

Mengurangi Keterbukaan Hutan Melalui Teknik Pemanenan Kayu yang Tepat di Hutan Alam

Yuniawati* dan Rossi Margareth Tampubolon

Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Jl. Gunung Batu No. 5 Bogor, Indonesia

ABSTRAK

Kegiatan pemanenan kayu memberikan kontribusi yang sangat besar terhadap produksi kayu. Pohon produksi yang berada di dalam hutan tidak dapat dimanfaatkan jika tidak ditebang dan tidak dikeluarkan dari dalam hutan. Metode penelitian ini adalah membuat 6 plot contoh pengamatan (PCP) masing-masing 3 PCP untuk teknik perbaikan (TP) dan 3 PCP untuk teknik konvensional (TK) pada satu petak tebang, melakukan penebangan pohon dan penyaradan dengan TP dan TK, melakukan pengamatan dan pengukuran produktivitas pemanenan kayu dan luas areal hutan yang terbuka akibat penebangan dan penyaradan serta menganalisis pengaruh kedua teknik terhadap produktivitas areal hutan terbuka dengan uji t. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh dua teknik pemanenan kayu terhadap produktivitas dan areal hutan terbuka. Hasil penelitian menunjukkan bahwa : 1) Rata-rata produktivitas penebangan dengan TK dan TP masing-masing adalah 10,60 m³/jam dan 13,95 m³/jam 2) Rata-rata produktivitas penyaradan dengan TK dan TP masing-masing adalah 7,25 m³/jam dan 9,60 m³/jam; 3) Rata-rata areal hutan terbuka akibat penebangan dengan TK dan TP masing-masing adalah 15,67% dan 7,43% ; 4) Rata-rata areal hutan terbuka akibat penyaradan dengan TK dan TP masing-masing adalah 10,50% dan 6,68%. Menerapkan teknik perbaikan dapat mengurangi terjadinya keterbukaan hutan pada penebangan dan penyaradan masing-masing sebesar 8,24% dan 3,82%.

Kata Kunci : Pemanenan kayu, hutan alam, teknik perbaikan, teknik konvensional, areal hutan terbuka

ABSTRACT

Timber harvesting provides a very large contribution to timber production. Tree production that is in the forest can't be used if they are not felling and removed from the forest. This research method is to make 6 sample observation plot (SOP) each 3 SOP for improving technique (IT) and 3 SOP for conventional technique (CT) on one logging compartment, do felling and skidding by IT and CT, make observations, and measuring the productivity of timber harvesting and the area of open forest due to felling and skidding and analyzing the effect of the two techniques on the productivity of the open forest area with t-test. The research objective was to determine the effect of two timber harvesting techniques on productivity and open forest areas. The results showed that the average productivity of felling by CT and IT was 10.60 m³/hour and 13.95 m³/hour respectively. The average productivity of skidding by CT and IT was 7.25 m³/hour and 9.60 m³/hour respectively. The average open forest area due to felling by CT and IT was 15.6% and 7.43% respectively. The average open forest area due to skidding by CT and IT was 10.50% and 6.68% respectively. Applying improve technique reduced the open forest area through felling and skidding by 8.24% and 3.82% respectively.

Keywords: Timber harvesting, Natural forest, Improve technique, Conventional technique, Open forest area

Citation: Yuniawati, dan Rossi, M.T, (2021). Mengurangi keterbukaan hutan melalui teknik pemanenan kayu yang tepat di hutan alam. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 19(2), 373-382, doi:10.14710/jil.19.2.373-382

1. Pendahuluan

Pemanenan kayu merupakan serangkaian kegiatan untuk mengeluarkan kayu dari dalam hutan menuju ke industri atau masyarakat. Kegiatan pemanenan kayu di hutan alam disatu sisi harus dapat menghasilkan produksi kayu yang tinggi dengan meminimalkan kerusakan hutan. Keterbukaan areal hutan setelah pemanenan kayu merupakan salah satu jenis kerusakan hutan yang terjadi. Akibat dari keterbukaan lahan tersebut dapat mengakibatkan terjadinya erosi, berkurangnya kemampuan hutan untuk menyerap karbon, kesuburan tanah menjadi berkurang dan berkurangnya produksi kayu pada rotasi tebang berikutnya.

Disatu sisi produktivitas penebangan harus ditingkatkan untuk menghasilkan produksi kayu yang maksimal tapi di sisi lain hutan menjadi terbuka. Menurut Purwodidodo (1999) luas areal yang terbuka dapat terjadi karena penebangan yang berlebihan dan perencanaan jalan sarad yang kurang baik. Luas areal yang terbuka akibat penebangan merupakan luasan daerah yang terbuka akibat penebangan pohon berikut rebahnya vegetasi lain akibat tertimpa pohon yang tumbang.

Menurut Cardenas et al. (2018) bahwa pemanenan kayu dapat memberikan efek di atas permukaan tanah termasuk perubahan penutupan lahan, iklim mikro yang dapat berubah dan segala

* Corresponding author: yunia_las@yahoo.co.id

kegiatan komunitas tanah. Pemanenan kayu dapat mengubah kuantitas dan kualitas organik secara langsung maupun tidak langsung termasuk peningkatan pH dan mengurangi C/N rasio, karbon tanah, nitrogen, dan phosphor. Banyak dampak negatif mesin pemanenan kayu pada tanah selama proses pemanenan yaitu terhambatnya infiltrasi sehingga tanah menjadi tergenang air, sangat rentan terhadap kerusakan tanah (Klaes, 2016).

Pemanenan kayu dengan metode pengelolaan yang tepat harus diadopsi untuk regenerasi hutan. Pemanenan kayu yang efisien di Nigeria memerlukan tempat pengumpulan kayu setelah dipanen dan pelatihan yang memadai harus diberikan kepada operator peralatan pemanenan. Dengan teknik pemanenan kayu yang tepat, kerusakan akibat penebangan dapat diminimalisir. Penebangan berdampak rendah harus dimasukkan ke dalam pengelolaan hutan lestari untuk mengurangi kerusakan yang merusak pada sisa pohon di hutan (Okon, 2018).

Pemanenan kayu berbasis meminimalkan kerusakan hutan seperti yang dipraktikkan di negara maju, adalah metode yang dapat mengurangi akibat kegiatan tersebut pada ekosistem. Pelatihan penebang dan pekerja kehutanan lainnya tentang praktek penebangan berkelanjutan dan pemberian denda berat pada penebang sehubungan dengan jumlah kerusakan yang terjadi di setiap lokasi penebangan direkomendasikan sebagai cara untuk mengurangi kerusakan dan mempromosikan pengelolaan hutan yang berkelanjutan (Adekunle dan Olagoke, 2010). Berdasarkan latar belakang tersebut maka tujuan penelitian untuk menganalisis pengaruh teknik pemanenan kayu terhadap produktivitas dan terbukanya areal hutan.

