

MODEL PERTUMBUHAN TEGAKAN HUTAN ALAM BEKAS TEBANGAN DENGAN SISTEM TEBANG PILIH DI PAPUA

Growth Model of Remnant Stands in Selectively Logged Forest, Papua

Relawan Kuswandi

Balai Penelitian dan Pengembangan Lingkungan Hidup dan Kehutanan Manokwari

e-mail: r_kuswandi@yahoo.co.id

Tanggal diterima: 5 September 2016, Tanggal direvisi: 15 November 2016, Disetujui terbit: 16 Juni 2017

ABSTRACT

Sustainable forest management recently calls for growth information concerning integrated functions of ingrowth, upgrowth and mortality. This study was conducted in logging concessions of PT. Tunas Timber Lestari (TTL), PT. Wapoga Mutiara Timber (WMT) dan PT. Manokwari Mandiri Lestari (MML) in Papua. Then, this research was intended to build growth stands models in logged over forest. The data were obtained from permanent sample plots (PSPs) in three logging concession in Papua forest. Results revealed that characteristics of stand namely basal area, stem density and diameter had significant coefficients to model of ingrowth, upgrowth and mortality in each logging concession. Specifically, PT WMT showed the highest value of coefficient of determination ($>80\%$, $P<0.05$). For PT MML only had significant model namely ingrowth and upgrowth model while PT TTL only showed ingrowth model as significant equation.

Keywords: *whole stand model, linear model, logged over forest, Papua*

ABSTRAK

Pengelolaan hutan berkelanjutan sangat membutuhkan informasi pertumbuhan yang mengintegrasikan fungsi-fungsi *ingrowth*, *upgrowth*, dan *mortality*. Penelitian dilakukan pada areal Ijin Usaha Pemanfaatan Hasil hutan Kayu (IUPHHK) PT. Tunas Timber Lestari (TTL), PT. Wapoga Mutiara Timber (WMT) dan PT. Manokwari Mandiri Lestari (MML) di Papua. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan model pertumbuhan tegakan untuk hutan alam bekas tebangan berdasarkan data petak ukur permanen di Papua. Model Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik tegakan (luas bidang dasar, jumlah pohon dan ukuran/diameter pohon) berpengaruh berbeda terhadap model *ingrowth*, *upgrowth*, dan *mortality* tegakan pada masing-masing lokasi. Pada PT WMT karakteristik tegakan berpengaruh nyata terhadap model *ingrowth*, *upgrowth*, dan *mortality* yang ditunjukkan dengan nilai koefisien determinasi yang tinggi $> 80\%$ dan $P_{val}<0,05$, walaupun pengaruh karakteristik tegakan tidak secara bersamaan berlaku pada setiap model. Pada PT MML yang berpengaruh nyata hanya model *ingrowth* dan *upgrowth*, sedangkan pada PT TTL hanya model *ingrowth*.

Kata kunci: *Model seluruh tegakan, model linier, hutan bekas tebangan, Papua*

I. PENDAHULUAN

Hutan hujan tropis memiliki karakteristik keragaman sangat tinggi, maka dituntut untuk menerapkan pengelolaan hutan yang tepat dalam melakukan produksi kayu (Putz & Romero, 2014). Kegiatan perusahaan hutan selama ini ternyata telah menyebabkan terjadinya penurunan baik kuantitas dan kualitas hutan primer (Margono, Potapov, Turubanova, Stolle, & Hansen, 2014; Kuswandi & Murdjoko, 2015) yang secara langsung bisa berdampak pada kelestarian keanekaragaman dan produksi hutan. Penerapan sistem silvikultur yang tepat, seperti penentuan diameter tebang minimum

(Kuswandi et al., 2015), penerapan jatah tebang tahunan (AAC) secara benar (Vanclay, 1996), siklus dan intensitas tebang (Dauber, Fredericksen, & Peña-Claros, 2005; Brien & Zuidema, 2006; Rozendaal, Soliz-Gamboa & Zuidema, 2010; Buijks & Haasnoot, 2012; Venturoli, Franco, & Fagg, 2015) diharapkan dapat mengurangi seminimal mungkin dampak kerusakan pada hutan bekas tebangan.

Pengelolaan hutan berkelanjutan sangat membutuhkan informasi pertumbuhan dan hasil (Krisnawati, Suhendang, & Parthama, 2008; Pukkala, Lähde, & Laiho, 2009; Liang, 2010; Lothka & Loewenstein, 2011). Namun ketersediaan informasi tersebut masih sangat

terbatas dan sangat sedikit mengingat sangat bervariasinya kondisi hutan tropis di Indonesia. Beberapa penelitian telah dilakukan di Kalimantan (Krisnawati & Wahjono, 2004; Wahjono & Imanuddin, 2007; Krisnawati et al., 2008; Muhdin et al., 2011), dan di Papua (Marwa, 2009; Kuswandi, 2010). Schöngart (2008) dan Leoni, da Fonseca, & Schöngart (2011) menyebutkan bahwa kesulitan terbesar untuk manajemen berkelanjutan dari hutan tropis adalah memperoleh data yang dapat dipercaya pada pertumbuhan pohon, yang merupakan prasyarat untuk menentukan volume panen dan siklus penebangan.

Sumber data untuk menganalisis pertumbuhan tegakan pada hutan bekas tebangan diperoleh dari pengukuran diameter yang dilakukan secara periodik dari petak ukur permanen (PUP). Selanjutnya data tersebut kemudian dikombinasikan dengan data perekrutan, kematian dan perubahan ukuran populasi untuk membuat model pertumbuhan dan hasil untuk jenis pohon atau kelompok jenis (mis. Arets, 2005; Dauber et al., 2005; Picard, Yalibanda, Namkossereña, & Baya, 2008; Buijks & Haasnoot, 2012).

