

**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)**

Residual Stand Damage Caused by Conventional and Reduced Impact Logging in the Tropical Natural Forest (A Case Study in Forest Concession Areas of PT. Inhutani II, East Kalimantan)

Muhdi^{1*}, Elias^{**}, Daniel Murdiyarso^{***}, Juang R Matangaran^{**}

*Staf Pengajar Departemen Ilmu Kehutanan USU Medan; **Staf Pengajar Departemen Manajemen Hutan IPB Bogor; ***Staf Pengajar Departemen Meteorologi Terapan IPB Bogor

¹CP: Jln. Nazir Alwi No. 4 Kampus USU Medan – 20154

Telp/HP. 0811657101; email: muhdisyehamad@yahoo.com

Diterima: 2 Juli 2012

Disetujui: 27 September 2012

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kerusakan tegakan tinggal akibat pemanenan kayu dengan teknik *reduced impact logging (RIL)* di hutan alam tropika. Penelitian dilakukan di areal PT Inhutani II, Kalimantan Timur. Petak penelitian ini masing-masing 3 (tiga) plot permanen dengan ukuran masing-masing 100 m x 100 m. Plot-plot permanen/pengukuran diletakkan secara sistematis pada kedua petak penelitian sedemikian rupa sehingga mewakili tempat-tempat sebagai berikut: lokasi tempat pengumpulan kayu (TPN), di lokasi jalan sarad utama dan di lokasi jalan sarad cabang. Hasil inventarisasi tegakan menunjukkan bahwa potensi tegakan rata-rata pada petak pemanenan kayu konvensional dan RIL masing-masing sebesar 353,51 N/ha dan 362,67 N/ha. Jumlah kerusakan tegakan tinggal rata-rata akibat pemanenan kayu pada petak pemanenan kayu konvensional dan RIL masing-masing sebesar 134,67 N/ha (38,10 %) dan 85,33 N/ha (23,52 %). Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan diterapkan teknik pemanenan kayu RIL dapat mengurangi kerusakan tegakan tinggal tingkat tiang dan pohon sebesar 9,86 N/ha atau 36,61 % dari yang dihasilkan pada petak pemanenan kayu konvensional. Dengan demikian pemanenan kayu konvensional menyebabkan kerusakan tegakan tinggal lebih besar dibandingkan dengan teknik RIL.

Kata kunci: pemanenan kayu, RIL, tegakan tinggal, kerusakan, hutan alam

Abstract

This research examined the effect of reduced impact logging (RIL) to residual stand damages in natural tropical forest. A research was done at natural tropical forest of PT Inhutani II, East Kalimantan. The effect of reduced impact logging to residual stand were studied using the data of three plots with each size 100 m x 100 m are placed based on purposive sampling at landing, main skiddtrail and branch skiddtrail, respectively. The results of the research showed that that the potency of commercial timber species in conventional logging and RIL were 353.51 N/ha and 362.7 N/ha. The number of residual stand damages caused by conventional logging and RIL were 134.67 N/ha (38.10 %) and 85.33 N/ha (23.52 %). Results of the research showed that reduced impact logging is reduced trees damages 9.86 N/ha (36.61 %) compared with conventional logging. These researches indicated that conventional logging in the tropical natural forest caused heavier damage on residual stand when compared with a reduced impact logging.

Keywords: logging, RIL, residual stand, damage, natural forest

PENDAHULUAN

Keberadaan dan kelestarian hutan alam tropika semakin dirasakan penting dan telah menjadi isu penting di tingkat internasional. Kegiatan penggunaan lahan, tata guna lahan dan kehutanan (*land use, land-use change and forestry/LULUCF*) merupakan salah satu sumber emisi karbon dan penyumbang peningkatan suhu bumi (Chertov *et. al.*, 2009; Taylor *et. al.*, 2008; Murdiyarto 2007; Kanninen *et. al.*, 2007, Brown, 2002).

