

Optimalisasi Produksi Kayu Hutan Alam Melalui Dua Teknik Penebangan

(Optimization of Natural Forest Timber Production through Two Felling Techniques)

Mutia Herni Ningrum^{1*}, Yuniawati¹

Badan Riset dan Inovasi Nasional
Pusat Riset Biomassa dan Bioproduk BRIN
Kawasan Sains Teknologi Dr. (H.C). Ir. H. Soekarno
Jl. Raya Bogor Km 46 Cibinong 16911
Email: mutiahernin@gmail.com

ABSTRACT

The need for raw materials for logs increases every year but there is not followed by the supply of raw materials for wood from natural forests. Therefore, it is necessary to optimize the production of natural forest wood. This research aims at optimize the production of natural forest logged timber by using two felling techniques. The research method is analyzing data using the simplex linear programming method on POM For Windows 3 software. The research was carried at one forest concession company the IUPHHK-HA in East Kalimantan. The results showed that felling productivity with improved techniques can increased to 3.35 m³/hour and the average cost of production to a minimum of IDR 3,683.91/m³. Felling improved techniques can increase wood production to an optimal of 7.83 m³/tree so that wood production will be obtained by 39.652 m³/day. Each additional productivity input of 1 m³/hour will increase wood production by 0.348 m³/hour. The timber waste from the analysis results is not optimal.

Keywords: Felling, natural forest, optimization, wood production

ABSTRAK

Kebutuhan bahan baku kayu bulat setiap tahun meningkat tetapi tidak diikuti dengan persediaan bahan baku kayu dari hutan alam. Oleh karena itu, diperlukan optimalisasi produksi kayu hutan alam. Tujuan penelitian ini adalah mengoptimalkan produksi kayu tebangan hutan alam dengan dua teknik penebangan. Metode penelitian dengan menganalisis data menggunakan metode simplex linear programming pada software POM For Windows 3. Penelitian dilaksanakan di IUPHHK-HA Kalimantan Timur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa produktivitas penebangan dengan teknik perbaikan meningkat sebesar 3,35 m³/jam dan rata-rata biaya produksi menjadi minimal sebesar Rp 3.683,91/m³. Penebangan teknik perbaikan dapat meningkatkan produksi kayu menjadi optimal sebesar 7,83 m³/pohon sehingga akan diperoleh produksi kayu sebesar 39,652 m³/hari. Setiap penambahan input produktivitas sebesar 1 m³/jam akan meningkatkan produksi kayu sebesar 0,348 m³/jam. Limbah tebangan dari hasil analisis tersebut belum optimal.

Kata kunci: Penebangan, hutan alam, optimalisasi, produksi kayu

PENDAHULUAN

Pemanenan kayu dimaksudkan untuk meningkatkan produksi kayu baik dari hutan alam maupun hutan tanaman, yang dapat diolah dan dimanfaatkan guna meningkatkan nilai tambah perusahaan dan peluang lapangan kerja. Hutan tanaman belum sepenuhnya memenuhi kebutuhan bahan baku kayu, sehingga perlu pemenuhan

kebutuhan kayu dari hutan alam. Karakteristik hutan alam yang berbeda dengan hutan tanaman tentunya membutuhkan perhatian lebih.

Pemanenan kayu merupakan kegiatan yang tidak dapat berdiri sendiri. Pemanenan terdiri dari beberapa kegiatan seperti penebangan, pembagian batang, penyaradan, bongkar muat,



dan pengangkutan. Penebangan adalah mengubah pohon yang berdiri menjadi kayu gelondongan yang siap untuk disarad. Pembagian batang adalah membagi batang menjadi ukuran tertentu setelah pohon tumbang untuk memperoleh kayu sesuai standar dan ukuran yang dipersyaratkan. Penyaradan adalah kegiatan memindahkan kayu secara cepat dan murah dari petak tebang ke tempat pengumpulan kayu sementara. Pemuatan kayu dilakukan dengan memindahkan kayu dari dalam tanah ke alat angkut di tempat penyimpanan sementara atau tempat penimbunan kayu. Kegiatan ini disebut juga dengan transportasi minor. Sedangkan bongkar muat adalah kegiatan yang dilakukan untuk menurunkan kayu dari pengangkutan ke TPK atau Industri. Transportasi adalah kegiatan memindahkan kayu dari TPn ke tujuan akhir. Kegiatan ini disebut transportasi utama (Surasana et al., 2020).

Penebangan merupakan kegiatan yang mempengaruhi besar kecilnya produksi kayu. Dalam penebangan, limbah kayu sering terjadi karena penebangan yang tidak tepat. Potensi limbah yang dihasilkan menyebabkan produksi kayu rendah. Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa faktor pemanfaatan kayu pada kawasan hutan alam (IUPHHK-HA) yang menerapkan teknik *Reduced Impact Logging* (RIL) cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan teknik konvensional yang masih dilakukan secara konvensional. Teknik pemanenan RIL dilakukan oleh pemegang Izin Usaha Pemanfaatan Hasil Hutan Kayu Hutan Alam (IUPHHK-HA) untuk mengurangi kerusakan hutan termasuk emisi. Perusahaan yang telah menerapkan RIL secara berkelanjutan dalam kegiatan pengelolaan hutannya telah memperoleh manfaat dalam bentuk peningkatan efisiensi penebangan, penurunan tingkat kerusakan tegakan setelah pemanenan, kontribusi terhadap pengurangan emisi lokal dan nasional, penerimaan pasar yang lebih luas dari produk kayu, dan peluang kerjasama dengan LSM baik nasional maupun internasional (Sabarudi et al., 2018).

Pernyataan tersebut didukung oleh hasil-hasil penelitian sebagai berikut, 1) menyatakan bahwa sebanyak 65,1% ; limbah merupakan kayu cacat, 23,3% merupakan kayu pecah, dan 11,6%

merupakan limbah dengan kondisi yang masih cukup baik (Soenarno, Endom, & Suhartana, 2018); 2). Soenarno *et al.* (2016) menyatakan bahwa dalam salah satu aktivitas pemanenan yaitu pembagian batang yang dilakukan pada petak tebang memiliki potensi limbah rata-rata sebesar 0,919 m³/pohon, sementara limbah yang dihasilkan dari aktivitas pengujian serta pengukuran yang dilakukan pada tempat penimbunan sementara (TPn) memiliki rata-rata limbah sebanyak 0,093 m³/pohon.; dan 3) Menunjukkan bahwa rata-rata volume limbah kayu pada PT A sebanyak 2,410 m³/pohon dengan rata-rata efisiensi pemanfaatan kayu sebesar 88%, sementara limbah volume limbah kayu pada PT B adalah 0,472 m³/pohon serta rata-rata efisiensi pemanfaatan sebesar 86% (Suhartana & Yuniawati, 2018) sedangkan saat ini terjadi ketimpangan antara ketersediaan bahan baku yang terus menurun dengan kebutuhan kayu untuk industri. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui potensi limbah pemanenan kayu pada dua perusahaan hutan di Kalimantan dan pengaruhnya terhadap efisiensi pemanfaatan kayu. Metodologi penelitian dengan mengukur potensi tegakan, volume kayu yang dimanfaatkan, volume limbah kayu setelah pemanenan kayu, menghitung indeks tebang, indeks sarad dan efisiensi pemanfaatan kayu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa: (1. Beberapa hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa penebangan di hutan alam masih memiliki potensi limbah yang tinggi, sehingga efisiensi pemanfaatan kayu menjadi rendah. Rendahnya efisiensi pemanfaatan kayu menunjukkan rendahnya produksi kayu yang dihasilkan.