2. Metode Penelitian

Penelitian dilaksanakan di area kerja IUPHHK-HA PT Inhutani I Unit Samarata, Distrik Berau, petak tebang nomor 339. Area ini terletak di Propinsi Kalimantan Timur. Peralatan yang digunakan adalah *chainsaw*, alat sarad, meteran, *phi-band*, *tally sheet*, *clino meter* untuk mengukur kelerengan, kompass, kamera digital dan alat tulis. Bahan yang digunakan adalah tegakan pohon, inventarisasi tegakan sebelum penebangan, laporan hasil cruising, dan peta distribusi pohon, kapur dan cat.

2.1. Prosedur kerja

Prosedur pelaksanaan penelitian di lapangan yaitu :

1. Penentuan petak contoh (Soenarno et al. 2016)
 - a. Pada petak tebang terpilih di IUPHHK-HA dibuat plot contoh pengamatan (PCP) sebanyak 3 buah masing-masing berukuran 2,0 ha (200 x 100 m). PCP dirancang secara *systematic sampling with purposive start* dimana PCP pertama dilakukan secara *purposive* pada petak tebang terpilih dan PCP selanjutnya dibuat secara sistematik dengan

jarak antar PCP adalah 100 m (Gambar 1).

- b. Pembuatan PCP dilakukan dengan berpedoman pada peta rencana operasional pemanenan kayu (ROPK) skala 1 : 50.000. Setelah PCP dibuat, selanjutnya dilakukan inventarisasi tegakan sebelum penebangan pada tegakan berdiameter 20 cm up untuk semua jenis pohon. Inventarisasi dilakukan untuk memvalidasi laporan hasil cruising (LHC) kegiatan inventarisasi tegakan sebelum penebangan (ITSP) yang dilakukan perusahaan.

2. Data yang dikumpulkan

a. Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dengan melihat arsip/data yang tersedia di lokasi penelitian, antara lain : kondisi umum IUPHHK-HA (keadaan hutan, letak dan luas areal, topografi, iklim, dll), LHC, LHP, pelaksanaan *grading scalling*.

b. Data Primer

Data primer merupakan data pokok yang diperoleh dengan cara pengamatan langsung di lapangan. Adapun data primer yang dikumpulkan adalah produktivitas penebangan dan penyaradan dengan teknik konvensional dan perbaikan serta keterbukaan lahan akibat penebangan dan penyaradan dengan teknik konvensional dan perbaikan. Pengukuran keterbukaan areal dilakukan dengan melakukan pengukuran didalam plot pengamatan. Cara mengukur luasan areal yang terbuka akibat penebangan adalah dengan menggunakan pita ukur. Setelah satu pohon yang ditebang maka dilakukan pengukuran areal terbuka sekitar pohon ditebang tersebut. Pengukuran keterbukaan areal akibat penyaradan dilakukan dengan pengukuran langsung pada bekas jalan sarad dengan menggunakan pita ukur, yang diukur yaitu panjang dan lebar jalan sarad terbuka.

2.2. Analisis data

a. Produktivitas penebangan dan penyaradan

$$P = \frac{v}{t} \dots\dots\dots(1)$$

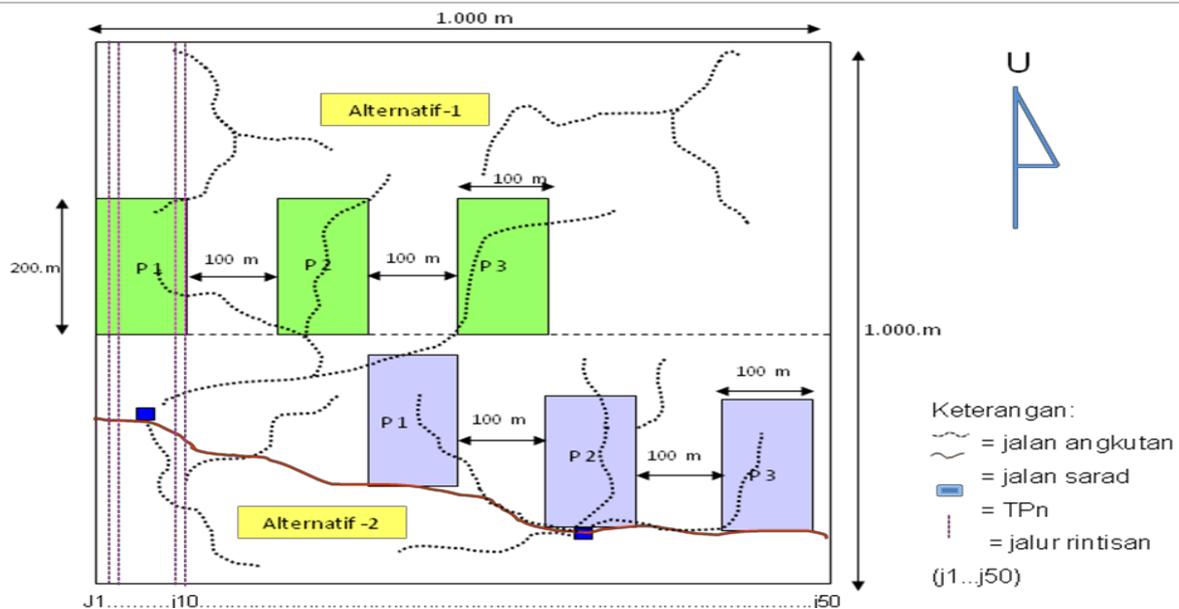
Keterangan: P = Produktivitas penebangan dan penyaradan (m³/jam); v = Volume kayu yang ditebang dan disarad (m³); t = Waktu produksi penebangan dan penyaradan (jam)

b. Areal hutan terbuka akibat penebangan

Persentase keterbukaan lahan akibat penebangan, dihitung dengan menggunakan rumus (Elias, 2012):

$$LTPg = \frac{(LAT) \times (\sum phn)}{Luas PCP} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan: LTPg = Lahan terbuka akibat penebangan (%); LAT = Luas areal terbuka (ha); \sum Phn = Jumlah pohon (pohon); Luas PCP = Luas plot sampel (ha)



Gambar 1. Rancangan PCP dalam petak tebang terpilih, Sumber : Soenarno et al. (2016)

c. Areal hutan terbuka akibat penyaradan
 Persentase keterbukaan lahan akibat penebangan dihitung dengan menggunakan rumus (Elias, 2012) :

$$LTPn = \frac{(LAT)}{Luas\ PCP} \times 100\% \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan : LTPn = Lahan terbuka akibat penyaradan (%); LAT = Luas areal terbuka (ha); Luas PCP = Luas plot sampel (ha)

d. Untuk mengetahui pengaruh teknik konvensional dan perbaikan terhadap produktivitas dan keterbukaan hutan dilakukan analisis statistik uji independent simple t-test