Pertumbuhan tegakan hutan merupakan pertumbuhan yang dinamis karena selain peningkatan dimensi pohon, pertumbuhan juga dipengaruhi oleh berkembangnya pohon-pohon baru dan pergantian pohon-pohon penyusun tegakan. Pertumbuhan tegakan pada hutan bekas tebangan dapat dikaji di antaranya melalui pengamatan terhadap dinamika struktur tegakan. Beberapa komponen pertumbuhan tegakan yang dapat menggambarkan perilaku tegakan dalam proses pemulihan tegakan adalah *ingrowth* (alih tumbuh), *upgrowth* (tambah tumbuh), dan *mortality* (kematian). Pertumbuhan tegakan dipengaruhi oleh lingkungan klimatis dan edaphis (Sievanen, Burk, & Ek 1988), selain itu juga dipengaruhi oleh jenis pohon dan kelas diameternya (Sist, Picard, & Gourlet-Fleury, 2003; Vanclay, 2001; Wahyudi, 2012).

Ketersediaan informasi pertumbuhan tersebut dapat didukung melalui penyediaan perangkat pendugaan dengan menggunakan model-model matematis. Saat ini prediksi pertumbuhan didekati dengan membuat model-model pertumbuhan. Model pertumbuhan telah banyak digunakan dalam pengelolaan hutan untuk mengetahui potensi tegakan saat ini, memprediksi hasil pada waktu akan datang, dan untuk memberikan alternatif model pengelolaan dan pilihan sistem silvikultur yang digunakan, sehingga dapat dijadikan informasi dalam pengambilan keputusan (Pukalla et al., 2009; Muhdin et al., 2011).

Penelitian tentang model pertumbuhan baik model pertumbuhan per pohon, model kelas tegakan dan model seluruh tegakan (Turland, 2007; Hevia, Cao, Álvarez-González, Ruiz-González, & Von Gadow, 2015) telah banyak dilakukan dengan menggunakan model matriks (Krisnawati et al., 2008; Wang et al., 2008; Leoni et al., 2011; Pukkala et al., 2009; Putz, Groeneveld, Alves, Metzger, & Huth, 2011; Adame, Brandeis, & Uriarte, 2014; Navar, 2014; Nascimento, Machado, Figueiredo Filho, & Higuchi, 2014; Picard & Liang, 2014; Roitman & Vanclay, 2015; Venturoli et al., 2015; Orellana, Filho, Netto, & Vanclay, 2016). Namun penelitian model pertumbuhan dengan model linier belum banyak dilakukan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh model pertumbuhan dari tegakan tinggal hutan alam hutan bekas tebangan di Papua.

II. METODE PENELITIAN

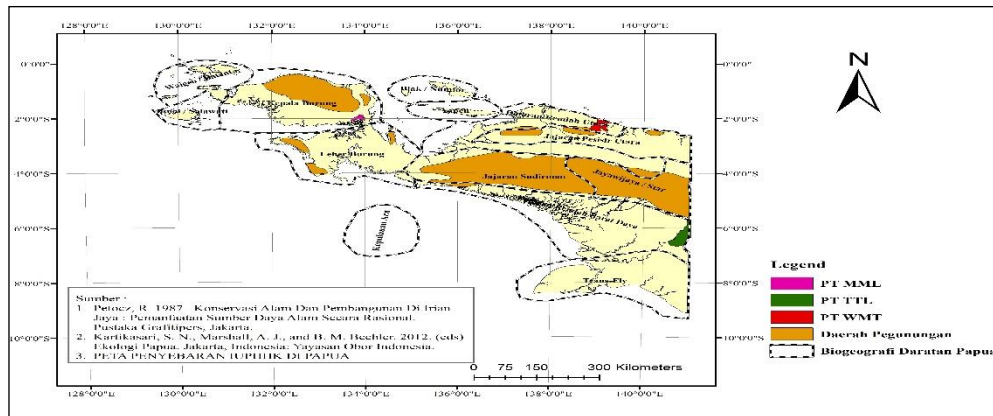
A. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada areal bekas tebangan di 3 (tiga) pemegang Ijin Usaha Pemanfaatan Hasil Hutan Kayu (IUPHHK) yaitu PT. Tunas Timber Lestari (PT. TTL) di Kabupaten Boven Digul, PT. Wapoga Mutiara Timber (WMT) di

Kabupaten Sarmi, Provinsi Papua, dan PT. Manokwari Mandiri Lestari (MML) di Kabupaten Teluk Bintuni, Provinsi Papua Barat.

Keadaan umum areal IUPHHK PT. MML yang terletak di Kabupaten Teluk Bintuni dengan keadaan topografi datar sampai bergunung dengan ketinggian dari

muka laut 0-250 m dengan kemiringan 0-40%. Jenis tanah yang dijumpai di areal ini adalah podsolik coklat kelabu, podsolik merah kuning dan aluvial. Iklim termasuk tipe A, dengan rata-rata curah hujan 2.589 mm/th dan jumlah hari hujan setiap bulan rata-rata 12 hari (Kuswandi, Sadono, Supriyatno, & Marsono, 2015).



Gambar 1. Peta lokasi penelitian berdasarkan karakteristik bioregion Papua

Keadaan umum areal IUPHHK PT. TTL yang terletak di Distrik Sesnukt Kabupaten Boven Digul dengan keadaan topografi relatif datar sampai bergelombang ringan dengan kemiringan 0-15 % dan ketinggian dari muka laut 30-300 m. Jenis tanah yang dijumpai pada adalah ultisol, podsolik coklat kelabu, podsolik merah kuning dan aluvial. Iklim termasuk tipe A, rata-rata curah hujan 4.196 mm/th. Jumlah hari hujan setiap bulan berkisar antara 13 – 23 hari (Kuswandi et al., 2015).

Keadaan umum areal IUPHHK PT. WMT yang terletak di Distrik Bonggo Kabupaten Sarmi dengan topografi pada areal tersebut datar sampai curam terletak pada ketinggian 0 – 500 m dpl dengan jenis tanah podsolik dan aluvial. Iklim pada areal ini termasuk tipe A, dengan rata-rata curah hujan 2.437 mm/th, jumlah hari hujan setiap bulan 16,7 hari (Kuswandi et al., 2015).