Peningkatan produksi kayu hutan alam dapat dicapai dengan mengelola limbah seminimal mungkin. Banyak faktor yang menyebabkan produksi kayu tidak maksimal. Salah satu faktor tersebut adalah penerapan pemanenan kayu yang tidak sesuai dengan kaidah pemanenan kayu berbasis *Reduced Impact Logging* (RIL) atau RIL-Carbon untuk meningkatkan produktivitas pemanenan kayu, mengoptimalkan produksi kayu, meninggalkan kondisi tegakan yang lebih baik, kerusakan ringan dan biaya panen yang lebih efisien.

Optimalisasi produksi kayu hutan alam dilakukan untuk memperoleh suatu keuntungan tanpa mengurangi kualitas, dimana proses ini merupakan proses terbaik yang dibutuhkan dalam suatu pekerjaan (Santina et al., 2018). Optimasi dapat diselesaikan dengan pemrograman linier. Pemrograman linier adalah model umum yang secara optimal dapat memecahkan masalah pengalokasian sumber daya yang terbatas. Akram et al. (2016) menyatakan bahwa analisis perencanaan matematis bertujuan untuk memperoleh beberapa alternatif pemecahan masalah yang ada. Pemrograman linier merupakan salah satu teknik riset operasional untuk menyelesaikan masalah optimasi (memaksimalkan dan meminimalkan) dengan menggunakan persamaan dan pertidaksamaan linier untuk mencari solusi optimal dengan mempertimbangkan kendala yang ada (Sari, 2018). Oleh karena itu, metode pemrograman linier diharapkan dapat menjadi solusi dari permasalahan optimasi yang ada pada penelitian ini.

Optimalisasi produksi kayu sangat penting karena tujuan akhir dari pemanenan kayu adalah untuk memperoleh nilai tambah dan keuntungan dari produksi kayu. Namun, penelitian tentang teknik penebangan dan pemanenan yang optimal belum banyak dilakukan di Indonesia. Penelitian tentang teknik yang lebih efisien dan optimal diperlukan untuk menjawab permasalahan di Indonesia yaitu bagaimana meningkatkan produksi untuk memenuhi kebutuhan bahan baku namun tetap menjaga prinsip keberlanjutan sehingga kualitas lingkungan dapat ditingkatkan atau dipertahankan. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan produksi kayu tebangan hutan alam dengan teknik penebangan konvensional dan perbaikan.

BAHAN DAN METODE

Lokasi

Penelitian dilaksanakan di petak tebang 339 IUPHHK-HA PT Inhutani I Unit Samarata, Distrik Berau, Provinsi Kalimantan Timur. Secara geografis terletak pada koordinat 02°15'15" LU -117°00'09" BT dan 02°40'21" LU-117°29'25"

BT. Batas areal kerja PT. Inhutani I UMH Samarata berbatasan dengan perusahaan-perusahaan lain, yaitu :

1. Sebelah Utara : PT. ITCI Kayan Hutani
2. Sebelah Timur : PT. Rejo Sari Bumi
3. S e b e l a h : PT Tanjung Redeb Selatan Hutani
4. Sebelah Barat : PT. Inhutani I Unit Manajemen Hutan Sehag Hulu dan Eks Palma Kharisma

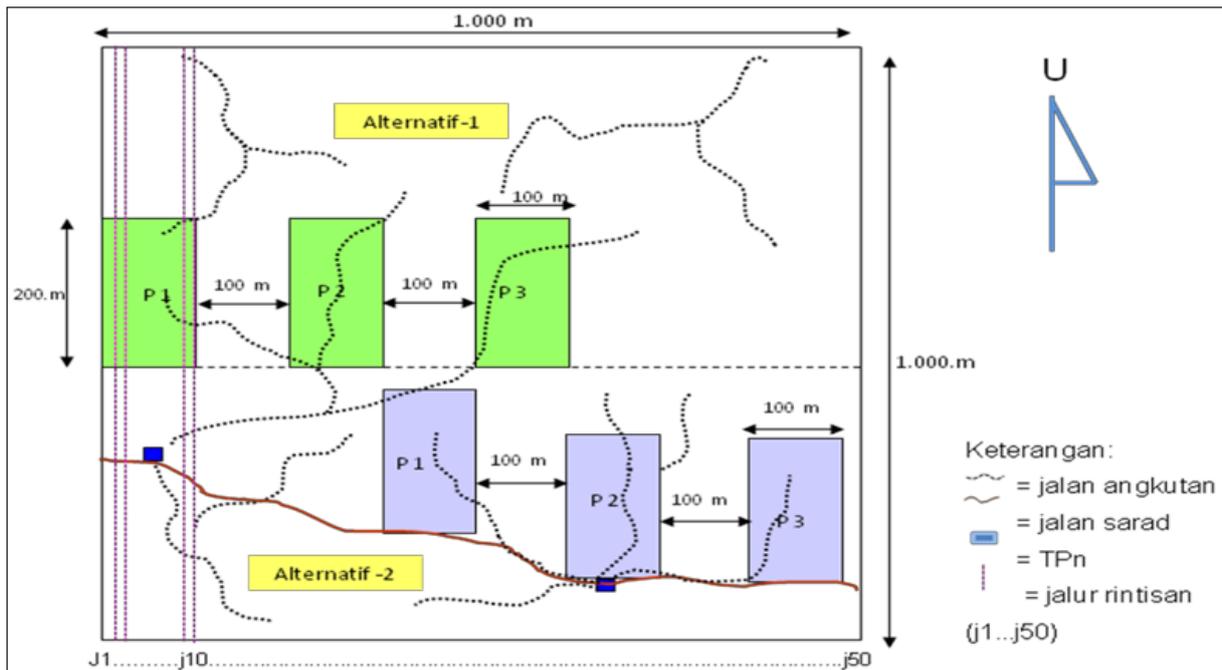
Berdasarkan administrasi pemerintah, PT. Inhutani I UMH Samarata berada di Kecamatan Tanjung Redeb, Kabupaten Berau, Kalimantan Timur. Berdasarkan administrasi kehutanan masuk dalam Resort Pemangkuan Hutan (RPH) Long Peso, Kesatuan Pemangkuan Hutan (KPH) Malinau, Balai Kesatuan Pemangkuan Hutan (BKPH) Gunung Tabur, Cabang Dinas Kehutanan Kabupaten Berau, Dinas Kehutanan Propinsi Kalimantan Timur.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan yaitu *chainsaw* STIHL 070 yang digunakan dalam penelitian ini memiliki karakteristik yang sama, meteran, phi-band, *tally sheet*, *clino meter*, kompas, kamera dan alat tulis. Bahan yang digunakan yaitu tegakan pohon, inventarisasi tegakan sebelum penebangan, laporan hasil cruising, dan peta distribusi pohon, kapur dan cat.

