

**PRODUKTIVITAS DAN BIAYA PENGELUARAN LIMBAH
PEMANENAN KAYU PADA HUTAN ALAM PEGUNUNGAN:
STUDI KASUS DI PT. JATI DHARMA INDAH PLYWOOD INDUSTRIES
KABUPATEN NABIRE, PAPUA**
**(*Productivity and Cost of Extracting Logging Waste in Mountain Natural
Forests: A Case Study in PT. Jati Dharmma Indah Plywood Industries, Nabire
District, Papua*)**

Soenarno, Dulsalam, & Yuniarwati

Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan
Jl. Gunung Batu No. 5 Bogor 16610
Telp. (0251) 8633378, Faks. (0251) 8633413
E-mail: soenarno@yahoo.co.id

Diterima 23 April 2020, direvisi 28 September 2020, disetujui 26 Oktober 2020

ABSTRACT

At present, logging activities have implemented Reduced Impact Logging (RIL) technology, but logging waste still occurs on average 17%. The logging waste has not been utilized because of the alleged high cost of production due to improper wood harvesting method. This study aims to obtain data and information on productivity and skidding costs of wood harvesting waste in mountainous natural forest areas. The results showed that the cost of producing wood harvesting waste with the tree-length logging method at ± 2 hm skid distance was Rp 35,693/m³, but when using the conventional method is Rp 349,125/m³. The tree-length logging method can not only remove the main wood but also free from branched wood waste (BBC) and trunk above the branch (BAC) till to landing site but also but it can increase the efficiency of wood utilization. However, the application of the tree-length logging method resulted in a decrease in logging productivity of 16.47% and skidding of 14.41% at an average skid distance of 3 hm. The average productivity of logging in the conventional method is 62.514 m³/hour while the tree length logging method is 52.289 m³/hour. The average productivity of skidding tree-length logging method is 17.301 m³/hour but the conventional method is 18.249 m³/hour. For the tree length logging method to be implemented in the field, it is necessary to make changes in the tariffs for felling and skidding wages following the reduced level of work productivity.

Keywords: Timber harvesting waste, tree-length logging, conventional, productivity, cost

ABSTRAK

Saat ini, kegiatan pemanenan kayu telah menerapkan teknologi pembalakan berdampak rendah (*Reduced Impact Logging/RIL*) tetapi masih terjadi limbah pemanenan kayu rata-rata 17%. Limbah tersebut belum dimanfaatkan karena diduga mahalnya biaya produksi karena belum diketahuinya metode pemanenan kayu yang tepat. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan data dan informasi produktivitas dan biaya penyiaran dan limbah pemanenan kayu pada areal hutan alam pegunungan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa biaya pengeluaran limbah pemanenan kayu metode *tree length logging* pada jarak sarad ± 2 hm sebesar Rp 35.693/m³. tetapi menggunakan metode konvensional adalah Rp 349.125/m³ belum termasuk DR dan PSDH. Metode *tree length logging* selain dapat mengeluarkan kayu utama juga limbah pemanenan kayu batang bebas cabang (BBC) dan batang di atas cabang (BAC) sampai TPn juga meningkatkan efisiensi pemanfaatan kayu. Tetapi, penerapan metode *tree length logging* mengakibatkan menurunnya produktivitas penebangan 16,47% dan penyiaran sebesar 14,41% pada jarak sarad rata-rata ± 2 hm. Produktivitas rata-rata penebangan metode konvensional

adalah 62,514 m³/jam, sedangkan metode *tree length logging* 52,289 m³/jam. Produktivitas rata-rata penyaradan metode *tree length logging* sebesar 17,301 m³/jam tetapi metode konvensional 18,249 m³/jam. Agar metode *tree length logging* dapat diimplementasikan di lapangan perlu dilakukan perubahan tarif upah penebangan dan penyaradan sesuai dengan tingkat penurunan produktivitas kerja.

Kata kunci: Limbah pemanenan kayu, *tree length logging*, konvensional, produktivitas, biaya

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pengelolaan hutan dengan sistem silvikultur Tebang Pilih Tanam Indonesia (TPTI) sangat mahal dan menimbulkan potensi terjadinya limbah pemanenan kayu dan kerusakan tegakan yang besar. Elias (2015) menyatakan bahwa biaya pemanfaatan kayu mencapai 48,43% dari total biaya pengelolaan hutan dan memberikan peluang 44% potensi kayu masak tebang tidak dimanfaatkan. Pemanenan kayu yang tidak efisien tersebut disebabkan penggunaan formula JPT, pelaksanaan operasional penebangan dan sistem upah yang kurang tepat. Garland dan Jackson (1997) menyatakan bahwa penebangan dan *bucking* yang benar akan meningkatkan kualitas kayu dan pendapatan dari hasil penjualan kayu, sehingga berdampak pada biaya penebangan. Bahkan, teknik penebangan yang diikuti dengan *bucking* yang tepat akan mempengaruhi efisiensi pemanfaatan dan kualitas kayu yang dihasilkan (Uusitalo, Kokko, & Kivinen, 2004). Menurut Akay, Sessions, Serin, Pak, dan Yemlmez, (2010), penerapan metode *bucking* yang tepat dapat meningkatkan volume 4,18% dengan nilai tambah dari pohon yang ditebang sebesar 9,31%.

Di lain pihak, beberapa perusahaan Izin Usaha Pemanfaatan Hasil Hutan Kayu pada Hutan Alam (IUPHHK-HA) telah menyadari bahwa secara teknis limbah pemanenan kayu sangat potensial dimanfaatkan lebih lanjut, baik untuk menjadi produk venir, kayu gergajian, *serpih kayu* maupun *biocharcoal*. Astana, Soenarno, dan Endom (2015) menyatakan bahwa limbah pemanenan kayu yang dinilai potensial dapat dimanfaatkan adalah limbah yang kondisinya masih baik (tidak pecah dan cacat) dengan ukuran panjang $\geq 1,3$ m dan maksimal mempunyai diameter 20 cm. Limbah tersebut dapat berasal dari limbah batang bebas cabang maupun limbah dari batang di atas

cabang. Namun demikian, sebenarnya limbah pemanenan kayu yang cacatpun (pecah, bengkok, mata buaya/*notch*, growong) juga berpotensi menjadi produk olahan *chips* atau *biocharcoal*.

Peluang untuk mengolah limbah pemanenan kayu bagi IUPHHK-HA sangat besar dengan dasar peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. P.13/Menlhk-II/2015 tentang ijin usaha industri primer hasil hutan (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2015). Ada dua faktor utama yang mempengaruhi terwujudnya upaya pemanfaatan limbah pemanenan kayu, diantaranya potensi dan biaya pengangkutan limbah pemanenan kayu dari petak tebang ke tempat pengumpulan kayu sementara (TPn) dan dari TPn ke tempat penimbunan kayu (TPK) pengolahan limbah. Ironisnya, data dan informasi potensi, kondisi, biaya, dan metode pengeluaran limbah pemanenan kayu hingga kini belum banyak diketahui oleh pemegang IUPHHK-HA. Penelitian ini bertujuan menyajikan data dan informasi penerapan metode *tree length logging* yang dilakukan di IUPHHK-HA PT. Jati Dharma Indah Plywood Industries (PT. JDIP) di Kabupaten Nabire, Provinsi Papua.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Bahan dan Peralatan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sling kabel baja untuk membantu mengikat kayu hasil tebangan, kapur, cat, spidol, plastik untuk label pohon ditebang, solar, minyak pelumas, dan lembar pencatatan (*tally sheet*). Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah gergaji rantai (*chainsaw*), traktor sarad (*skidder*), *phi-band* dan meteran untuk mengukur diameter dan panjang pohon yang ditebang, alat pengukur lereng (*clino meter*), kompas dan kamera digital untuk dokumentasi.

B. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan September 2018 di dua petak tebang yang dipilih secara sengaja (*purposive*), yaitu petak tebang no. 29 BK dan 34 BM. Secara geografis, areal kerja PT. JDIPI terletak pada $135^{\circ}04' - 135^{\circ}51'$ BT dan $03^{\circ}08' - 03^{\circ}42'$ LS. Kondisi areal penelitian sebagian besar bertopografi curam dengan kemiringan lereng berkisar antara 25–40%.

