

I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Hutan merupakan sumber daya alam yang dapat dimanfaatkan untuk keberlangsungan kehidupan. Hutan memberikan manfaat yang dapat dirasakan secara langsung maupun tidak langsung. Manfaat hutan yang dirasakan secara tidak langsung salah satunya sebagai penyerap karbon dioksida (CO₂) dan penyedia oksigen (O₂). Penyerapan CO₂ dari atmosfer oleh vegetasi hutan terjadi melalui proses fotosintesis, yang hasilnya kemudian digunakan untuk pertumbuhan vertikal dan horizontal serta menghasilkan oksigen (Rahmawati 2017). Hasil fotosintesis salah satunya disimpan dalam bentuk biomassa. Brown (1997) menjelaskan bahwa biomassa sebagai keseluruhan jumlah materi hidup di atas permukaan pada suatu pohon yang dinyatakan dalam satuan ton berat kering per satuan luas. Biomassa hutan mencakup seluruh biomassa hidup yang ada di atas dan di bawah permukaan dari pepohonan (Sutaryo 2009).

Kemampuan hutan untuk menyerap CO₂ semakin berkurang seiring dengan berkurangnya tegakan hutan dikarenakan deforestasi dan degradasi hutan. Hal tersebut mengakibatkan suhu udara menjadi lebih panas dikarenakan konsentrasi CO₂ yang berlebih (CIFOR 2010). Peningkatan suhu permukaan bumi merupakan salah satu penyebab perubahan iklim. Pengendalian perubahan iklim dapat dilakukan dengan beberapa cara, antara lain mengurangi emisi gas rumah kaca di permukaan bumi serta melakukan peningkatan penyerapan CO₂.

Upaya untuk meningkatkan penyerapan CO₂ salah satunya dengan melakukan penanaman pohon pada areal terdegradasi. Upaya rehabilitasi areal terdegradasi, penanaman pohon sudah dilakukan oleh pengelola Hutan Pendidikan Gunung Walat (HPGW) yang berada di Sukabumi, Jawa Barat. HPGW merupakan salah satu kawasan hutan yang melaksanakan program rehabilitasi hutan melalui kerjasama dengan beberapa perusahaan multinasional, antara lain TOSO *Company* Ltd dan PT ConocoPhillips (COPHI). Program rehabilitasi hutan tersebut dilakukan sejak tahun 2009 dengan tujuan untuk meningkatkan potensi serapan karbon dioksida (HPGW 2016). Salah satu jenis pohon yang ditanam pada areal rehabilitasi adalah pinus (*Pinus merkusii*), yang dapat memberikan manfaat ekonomi kepada masyarakat sekitar dan mampu menyerap emisi CO₂ di atmosfer.

Penelitian tentang model penduga peubah tegakan pada areal rehabilitasi di HPGW sebelumnya sudah dilakukan oleh Malau (2018) pada blok COPHI dan Perdana (2017) pada blok TOSO. Namun seiring berjalannya waktu, tanaman rehabilitasi di blok TOSO dan COPHI tersebut mengalami pertumbuhan dan perkembangan, sehingga model-model penduga biomassa tegakan perlu diperbaharui agar sesuai dengan kondisi tegakan saat ini. Hal tersebut mendorong peneliti untuk melakukan penelitian tentang model penduga biomassa tegakan di areal rehabilitasi untuk menentukan model penduga biomassa tegakan yang sesuai dengan kondisi sekarang.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah memperoleh model-model penduga biomassa tegakan pinus pada areal rehabilitasi HPGW.

1.3 Manfaat Penelitian

Model-model penduga biomassa tegakan dari hasil penelitian ini dapat digunakan oleh pengelola HPGW untuk memperoleh informasi cadangan biomassa yang tersimpan pada tegakan pinus di areal rehabilitasi TOSO dan COPHI di HPGW.