Dasar pengambilan keputusan uji independent simple t-test adalah :

1. Jika nilai sig. (2 tailed) > 0.05 maka Ho diterima dan Ha ditolak, artinya tidak ada perbedaan rata-rata produktivitas penebangan atau penyaradan antara teknik konvensional dengan teknik perbaikan
2. Jika nilai sig. (2 tailed) < 0.05 maka Ho ditolak dan Ha diterima, artinya ada perbedaan rata-rata produktivitas penebangan atau penyaradan antara teknik konvensional dengan teknik perbaikan

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Produktivitas penebangan

Penebangan kayu merupakan kegiatan merebahkan pohon yang kemudian memotong menjadi bagian batang layak sarad. Teknik penebangan konvensional adalah teknik penebangan yang dilakukan tanpa mengikuti kaidah-kaidah penebangan ramah lingkungan seperti pembuatan takik rebah dan takik balas masih kecil sehingga pangkal batang menjadi pecah, arah rebah masih salah, tinggi tunggak yang dihasilkan masih tinggi akibatnya mengurangi

rata-rata volume kayu produksi. Teknik penebangan perbaikan adalah teknik penebangan yang dilakukan mengikuti kaidah-kaidah penebangan yang ramah lingkungan. Hasil pengukuran rata-rata produktivitas penebangan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 menunjukkan bahwa rata-rata produktivitas penebangan dengan teknik konvensional lebih rendah daripada teknik perbaikan dengan selisih penurunan sebesar 24,01%. Rendahnya rata-rata produktivitas penebangan pada teknik konvensional tersebut disebabkan oleh faktor keterampilan operator chainsaw yang masih rendah dengan pengalaman kerja 3 tahun. Hal ini dapat dilihat dari rata-rata waktu yang digunakan untuk menebang lebih lama daripada teknik perbaikan. Olajuyigbe et al. (2020) menyatakan bahwa sebagian besar operator penebangan (92,9%) tidak memiliki pelatihan formal dalam operasi pemanenan dan prinsip-prinsip pengelolaan berkelanjutan (83,3%).

Operator chainsaw mengalami kesulitan saat pembuatan mulut takik rebah, rantai chainsaw sering menyangkut di mulut takik tersebut, untuk melepaskan rantai chainsaw butuh waktu beberapa menit dan helper selalu mengasah mata rantai gergaji sebelum digunakan. Dengan kata lain terlalu banyak waktu terbuang karena rantai chainsaw yang tersangkut di mulut takik dan selalu sering mengasah. Jika pembuatan takik rebah tersebut benar maka kemungkinan rantai chainsaw tersangkut sangat kecil. Menurut Elias et al. (2001) pembuatan takik rebah harus mengikuti kaidah reduced impact logging yaitu membuat potongan datar sedalam 1/3-1/4 diameter pohon pada ketinggian maksimum 50 cm, membuat potongan atap/miring dengan sudut 45° terhadap potongan datar, membuat potongan datar dari belakang takik rebah setinggi 5-10 cm dari potongan datar takik rebah dan meninggalkan engsel selebar 1/10-1/6 diameter pohon.

Rata-rata produktivitas penebangan juga dipengaruhi rata-rata diameter di atas dada (DBH) pada tegakan di plot tersebut. Produktivitas dapat dipengaruhi oleh diameter pohon yang ditebang. Semakin besar diameter pohon maka semakin tinggi volume kayu yang ditebang sehingga semakin tinggi produktivitas dan semakin rendah biaya produksi. Sitohang et al. (2016) mengemukakan bahwa diameter pohon, dapat mempengaruhi produktivitas karena semakin kecil diameter pohon maka waktu potong akan semakin sedikit, dapat mempengaruhi besar kecilnya biaya dan produktivitas pada setiap kegiatan dan juga dapat menjadikan pemanenan lebih efisien dan efektif. Vacek et al. (2018) menyatakan bahwa kondisi habitat, komposisi jenis, umur, kepadatan tegakan, bencana alam, khususnya kebakaran, angin topan, merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi distribusi diameter tegakan hutan. Distribusi diameter berubah seiring waktu.

Hal ini berbeda dengan hasil penelitian, rata-rata DBH pada teknik penebangan konvensional lebih tinggi (0,61 m) daripada DBH pada teknik penebangan perbaikan (0,59 m), seharusnya rata-rata produktivitas teknik konvensional lebih tinggi daripada teknik perbaikan. Berdasarkan rata-rata waktu yang diperlukan untuk menebang pohon pada teknik penebangan konvensional lebih lama daripada teknik perbaikan maka dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi rata-rata DBH pohon maka belum tentu menghasilkan rata-rata produktivitas penebangan yang tinggi, hal ini dikarenakan keterampilan operator ikut berpengaruh. Variabel DBH memiliki korelasi yang tinggi dengan waktu penebangan pohon, tetapi untuk nilai DBH yang sama tinggi komersial pohon mungkin sangat berbeda untuk setiap lokasi, yang secara langsung mempengaruhi perkiraan produksi (Acosta et al. 2018). Batang pohon berukuran besar dapat menjadi penghalang penebangan saat menggunakan chainsaw. Pohon besar tetapi volume kayu kecil per ha merupakan masalah serius dalam penggunaan mesin pemanen kayu di hutan hujan (Castro et al. 2016). Lopes & Pagnussat (2017) menunjukkan bahwa

tingkat kinerja rendah karena operator beradaptasi dengan kondisi lingkungan baru dan teknik yang diperlukan untuk pengambilan keputusan yang cepat dan pengoperasian yang tidak terganggu.

Dari teknik konvensional dan perbaikan tersebut kita dapat mengetahui pengaruhnya terhadap rata-rata produktivitas penebangan yang disajikan pada Tabel 2. Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai sig. (2 tailed) < 0.05 maka dapat disimpulkan bahwa ada perbedaan produktivitas penebangan yang nyata antara teknik konvensional dengan teknik perbaikan. Dari hasil penelitian ini maka penggunaan teknik perbaikan pada penebangan pohon dapat meningkatkan rata-rata produktivitas. Penebangan kayu selektif adalah salah satu pendekatan pemanenan hutan alam utama di seluruh dunia dan menyumbang hampir 15% dari kebutuhan kayu global. Namun, ada kekhawatiran yang semakin besar bahwa praktik penebangan selektif yang sedang berlangsung telah menyebabkan penurunan pasokan hasil hutan, peningkatan degradasi hutan, dan berkontribusi pada emisi karbon berbasis hutan (Poudyal et al. 2019)

Beberapa hasil penelitian rata-rata produktivitas penebangan 1) Hasil penelitian Akay et al. (2015) menunjukkan bahwa bahwa rata-rata produktivitas penebangan, pembagian batang dan pengupasan kulit di Turki masing-masing sebesar 15,25 m³/jam, 5,38 m³/jam dan 0,88 m³/jam; 2) Cho et al. (2016) menunjukkan bahwa rata-rata produktivitas penebangan dan biaya produksi di hutan di Gangreung, Gangwon masing-masing sebesar 8,6 m³/jam dengan waktu 153 detik dan 2,359 won/m³; 3) Ciubotaru dan Câmpu (2018) menunjukkan bahwa total waktu of 536,32 detik/m³ (1145,26 detik/pohon), waktu kerja termasuk istirahat 6,716 m³/jam (3,14 pohon/jam), dan produktivitas kerja tanpa istirahat 35,459 m³/jam (16,58 pohon/jam). Produktivitas chainsaw selama penebangan adalah 82,29 cm³/detik. Lamanya waktu penebangan dipengaruhi oleh diameter setinggi dada, panjang batang dan volume pohon.