C. Prosedur Penelitian

Untuk mengetahui biaya pengeluaran limbah pemanenan kayu maka secara skematis penelitian dilakukan seperti disajikan pada Gambar 1. Prosedur penelitian di lapangan dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

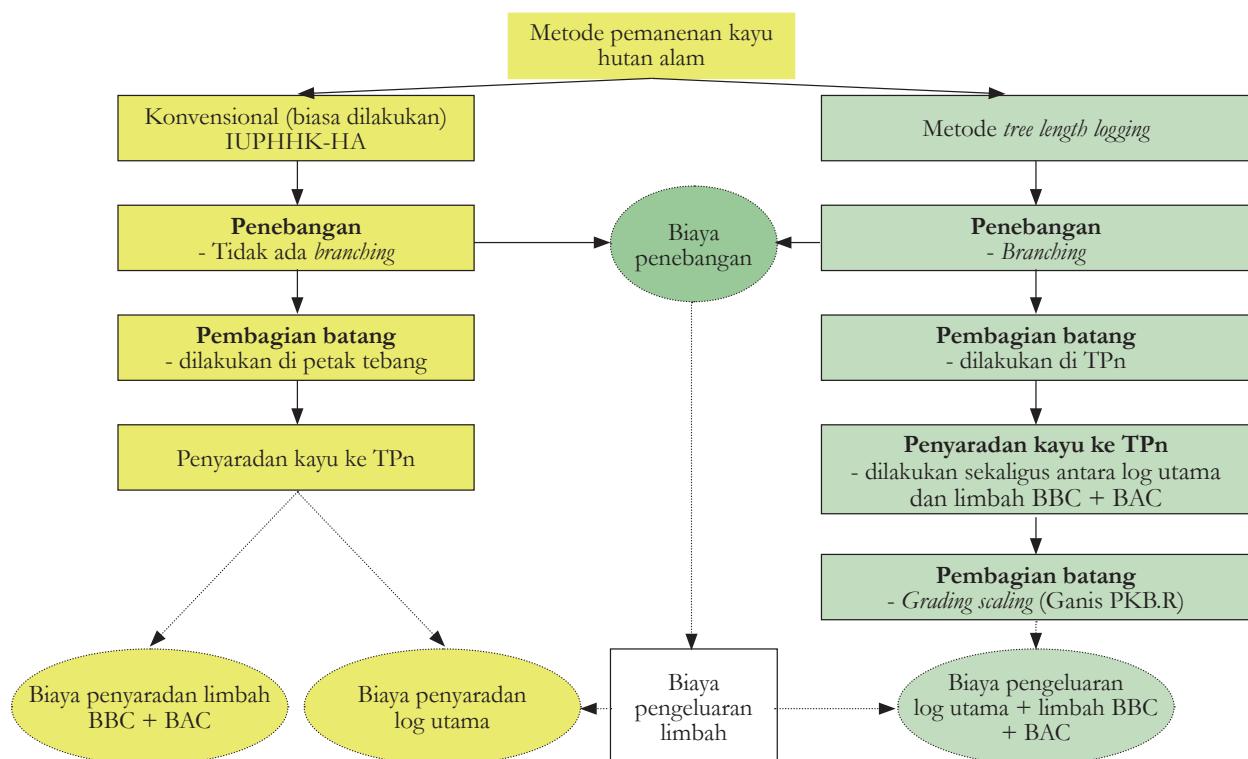
1. Menentukan petak tebang terpilih secara sengaja (*purposive*);
2. Membuat dan merancang penempatan petak contoh pengamatan (PCP) pada masing-masing petak tebang sebanyak dua buah PCP berukuran luas 3 ha ($100\text{ m} \times 300\text{ m}$)/PCP, satu unit PCP untuk metode pemanenan kayu konvensional dan satu unit PCP lainnya untuk metode *tree length logging*;

3. Menghitung semua jenis pohon yang layak ditebang (diameter 50 cm up) dan tegakan berdiameter 20 cm up pada setiap PCP;
4. Melaksanakan penebangan dan penyaradan kayu hasil penebangan berdasarkan metode pemanenan kayu (konvensional) dan metode *tree length logging*;
5. Mengukur volume kayu yang dimanfaatkan dan volume limbah pemanenan kayu.

Secara skematis, penempatan PCP pada petak tebang terpilih disajikan pada Gambar 2.

D. Data yang Dikumpulkan

1. Volume kayu yang dimanfaatkan dan kondisi limbah pemanenan kayu. Yang dimaksud limbah pemanenan kayu adalah bagian pohon dari batang jenis komersial yang ditebang berupa potongan pendek sisa pembagian batang, tunggak, batang diatas cabang dengan diameter minimal 30 cm.
2. Waktu kerja
Pengukuran waktu kerja pemanenan kayu meliputi waktu untuk menebang dan menyarad kayu sampai ke TPn. Waktu kerja penebangan terdiri dari waktu yang diperlukan



Gambar 1. Skema penelitian biaya penyaradan limbah pemanenan kayu

Figure 1. Research scheme of the extracting logging waste cost

untuk persiapan sebelum penebangan, waktu membuat takik tebang, pembagian batang (*bucking*), pemotongan cabang (*delimbing/branching*), dan pemotongan bagian ujung (*topping off*). Waktu penyaradan kayu terdiri dari waktu yang diperlukan traktor sarad dalam kondisi tidak bermuatan kayu dari TPn menuju pohon ditebang, manuver traktor, traktor bermuatan kayu dari pohon ditebang sampai ke TPn dan waktu penataan kayu/limbah di TPn.

E. Cara Pengukuran Limbah Pemanenan Kayu

1. Kegiatan Penebangan

a. Metode *tree length logging*

Data limbah penebangan kayu metode *tree length logging* (*TLL*) diperoleh dari hasil pengukuran oleh petugas teknis pengujian dan pengukuran kayu bulat rimba (Ganis PKBR) dari pohon yang ditebang di TPn (Gambar 3). Limbah yang diukur meliputi limbah tunggak, limbah batang bebas cabang (BBC) dan limbah batang di atas cabang (BAC) sampai minimal diameter bagian ujung 30 cm. Limbah tunggak dihitung dari selisih antara tinggi tunggak dikurangi tinggi tebang yang diijinkan, yaitu 30 cm (Ruslandi, 2013).

b. Metode konvensional

Pada prinsipnya pengukuran limbah penebangan pada metode pemanenan kayu konvensional sama dengan metode *TLL*, yaitu terdiri dari limbah tunggak, limbah BBC pembagian batang. Cara pengukurannya kayu BAC dilakukan secara terpisah dengan limbah BBC di petak tebang, seperti disajikan pada Gambar 4.

2. Kegiatan Penyaradan dan *Grading Scaling*

a. Metode *tree length logging*

Pengukuran limbah penyaradan metode *TLL* dilakukan dengan mengukur sortimen kayu yang tertinggal di sepanjang jalan sarad dan sisa pemotongan kayu (*trimming*) di TPn setelah proses pengujian dan pengukuran oleh petugas ganis PKBR.

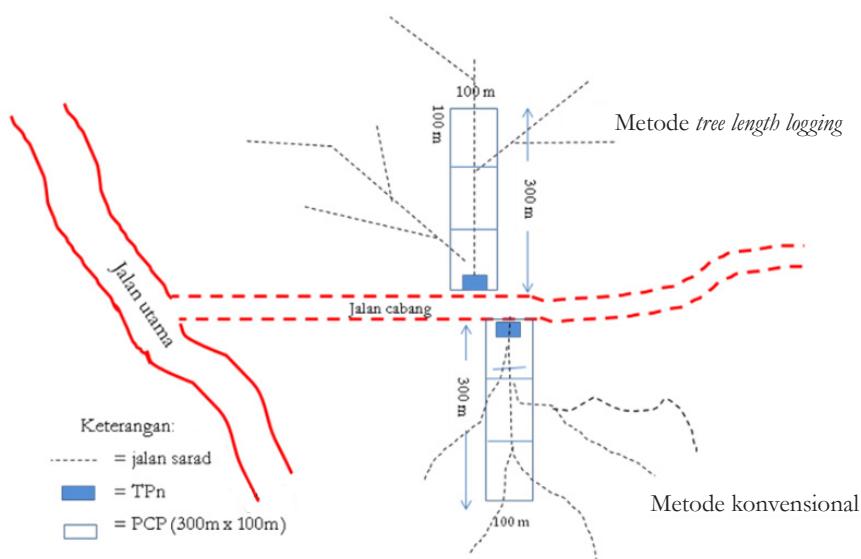
b. Metode konvensional

Cara pengukuran limbah penyaradan metode konvensional dilakukan secara terpisah dengan kayu yang dimanfaatkan setelah disarad ke TPn.