Prosedur Penelitian

1. Membuat plot contoh pengamatan (PCP) sebanyak 6 plot (3 plot untuk teknik konvensional dan 3 plot untuk teknik perbaikan) masing-masing dengan ukuran 2,0 ha (200 x 100 m). Pada petak tebang untuk teknik penebangan konvensional (teknik yang biasa dilakukan oleh perusahaan setempat) dan perbaikan (teknik yang menerapkan RIL atau perbaikan dari teknik yang dilakukan oleh perusahaan yang masih belum menerapkan RIL dengan benar). Teknik sampling yang digunakan untuk membuat plot contoh pengamatan adalah *systematic sampling* dengan plot contoh pengamatan pertama dilakukan



Gambar 1. Rancangan plot contoh pengamatan

- secara *purposive*, kemudian PCP selanjutnya dilakukan secara sistematis dengan jarak 100 m antar PCP disajikan pada Gambar 1 (Soenarno *et al.*, 2016).
2. Pedoman yang digunakan dalam pembuatan PCP adalah ROPK (Rencana Operasional Pemanenan Kayu) skala 1:50.000, kemudian inventarisasi tegakan dengan diameter diatas 20 cm dilakukan untuk memvalidasi laporan hasil cruising dari kegiatan inventarisasi tegakan sebelum penebangan (ITSP) yang dilakukan perusahaan (Soenarno *et al.*, 2016).
 3. Penomoran pada pohon yang ditebang dan pengukuran kelerengannya. Pada petak yang telah ditentukan kemudian diambil data pengukuran limbah yang diperoleh dari hasil penebangan berupa limbah tunggak, limbah pangkal, limbah ujung, dan volume bebas cabang yang dimanfaatkan (Soenarno *et al.*, 2016).
 4. Pengumpulan data biaya produksi penebangan melalui wawancara
 5. Data sekunder yang dibutuhkan adalah Laporan Hasil Cruising (LHC) dan Rencana Kerja Tahunan (RKT).

Analisis Data

1. Produktivitas penebangan (Suhartana & Yuniawati, 2010)

$$P = \frac{V}{T} \tag{1}$$

Keterangan (*Remarks*):

P = Produktivitas penebangan (*Felling productivity*) (m³/jam, m³/hour); V = Volume kayu ditebang (*Volume of wood felled*) (m³); T = Waktu tebang (*Felling time*) (jam, hour)

2. Volume kayu yang ditebang (Hutan, 1993)

$$VL = \frac{1}{4} \cdot \pi \left[\frac{1}{2} \cdot Dp + Du^2 \right] \times P \tag{2}$$

Keterangan (*Remarks*):

VL = Volume limbah kayu (*Volume of wood waste*) (m³); Dp = Diameter pangkal (*Base diameter*) (cm); Du = Diameter ujung (*Tip diameter*) (cm); P = Panjang limbah (*Length of waste*) (m); π = Konstanta (*Constant*) (3,14)

3. Biaya penebangan (FAO, 1992).

$$\text{Penyusutan} = \frac{\text{Pembelian alat} \times 0,9}{\text{Umur pakai}} \tag{3}$$

$$\text{Biaya bunga modal} = \frac{\text{Pembelian alat} \times 0,6 \times 0,15}{2000 \text{ jam}} \quad (4)$$

$$\text{Biaya Pajak} = \frac{\text{Pembelian alat} \times 0,6 \times 0,02}{2000 \text{ jam}} \quad (5)$$

$$\text{Biaya Asuransi} = \frac{\text{Pembelian alat} \times 0,6 \times 0,03}{2000 \text{ jam}} \quad (6)$$

$$\text{Pemeliharaan} = \text{biaya Penyusutan} \quad (7)$$

$$\text{Biaya Bahan Bakar} = \text{Konsumsi bahan bakar} \times \text{harga bahan bakar} \quad (8)$$

$$\text{Biaya Pelumas} = \text{Biaya bahan bakar} \times 0,1 \quad (9)$$

$$\text{Biaya Gaji} = \frac{\text{Gaji bulanan}}{\text{Waktu kerja per bulan}} \quad (10)$$

$$\text{Biaya penebangan} = 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7 + 8 + 9 \quad (11)$$

4. Volume limbah penebangan

Perhitungan volume limbah tebangan dengan rumus Brereton (Hutan, 1993) sebagai berikut:

$$VL = \frac{1}{4} \cdot \pi \left[\frac{\frac{1}{2} \cdot Dp + Du^2}{100} \right] \times P \quad (12)$$

Keterangan (*Remark*):

VL = Volume limbah kayu (*Volume of wood waste*) (m^3); Dp = Diameter pangkal (*Base diameter*) (cm); Du = Diameter ujung (*Tip diameter*) (cm); P = Panjang limbah (*Length of waste*) (m); π = Konstanta (*Constant*) (3,14)

5. Optimalisasi produksi kayu

Untuk mengetahui optimalisasi produksi kayu dengan dua metode tebangan maka data diolah dan dianalisis dengan menggunakan POM For Windows 3. Dwijatenaya, Syahrani, & Cristia (2018) (2) menyatakan bahwa POM for Windows merupakan program komputer untuk memecahkan masalah yang bersifat kuantitatif dalam bidang produksi dan manajemen operasi. Hasil output dari pengolahan data yang memberikan kombinasi yang optimal

kemudian dibandingkan dengan kegiatan produksi aktual dan dievaluasi untuk melihat apakah kegiatan produksi yang selama ini dilakukan telah optimal atau tidak optimal.

- a. Menentukan tujuan optimasi produksi kayu
- b. Tujuan tersebut yaitu agar mendapatkan produksi kayu yang maksimal sehingga dapat mewujudkan produksi kayu tertinggi, produktivitas penebangan yang tinggi, biaya dan limbah yang minimal
- c. Membuat tabel data volume kayu penebangan, produktivitas penebangan, biaya produksi penebangan, dan limbah tebangan pada dua teknik penebangan.
- d. Metode yang diterapkan adalah metode Simplex. Metode Simplex adalah metode untuk menyelesaikan masalah program linier yang mencakup banyak pertidaksamaan dan banyak variabel. Metode simpleks adalah prosedur algoritmik yang digunakan untuk menghitung dan menyimpan banyak bilangan pada iterasi saat ini dan untuk pengambilan keputusan pada iterasi berikutnya. Langkah-langkah yang dilakukan dalam metode simpleks adalah sebagai berikut:
 - i. Menentukan variabel keputusan (X_1 = produksi kayu dengan teknik konvensional & X_2 = produksi kayu dengan teknik perbaikan);
 - ii. Menentukan fungsi kendala (produktivitas penebangan, biaya produksi, dan limbah penebangan);
 - iii. Menentukan fungsi tujuan (memaksimalkan produksi kayu hutan alam tebangan dengan dua teknik tebangan);
 - iv. Membangun model persamaan dengan mengubah tanda dan menambahkan variabel slack dan variabel surplus;
 - v. Membuat tabel simpleks dengan memasukkan semua koefisien dari variabel-variabel tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Produktivitas Penebangan

Rata-rata produktivitas penebangan dengan kedua teknik tersebut ditunjukkan pada Tabel 1. Tabel 1 menunjukkan bahwa produktivitas penebangan dengan teknik perbaikan (*improved technique*) meningkat sebesar 3,35 (13,95-10,60 m³/jam) m³/jam. Produktivitas yang tinggi disebabkan oleh volume kayu yang ditebang lebih banyak. Penebangan dengan teknik perbaikan menghasilkan limbah tebangan yang rendah sehingga volume kayu yang diperoleh lebih banyak dibandingkan dengan teknik konvensional. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa produktivitas penebangan menggunakan teknik perbaikan lebih tinggi dibandingkan dengan teknik konvensional, sedangkan pada penelitian lain menunjukkan bahwa teknik

konvensional memiliki rata-rata produktivitas penebangan yang lebih tinggi dibandingkan dengan teknik perbaikan memiliki selisih sebesar 5.686 m³/jam. Hal ini dikarenakan pengenalan metode penebangan yang lebih baik kepada para penebang masih membutuhkan waktu untuk terampil dalam menerapkan teknik-teknik tersebut. Namun, teknik perbaikan memiliki efisiensi pemanfaatan kayu yang lebih tinggi, yaitu 93,1 m³/pohon, dibandingkan dengan teknik konvensional, yaitu 85,4 m³/pohon (Soenarno & Yuniawati, 2019). Berbeda dengan hasil di atas, penelitian lain menunjukkan bahwa produktivitas penebangan dengan teknik konvensional lebih tinggi dibandingkan dengan teknik penebangan berdampak rendah, yaitu 36,24 m³/jam dan 32,8 m³/jam. Hal ini dikarenakan rata-rata waktu kerja penebangan konvensional lebih cepat dibandingkan dengan teknik penebangan berdampak rendah.

