



Model Pertumbuhan Polinomial Tanaman Meranti (*Shorea spp*) pada Sistem Tebang Pilih Tanam Jalur di PT Sari Bumi Kusuma

(*Polynomial Growth Model of Meranti Plants (*Shorea spp*) in the Selective Logging and Planting System at PT Sari Bumi Kusuma*)

Endah Winarni¹, Wahyudi Wahyudi², Bhayu Rhama³

¹ Pegawai Dinas Kehutanan Provinsi Kalimantan Tengah,

² Staf pengajar Jurusan Kehutanan Fakultas Pertanian Universitas Palangka Raya

³ Staf Pengajar Fakultas Ilmu Sosial dan Ilmu Politik Universitas Palangka Raya

* Corresponding Author: wahyudi888@for.upr.ac.id

Sejarah Artikel

Diterima : 25 April 2023

Direvisi : 30 Mei 2023

Disetujui : 10 Juni 2023

Kata Kunci (Keywords):

Meranti, polynomial model, diameter, cutting cycle.

ABSTRACT

Meranti (*Shorea spp*) is a commercial trees that dominates the lowland tropical rainforests of Indonesia. Harvesting of this species has been carried out since the early 70's until now, but efforts to cultivate meranti are still very few. The silvicultural system of TPTJ with silin technique has placed meranti as species that must be planted by companies of forest concession. This study aims to construct a polynomial growth model for meranti at PT Sari Bumi Kusuma, so as to be able to predict the achievement of diameter, branch-free height and total height of meranti plants at a certain time. Meranti plants at PT Sari Bumi Kusuma have a diameter growth model: $Y= 0.6076 + 0.3067X + 0.0524X^2$ ($R^2 : 94.74\%$), a branch-free height growth model: $Y=0.0315+0.4787X+ 0.0081X^2$ ($R^2 : 89.53 \%$) and total height growth model: $Y=0.4957+0.758X+0.0138X^2$ ($R^2 : 93.78\%$). The TPTJ system has a cutting cycle of 25 years with a limited diameter of harvested trees is 40 cm. Based on the results of this modeling, most of these trees have reached a diameter of 41.03 cm; branch-free height of 17.06 m and a total height of 28.07 m, so that it is ready to be harvested at the age of 25 years.

© 2023 Penulis.

Di Publikasikan oleh Jurusan Kehutanan
Fakultas Pertanian Universitas Palangka Raya
Artikel ini memiliki akses terbuka di bawah
lisensi:



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Penerapan sistem silvikultur sangat menentukan produktivitas hutan. Sistem silvikultur Tebang Pilih Tanam Jalur (TPTJ) teknik silvikultur intensif diyakini dapat meningkatkan produktivitas meranti melalui peningkatan riap diameter dan tinggi masing-masing 1,72 cm th⁻¹ dan 1,75 m th⁻¹ dibandingkan pada pertumbuhan umum di hutan alam yang hanya 0,2 sampai 0,7 cm th⁻¹ (Dulsalam dkk, 2018; Wahyudi, 2012). Sistem TPTJ teknik SILIN didasarkan pada tiga pilar ilmu pengetahuan dan teknologi yaitu pemuliaan pohon, manipulasi lingkungan dan pengendalian hama penyakit (Wahyudi dan

Panjaitan, 2011; Widiyatno dkk, 2011). Jenis *Shorea spp.* yang disarankan oleh para pakar silvikultur intensif (Silin) untuk dikembangkan pada sistem TPTJ teknik Silin adalah *Shorea leprosula*, *S. parvifolia*, *S. smithiana*, *S. johorensis*, *S. macrophylla*, *S. ovalis*, *S. platyclados*, *S. selanica*, *S. javanica* (Wahyudi, 2012).

PT Sari Bumi Kusuma merupakan salah satu Perizinan Berusaha Pemanfaatan Hutan (PBPH) yang menerapkan sistem silvikultur TPTJ teknik Silin sejak tahun 1999/2000 dengan harapan dapat menjembatani antara kepentingan ekonomi dan ekologi (Widiyatno dkk, 2011). Kepentingan ekonomi diperoleh dengan peningkatan produksi kayu bulat

meranti pada saat panen sedangkan kepentingan ekologi diperoleh melalui sistem tebang pilih yang tidak menebang seluruh hamparan hutan melainkan hanya dalam jalur-jalur tertentu dengan lebar hanya 3-4 meter yang diapit oleh jalur antara selebar 17 meter berupa hutan alam, sehingga fungsi ekologi hutan masih berjalan dengan baik.

Pertumbuhan pohon merupakan pertambahan dimensi pohon baik diameter, tinggi, maupun biomassa secara umum (Bhandari and Chhetri, 2020). Pertumbuhan tanaman dipengaruhi oleh karakteristik lingkungan atau tempat tumbuh sehingga pertumbuhan tanaman berbeda dari satu tempat dengan tempat yang lain. Pertumbuhan pohon merupakan fungsi waktu dengan dimensi pohon seperti diameter dan tinggi (Bustomi dkk, 2009).

