

UJI COBA PENEBANGAN KAYU BERBASIS ZERO WASTE DAN RAMAH LINGKUNGAN PADA HUTAN ALAM DI PROVINSI KALIMANTAN TENGAH

(*Zero Waste and Environmentally Friendly Logging Trial on Natural Forests in Central Kalimantan Province*)

Soenarno*, Dulsalam, & Yuniawati

Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan,

Jl. Gunung Batu No. 5 Bogor 16610

Tlp. (0251) 8633378. Faks. (0251) 8633413

*Email: soenarno@yahoo.co.id

Diterima 26 Desember 2019, direvisi 19 Maret 2020, disetujui 22 Mei 2020

ABSTRACT

Over the last five years (2013–2017) there has been a deficit of ± 23.2 million m^3 year of wood raw materials, while the facts in the field of timber harvesting are still wasteful with leaving logging waste reaching an average of 17% of the annual production quota target of 9.1 million m^3 /year. The trial of zero waste-based and environmentally timber harvesting method (ZWL) is important to strengthen the tree length logging methods. This research aimed to obtain data and technical information related to the efficiency of wood utilization and the potential of timber logging waste. The trial results showed that zero waste and environmentally timber harvesting methods could improve wood utilization efficiency by 9%, from an average of 82.9% to an average of 91.9%, and reduce the potential for clear bole (BBC) logging waste from an average of 12% ($0.863 m^3$ /tree) to only 8.1% ($0.418 m^3$ /tree). In addition, it was able to save the potential of logging waste from stems above the branch (BAC) ranging from 2.8–11.2% with an average of 6.4% ($0.418 m^3$ /tree). However, ecologically it could not reduce damage to residual stands which reached 37.7% while conventional methods amounted to 38.8%. Potential logging waste both BBC and BAC were mostly defective (50.5–58.3%), and some were still good (14.4–26.3%) while those with broken conditions were still quite high (22.6-27.3%). Until now, the potency of timber harvesting waste has not been utilized due to the consideration of the high cost of Non-Tax Government Income (PNBP) levies, uncertainty in the application of the Minister of Environment and Forestry Regulation Number: P.1/Menlhk/Setjen/Kum.1/1/2019, and the ZWL method has not been informed yet to minimize the cost of logging waste extraction. In order to reduce timber harvesting waste and residual stand damage, the forest management refresh logging and skidding techniques to improve the skills of the chainsaw and the tractor operators.

Keywords: Timber harvesting, conventional, zero waste, environmentally friendly, timber harvesting waste

ABSTRAK

Selama lima tahun terakhir (2013–2017) terjadi kekurangan bahan baku kayu sebanyak $\pm 23,2$ juta m^3 /tahun sementara fakta di lapangan menunjukkan kegiatan pemanenan kayu masih boros dengan meninggalkan potensi limbah mencapai rata-rata 17% dari target jatah produksi tahunan sebesar 9,1 juta m^3 /tahun. Uji coba metode pemanenan kayu berbasis *zero waste* dan ramah lingkungan (ZWL) ini merupakan pemantapan metode *tree length logging*. Tujuan penelitian ini untuk mendapatkan data dan informasi teknis terkait dengan efisiensi pemanfaatan kayu dan potensi limbah kayu. Hasil uji coba menunjukkan bahwa metode pemanenan kayu berbasis ZWL dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan kayu sebesar 9%, yaitu dari rata-rata 82,9% menjadi rata-rata 91,9%, dan

mengurangi potensi limbah pemanenan kayu Batang Bebas Cabang (BBC) dari rata-rata 12% (0,863 m³/pohon) menjadi 8,1% (0,418 m³/pohon). Selain itu, metode ZWL mampu menyelamatkan potensi limbah pemanenan dari Batang di Atas Cabang (BAC) antara 2,8–11,2% dengan rata-rata 6,4% (0,418 m³/pohon). Namun demikian, penerapan metode ZWL pada pemanenan kayu hutan alam secara ekologis tidak dapat mengurangi kerusakan tegakan tinggal yang mencapai 37,7% dibandingkan metode konvensional sebesar 38,8%. Potensi limbah pemanenan kayu baik BBC maupun BAC sebagian besar cacat (50,5–58,3%), sebagian masih baik (14,4–26,3%), sedangkan yang kondisinya pecah masih cukup tinggi (22,6–27,3%). Namun demikian, hingga saat ini, potensi limbah pemanenan kayu belum dimanfaatkan karena pertimbangan mahalnya pungutan Pendapatan Negara Bukan Pajak (PNBP), kegagalan penerapan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor: P.1/Menlhk/Setjen/Kum.1/1/2019, dan belum terinformasikannya metode pemanenan kayu *ZWL* yang mampu meminimalisasir biaya pengeluaran limbah. Untuk mengurangi potensi limbah pemanenan kayu yang pecah dan rusaknya tegakan maka pihak manajemen perlu melakukan penyegaran teknik penebangan dan penyiaradan untuk meningkatkan keterampilan operator *chainsaw* dan operator traktor sarad.

Kata kunci: Pemanenan kayu, konvensional, *zero waste*, ramah lingkungan, limbah pemanenan kayu

I. PENDAHULUAN

Kegiatan pemanenan kayu mempunyai peranan strategis dalam menentukan mutu produksi kayu bulat yang dihasilkan dan limbah pembalakan tetapi juga terhadap faktor eksploitasi (Soenarno, Dulsalam, & Endom, 2013). Kendatipun kegiatan pemanenan kayu telah dilakukan menggunakan teknologi pembalakan berdampak rendah *Reduced Impact Logging (RIL)* tetapi metode penebangan masih dilakukan secara konvensional (Ruslandi, 2013). Hal ini diakibatkan oleh kegiatan penebangan pohon khususnya pembagian batang masih sepenuhnya diserahkan kepada penebang (*operator chainsaw*) tanpa pendampingan tenaga teknis. Akibatnya volume kayu batang bebas cabang (BBC) yang dimanfaatkan tidak maksimal, terjadinya limbah pemanenan kayu, dan kerusakan tegakan tinggal. Besarnya volume limbah pemanenan kayu berkisar antara 12–25% (Idris, Dulsalam, Soenarno, & Sukanda, 2012; Soenarno et al., 2016), dan menimbulkan kerusakan tegakan tinggal berkisar antara 17–40% (Elias, 2016; Eroğlu, Öztürk, Sönmez, Tilki, & Akkuzu, 2009; Muhdi, Elias, Murdiyarso, & Matangaran, 2014; Soenarno, Endom, & Bustomi, 2017). Menurut Garldan dan Jackson (1997) dan Uusitalo, Kokko, dan Kivin (2004), dalam pemanenan hutan, penebangan, dan *bucking* yang benar akan meningkatkan efisiensi, kualitas kayu, dan pendapatan dari hasil penjualan kayu. Sedangkan

berdasarkan Akay et al. (2010), penerapan metode *bucking* yang tepat dapat meningkatkan volume sebanyak 4,18% dengan nilai tambah dari pohon yang ditebang sebesar 9,31%.