Tabel 1. Rata-rata produktivitas penebangan dua teknik penebangan

No plot (Plotting Number)	Jumlah pohon ditebang (Number of cutting trees)	Volume (<i>Volume</i>) m ³	Waktu (jam) (<i>Time</i>) hour	Produktivitas (m ³ /jam) (<i>Productivity</i>) m ³ /hour
Teknik Konvensional (Conventional Technique)				
1	9	4,24	0,43	9,87
2	8	5,21	0,55	9,51
3	12	5,31	0,43	12,43
Total (<i>Total</i>)	29	14,76	1,41	31,81
Rata-rata (<i>Average</i>)	9,67	4,92	0,47	10,60
St.Dev	2,08	0,59	0,07	1,59
Coef. Variasi	21,53	12,01	14,74	15,02
Teknik perbaikan (Improved technique)				
1	7	4,56	0,33	14,04
2	13	5,88	0,41	14,17
3	10	4,61	0,34	13,65
Total (<i>Total</i>)	30	15,05	1,08	41,86
Rata-rata (<i>Average</i>)	10	5,02	0,36	13,95
St. Dev	3,00	0,75	0,044	0,27
Coef. Variasi	30,00	14,90	12,10	1,94

Sumber (*Source*) : (Yuniawati & Tampubolon, 2021)

Perbedaan produktivitas antara kedua teknik tebangan dalam penelitian ini disebabkan oleh perbedaan volume pohon yang ditebang. Teknik penebangan perbaikan dilakukan pada tunggak terendah untuk menghasilkan volume kayu yang lebih banyak. Penebangan dengan teknik ini dapat mengurangi jumlah kayu yang terbuang dan tidak terpakai. Penggunaan teknik penebangan ini dapat membantu perusahaan untuk meningkatkan produksi kayu mereka.

Biaya Produksi Penebangan

Penebangan dilakukan dengan alat tebang seperti *chainsaw* sehingga diperlukan biaya kepemilikan *chainsaw*. *Chainsaw* merupakan alat utama yang dibutuhkan dalam penebangan dimana dapat mempengaruhi produktivitas. Hasil perhitungan rata-rata biaya produksi penebangan dengan dua teknik penebangan akan ditampilkan pada Tabel 2. Tabel 2 memberikan informasi bahwa

rata-rata biaya produksi penebangan pada teknik konvensional lebih tinggi dibanding teknik perbaikan. Hal ini disebabkan karena tingginya rata-rata produktivitas penebangan pada teknik tersebut.

Peningkatan produksi penebangan di suatu perusahaan diharapkan disertai dengan biaya produksi yang optimal untuk memaksimalkan keuntungan yang diperoleh. Keadaan ini mendorong perusahaan untuk dapat memilih teknik penebangan yang tepat. Penggunaan teknik perbaikan memberikan biaya produksi penebangan yang lebih rendah dibandingkan dengan teknik konvensional. Hal ini dikarenakan waktu kerja pada teknik penebangan konvensional lebih tinggi daripada pada teknik perbaikan. Konsumsi waktu kerja lebih banyak meningkatkan biaya bahan bakar, pelumas, dan upah yang harus diberikan kepada pekerja. Perbedaan waktu yang tidak begitu signifikan pada kedua teknik

Tabel 2. Rata-rata biaya produksi penebangan dengan dua teknik tebangan

No plot (Plotting Number)	Produktivitas (m ³ /jam) (Productivity) m ³ /hour	Biaya kepemilikan <i>chainsaw</i> (Rp/jam) (Chainsaw cost of ownership) Rp/hour	Biaya produksi penebangan (Logging production cost) Rp/m ³
Teknik Konvensional (Conventional Technique)			
1	9,87	51.390	5.206,69
2	9,51	51.390	5.403,78
3	12,43	51.390	4.134,35
Total (Total)	31,81	154.170	14.744,82
Rata-rata (Average)	10,60	51.390	4.914,94
St.Dev	1,59	0	683,16
Coef. Variasi	15,02	0	13,89
Teknik Perbaikan (Improved Technique)			
1	14,04	51.390	3.660,25
2	14,17	51.390	3.626,67
3	13,65	51.390	3.764,83
Total (Total)	41,86	154.170	11.051,75
Rata-rata (Average)	13,95	51.390	3.683,91
St.Dev	0,27	0	72,06
Coef. Variasi	1,94	0	1,96

Sumber (Source): Data Produktivitas (Productivity data) (Yuniawati & Tampubolon, 2021)

penebangan tersebut akan sangat mempengaruhi biaya produksi penebangan jika dilakukan pada areal yang lebih luas. Penerapan kedua teknik tersebut dilapangan menggunakan gergaji mesin atau *chainsaw* yang sama.

Kegiatan penebangan dilakukan dengan alat tebang seperti gergaji mesin, sehingga diperlukan biaya kepemilikan gergaji pada analisis biaya produksi. Biaya produksi dipengaruhi oleh produktivitas pemanenan kayu, dimana nilai produktivitas berbanding terbalik dengan biaya produksi yang dikeluarkan (Suhartana & Yuniawati, 2019). Namun hasil penelitian ini menghasilkan rata-rata biaya produksi yang lebih tinggi dibandingkan dengan hasil penelitian: 1). menunjukkan bahwa teknik tebangan konvensional memiliki biaya rata-rata sebesar Rp 1.893/m³, sedangkan teknik penebangan berdampak rendah rata-rata memiliki biaya sebesar Rp 2.104/m³ (Dulsalam et al., 2018); 2). Biaya produksi penebangan di hutan alam PT Karya Lestari rata-rata Rp 2.393,16/m³ (Soenarno & Yuniawati, 2019); dan 3). Rata-rata biaya penebangan (penerapan RIL) di hutan alam PT Inhutani II, Kalimantan Utara, adalah Rp 956,58/m³ (Muhdi, 2016) Indonesia. This research examined the productivity of felling in natural tropical forest, north Borneo. Time study of felling by chainsaw STHILL 070 is measured to every felling work elements that was using null stop method with two stop watches. Elements of work are measured in logging with chainsaws was directional felling of trees; making undercut; making backcut; and trees felled. Elements of work measurement and distribution of stem requires the long working time on conventional logging (CL).

Tingginya rata-rata biaya produksi penebangan dalam penelitian ini dibandingkan dengan hasil penelitian lain disebabkan oleh keterampilan operator yang kurang memadai. Selama lebih dari lima tahun, operator memiliki pengalaman menebang pohon kelapa sawit, yang memiliki jenis kayu yang berbeda dari kayu hutan alam. Rendahnya keterampilan operator menyebabkan lamanya waktu yang dibutuhkan untuk menebang satu pohon. Operator sering beristirahat dan menyimpan rantai gergaji.

Banyak waktu yang terbuang saat mesin *chainsaw* hidup, sehingga kebutuhan bahan bakar gergaji meningkat. Waktu yang tinggi ini menyebabkan rata-rata produktivitas penebangan menjadi rendah. Berbeda dengan hasil tersebut, Muhdi et al., (2015) menunjukkan bahwa teknik perbaikan (RIL) memiliki biaya panen yang lebih rendah dibandingkan dengan teknik konvensional, yaitu 5% dengan mengurangi biaya penyaradan sebesar 41%, sedangkan biaya penebangan lebih tinggi dibandingkan dengan teknik konvensional. Biaya produksi memicu perusahaan untuk melakukan pengujian kayu yang lebih ketat untuk menghasilkan kayu bulat berkualitas prima, namun di sisi lain limbah penebangan di setiap areal pemanenan semakin besar (Soenarno et al., 2018).