Tabel 1. Rata-rata produktivitas penebangan teknik konvensional dan perbaikan

Nomor plot	Jumlah pohon ditebang (pohon)	Volume (m ³)	Waktu (jam)	Produktivitas penebangan (m ³ /jam)
Teknik konvensional				
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	29	14,76	1,41	31,81
Rata-rata	9,67	4,92	0,47	10,60
Standar Error	1,20	0,34	0,04	0,92
Teknik perbaikan				
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	30	15,05	1,08	41,86
Rata-rata	10	5,02	0,36	13,95
Standar Error	1,73	0,43	0,03	0,16

Tabel 2. Pengaruh teknik konvensional dan perbaikan terhadap rata-rata produktivitas penebangan

		Uji Levene's Untuk Kesetaraan Varian		Uji t untuk rata-rata kesetaraan						
		F	Uji beda nyata	t	Tingkat kebebas an	Uji beda nyata (2- berekor)	Rata-rata perbedaan	Perbedaan standar kesalahan	95% tingkat perbedaan kepercayaan	
									Lebih bawah	Lebih atas
Produktivitas_ penebangan	Varians diasumsikan sama	,084	,773	-4,784	58	,000	-3,16867	,66230	-4,49440	-1,84294
	Varian diasumsikan tidak sama			-4,784	56,833	,000	-3,16867	,66230	-4,49498	-1,84236

3.2. Produktivitas penyaradan kayu

Kegiatan penyaradan berlangsung di petak tebang. Penyaradan merupakan pengangkutan kayu jarak pendek/dekat, sering disebut kegiatan angkutan minor (*minor transportation*). Penyaradan akan mempermudah kegiatan pengangkutan apabila dilakukan dengan teknik yang tepat. Penyaradan terkendali yang dilakukan secara sistematis, efisien, dan hanya menyebabkan kerusakan minimal pada tanah dan tegakan sekitarnya (Elias, 2015; Elias, 2016). Penyaradan teknik konvensional pada penelitian ini adalah teknik penyaradan yang dilakukan tanpa memperhatikan kaidah penyaradan ramah lingkungan seperti tidak membuat jalur sarad, tidak membawa peta pohon yang ditebang dan pemasangan kabel choker yang salah sehingga kayu dapat menggerus lapisan tanah atas sepanjang jalan yang dilalui alat sarad. Penyaradan teknik perbaikan adalah teknik penyaradan yang dilakukan dengan memperhatikan kaidah penyaradan ramah lingkungan. Hasil perhitungan rata-rata produktivitas penyaradan disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3 menunjukkan bahwa rata-rata produktivitas penyaradan kayu pada teknik konvensional lebih rendah daripada teknik perbaikan dengan selisih sebesar 24,48%. Rendahnya penyaradan dengan teknik konvensional tersebut disebabkan karena belum ada pembuatan jalur sarad sebelum kegiatan penebangan. Pembuatan jalur sarad tersebut dimaksudkan untuk mempermudah penyaradan sehingga waktu saat menyarad kayu menjadi efisien dan mengurangi kerusakan tegakan tinggal dan keterbukaan lahan akibat manuver alat sarad untuk mencari kayu yang akan di sarad. Elias et al. (2001) mengatakan bahwa pembuatan jalan sarad dilakukan setelah penebangan sehingga penyaradan baru dapat dilaksanakan jika jalan sarad sudah tersedia. Saat melakukan penyaradan tim operator alat selalu membawa peta pohon yang ditebang. Tabel 2 menunjukkan bahwa rata-rata waktu penyaradan pada teknik konvensional lebih lama daripada teknik perbaikan. Belum dibuatnya jalur sarad berakibat pada banyaknya dilakukan manuver oleh alat sarad

sehingga membutuhkan waktu lama untuk tiba di lokasi kayu yang akan disarad.

Strandgard et al. (2017) menyatakan bahwa produktivitas secara signifikan berhubungan dengan jarak penyaradan dan volume. Kemiringan lahan tidak berpengaruh signifikan terhadap waktu siklus atau produktivitas. Produktivitas jauh lebih besar daripada untuk banyak studi yang dipublikasikan karena banyak faktor yang memengaruhinya yaitu kapasitas muat yang besar dari forwarder yang diteliti, volume kayu rata-rata yang besar, kapasitas volume grapple forwarder yang berpotensi lebih besar, panjang kayu yang sesuai untuk pemuatan yang efisien dan kecepatan penyaradan yang lebih tinggi. Ozturk (2014) menyatakan bahwa waktu penyaradan per siklus berhubungan langsung dengan jenis traktor, jarak penyaradan, jumlah batang utuh yang diangkut dan berhubungan dengan intensitas pemanenan. Untuk mengetahui pengaruh teknik konvensional dan perbaikan terhadap produktivitas penyaradan disajikan pada Tabel 4. Tabel 4 menunjukkan bahwa nilai sig. (2 tailed) < 0.05 maka dapat disimpulkan bahwa ada perbedaan produktivitas penyaradan yang nyata antara teknik konvensional dengan teknik perbaikan. Dari hasil penelitian ini maka penggunaan teknik perbaikan pada penyaradan dapat meningkatkan rata-rata produktivitas.