Selama ini pengelolaan hutan alam terutama pemanenan kayunya masih tidak dilakukan secara profesional, sehingga keseluruhan sistem silvikultur yang diterapkan mengalami kegagalan. Hal ini dikarenakan dalam penerapan silvikultur, belum mengintegrasikan sistem pemanenan kayu dengan sistem silvikultur (Elias, 1999). Pemanenan kayu menyebabkan kerusakan yang tinggi pada tanah dan tegakan hutan yang mempengaruhi regenerasi hutan. Meminimalkan kerusakan akibat pemanenan kayu merupakan prasyarat untuk mencapai pengelolaan hutan lestari (*sustainable forest management/SFM*) karena mengurangi kerusakan tanah dan tegakan dapat menjamin regenerasi dan pertumbuhan tegakan komersial (Rendón-Carmona *et. al.*, 2009; Peña-Claros *et. al.*, 2008; McDonald *et. al.*, 2008; Jackson *et. al.*, 2002; Matangaran dan Kobayashi, 1999; Elias 1998; Sist *et. al.*, 1998).

Mengetahui bagaimana perkembangan tegakan hutan dalam merespon kerusakan akibat pemanenan kayu merupakan hal yang sangat penting dalam penerapan praktek pengelolaan hutan. Potensi tegakan tinggal setelah pemanenan kayu perlu dikaji untuk penyelamatan pohon-pohon muda dari jenis komersial agar tidak terjadi penurunan produksi pada siklus tebang berikutnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kerusakan tegakan tinggal akibat pemanenan kayu dengan teknik RIL dan konvensional.

LOKASI DAN METODE PENELITIAN

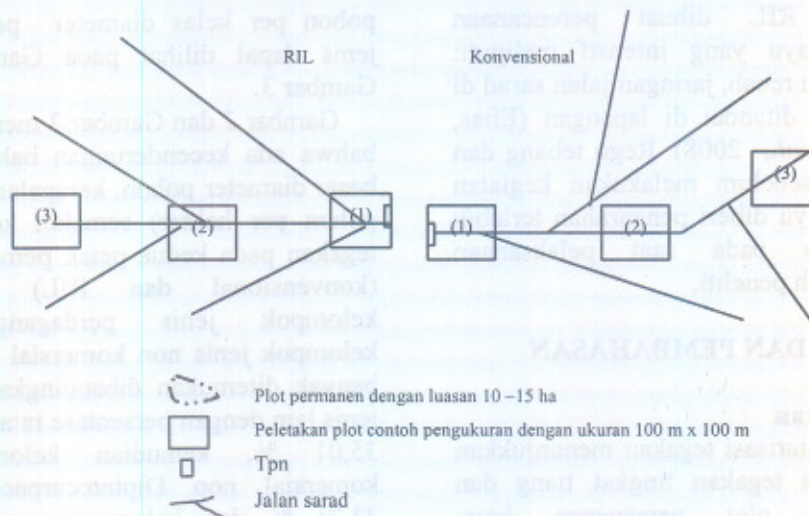
Penelitian lapangan dilaksanakan di areal IUPHHK PT. Inhutani II pada bulan Oktober sampai dengan Desember 2010.

Petak penelitian terdiri dari petak pemanenan kayu dengan teknik konvensional dan petak pemanenan kayu dengan teknik RIL di mana sedapat mungkin keadaan lapangan (topografi dan tanah) dan tegakan (kerapatan tegakan dan intensitas penebangan) relatif sama. Petak penelitian ini masing-masing seluas 10 – 15 ha yang di dalamnya dibuat 3 (tiga) plot permanen/pengukuran dengan ukuran masing-masing 100 m x 100 m (1 ha). Masing-masing plot permanen/pengukuran ini dibagi menjadi 25 sub petak dengan ukuran 20 x 20 m² (pohon) dan 10 x 10 m² (tiang).