Di lain pihak, kebutuhan bahan baku industri pengolahan kayu selama kurun waktu 2013–2017 tersebut mencapai 60,3 juta m³, sedangkan kemampuan produksi kayu bulat hanya 37,1 juta m³ sehingga terjadi kekurangan bahan baku kayu sebanyak ±23,2 juta m³ (Soenarno, Sukadaryati, & Dulsalam, 2019). Meskipun produksi kayu bulat hutan alam hanya ±18% (Faizah, 2019) dibandingkan hutan tanaman, namun terkait dengan Penerimaan Negara Bukan Pajak (PNBP) diperkirakan kontribusi kayu hutan alam lebih besar karena adanya retribusi Dana Reboisasi (DR) dan Provisi Sumberdaya Hutan (PSDH), sedangkan kayu dari hutan tanaman hanya membayar PSDH yang nilai Harga Patokannya (HP) lebih mahal dibandingkan HP kayu hutan tanaman (Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia, 2014; Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2014). Kontribusi kayu hutan alam tersebut akan meningkat melalui penerapan metode pemanenan kayu berbasis *zero waste* dan ramah lingkungan (ZWL). Secara teknis, metode ZWL ini merupakan pemantapan metode *tree length logging*. *Tree length logging* adalah pemanenan kayu sepanjang mungkin dimana dalam kegiatan penebangan dilakukan perencekan cabang (*branching*) dan penyiaradan kayunya dilakukan

dengan mengikutsertakan limbah batang di atas cabang sampai diameter minimal 30 cm. Penerapan metode *ZWL* tersebut dilakukan pada hutan alam yang dikelola dengan sistem silvikultur Tebang Pilih Tanam Indonesia (TPTI) dan telah melaksanakan teknologi *RIL*. Tujuan penelitian ini untuk mendapatkan data dan informasi efisiensi pemanfaatan kayu, potensi limbah pemanenan kayu, dan derajat kerusakan tegakan tinggal guna mendukung peningkatan produksi kayu bulat dari hutan alam yang lestari.

II. BAHAN DAN METODE

A. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah batang pohon yang siap ditebang dan siap disarad, sling untuk *bundling* kayu limbah, kapur, spidol, solar, minyak pelumas, *tally sheet*, dan kuisioner. Alat yang digunakan yaitu *chainsaw*, traktor penyiarad kayu, meteran untuk mengukur diameter dan panjang pohon yang ditebang, *stop watch* untuk mengukur waktu, serta kamera digital.

B. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di tiga Izin Usaha Pemanfaatan Hasil Hutan Kayu - Hutan Alam (IUPHHK-HA) yaitu PT. A, PT. B, dan PT.C. Secara geografis PT. A terletak pada $111^{\circ}55' - 112^{\circ}19'$ BT dan $1^{\circ}10' - 1^{\circ}56'$ LS, sedangkan PT. B berada pada $0^{\circ}50'16'' - 1^{\circ}08'55''$ LS dan $112^{\circ}39'11'' - 113^{\circ}35'00''$ BT, dan PT. C terletak pada $00^{\circ}52'30'' - 01^{\circ}22'30''$ LS dan $111^{\circ}30'00'' - 112^{\circ}07'30''$ BT. Ketiga IUPHHK-HA tersebut terletak di wilayah Kesatuan Pengelolaan Hutan Produksi (KPHP) Seruyan dan KPHP Katingan Provinsi Kalimantan Tengah.

C. Metode Pelaksanaan

Secara skematis, perbedaan metode *ZWL* dan metode penebangan konvensional (CV) sebagaimana disajikan pada Gambar 1.

1. Prosedur penelitian

Prosedur pelaksanaan penelitian di lapangan dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

- Menentukan tiga unit IUPHHK-HA secara *purposive*;

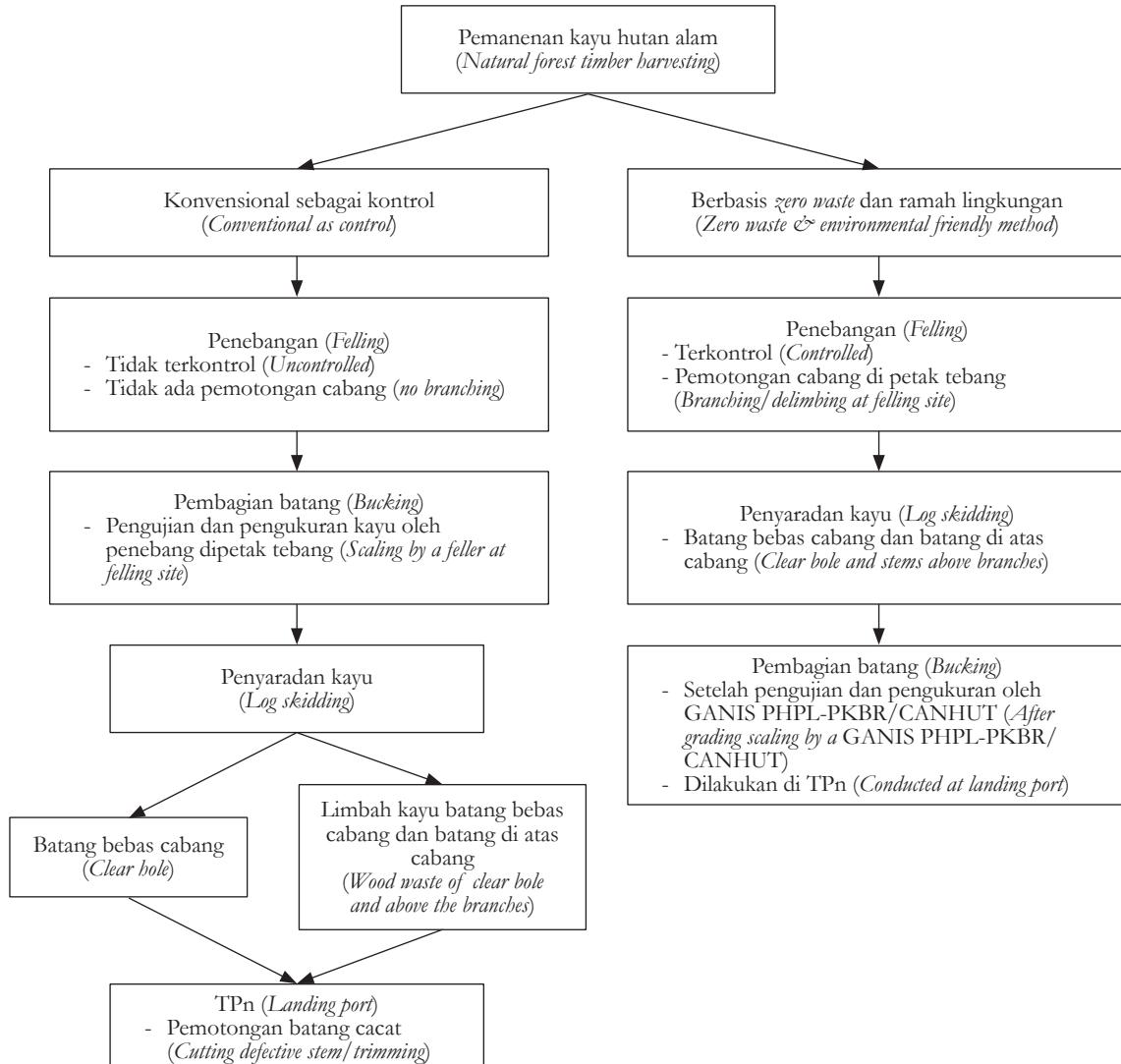
- Pada tiap unit IUPHHK-HA, dipilih satu petak tebang yang selanjutnya dibuat sebanyak enam Petak Contoh Pengamatan (PCP) secara *purposive* dengan ukuran masing-masing 100 m \times 100 m, yaitu di PT. A dan PT. C;
- Tiga PCP untuk perlakuan metode pemanenan kayu berbasis *ZWL* dan ramah lingkungan, dan tiga PCP lainnya untuk metode pemanenan kayu konvensional seperti yang umum dilakukan di IUPHHK-HA setempat;
- Pada IUPHHK-HA PT. B hanya dibuat empat PCP karena pertimbangan terbatasnya sisa areal penebangan pada akhir tahun rencana kerja tahunan (RKT), tetapi tetap mempertimbangkan keterwakilan keterampilan penebang dan penyiarad kayu bulat;
- Melakukan inventarisasi jumlah dan jenis pohon yang telah dipasang label *ID barcode* (calon pohon ditebang) dan tegakan berdiameter 20 cm dan 20 cm ke atas sebagai calon pohon inti berdasarkan peta Rencana Operasional Pemanenan Kayu (ROPK);
- Melaksanakan penebangan, penyiaradan, dan menghitung jumlah pohon yang rusak akibat penebangan dan penyiaradan di dalam PCP;
- Melakukan pengukuran volume kayu yang dimanfaatkan, mencatat kondisi limbah penebangan, dan kerusakan tegakan tinggal akibat penebangan dan penyiaradan kayu.