Beberapa hasil penelitian rata-rata produktivitas penyaradan kayu adalah 1). Gilanipoor et al. (2012) menyebutkan bahwa rata-rata produktivitas penyaradan di hutan alam Iran sebesar 2,60 m³/jam dengan rata-rata volume kayu yang disarad adalah 1,76 m³; 2). Nikooy et al. (2013) hasil penelitian menunjukkan bahwa total produksi dengan dan tanpa waktu istirahat adalah 5,17 dan 5,98 m³/jam efektif, sedangkan biaya produksi dengan dan tanpa waktu istirahat adalah \$ 13,7 dan 11,91/jam; 3) Behjou (2018) kisaran produktivitas penyaradan pada pemanenan kayu selektif 18,22 ke 14,25m³/jam. Jalur penyaradan yang mudah dapat meningkatkan produktivitas sampai 3,97m³/jam. Ini dapat disimpulkan bahwa desain jalur sarad yang benar dapat menghasilkan lebih banyak produksi; dan 4) Proto et al. (2018); Rozitis et al. (2017) dalam hal efisiensi pemanenan kayu, kondisi tanah seringkali

menjadi penentu. Kecepatan mesin penyaradan tergantung pada kualitas permukaan jalan sarad. Saat melakukan penyaradan atau pengangkutan kayu di atas tanah dengan daya dukung rendah, jejak akan

muncul dengan cepat sehingga meningkatkan ketahanan terhadap gerakan. Ini menyebabkan penurunan produktivitas, peningkatan konsumsi bahan bakar dan pertumbuhan beban pada transmisi.

Tabel 3. Rata-rata produktivitas penyaradan

Nomor plot	Volume (m ³)	Waktu (jam)	Produktivitas penyaradan (m ³ /jam)
Teknik konvensional			
1	4,45	0,64	6,92
2	5,72	0,71	7,87
3	4,60	0,66	6,96
Total	14,77	2,01	21,75
Rata-rata	4,92	0,67	7,25
Standar Error	0,40	0,02	0,31
Teknik perbaikan			
1	3,87	0,47	8,19
2	5,32	0,46	11,56
3	4,01	0,44	9,01
Total	13,2	1,37	28,76
Average	4,40	0,46	9,60
Standar Error	0,46	0,009	1,01

Tabel 4. pengaruh teknik konvensional dan perbaikan terhadap produktivitas penyaradan

		Uji Levene's untuk kesetaraan varians		Uji t untuk rata-rata kesetaraan							
		F	Uji beda nyata	t	Tingkat kebebasan	Uji beda nyata (2-berekor)	Rata-rata perbedaan	Perbedaan standar kesalahan	95% tingkat perbedaan kepercayaan	Lebih bawah	Lebih atas
Produktivitas penyaradan	Varians diasumsikan sama	,673	,415	-4,674	58	,000	-2,73467	,58505	-3,90577	-1,56356	
	Varians diasumsikan tidak sama			-4,674	56,874	,000	-2,73467	,58505	-3,90627	-1,56307	

3.3. Areal hutan terbuka akibat penebangan

Keterbukaan hutan akibat penebangan adalah terjadinya lahan yang terbuka tanpa tutupan vegetasi akibat kegiatan penebangan. Menurut Sularso (1996) menyatakan bahwa kerapatan tegakan, diameter dan tinggi pohon yang ditebang, bentuk tajuk, kemiringan lapangan, intensitas penebangan, teknik penebangan dan tanaman melilit merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi keterbukaan areal hutan akibat penebangan. Rata-rata keterbukaan hutan akibat penebangan dengan teknik konvensional dan perbaikan disajikan pada Tabel 5.

Table 5 menunjukkan bahwa rata-rata keterbukaan hutan akibat penebangan dengan teknik konvensional lebih tinggi daripada teknik perbaikan dengan selisih peningkatan sebesar 47,42%. Tingginya persentase areal hutan terbuka penelitian ini disebabkan karena operator chainsaw belum memahami terkait arah rebah pohon yang benar. Hasil pengamatan di areal menunjukkan banyak pohon yang patah dibagian tengah dan ujung akibat arah rebah jatuh menuju jurang dan arah rebah menimpa pohon lain. Banyaknya pohon yang cacat akibat arah rebah yang salah sangat merugikan perusahaan. Elias et al. (2001) menyatakan bahwa arah rebah yang terbaik

mendekati atau menjauhi jalan sarad dengan membentuk sudut 30-45° (pola sirip ikan) atau sejajar jalan sarad dengan arah berlawanan dengan arah penyaradan, arah rebah ditempatkan ke tempat kosong dan pada tajuk pohon yang sudah ditebang sebelumnya (maksimal 3 pohon) dan pada areal curam arah rebah menyerong ke samping lereng (sepanjang kontur).

Areal hutan yang terbuka akibat penebangan berindikasi pada berkurangnya penutupan tanaman pada lahan tersebut sehingga mempengaruhi kesuburan tanah. Tanah hutan merupakan tanah yang rentan akan penurunan kualitas pada saat hutan tersebut terbuka karena penebangan maupun kegiatan lain. Hasil penelitian Latifah & Herawatiningsih (2018) menunjukkan bahwa areal bekas tebangan memiliki tingkat kesuburan yang lebih baik bila dibandingkan dengan TPK maupun jalan sarad. Areal bekas tebangan yang telah berumur 1 tahun telah mengalami suksesi. Suksesi ini dapat terjadi dengan cepat karena penebangan dilaksanakan dengan cara tebang pilih, sehingga masih banyak tanaman yang tersisa dan areal tidak terbuka. Peningkatan vegetasi berarti penambahan sumber bahan organik yang mempunyai kemampuan untuk memperbaiki sifat fisika dan kimia tanah. Colleta et al. (2017) menyatakan bahwa setelah

pemanenan respirasi tanah meningkat dengan intensitas penipisan, juga mencegah penguapan air dari tanah sehingga menyebabkan aktivitas mikroba yang lebih tinggi. Informasi ini berguna bagi pengelola hutan dalam memprediksi konsekuensi pengelolaan hutan mengingat keluarnya CO₂ dari permukaan tanah.

Pengaruh teknik penebangan terhadap keterbukaan lahan disajikan pada Tabel 6. Tabel 6 menunjukkan bahwa nilai sig. (2 tailed) < 0.05 maka dapat disimpulkan bahwa ada perbedaan keterbukaan lahan akibat penebangan yang nyata antara teknik konvensional dengan teknik perbaikan. Dari hasil penelitian ini maka penggunaan teknik perbaikan pada penebangan dapat mengurangi rata-rata keterbukaan lahan.

Beberapa hasil penelitian terkait keterbukaan hutan akibat penebangan adalah : 1) Hasil penelitian Angrianto & Ruslim (2020) menunjukkan bahwa

kerusakan hutan yang terjadi di IUPHHK PT Megapura Mambramo Bangun akibat produksi *Intsia* spp mencakup areal rebah pohon seluas 7,79 ha, areal pembersihan liana seluas 11,40 ha, areal pembuatan jalan sarad seluas 7,39 ha dan areal pembuatan jalan cabang atau jalan utama sepanjang 10,081km dengan intensitas kerusakan 22,16%; 2) Elias (2002) luas keterbukaan tanah akibat penebangan pohon dengan teknik pemanenan RIL dapat mencapai 7,65%; 3) Liang et al. (2016) menunjukkan bahwa produktivitas akan menurun jika potensi jenis pohon ditebang; dan 4) Pearson et al. (2017) menyatakan bahwa jenis pohon yang memiliki nilai komersial yang di panen, melalui penebangan selektif yang tidak tepat menyebabkan kerusakan hutan, mengurangi pasokan produk hutan, meningkatkan emisi karbon dan kerusakan habitat satwa liar.