Plot-plot permanen/pengukuran diletakkan secara sistematis pada kedua petak penelitian sedemikian rupa sehingga mewakili tempat-tempat sebagai berikut: (1) Di lokasi tempat pengumpulan kayu (TPN) dengan intensitas penjarangan dan keterbukaan tanah tinggi, (2) Di lokasi jalan sarad utama dengan intensitas penjarangan dan keterbukaan tanah sedang dan (3) Di lokasi jalan sarad cabang intensitas penjarangan dan keterbukaan tanah rendah. Desain plot-plot permanen/pengukuran dapat dilihat pada Gambar 1.

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini ada 2 macam yaitu data sekunder dan data primer. Data sekunder diperoleh melalui wawancara dan mengutip dari buku atau laporan-laporan yang ada sebagai sumber data. Data sekunder yang dikumpulkan meliputi data rencana karya tahunan, letak dan luas areal yang diusahakan, data produksi kayu, keadaan lapangan, data iklim dan spesifikasi peralatan yang digunakan. Pengumpulan data primer dilakukan melalui kegiatan pengamatan dan inventarisasi langsung di hutan pada plot permanen/pengukuran yang telah dibuat. Data primer yang dikumpulkan meliputi: potensi tegakan sebelum dan sesudah pemanenan kayu (penebangan dan penjarangan kayu) serta jumlah dan tipe kerusakan tegakan tinggal tingkat tiang dan pohon akibat pemanenan kayu (penebangan dan penjarangan kayu).

Pada setiap petak pengamatan, data yang diambil untuk tegakan tingkat pohon dan tiang. Tingkat pohon adalah tumbuhan berkayu dengan batas diameter ≥ 20 cm, di



Gambar 1. Desain plot-plot permanen/pengukuran

mana perubahan yang diukur meliputi diameter, tinggi, nama jenis dan jumlah jenis. Tingkat tiang adalah tumbuhan berkayu dengan batas diameter 10 – 19 cm, di mana perubahan yang diukur meliputi diameer, tinggi, nama jenis dan jumlah jenis. Data kerusakan tegakan yang disebabkan oleh pemanenan kayu, dikumpulkan melalui pengamatan sesudah penebangan dan penyaradan kayu antara lain: nama jenis pohon, diameter dan tipe kerusakan.

Berdasarkan tipe kerusakan yang terjadi pada individu pohon maka tingkat kerusakan yang terjadi, yaitu: (1) Tipe kerusakan tajuk, bila < 30% tajuk rusak maka termasuk tingkat 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 banirt/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.

Berdasarkan populasi pohon dalam petak, kerusakan tegakan tinggal dikelompokkan sebagai berikut (Elias, 1998): (1) kerusakan berat, bila pohon berdiameter ≥ 10 cm yang rusak > 50%; (2) kerusakan sedang, bila pohon yang berdiameter ≥ 10 cm yang rusak sebesar 25 – 50 %; dan (3) kerusakan ringan, bila pohon berdiameter ≥ 10 cm yang rusak sebesar < 25 %.

Teknik Pelaksanaan Pemanenan Kayu Konvensional

Pelaksanaannya dilaksanakan langsung oleh regu tebang dan sarad sesuai dengan yang diterapkan oleh perusahaan selama ini. Pemanenan kayu ini meliputi operasi penebangan dan penyaradan kayu. Penebangan menggunakan alat chainsaw merk STHIL 070 dan alat sarad menggunakan traktor crawler Catterpillar D7G.