1.2. Tujuan Penelitian

Dalam rangka mengetahui tingkat pertumbuhan tanaman meranti (*Shorea spp*) yang ditanam menggunakan sistem TPTJ teknik Silin, diperlukan penelitian pada lokasi

penanaman, seperti pada PT Sari Bumi Kusuma.

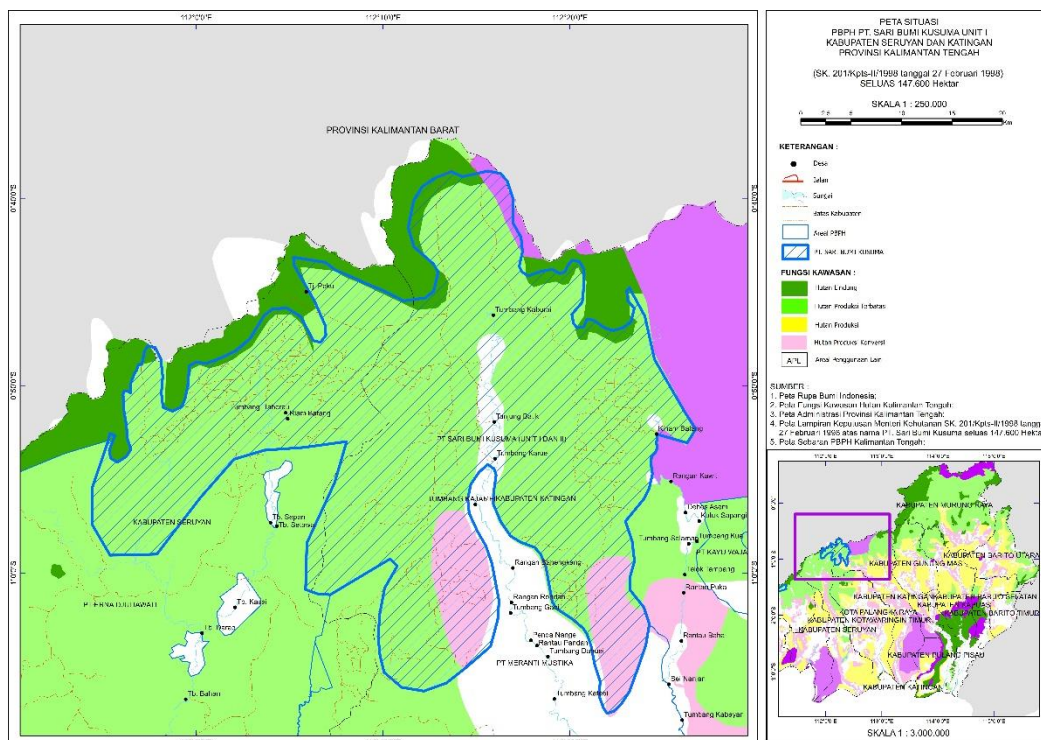
2. Metode Penelitian

2.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di areal penanaman meranti (*Shorea spp*) sistem TPTJ teknik Silin di PT Sari Bumi Kusuma yang terletak di Blok Sungai Seruyan yang berada diantara 00°36' - 01°10' LS dan 111°39' - 112°25' BT dan secara administratif pemerintahan masuk dalam Kecamatan Seruyan Hulu Kabupaten Seruyan dan Kecamatan Katingan Hulu Kabupaten Katingan, Provinsi Kalimantan Tengah. Penelitian dilakukan selama 3 (tiga) bulan yaitu dari bulan September 2022 sampai dengan Nopember 2022.

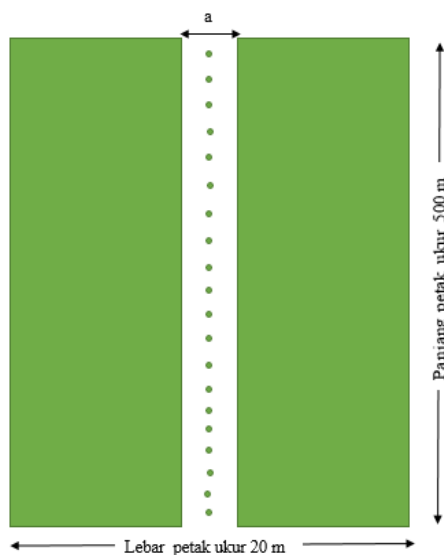
2.2. Prosedur Penelitian

1. Melakukan koordinasi dengan pimpinan perusahaan tempat dilakukan penelitian
2. Melakukan studi areal penelitian menggunakan data sekunder seperti dokumen RKU dan RKT perusahaan serta peta kerja