Analisis biaya penebangan merupakan langkah penting untuk penilaian ekonomi yang sangat penting untuk mengevaluasi pilihan bisnis dan kegiatan restorasi hutan dalam pengelolaan kehutanan. Evaluasi biaya dari berbagai alternatif pemanenan merupakan dasar untuk mengembangkan rencana operasi hutan yang efisien. Ini membutuhkan estimasi tingkat produksi, peralatan, dan biaya tenaga kerja (Bodaghi et al., 2018).

Limbah Penebangan

Limbah penebangan menyebabkan rendahnya efisiensi pemanfaatan kayu atau pemborosan bahan baku kayu. Perhitungan rata-rata limbah penebangan dengan kedua teknik tebangan ditunjukkan pada Tabel 3. Tabel 3 menunjukkan bahwa volume limbah yang menggunakan teknik konvensional memiliki rata-rata yang lebih tinggi dibandingkan dengan teknik perbaikan. Saat ini kebutuhan bahan baku kayu terus meningkat namun tidak diimbangi dengan pasokan bahan baku kayu. Limbah penebangan menyebabkan rendahnya efisiensi pemanfaatan kayu.

Volume limbah batang pangkal dalam teknik konvensional lebih tinggi daripada dalam teknik yang ditingkatkan. Selisih volumenya adalah 0,763 m³/pohon. Volume limbah batang pucuk pada teknik konvensional lebih tinggi dibandingkan dengan teknik perbaikan. Selisih volumenya adalah 0,347m³/pohon (1,74 m³/ha).

Total volume sampah pada teknik konvensional juga lebih tinggi dibandingkan dengan teknik perbaikan. Selisih volumenya adalah 1,47 m³/pohon. Hasil tersebut menunjukkan bahwa teknik konvensional dapat mengurangi volume limbah penebangan.

Peningkatan pemanenan limbah diperkirakan sebagai akibat dari kesalahan teknis di lapangan dan juga sebagai akibat dari kebijakan perencanaan panen yang tidak tepat. Limbah tersebut sering diabaikan karena penggunaannya yang tergolong sulit dan mahal, padahal pemanfaatan limbah pemanenan dapat memaksimalkan pemanfaatan potensi hutan dan mengurangi luas penebangan untuk menghasilkan volume produksi dalam jumlah yang sama (Surasana et al., 2020). Kegiatan penebangan hutan alam selalu menghasilkan limbah dari faktor alam dan kesalahan teknis. Pemborosan yang disebabkan oleh faktor alam adalah kayu bengkok, takik, empulur busuk, dan lainnya.

Kesalahan teknis menyebabkan batang pangkal retak, batang patah, batang jatuh ke jurang, dan lainnya. Semua faktor yang menyebabkan limbah ini mengakibatkan kayu produksi berkurang, ditunjukkan dengan rendahnya volume kayu tebangan. Menurut Budiawan et al. (2020), beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya kayu sisa penebangan antara lain kerapatan pohon, intensitas penebangan, teknik pemanenan, dan keterampilan penebang.

Rendahnya keterampilan operator tebang menjadi salah satu penyebab tingginya volume limbah penelitian ini. Operator harus mampu membuat takik tumbang dan mengembalikan takik dengan ukuran sesuai petunjuk RIL, mampu menentukan arah tumbang yang benar agar pohon yang tumbang tidak menimpa pohon yang lain, menghindari batang patah, menghindari pohon tumbang ke jurang, mampu menguasai kendala terkait kondisi pohon (diameter besar, memiliki

Tabel 3. Rata-rata limbah tebangan dengan dua teknik tebangan.

No plot (<i>Plotting number</i>)	Vol limbah pangkal (m ³ /phn) (<i>Base waste volume</i>) m ³ /tree	Vol limbah ujung (m ³ /phn) (<i>Tip waste volume</i>) m ³ /tree	Total vol limbah (m ³ /phn) (<i>Total volume of waste</i>) m ³ /tree	Total vol limbah (m ³ /ha) (<i>Total volume of waste</i>) m ³ /ha
Teknik Konvensional (<i>Conventional Technique</i>)				
1	4,56	2,44	7,00	35,00
2	4,12	2,14	6,26	25,04
3	5,63	2,63	8,27	49,62
Total (<i>Total</i>)	14,31	7,21	21,53	109,66
Rata-rata (<i>Average</i>)	4,77	2,40	7,18	36,55
St.Dev	0,78	0,25	1,02	12,36
Coef. Variasi	16,28	10,29	14,16	33,83
Teknik Perbaikan (<i>Improved Technique</i>)				
1	3,83	1,86	5,68	17,04
2	3,31	1,69	5,00	30,00
3	4,89	1,54	6,43	32,15
Total (<i>Total</i>)	12,03	5,09	17,11	79,19
Rata-rata (<i>Average</i>)	4,01	1,69	5,71	57,76
St.Dev	0,81	0,16	0,71	8,17
Coef. Variasi	20,08	9,47	12,53	14,15

banir tinggi, tumbuh di topografi terjal, jenis kayu kokoh), serta rajin merawat gergaji mesin.

Agar limbah penebangan dapat memiliki nilai ekonomis maka limbah tersebut dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar. Pemanfaatan limbah menjadi briket arang juga dimungkinkan dengan mengolah arang lebih lanjut menjadi briket. Briket arang dapat digunakan untuk kebutuhan sehari-hari. Selain briket arang, limbah penebangan juga dapat dimanfaatkan sebagai arang aktif dengan mengolah arang pada suhu tinggi hingga pori-pori terbuka dan dapat digunakan sebagai adsorben. Pemanfaatan limbah pemotongan lainnya dapat digunakan sebagai papan core block, kompos, dan pengkondisi tanah (Wulandari, 2019). Sedangkan dalam penelitian lain disebutkan bahwa limbah penebangan secara keseluruhan dapat digunakan untuk produk konstruksi perumahan (bantalan, dinding, kuda-kuda, tiang, palang, rangka, kasau), produk veneer, papan partikel, dan papan balok (Abidin et al., 2017).

Dari potongan kayu di hutan, hanya sekitar 40% yang digunakan untuk industri kayu lapis. Sisanya 60% dibuang secara cuma-cuma, mulai dari dahan dan ranting hingga pucuk pohon yang batangnya terlalu kecil. Masalah limbah kayu semakin mendapat perhatian dari para pengusaha kayu karena munculnya kecenderungan bahan baku industri perkayuan yang semakin menipis. Upaya meminimalkan limbah pemanenan dilakukan semaksimal mungkin untuk mencapai zero waste. Salah satunya dengan mengoptimalkan limbah pemanenan kayu (Abidin et al., 2017).