2. Data yang dikumpulkan

Data yang dikumpulkan adalah volume kayu yang dimanfaatkan, volume dan kondisi limbah kayu dari Batang Bebas Cabang (BBC) dan Batang di Atas Cabang (BAC), jumlah tegakan berdiameter 20 cm yang rusak akibat penebangan dan penyiaradan, waktu kerja penebangan, waktu kerja penyiaradan, dan data sekunder lainnya yang diperlukan.

a. Pengukuran volume dan karakteristik sortimen

Pengukuran sortimen dari setiap pohon yang ditebang meliputi kayu yang dimanfaatkan dan limbah pemanenan kayu, diukur panjang, diameter pangkal dan ujung sortimen termasuk kondisinya, kemudian dicatat pada *tally sheet*. Limbah kayu yang diukur meliputi BBC dan BAC sampai minimum diameter ujung 30 cm dengan panjang $\geq 1,3$ m.



Gambar 1. Prosedur penelitian
Figure 1. Research procedure

b. Pengukuran kerusakan tegakan

Dilakukan setelah kegiatan penebangan dan penyaradan selesai, meliputi pencatatan jumlah dan jenis tegakan tinggal untuk pohon komersil berdiameter 20 cm dan 20 cm ke atas yang rusak. Penentuan kerusakan tegakan tinggal menggunakan kriteria dalam Muhdi et al. (2014) yaitu: (1) Tipe kerusakan tajuk, bila $<30\%$ maka termasuk kerusakan ringan, 30–50% termasuk kerusakan sedang, dan $>50\%$ termasuk kerusakan berat; (2) Tipe kerusakan luka batang/kulit, bila luka batang/kulit $<1/4$ keliling dan 1,5 panjang termasuk kerusakan ringan, $1/4 - 1/2$ keliling termasuk kerusakan sedang, dan $>1/2$ keliling termasuk kerusakan berat; (3) Tipe kerusakan banir/akar rusak atau terpotong,

bila rusak $<1/3$ banir termasuk rusak ringan, $1/3 - 1/2$ banir/akar rusak termasuk kerusakan sedang, dan akar/banir rusak $>1/2$ termasuk kerusakan berat; (4) Tipe kerusakan batang pecah termasuk kerusakan berat; (5) Tipe kerusakan pohon patah termasuk kerusakan berat; dan (6) Tipe kerusakan pohon roboh termasuk tingkat kerusakan berat. Pohon dianggap rusak apabila mengalami salah satu atau lebih keadaan berdasarkan kriteria di atas.

c. Kualitas limbah

Limbah pemanenan kayu adalah sortimen sisa pembagian batang sepanjang 1,3–2 m akibat kesalahan penebangan (Ruslandi, 2013; Soenarno, Endom & Suhartana, 2018). Limbah dinyatakan baik apabila tidak terdapat

cacat berupa antara lain bengkok, busuk hati, lapuk, mata kayu (*notch*), berlubang/gerowong, dan pecah (Soenarno, 2014).

D. Analisis Data

Volume (isi) kayu bulat dihitung dengan menggunakan rumus empiris Badan Standardisasi Nasional (2011) sebagai berikut :

$$I = \frac{\frac{1}{4} \pi \times d^2 \times p}{10.000} \text{ atau } I = \frac{0,7854 \times d^2 \times p}{10.000} \quad \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan (*Remarks*): I = Isi (volume) kayu bundar (m^3); d = diameter kayu bundar (cm); p = diameter ujung (cm); p = panjang kayu bundar (m); $\pi = 3,1416$; $\frac{1}{4} \pi = 0,7854$

Besarnya derajat kerusakan tegakan tinggal akibat kegiatan penebangan dan penyiaradan dan kriterianya digunakan rumus menurut Elias (2008) sebagai berikut:

$$K = \frac{\sum^b Kr}{\sum^b Ka} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan (*Remarks*): K = derajat kerusakan tegakan tinggal (%); $\sum^b Kr$ = jumlah pohon berdiameter lebih besar dari 20 cm yang rusak akibat penebangan; $\sum^b Ka$ = jumlah pohon berdiameter lebih besar dari 20 cm yang sehat sebelum penebangan.

Efisiensi pemanfaatan kayu dihitung dengan rumus Dulsalam, Sukadaryati, dan Yuniawati (2018) sebagai berikut:

$$E = \frac{Vm}{Vh} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$Vh = Vm + Vlp + Vlu \quad \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan (*Remarks*): E = efisiensi penebangan (%); Vm = volume kayu yang dimanfaatkan (m^3 /pohon); Vh = volume kayu yang diharapkan dapat dimanfaatkan, (m^3); Vlp = Volume limbah pangkal (m^3); Vlu = volume limbah ujung (m^3).

Adapun derajat kerusakan tegakan berdasarkan persentase kerusakan pohon digunakan kriteria sebagai berikut (Elias, 2008):

1. Tegakan tinggal disebut rusak ringan jika kerusakan $<25\%$,
2. Tegakan tinggal disebut rusak sedang jika kerusakan $25\text{--}50\%$, dan
3. Tegakan tinggal disebut rusak berat jika kerusakan $>50\%$.

Untuk mengetahui pengaruh perbedaan kerusakan tegakan tinggal antara IUPHHK-HA dilakukan rancangan acak lengkap (*completely randomized design*) dengan model umum (Wijaya, 2000):

Tabel 1. Realisasi jumlah pohon ditebang
Table 1. Realization of the number of trees felled

IUPHHK-HA (Forest concessions)	PCP (Sample plots)	Jumlah pohon layak tebang (Number of trees felled)					
		Konvensional (Conventional)		Berbasis <i>zero waste</i> (Based on <i>zero waste</i> method)		Pohon (Trees)	Pohon (Trees)
		Pohon berlabel (Trees labeled, IDbarcode)	Pohon ditebang (Trees felled)	Pohon berlabel (Trees labeled IDbarcode)	Pohon ditebang (Trees felled)		
PT A	1	15	9	60	13	9	69,2
	2	17	9	52,9	16	9	56,3
	3	14	9	64,3	22	9	40,9
Rata-rata (Average)		15	9	59,1	17	9,0	55,5
PT B	1	18	7	61,1	10	9	10
	2	19	11	42,1	14	9	42,9
Rata-rata (Average)		19	9	51,6	12	9	26,5
PT C	1	21	10	59,1	18	10	55,6
	2	10	7	59,1	14	10	71,4
	3	16	7	59,1	14	9	64,3
Rata-rata (Average)		16	8	59,1	15	10	63,8
Rata-rata total (Grand average)		17	9	56,6	15	9	48,6

Keterangan (*Remarks*): Jumlah pohon contoh senyak 143 pohon (*The number of sample trees is 143 trees*)

Keterangan (*Remarks*): Y_{ij} = kerusakan tegakan pada petak ke- i dan pengamatan ke- j ; μ = rata-rata kerusakan tegakan; τ_i = pengaruh petak tebang ke- i ; dan ε_{ij} = pengaruh kesalahan baku pada petak tebang ke- i dan pengamatan ke- j .