Gambar 1. Peta PT Sari Bumi Kusuma

3. Menentukan 8 (delapan) kelas umur tanaman berdasarkan faktor keterwakilan dan kemudahan aksesibilitas. Penelitian ini dilakukan pada tanaman meranti kelas umur 0, 1, 3, 5, 7, 11, 15 dan 19 tahun.
4. Pada masing-masing kelas umur menggunakan 3 jalur pengamatan tanaman berukuran 1 ha atau 20 m x 500 m yang ditentukan secara acak. Jarak antar tanaman meranti dalam jalur tanam adalah 2,5 meter sehingga setiap jalur pengamatan berisi 200 tanaman.
5. Luas sampel dalam penelitian ini adalah 8 kelas umur x 3 jalur x 1 ha atau 24 ha yang berisi 24 x 200 tanaman atau 4.800 tanaman.
6. Semua tanaman meranti yang berada dalam jalur penelitian dilakukan pengukuran diameter setinggi dada (dbh) atau 130 cm dari permukaan tanah, tinggi bebas cabang dan tinggi total.
7. Melengkapi data sekunder yang berhubungan dengan penelitian, seperti kondisi iklim, jenis tanah, asal bibit, riwayat penanaman dan pemeliharaan tanaman
8. Melakukan pengolahan dan analisis data penelitian untuk menentukan persen hidup tanaman dan model pertumbuhan polinomial.



Keterangan:

a = Lebar jalur 3 m

• = Tanaman *Shorea* spp. yang diukur diameter dan tinggi.

Gambar 2. Ilustrasi jalur penelitian

2.3. Analisa Data

2.3.1. Persentase hidup tanaman

Persentase hidup tanaman adalah nilai perbandingan antara jumlah tanaman yang hidup dengan jumlah tanaman yang ditanam dikalikan 100%, secara matematika dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Persentase hidup (\%)} = \frac{(\sum \text{tanaman hidup})}{(\sum \text{tanaman yang ditanam})} \times 100\%$$

2.3.2. Pertumbuhan tanaman

Pertumbuhan tanaman adalah pertambahan dimensi pohon yang dipengaruhi oleh kualitas tapak, jenis dan kualitas genetik serta perlakuan silvikultur (Wahyudi dkk, 2021). Variable dimensi pohon yang digunakan adalah diameter 130 cm dari permukaan tanah, tinggi bebas cabang dan tinggi total. Pertumbuhan tanaman dapat digambarkan melalui riap tahunan rata-rata (*mean annual increment/MAI*) dan riap tahunan berjalan (*current annual increment/CAI*). Pola pertumbuhan tanaman berbentuk sigmoida yang dapat digambarkan melalui persamaan polinomial (Porte dan Bartelink, 2001, Veena *et al*, 2018; Wahyudi dkk, 2016) dengan persamaan :

$$y = a + bx + cx^2$$

Keterangan :

y = diameter/ tbc/ ttot pada umur ke-i

x = umur ke-i

a, b, c = konstanta

2.4. Validasi persamaan pertumbuhan

Validasi persamaan pertumbuhan polinomial adalah uji perbandingan antara data yang dihasilkan dari persamaan pertumbuhan polinomial dengan data sebenarnya dari lapangan. Uji validasi model pertumbuhan menggunakan formula khi kuadrat (χ^2) (Sudjana, 1988) dengan persamaan sebagai berikut:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

Keterangan :

χ^2 = khi Kuadrat

O_i = data nyata hasil pengukuran ke-i

E_i = data hasil perhitungan model ke-i

n = jumlah data

Hipotesa:

H_0 = Model pertumbuhan valid

H_1 = Model pertumbuhan tidak valid

Kriteria hipotesa :

Jika nilai χ^2 hitung $< \chi^2$ tabel (db-1;0,05), maka terima H_0

Jika nilai χ^2 hitung $\geq \chi^2$ tabel (db-1; 0,05), maka terima H_1

2.5. Akurasi persamaan pertumbuhan

Akurasi persamaan pertumbuhan menunjukkan tingkat keakuratan persamaan dalam menunjukkan dimensi pohon pada satuan tertentu. Uji akurasi model pertumbuhan menggunakan formula *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) (Wahyudi dkk, 2021) dengan persamaan sebagai berikut:

$$MAPE = 100\% - \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|O_i - E_i|}{E_i} \times 100 \right\}$$

Keterangan :

y = akurasi model pertumbuhan

O_i = data nyata hasil pengukuran ke- i

E_i = data hasil perhitungan model ke- i

n = jumlah data

Kriteria:

$y > 80\%$ = sangat akurat

$y = 75\% - 79,99\%$ = akurat

$y = 60\% - 74,99\%$ = cukup akurat

$y < 60\%$ = tidak akurat

2.6. Korelasi persamaan pertumbuhan

Korelasi adalah tingkat keeratan hubungan antara variabel bebas (x) dengan variabel terikat (y). Uji korelasi model pertumbuhan berdasarkan kriteria nilai koefisien determinasi (R^2) (Wahyudi dkk, 2021) sebagai berikut:

$R^2 \geq 80\%$ = Korelasi tinggi

$R^2 = 75\% - 79,99\%$ = Korelasi

$R^2 = 60\% - 74,99\%$ = Korelasi sedang

$R^2 < 60\%$ = Tidak berkorelasi.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Persentase hidup

Persentase hidup tanaman meranti (*Shorea* spp) sangat bervariasi yang ditentukan oleh umur tanaman. Secara umum, makin tinggi umur tanaman maka semakin rendah persen hidupnya (Wahyudi dan Panjaitan, 2011). Pada penelitian ini, persen hidup tanaman meranti pada umur 0, 1, 3, 5, 7, 11, 15 dan 19 tahun masing-masing sebesar 100%, 48%, 46%, 38%, 62%, 41%, 54% dan 39%. Persen hidup tanaman nampak mempunyai variasi yang sangat tinggi, mulai dari 37,67% sampai 61,52% kecuali pada tanaman yang baru ditanam (umur 0 tahun). Kondisi ini disebabkan oleh kualitas bibit saat penanaman, kondisi tempat tumbuh, perawatan yang dilakukan, serta kondisi cuaca (musim hujan atau kemarau) pada saat penanaman.

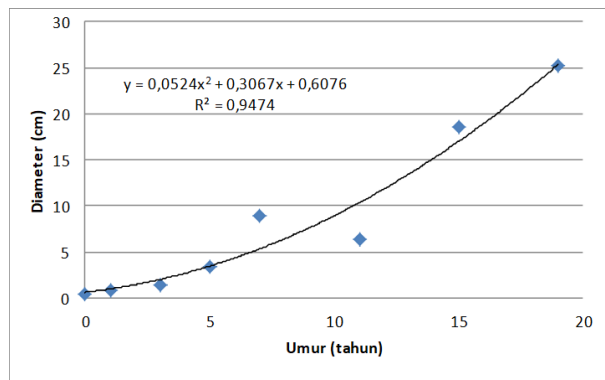
Rendahnya persentase hidup ini diduga karena penggunaan bibit cabutan alam yang mempunyai variasi genetik yang lebar sehingga kemampuan beradaptasi masing-masing individu terhadap lingkungan dan persaingan untuk mendapatkan unsur hara sangat bervariasi (Muin, 2021; Wahyudi dkk, 2016; Widiyatno *et al.*, 2011). Intensitas cahaya, iklim mikro, lantai hutan, tanaman pesaing dan faktor biotik merupakan beberapa faktor lingkungan yang dapat menyebabkan kematian bibit setelah penanaman (Daniel *et al.*, 1979 dalam Gunawan *et al.*, 2016).



Gambar 3. Tanaman meranti di lokasi penelitian umur 19 tahun

3.2. Pertumbuhan diameter tanaman meranti

Pertumbuhan diameter tanaman meranti digambarkan dari data series tanaman berumur 0, 1, 3, 5, 7, 11, 15 dan 19 tahun. Model pertumbuhan diameter tanaman meranti menggunakan persamaan polinomial adalah $Y = 0,6076 + 0,3067X + 0,0524X^2$ dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 94,74 %.

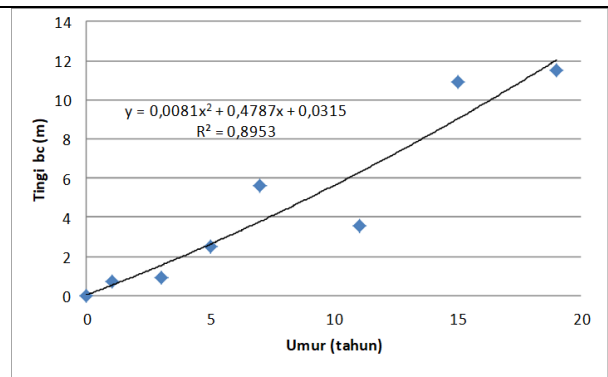


Gambar 4. Grafik pertumbuhan diameter tanaman meranti

Nilai R^2 menunjukkan bahwa hubungan antara umur tanaman meranti dan capaian diameternya sangat tinggi. Berdasarkan hasil uji validasi diperoleh nilai χ^2 hitung sebesar 4,2395 yang lebih kecil dibanding nilai tabel χ^2 (db: 7; α : 0,05) sebesar 14,1 yang mengindikasikan bahwa model pertumbuhan diameter menggunakan persamaan polinomial ini valid. Berdasarkan hasil uji akurasi diperoleh nilai MAPE sebesar 99,95 % yang menunjukkan bahwa persamaan tersebut mempunyai akurasi yang sangat tinggi dalam memprediksi pertumbuhan diameter tanaman meranti

3.3. Pertumbuhan tinggi bebas cabang tanaman meranti

Pertumbuhan tinggi bebas cabang tanaman meranti digambarkan dari data series tanaman berumur 0, 1, 3, 5, 7, 11, 15 dan 19 tahun. Model pertumbuhan tinggi bebas cabang tanaman meranti menggunakan persamaan polinomial adalah $Y = 0,0315 + 0,4787X + 0,0081X^2$ dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 89,53 %.