Pemanfaatan limbah kayu yang paling mudah dan tradisional adalah pemanfaatan sebagai kayu bakar. Lebih lanjut pemanfaatan limbah pemanenan di hutan tanaman sebagian besar dimanfaatkan sebagai bahan baku wood pelet, sementara di hutan alam limbah pemanenan dimanfaatkan sebagai bahan baku vinir, kayu gergajian, dan serpih kayu (Matangaran et al., 2013; Astana et al., 2015). Limbah tebangan ini umumnya berasal dari potongan pangkal yang memiliki diameter > 30 cm dengan panjang < 4 m. Sementara itu, limbah kayu tebangan kualitas jelek, selain memiliki diameter kecil dan mengandung cacat, panjang limbah kayu

tebangan ini tidak lebih dari 2 m. Limbah kayu tebangan kualitas jelek umumnya mengandung cacat alami seperti gerowong, bengkok, mata kayu, busuk hati, busuk batang, dan bonggol. Persentase cacat alami pada kayu sisa tebangan lebih besar dibandingkan cacat teknis (Budiaman & Audia, 2022). Hasil Penelitian 1) Di hutan alam Kabupaten Berau total volume limbah penebangan di areal penebangan adalah 509,7 m³ dan volume limbah yang dihasilkan setiap tebangan pohon rata-rata 8,5 m³/pohon) (Sari & Ariyanto, 2018); 2) Rata-rata volume limbah kayu di PT A adalah 2,410 m³/pohon sedangkan PT B adalah 0,472 m³/pohon (Suhartana & Yuniawati, 2018) sedangkan saat ini terjadi ketimpangan antara ketersediaan bahan baku yang terus menurun dengan kebutuhan kayu untuk industri. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui potensi limbah pemanenan kayu pada dua perusahaan hutan di Kalimantan dan pengaruhnya terhadap efisiensi pemanfaatan kayu. Metodologi penelitian dengan mengukur potensi tegakan, volume kayu yang dimanfaatkan, volume limbah kayu setelah pemanenan kayu, menghitung indeks tebang, indeks sarad dan efisiensi pemanfaatan kayu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa: (1; dan 3) Pada pembagian batang di petak tebang dan pengujian serta pengukuran di TPn masing-masing menghasilkan potensi limbah rata-rata sebesar 0,919 m³/pohon dan 0,093 m³/pohon (Soenarno et al., 2021).

Faktor limbah tebangan merupakan rasio perbandingan limbah pemanenan kayu yang tidak dimanfaatkan dengan kayu yang dapat dimanfaatkan. Faktor limbah tebangan erat kaitannya dengan faktor eksploitasi dan efisiensi pemanenan. Apabila limbah tebangan besar maka faktor eksploitasi dan efisiensi pemanenan kecil dan sebaliknya. Efisiensi pemanenan kayu dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain, ukuran kayu, jenis kayu, topografi dan kondisi lapangan, peralatan yang digunakan, dan keterampilan tenaga kerja (Mansur et al., 2013) District Long Ikis, Paser Regency, East Kalimantan Province for 1 month in June and July 2013. Experiments in coupe IUPHHK-HA PT. Rizki Kacida Reana RKT 2013 with a sample of 50 trees on the 3 coupe and the data collected is primary data in the form of observations and measurements of length and diameter of trees

that have fallen felled to obtain results which are expected to be utilized tree volume up to the first branch and stem volume not utilized, while the secondary data obtained directly from IUPHHK-HA PT. Rizki Kacida Reana and from the literature that supports. The results obtained are 1. Kisaran nilai faktor limbah tebangan yang lebar ini disebabkan terutama oleh perbedaan batasan tunggak sebagai limbah penebangan. Hasil kajian menunjukkan bahwa faktor limbah tebangan berkaitan erat dengan volume dan diameter pohon yang ditebang, teknik penebangan, dan kesehatan pohon yang ditebang. Sedangkan teknik pemanenan, status sertifikasi, lokasi HPH, dan topografi areal bekas tebangan tidak berpengaruh nyata terhadap faktor limbah (Budiaman & Audia, 2022). Hasil kajian menunjukkan bahwa teknik pembuatan takik rebah khususnya tinggi takik rebah dan arah rebah pohon berpengaruh nyata terhadap produksi kayu tebangan. Takik rebah serendah mungkin dan arah rebah yang tepat menghasilkan limbah kayu yang lebih rendah dibandingkan dengan takik rebah konvensional dan arah rebah yang tidak terarah. Mereka membuat takik yang benar untuk menghindari kerusakan pada pohon yang ditebang, seperti membelah untuk mengurangi produksi residu kayu dari penebangan (Budiaman & Audia, 2022)

A. Optimalisasi Produksi Kayu

Optimalisasi produksi adalah langkah yang digunakan dalam perencanaan dan pengaturan sumber daya dalam suatu perusahaan seperti bahan baku, modal kerja, tenaga kerja, fasilitas produksi agar permintaan konsumen dapat dipenuhi, bahan baku optimal, serta tercapainya efisiensi dan efektivitas proses produksi (Titilias, Linawati, & Parhusip, 2018). Optimalisasi produksi kayu hutan alam bertujuan untuk menyediakan bahan baku kayu dari hutan alam guna memenuhi kebutuhan industri kayu. Optimalisasi yang dilakukan dengan dua teknik penebangan dapat dilihat pada Tabel 4.

1. Variabel keputusan dari permasalahan : X_1 (Penebangan teknik konvensional) dan X_2 (Penebangan teknik perbaikan)

2. Kendala-kendala dapat dituliskan sebagai berikut : Produktivitas = $11 X_1 + 14 X_2 \leq 111$;
Biaya produksi = $7.401 X_1 + 5.458 X_2 \leq 43.665$;
Limbah tebangan = $7 X_1 + 6 X_2 \leq 285$
3. Fungsi tujuan dari permasalahan yaitu maksimumkan $Z = 4 X_1 + 5 X_2$

Berdasarkan output analisis pada Tabel 5, diketahui bahwa untuk mengoptimalkan produksi kayu, maka perusahaan harus menghasilkan volume kayu dengan teknik penebangan perbaikan sebesar $7,83 \text{ m}^3/\text{pohon}$ sehingga akan diperoleh produksi kayu sebesar $39,652 \text{ m}^3/\text{hari}$. Untuk mencapai hasil optimal tersebut maka penerapan teknik perbaikan pada penebangan di hutan alam perlu ditingkatkan.

Pada Tabel 6 menunjukkan bahwa nilai pengurangan biaya (*reduced cost*) teknik penebangan konvensional dan perbaikan adalah 0 atau tidak mempunyai pengurangan biaya (*reduced cost*), dengan kata lain nilai biaya yang dikurangkan yaitu 0 dimana hal ini menunjukkan bahwa penggunaan kedua variabel tersebut sudah optimal. Dari input batasan tersebut yang sudah optimal adalah produktivitas dan biaya produksi penebangan ditandai dengan nilai slack mendekati 0. Apabila nilai *slack* sama dengan 0 artinya setiap penambahan input produktivitas sebanyak $1 \text{ m}^3/\text{jam}$ akan meningkatkan produksi kayu sebanyak $0,348 \text{ m}^3/\text{jam}$. Limbah tebangan dari hasil analisis tersebut belum optimal karena dari kapasitas maksimum masih terdapat sisa sebesar $237,142 \text{ m}^3/\text{hari}$ sedangkan yang digunakan baru sebesar $47,859 \text{ m}^3/\text{hari}$.

Tabel 7 menunjukkan solusi optimum hasil analisis, di mana teknik penebangan konvensional menghasilkan solusi optimum adalah sebesar $0,126 \text{ m}^3$ sedangkan untuk teknik perbaikan adalah sebesar $7,830 \text{ m}^3/\text{pohon}$, sehingga diperoleh nilai optimal produksi kayu sebesar $39,652 \text{ m}^3/\text{hari}$. Sementara Tabel 8 menunjukkan hasil analisis iterasi solusi pemecahan masalah. Iterasi merupakan tahapan perhitungan yang dilalui hingga diperoleh solusi optimal. Berdasarkan Tabel 8 dapat dilihat bahwa terdapat 3 iterasi dalam permasalahan tersebut agar tercapai solusi yang optimal.