B. Prosedur Penelitian

1. Pengumpulan data

Data yang dikumpulkan berasal dari petak ukur permanen (PUP) yang dibuat pada tiga lokasi IUPHHK, di mana setiap PUP seluas satu hektar. Pengumpulan data dilakukan pada satu series PUP (6 PUP) untuk setiap lokasi sebagai berikut pada IUPHHK PT. TTL dari tahun 2005 - 2014, PT. MML dari tahun 2008-2014 dan PT. WMT dari tahun 2007-2014. Total PUP untuk penelitian ini adalah 18 PUP dari ketiga lokasi tersebut dan diasumsikan mewakili tegakan-tegakan tinggal pada hutan bekas tebangan di Papua. Menurut Alder & Synnott (1992) petak ukur permanen dengan luas 1 ha yang diamati secara periodik selama kurang lebih 5 tahun atau lebih dianggap cukup representatif untuk mendapatkan informasi dinamika pertumbuhan tegakan. Data pengukuran yang digunakan adalah pada petak PUP yang tidak dilakukan perlakuan silvikultur (pembebasan

baik vertikal maupun horizontal) yaitu sebanyak 3 petak ukur permanen.

Pengumpulan data dilakukan dengan mengukur semua jenis pohon berdiameter minimal 10 cm ke atas. Dari setiap pohon dikumpulkan data mengenai jenis pohon, diameter setinggi dada (dbh) pohon pada ketinggian 1,3 m dari atas permukaan tanah atau 20 cm diatas banir, pohon-pohon baru (*ingrowth*), dan mati pada periode berikutnya.

2. Analisis data

Analisis data yang dilakukan adalah penyusunan model matematik pendugaan pertumbuhan tegakan yang meliputi *ingrowth* (alih tumbuh), *mortality* (kematian) dan *upgrowth* (alih tumbuh). Model pertumbuhan dibangun berdasarkan hubungan antar masing-masing variabel dengan luas bidang dasar tegakan, jumlah pohon dan ukuran (diameter)

pohon. Persamaan penduga variabel pertumbuhan tegakan yang digunakan adalah:

$$a. Y = f[D, B, N]$$

$$b. Y = f[B, N]$$

$$c. Y = f[B]$$

dimana: Y = laju *ingrowth*, *upgrowth*, dan *mortality*, D = nilai tengah diameter, B = luas bidang dasar tegakan, N = jumlah pohon per ha.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Model *Ingrowth*

Berdasarkan data series hasil pengamatan pada PUP, *ingrowth* untuk tegakan pada masing-masing lokasi yang dihasilkan, setelah dianalisis diperoleh model seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Model *ingrowth* tegakan pada hutan bekas tebangan di Papua

Lokasi	Persamaan	R ² (%)	P _{value}
PT. TTL	Log I = 45.479 – 4.177 log N – 25.153 log D	72.1	0.022*
PT. MML	Log I = 44.328 + 117.537 log B – 162.838 log D	89.3	0.035*
PT. WMT	I = 510.751 – 3054.161 B – 0.106 N	95.0	0.002*

Keterangan : *) signifikan pada taraf kepercayaan 95%

Berdasarkan Tabel 1. menunjukkan bahwa variabel peubah tak bebas yang berpengaruh terhadap *ingrowth* berbeda pada masing-masing lokasi. Hal ini berbeda dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Krisnawati et al. (2008) di Kalimantan Tengah yang menyebutkan *ingrowth* suatu jenis dipengaruhi secara positif oleh jumlah pohon pada jenis yang bersangkutan dan dipengaruhi secara negatif oleh bidang dasar tegakannya. Hasil berbeda juga menyebutkan bahwa *ingrowth* hanya dipengaruhi oleh bidang dasar (Lu & Buongiorno, 1993; Buongiorno, Peyron, Houller, & Bruciamacchie, 1995; Volin & Buongiorno, 1996; Favrichon, 1998; Favricon & Kim, 1998; Labetubun, Suhendand, & Darusman, 2005; Marwa, 2009).

Laju *ingrowth* dipengaruhi oleh luas bidang dasar, diameter dan kerapatan tegakan,

dimana laju *ingrowth* semakin menurun pada diameter dan kerapatan pohon yang semakin tinggi, tetapi tidak semuanya meningkat dengan semakin bertambahnya luas bidang dasar tegakan. Hal ini berarti bahwa tegakan yang lebih rapat cenderung memiliki jumlah *ingrowth* yang lebih kecil. Krisnawati et al. (2008) menyebutkan bahwa *ingrowth* suatu jenis dipengaruhi oleh kelimpahan atau banyaknya pohon dari jenis yang bersangkutan dan tingkat gangguan tegakan.

Laju *ingrowth* dipengaruhi oleh luas bidang dasar, diameter dan kerapatan tegakan. Namun demikian tidak semua variabel/komponen tersebut berpengaruh bersama-sama dalam proses *ingrowth* pada masing-masing lokasi (Tabel 1). Hal ini disebabkan oleh perbedaan intensitas tebangan dimana pada areal PT. MML dan PT. WMT hanya menebang satu jenis pohon.

Kesenjangan tersebut menyebabkan kurangnya gangguan terhadap tanah (pemadatan pada jalan sarad) dan iklim mikro yang berakibat pada proses regenerasi (Pena-Claros et al., 2008; Putz, Sist, Fredericksen, & Dykstra, 2008; Duah-Gyamfi, Swaine, Adam, Pinard, & Swaine, 2014). Pada proses regenerasi alami, pohon besar akan menghasilkan banyak biji, kemudian berkecambah pada lantai hutan sebagai penghasil bibit yang akan tumbuh dan bertahan hidup yang kemungkinan akan masuk kekelas berikutnya sebagai individu baru (Kuswandi et al., 2015). Pengaruh penebangan akan mengakibatkan pertumbuhan tegakan tinggal lebih cepat dan *ingrowth* (terutama jenis-jenis pionir dan tumbuhan yang tidak tahan naungan) meningkat akibat terbukanya ruang yang ditinggalkan oleh pohon yang ditebang. Individu pada pohon dengan diameter kecil sedang mengalami pertumbuhan dan persaingan antar tumbuhan bawah (Edwards & Mason, 2006; Duah-Gyamfi et al., 2014).