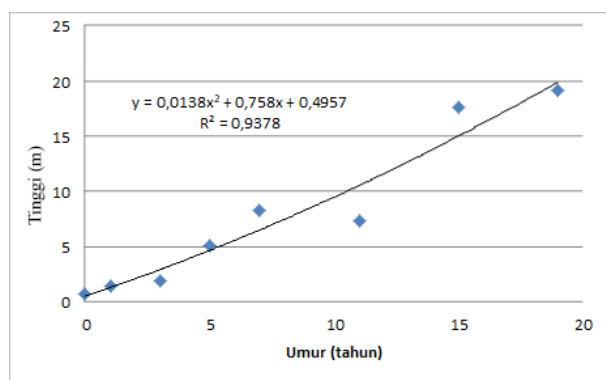
Gambar 5. Grafik pertumbuhan tinggi bebas cabang tanaman meranti

Nilai R^2 menunjukkan bahwa hubungan antara umur tanaman meranti dan capaian tinggi bebas cabang nya sangat tinggi. Berdasarkan hasil uji validasi diperoleh nilai χ^2 hitung sebesar 2,8471 yang lebih kecil dibanding nilai tabel χ^2 (db: 7; α : 0,05) sebesar 14,1 yang mengindikasikan bahwa model pertumbuhan tinggi bebas cabang menggunakan persamaan polinomial ini valid. Berdasarkan hasil uji akurasi diperoleh nilai MAPE sebesar 99,99 % yang menunjukkan bahwa persamaan tersebut mempunyai akurasi yang sangat tinggi dalam memprediksi pertumbuhan tinggi bebas cabang tanaman meranti

3.4. Pertumbuhan tinggi total tanaman meranti

Pertumbuhan tinggi total tanaman meranti digambarkan dari data series tanaman berumur 0, 1, 3, 5, 7, 11, 15 dan 19 tahun. Model pertumbuhan tinggi total tanaman meranti menggunakan persamaan polinomial adalah $Y = 0,4957 + 0,758X + 0,0138X^2$ dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 93,78%. Nilai R^2 menunjukkan bahwa hubungan antara umur tanaman meranti dan capaian tinggi total nya sangat tinggi. Berdasarkan hasil uji validasi diperoleh nilai χ^2 hitung sebesar 2,4415 yang lebih kecil dibanding nilai tabel χ^2 (db: 7; α : 0,05) sebesar 14,1 yang mengindikasikan bahwa model pertumbuhan tinggi total menggunakan persamaan polinomial ini valid. Berdasarkan hasil uji akurasi diperoleh nilai MAPE sebesar 99,37% yang menunjukkan bahwa persamaan tersebut mempunyai akurasi

yang sangat tinggi dalam memprediksi pertumbuhan tinggi total tanaman meranti.

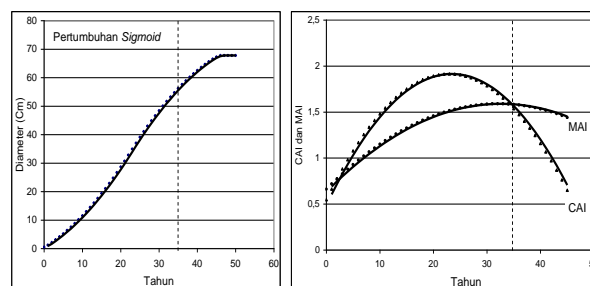


Gambar 6. Grafik pertumbuhan tinggi total tanaman meranti

Pertumbuhan tanaman secara umum akan membentuk grafik sigmoida (Bukhart, 2003; Radonja, 2003; Wahyudi dan Panjaitan 2011), yaitu pertumbuhan yang relatif lambat pada awal pertumbuhan, kemudian berangsur-angsur cepat dan mencapai puncak pada umur masak tebang sebelum akhirnya pertumbuhan tersebut kembali melambat. Kondisi semacam itu kalau digambarkan menyerupai grafik huusf S (*sigmoid*). Pada perpaduan grafik pertumbuhan, MAI dan CAI akan terlihat waktu yang paling efektif dan efisien untuk melakukan pemanenan tanaman, yaitu pada saat grafik MAI dan CAI bertemu sampai grafik CAI menyentuh garis absis (Gambar 4).

Pertumbuhan pohon merupakan fungsi dari jenis pohon, faktor genetik dan faktor luar seperti tanah dan iklim. Faktor genetik merupakan sifat bawaan yang kehadirannya bersifat acak. Perbaikan sifat genetik dapat ditempuh melalui pemuliaan pohon (*tree improvement*) seperti uji jenis (*species trial*), uji tempat tumbuh (*provenance trial*), uji ketutunan (*progeny test*) dan uji tanaman (*plant trial*), pengelolaan tegakan benih (*seed stand*), dan kebun benih (*seed garden*). Faktor tanah meliputi sifat fisik tanah, sifat kimia tanah, sifat biologi tanah, kelerengan, arah lereng (*aspect*), ketinggian tanah, dan air tanah. Faktor iklim meliputi curah hujan, sinar, suhu, kelembaban, angin dan letak geografi.