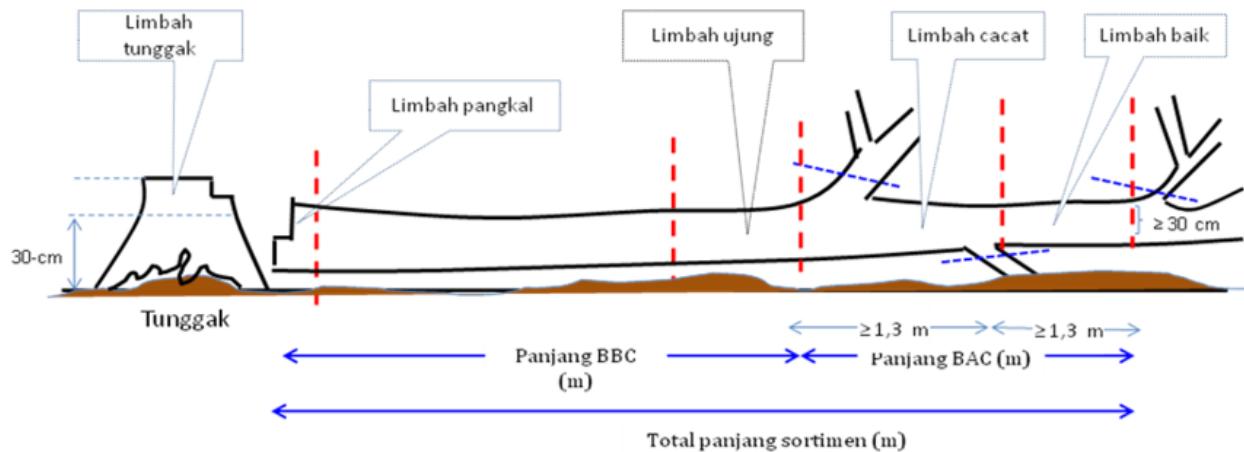
F. Pengolahan Data

1. Volume Kayu

Perhitungan volume kayu dan batang yang dimanfaatkan dengan menggunakan rumus SNI 7533.2:2011 (Badan Standardisasi Nasional, 2011) sebagai berikut:



Gambar 2. Ukuran dan penempatan PCP pada petak tebang
Figure 2. Size and placement of PCP in the cutting plot



Gambar 3. Cara pengukuran limbah kayu metode *tree length logging*
Figure 3. How to measure wood waste tree length logging method

$$I = \frac{\frac{1}{4} \pi \times d^2 \times p}{10,000} \text{ atau } I = \frac{0,785 \times d^2 \times p}{10,000} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan (Remarks): I = Isi (volume) kayu bundar (m^3); d = diameter kayu bundar (cm); p = panjang kayu bundar (m); $\pi = 3,1416$; $\frac{1}{4}\pi = 0,785$

diameter rata-rata dihitung menggunakan rumus :

Keterangan (*Remarks*): d = diameter kayu rata-rata (cm); dp = adalah diameter pangkal (cm); du adalah diameter ujung (cm)

2. Produktivitas Penebangan dan Penyaradan

Produktivitas dihitung dengan rumus pada persamaan 3 sebagaimana diuraikan dalam (Muhdi, Sucipto, dan Widyanti (2006) sebagai berikut:

Keterangan (*Remarks*): P = Produktivitas kerja (m^3/jam);
 V = Volume kayu (m^3); T = Waktu kerja (jam)

3. Biaya Penyaradan

Secara umum, biaya penebangan dan penarakan dihitung dengan menggunakan formula FAO, (1992).

4. Perubahan Tarif Upah

a. Penebangan

Mengetahui besarnya perubahan tarif upah penebangan disesuaikan dengan penurunan produktivitas penebangan, yaitu dengan formula:

$$T_{pt} = T_{pk} + (K_{pf}/100 \times T_{pk}) \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan (Remarks): T_{pt} = tarif upah penebangan metode TLL (Rp/m^3); T_{pk} = tarif upah penebangan metode konvensional (asumsi $\text{Rp } 14.500/\text{m}^3$); P_f = asumsi besaran penurunan produktivitas penebangan (%).

b. Penyaradan

Mengetahui besarnya penyesuaian tarif penyaradan kayu dapat dihitung dengan formula sederhana sebagai berikut:

Keterangan (Remarks): T_{st} = tarif upah sarad metode *TLL* (Rp/m³); T_{sk} = tarif upah sarad metode konvensional (asumsi Rp 12.500/m³); K_{sk} = asumsi besaran penurunan produktivitas penyaradan kayu (%)

Mengetahui biaya penyaradan limbah pemanenan kayu metode *tree length logging* yang dihitung berdasarkan formula sebagai berikut:

Keterangan (Remarks) : B_{ltl} = biaya penyaradan limbah kayu metode *TLL* ke TPn (Rp/m^3); B_{tl} = biaya penyaradan kayu *tree length logging* (Rp/m^3); B_{cv} = biaya penyaradan kayu konvensional; B_{kp} = biaya setelah kompensasi/penyesuaian penebangan (Rp/m^3); B_{ks} = biaya setelah kompensasi/penyesuaian penyaradan kayu (Rp/m^3)

Mengetahui biaya pengeluaran limbah pemanenan kayu metode konvensional dihitung berdasarkan formula sebagai berikut:

Keterangan (*Remarks*): B_{lkcv} = biaya pengeluaran limbah kayu konvensional ke TPn (Rp/m³); B_{cv} = biaya penyaradan limbah secara konvensional; B_{brlk} = biaya pemotongan cabang limbah pemanenan kayu (Rp/m³)

G. Analisis Data

Data hasil perhitungan produktivitas penebangan dan penyiaran dianalisis secara statistik dengan uji t menggunakan program

SPSS versi 10 (Wijaya, 2000). Teknik pengujian hipotesis dilakukan berdasarkan pengujian satu pihak, yaitu:

$$H_0: \mu = \mu_0$$

$H_1: \mu > \mu_0$, atau $H_1: \mu < \mu_0$

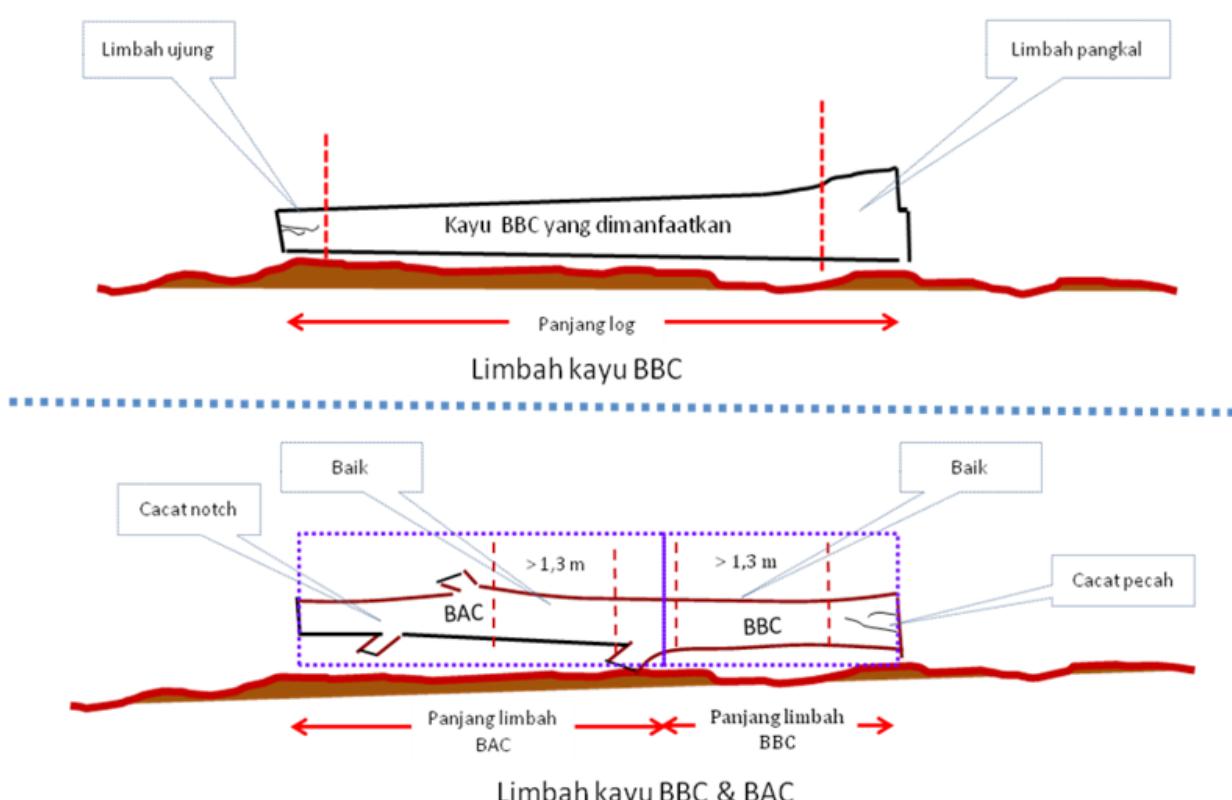
Keterangan (*Remarks*): μ = nilai rata-rata produktivitas kerja penebangan atau penyaradan