Tabel 4. Optimalisasi produksi kayu dengan dua teknik penebangan

Perihal (Regarding)	Teknik Konvensional (Conventional Tech- nique)	Teknik Perbaikan (Improved Tech- nique)	Kapasitas (capacity)
Produktivitas (Productivity)	11	14	111
Biaya produksi (Productivity cost)	7.401	5.458	43.665
Limbah tebangan (Logging waste)	7	6	285
Volume kayu (Woods Volume)	4	5	251

Tabel 5. Hasil analisis dengan POM-QM

	Teknik Konven- sional (Conven- tional Technique)	Teknik perbaikan (Improved Tech- nique)	Sisi kanan (Right Hand Site)	Ganda (Dual)
Maksimasi (Maxi- mize)	4	5		
Produktivitas (Pro- ductivity)	11	14	111	,3482
Biaya produksi (Production cost)	7401	5458	43665	0
Limbah tebangan (Logging waste)	7	6	285	0
Solusi (Solution)	,1256	7,8299	39,6518	

Tabel 6. Nilai reduced cos

Komponen (Varia- bel)	Nilai (Value)	Penguran- gan biaya (Reduced cost)	Nilai asli (Original value)	Batas bawah (Lower Bound)	Batas atas (Upper Bound)
Teknik Konvensional (Conventional tech- nique)	,01256	0	4	3,9286	6,78
Teknik Perbaikan (Im- proved techniques)	7,8299	0	5	2,0499	5,0909
Constraint	Dual Value	Slack/Surplus	Original Value	Lower Bound	Upper Bound
Produktivitas (Produc- tivity)	,3482	0	111	64,8987	112,0026
Biaya produksi (Pro- duction cost)	0	0	42665	43274,14	74682,82
Limbah tebangan (Logging waste)	0	237,1415	285	47,8585	infinity

Tabel 7. Daftar solusi

Komponen (<i>Variabel</i>)	Status (<i>Status</i>)	Nilai (<i>Value</i>)
Teknik Konvensional (<i>Conventional Technique</i>)	Dasar (<i>Basic</i>)	,1256
Teknik Perbaikan (<i>Improved Technique</i>)	Dasar (<i>Basic</i>)	7,8299
Slack 1	Bukan dasar (<i>Non Basic</i>)	0
Slack 2	Bukan dasar (<i>Non Basic</i>)	0
Slack 3	Dasar (<i>Basic</i>)	237,1415
Nilai optimal (<i>Optimal Value (2)</i>)		39,6518

Tabel 8. Iterasi solusi pemecahan masalah

Cj	Variabel dasar (<i>Basic Variables</i>)	4 Teknik Konvensional (<i>Conventional technique</i>)	5 Teknik Perbaikan (<i>Improved technique</i>)	0 Slack 1	0 Slack 2	0 Slack 3	Kuantitas (<i>Quantity</i>)
Pengulangan 1 (<i>Iteration 1</i>)							
	Cj-Zj	4	5	0	0	0	
0	Slack 1	11	14	1	0	0	111
0	Slack 2	7.401	5.458	0	1	0	43.665
0	Slack 3	7	6	0	0	1	285
Pengulangan 2 (<i>Iteration 2</i>)							
	Cj-Zj	0,0714	0		0	0	
5	T. Perbaikan (<i>Improved T</i>)	0,7857	1	0,0714	0	0	7,9286
0	Slack 2		0		1	0	
0	Slack 3	2,2857	0		0	1	
Pengulangan 3 (<i>Iteration 3</i>)							
	Cj-Zj	0	0		0,0	0	
	T. Perbaikan (<i>Improved T</i>)	0	1	0,1698		0	7,8299
	T. Konvensional (<i>Cventional T</i>)	1	0		0,0003	0	0,1256
	Slack 3	0	0			1	

Penerapan penebangan menggunakan teknik perbaikan perlu dilakukan melalui pendekatan agar dapat memberikan hasil yang tepat sasaran. Menerapkan teknik penebangan baru pasti akan membingungkan perusahaan dan pekerja di lapangan. Untuk itu perlu diperhatikan dan dipahami oleh berbagai pihak detail teknis yang dibutuhkan. Berdasarkan hasil penelitian Sabarudi et al. (2018), agar teknik RIL-C dapat diterapkan, harus ada sosialisasi tentang praktik RIL-C. Hal ini dimaksudkan agar perusahaan memahami sepenuhnya keuntungan dan kerugian dari penerapan teknik tersebut. Selain itu, juga penting untuk meningkatkan kapasitas sumber daya manusia bagi perusahaan dan auditor. Penerapan teknik perbaikan bertujuan untuk meningkatkan hasil produksi yang bermanfaat bagi perusahaan dan meminimalkan kerusakan lingkungan. Pemberian intensif dapat dilakukan secara langsung maupun tidak langsung tergantung kesepakatan yang dibuat oleh perusahaan dan instansi yang berwenang. Untuk itu, perlu dibentuk mekanisme insentif dan pembagian manfaat karbon bagi perusahaan yang menerapkan RIL-C. Setelah itu dapat ditentukan tekniknya dalam sistem silvikultur, dan dibuat kebijakan yang mengatur penerapan teknik tersebut agar mempunyai kekuatan hukum.

Apabila jumlah produksi optimal tidak mampu dicapai oleh suatu perusahaan maka akan menimbulkan dampak terhadap kepuasan *customer* dan merugikan perusahaan. Dalam penelitian ini apabila jumlah produksi yang optimal tidak tercapai maka tidak akan mencapai target, eksploitasi berlebihan, dan peningkatan biaya produksi. Tidak tercapainya produksi yang optimal dipengaruhi oleh beberapa kendala. Kendala yang ditemui dalam penebangan menggunakan kedua teknik tersebut adalah kemampuan operator dan jam kerja.

KESIMPULAN

Produktivitas penebangan dengan teknik perbaikan meningkat sebesar 3,35 m³/jam, rata-rata biaya produksi menjadi minimal sebesar Rp 3.683,91/m³ dan rata-rata volume limbah tebangan sebesar 5,705 m³/pohon. Penebangan teknik perbaikan dapat meningkatkan produksi

kayu menjadi optimal sebesar 7,83 m³/pohon sehingga akan diperoleh produksi kayu sebesar 39,652 m³/hari. Setiap penambahan input produktivitas sebanyak 1 m³/jam akan menghasilkan peningkatan produksi kayu sebanyak 0,348 m³/jam. Limbah tebangan dari hasil analisis tersebut belum optimal karena dari kapasitas maksimum masih terdapat sisa sebesar 237,142 m³/hari sedangkan yang digunakan baru sebesar 47,859 m³/hari.

UCAPAN TERIMA KASIH

Seluruh penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan yang telah mendanai kegiatan penelitian ini serta kepada IUPHHK-HA PT Inhutani I Unit Samarata, Distrik Berau yang telah memberikan ijin pelaksanaan kegiatan penelitian.