Teknik Pelaksanaan Pemanenan Kayu Reduced Impact Logging (RIL)

Regu tebang dan regu sarad merupakan regu yang sama dengan pemanenan kayu konvensional, demikian pula peralatan pemanenan kayu yang digunakan. Sebelum

pelaksanaan RIL dibuat perencanaan pemanenan kayu yang intensif meliputi: penentuan arah rebah, jaringan jalan sarad di atas peta dan ditandai di lapangan (Elias, 1998; Putz *et. al.*, 2008). Regu tebang dan regu sarad sebelum melakukan kegiatan pemanenan kayu diberi pengarahan terlebih dahulu, serta pada saat pelaksanaan disupervisi oleh peneliti.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Potensi Tegakan

Hasil inventarisasi tegakan menunjukkan bahwa potensi tegakan tingkat tiang dan pohon pada plot pemanenan kayu konvensional dan RIL masing-masing adalah 353,51 N/ha dengan volume 202,462 m³/ha dan 362,67 N/ha dengan volume 223,006 m³/ha. Berdasarkan kelompok jenis potensi tegakan rata-rata per hektar pada petak pemanenan kayu konvensional dan RIL kelompok jenis terbanyak yang ditemukan adalah kelompok jenis non komersial (NK) masing-masing sebesar 126,1 pohon (35,67 %) dengan volume 57,464 m³ (28,38 %) dan di petak pemanenan kayu RIL sebesar 124,7 pohon (34,38 %) dengan volume 54,597 m³ (24,48 %). Untuk melihat sebaran potensi tegakan tingkat tiang dan

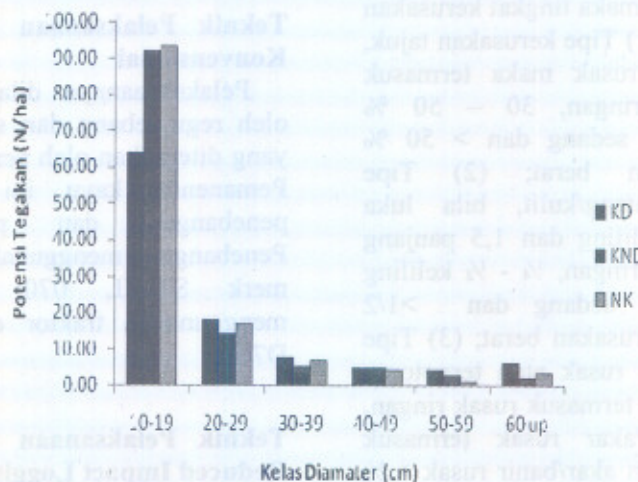
pohon per kelas diameter per kelompok jenis dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.

Gambar 2 dan Gambar 3 memperlihatkan bahwa ada kecenderungan bahwa semakin besar diameter pohon, kerapatannya (jumlah pohon per hektar) semakin kecil. Potensi tegakan pada kedua petak pemanenan kayu (konvensional dan RIL) berdasarkan kelompok jenis perdagangan, maka kelompok jenis non komersial (NK) paling banyak ditemukan dibandingkan kelompok jenis lain dengan persentase rata-rata sebesar 35,01 %, kemudian kelompok jenis komersial non Dipterocarpaceae (KND) 33,71 % dan kelompok jenis komersial Dipterocarpaceae (KD) 31,28 %.

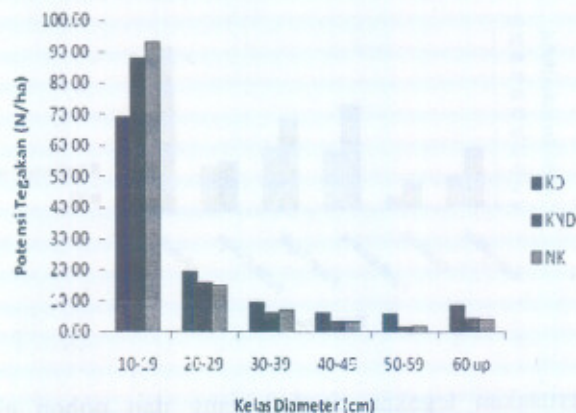
Produksi Kayu

Pohon yang dipanen pada areal PT Inhutani II adalah semua pohon komersial yang berdiameter (dbh) 60 cm ke atas. Jumlah dan volume kayu yang dipanen pada petak pemanenan kayu konvensional dan RIL dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. memperlihatkan bahwa rata-rata jumlah pohon yang dipanen per hektar pada petak pemanenan kayu konvensional adalah 5 (lima) pohon dengan volume 40,825 m³/ha, yang terdiri dari kelompok jenis



Gambar 2. Histogram potensi tegakan tingkat tiang dan pohon berdasarkan jumlah pohon per hektar per kelompok jenis pada petak pemanenan kayu konvensional.