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Produktivitas Penebangan dan Upah Penebangan

Rekapitulasi hasil pengukuran dan perhitungan rata-rata produktivitas penebangan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 menunjukkan bahwa rata-rata produktivitas penebangan metode *TLL* adalah $52,217 \text{ m}^3/\text{jam}$ lebih rendah dibandingkan metode konvensional sebesar $62,514 \text{ m}^3/\text{jam}$ atau penurunan produktivitas sebesar $\pm 16,47\%$. Hal ini disebabkan karena pada penebangan



Gambar 4. Cara pengukuran sortimen kayu metode konvensional
Figure 4. Measurement of conventional wood sorting methods

Tabel 1. Rekapitulasi hasil perhitungan rata-rata produktivitas penebangan

Table 1. Recapitulation of the average felling productivity

Metode (Methods)	Petak tebang (Felling site)	Volume kayu (Tree volume, m^3 /tree, m^3 /pohon)	Jumlah pohon contoh (Number of sample trees, trees, pohon)	Waktu penebangan (Felling time, minutes, menit)	Produktivitas (Productivity, m^3 /hour, m^3 /pohon)
Konvensional (Conventional)	29 BK	3,634	20	3,76	61,126
	34 BM	3,190	22	3,84	63,903
	Rata-rata (Average)	3,412	21	3,80	62,514
Tree length logging	29 BK	5,377	22	6,84	50,638
	34 BM	4,598	25	5,21	53,795
	Rata-rata (Average)	4,987	24	6,025	52,217

metode *TLL* diperlukan tambahan waktu kerja untuk kegiatan pemotongan cabang (*branching*). Mengingat penerapan metode *TLL* tersebut mempengaruhi penurunan produktivitas penebangan maka diperlukan perubahan kebijakan besaran upah penebangan borongan dan pelatihan teknik *branching* bagi operator *chainsaw*. Tanpa adanya perubahan kebijakan dan pelatihan tersebut dikhawatirkan operator *chainsaw* tidak akan mau melaksanakan penebangan metode *TLL* karena produktivitasnya menjadi berkurang (Soenarno & Yuniawati, 2019). Plinio Sist, Nolan, Bertault, dan Dykstra (1998) dan Sist, Dykstra, dan Fimbel, (1999) menyatakan bahwa efisiensi waktu penebangan dapat ditingkatkan apabila sebelum memulai penebangan, operator *chainsaw* harus mempelajari terlebih dahulu keadaan topografi dan mengetahui informasi posisi pohon yang ada di peta Rencana Operasi Pemanenan Kayu (ROPK). Produktivitas penebangan juga dipengaruhi oleh kondisi gergaji

rantai yang digunakan, tingkat pengelolaan hutan dan kondisi hutan (Shegelman et al., 2019).

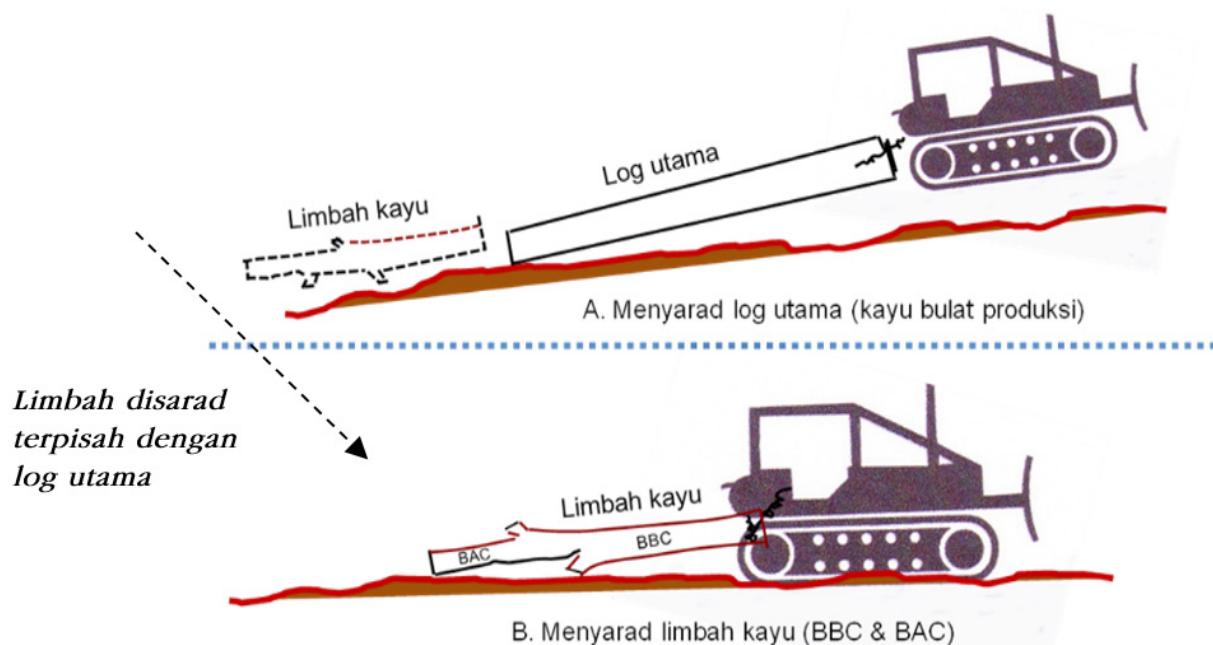
Hasil uji produktivitas penebangan antara metode konvensional dan metode *TLL* disajikan pada Tabel 2. Berdasarkan Tabel 2, nilai F_{hitung} adalah 3,507 lebih kecil dari nilai $F_{0,05(1:87)}$ sebesar 3,95 yang berarti H_0 diterima. Hal ini berarti tidak ada perbedaan nyata antara produktivitas penebangan metode konvensional dengan metode *TLL*. Kendatipun demikian, produktivitas penebangan metode *TLL* cenderung menurun $\pm 16,47\%$ dibandingkan metode konvensional. Penelitian Soenarno, dan Yuniawati (2019) tentang perbaikan metode pembagian batang ini memerlukan tambahan pekerjaan di petak tebang berupa kegiatan pemotongan cabang (*delimbing/branching*) sampai diameter ujung batang minimal 30 cm menyatakan bahwa pada areal hutan bertopografi landai menunjukkan waktu penebangan yang relatif sama dengan metode konvensional.