Sifat fisik tanah terdiri dari tekstur tanah dan struktur tanah. Struktur tanah meliputi agregat tanah yang menentukan tingkat kegemburan tanah. Tekstur tanah merupakan komposisi fraksi penyusun tanah, yaitu pasir, debu dan liat. Tanah yang baik mempunyai komposisi ketiganya yang seimbang. Fraksi pasir berperan untuk menjaga aerasi udara dan porositas tanah sehingga dapat menjaga kemampuan infiltrasi air dalam tanah. Fraksi liat yang bermuatan negatif berperan untuk menyimpan kation (unsur hara) tanah seperti kation Magnesium (Mg), Kalsium (Ca), Kalium (K), Natrium (Na) dan lain-lain. Kation ini dapat ditukarkan dengan ion Hidrogen (H) dari akar tanaman sehingga terjadi pertukaran kation untuk menentukan kapasitas tukar kation (KTK) tanah. Fraksi debu berperan untuk menyeimbangkan keduanya.



Gambar 7. Gambaran pertumbuhan sigmoid, MAI dan CAI untuk menentukan daur tanaman yang efisien

Merubah faktor iklim di lapangan sangat susah dan mahal sehingga antisipasi kondisi iklim sangat diperlukan dalam melakukan penanaman di lapangan. Beberapa cara dilakukan dengan pembebasan vertikal untuk mengurangi persaingan dalam mendapatkan cahaya. Cara lain seperti hujan buatan untuk meningkatkan curah hujan dalam suatu wilayah. Faktor tanah dapat dirubah dengan kegiatan pemeliharaan tanaman seperti pemupukan untuk menambah unsur hara tanah dan pendangiran tanaman untuk meningkatkan aerasi dan porositas tanah. Tindakan silvikultur seperti penyulaman diperlukan untuk meningkatkan persen hidup tanaman, perempelan untuk mengurangi respirasi organ tanaman, dan penjarangan untuk membentuk

Tabel 1. Prediksi capaian diameter, tinggi bebas cabang dan tinggi total tanaman meranti pada umur tertentu

Umur	Diameter (cm)	Tinggi bc (m)	Tinggi tot (m)	Umur	Diameter (cm)	Tinggi bc (m)	Tinggi tot (m)
0	0,6076	0,0315	0,4957	13	13,4503	7,6235	12,6819
1	0,9667	0,5183	1,2675	14	15,1718	8,3209	13,8125
2	1,4306	1,0213	2,0669	15	16,9981	9,0345	14,9707
3	1,9993	1,5405	2,8939	16	18,9292	9,7643	16,1565
4	2,6728	2,0759	3,7485	17	20,9651	10,5103	17,3699
5	3,4511	2,6275	4,6307	18	23,1058	11,2725	18,6109
6	4,3342	3,1953	5,5405	19	25,3513	12,0509	19,8795
7	5,3221	3,7793	6,4779	20	27,7016	12,8455	21,1757
8	6,4148	4,3795	7,4429	21	30,1567	13,6563	22,4995
9	7,6123	4,9959	8,4355	22	32,7166	14,4833	23,8509
10	8,9146	5,6285	9,4557	23	35,3813	15,3265	25,2299
11	10,3217	6,2773	10,5035	24	38,1508	16,1859	26,6365
12	11,8336	6,9423	11,5789	25	41,0251	17,0615	28,0707

Sumber: Data penelitian yang diolah

arsitek pohon yang silindris dan seimbang antara diameter dan tingginya serta meningkatkan riap dan produktivitas tanaman secara keseluruhan.

Berdasarkan model persamaan di atas dapat dibuat tabel prediksi pertumbuhan diameter, tinggi bebas cabang dan tinggi total tanaman meranti seperti termuat dalam Table 1, yang menunjukan capaian diameter, tinggi bebas cabang dan tinggi total tanaman meranti pada umur tertentu. Menurut para pakar silvikultur intensif, daur tanaman pada sistem TPTJ adalah 25 tahun. Berdasarkan Tabel 1 dapat diketahui bahwa pada umur 25 tahun tanaman meranti mampu mencapai diameter sebesar 41,03 cm; tinggi bebas cabang sebesar 17,06 m dan tinggi total sebesar 28,07 m. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.8/2021 menyebutkan bahwa limit diameter pohon yang dipanen pada sistem TPTJ adalah 40 cm. Dengan demikian, berdasarkan hasil pemodelan ini tanaman meranti di PT Sari Bumi Kusuma sebagian besar telah mencapai diameter 40 cm dan siap untuk dipanen pada saat mencapai siklus tebangnya

4. Kesimpulan dan Saran

4.1. Kesimpulan

Tanaman meranti di PT Sari Bumi Kusuma mempunyai model pertumbuhan diameter: $Y = 0,6076 + 0,3067X + 0,0524X^2$ ($R^2 : 94,74 \%$), model pertumbuhan tinggi bebas cabang: $Y = 0,0315 + 0,4787X + 0,0081X^2$ ($R^2 : 89,53 \%$) dan model pertumbuhan tinggi total: $Y = 0,4957 + 0,758X + 0,0138X^2$ ($R^2 : 93,78\%$). Model pertumbuhan ini mampu memprediksi capaian diameter, tinggi bebas cabang dan tinggi total pada umur tertentu.