Tabel 5. Rata-rata keterbukaan hutan akibat penebangan

Teknik konvensional						
PCP	Panjang areal terbuka (m)	Lebar areal terbuka (m)	Luas areal terbuka (ha)	Luas PCP (ha)	Jml pohon ditebang (pohon)	% keterbukaan hutan
1	22	16	0,0352	2	10	17,5
2	13	10	0,013	2	8	5,2
3	27	15	0,0405	2	12	24,3
Total	62	41	0,0887	6	30	47
Rata-rata	20,67	13,67	0,0296	2	10	15,67
Standar Error	4,09	1,86	0,008	0	1,15	5,59
Teknik perbaikan						
1	16	12	0,0192	2	7	6,72
2	10	7	0,007	2	13	4,55
3	20	11	0,022	2	10	11,00
Total	46	30	0,0482	6	30	22,3
Rata-rata	15,33	10	0,0161	2	10	7,43
Standar Error	2,91	1,53	0,005	0	1,73	1,89

Tabel 6. Pengaruh teknik penebangan terhadap keterbukaan hutan

		Uji Levene's untuk kesetaraan varians			Uji t untuk rata-rata kesetaraan					
		F	Uji beda nyata	Tingkat kebebasan	Uji beda nyata (2-berekor)	Perbedaan rata-rata	Perbedaan standar kesalahan	95% tingkat perbedaan kepercayaan		
								Lebih atas	Lebih bawah	
Keterbukaan_penebangan	Varians diasumsikan sama	26,406	,000	6,666	58	,000	10,10067	1,51517	7,06773	13,13360
	Varians diasumsikan tidak sama			6,666	34,841	,000	10,10067	1,51517	7,02421	13,17712

3.4. Areal hutan terbuka akibat penyaradan

Penyaradan merupakan kegiatan mengeluarkan kayu tebangan dari petak tebangan ke TPn. Kegiatan tersebut menggunakan alat sarad berupa traktor atau skidder. Penggunaan alat mekanis tersebut

menyebabkan terjadinya keterbukaan lahan saat melakukan manuver untuk mencari kayu yang akan disarad maupun saat kayu disarad. Keterbukaan lahan akibat penyaradan dengan teknik konvensional dan perbaikan disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7 menunjukkan bahwa keterbukaan lahan akibat penyaradan dengan teknik konvensional lebih tinggi daripada teknik perbaikan sebesar 63,62%. Tingginya rata-rata keterbukaan lahan akibat penyaradan teknik konvensional karena selain belum adanya jalan sarad sehingga traktor bermanuver mencari kayu tebangan secara zig zag juga operator alat sarad tidak membawa peta pohon yang ditebang sehingga lalu lintas alat sarad menjadi tidak terkontrol. Keterbukaan lahan akibat penyaradan tersebut memberikan efek sangat buruk terhadap lingkungan. Lin et al. (2017); Zafirah et al. (2017) menyatakan bahwa meningkatkan kegiatan penebangan tidak hanya secara langsung mempengaruhi retensi tanah tetapi juga mengakibatkan pergeseran komposisi komunitas spesies air tawar, melalui berbagai dampak hilir dari peningkatan limpasan sedimen, penumpukan sedimen di sungai, dan efek langsung dari sedimen yang tersuspensi pada ikan air tawar. Okon (2018) menyatakan bahwa areal yang terbuka sangat rawan erosi. Pemanenan kayu juga mengganggu keseimbangan nutrisi normal di tanah hutan, mendorong nitrifikasi dan meningkatkan pencucian nutrisi sehingga membuat lapisan atas tanah menjadi miskin dan rentan terhadap erosi.

Sohrabi et al. (2021) menyatakan bahwa kepadatan dan biomassa cacing tanah pada intensitas lalu lintas tinggi dan kelas kemiringan 20–30% pada kedalaman 10–20 cm memiliki nilai terendah dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Dua puluh lima tahun setelah operasi penebangan, kepadatan cacing tanah pada kedalaman tanah 0–10 dan 10–20 cm adalah 28,4% dan 38,6% lebih rendah dibandingkan dengan daerah yang tidak terganggu. Sementara itu, biomassa cacing tanah pada kedalaman tanah 0–10 dan 10–20 cm masing-masing lebih kecil 30,5% (2,05 mg/m²) dan 40,5% (1,54 mg/m²) dibandingkan dengan di kawasan tidak terganggu.

Massa jenis cacing tanah dan biomassa berkorelasi positif dengan porositas total, kandungan karbon organik dan nitrogen, sedangkan bobot isi tanah dan rasio C / N berkorelasi negatif.

Pengaruh teknik konvensional dan perbaikan terhadap keterbukaan lahan akibat penyaradan disajikan pada Tabel 8. Tabel 8 menunjukkan bahwa nilai sig. (2 tailed) < 0.05 maka dapat disimpulkan bahwa ada perbedaan keterbukaan lahan akibat penyaradan yang nyata antara teknik konvensional dengan teknik perbaikan. Dari hasil penelitian ini maka penggunaan teknik perbaikan pada penyaradan dapat mengurangi rata-rata keterbukaan lahan. Kerucut penyaradan terbuat dari plastik berkinerja tinggi dan dirancang untuk batang kayu dengan diameter hingga 50 cm. Kerucut digunakan untuk mengurangi gesekan tanah dan untuk mencegah batang kayu bertabrakan dengan akar, tunggul, bebatuan, sisa pohon dan penghalang lainnya (Acar, 2016)

Praktik RIL yang tepat dapat memelihara hasil di bagian tertentu dari lanskap penebangan yang sesuai secara ekologi dan ekonomi (Mills et al. 2019). Pemanenan biasanya berdampak parah pada struktur hutan dan fungsi ekosistem. Penebangan kayu memiliki efek jangka pendek dan jangka panjang terhadap lingkungan hutan, tetapi penebangan berkelanjutan berpotensi untuk mempertahankan tegakan hutan dan mencegah kerusakan pohon-pohon sisa dalam skala besar. Dampak langsung penebangan di hutan tropis terkait dengan intensitas panen yang diukur dengan jumlah batang yang diambil per ha (Zimmerman & Kormos, 2012). Oleh karena itu, penebangan kayu yang ramah lingkungan merupakan komponen penting dari kehutanan berkelanjutan (Grebner, 2013).