Soenarno (2014b) menyatakan bahwa kualitas limbah pemanenan kayu dihitung berdasarkan jumlah volume limbah yang baik atau cacat atau pecah dibagi dengan total volume limbah, dinyatakan dalam satuan persen (%):

$$K_{l(b/c/p)} = \frac{V_{l(b/c/p)}}{V_s} \times 100\% \quad \dots \dots \dots \quad (6)$$

Keterangan (*Remarks*): $K_{l(b/c/p)}$ = Kualitas limbah baik/cacat/pecah (%); $V_{l(b/c/p)}$ = volume limbah kayu yang baik/cacat/pecah (m^3 /pohon); V_t = volume total limbah pemanganan kayu (m^3 /pohon).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Penebangan

Hasil pengamatan di lapangan yang disajikan pada Tabel 1 menunjukkan bahwa rata-rata jumlah pohon yang ditebang sebanyak 57% pada metode konvensional dan 49% pada metode berbasis *zero waste* dan ramah lingkungan (*ZWL*). Perbedaan jumlah pohon yang ditebang tersebut tidak disebabkan oleh perbedaan metode penebangan tetapi akibat dari kondisi kesehatan pohon yang telah dipasang label *IDbarcode*. Mengingat potensi pohon gerowong/cacat cukup besar berkisar 29,2–48,6% (Soenarno, Endom, & Dulsalam, 2016; Soenarno & Astana, 2018) maka dipandang perlu kajian lebih lanjut.

Pertimbangan yang masih krusial terkait hal ini bahwa sebenarnya pohon yang gerowong/cacat masih dapat diproduksi sebagai kayu bulat kecil (KBK). KBK adalah pengelompokan kayu yang terdiri atas bagian dari pohon yang ditebang dan dipotong menjadi satu atau beberapa bagian, dengan ukuran diameter kurang dari 30 cm atau kayu berdiameter 30 cm, atau lebih, yang direduksi karena diyakini memiliki cacat berupa busuk hati dan/atau gerowong lebih dari 40% (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2015). Oleh karena itu, operator *chainsaw* sebaiknya mengecek lebih dahulu diameter lubang pohon yaitu dengan cara menusukkan rantai *chainsaw* dan mengukurnya. Cara ini memberikan informasi yang lebih pasti dibanding cara memukul-mukul batang pohon menggunakan parang.

Cara lain yang lebih baik, sebenarnya bisa dilakukan saat kegiatan inventarisasi tegakan sebelum penebangan (ITSP), sehingga pohon yang benar-benar berlubang besar (>20 cm) tidak dipasang label *IDBarcode*. Saat ini, Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan (P3HH) telah membuat prototipe alat deteksi gerowong mekanis “Algromek” (Gambar 2). Alat ini dibuat untuk mengatasi kelemahan alat deteksi gerowong di pasar yang harganya mahal, pemakaiannya tidak praktis, apalagi untuk dibawa survey lapangan yang membutuhkan waktu cukup lama berada di hutan.

B. Kinerja Pemanenan Kayu

1. Efisiensi pemanfaatan kayu

Hasil perhitungan efisiensi pemanfaatan kayu metode pemanenan kayu *ZWL* disajikan pada Tabel 2. Dari tabel 2 dapat dilihat efisiensi



Gambar 2. Alat algromek (A) dan praktek penggunaannya (B)
Figure 2. Algromek instrument (A) and the use of instrument it (B)

Tabel 2. Analisis sidik ragam uji efisiensi pemanfaatan kayu antara metode ZWL dan konvensional

Table 2. Analysis of variance of test wood efficiency used between ZWL and conventional method

Sumber (Sources)	Jumlah kuadrat (Sum of square)	Derajat bebas (Degrees of freedom)	Rata-rata kuadrat (Mean of square)	F _{hitung} (F _{Calculated})	Nyata (Significant)
1. Model terkoreksi (Corrected model)	176,842 ^a	3	58,947	3,666	0,044
2. Intercept	123345,94	1	123345,949	7670,61	0,000
3. Metode pemanenan kayu (Forest harvesting methods)	144,360	1	144,360	8,977	0,011
4. IUPHHK-HA (Forest concession)	32,482	2	16,241	1,010	0,393
5. Kesalahan (Error)	192,964	12	16,080		
6. Jumlah (Total)	128297,635	16			
7. Jumlah terkoreksi (Total correction)	369,806	15			

Keterangan (Remarks): a. R kuadrat = 0,478 (R kuadrat terkoreksi = 0,348), (R square) = 0,478 (R square corrected) = 0,348

pemanfaatan kayu metode pemanenan *ZWL* berkisar antara 90,4–92,6% dengan rata-rata 91,9%, lebih besar dibandingkan metode konvensional sekitar 82,9%. Hal ini berarti metode pemanenan *ZWL* dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan sebesar rata-rata 9%. Selain meningkatkan efisiensi pemanfaatan kayu, dengan metode *ZWL* akan diperoleh tambahan volume limbah kayu dari BAC. Peningkatan efisiensi pemanfaatan kayu pada metode *ZWL* juga diperoleh dari perbedaan sistem pembagian batang. Pada teknik pemanenan *ZWL*, kegiatan pembagian batang (*bucking*) dilakukan setelah dilakukan pengujian dan pengukuran (*grading scaling*) oleh tenaga teknis bersertifikat penguji kayu bulat rimba (GANIS-PKBR) atau perencanaan hutan (GANIS-CANHUT). Tetapi, pada metode konvensional pembagian batang dilakukan oleh operator *chainsaw* yang tidak memiliki kompetensi sebagai tenaga teknis GANIS-PKBR ataupun GANIS-CANHUT, akibatnya banyak mengakibatkan limbah pemanenan kayu di petak tebang.

Hasil uji statistik menggunakan program PASW versi 18 yang disajikan pada Tabel 3 menunjukkan bahwa $F_{hitung} = 8,977$ lebih besar dari $F_{0,05(1,15)} = 4,54$ sehingga H_0 diterima yang berarti terdapat perbedaan nyata efisiensi pemanfaatan kayu antara metode *ZWL* dengan metode konvensional. Hal ini berarti bahwa terdapat perbedaan nyata

efisiensi pemanfaatan antara IUPHHK-HA yang menerapkan metode *ZWL* dibandingkan dengan metode konvensional. Padahal, kompetensi operator *chainsaw* pada kedua metode pemanenan kayu relatif sama, yaitu pernah memperoleh pendidikan dan pelatihan teknik penebangan ramah lingkungan.