Nilai koefisien determinasi (R^2) model *ingrowth* pada ketiga lokasi menunjukkan hasil yang berbeda. Nilai koefisien determinasi tertinggi terdapat pada areal PT.WMT sebesar 95%, kemudian berturut-turut PT MML sebesar 89,3% dan PT. TTL sebesar 72,1%.

Selain itu luas bidang dasar, diameter dan kerapatan tegakan berpengaruh nyata (signifikant) terhadap *ingrowth*. Nilai koefisien determinasi lebih tinggi pada ketiga lokasi dibandingkan dengan penelitian yang telah dilakukan di Kalimantan Barat (Krisnawati et al., 2008); dan relatif sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Muhdin (2012) di Kalimantan. Perbedaan ini mungkin dikarenakan oleh keterbatasan model (ada faktor-faktor lain selain jumlah pohon dan bidang dasar tegakan yang perlu dipertimbangkan dalam model) atau kenyataan bahwa *ingrowth* dalam suatu tegakan merupakan suatu proses yang random (Buongiorno et al., 1995; Volin & Biongiorno, 1996). Bahkan, karena sulitnya menduga model *ingrowth* yang akurat, beberapa peneliti cenderung menggunakan nilai *ingrowth* yang konstan pada setiap periode waktu (Krisnawati et al., 2008).

B. Model upgrowth

Model *upgrowth* dianalisis berdasarkan data series hasil pengamatan pada PUP, untuk tegakan pada masing-masing lokasi. Hasil analisis diperoleh model *upgrowth* seperti pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Model *upgrowth* tegakan pada areal bekas tebangan di Papua.

Lokasi	Persamaan	R^2 (%)	P_{value}
PT. TTL	$U = -34.559 + 15.473 \log N$	16.2	0.283
PT. MML	$\log U = -0.334 + 0.828 \log B$	9.1	0.561
PT. WMT	$U = -57.239 + 2.537 D$	73.6	0.013*

Keterangan: *) signifikan pada taraf kepercayaan 95%

Variabel yang berpengaruh terhadap *upgrowth* berbeda pada masing-masing lokasi. Pada areal PT. TTL yang mempengaruhi laju *upgrowth* adalah kerapatan tegakan, pada PT. MML yang berpengaruh adalah luas bidang dasar, sedangkan pada PT. WMT adalah diameter tegakan. Dibandingkan dengan penelitian yang telah dilakukan di Kalimantan dan Maluku, terdapat perbedaan variabel yang berpengaruh terhadap model *upgrowth* pada

tiga lokasi IUPHHK di Papua. Variabel yang berpengaruh di Kalimantan dan Maluku adalah diameter dan luas bidang dasar (Krisnawati et al., 2008; Laetubunet al., 2005; Muhdin et al., 2011). Pola hubungan pendugaan *upgrowth* menunjukkan ketidakkonsistenan, hal ini mungkin disebabkan oleh data yang ada dan model regresi yang digunakan belum cukup untuk mempresentasikan atau menjelaskan fenomena terjadinya *upgrowth* di alam (Muhdinet al., 2011; Wahyudi, 2012). Peluang

upgrowth tidak hanya tergantung pada ukuran pohon tetapi juga pada karakteristik tegakan seperti kepadatan, kompetisi, umur dan tingkat produktivitas (Escalante, Pando, Ordóñez, & Bravo, 2011). Hal ini sesuai dengan kondisi pada masing-masing lokasi yang mempunyai kerapatan tegakan yang berbeda (Kuswandi et al., 2015). Perbedaan kerapatan pada ketiga areal IUPHHK tersebut bisa disebabkan oleh karakteristik tegakan masing-masing lokasi di mana karakteristik tersebut terkait dengan fisiologi tegakan dalam merespon perubahan lingkungan (Pan, Birdsey, Phillips, & Jackson, 2013).

Karakteristik *site* berpengaruh terhadap ketersediaan air tanah, radiasi, unsur hara, dimana faktor-faktor tersebut berpengaruh terhadap respon pertumbuhan tegakan (Kariuki, Rolfe, Smith, Vanclay, & Kooyman, 2006; Adame et al., 2014). Namun secara statistik hubungan antara pertumbuhan diameter tegakan dan karakteristik *site* tidak berpengaruh secara signifikan (Adame et al., 2014). Selanjutnya disebutkan bahwa upaya untuk memasukan informasi *site* dalam model pertumbuhan tegakan pada hutan tropis menghasilkan tingkat keberhasilan yang beragam. Venturoli et al. (2015) menambahkan bahwa persaingan antara dan di dalam populasi secara signifikan dapat berpengaruh terhadap tingkat pertumbuhan diameter.

Koefisien determinasi yang dihasilkan oleh model *upgrowth* dari setiap lokasi terlihat lebih rendah bila dibandingkan dengan model *ingrowth*, yaitu berkisar antara 9,1% sampai 73,6%. Hal ini mengindikasikan bahwa peubah-peubah penduga hanya menerangkan sebagian kecil dari proses *upgrowth* yang terjadi dalam tegakan. Selain itu terdapat rentang yang cukup lebar antara lokasi dalam hal nilai koefisien determinasi (R^2). Variasi atau lebarnya rentang nilai R^2 tersebut menunjukkan bahwa peranan peubah bebas dalam menerangkan *upgrowth* mungkin bersifat spesifik untuk setiap lokasi. Disisi lain, lebar kelas diameter dapat mempengaruhi

model pertumbuhan diameter (Shimatani, Kubota, Araki, & Aikawa, 2007; Escalante et al., 2011).