Gambar 3. Histogram potensi tegakan tingkat tiang dan pohon berdasarkan jumlah pohon per hektar per kelompok jenis pada petak pemanenan kayu RIL.

Tabel 1. Jumlah dan volume kayu yang dipanen per kelompok jenis pada petak pemanenan kayu konvensional dan RIL.

No. Plot	Teknik Konvensional						Teknik RIL					
	KD		KND		Jumlah		KD		KND		Jumlah	
	N	V	N	V	N	V	N	V	N	V	N	V
I.	6	50,987	0	0	6	50,987	6	55,568	0	0	6	55,568
II.	4	32,755	0	0	4	32,755	4	37,142	1	5,827	5	42,969
III.	4	33,837	1	4,896	5	38,733	3	24,675	1	7,128	4	31,804
Jumlah	14	117,579	1	4,896	15	122,475	13	117,385	2	12,955	15	130,341
Rataan	4,7	39,193	0,3	1,632	5	40,825	4,3	39,128	0,7	4,318	5	43,447

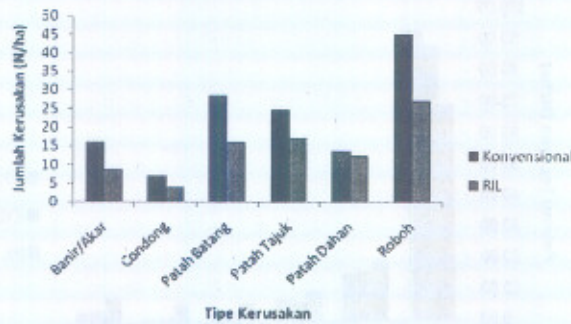
komersial Dipterocarpaceae (KD) dengan rata-rata per hektar 4,7 pohon (39,193 m³/ha) dan kelompok jenis non Dipterocarpaceae (KND) sebanyak 0,3 pohon dengan volume 1,632 m³/ha. Pada petak pemanenan kayu RIL rata-rata jumlah pohon yang dipanen per hektar adalah 5 (lima) pohon dengan volume 43,447 m³/ha, yang terdiri dari kelompok jenis komersial Dipterocarpaceae (KD) dengan rata-rata per hektar 4,3 pohon (39,128 m³/ha) dan kelompok jenis non Dipterocarpaceae (KD) sebanyak 0,7 pohon dengan volume 4,318 m³/ha.

Kerusakan Tegakan Tinggal

Tipe-tipe Kerusakan Tegakan Tinggal

Besarnya kerusakan tegakan tinggal tingkat tiang dan pohon akibat pemanenan kayu berdasarkan tipe kerusakan dapat dilihat pada Gambar 4.

Gambar 4 menunjukkan bahwa urutan besarnya kerusakan pohon per hektar berdasarkan tipe kerusakan akibat pemanenan kayu pada petak pemanenan kayu konvensional yaitu roboh (33,42 %), patah batang (21,03 %), patah dahan (18,32 %), pecah banir/terkelupas kulit (11,88 %), patah tajuk (10,15 %) dan condong (5,19 %). Adapun urutan besarnya kerusakan pohon per hektar berdasarkan tipe kerusakan akibat pemanenan kayu pada petak RIL yaitu roboh (31,25 %), patah tajuk (19,92



Gambar 4. Jumlah kerusakan tegakan tingkat tiang dan pohon akibat pemanenan kayu berdasarkan tipe kerusakan.