II METODE

2.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada blok rehabilitasi TOSO *Company Ltd* dan PT ConocoPhillips (COPHI) di areal HPGW. Penelitian ini dilakukan pada bulan Maret hingga April 2020. Secara geografis kawasan HPGW terletak pada $6^{\circ}53'35''$ – $6^{\circ}55'10''$ LS dan $106^{\circ}47'50''$ – $106^{\circ}51'30''$ BT dengan ketinggian 420–726 mdpl. Klasifikasi iklim Schmidt dan Ferguson (1951) menunjukkan bahwa HPGW termasuk kedalam iklim tipe B dengan curah hujan tahunan mencapai 1600–4000 mm dan suhu udara maksimum di siang hari 29°C sedangkan pada malam hari 19°C (HPGW 2016). Blok TOSO merupakan areal rehabilitasi yang ditanami oleh jenis pinus dan sebagian kecil lainnya agathis. Adapun blok COPHI merupakan areal rehabilitasi yang terletak di selatan HPGW yang ditanami oleh jenis pinus.

2.2 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam pengambilan data di lapangan adalah tambang, patok, pita ukur, meteran jahit, GPS (*Global Positioning System*), *Laser hypsometer* (merk *Nikon Forestry*), alat tulis, kalkulator, golok/parang, dan *tally sheet*. Alat yang digunakan dalam analisis data adalah laptop yang dilengkapi dengan *ArcGIS 10.3*, *Minitab 17*, *IBM SPSS 25*, dan *Microsoft Office 2016*. Bahan yang digunakan dalam kegiatan penelitian adalah tegakan pada blok rehabilitasi TOSO dan COPHI di HPGW.