Beberapa penelitian juga memberikan nilai koefisien determinasi yang relatif kecil, seperti pada penelitian Volin dan Buongiorno (1996) sebesar 6% - 14%; Favrichon (1998) sebesar 5% - 22%; Favrichon dan Kim (1998) sebesar 57% - 71%, Labetubun et al. (2005) sebesar 10,7% - 14,6%, Krisnawati et al. (2008) sebesar 20,1% - 37,6%, Wahyudi (2012) sebesar 36,8% - 92,3%. Rendahnya nilai determinasi di hutan alam disebabkan tidak terkendalinya pengaruh berbagai faktor lingkungan yang terdapat di dalam hutan alam campuran, baik faktor lingkungan hayati, non hayati serta interaksi diantara faktor-faktor tersebut (Muhdin et al., 2011; Wahyudi, 2012). Akibat dari rendahnya nilai R^2 dan bahkan tidak adanya hubungan yang signifikan antara peubah-peubah penduga dengan peubah responnya, maka disarankan untuk menggunakan rata-rata proporsi untuk menghitung peluang *upgrowth* suatu jenis. Hal ini telah dilakukan oleh sebagian peneliti yang cenderung menggunakan rata-rata proporsi untuk menghitung peluang *upgrowth* suatu jenis (Krisnawati et al., 2008).

C. Model Mortality

Peluang *mortality* secara teoritis berhubungan dengan kerapatan tegakan dan diameter pohon (Buongiorno et al., 1995). Biasanya kerapatan tegakan dan diameter pohon berpengaruh positif terhadap *mortality*. Namun pada penelitian ini *mortality* dipengaruhi oleh kerapatan, luas bidang dasardan diameter, kecuali pada PT. TTL. Hal ini ditunjukkan dengan model *mortality* pada masing-masing lokasi seperti ditunjukkan pada Tabel 3. Model mortality diperoleh dari hasil analisis berdasarkan data series pada PUP masing-masing lokasi. Pada lokasi PT. TTL laju *mortality* akan bertambah dengan semakin meningkatnya luas bidang dasar, sedangkan pada areal PT. MML dan PT. WMT peluang

kematian pohon (*mortality*) dipengaruhi positif oleh bidang dasar dan dipengaruhi negatif oleh kerapatan tegakan dan diameter pohon.

Dibandingkan dengan penelitian yang telah dilakukan di Kalimantan dan Maluku, terdapat perbedaan variabel yang berpengaruh terhadap model *mortality* pada tiga lokasi IUPHHK di Papua. Pada ketiga areal IUPHHK

di Papua, yang berpengaruh adalah kerapatan tegakan, luas bidang dasar dan diameter sedangkan di Maluku adalah diameter dalam bentuk model polinomial (Laetubunet al., 2005) dan di Kalimantan adalah diameter dan luas bidang dasar (Krisnawati, et al., 2008; Muhdin, 2012).

Tabel 3. Model *mortality* tegakan pada areal hutan bekas tebangan di Papua

Lokasi	Persamaan	R ² (%)	P _{value}
PT. TTL	M = - 1.673 + 0.133 B	17.2	0.267
PT. MML	Log M = 315.434 + 124.696 log B – 81.996 log N – 202.948 log D	97.6	0.035*
PT. WMT	Log M = 1605.888 + 1033.585 log B – 110.204 log N – 336.287 log D	92.9	0.002*

Keterangan : *) signifikan pada taraf kepercayaan 95%

Seperti halnya dengan model *upgrowth*, nilai koefisien regresi yang dihasilkan oleh model *mortality* juga tidak dapat digeneralisasikan. Nilai koefisien determinasi yang dihasilkan juga bervariasi antara 17,2% sampai dengan 97,6%. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh keragaman data *mortality* yang sangat tinggi. Selain itu, terdapatnya perbedaan jenis yang ditebang yang berhubungan dengan intensitas tebangan dan waktu pengamatan juga berpengaruh pada model *mortality*. Hal ini nampak pada PT. MML (R² = 97,6 dan P_{val} = 0,035) dan WMT (R² = 92,9 dan P_{val} = 0,002) yang hanya menebang satu jenis saja sehingga berpengaruh pada tingkat kerusakan tegakan dan keterbukaan tutupan tajuk pohon. Jumlah pohon (intensitas tebangan) yang ditebang semakin banyak, maka kerusakan tegakan yang terjadi akan semakin tinggi (Sist et al., 2003; Muhdi, Elias, Murdiyarso, Juang, & Matangaran, 2012; Mawazin, 2013) dan akan mempengaruhi regenerasi hutan (Muhdi & Elias, 2004; Dubé, Menard, Bouchard, & Marceau, 2005; Muhdi, 2009). Laju *mortality* terdapat kecenderungan bahwa pohon-pohon pada kelas terendah yang tumbuh lebih lambat, memiliki peluang lebih besar untuk mati (Roitman & Vanclay, 2015).

Keragaman *mortality* yang tinggi menunjukkan bahwa kematian pohon dalam suatu tegakan merupakan suatu proses yang kompleks dan relatif sulit diprediksi karena banyaknya faktor yang saling berinteraksi (Kuswandi, 2014).