2. Potensi Limbah Batang Bebas Cabang (BBC) dan Batang di Atas Cabang (BAC)

Rekapitulasi hasil pengukuran potensi limbah pemanenan kayu metode *ZWL* disajikan pada Tabel 3. Tabel 3 menunjukkan bahwa potensi limbah BBC metode konvensional adalah 0,863 m³/pohon atau 12% lebih besar dibandingkan metode *ZWL* sebesar 0,526 m³/pohon atau 8,1%, tetapi masih lebih besar dibandingkan batas maksimal yang ditergetkan oleh teknologi RIL-C yaitu 5% (Ruslandi, 2013).

Kendatipun demikian, secara teknis metode *ZWL* dapat mengurangi limbah BBC sebesar ± 3,9%. Bahkan, dari uji coba metode *ZWL* diperoleh limbah BAC rata-rata 0,418 m³/pohon atau 6,4% terhadap volume BBC. Penelitian sebelumnya dengan metode *tree length logging* menunjukkan bahwa besarnya limbah pemanenan BBC rata-rata 7% dan limbah BAC sebesar 0,182 m³/pohon atau 2,68% terhadap total volume BBC (Idris & Soenarno, 2015). Dari Tabel 3 juga diketahui ada kecenderungan bahwa

Tabel 3. Rekapitulasi potensi volume limbah kayu (m^3 /pohon)
Table 3. Recapitulation of volume logging waste potency (m^3 /tree)

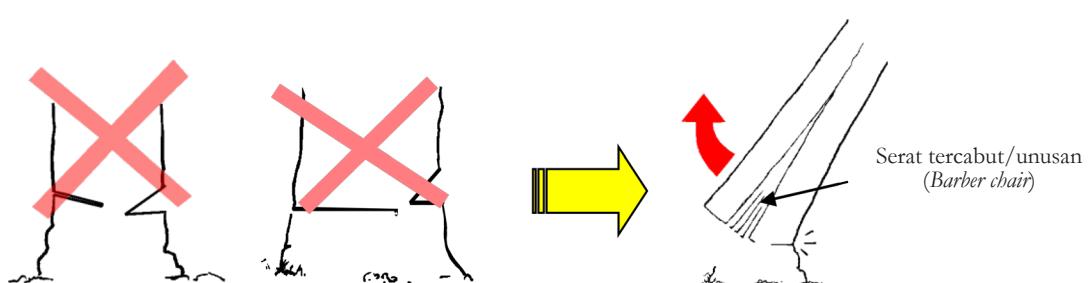
IUPHHK-HA (Forest Concessions)	PCP (Sample plots)	Potensi limbah kayu (Wood waste potency, m^3 /pohon)					
		Metode konvensional (Conventional method)		Metode Zero waste dan ramah lingkungan (Zero waste and environmentally friendly method)			
		BBC ¹⁾	(%)	BBC ¹⁾	(%)	BAC ²⁾	(%)
PT A	1	1,34	12,5	0,169	7,1	0,169	2,8
	2	0,682	11,3	0,44	10,2	0,44	7,0
	3	0,91	10,2	0,31	10,7	0,31	3,0
Rata-rata (Average)		0,977	11,4	0,306	8,7	0,306	3,7
PT B	1	1,535	18,9	0,541	7,7	0,541	9,3
	2	0,631	8,4	0,512	7,2	0,512	9,0
Rata-rata (Average)		1,083	13,9	0,5265	7,4	0,5265	9,2
PT C	1	0,995	14,6	0,584	8,5	0,584	11,2
	2	0,887	18,0	0,465	6,2	0,465	7,6
	3	0,622	13,4	0,221	9,6	0,221	4,7
Rata-rata (Average)		0,835	15,3	0,423	7,9	0,423	7,9
Total rata-rata (Grand average)		0,863	12,0	0,418	8,1	0,418	6,4

Keterangan (Remarks): 1). BBC = batang bebas cabang (Clear bole), 2). BAC = batang di atas cabang (Stump above branch)

potensi limbah BAC metode ZWL lebih rendah dibandingkan metode konvensional. Selain itu, pada metode ZWL terdapat tambahan limbah batang BAC, sedangkan pada metode konvensional tidak ada limbah BAC karena ditinggal di dalam petak tebang bahkan juga limbah BBC. Menurunnya limbah BBC pada metode ZWL disebabkan kegiatan pembagian batang dilakukan di TPn setelah proses pengujian dan pengukuran (*grading scaling*) oleh GANIS-PKBR atau GANIS-CANHUT. Dengan demikian, secara legal standing limbah dari metode ZWL secara teknis dapat dipertanggungjawabkan kebenarannya.

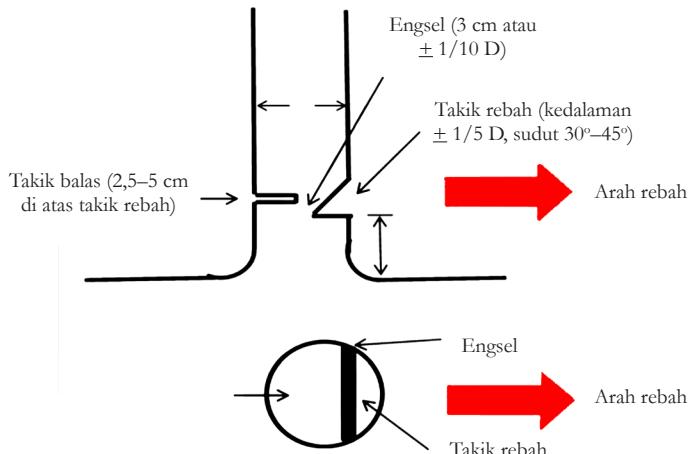
Hingga kini potensi limbah pemanenan kayu tersebut belum dimanfaatkan karena pemegang IUPHHK-HA masih ada keraguan terkait dengan

besaran retribusi Provisi Sumberdaya Hutan (PSDH) dan Dana Reboisasi (DR). Kendatipun Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor: P.1/MENLHK/SETJEN/KUM.1/1/2019 tentang Izin Usaha Industri Primer Hasil Hutan telah diundangkan tetapi masih terjadi perbedaan pemahaman terhadap limbah pemanenan. Dalam peraturan tersebut limbah pemanenan didefinisikan semua jenis kayu sisa pembagian batang berupa tunggak, kayu cacat/busuk hati/gerowong dengan reduksi di atas 40%, cabang, dan ranting yang tertinggal di hutan (Kementerian lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2019). Apabila pengertian limbah pemanenan tersebut dikaitkan dengan Peraturan Pemerintah Nomor 12 Tahun 2014 tentang Jenis



Sumber (Source): Forestry Training Centre Incorporated (2010)

Gambar 5. Kesalahan membuat takik balas mengakibatkan pecah dolok
Figure 5. False back cut and broken log



Sumber (*Source*): (Elias et al. (2001); *Forestry Training Centre Incorporated* (2010); Ruslandi (2013)

Gambar 6. Ukuran takik rebah dan takik balas

Figure 6. Indercut and backcut sizes

dan Tarif atas Jenis Penerimaan Negara Bukan Pajak yang Berlaku pada Kementerian Kehutanan dan Peraturan Menteri Kehutanan Nomor: P. 68/Menhut-II/2014 tentang Penetapan Harga Patokan dari Hasil Hutan untuk Perhitungan Provisi Sumber Daya Hutan, Ganti Rugi Tegakan dan Penggantian Nilai Tegakan. Dalam dua peraturan tersebut belum diatur daftar tarif maupun besaran harga patokan (HP) limbah pemanenan.