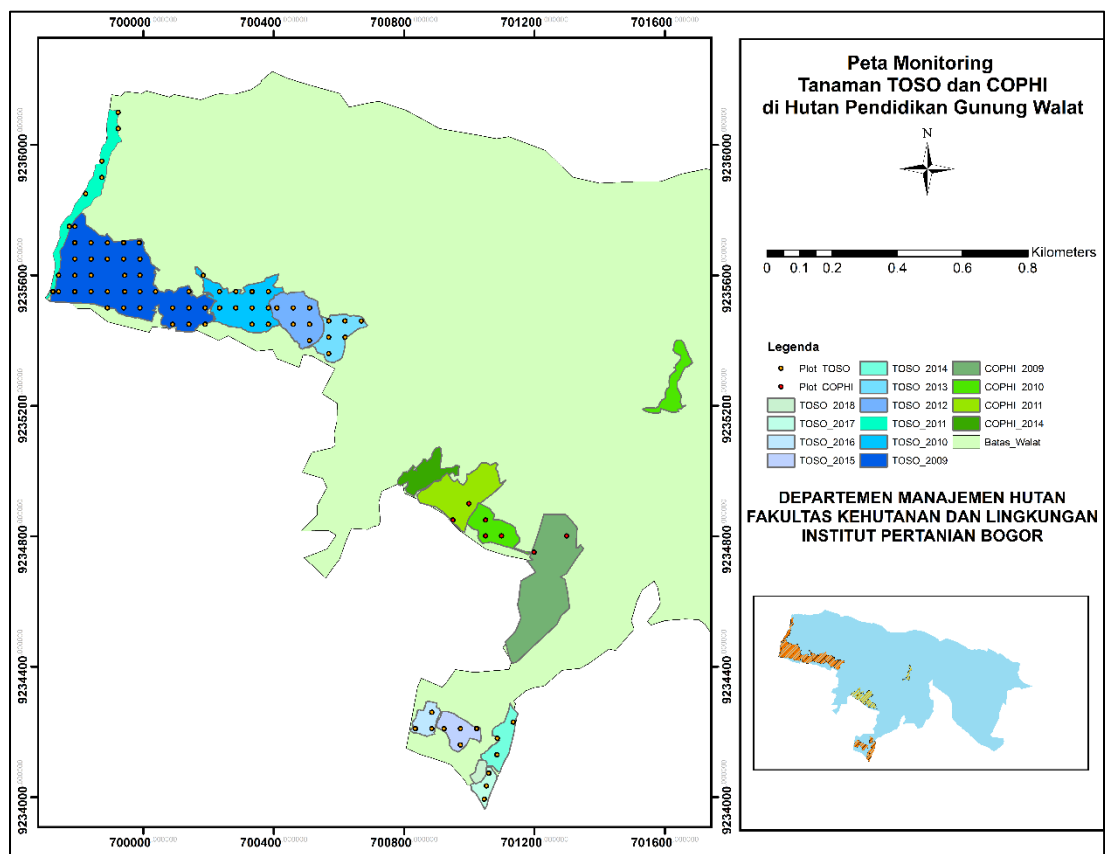
2.3 Jenis Data

Data utama yang dikumpulkan secara langsung di lapangan adalah nama jenis pohon, diameter pohon, dan tinggi total pohon pada areal rehabilitasi blok TOSO dan COPHI. Data penunjang yang dikumpulkan adalah peta kawasan HPGW dan dokumen-dokumen tentang pengelolaan HPGW.

2.4 Tahapan Pengumpulan Data

2.4.1 Pembuatan Rancangan Penarikan Contoh (*Sampling*)

Rancangan *sampling* dibuat pada peta blok TOSO dan COPHI menggunakan metode *stratified systematic plot sampling with random start*. Stratifikasi tegakan pada areal rehabilitasi TOSO dan COPHI dilakukan berdasarkan tahun tanam. Blok TOSO dan COPHI seluas 29,01 ha dibagi kedalam tahun tanam 2009 sampai dengan 2018, akan tetapi pada tahun tanam 2009 pohon agathis mengalami banyak kematian sehingga dilakukan penyulaman dengan jenis pinus pada tahun 2012. Blok COPHI dibagi kedalam 4 strata, yaitu tahun 2009, 2010, 2012 dan 2014. Plot contoh yang digunakan dalam penelitian ini adalah plot lingkaran seluas 0,04 ha atau dengan jari-jari 11,28 m. Total plot contoh sebanyak 60 plot yang ditempatkan secara sistematis dengan jarak antar plot sejauh 50 m. Sebaran plot contoh pada areal rehabilitasi TOSO dan COPHI dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Peta sebaran plot contoh pada blok TOSO dan COPHI

2.4.2 Pengukuran di Lapangan

Pada setiap plot contoh dilakukan pencatatan nama jenis pohon serta pengukuran diameter dan tinggi pohon. Pengukuran diameter pohon yang memiliki ketinggian lebih dari 1,5 m diukur pada ketinggian dbh setinggi 1,3 m di atas tanah dan untuk pohon dengan tinggi kurang dari 1,5 m diukur pada ketinggian 20 cm (Tiryana dan Muhdin, 2012). Tinggi pohon yang diukur adalah tinggi total pohon berdiri, dari mulai pangkal hingga ujung pohon.

2.5 Perhitungan Peubah Tegakan

Data hasil pengukuran di lapangan dianalisis untuk menentukan nilai-nilai peubah tegakan, yaitu: umur tegakan (A , tahun), diameter tegakan (D , cm), tinggi tegakan (H , m), kerapatan tegakan (N , pohon/ha), luas bidang dasar tegakan (G , m²/ha), dan biomassa tegakan (W , ton/ha). Penentuan umur tegakan ditentukan berdasarkan areal tahun tanamnya. Kemudian data diameter dan tinggi tegakan didapat dari menghitung rata-rata diameter dan tinggi pohon setiap tahun tanam. Peubah kerapatan tegakan, luas bidang dasar tegakan dan biomassa tegakan secara rinci dihitung sebagai berikut:

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

2.5.1 Kerapatan tegakan

Kerapatan tegakan dihitung dari hasil pembagian jumlah pohon pada setiap tegakan dengan luas plot contoh lingkaran (0,04 ha).