Tabel 7. Keterbukaan hutan akibat penyaradan dengan teknik konvensional dan perbaikan

Teknik konvensional						
PCP	Lebar areal terbuka (m)	Panjang areal terbuka (m)	Luas areal terbuka (ha)	Luas PCP (ha)	% Keterbukaan hutan	
1	67	38	0,25	2	12,73	
2	51	31	0,16	2	7,91	
3	62	35	0,22	2	10,85	
Total	180	104	0,63	6	31,49	
Rata-rata	60	34,67	0,21	2	10,50	
Standar Error	4,73	2,03	0,026	0	1,40	
Teknik perbaikan						
1	55	30	0,165	2	8,25	
2	42	24	0,1008	2	5,04	
3	50	27	0,135	2	6,75	
Total	147	81	0,4008	6	20,04	
Rata-rata	49	27	0,134	2	6,68	
Standar Error	3,79	1,73	0,019	0	0,93	

Tabel 8. Pengaruh teknik konvensional dan perbaikan terhadap keterbukaan hutan akibat penyaradan

		Uji Levene's untuk kesetaraan varians			Uji t untuk kesetaraan rata-rata					
		Uji beda nyata	F	t	Tingkat Kebebasan	Uji beda nyata (2-berekor)	Perbedaan rata-rata	Perbedaan standar kesalahan	95% tingkat perbedaan kepercayaan	
									Lebih atas	Lebih bawah
Keterbukaan sarad	Varians diasumsikan sama	3,654	,061	10,048	58	,000	4,33237	,43115	3,46932	5,19541
	Varians diasumsikan tidak sama			10,048	51,766	,000	4,33237	,43115	3,46711	5,19763

4. Kesimpulan

Penebangan dan penyaradan merupakan rangkaian dari kegiatan pemanenan kayu yang memiliki manfaat dalam produksi kayu sehingga dibutuhkan produktivitas yang tinggi. Penerapan teknik perbaikan dalam penebangan dan penyaradan sangat dianjurkan karena dapat meningkatkan produktivitas kerja dan mengurangi terjadinya keterbukaan hutan. Menerapkan teknik perbaikan dapat mengurangi terjadinya keterbukaan hutan pada penebangan dan penyaradan masing-masing sebesar 8,24% dan 3,82%. Keterbukaan hutan berakibat pada menurunnya kesuburan tanah sehingga dapat mengurangi produksi kayu pada rotasi penebangan tahun berikutnya.

DAFTAR PUSTAKA

Acar, H.H. 2016. Log Pulling Sliding Head to Be Used During Cable Skidding by Drummed Tractor. In: Gendek A., Moskalik T. (eds.), *Proceedings of the 49th FORMEC symposium*, 4-7 September 2016, Warsaw Poland. Warsaw University of Life Sciences, Warsaw, pp. 23-25.

Acosta, F.C., D.C. Oliveira, C. Arruda, M.L. Garcia, R.R. Melo. 2018. Operational Performance of the Selective Cutting of Trees with Chainsaw. *Floresta e Ambiente* 25 (3) 1-9. Doi:<https://doi.org/10.1590/2179-8087.023916>

Adekunle, V.A.J., A.O. Olagoke. 2010. The Impacts of Timber Harvesting on Residual Trees and Seedlings in a Tropical Rain Forest Ecosystem, Southwestern Nigeria. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management* 6 (3-4) 131-138. Doi: [10.1080/21513732.2010.534976](https://doi.org/10.1080/21513732.2010.534976)

Akay, A.E., O. Erdas, Buyuksakalli, Sakar. 2015. Assessment of Winter Harvesting Operations in Mediterranean City of Kahramanmaraş, Turkey. In *Proceeding of the 48th FORMEC Symposium 2015*. October 4-8, 2015. Linz, Austria, pp. 1-4

Angrianto, R., Y. Ruslim. 2012. Pembukaan Wilayah Hutan dan Kerusakan Tegakan Akibat Produksi Jenis Merbau (*Intsia SPP.*) di IUPHHK PT Megapura Mambramo Bangun Papua Barat. *Agrifor* October 96-109. Doi: [10.31293/af.v11i2.108](https://doi.org/10.31293/af.v11i2.108)

Behjou, F.K. 2018. Shape of Skidder Productivity Function for Ground Based Skidding System in Caspian Forests. *Forestry Research and Engineering: International Journal* 2(1) 19-22 Doi: [10.15406/fej.2018.02.00020](https://doi.org/10.15406/fej.2018.02.00020)

Cardenas, E., H. Luis, Orellana, T. Konstantinos, Konstantinidis, W.M. Mohn. 2018. Effects of Timber Harvesting on the Genetic Potential for Carbon and Nitrogen Cycling in Five North American Forest Ecozones. *Scientific Reports* 8(1) 1-13. Doi:10.1038/s41598-018-21197-0.

Castro, G.P., J.R. Malinovski, L. Nutto, R.A. Malinovski. 2016. Harvesting systems. *Tropical Forestry Handbook*, Springer, Berlin, Heidelberg, 2445-2485.

Cho, M.J., H.S. Mun, Y. Choi, D.S. Cha, S.K. Han, J.H. Oh. 2019. Comparison of Productivity and Cost Between Two Integrated Harvesting Systems in South Korea. *Forests*. 10,1-13 Doi :[10.3390/f10090763](https://doi.org/10.3390/f10090763)

Ciubotaru, A., R.V. Campu. 2018. Delimiting and Cross-cutting of Coniferous Trees-Time Consumption, Work Productivity and Performance. *Forests* 9, 1-16 Doi:10.3390/f9040206.

Colleta, V.,G. Pellicone, V. bernardini, B. De Cinti, R. Froio, P.A. Marziliano, G. Matteucci, N. Ricca, R. Turco, A. Veltri. 2017. Short-time Effect of Harvesting Methods on Soil Respiration Dynamics in a Beech Forest in Southern Mediterranean Italy. *IForest* 10, 645-651. Doi : <https://doi.org/10.3832/ifor2032-010>

Elias, G. Applegate, K. Kartawinata, Machfudh, A. Klassen. 2001. Pedoman reduced impact logging. Center for International Forestry Research, 129.

Elias. 2002. *Reduced Impact Logging*. Edn. 1. IPB Press, 151.

Elias. 2012. *Pembukaan Wilayah Hutan*. Edn. 1. IPB Press, 310.

Elias. 2015. Pengertian dan perkembangan IPTEKS pemanenan kayu. Bogor: PT Media Anugrah Perkasa, 85.

Elias. 2016. Penerapan Reduced Impact Logging dalam rangka reformasi eksploitasi hutan dan korupsi dalam pengelolaan hutan alam tropika Indonesia (Orasi Ilmiah). Bogor: Institut Pertanian Bogor.

Gilanipoor, N., A. Najafi, S.M.H. Alvaezin. 2012. Productivity and cost of farm tractor skidding. *Journal of Forest Science* 1, 21-26.

Grebner, D. 2013. Forest harvesting systems. In: *Introduction to forestry and natural resources*, Academic Press. pp 287-302.