Bervariasinya limbah pemanenan kayu baik pada metode konvensional maupun metode *ZWL* disebabkan antara lain:

1. Pembuatan takik balas miring dan atau lebih rendah dengan posisi alas takik rebah akibatnya terjadi serat tercabut (*barber chair*), seperti pada Gambar 5,
2. Mulut takik rebah terlalu sempit (<40°),
3. Tidak dilakukan pemotongan banir untuk mempermudah pembuatan takik rebah,
4. Kebijakan manajemen yang mengakibatkan penebang tidak melakukan pemotongan hingga ujung batang bebas cabang sepanjang mungkin karena akan mengakibatkan diameter rata-rata log < 50 cm,
5. Posisi penebangan yang selalu berdiri sehingga mengakibatkan tinggi tungggak melebihi yang dapat ditoleransi, yaitu antara 30–50 cm di atas pemukaan tanah (Elias, Applegate, Kartawinata, & Klassen, 2001; Ruslandi, 2013).

Ukuran takik rebah dan takik balas yang baik, seperti disajikan pada Gambar 6 (Forestry Training Centre Incorporated, 2010; Elias, Applegate, Kartawinata, & Klassen, 2001; Ruslandi, 2013).

C. Kualitas Limbah Kayu

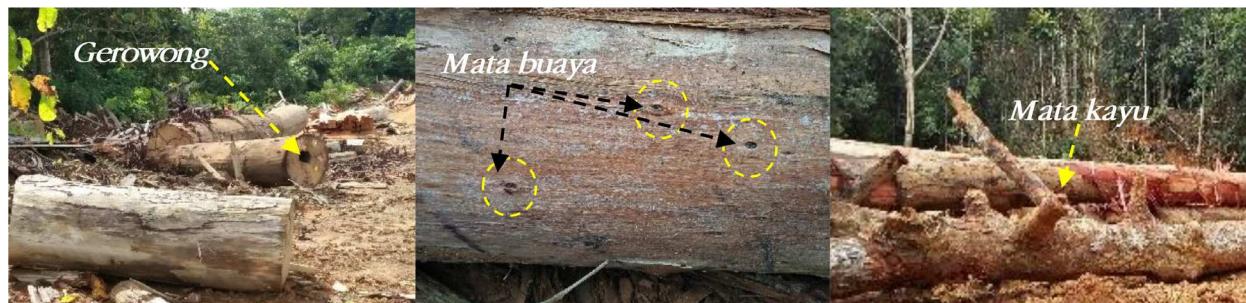
Rekapitulasi hasil pengukuran kualitas limbah pemanenan kayu disajikan pada Tabel 5. Tabel 5 menunjukkan pada metode konvensional besarnya limbah pemanenan kayu yang kondisinya baik berkisar antara 18,4–30,7% atau rata-rata 24,6% ($0,313 \text{ m}^3/\text{pohon}$), sedangkan pada metode *ZWL* berkisar 8,9–18,3% atau rata-rata 14,4% ($0,007 \text{ m}^3/\text{pohon}$). Hal ini menunjukkan bahwa metode *ZWL* dapat menyelamatkan potensi limbah berkualitas baik sebesar 10,2%. Astana, Soenarno, dan Endom (2015) menyatakan bahwa kondisi limbah berkualitas baik tersebut dapat diolah menjadi vinir atau kayu gergajian, sehingga memberikan nilai tambah ekonomi yang tinggi dibandingkan limbah yang cacat maupun pecah. Potensi limbah berkualitas baik pada metode konvensional rata-rata 26,3% ($0,285 \text{ m}^3/\text{pohon}$) dan pada metode *ZWL* rata-rata 14,4%.

Dari Tabel 5 tersebut juga terlihat bahwa limbah pemanenan kayu didominasi limbah cacat, dimana pada metode konvensional rata-rata sebesar 50,5% ($0,521 \text{ m}^3/\text{pohon}$) dan metode

Tabel 5. Kualitas limbah pemanenan kayu
Table 5. Quality of wood logging waste

IUPHHK-HA (Forest concessions)	Kualitas (Quality)	Potensi limbah kayu pemanenan (Potency of wood logging waste)					
		Metode konvensional (Conventional method)		Metode zero waste dan ramah lingkungan (Zero waste and environmentally friendly method)			
		BBC (m ³ /pohon)	(%)	BBC (m ³ /pohon)	(%)	BAC (m ³ /pohon)	(%)
PT A	Baik (Good)	0,399	29,8	0,115	15,9	0,057	18,7
	Cacat (Defect)	0,313	23,4	0,329	45,4	0,191	62,5
	Pecah (Broken)	0,628	46,9	0,280	38,7	0,057	18,8
Rata-rata (Average)		1,340	100,0	0,724	100,0	0,306	100,0
PT B	Baik (Good)	0,199	18,4	0,038	8,9	0,179	34,0
	Cacat (Defect)	0,789	72,9	0,371	86,9	0,288	54,6
	Pecah (Broken)	0,095	8,8	0,018	4,2	0,060	11,4
Rata-rata (Average)		1,083	100,0	0,427	100,0	0,527	100,0
PT C	Baik (Good)	0,256	30,7	0,078	18,3	0,083	19,4
	Cacat (Defect)	0,462	55,3	0,181	42,7	0,183	43,0
	Pecah (Broken)	0,117	14,0	0,166	39,1	0,160	37,5
Rata-rata (Average)		0,835	100,0	0,425	100,0	0,425	100,0
Total rata-rata (Grand average)	Baik (Good)	0,285	26,3	0,077	14,4	0,106	24,0
	Cacat (Defect)	0,521	50,5	0,294	58,3	0,221	53,4
	Pecah (Broken)	0,280	23,2	0,155	27,3	0,092	22,6

Keterangan (Remark): BBC= batang bebas cabang (*Clear bole*), BAC=batang di atas cabang (*Stem above the branch*)



Gambar 7. Limbah cacat (A = gerowong, B = mata buaya, C = mata kayu)
Figure 7. Defect waste (A = hole, B = crocodile eye, C = notch)

ZWL sebesar 58,3% (0,294 m³/pohon). Limbah pemanenan kayu yang pecah rata-rata 27% (0,354 m³/pohon) pada metode konvensional dan 27,3% (0,155 m³/pohon) pada metode ZWL. Banyaknya limbah yang pecah tersebut dapat dijadikan sebagai indikator bahwa operator *chainsaw* masih perlu ditingkatkan keterampilannya dalam menerapkan teknik penebangan yang benar. Hal ini disebabkan masih banyak faktor lain yang berpengaruh antara lain kondisi topografi, jumlah dan bentuk

banir pohon, dan pengalaman. Biasanya pada waktu pelatihan praktik penebangan tersebut belum mewakili kondisi faktor-faktor tersebut.

Kondisi limbah kayu cacat umumnya berupa mata kayu (*notch*) dan bengkok tetapi sebagian karena busuk hati, berlubang, dan mata buaya (Gambar 7). Hal ini diduga disebabkan areal penebangan merupakan areal bekas tebangan (*logged over area/LOA*) sehingga kondisi kesehatan dan morfologi pohon banyak yang kurang baik khususnya pada bagian ujung batang yang

Tabel 6. Uji lanjut pengaruh metode pemanenan kayu terhadap tingkat kepecahan limbah pemanenan

Table 6. Test the effect of wood harvesting methods on broken harvesting waste

Sumber (Sources)	Jumlah kuadrat (Sum of square)	Derajat bebas (Degree of freedom)	Rata-rata kuadrat (Mean of square)	F _{hitung} (F _{calculated})	Nyata (Significant)
Model terkoreksi (Corrected model)	347,016 ^a	1	347,016	0,969	0,0381
Pengaruh (Effect)	5836,273	1	5836,273	16,299	0,016
Pemanenan (Harvesting)	347,016	1	347,016	0,969	0,381
Kesalahan baku (Error)	1432,303	4	358,076		
Jumlah (Total)	7615,592	6			
Jumlah terkoreksi (Total)	1779,319	5			

Keterangan (Remarks): a. kuadrat = 0,195 (R kuadrat terkoreksi = -0,006), (R square) = 0. 195 (R square corrected = -0.006)

memiliki banyak mata kayu dan bengkok, serta bagian pangkal batang yang busuk hati atau gerowong.