KONTRIBUSI PENULIS

YN memiliki kontribusi dalam konseptualisasi penelitian, pelaksana penelitian, dan analisis hasil. MHN memiliki kontribusi dalam analisis hasil, penulisan naskah, dan perbaikan naskah. YN dan MHN memiliki kontribusi yang sama dalam penulisan hasil penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Z., Thamrin, G. A. R., & Silaban, C. (2017). Potensi Limbah Pemanenan Kayu di Lokasi Penebangan IUPHHK-HA PT. Dasa Intiga, Kalimantan Tengah. *Jurnal Hutan Tropis*, 5(2), 174–181. <https://doi.org/10.20527/jht.v5i2.4372>
- Akram, Sahari, A., & Jaya, A. I. (2016). Optimalisasi Produksi Roti dengan Menggunakan Metode Branch and Bound (Studi Kasus pada BPabrik Roti Syariah BAKery, Jl. Maleo, Lrg. VIII No. 68 Palu). *Jurnal Ilmiah Matematika Dan Terapan*, 13(2), 98–107. <https://doi.org/10.22487/2540766x.2016.v13.i2.7209>
- Astana, S., Soenarno, & Endom, W. (2015). Potensi penerimaan negara bukan pajak dari limbah kayu pemanenan di hutan alam dan hutan tanaman (Potential Non-Tax State Revenue of Wood Waste from Harvesting in Natural and Plantation Production Forests). *Jurnal Penelitian Sosial Dan Ekonomi Kehutanan*, 12(2), 227–243.
- Bodaghi, A. I., Nikooy, M., Naghdi, R., Venanzi, R., Latterini, F., Tavankar, F., & Picchio, R. (2018).

- Ground-Based Extraction on Salvage Logging in Two High Forests : A Productivity and Cost Analysis. *Forests Journal*, 9(729), 1–18. <https://doi.org/10.3390/f9120729>
- Budiawan, A., & Audia, L. (2022). Kayu Sisa Setelah Penebangan Hutan Alam di Indonesia: Suatu Tinjauan Sistematis. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 20(2), 427–436. <https://doi.org/10.14710/jil.20.2.427-436>
- Budiawan, A., Mubarak, F. M., & Lismaya, W. (2020). Kayu Limbah Penebangan Intensitas Rendah di Izin Usaha Pemanfaatan Hasil Hutan Kayu-Hutan Alam. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 25(1), 145–151. <https://doi.org/10.18343/jipi.25.1.145>
- Dulsalam, Sukadaryati, & Yuniawati. (2018). Produktivitas, Efisiensi, dan Biaya Penebangan Silviculture Intensif pada Satu Perusahaan di Kalimantan Timur. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 36(1), 1–12. <https://doi.org/10.20886/jphh.2018.36.1.1-12>
- Dwijatenaya, I. B. Ma. A., Syahrani, & Cristia, N. (2018). Optimalisasi Usaha Kerupuk Ikan: Analisis Linier Programming dengan Metode Simpleks. *Jurnal "Gerbang Etam" Balitbangda Kab. Kukar*, 12(1), 18–30.
- FAO. (1992). *Cost control in forest harvesting and road construction*. FAO.
- Hutan, D. J. P. (1993). *Petunjuk cara pengukuran dan penetapan isi kayu bulat rimba Indonesia*. Direktorat Jenderal Pengusahaan Hutan.
- Mansur, A., Tirkaamiana, M. T., & Sutejo, H. (2013). Limbah pemanenan dan faktor eksploitasi IUPHHK-HA PT Rizki Kacida Reana-Kabupaten Paser Provinsi Kalimantan Timur. *Jurnal AGRIFOR*, XII(2), 116–131.
- Matangaran, J. R., Partiani, T., & Purnamasari, D. R. (2013). Faktor eksploitasi dan kuantifikasi limbah kayu dalam rangka peningkatan efisiensi pemanenan hutan alam. *Jurnal Bumi Lestari*, 13(2), 384–393.
- Muhdi. (2016). Productivity and cost analysis of felling in Indonesian selective cutting and planting , North Borneo , Indonesia. *International Journal of Science and Research*, 5(10), 141–143. <https://doi.org/10.21275/ART20162109>
- Muhdi, Elias, & Matangaran, J. R. (2015). Analisis Finansial Pemanenan Kayu Teknik Reduced Impact Logging Melalui Skema REDD+, Kalimantan Utara. *Jurnal Pertanian Tropik*, 2(1), 13–16.
- Sabarudi, Alviya, I., Salaka, F. J., & Salminah, M. (2018). Reduce Impact Logging-Carbon (RIL-C): Kunci Sukses Pengelolaan Hutan Lestari dan Penurunan Emisi. *Policy Brief Pusat Penelitian Dan Pengembangan Sosial, Ekonomi, Kebijakan Dan Perubahan Iklim*, 12(17), 1–4.
- Santina, A. C., Zuraidah, S., & Hastono, B. K. (2018). Optimalisasi Profil Baja IWF Pada Konstruksi Bangunan Parkir Sepeda Motor 4 Lantai (Studi Kasus Gedung Spazio Tower 2, Surabaya). *Ge-STRAM: Jurnal Perencanaan Dan Rekayasa Sipil*, 1(2), 72–79. <https://doi.org/10.25139/jprs.v1i2.1145>
- Sari, D. R., & Ariyanto. (2018). The potential of woody waste biomass from the logging activity at the natural forest of Berau District, East Kalimantan. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 144(1), 1–7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/144/1/012061>
- Sari, F. (2018). *Metode dalam Pengambilan Keputusan (Kedua)*. Yogyakarta: CV. Budi Utama.
- Soenarno, Endom, W., Basari, Z., Dulsalam, Suhartana, S., & Yuniawati. (2016). Faktor eksploitasi hutan di sub region Kalimantan Timur. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 34(4), 335–348.
- Soenarno, Endom, W., & Suhartana, S. (2018). Studi faktor pemanfaatan dan limbah pemanenan kayu di hutan alam Papua Barat. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 36(2), 67–84. <http://ejournal.forda-mof.org/ejournal-litbang/index.php/JPHH/article/view/2849/4277>
- Soenarno, & Yuniawati. (2019). Pengaruh Perbaikan Metode Penebangan Batang Terhadap Waktu Kerja dan Produktivitas Penebangan Hutan Alam Produksi: Studi Kasus di PT Dwimajaya Utama. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 37(1), 13–32. <https://doi.org/10.20886/jphh.2019.37.1.13-32>
- Soenarno, Yuniawati, Dulsalam, & Suhartana, S. (2021). Penetapan Angka Standard Faktor Eksploitasi Hutan Alam dan Potensi Limbah Pemanenan Kayu Sub Region Provinsi Kalimantan Tengah. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 39(3), 155–169. <https://doi.org/10.20886/jphh.2021.39.3.155-169>
- Suhartana, S., & Yuniawati. (2018). Pengaruh Limbah Pemanenan Kayu Terhadap Efisiensi Pemanfaatan Kayu Hutan Produksi Alam Pada Dua Perusahaan Hutan di Kalimantan. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 16(2), 147–154. <https://doi.org/10.14710/jil.16.2.147-154>
- Suhartana, S., & Yuniawati. (2019). Produktivitas Penebangan dan Penyeradan Kayu di Hutan Alam (Studi Kasus PT Karya Lestari). *Jurnal Hutan Tropis*, 7(3), 325–333. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.20527/jht.v7i3.7588>
- Surasana, I. N., Limbong, K. D., & Yosep. (2020). Limbah Penebangan Kayu di PT Dwimajaya

- Utama. *Journal of Environment and Management*, 1(3), 235–258.
- Titilias, Y. A., Linawati, L., & Parhusip, H. A. (2018). Optimasi Perencanaan Produksi Kayu Lapis PT.XXX Menggunakan Metode Goal Programming. *Jurnal Mipa*, 41(1), 13–19.
- Wulandari, F. T. (2019). Karakteristik Limbah Pemanenan dan Industri Hasil Hutan Kayu Serta Alternatif Pemanfaatannya. *Jurnal Sangkareang Mataram*, 5(3), 60–64.
- Yuniawati, & Tampubolon, R. M. (2021). Mengurangi Keterbukaan Hutan Melalui Teknik Pemanenan Kayu yang Tepat di Hutan Alam. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 19(2), 373–382. <https://doi.org/10.14710/jil.19.2.373-382>