$$N = \frac{\sum n}{a}$$

Keterangan :

N = Kerapatan tegakan (pohon/ha)

$\sum n$ = Jumlah pohon setiap plot

a = Luas plot contoh (0,04 ha)

2.5.2 Luas bidang dasar tegakan per hektar

Luas bidang dasar tegakan dihitung berdasarkan luas penampang melintang dari diameter batang setinggi dada yang mempunyai tinggi 1,3 m dari permukaan tanah pada pohon dalam suatu plot contoh. Luas bidang dasar pohon dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$g = \frac{1}{4} \pi d^2$$

Keterangan :

g = Luas bidang dasar pohon (m²)

π = Konstanta (3,14)

d = Diameter pohon (cm)

Selanjutnya, dihitung luas bidang dasar tegakan dengan cara menjumlahkan luas bidang dasar tiap individu pohon dalam satu plot kemudian dibagi dengan luas plot (Hardjosoediro 1974). Luas bidang dasar tegakan dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$G = (\sum_{i=1}^n g_i) / a$$

Keterangan :

G = Luas bidang dasar tegakan (m²/ha)

g_i = Luas bidang dasar pohon ke-i

a = Luas plot contoh (0,04 ha)

2.5.3 Biomassa tegakan

Biomassa pohon pada setiap plot contoh dihitung menggunakan rumus alometrik sebagai berikut:

2.6

Penyusunan Model

Pola hubungan antar peubah tegakan dianalisis dengan menggunakan diagram pencar (*scatter plot*). Data peubah tegakan pada plot-plot contoh ditampilkan dalam *scatter plot*. Bentuk penyebaran data pada *scatter plot* digunakan untuk melihat apakah sebaran data mengikuti pola linear atau non linear.

Hasil identifikasi pola sebaran data dari *scatter plot* selanjutnya digunakan untuk menentukan bentuk model yang tepat digunakan. Adapun bentuk model-model regresi yang dianalisis adalah:

- Y = a+ Bx (M1)
- Y = a(exp(bX)) (M2)
- Y = exp(a + bX) (M3)
- Y = X / (a+bX) (M4)
- Y = a(exp(b/X)) (M5)
- Y = aXb (M6)
- Y = a+(b ln(X)) (M7)
- Y = a(1-exp(-X/b)) (M8)
- Y = a+bX₁+cX₂ (M9)
- Y = aX₁^bX₂^c (M10)

Keterangan:

- Y = peubah biomassa tegakan
- a,b,c = parameter model
- X = peubah bebas/penduga (umur, diameter, tinggi, kerapatan, dan bidang dasar tegakan)

Pemilihan model terbaik dilakukan berdasarkan kriteria koefisien determinasi (R²) dan *Root Mean Square Error* (RMSE) menggunakan perangkat lunak *Minitab 16* dan *IBM SPSS 24*. Koefisien determinasi (R²) merupakan perbandingan antara jumlah kuadrat sisaan (JKS) dengan jumlah kuadrat total (JKT). Nilai R² menggambarkan besarnya persentase keragaman peubah tak bebas (Y) yang dapat dijelaskan oleh peubah bebas (X) melalui persamaan regresi. Apabila nilai R² semakin besar, maka model tersebut

$$W = 0,0844 DBH^{2,448} \text{ (Utomo 2020)}$$

Keterangan:

- W = Biomassa pohon (kg/pohon)
- DBH = Diameter setinggi dada (cm)

Biomassa tegakan dihitung dari penjumlahan biomassa tiap individu pohon dalam satu plot dibagi dengan luas plot (0,04 ha) dengan rumus sebagai berikut:

$$W = (\sum_{i=1}^n w_i) / a$$

Keterangan:

- W = Biomassa tegakan (ton/ha)
- W_i = Biomassa pohon
- a = Luas plot contoh (0,04 ha)

semakin sesuai dengan datanya. Koefisien determinasi terkoreksi (R^2 adj) dihitung menggunakan rumus (Draper dan Smith 1992):

$$R^2_{adj} = 1 - \frac{(JKS)/(n - p)}{(JKT)/(n - 1)} \times 100\%$$

Root Mean Square Error (RMSE) menunjukkan ketepatan model yang berhubungan erat dengan besar kecilnya ragam yang dihasilkan dari model. Simon (2007) menyatakan bahwa ketepatan atau kecermatan dapat diartikan “kedekatan” dengan sesuatu yang ingin dituju, hal tersebut dapat berkaitan dengan keberhasilan penaksiran suatu nilai dengan nilai sebenarnya. Semakin besar nilai RMSE maka ketepatan model akan semakin kecil dan semakin kecil nilai RMSE maka ketepatan model akan semakin besar. Nilai RMSE dihitung menggunakan rumus:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - p}}$$

Keterangan :

RMSE = akar kuadrat tengah sisa

Y_i = peubah tegakan pada plot ke- i

\hat{y}_i = nilai dugaan dimensi peubah tegakan pada plot ke- i

n = jumlah plot contoh

p = jumlah parameter model



III HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Tegakan Pinus

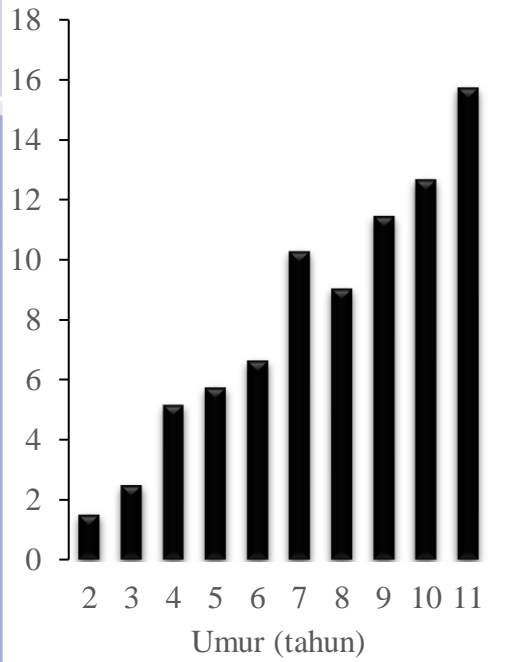
Tegakan pinus di areal rehabilitasi TOSO dan COPHI, yang berumur 2–11 tahun secara umum mengalami pertumbuhan diameter dan tinggi seiring bertambahnya umur. Semakin tua umur tanaman maka rata-rata diameter dan tinggi tanaman semakin besar (Gambar 2a dan 2b, Lampiran 1) sebagai contoh, rata-rata diameter dan tinggi tegakan umur 8 tahun lebih rendah dibandingkan dengan tegakan umur 9 tahun. Akan tetapi penambahan ukuran diameter dan tinggi tidak hanya dipengaruhi oleh umur, melainkan juga oleh faktor-faktor lain seperti: jenis dan genetik (Finkeldey 1989 & Hani'in 1999), lingkungan atau tempat tumbuh (Fisher & Binkley 2001), dan teknik silvikultur (Coates & Philip 1997; Halle *et al.* 1978). Tegakan pinus di areal rehabilitasi TOSO tidak diberi perlakuan penjarangan, sehingga pertumbuhan tegakan kurang optimal jika dibandingkan dengan tegakan yang diberi perlakuan penjarangan. Tegakan pinus pada umur 5 tahun di areal rehabilitasi TOSO memiliki rata-rata diameter (5,72 cm) dan tinggi (6,18 m) yang lebih kecil (selisih 1–2 cm) dibandingkan dengan kondisi tegakan normal pada bonita II (rata-rata diameter 4,97 cm dan tinggi 4,55 m) (Suharlan *et al.* 1975). Temuan serupa juga dilaporkan oleh Perdana (2017) bahwa pada umur 5 tahun tegakan pinus di areal rehabilitasi TOSO tersebut memiliki ukuran rata-rata diameter (4,97 cm) dan tinggi (4,55 m) yang lebih rendah dibandingkan dengan kondisi tegakan normal (Suharlan *et al.* 1975).