Tabel 2. Hasil uji statistik produktivitas penebangan pohon

Table 2. Statistic testing result of tree felling productivity

Sumber (Sources)	Jumlah kuadrat (Sum of Squares)	Derajad bebas (Degree of freedom)	Kuadrat rata-rata (Mean Square)	F_{hitung} ($F_{calculation}$)	Nyata (Significant)
Model terkoreksi (Corrected Model)	2256,544 ^a	1	2256,544	3,507	0,064
Pengaruh (Intercept)	292424,435	1	292424,435	454,462	0,000
Metode penebangan (Felling methods)	2256,544	1	2256,544	3,507	0,064
Kesalahan (Error)	55980,297	87	643,452		
Jumlah (Total)	351275,813	89			
Jumlah terkoreksi (Corrected Total)	58236,842	88			

Keterangan (Remarks): R kuadrat (*R Squared*) = 0,039 R kuadrat tersesuaikan (*Adjusted R Squared*) = 0,028



Gambar 5. Metode penyaradan limbah kayu konvensional
Figure 5. The method of skidding conventional logging waste

Hingga kini, PT. JDIP masih menggunakan sistem penebangan dengan upah borongan yaitu berkisar antara Rp 14.500–Rp 16.500/m³ tergantung jenis kayu. Namun, hasil penelitian Soenarno (2017) juga menyatakan besarnya upah borongan penebangan di IUPHHK-HA Provinsi Kalimantan berkisar antara Rp 6.000–Rp 7.500/m³ tergantung jenis kayu yang ditebang. Untuk jenis kayu tenggelam (*sinker*) upah penebangan pohon lebih mahal dibandingkan jenis yang terapung (*floater*). Mengingat ada kecenderungan produktivitas penebangan yang menurun sebesar 16,47%, maka diperlukan perubahan kebijakan upah penebangan. Agar metode *TLL* dapat diterapkan maka prinsip pendapatan operator *chainsaw* minimal sama besarnya dengan metode konvensional. Secara sederhana, dengan asumsi upah borongan penebangan sebesar Rp 14.500/m³

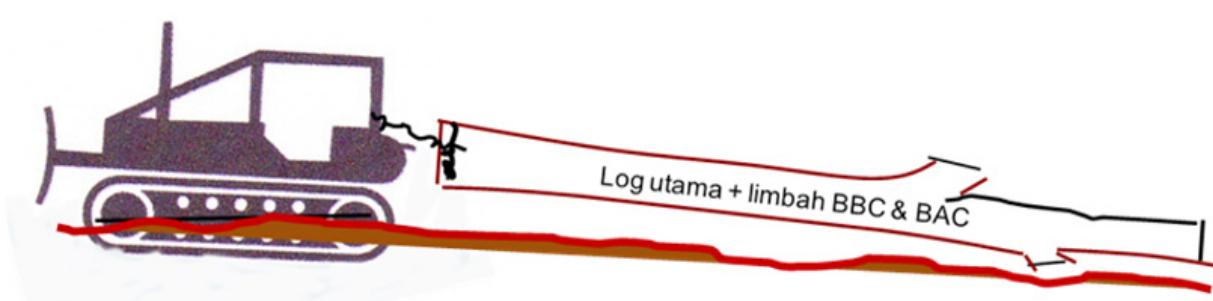
maka besaran perubahan tarif upah dengan metode *TLL* menjadi sebesar Rp 14.500/m³ + ((16,47/100) X Rp 14.500/m³) = Rp 14.500/m³ + Rp 2.388/m³ = Rp 16.888/m³ atau dibulatkan menjadi sebesar Rp 17.000/m³.

B. Produktivitas Penyaradan Kayu dan Limbah Pemanenan Kayu

Secara skematis, metode penyaradan kayu konvensional disajikan pada Gambar 5 dan metode *TLL* seperti disajikan Gambar 6.

1. Produktivitas Penyaradan Kayu Metode Konvensional dan *TLL*

Rekapitulasi hasil perhitungan produktivitas penyaradan kayu disajikan pada Tabel 3. Tabel 3 menunjukkan bahwa secara umum rata-



Gambar 6. Metode penyaradan limbah kayu *tree length logging*
Figure 6. Method of skidding *tree length logging* waste

Tabel 3. Produktivitas rata-rata penyaradan kayu bulat

Table 3. Average productivity of log skidding

Metode (Methods)	Petak tebang (Felling site)	Jumlah penyaradan*) (Number of log skidding), pulang pergi, trips)	Panjang kayu bulat (Log length, m)	Volume kayu (Wood volume) (m ³ /pohon, m ³ /tree)	Jarak sarad (Skidding distance) (m)	Produktivitas (Productivity)	
						(m ³ /jam, m ³ /hour)	(m ³ /hm.jam, m ³ /hm.hour)
Konvensional (Conventional)	29 BK	20	19,75	3,777	252	18,977	9,150
	34 BM	22	21,74	3,190	211	17,521	9,091
	Rata-rata (Average)	21	20,74	3,412	232	18,249	9,120
Tree length logging	29 BK	22	23,91	5,377	236	16,533	7,994
	34 BM	22	24,49	4,598	197	14,869	9,409
	Rata-rata (Average)	24	24,20	4,987	217	15,701	8,702

rata produktivitas penyaradan kayu metode konvensional sebesar 9,120 m³/hm.jam, sedangkan metode *TLL* sebesar 8,702 m³/hm.jam atau menurun ± 4,80%/hm. Apabila diasumsikan jarak sarad rata-rata 3 hm maka diperkirakan penurunan produktivitas penyaradan sebesar 14,41%. Menurunnya produktivitas penyaradan kayu metode *TLL* diduga lebih dipengaruhi perbedaan volume kayu dan ukuran panjang kayu yang disarad dengan metode *TLL*. Menurut Siswanto (2010) produktivitas penyaradan selain dipengaruhi kondisi topografi juga tergantung pada sebaran pohon yang ditebang. Pada kondisi jalan tersebut dan ukuran kayu tersebut maka traktor sarad banyak melakukan manuver dan *winching* di jalan sarad, sehingga menambah waktu penyaradan kayu (*skidding*).

Untuk mengetahui perbedaan produktivitas kedua metode penyaradan kayu tersebut dilakukan uji statistik yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4. Tabel 4 menunjukkan bahwa nilai

F_{hitung} adalah 1,343 lebih kecil dari nilai $F_{0,05}$ (1 : 82) sebesar 3,93 yang berarti H_0 diterima, sehingga dapat diartikan bahwa tidak terdapat perbedaan nyata produktivitas penyaradan antara metode konvensional dengan Metode *TLL*.

Idris dan Soenarno, (2015) menyatakan bahwa produktivitas penyaradan metode *TLL* ditentukan oleh jarak dan kondisi jalad sarad (jumlah dan jari-jari belokan), topografi lapangan dan ukuran panjang kayu yang disarad. Lebih lanjut disebutkan bahwa produktivitas rata-rata penyaradan kayu metode *TLL* di Kalimantan Tengah pada topografi datar sampai landai adalah 22,217 m³/jam atau ± 14,092 m³/hm.jam pada jarak sarad rata-rata ± 158 m. Berdasarkan data Tabel 3 dan 4 tersebut di atas, agar penyaradan dengan metode *TLL* dapat diterapkan dan operator traktor sarad tidak berkurang pendapatannya karena adanya kecenderungan menurunnya produktivitas maka diperlukan penyesuaian upah penyaradan.