Untuk mengetahui perbedaan limbah kayu yang pecah akibat perbedaan metode pemanenan kayu dilakukan uji statistik yang hasilnya disajikan pada Tabel 6. Tabel 6 menunjukkan bahwa nilai $F_{hitung} = 16,299$ lebih besar dari $F_{0,05(1,5)} = 6,61$ atau H_0 ditolak. Hal ini menunjukkan adanya perbedaan nyata limbah kayu yang pecah akibat metode konvensional dan metode *ZWL*. Metode *ZWL* dapat mengurangi terjadinya kepecahan kayu akibat penebangan (Tabel 5). Mengingat keunggulan metode *ZWL* dipandang perlu Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan dapat mendorong agar para IUPHHK-HA dapat menerapkan metode *ZWL*. Dengan metode *ZWL* limbah pemanenan kayu tidak lagi berada di dalam petak tebang tetapi sudah di TPn.

Untuk mengetahui perbedaan limbah kayu yang pecah akibat perbedaan metode pemanenan kayu dilakukan uji statistik yang hasilnya disajikan pada Tabel 6. Tabel 6 menunjukkan bahwa nilai $F_{hitung} = 16,299$ lebih besar dari $F_{0,05(1,5)} = 6,61$ atau H_0 ditolak. Hal ini menunjukkan adanya perbedaan nyata limbah kayu yang pecah akibat metode konvensional dan metode *ZWL*. Metode *ZWL* dapat mengurangi terjadinya kepecahan kayu akibat penebangan (Tabel 5). Mengingat keunggulan metode *ZWL* dipandang perlu Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan dapat mendorong agar para IUPHHK-HA dapat

menerapkan metode *ZWL*. Dengan metode *ZWL* limbah pemanenan kayu tidak lagi berada di dalam petak tebang tetapi sudah di TPn.

D. Kerusakan Tegakan Tinggal

Rekapitulasi pengamatan derajat kerusakan tegakan tinggal akibat kegiatan penebangan dan penyaradan disajikan pada Tabel 7. Dari Tabel 7 dapat dilihat potensi tegakan berdiameter 50 cm ke atas berkisar antara 72–89 pohon/PCP tetapi yang ditebang rata-rata 9 pohon/PCP, sedangkan pada metode *ZWL* 84–89 pohon/PCP dengan pohon yang ditebang rata-rata 9 pohon/PCP. Hasil pengamatan di lapangan merupakan jumlah tegakan yang rusak pada metode konvensional rata-rata 14 pohon (21,3%) sedangkan pada metode *ZWL* sebanyak 14 pohon (19,7%). Hal ini berarti bahwa untuk menebang satu pohon menyebabkan sedikitnya 1–2 pohon lain mengalami kerusakan. Kegiatan penyaradan metode konvensional mengakibatkan kerusakan tegakan tinggal rata-rata 17%, dan pada metode *ZWL* sebesar 18,4%. Kerusakan tegakan tinggal menggunakan metode *ZWL* tersebut lebih tinggi dibandingkan kerusakan tegakan di sepanjang jalan sarad metode *tree length* maupun *long length* yaitu berturut-turut 14,11% dan 8,79% tergantung kerapatan tegakan (Badraghi, Erler, & Hosseini, 2015).

Total kerusakan tegakan tinggal akibat pemanenan metode konvensional menjadi rata-rata 38,3% tidak berbeda dengan metode *ZWL*.

Tabel 7. Kerusakan tegakan akibat penebangan dan penyaradan
Table 7. Residual forest stands damage entailed due to skidding operation

No	Uraian (Description)	Metode konvensional (Conventional method)				Metode <i>zero waste</i> dan ramah lingkungan (Zero waste and environmentally friendly methods)			
		PT A	PT B	PT C	Rata-rata (Average)	PT A	PT B	PT C	Rata-Rata (Average)
1.	Potensi (<i>Potency</i> , >20 cm/ha)	72	72	79	74	84	84	89	85
2.	Penebangan (<i>Felling</i>)								
a.	Jumlah ditebang (<i>Total tree felled</i> , pohon)	9	9	9	9	9	9	9	9
b.	Jumlah tegakan tinggal rusak (<i>Total of residual stands damage</i> , pohon)	9	18	11	13	13	19	10	14
c.	Derajat kerusakan tegakan akibat penebangan (<i>Degree of damage to the residual stand due to felling, %</i>)	14,3	33,3	16,2	21,3	18,3	29,2	12,7	19,7
3.	Penyaradan (<i>Skidding</i>)								
a.	Jumlah tegakan tinggal rusak (<i>Total of residual stands damage</i> , pohon)	11	12	12	11	13	15	15	14
b.	Derajat kerusakan tegakan akibat penyaradan (<i>Degree of damage to the residual stand due to skidding, %</i>)	17,5	19,0	17,1	16,9	17,3	20,0	18,8	18,4
Total derajat kerusakan tegakan akibat pemanenan kayu (<i>Total of forest damages due to logging, %</i>)		35,0	46,9	32,9	38,3	34,67	47,1	31,3	37,7

sebesar 37,7% atau termasuk kategori kerusakan tingkat sedang. Hasil penelitian tersebut lebih tinggi dibandingkan penelitian Soenarno, Endom, dan Bustomi (2018) yang menunjukkan besarnya derajat kerusakan kayu berkisar antara 19,37–34,9% dengan rata-rata 24,37% termasuk kategori kerusakan tegakan tingkat ringan. Menurut Elias (2016), tingkat kerusakan tegakan tinggal akibat kegiatan pemanenan di hutan alam berkisar antara 17–40%. Terlepas dari beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya maka dapat disimpulkan bahwa tiga IUPHHK-HA contoh belum maksimal dalam menerapkan teknologi RIL yang baik. Salah satu penyebabnya adalah tidak dipatuhi ROPK sebagai panduan operasional di lapangan. Oleh karena itu, operator *chainsaw* dan operator traktor perlu dilakukan penyegaran teknis agar lebih memahami cara penebangan dan penyaradan yang efektif dan efisien. Selain itu diperlukan keberadaan pengawas yang lebih intensif untuk memberikan arahan teknis di lapangan.

IV. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Metode pemanenan kayu *ZWL* dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan kayu BBC dari rata-rata 82,9% menjadi rata-rata 91,9% atau mengurangi limbah BBC dari rata-rata 12% ($0,863 \text{ m}^3/\text{pohon}$) menjadi hanya 8,1% ($0,418 \text{ m}^3/\text{pohon}$). Keuntungan lain metode *ZWL* adalah mampu menyelamatkan limbah BAC rata-rata sebesar 6,4% ($0,418 \text{ m}^3/\text{pohon}$). Potensi limbah pemanenan kayu baik BBC maupun BAC sebagian besar cacat (50,5–58,3%), sebagian baik (14,4–26,3%), dan sebagian lagi kondisinya pecah (22,6–27,3%). Banyaknya kayu yang pecah dan tingginya kerusakan tegakan tinggal diakibatkan oleh penebang dan operator traktor yang kurang memahami teknik penebangan dan penyaradan serta lemahnya pengawasan di lapangan. Hingga saat ini, potensi limbah pemanenan kayu belum dimanfaatkan oleh pihak IUPHHK-KA karena pertimbangan mahalnya pungutan PNBP. Derajat

kerusakan tegakan tinggal menggunakan metode *ZWL* rata-rata sebesar 37,7%, tidak berbeda nyata dibandingkan dengan metode konvensional sebesar 38,3%.