Sebagian besar hasil penelitian menyebutkan bahwa sampai saat ini sulit untuk menjelaskan dinamika pertumbuhan tegakan (Adame et al., 2014). Hal ini mungkin disebabkan oleh variasi sumber data termasuk kesalahan pengukuran fisik (Monserud & Sterba, 1996), murni kesalahan (Draper & Smith, 1998) dan kegagalan untuk memasukkan variabel yang mempengaruhi pertumbuhan pohon dalam model, seperti faktor genetik atau iklim (Uriarte, Canham, Thompson, & Zimmerman, 2004; Adame et al., 2014). Purnomo (2005) menyatakan bahwa perilaku dari sistem alam tidak dapat dipahami dengan lengkap, sehingga prediksi atas perilakunya sering salah dan sulit dilakukan. Model-model sistem alam jarang teliti dan andal. Ige, Akinyemi dan Abi (2013) menyebutkan bahwa tidak ada satu jenis model yang dapat memberikan informasi yang tepat dalam pengambilan keputusan manajemen.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan model-model pertumbuhan tegakan tinggal untuk hutan alam bekas tebangan berdasarkan data petak ukur permanen di Papua. Model mengintegrasikan fungsi-fungsi *ingrowth*, *upgrowth*, dan *mortality*. Karakteristik tegakan dijadikan sebagai dasar penyusun model, yang dicirikan oleh kerapatan bidang dasar, jumlah pohon dan ukuran (diameter) pohon. Pengaruh karakteristik tegakan terhadap model berbeda pada masing-masing lokasi, sehingga pertumbuhan tegakan tinggal pada ketiga lokasi tersebut menunjukkan perbedaan model-model pertumbuhannya. Oleh karena itu, penggunaan persamaan model pertumbuhan disarankan menggunakan hasil dari lokasi masing-masing sebagaimana telah diuraikan di atas.

Model *ingrowth*, *upgrowth*, dan *mortality* tegakan dipengaruhi oleh karakteristik tegakan (kerapatan bidang dasar, jumlah pohon dan ukuran (diameter) pohon) pada setiap lokasi. Hal ini nampak dari hasil model pertumbuhan tegakan tinggal pada masing-masing lokasi, dimana pada PT. WMT dan PT. MML karakteristik tegakan berpengaruh nyata terhadap setiap model dibandingkan dengan PT. TTL.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih kepada Balai Penelitian dan Pengembangan Lingkungan Hidup dan Kehutanan Manokwari atas biaya penelitian ini. Ucapan yang sama disampaikan kepada semua pihak (PT. Tunas Timber Lestari, PT. Wapoga Mutiara Timber dan PT. Manokwari Mandiri Lestari) yang telah ikut membuat, mengukur, dan mengelola *database* PUP yang digunakan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Adame, P., Brandeis, T.J., & Uriarte, M. (2014). Diameter growth performance of tree functional groups in Puerto Rican secondary tropical forests. *Forest Systems*, 23(1), 52-63.

- Alder, D., & Synnott, T.J. (1992). Permanent Sample Plot Techniques for Mixed Tropical Forest. *Tropical Forestry papers*, 25. Oxford Forestry Institute Department of Plant Sciences, University of Oxford.
- Arets, E. J. M. M. (2005). *Long-term responses of populations and communities of trees to selective logging in tropical rain forests in Guyana*. Unpublished PhD thesis, Utrecht University, Utrecht, The Netherlands, Tropenbos-Guyana series 13, Tropenbos-Guyana Programme, Tropenbos International, The Netherlands, p. 191.
- Brienen, R. J. W., & Zuidema, P. A. (2006). The use of tree rings in tropical forest management: Projecting timber yields of four Bolivian tree species. *Forest Ecology and Management*, 226(1-3), 256-267.
- Buijks, J., & Haasnoot, R. (2012). The effects of different logging strategies on growth and timber yields of *Hura crepitans*. *Instituto Boliviano de Investigación Forestal*.
- Buongiorno, J., Peyron, L., Houller, F., & Bruciamacchie, M. (1995). Growth and management mixed species, uneven-aged forest in the French Jura: implication for economic return and tree diversity. *Forest Science*, 41(3), 377 - 429.
- Dauber, E., Fredericksen, T. S., & Peña-Claros, M. (2005). Sustainability of timber harvesting in Bolivian tropical forests. *Forest Ecology and Management*, 214(1-3), 294-304.
- Draper, N.R., & Smith, H. (1998). *Applied Regression Analysis*. New York: Wiley-Interscience.
- Duah-Gyamfi, A., Swaine, E. K., Adam, K. A., Pinard, M. A., & Swaine, M. D. (2014). Can harvesting for timber in tropical forest enhance timber tree regeneration?. *Forest Ecology and Management*, 314, 26-37.
- Dubé, P., Menard, A., Bouchard, A., & Marceau D.J. (2005). Simulating The Impact of Small Scale Extrinsic Disturbances over Forest Volumetric Environment. *Ecology Modeling Journal*, 182(2), 113-29.
- Edwards, C., & Mason, W.L. (2006). Stand structure and dynamics of four native Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) woodlands in northern Scotland. *Forestry*, 79(3), 261-277. doi:10.1093/forestry/cpl014
- Escalante, E., Pando, V., Ordóñez, C., & Bravo, F. (2011). Multinomial logit estimation of a diameter growth matrix model of two Mediterranean pine species in Spain. *Annals of Forest Research*, 68(4), 715-726.