Sistem TPTJ mempunyai siklus tebang 25 tahun dengan limit diameter pohon panen sebesar 40 cm. Berdasarkan hasil pemodelan ini, pada saat mencapai siklus tebangnya, yaitu 25 tahun, sebagian besar tanaman ini telah mencapai diameter sebesar 41,03 cm; tinggi bebas cabang sebesar 17,06 m dan tinggi total sebesar 28,07 m.

4.2. Saran

Perlu membuat model pertumbuhan tanaman yang lain, seperti model eskponensial, model normal, model Richard dan lain-lain untuk menggambarkan model pertumbuhan tanaman meranti.

Daftar Pustaka

- Abdullah, L., N. Mindawati, dan M. Yulianti. (2020). Pengembangan model-model penduga indeks tempat tumbuh dan pertumbuhan tegakan jabon (*Neolamarckia cadamba* (Roxb.)) di Hutan Rakyat. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, 17(2), 131–143.
- Bhandari, S. K., dan B. B. K. Chhetri. (2020). Individual-based modelling for predicting height and biomass of juveniles of *Shorea robusta*. *Austrian Journal of Forest Science*, 137(2), 133–160.
- Bollandsas, O. M., dan E. Naeset. (2009). Weibull models for single-tree increment of Norway spruce, Scots pine, birch and other broadleaves in Norway, Scandinavian. *Journal of Forest Research*, 24(1), 54–66.
- Burkhardt HE. 2003. Suggestion for choosing an appropriate level for modelling forest stand. In Amaro A, Reed D, Soares P, editors. *Modelling Forest System*. CABI Publishing.
- Bustomi, S., R. Imanuddin, dan N. Mindawati. (2009). Model pertumbuhan diameter dan tinggi pohon lima jenis dipterocarpaceae di hutan Penelitian Carita - Banten. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, 6(1), 19–28. <https://doi.org/10.20886/jpht.2009.6.1.19-28>
- Direktur Jenderal Pengelolaan Hutan Produksi Lestari. (2018). *Peraturan direktur jenderal pengelolaan hutan produksi lestari nomor P.12/PHL/SET/KUM.1/12/2018 tentang pedoman teknik silvikultur intensif (SILIN) meranti dalam pengelolaan hutan alam produksi. Direktur Jenderal Pengelolaan Hutan Lestari, Jakarta.*
- Dulsalam, D., S. Sukadaryati, dan Y. Yuniawati. (2018). Produktivitas, efisiensi, dan biaya penebangan silvikultur intensif pada satu perusahaan di Kalimantan Timur. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 36(1), 1–12. <https://doi.org/10.20886/jphh.2018.36.1.1-12>
- Fambayun, R. A., Istomo, dan D. E. Ramadhan. (2021). The growth performance of dipterocarps species and understorey diversity in the Gunung Dahu Research Forest, Leuwiliang, Bogor. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 914(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/914/1/012042>
- Gunawan, P., A. Muin, dan R. S. Wulandari. (2016). Uji spesies meranti (*Shorea* spp) di IUPHHK-HA PT. Suka Jaya Makmur Kabupaten Ketapang. *Jurnal Hutan Lestari*, 4(4), 543–551.
- Hadiansyah, T., Tirkaamiana, dan D. E. Mujahiddin. (2016). Analisa pertumbuhan tegakan muda meranti (*Shorea* sp.) dengan teknik silvikultur intensif (SILIN) di PT. Triwiraasta Bharata Kabupaten Kutai Barat. *Agrifor*, XV(2), 187–200.
- Hardiansyah, G. (2013). Studi pertumbuhan tanaman meranti sistem TPTJ di IUPHHK PT. SJM Kalimantan Barat. *Jurnal Hutan Tropis*, 1(1).
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2020). *Vademecum kehutanan Indonesia 2020. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Jakarta.*
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. (2021). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 8 Tahun 2021 tentang Tata Hutan dan Penyusunan Rencana Pengelolaan Hutan, serta Pemanfaatan Hutan di Hutan Lindung dan Hutan Produksi. In *Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia* (pp. 1–911).
- Kuswandi, R. (2017). Model pertumbuhan tegakan hutan alam bekas tebangan dengan sistem tebang pilih di Papua. *Jurnal Pemuliaan Tanaman Hutan*, 11(1), 197–208.