B. Rekomendasi

Manajemen IUPHHK-HA perlu melakukan penyegaran teknik penebangan dan penyaradan untuk meningkatkan keterampilan operator *chainsaw* dan operator traktor. Perlu sosialisasi metode pemanenan kayu *ZWL* dan pembahasan lebih lanjut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor: P.1/Menlhk/Setjen/Kum.1/1/2019 terkait dengan pemahaman limbah pemanenan kayu dan besaran tarif PNBP.

KONTRIBUSI PENULIS

Ide, desain, dan rancangan percobaan dilakukan oleh SN; percobaan dan perlakuan pengujian dilakukan oleh SN, YN, dan DL; pengumpulan data dan analisis data dilakukan oleh SN dan DL; penulisan manuskrip oleh SN; perbaikan dan finalisasi manuskrip dilakukan oleh SN dan YN.

DAFTAR PUSTAKA

- Astana, S., Soenarno, & Endom, W. (2015). Potensi penerimaan negara bukan pajak dari limbah kayu pemanenan di hutan alam dan hutan tanaman. *Jurnal Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan*, 12(3), 227–243.
- Badrighi, N., Erler, J., & Hosseini, S. A. O. (2015). Residual damage in different ground logging methods alongside skid trails and winching strips. *Journal of Forest Science*, 61(12), 526–534.
- Dulsalam, Sukadaryati, & Yuniarwati. (2018). Produktivitas, efisiensi dan biaya penebangan silvikultur intensif pada satu perusahaan di Kalimantan Timur. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 36(1), 1–12.
- Elias. (2008). *Pembukaan wilayah hutan* (Edisi I). Bogor: IPB Press.
- Elias. (2016). *Penerapan reduced impact logging dalam rangka reformasi eksploitasi hutan dan korupsi dalam pengelolaan hutan alam tropika Indonesia*. Bogor: Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor.
- Elias, Applegate, G., Kartawinata, K., & Klassen, A. (2001). *Pedoman reduced impact logging Indonesia*. Bogor: Center for International Forestry Research.
- Eroğlu, H., Öztürk, U. O., Sönmez, T., Tilki, F., & Akkuzu, E. (2009). The impacts of timber harvesting techniques on residual trees, seedlings, and timber products in natural oriental spruce forests. *African Journal of Agricultural Research*, 4(3), 220–224.
- Faizah, N. (2019). Kuartal I / 2019 Produksi kayu bulat turun 1,5 juta meter kubik. Diunduh dari <https://ekonomi.bisnis.com/read/20190415/99/911822/kuartal-i2019-produksi-kayu-bulat-turun-15-juta-meter-kubik>, pada tanggal 12 Maret 2019.
- Forestry Training Centre Incorporated. (2010). *Course in reduced impact logging: Chainsaw use, safety practices & directional tree felling techniques*. Georgetown: Guyana Forestry Commission.
- Garland, J., & Jackson, D. (1997). *Felling and bucking techniques for woodland owners*. Oregon: Oregon State University Extension Service.
- Idris, M. M., Dulsalam, Soenarno, & Sukanda. (2012). Revisi faktor eksplorasi hutan untuk optimasi logging. *Prosiding Eksposisi Hasil Penelitian Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Keteknikan dan Pengolahan Hasil Hutan, Bogor.
- Idris, M. M., & Soenarno. (2015). Penerapan metode *tree length logging* skala operasional di areal teknik silvikultur intensif (Studi kasus di PT Sarmiento Parakanca Timber Provinsi Kalimantan Timur). *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 33(1), 19–34.
- Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia. (2014). Peraturan Pemerintah Nomor 12 tahun 2014 tentang jenis dan tarif atas jenis penerimaan negara bukan pajak yang berlaku pada Kementerian Kehutanan. Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2019). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor: P.1/Menlhk/ Setjen/Kum.1 /1/2019 tentang izin usaha industri primer hasil hutan. Jakarta.

- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2015). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor: P.43/Menlhk-II/2015 tentang penatausahaan hasil hutan kayu yang berasal dari hutan hak. Sekretariat Jenderal, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2014). Peraturan Menteri Kehutanan Nomor: P. 68/Menhut-II/2014 tentang penetapan harga patokan hasil hutan untuk perhitungan provisi sumber daya hutan, ganti rugi tegakan dan penggantian nilai tegakan. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Muhdi, Elias, Murdiyarno, D., & Matangaran, J. R. (2014). Kerusakan tegakan tinggal akibat pemanenan kayu *reduced impact logging* dan konvensional di hutan alam tropika (Studi kasus di areal IUPHHK PT Inhutani II, Kalimantan Timur). *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 19(3), 303–310.
- Ruslandi. (2013). *Penerapan pembalakan berdampak rendah-carbon (RIL-C)*. Jakarta: The Nature Conservancy.
- Serin, H., Akay, A. E., & Pak, M. (2010). Estimating the effects of optimum bucking on the economic value of brutian pine (*Pinus brutia*) logs extracted in Mediterranean Region of Turkey. *African Journal of Agricultural Research*, 5(9), 916–921.
- 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.
- Soenarno. (2014a). Efisiensi pembalakan dan kualitas limbah pembalakan di hutan tropika pegunungan: Studi kasus di IUPHHK-HA PT. Roda Mas Timber Kalimantan. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 32(1), 45–61.
- Soenarno. (2014b). Potensi dan karakteristik limbah pembalakan pada PT Kemakmurah Berkah Timber Provinsi Kalimantan Timur. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 32(2), 151–166.
- Soenarno, & Astana, S. (2018). Lacak balak untuk verifikasi uji legalitas kayu pada pemanenan kayu hutan alam. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 36(1), 47–58.
- Soenarno, Dulsalam, & Endom, W. (2013). Faktor eksplorasi pada hutan produksi terbatas di IUPHHK-HA PT Kemakmurah Berkah Timber. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 31(2), 151–160.
- Soenarno, Endom, W., Basari, Z., Suhartana, S., Dulsalam, & Yuniawati. (2016). Faktor eksplorasi hutan di Sub Region Kalimantan Timur. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 34(4), 335–348.
- Soenarno, Endom, W., & Bustomi, S. (2017). Kerusakan tegakan tinggal akibat pemanenan kayu pada hutan tropis berbukit di Kalimantan Tengah. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 35(4), 273–288.
- Soenarno, Endom, W., & Dulsalam. (2016). Faktor eksplorasi PT Kayu Tribuana Rama Kabupaten Kota Waringin Timur, Provinsi Kalimantan Tengah. *Laporan Hasil Penelitian*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan, Bogor.
- Soenarno, Sukadaryati, & Dulsalam. (2019). RPPI Teknik Pemanenan Hutan. *Sintesis Hasil Penelitian*. Badan Penelitian, Pengembangan dan Inovasi.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). (2011). *Pengukuran dan tabel isi kayu bundar* (SNI 7533-2011). Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- 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.