- Favrichon, V. (1998). Modelling the Dynamics and Species Composition of A Tropical Mixed-species Uneven-aged Natural Forest: Effects of Alternative Cutting Regimes. *Forest Science*, 44(1), 113-124.
- Favrichon, V., & Kim, Y.C. (1998). Modeling the dynamics of lowland mixed dipterocarp forest stand: application of a density-dependent matrix model. In J.G. Bertault & Kadir (Eds). *Silvicultural research in an lowland mixed dipterocarpacea forest of East Kalimantan, The Contributions of STREK project CIRAD-foret, FORDA, and PT.INHUTANI I. CIRAD – forest publication*, 229-245.
- Hevia, A., Cao, Q.V., Álvarez-González, J.G., Ruiz-González, A.D., & von Gadow, K. (2015). Compatibility of whole-stand and individual-tree models using composite estimators and disaggregation. *Forest Ecology and Management*, 348, 46–56.
- Ige, P.O., Akinyemi, G.O., & Abi, E.A. (2013). Diameter Distribution Models for Tropical Natural Forest trees in Onigambari Forest Reserve. *Journal of Natural Sciences Research*, 3(12), 14-22.
- Kariuki, M., Rolfe, M., Smith, R.G.B., Vanclay, J., & Kooyman, R.M. (2006). Diameter growth performance varies with species functional-group and habitat characteristics in subtropical rainforests. *For. Ecol. Manage.*, 225(1-3), 1-14.
- Krisnawati, H., & Wahjono, D. (2004). Riap Diameter Tegakan Hutan Alam Rawa Bekas Tebangan di Provinsi Jambi. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 2, 156-166.
- Krisnawati, H., Suhendang, E., & Parthama, I.B.P. (2008). Model pertumbuhan matrik transisi untuk hutan alam bekas tebangan di Kalimantan Tengah. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 5(2), 107-128.
- Kuswandi, R., & Murdjoko, A. (2015). Population Structures of Four Tree Species in Logged-Over Tropical Forest in South Papua, Indonesia: An Integral Projection Model Approach. *Indonesian Journal of Forestry Research*, 2(2), 93-101.
- Kuswandi, R. (2010). *Metode Pengaturan Hasil Hutan Alam Bekas Tebangan Melalui Pendekatan Model Dinamika Sistem Di Kabupaten Boven Digul, Papua*. Tesis tidak diterbitkan. Sekolah Pascasarjana, UGM.
- Kuswandi, R. (2014). The Effect of Silvicultural Treatment on Stand Growth of Logged-Over Forest in South Papua. *Indonesian Journal of Forestry Research*, 1(2), 117 – 126.
- Kuswandi, R., Sadono, R., Supriyatno, N., & Marsono, D. (2015). Keanekaragaman Struktur Tegakan Hutan Alam Bekas Tebangan Berdasarkan Biogeografi di Papua. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 22(2), 151-159.
- Labetubun MS, Suhendang, E., & Darusman, D. (2005). Metode pengaturan hasil hutan tidak seumur melalui pendekatan model dinamika sistem: Kasus hutan alam bekas tebangan. *Forum Pascasarjana*, 28(2), 91-101.
- Leoni, J.M., da Fonseca, S.F., & Schöngart, J.(2011). Growth and population structure of the tree species *Malouetia tamaquarina* (Aubl.) (Apocynaceae) in the central Amazonian floodplain forests and their implication for management. *Forest Ecology and Management*, 261(1), 62–67.
- Lhotka, J.M., & Loewenstein, E.F. (2011). An individual-tree diameter growth model for managed uneven-aged oak-shortleaf pine stands in the Ozark Highlands of Missouri, USA. *Journal Forest Ecology and Management*, 261(3), 770-778.
- Liang, J. (2010). Dynamics and management of Alaska boreal forest: An all-aged multi-species matrix growth model. *Journal Forest Ecology and Management*, 260(4), 491-501.
- Lu, H., & Buongiorno, J. (1993). Long- and short-term effects of alternative cutting regimes on economic returns and ecological diversity in mixed-species forests. *For. Ecol. Manage.*, 58(3-4), 173-192.
- Margono, B. A., Potapov, P. V., Turbanova, S., Stolle, F., & Hansen, M. C. (2014). Primary forest cover loss in Indonesia over 2000-2012. *Nature Climate Change*, 4(8), 730-735.
- Marwa, J. (2009). *Model Dinamik Pengaturan Hasil Hutan Tidak Seumur dan Kontribusi Terhadap Ekonomi Daerah: Studi Kasus IUPHHK PT. Bina Balantak Utama Kabupaten Sarmi, Papua*. Tesis tidak diterbitkan. Sekolah Pascasarjana, IPB.
- Mawazin. (2013). Tingkat Kerusakan Tegakan Tinggal di Hutan Rawa Gambut Sungai Kumpeh-Sungai Air Hitam Laut Jambi. *Indonesian Forest Rehabilitation Journal*, 1(1), 39-50.