Tabel 4. Hasil uji statistik produktivitas penyaradan kayu bulat

Table 4. Statistic testing result of log skidding productivity

Sumber (Source)	Jumlah kuadrat (Sum of Squares)	Derajad bebas (Degree of freedom)	Kuadrat rata-rata (Mean Square)	F_{hitung} ($F_{calculation}$)	Nyata (Significant)
Model terkoreksi (Corrected Model)	39,792 ^a	1	39,792	1,343	0,250
Pengaruh (Intercept)	7390,527	1	7390,527	249,515	0,000
Metode penebangan (Felling methods)	39,792	1	39,792	1,343	0,250
Kesalahan (Error)	2428,809	82	29,620		
Jumlah (Total)	9824,251	84			
Jumlah terkoreksi (Corrected Total)	2468,601	83			

Keterangan (Remarks) : R kuadrat (*R Squared*) = 0,016 R kuadrat tersesuaikan (*Adjusted R Squared*) = 0,004

Tabel 5. Rekapitulasi biaya rata-rata penyaradan kayu bulat**Table 5. Recapitulation of the average cost of log skidding**

Metode pemanenan kayu (Logging method)	Petak tebang (Felling site)	Volume kayu bulat (Log volume, m ³)	Panjang kayu bulat (log length, m)	Jarak sarad (Skidding distance, m)	Biaya penyaradan (Skidding cost) (Rp/m ³)	Biaya penyaradan (Skidding cost) (Rp/m ³ .hm)
Konvensional	29 BK	3,634	19,75	252	136.992	53.308
	34 BM	3,190	21,74	211	108.983	55.416
	Rata-rata (Average)	3,412	20,74	231	122.988	54.362
Tree length logging	29 BK	5,377	23,91	236	119.888	58.640
	34 BM	4,598	24,49	196	134.972	75.122
	Rata-rata (Average)	4,987	24,20	216	127.430	66.881

2. Biaya Penyaradan Kayu Bulat Metode Konvensional dan TLL

Dengan asumsi upah penyaradan kayu metode konvensional di PT. JDIP yang berlaku adalah Rp 12.500/m³ maka rekapitulasi perhitungan biaya penyaradan kayu disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5 menunjukkan bahwa biaya penyaradan kayu konvensional rata-rata Rp 122.988/m³ atau Rp 54.362/m³.hm. Hasil penelitian Muhdi (2015) menunjukkan produktivitas penyaradan kayu dengan traktor Catterpillar D7G dengan teknik konvensional sebesar 21,78 m³/jam dan dengan teknik RIL sebesar 26,79 m³/jam. Biaya penyaradan kayu metode TLL rata-rata Rp 127.430/m³ atau Rp 66.881/m³.hm lebih mahal dibandingkan metode konvensional sebesar Rp 122.988/m³ atau Rp 54.362/m³.hm. Mahalnya biaya penyaradan kayu metode TLL dibandingkan penyaradan konvensional disebabkan perbedaan panjang dan volume kayu yang disarad. Dari Tabel 5 juga dapat dilihat bahwa volume kayu bulat rata-rata pada metode TLL 4,987 m³/pohon dengan panjang 24,2 m lebih besar dibandingkan metode konvensional yang rata-rata 3,483 m³/pohon dan panjang 20,74 m. Biaya penyaradan kayu bulat dengan traktor Catterpillar D7G dengan teknik konvensional dan RIL di Kalimantan Utara masing-masing sebesar Rp 10.597,19/m³ dan Rp 8.695,39/m³ (Muhdi, 2015). Biaya penyaradan di Kalimantan Utara tersebut lebih murah dibandingkan Papua diduga karena upah kerja di Papua lebih mahal. Sebagai gambaran, upah kerja penyaradan kayu bulat di Kalimantan sebesar Rp 4.500/m³ tetapi di Papua mencapai Rp 12.500/m³.

Dari Tabel 3 dan Tabel 5 dapat dihitung besarnya penyesuaian upah penyaradan kayu metode TLL sebesar Rp (14,41/100 X Rp 12.500) = Rp 1.801/m³, sehingga besaran upah penyaradan kayu menjadi Rp 12.500/m³ + Rp 1.801/m³ = Rp 14.301/m³ atau dibulatkan menjadi sebesar Rp 14.250/m³.

Oleh karena itu, agar pemanenan kayu metode TLL dapat diterapkan maka manajemen PT. JDIP perlu melakukan penyesuaian upah penebangan dan penyaradan menjadi sebesar Rp 31.250/m³ (Rp 17.000 + Rp 14.250). Secara finansial, dengan menaikkan tarif upah menjadi Rp 31.250/m³ maka penerapan metode TLL masih menguntungkan bagi perusahaan karena meningkatnya efisiensi pemanfaatan kayu sehingga menambah produksi kayu bulat yang dihasilkan. Peningkatan efisiensi pemanfaatan kayu metode TLL berkisar antara 89,34–91,64% atau rata-rata 90,5% lebih tinggi dibandingkan metode konvensional yang berkisar antara 85,23–87,17% atau rata-rata 86,2%. Produksi kayu meningkat rata-rata menjadi 1,575 m³/pohon atau dari rata-rata 4,987 m³/pohon dengan metode TLL tetapi dengan metode konvensional hanya 3,483 m³/pohon. Apabila disasumsikan harga kayu bulat rimba sebesar Rp 1.100.000/m³ berarti perusahaan masih memperoleh keuntungan sebesar Rp 1.068.750/m³.

Namun demikian, pada areal bertopografi yang lebih ringan (datar-landai) biaya penyesuaian upah penebangan dan penyaradan diduga akan berkurang. Sebagai gambaran, pada jarak pohon yang sama, waktu yang diperlukan operator chainsaw untuk menuju pohon ditebang lebih

Tabel 6. Hasil uji statistik biaya penyaradan kayu bulat

Table 6. Statistical tests results on log skidding costs

Variabel bebas (*Dependent variable*): Biaya (*Cost*), Rp/hm.m³

Sumber (<i>Source</i>)	Jumlah kuadrat (<i>Sum of Squares</i>)	Derajad bebas (<i>Degree of freedom</i>)	Kudrat rata-rata (<i>Mean Square</i>)	F _{hitung} (<i>F_{calculation}</i>)	Nyata (<i>Significant</i>)
Model terkoreksi (<i>Corrected Model</i>)	6,956E9	1	6,956E9	1,760	0,188
Intercept	1,173E12	1	1,173E12	296,899	0,000
Metode (<i>Method</i>)	6,956E9	1	6,956E9	1,760	0,188
Kesalahan (<i>Error</i>)	3,241E11	82	3,952E9		
Jumlah (<i>Total</i>)	1,516E12	84			
Jumlah terkoreksi (<i>Corrected Total</i>)	3,310E11	83			

Keterangan (*Remarks*) : R kuadrat (*R Squared*) = 0,042; R kuadrad terkoreksi (*Adjusted R Squared*)=0,030

lama. Demikian juga pada proses penyaradan dengan jarak sarad yang sama, diperlukan waktu lebih lama karena traktor sarad lebih sering bermanuver dan *winching*. Elias (2008) menyatakan bahwa pola dan panjang jalan sarad diantaranya dipengaruhi oleh topografi, tanah, iklim dan sistem penyaradan. Pola jaringan jalan sarad pada topografi ringan lebih sederhana tetapi pada areal yang curam dibuat mengikuti kontur agar tanjakan/turunan jalan sarad tidak melebihi 30% (Elias, 2008). Akibatnya pola jalan sarad banyak terjadi belokan-belokan cukup tajam, sehingga mempengaruhi produktivitas dan biaya (Soenarno, Dulsalam, & Sukadaryati, 2019). Pada metode konvensional kayu yang disarad hanya kayu utama (*log*) tetapi pada metode *TLL* tidak saja *log* tetapi juga termasuk limbah pemanenan kayu BBC dan BAC. Idris dan Sukanda (2012) menyatakan besarnya biaya penyaradan metode *TLL* tergantung pada jarak sarad, lebih lanjut Idris dan Sukanda (2012) menjelaskan bahwa pada jarak sarad \pm 395 m biaya penyaradan \pm Rp 84.817,92/m³ tetapi pada jarak sarad berkisar antara 151–175 m maka besarnya biaya penyaradan berkisar antara Rp 14.155,19–Rp 33.636,55/m³.

Untuk mengetahui perbedaan biaya penyaradan kayu metode konvensional dan *TLL* dilakukan uji statistik sebagaimana disajikan pada Tabel 6. Tabel 6 menunjukkan bahwa $F_{hitung} = 1,760 < F_{0,05(1,82)} = 3,89$, ini berarti bahwa tidak ada perbedaan nyata biaya penyaradan kayu (Rp/m³) antara metode konvensional dan metode *TLL*.