Klaes, B., J. Struck, R. Schneider, G. Schueler. 2016. Middle-term Effects After Timber Harvesting with Heavy Machinery on a Fine-Textured Forest Soil. *European Journal of Forest Research* 135, 1083-1095. Doi: [10.1007/s10342-016-0995-2](https://doi.org/10.1007/s10342-016-0995-2)

Latifah, S., R. Herawatiningsih. 2018. Tingkat Kesuburan Tanah pada Areal Eks Penebangan Hutan di Areal HPH PT. KSK Nanga Pinoh Kab. Melawi. *Jurnal Tengawang* 8(1) 50-58. Doi: <http://dx.doi.org/10.26418/it.v8i1.30202>

Liang, J., T.W. Crowther, N. Picard, S. Wiser, M. Zhou, G. Alberti, E-D. Schulze, A.D. McGuire, F. Bozzato, H. Pretzsch. 2016. Positive Biodiversity-Productivity Relationship Predominant in Global Forests. *Science* 354,1-15. Doi: [10.6084/M9.FIGSHARE.4286552](https://doi.org/10.6084/M9.FIGSHARE.4286552)

Lin, H.Y.,S.D. Jupiter, A.P. Jenkins, C.J. Brown .2017. Impact of Anthropogenic Disturbances on a Diverse Riverine Fish Assemblage in Fiji Predicted by Functional Traits. *Freshwater Biologi* 62, 1422-1432

Lopes, E.S. M.B. Pagnussat. 2017. Effect of the Behavioural Profile on Operator Performance in Timber Harvesting. *International Journal of Forest Engineering* 62, 1-6. Doi : [10.1080/14942119.2017.1328847](https://doi.org/10.1080/14942119.2017.1328847)

Mills, D.J., M.G. Andreu, S.A. Bohlman, F.E. Putz. 2019. Liberation of Future Crop Trees from Lianas in Belize: Completeness, Costs,

- and Timber-Yield Benefits. *For. Ecol. Manage.* 439, 97–104. Doi: 10.1016/j.foreco.2019.02.023
- Nikooy, M., A. Esmailnezhad, R. Naghdi. 2013. Productivity and Cost Analysis of Skidding with Timberjack 450C in Forest Plantations in Shafaroud Watershed, Iran. *Journal of Forest Science* 59 (7) 261-266. Doi: [10.17221/19/2013-JFS](https://doi.org/10.17221/19/2013-JFS)
- Okon, K. 2018. Sustainability of Wood Harvesting in Tropical Rainforest of Nigeria. *Eurasian Journal of Forest Science* 6(2) 44-55. DOI: 10.31195/ejejfs.427416
- Olajuyigbe, S.O., S.F. Filani, A.O. Adegeye. 2020. Impact of Selective Timber Harvesting on Residual Tree Species in a Humid Lowland Rain Forest of Southwest Nigeria. *Journal of Forestry and Nature Conservation*. 89 (2) 29-40
- Ozturk, T. 2014. Productivity and Cost of Rubber-Wheel-Tyred Tractor in a Northern Pine Plantation Forest of Turkey. *Baltic Forestry* 20(2) 272-276
- Pearson, T.R.H., S. Brown, L. Murray, G. Sidman. 2017. Greenhouse Gas Emissions From Tropical Forest Degradation: An Underestimated Source. *Carbon Balance and Management* 12(3) 1-11. Doi: [10.1186/s13021-017-0072-2](https://doi.org/10.1186/s13021-017-0072-2)
- Poudyal, B.H., T.N. Maraseni, G. Cockfield. 2019. Implications of Selective Harvesting of Natural Forests for Forest Product Recovery and Forest Carbon Emissions: Cases from Tarai Nepal and Queensland Australia.. *Forests*. 10,1-19. Doi:10.3390/f10080693
- Proto, A. R., G. Macrì, R. Visser, H. Harrill, D. Russo, G. Zimbalatti. 2018. Factors Affecting Forwarder Productivity. *European Journal Forest Research* 137, 143-151. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10342-017-1088-6>
- Purwowododo. 1999. Pokok-Pokok Bahasan Konservasi Tanah di Kawasan Hutan. IPB Press. Bogor.
- Rozītis, A., A. Zimelis, A. Lazdins. 2017. Evaluation of productivity and impact on soil of tracked ProSilva F2/2 forwarder in forest thinning. *Research for Rural Development* 1, 94-100. Doi: [10.22616/rrd.23.2017.014](https://doi.org/10.22616/rrd.23.2017.014)
- Sitohang, W.R.M., Muhti. Y. Afifuddin. 2016. Analisis Biaya dan Produktivitas Produksi Kayu pada Hutan Tanaman Industri (Studi kasus : PT Sumatera Riang Lestari-Blok I Sei Kebaro, Kabupaten Labuhanbatu Selatan dan Kabupaten Padang Lawas Utara). *Peronema Forestry Science Journal* 5 (2) 192-203.
- Soenarno, Endom, W., Z. Basari, Dulsalam, S. Suhartana, Yuniawati. 2016. Faktor Eksploitasi Hutan di Sub Region Kalimantan Timur. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* 34(4) 335-348. Doi: <http://doi.org/10.20886/jphh.2016.34.4.335-348>
- Sohrabi, H., M. Jourgholami, M. Jafari, F. Tavankar, R. Venanzi, R. Picchio. 2021. Earthworms as an Ecological Indicator of Soil Recovery after Mechanized Logging Operations in Mixed Beech Forests. *Forests* 12, 1-18. Doi: <https://dx.doi.org/10.3390/f12010018>
- Strandgard, M., R. Mitchell, M. Acuna .2017. Time Consumption and Productivity of a Forwarder Operating on a Slope in a Cut-To-Length Harvest System in a *Pinus radiata* D. Don pine plantation. *Journal of Forest Science* 63 (7) 324-330. Doi: 10.17221/10/2017-JFS
- Sularso, N. 1996. Analisis Kerusakan Tegakan Tinggal Akibat Pemanenan Kayu Terkendali dan Konvensional Pada Sistem Silviculture Tebang Pilih Tanam Indonesia (TPTI) [tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Vacek, Z., S. Vacek, L. Bilek, J. Král, I. Ulbrichová, J. Simon, D. Bulušek. 2018. Impact of Applied Silvicultural Systems on Spatial Pattern of Hornbeam oak Forests. *Central European Forestry Journal* 64, 33–45. Doi: [10.1515/forj-2017-0031](https://doi.org/10.1515/forj-2017-0031)
- Zafira, N., N. Nurin, M. Samsurijan, M. Zuknik, M. Rafatullah, M. Syakir. 2017. Sustainable Ecosystem Services Framework for Tropical Catchment Management. *Sustainability* 9 (4) 546
- Zimmerman, B.L., C.F. Kormos. 2012. Prospects for Sustainable Logging In Tropical Forests. *BioScience* 62(5) 479-487.