V_a$  pada persamaan di atas kurang dari MAR, keluarkan pertumbuhan atau riap  $b$ , dengan tujuan agar pohon-pohon lain dapat memberikan pertumbuhan yang lebih. Sebagai contoh, katakanlah nilai tebang potensial  $b$  pada Gambar IX-7 adalah \$ 100, dan hal ini dapat memberikan nilai pertumbuhan yaitu  $e = \$180$  selama periode  $t-y = 10$  tahun. Subtitusikan nilai-nilai tersebut ke persamaan IX-8,

maka  $V_a = 0,06$  atau 6%. Bila  $MAR \leq 6\%$  berarti tidak perlu melakukan penjarangan, tetapi bila  $MAR > 6\%$  maka penjarangan perlu dilakukan dengan mengeluarkan volume tegakan tertentu sebesar  $b$ . Keputusan tentang penjarangan merupakan sebuah hasil analisis marginal dengan memperhatikan unit pertumbuhan atau riap volume tegakan, sehingga dengan demikian kita dapat tidak memperhatikan ongkos tahunan dan nilai lahan sebab keduanya sebenarnya juga sudah dipertimbangkan dalam perhitungan tentang WPL. Bila pada sebuah tegakan dilakukan kegiatan penjarangan, maka pertumbuhan pohon-pohon yang tersisa akan meningkat dan seharusnya dilakukan penentuan rotasi optimal yang baru.

## 2.2. Frekuensi dan Waktu Penjarangan yang Optimal

Frekuensi dan waktu penjarangan yang optimal adalah penjarangan yang memaksimalkan NPV dan WPL. Dari sudut pandang pertumbuhan volume, kita dapat saja berfikir untuk sering melakukan penjarangan ringan. Tetapi semakin ringan penjarangan, maka semakin tinggi ongkos logging per unit volume tebangan. Sebaliknya, semakin tidak sering dan semakin berat penjarangan maka akan cenderung untuk menghasilkan pendapatan bersih lebih besar dari per unit volume yang ditebang. Sebagai contoh sebuah waktu pelaksanaan penjarangan tunggal: bila terlalu cepat dilakukan maka pohon-pohon yang akan dijarangi dan yang akan dibiarkan tumbuh masih sangat kecil sehingga nilai stumpage masih bernilai nol atau negatif, dan tegakan dapat menjadi overstocked sebelum pemanenan akhir dilakukan. Tetapi bila penjarangan sangat lambat dilakukan maka tegakan dapat mengalami stagnasi lebih cepat dalam periode rotasi. Diantara kedua waktu tersebut, yaitu waktu yang terlalu cepat dan waktu yang terlalu lambat akan diperoleh waktu yang optimum. Dan barangkali dapat terjadi bahwa terdapat lebih dari satu waktu penjarangan yang dapat meningkatkan present value.

Sebagaimana yang juga telah diulas sebelumnya, pendekatan yang paling sederhana untuk menemukan sesuatu yang optimum maka dapat digunakan sebuah simulasi pertumbuhan untuk menghitung nilai WPL untuk berbagai waktu dan frekuensi penjarangan yang berbeda. Sehingga dapat dipilih kombinasi yang akan memaksimalkan WPL yaitu yang memiliki skenario tentang ongkos dan harga yang mendukung. Sebagaimana pada sebuah rotasi yang optimal, regim penjarangan yang optimal akan lebih pasti di atas kertas dibandingkan dengan

implementasinya di lapangan. Dengan mengulangi simulasi, maka akan dicapai sebuah kesimpulan yang pasti tentang regime penjarangan optimal untuk sebuah asumsi tentang harga, kerapatan awal tegakan, kualitas tempat tumbuh, dan ongkos logging, serta hubungan antara diameter dengan harga.

### 3. Perbaikan Tegakan Hutan

Perbaikan tegakan hutan adalah investasi yang dilakukan terhadap sebuah tegakan yang bertujuan untuk meningkatkan nilai perolehan dari pemanenan yang akan dilakukan pada akhir rotasi. Sebagai contoh di sini adalah pemupukan yang dilakukan untuk memperoleh pertumbuhan pohon yang lebih besar, penjarangan pra-komersial dan tebangan perbaikan untuk mendistribusikan pertumbuhan akan datang bagi pohon-pohon yang bernilai lebih baik, dan pemangkasan untuk memperoleh kayu yang bebas dari cacat mata kayu. Kesemuanya ini merupakan varian dari persoalan stok volume tegakan yang optimal. Kasus sederhana tentang hutan seumur dimana diasumsikan hanya tebang habis, dengan investasi untuk perbaikan tegakan,  $C_y$  pada tahun ke  $y$  yang memberikan penambahan perolehan dari penebangan,  $R_t$  pada umur tebangan,  $t - y$ . Investasi perbaikan tegakan hutan dapat diterima bila rate of return dari investasi  $C_y$  adalah paling tidak sama dengan MAR:

$$\text{Rate of return Perbaikan Tegakan Hutan} = \sqrt[t-y]{\frac{R_t}{C_y}} - 1$$

Oleh karena perbaikan tegakan hutan merupakan sebuah investasi marginal, maka seharusnya mempertimbangkan nilai lahan. Sebagai contoh, katakanlah sebuah tegakan yang belum dalam kondisi masak tebang sehingga berdasarkan kondisi tegakan maka diperlukan investasi sebesar  $C_y = \$50$  per hektar untuk melakukan pemupukan. Pemupukan ini diharapkan dapat menghasilkan nilai harapan (setelah pajak) sebesar  $R_t = \$98$  dalam 10 tahun. Dengan memasukkan nilai-nilai tersebut ke dalam persamaan IX-9, maka diperoleh rate of return sebesar 0,07 atau 7% dan ini dapat diterima sepanjang hasil perhitungan ini melebihi MAR. Untuk mempertimbangkan WTP terhadap lahan hutan dalam perhitungan dengan persamaan IX-9 maka WPL dimasukkan sebagai  $C_y$ . Bila setelah ini rate of return



**Refleksi Pembelajaran**

No	Deskripsi/Pertanyaan	Jawaban				
		SS	CS	RR	B	SB
1.	Capaian pembelajaran yang ditawarkan					
2.	Antusiasme mahasiswa mengikuti kuliah di dalam kelas					
3.	Core content yang diberikan					
4.	Proses perkuliahan					
5.	Metode evaluasi perkuliahan					
6.	Tingkat kehadiran mahasiswa dalam perkuliahan					

Keterangan:

SS: sangat sempurna

CS: cukup sempurna

RR: ragu-ragu

B : buruk

SB: sangat buruk

**Rekomendasi perbaikan:**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....