%), patah batang (18,75 %), patah dahan (14,84 %), pecah banir/terkelupas kulit (10,16 %) dan condong (4,68 %).

Tingkat Kerusakan Tegakan Tinggal

Berdasarkan besarnya luka pada individu pohon, tingkat kerusakan berat didominasi oleh tipe kerusakan roboh, patah batang dan patah tajuk. Pada Gambar 5 terlihat bahwa besarnya tingkat kerusakan pada pemanenan kayu teknik konvensional dan RIL didominasi oleh tingkat kerusakan berat masing-masing sebesar 65,10 % dan 55,47 %, kemudian tingkat kerusakan sedang sebesar 19,31 % dan 25,00 % dan tingkat kerusakan ringan sebesar 15,59 % dan 19,53 %.

Berdasarkan jumlah pohon rusak dalam populasi pohon akibat pemanenan kayu konvensional dan RIL dapat dilihat pada Tabel 2. Tabel memperlihatkan bahwa persentase kerusakan tegakan tinggal rata-rata per hektar akibat pemanenan kayu konvensional sebesar 134,67 pohon (38,10 %), terdiri dari kerusakan yang diakibatkan penebangan 34,7 pohon (9,82 %) dan penyaradan 100,0 pohon (28,29 %). Berdasarkan tingkat keparahannya, maka kerusakan yang terjadi pada petak pemanenan kayu konvensional termasuk tingkat kerusakan sedang (25 – 50 %).

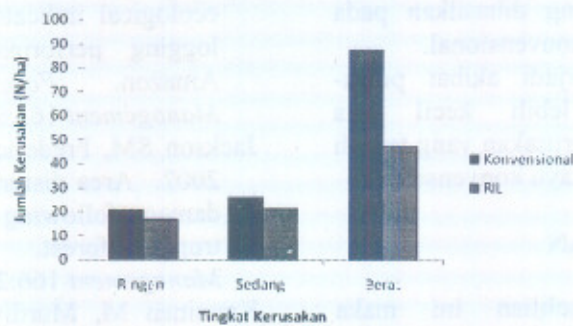
Persentase kerusakan tegakan tinggal rata-rata per hektar akibat pemanenan kayu RIL sebesar 85,33 pohon (23,52 %), terdiri dari kerusakan yang diakibatkan penebangan 26,0 pohon (7,17%) dan penyaradan 59,3 pohon (16,35%). Berdasarkan tingkat keparahannya, maka kerusakan yang terjadi

pada petak pemanenan kayu RIL termasuk tingkat kerusakan ringan (<25 %).

Jumlah rata-rata kerusakan tegakan tingkat tiang dan pohon per hektar akibat pemanenan kayu konvensional sebesar 134,67 batang atau rata-rata 1 (satu) pohon yang dipanen menimbulkan kerusakan tegakan tingkat tiang dan pohon sebesar 26,93 batang. Rata-rata kerusakan akibat pemanenan kayu RIL sebesar 85,33 batang atau rata-rata 1 (satu) pohon yang dipanen menimbulkan kerusakan tegakan tingkat tiang dan pohon sebesar 17,07 batang.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa dengan diterapkan teknik pemanenan kayu RIL dapat mengurangi/menekan kerusakan tegakan tinggal tingkat tiang dan pohon sebesar 9,86 N/ha atau 36,61 % dari yang dihasilkan pada petak pemanenan kayu konvensional. Dengan demikian pemanenan kayu dengan teknik RIL dapat menekan kerusakan tegakan tinggal tingkat tiang dan pohon.

Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa pemanenan kayu konvensional telah menyebabkan kerusakan pada tegakan tinggal dan tanah hutan. Pada areal hutan produksi di Kalimantan, pemanenan kayu konvensional umumnya menyebabkan kerusakan lebih dari 50 % pada areal yang ditebang bila intensitas penebangan lebih dari 10 N/ha (Sist, *et al*, 2003). Pada hutan alam tropika, kerusakan tegakan tinggal rata-rata mencapai 53% dan pemadatan tanah sebesar 1,5 g/cm³ (*bulk density*) mencakup 15-40% areal bekas tebangan Shukri dan Kamaruzzaman (2003) diacu



Gambar 5. Histogram tingkat kerusakan berdasarkan besarnya luka pada tingkat tiang dan pohon akibat pemanenan kayu.

Tabel 2. Rata-rata tingkat kerusakan tegakan tingkat tiang dan pohon akibat pemanenan kayu konvensional dan RIL berdasarkan populasi dalam petak.

Tek. PK	Kerapatan Tegakan (N/ha)		Intensitas Pemanenan (N/ha)		Jumlah Tegakan Tinggal (N/ha)		Jumlah Pohon Rusak Akibat				Total Kerusakan	
							Penebangan		Penyaradan			
	N	V	N	V	N	V	N	V	N	V	N	V
Konvensional	353,5	202,5	5	40,825	348,5	161,7	34,7	25,928	100,0	60,0	134,67	85,955
RIL	362,7	223,0	5	43,447	357,7	179,7	26,0	17,370	59,3	38,1	85,33	55,523
Rataan	358,1	212,8	5	42,136	353,1	170,7	30,34	21,650	79,67	49,09	110,00	70,739

Keterangan : N = Jumlah pohon (N/ha); V = Volume pohon (m³/ha)

Elias dan Vuthy (2006). Hal ini menunjukkan sistem mekanis dengan menggunakan traktor pada pemanenan kayu konvensional menghasilkan kerusakan tegakan tinggal dan tanah yang tinggi.

Pelaksanaan teknik *reduced impact logging* diantaranya adalah perencanaan tempat pengumpulan kayu (TPn), perencanaan jaringan jalan, perencanaan jalan sarad, penentuan arah rebah dan pemotongan liana. Tujuan dari praktek RIL diantaranya mengurangi ukuran dan jumlah TPn, mengurangi kerusakan tanah dan tegakan, mengurangi kerusakan pohon dan meningkatkan riap, serta mengurangi keterbukaan tanah (Putz *et al.*, 2008; Ampoorter, *et al.*, 2007; Elias dan Vuthy, 2006; Holmes *et al.*, 2002; Elias *et al.*, 2001). Peña-Claros *et al.* (2008) menyatakan bahwa tingkat pertumbuhan tegakan jenis komersial 50-60% lebih tinggi pada areal

pemanenan kayu RIL dibandingkan dengan di areal konvensional. Putz *et al* (2008) menyatakan bahwa pengelolaan hutan melalui teknik RIL (termasuk arah rebah, penyaradan kayu dan pemotongan liana) mampu mengurangi kerusakan lingkungan hutan sampai dengan 50%, dan memangkas emisi sampai 30%.

KESIMPULAN

Kerusakan tinggal rata-rata tingkat tiang dan pohon akibat teknik pemanenan kayu konvensional sebesar 134,67 N/ha (38,10 %) dan kerusakan tegakan tinggal akibat teknik pemanenan kayu RIL sebesar 85,33 N/ha (23,52 %).

Teknik pemanenan kayu RIL dapat mengurangi kerusakan tegakan tinggal tingkat tiang dan pohon sebesar 9,86 N/ha

atau 36,61 % dari yang dihasilkan pada petak pemanenan kayu konvensional.

Kerusakan yang terjadi akibat pemanenan kayu RIL lebih kecil bila dibandingkan dengan kerusakan yang terjadi pada petak pemanenan kayu konvensional.

SARAN

Melihat hasil penelitian ini maka penerapan pemanenan kayu RIL sudah seharusnya dilaksanakan oleh para pengusaha IUPHHK untuk mengurangi kerusakan hutan yang lebih parah.