C. Biaya Pemotongan Cabang dan Penyaradan Limbah Pemanenan Kayu Metode Konvensional

1. Biaya Pemotongan Cabang Limbah Pemanenan Kayu Konvensional

Sebelum limbah pemanenan kayu bagian ujung metode konvensional disarad (lihat Gambar 4) ke TPn dilakukan pemotongan cabang (*branching*). Kegiatan pemotongan cabang pada limbah tersebut untuk memudahkan penyaradan dan mengurangi risiko terjadinya kerusakan permudaan. Rekapitulasi hasil pengukuran volume dan waktu pemotongan cabang disajikan pada Tabel 7. Waktu dan biaya untuk pemotongan cabang (*branching*) limbah pemanenan kayu metode konvensional dihitung berdasarkan volume limbah yang diperoleh seperti disajikan pada Tabel 7. Dari Tabel 6 menunjukkan bahwa biaya untuk pemotongan cabang limbah pemanenan kayu konvensional berkisar antara Rp 12.178–Rp 14.288/m³ dengan rata-rata Rp 13.233/m³. Biaya pemotongan cabang limbah pemanenan kayu tersebut tergantung banyaknya volume limbah yang diperoleh penebang dan merupakan bagian dari biaya pengeluaran limbah konvensional.

2. Biaya Penyaradan dan Pengeluaran Limbah Pemanenan Kayu Konvensional

Rekapitulasi hasil perhitungan biaya penyaradan limbah secara konvesional sampai ke TPn disajikan pada Tabel 8. Tabel 8 menunjukkan

Tabel 7. Rata-rata volume, produktivitas dan biaya pemotongan cabang limbah pemanenan kayu metode konvensional**Table 7. Average of volume, productivity and branching of logging waste using conventional method**

No.	Petak tebang (Felling site)	Volume limbah pemanenan kayu (Volume of logging waste, m^3 /tree, m^3 /pohon)	Waktu pemotongan cabang (Time of branching, minutes, menit)	Produktivitas (Productivity, m^3 /hour, m^3 /jam)	Biaya (Cost, RP/ m^3)
1.	29 BK	0,941	0,83	86,380	14.288
2.	34 BM	0,840	0,80	70,047	12.178
Rata-rata (Average)		0,891	0,82	78,21	13.233

Keterangan (Remarks): Upah penebangan diasumsikan (*Logging wages are assumed*), RP 14.500/ m^3

bahwa biaya penyaradan limbah pemanenan kayu secara konvensional berkisar antara RP 301.262–RP 370.522/ m^3 dengan rata-rata RP 335.892/ m^3 pada jarak sarad. 215 m (\pm 2 hm). Dengan demikian keseluruhan biaya pengeluaran limbah pemanenan kayu rata-rata sampai TPn dengan metode konvensional adalah RP 335.892/ m^3 + RP 12.333/ m^3 menjadi RP 349.125/ m^3 belum termasuk DR dan PSDH. Apabila limbah pemanenan kayu tersebut dianggap sebagai KBK maka besarnya retribusi DR adalah UD\$ 4/ m^3 dan PSDH 10% HP sebesar RP 310.000/ m^3 (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2017; Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia, 2014). Tetapi apabila limbah pemanenan kayu diasumsikan sebagai KBK maka biaya pengeluaran limbah pemanenan kayu setelah biaya PNBP (DR dan PSDH) menjadi sebesar 433.725/ m^3 (RP 349.125/ m^3 + RP 53.600/ m^3 + RP 31.000/ m^3).

Menurut Supriadi, Rachman, dan Iskandar, (2006) harga jual kayu serpih RP 360.000/ton atau \pm RP 288.000/ m^3 . Jarak antara petak tebang sampai ke TPK di PT. JDIP berkisar antara 20–80 km dengan jarak angkut rata-rata 50 km. Penelitian Sukadaryati (2009) menyatakan biaya pengangkutan kayu pada hutan tanaman industri menggunakan truk Mitsubishi PS220/260, Hino PS260, Volvo 380, Mitsubishi PS120/135 dan Mercedes Benz 2631 berturut-turut sebesar RP 585,165/ m^3 .km; RP 619,265/ m^3 .km; RP 949,630/ m^3 .km; RP 1.403,864/ m^3 .km dan RP 1.686,553/ m^3 .km. Apabila diasumsikan biaya pengangkutan limbah kayu sebesar \pm RP 1.000/ m^3 .km maka diperkirakan biaya total pengeluaran limbah hingga ke TPK dengan metode konvensional

menjadi rata-rata RP 433.725/ m^3 + (RP 1.000/ m^3 .km x 50 km) menjadi sebesar \pm RP 483.725/ m^3 .

Berdasarkan Tabel 5 dapat diketahui biaya pengeluaran limbah pemanenan kayu metode *TLL* sampai ke TPn, yaitu selisih antara biaya penyaradan operasional metode *TLL* dengan konvensional, sebesar (RP 127.430/ m^3 –RP 122.988/ m^3) ditambah upah penebangan yang disesuaikan (RP 17.000/ m^3) dan upah penyaradan disesuaikan (RP 14.250/ m^3) menjadi sebesar RP 35.693/ m^3 . Besarnya biaya mengeluarkan limbah tersebut setelah ditambah retribusi DR dan PSDH menjadi sebesar RP 35.693/ m^3 + RP 53.600/ m^3 + RP 31.000/ m^3 = RP 120.292/ m^3 . Apabila jarak angkut limbah pemanenan kayu ke TPK/industri pengolahan diasumsikan adalah \pm 50 km dengan biaya \pm RP 1000/ m^3 maka total biaya pengeluaran limbah diperkirakan menjadi sebesar RP 120.292/ m^3 + (RP 1.000/ m^3 .km x 50 km) menjadi \pm RP 170.292/ m^3 . Dengan demikian, secara ekonomis definisi limbah pemanenan kayu sebagai KBK perlu ditinjau kembali dan pengeluaran limbah pemanenan kayu dengan metode konvensional dinilai tidak layak.

Tetapi, apabila diasumsikan bahwa limbah pemanenan kayu dikategorikan sebagai kayu bakar dengan tarif DR sebesar 2 USD/sm dan HP sebesar RP 22.000/sm dan asumsi 1 sm setara dengan 0,9 m^3 maka total biaya pengeluaran limbah tersebut diperkirakan sebesar [RP 35.692/ m^3 x (1/0,9)] + (RP 26.800/sm + RP 2.200/sm) + [(RP 1.000/ m^3 .km x 50 km x (1/0,9)] menjadi \pm RP 123.261/sm atau \pm RP 110.935/ m^3 . Astana et al. (2015) menyatakan sebenarnya

Tabel 8. Biaya penyaradan limbah pemanenan kayu konvensional

Table 8. Skidding costs of conventional logging waste

Petak tebang (<i>Felling site</i>)	Uraian (<i>Description</i>)	Volume limbah pemanenan kayu (<i>Volume of logging waste</i>) (m^3)	Jarak sarad (<i>Skidding distance</i>) (m)	Biaya penyaradan limbah (<i>Skidding cost</i>) (Rp/ $m^3.hm$)
29 BK	Rata-rata (<i>Average</i>)	0,941	192,4	271.136
	Minimum	0,213	170,0	119.708
	Maksimum (<i>Maximum</i>)	2,637	450,0	734.953
34 BM	Rata-rata (<i>Average</i>)	0,840	237,9	370.522
	Minimum	0,297	150,0	112.369
	Maksimum (<i>Maximum</i>)	1,817	370,0	888.810
Total rata-rata (<i>Grand average</i>)		0,890	215,1	335.892
				154.571

Keterangan (*Remarks*) : Total jumlah sample : 37 sortimen (*Total number of samples: 37 sortimens*)

limbah kayu dapat dikenakan DR sebesar USD 2/ m^3 (PP 92/1999) dan PSDH sebesar 1% dari Harga Patokan (HP)/ m^3 (PP 59 tahun 1998), namun kedua peraturan tersebut sudah dicabut dan terakhir dirubah menjadi PP no 12 tahun 2014 dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan: P.64/Menlhk/Sekjen/Kum.1/12/2017. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, pengukuran limbah pemanenan kayu di hutan alam lebih mudah menggunakan satuan volume (m^3) dibandingkan staple meter (sm) atau satuan berat (ton). Namun demikian limbah pemanenan kayu di hutan tanaman lebih tepat menggunakan satuan berat karena mempunyai tingkat akurasi yang lebih baik walaupun memerlukan investasi untuk pengadaan timbangan (Soenarno & Endom, 2016). Biaya pengeluaran limbah pemanenan kayu dengan metode *TLL* masih dianggap mahal oleh PT. JDIP karena untuk sampai lokasi pengolahan *biocharcoal* masih harus diangkut menggunakan ponton ke Dawai - Serui, Kabupaten Yapen Waropen. Oleh karena itu, agar pemanfaatan limbah pemanenan kayu dapat menarik minat bagi PT. JDIP maka Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan disarankan untuk (1) meredifinisi limbah pemanenan kayu, (2) meninjau ulang tarif dan besar harga patokan, dan (3) memberlakukan tarif dan harga patokan PNBP dan (3) PT. JDIP disarankan untuk menerapkan metode *TLL* dan mengolah limbah pemanenan kayu di TPK.