- Muin, A. (2021). Evaluasi pertumbuhan tanaman uji keturunan meranti merah (*Shorea leprosula*) umur 12 tahun di areal IUPHHK-HA PT. Erna Djuliawati Kalimantan Tengah. *Jurnal TENKAWANG*, 11(2), 87–97. <https://doi.org/10.26418/jt.v11i2.46462>
- Panjaitan, S. (2016). Pengaruh pemeliharaan terhadap pertumbuhan tanaman dan permudaan alam dalam uji efektivitas silvikultur tebang rumpang. *Jurnal Penelitian Ekosistem Dipterokarpa*, 2(1), 41–48. <https://doi.org/10.20886/jped.2016.2.1.41-48>
- Panjaitan, S., D. Lazuardi, dan B. Rahmanto. (2013). Kajian efektivitas sistem silvikultur tebang rumpang terhadap peningkatan produktifitas dan kelestarian hutan alam produksi. *Jurnal Penelitian Dipterokarpa*, 7(2), 109–122. <https://doi.org/10.20886/jped.2013.7.2.109-122>
- Radonsa PJ, Koprivica MJ, Lavadinovic VS. 2003. Modelling current annual height increment of young Douglas-fir stands at different site. In Amaro A, Reed D, Soares P, editors. *Modelling Forest System*. CABI Publishing.
- Safitri, W Wahyudi, Christopheros, 2020. DISTRIBUSI DIAMETER TANAMAN SENGON (*Paraserianthes falcataria*) SEBAGAI INDIKATOR PERTUMBUHAN NORMAL: Sengon Plant Diameter Distribution (*Paraserianthes falcataria*) as Normal ... HUTAN TROPIKA 15 (1), 43-50
- Schelhaas, M. J., G. M. Hengeveld, N. Heidema, E. Thürig, B. Rohner, G. Vacchiano, J. Vayreda, J. Redmond, J. Socha, J. Fridman, S. Tomter, H. Polley, S. Barreiro, dan G. J. Nabuurs. (2018). Species-specific, pan-European diameter increment models based on data of 2.3 million trees. *Forest Ecosystems*, 5(1), 1–19. <https://doi.org/10.1186/s40663-018-0133-3>
- Sugiyono. (1998). *Statistik untuk Penelitian*. Alfabeta, Bandung.
- Sugiyono. (2018). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. In ke-26. Alfabeta, Bandung.
- Tsai, C., L. Hung, J. Chung, S. Chen, C. Chien, dan W. Kao. (2018). Radial growth of *Cinnamomum kanehirae* Hayata displays a larger temperature sensitivity in dominant than codominant trees. *Annals of Forest Science*, 75(52), 1–11.
- Ukalska, J., dan S. Jastrzębowski. (2019). Sigmoid growth curves, a new approach to study the dynamics of the epicotyl emergence of oak. *Folia Forestalia Polonica, Series A*, 61(1), 30–41. <https://doi.org/10.2478/ffp-2019-0003>
- Veena, R., S. N. Megeri, dan S. J. Patil. (2018). Statistical models to predict the height of trees and yield of field crop in the agroforestry system. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(09), 3345–3351. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.709.415>
- W Wahyudi, S Panjaitan, 2011. Model pertumbuhan dan hasil tanaman *Shorea leprosula* pada sistem Tebang Pilih Tanam Jalur teknik SILIN. *Jurnal Penelitian Ekosistem Dipterokarpa* 5 (2)/2011, 37-46
- W 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
- Wahyudi, 2016. Performance of the High Value Native Species of *Shorea parvifolia* Planted under Invasive Species of *Acacia mangium*. *International Journal of Applied Environmental Sciences* 11 (2)/2016 Pp. 457-466
- W Wahyudi, Y Ludang, Y Wawan, 2021. Model Pertumbuhan Polinomial Tanaman Sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen) di Lahan Rawa Gambut, Kalimantan Tengah: Polynomial Growth Model of Sengon

Plant ... HUTAN TROPIKA 16 (2), 252-263

- Wardani, S., B. Basir, dan S. Bakri. (2020). Hubungan antara ukuran rumpang dan pertumbuhan diameter tanaman ulin (*Eusideroxylon zwageri* Teijsm & Binn.) di KHDTK Kintap Kecamatan Kintap Kalimantan Selatan. *Jurnal Sylva Scientiae*, 3(3), 587–593. <https://doi.org/10.20527/jss.v3i3.2193>
- Widiyatno, W., S. Soekotjo, M. Naiem, S. Hardiwinoto, dan S. Purnomo. (2011). Pertumbuhan meranti (*Shorea* spp.) pada sistem tebang pilih tanam jalur dengan teknik silvikultur intensif (TPTJ-SILIN). *Jurnal Penelitian Hutan Dan Konservasi Alam*, 8(4), 373–383. <https://doi.org/10.20886/jphka.2011.8.4.373-383>.