DAFTAR PUSTAKA

- Ampoorter A, Goris R, Cornelis WM, Verheyen K. 2007. Impact of mechanized logging on compaction status of sandy forest soils. *Forest Ecology and Management* 241:162-174.
- Brown S. 2002. Measuring carbon in forest: current status and future challenges. *Environmental Pollution* 116:363-372.
- Chertov O, Bhatti JS, Komarov A, Mikhailov A, Bhyhovets S. 2009. Influence of climate change, fire and harvest on the carbon dynamics of black spruce in Central Canada. *Forest Ecology and Management* 257:941-950.
- Elias. 1998. *Reduced Impact Wood Harvesting in Tropical Natural Forest in Indonesia: Forest-Case Study 11*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nation.
- Elias. 1999. *Reduced impact logging in the Indonesian selective cutting and planting system*. Bogor: IPB Press.
- Elias, Applegate G, Kartawinata K, Machfuds dan Klassen A. 2001. *Pedoman Reduced Impact Logging Indonesia*. Bogor: CIFOR.
- Elias dan Vuthy L. 2006. *Taking Stock: Assessing progress in developing and implementing codes of practice for forest harvesting in ASEAN member countries*. FAO & ASEAN. Jakarta: RAP Publication.
- Holmes TP, Geoffrey MB, Johan CZ, Rodrigo PJ, Paulo B, Frederick B, Roberto B. 2002. Financial and ecological indicators of reduced impact logging performance in the eastern Amazon. *Forest Ecology and Management* 163:93-110.
- Jackson SM, Fredericksen TS, Malcom JL. 2002. Area disturbed and residual stand damage following logging in a Bolivian tropical forest. *Forest Ecology and Management* 166:271-283.
- Kanninen M, Murdiyarso D, Seymour F, Angelsen A, Wunder S, German L. 2007. Do trees grow on money: the implication of deforestation research for policies to promote REDD. Bogor: Center for International Forest Research (CIFOR).
- Matangaran JR, Kobayashi H. 1999. The effect of tractor logging on forest soil compaction and growth of *Shorea selanica* seedlings in Indonesia. *Journal of Forest Research* 4 (1):13-15.
- McDonald RI, Motzkin G, Foster DR. 2008. The effect of logging on vegetation composition in western Massachusetts. *Forest Ecology and Management* 255:4021-4031.
- Murdiyarso D. 2007. *Protokol Kyoto, Implikasinya bagi Negara Berkembang*. Jakarta: Buku Kompas.
- Peña-Claros M, Fredericksen TS, Alarcon A, Blate GM, Choque U, Leano C, Licona JC, Mostacedo B, Pariona W, Villegas Z, Putz FE. 2008. Beyond reduced impact logging: silvicultural treatments to increase growth rates of tropical trees. *Forest Ecology and Management* 256:1458-1467.
- Putz FE, Zuidema PA, Pinard MA, Boot RGA, Sayer JA, Rene G. A. Boot, Plinio Sist, Elias, Jerome K. Vanclay. 2008b. Improved Tropical Forest Management for Carbon Retention. *PLoS Biol* 6(7):e166
doi:10.1371/journal.pbio.0060166.
- Rendón-Carmona, Martínez-Yrizar A, Balvanera P, Pérez-Saliciup D. 2009. Selective cutting of woody species in an Mexican tropical dry forest: incompatibility between use and conservation. *Forest Ecology and Management* 257:567-579.
- Sist P, Sheil D, Kartawinata K, Priyadi H. 2003. *Reduced impact logging in*

Indonesian Borneo: some results confirming the need for new silvicultural prescription. *Forest Ecology and Management* 179:415-427.

Taylor AR, Wang JR, Kurz WA. 2008. Effect of forest harvesting intensity on

carbon stocks in eastern Canadian red spruce (*Picea rubens*) forests: an exploratory analysis using the CBM-CFS3 simulation model. *Forest Ecology and Management* 255:3632-3641.