- Monserud, R.A., & Sterba, H. (1996). A basal area increment model for individual trees growing in even- and uneven-aged forests stands in Austria. *For. Ecol. Manage.* 80(1-3), 57-80.
- Muhdi & Elias, (2004). Dampak Teknik Pemanenan Kayu terhadap Tingkat Keterbukaan Tanah di Kalimantan Barat. *Jurnal Ilmiah Agrisol*, 3(1), 27–34.
- Muhdi, (2009). Dampak Pemanenan Kayu Dengan Teknik *Reduced Impact Logging* Terhadap Kerusakan Tegakan Sisa di Hutan Alam. *Berk. Penel. Hayati*, 15, 77–84.
- Muhdi, Elias, Murdiyarsa. D., Juang R., & Matangaran. J.R. (2012). Kerusakan Tegakan\ Tinggal Akibat Pemanenan\ Kayu Redaced Impact Logging Dan Konvensional Di Hutan Alam Tropika (Studi Kasus Di Areal IUPHHK PT. Inhutani Ii, Kalimantan Timur). *J. Manusia dan Lingkungan*, 19(3), 303-311.
- Muhdin, Suhendang, E., Wahjono, D., Purnomo, H., Istomo, & Simangunsong, B.C.H. (2011). Pendugaan Dinamika Struktur Tegakan Hutan Alam Bekas Tebangan. *J Man Hut Trop*, XVII(1), 1–9.
- Muhdin. (2012). *Dinamika Struktur Tegakan Hutan Tidak Seumur Untuk Pengaturan Hasil Hutan Kayu Berdasarkan Jumlah Pohon (Kasus pada Areal Bekas Tebangan Hutan Alam Hujan Tropika Dataran Rendah Tanah Kering di Kalimantan)*. Disertasi. Institut Pertanian Bogor.
- Nascimento, RGM., Machado, SA., Figueiredo Filho, A., & Higuchi, N. (2014). A growth and yield projection system for a tropical rainforest in the Central Amazon, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 327, 201–208.
- Návar, J. (2014). A Stand-Class Growth and Yield Model for Mexico's Northern Temperate, Mixed and Multiaged Forests. *Forests*, 5(12), 3048-3069. doi:10.3390/f5123048
- Orellana, E., Filho, AF., Netto, SP., & Vanclay, JK. (2016). Predicting the dynamics of a native *Araucaria* forest using a distance-independent individual tree-growth model. *Forest Ecosystems*, 3(12), 2-11. doi: 10.1186/s40663-016-0071-x
- Pan, Y., Birdsey, R. A., Phillips, O. L., & Jackson, R. B. (2013). The structure, distribution, and biomass of the world's forests. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 44, 593-622.
- Peña-Claros M., Fredericksen, T.S., Alarcón, A., Blate, G.M., Choque, U., Leño, C., ... & Villegas, Z. (2008). Beyond reduced impact logging; silvicultural treatments to increase growth rates of tropical trees. *Forest Ecology and Management*, 256(7), 1458–1467.
- Picard, N., & Liang, J. (2014). Matrix Models for Size-Structured Populations: Unrealistic Fast Growth or Simply Diffusion?. *PloS one*, 9(6).
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0098254>
- Picard, N., Yalibanda, Y., Namkossereña, S., & Baya, F. (2008). Estimating the stock recovery rate using matrix models. *Forest Ecology and Management*, 255(10), 3597-3605.
- Pukkala, T., Lähde, E., & Laiho, O. (2009). Growth and yield models for uneven-sized forest stands in Finlandia. *Forest Ecology and Management*. 258(3), 207-216.
- Purnomo, H. (2005). *Teori Sistem Kompleks, Pemodelan dan Simulasi untuk Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. Skripsi tidak diterbitkan. Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor.
- Putz F.E., Sist, P., Fredericksen, T., & Dykstra, D. (2008). Reduced-impact logging: Challenges and opportunities. *Forest Ecology and Management*, 256(7) 1427–1433.
- Pütz S., Groeneveld J., Alves L.F., Metzger J.P., & Huth A. (2011). Fragmentation drives tropical forest fragments to early successional states: a modelling study for Brazilian Atlantic forests. *Ecological Modelling*, 222(1), 1986–1997.
- Putz, F.E., & Romero, C. (2014). Futures of Tropical Forests (sensu lato). *Biotropica*, 46(4), 495-505.
- Roitman, I., & Vanclay J.K. (2015). Assessing size-class Dynamics of a Neotropical Gallery Forest with Stationary Models. *Ecological Modelling*, 297, 118 – 125.
- Rozendaal, D. M. A., Soliz-Gamboa, C. C., & Zuidema, P. A. (2010). Timber yield projections for tropical tree species: The influence of fast juvenile growth on timber volume recovery. *Forest Ecology and Management*, 259(12), 2292-2300.
- Schöngart, J. (2008). Growth-oriented logging (GOL): a new concept towards sustainable forest management in Central Amazonian

- várzea floodplains. *Forest Ecol. Manage*, 256(1-2), 46–58.
- Shimatani, I.K., [Kubota](#), Y., [Araki](#), K., & Aikawa, S.I. (2007). Matrix models using fine size classes and their application to the population dynamics of tree species: Bayesian non-parametric estimation. *Plant Species Biology*, 22(3), 175-190.
- Sist, P., Picard, N., & Gourlet-Fleury, S. (2003). Sustainable cutting cycle and yields in a lowland mixed dipterocarp forest of Borneo. *Annals of Forest Science*, 60(8), 803–814.
doi:<http://dx.doi.org/10.1051/forest:2003075>
- Sievänen, R., Burk, T.E., & Ek, A.R. (1988). Construction of a stand growth model utilizing photosynthesis and respiration relationships in individual trees. *Canadian Journal of Forest Research*, 18(8), 1027-1035.
doi.org/10.1139/x88-156
- Turland. (2007, Oktober 4). An overview of North American Forest Modeling Approaches and Their Technology and Their Potential Application to Australia. *Native Forest Management*. <http://wfi.Worldforestry.org>
- Uriarte, M., Canham, C., Thompson, J., & Zimmerman, J.K. (2004). A neighborhood analysis of tree growth and survival in a hurricane-driven tropical forest. *Ecological Monographs*, 74(4), 591-614.
doi: 10.1890/03-4031
- Vanclay, J. K. (1996). Estimating sustainable timber production from tropical forest. *CIFOR Working Paper No. 11: Estimating AAC in the Tropics*. New Jersey: Princeton University Press.
- Vanclay, J.K. (2001). *Modelling Forest Growth and Yield. Applications to Mixed Tropical Forest*. CABI Publishing.
- Venturoli, F., Franco, A.C., & Fagg, C.W. (2015). Tree Diameter Growth Following Silvicultural Treatments in a Semi-Deciduous Secondary Forest in Central Brazil. *Cerne*, 21(1), 117-123.
- Volin, V.C., & Buongiorno, J. (1996). Effects of alternative management regimes on forest stand structure, species composition, and income: a model for the Italian Dolomites. *For. Ecol. Manage.*, 87(1-3), 107-125.
- Wahjono, D., & Imanuddin, R. (2007). Model Dinamika Struktur Tegakan untuk Pendugaan Hasil di PT Intracawood Manufacturing, Kalimantan Timur. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 4(4), 419-428.
- Wahyudi. (2012). Simulasi Pertumbuhan dan Hasil Menggunakan Siklus Tebang 25, 30 dan 35 Tahun pada Sistem Tebang Pilih Tanam Indonesia. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, 9(2), 51 – 62.
- Wang, X., Hao, Z., Zhang, J., Lian, J., Li, B., Ye, J., & Yao, X. (2008). Tree size distributions in an old-growth temperate forest. *Oikos*, 118(1), 25-36. doi: 10.1111/j.2008.0030-1299.16598.x