IV. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Secara teknis dan ekonomis, biaya pengeluaran limbah pemanenan kayu sampai ke TPn dengan metode *TLL* cukup murah, sedangkan dengan metode konvensional biayanya sangat mahal. Biaya biaya pengeluaran limbah pemanenan kayu metode konvensional pada jarak sarad \pm 2 hm sampai ke TPn sebesar Rp 335.892/ m^3 + Rp 12.333/ m^3 menjadi Rp 349.125/ m^3 belum termasuk DR dan PSDH. Biaya pengeluaran limbah pemanenan kayu metode *TLL* pada jarak yang sama sebesar Rp 35.693/ m^3 . Produktivitas penebangan rata-rata metode *TLL* lebih rendah \pm 16,92% atau sebesar 52,289 m^3 /jam dibandingkan metode konvensional yaitu 62,514 m^3 /jam. Produktivitas penebangan metode *TLL* adalah 52,217 m^3 /jam lebih rendah dibandingkan metode konvensional sebesar 62,514 m^3 /jam atau penurunan produktivitas sebesar \pm 16,47%. Keuntungan metode *TLL* dapat sekaligus menyarad limbah pemanenan kayu yang berasal dari BBC dan BAC ke TPn dan meningkatkan efisiensi pemanfaatan kayu. Tetapi limbah pemanenan kayu dengan metode konvensional masih tertinggal di petak tebang. Saat ini, perusahaan belum memanfaatkan potensi limbah pemanenan kayu karena pertimbangan mahalnya tarif dan harga patokan PNBP dan jarak angkut ke TPK/industri pengolahan limbah kayu.

B. Rekomendasi

Agar limbah pemanenan kayu dapat dimanfaatkan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan disarankan untuk (1) meredefinisi pengertian limbah pemanenan kayu, (2) meninjau ulang tarif dan besar harga patokan, dan (3) memberlakukan tarif dan harga patokan PNBP tanpa melihat kondisi dan ukuran limbah pemanenan kayu. PT. JDIPI perlu (1) menerapkan metode *TLL* dan mengolah limbah pemanenan kayu di TPK, (2) meninjau ulang kebijakan upah penebangan dan penyarada, dan (3) melakukan pelatihan teknik pembagian batang dan perencekan/pemotongan cabang (*branching*) bagi operator *chainsaw* dan teknik *winching* yang efisien bagi operator traktor sarad.

KONTRIBUSI PENULIS

Ide, desain, dan rancangan percobaan dilakukan oleh SOE; percobaan dan perlakuan pengujian dilakukan oleh SOE, DUL, & YNI; pengumpulan data dan analisis data dilakukan oleh SOE; penulisan manuskrip oleh SOE; perbaikan dan finalisasi manuskrip dilakukan oleh SOE.

DAFTAR PUSTAKA

- Akay, A. E., Sessions, J., Serin, H., Pak, M., & Yemlmez, N. (2010). Applying optimum bucking method in producing taurus fir (*Abies cilicica*) logs in mediterranean region of Turkey. *Baltic Forestry*, 16(2), 273–279.
- Astana, S., Soenarno, & Endom, W. (2015). Potensi penerimaan negara bukan pajak dari limbah pemanenan di hutan alam dan hutan tanaman. *Jurnal Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan*, 12(3), 227–243.
- Elias. (2008). *Pembukaan wilayah hutan* (Edisi I). Bogor: IPB Press.
- Elias. (2015). *Pengertian dan perkembangan IPTEKS pemanenan kayu*. Fakultas Kehutanan, IPB, Bogor.
- FAO. (1992). Cost control in forest harvesting and road construction. *FAO Forestry Paper No. 99*. FAO of the UN . Food and Agricultural Organization. Rome.
- Garland, J., & Jackson, D. (1997). *Felling and bucking techniques for woodland owners*. Oregon.
- Idris, M. M., & Soenarno. (2015). Penerapan metode tree length logging skala operasional di areal teknik silvikultur intensif. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 33(1), 19–34.
- Idris, M. M., & Sukanda. (2012). Biaya dan produktivitas tree length logging di hutan alam produksi. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 30(4), 269–278.
- Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia. Peraturan Pemerintah Nomor 12 Tahun 2014 tentang jneis dan tarif atas jenis penerimaan negara bukan pajak yang berlaku pada Kementerian Kehutanan (2014). Jakarta: Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor: P.13/Menlhk-II/2015 tentang izin usaha industri primer hasil hutan (2015). Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Jakarta.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan nomor: P.64/menlhk/setjen/kum.1/ 12/2017 tentang penetapan harga patokan hasil hutan untuk perhitungan provisi sumberdaya hutan dan ganti rugi tegakan (2017). Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Jakarta.
- Muhdi. (2015). Analisis biaya dan produktivitas penyaradan kayu dengan traktor caterpillar D7G di hutan alam tropika basah PT Inhutani II, Kalimantan Utara. *Penelitian Ekosistem Diptekarpa*, 1(2), 63–68.
- Muhdi, Sucipto, T., & Widyanti, M. (2006). Studi produktivitas penyaradan kayu dengan menggunakan traktor Komatsu D70 LE di hutan alam. *Komunikasi Penelitian*, 18(3), 7–13.
- Ruslandi. (2013). *Penerapan pembalakan berdampak rendah-carbon (RIL-C)*. Jakarta: The Nature Conservancy.
- Shegelman, I., Budnik, P., Baklagin, V., Galaktionov, O., Khyunninen, I., & Popov, A. (2019). Analysis of natural-production conditions

- for timber harvesting in European North of Russia. *Central European Forestry Journal*, 65(2), 81–91.
- Sist, P, Dykstra, D., & Fimbel, R. (1999). *Pedoman pembalakan berdampak rendah untuk hutan dipterocarpa lahan rendah dan berbukit di Indonesia*. Bogor: Center for International Forestry Research (CIFOR)
- Sist, Plinio, Nolan, T., Bertault, J., & Dykstra, D. (1998). Harvesting intensity versus sustainability in Indonesia. *Journal Forest Ecology and Management*, 108(August), 251–260.
- Siswanto, H. (2010). Kajian input dan output penyaradan pada pengusahaan hutan di Kalimantan Timur. *Jurnal Eksis*, 6(2), 1491–1500.
- Soenarno. (2017). Analisis biaya penebangan sistem swakelola: Studi kasus di dua IUPHHK-HA Kalimantan Tengah. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 35(2), 101–114.
- Soenarno, Dulsalam, & Sukadaryati. (2019). *Sintesis hasil penelitian RPPI 9*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan, Bogor.
- Soenarno, & Endom, W. (2016). Faktor konversi limbah pemanenan kayu hutan tanaman dan rendemen pengolahan serpih kayu. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 34(1), 77–88.
- Soenarno, & Yuniawati. (2019). Pengaruh perbaikan metode pembagian batang terhadap waktu kerja dan produktivitas penebangan hutan alam produksi: Studi kasus di PT. Dwimajaya Utama. *Penelitian Hasil Hutan*, 37(1), 13–31.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). (2011). *Pengukuran dan tabel isi kayu bundar* (SNI 7533.2:2011). Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Sukadaryati. (2009). Pengankutan kayu menggunakan lima jenis truk di dua HTI Sumatera. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 27(3), 267–279.
- Supriadi, A., Rachman, O., & Iskandar, M. I. (2006). Produktivitas dan biaya produksi serpih kayu menggunakan mesin serpih mudah dipindahkan (SMD): Studi kasus di BKPH Parung Panjang, Bogor. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 24(2), 103–115.
- Uusitalo, J., Kokko, S., & Kivinen, V. P. (2004). The effect of two bucking methods on scots pine lumber quality. *Silva Fennica*, 38(3), 291–303.
- Wijaya. (2000). *Analisis statistik dengan program SPSS 10.0*. Bandung: Alfabeta.