Nilai rata-rata bidang dasar tegakan cukup beragam pada setiap umur tegakan (Gambar 2c dan Lampiran 1). Tegakan pinus umur 5 tahun memiliki rata-rata bidang dasar yang paling kecil (1,34 m²/ha), sedangkan umur tegakan 10 tahun memiliki rata-rata bidang dasar paling besar (6,50 m²/ha). Nilai bidang dasar dipengaruhi oleh kerapatan tegakan (Siahaan 2013). Areal rehabilitasi HPGW ditanam dengan jarak tanam berbeda-beda sesuai dengan ketersediaan lahan pada setiap tahun tanamnya dan tidak diberi perlakuan penjarangan. Akibatnya, kerapatan tegakan cenderung bervariasi dan tidak mengikuti pola umum di hutan tanaman, dimana umumnya tegakan tua memiliki kerapatan lebih rendah karena dijarangi agar pertumbuhan tegakan menjadi optimal. Menurut (Davis dan Johnson, 1987) tindakan manajemen yang mengurangi kerapatan tegakan (penjarangan) sampai tingkat tertentu akan mengakibatkan meningkatnya laju pertumbuhan

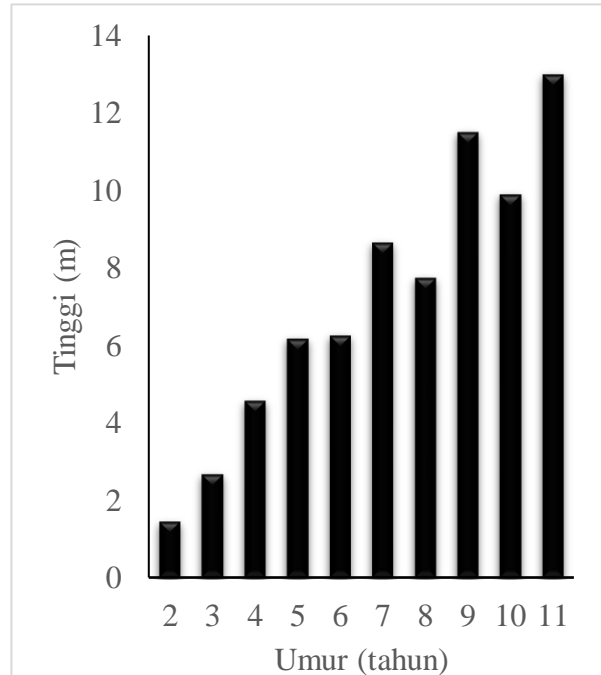
Biomassa tegakan mengalami peningkatan seiring pertambahan umur tegakan (Gambar 2d dan Lampiran 1). Hal ini sesuai dengan pernyataan Langi (2011) bahwa biomassa akan meningkat sampai umur tertentu, kemudian pertambahan akan semakin menurun sampai akhirnya pohon tersebut mati atau ditebang. Akan tetapi, rata-rata biomassa tegakan umur 11 tahun (15,60 ton/ha) lebih rendah daripada tegakan umur 10 tahun (23,29 ton/ha), karena kerapatan tegakan (jumlah pohon per hektar) pada umur 11 tahun relatif lebih rendah daripada tegakan umur 10 tahun. Hal ini sesuai dengan pernyataan Kusmana (1993) dimana biomassa tegakan dipengaruhi oleh faktor komposisi tegakan, struktur tegakan, umur tegakan, iklim (misalnya curah hujan), dan sejarah perkembangan vegetasi.

@Hak_cipta_milikinya_IPB_University

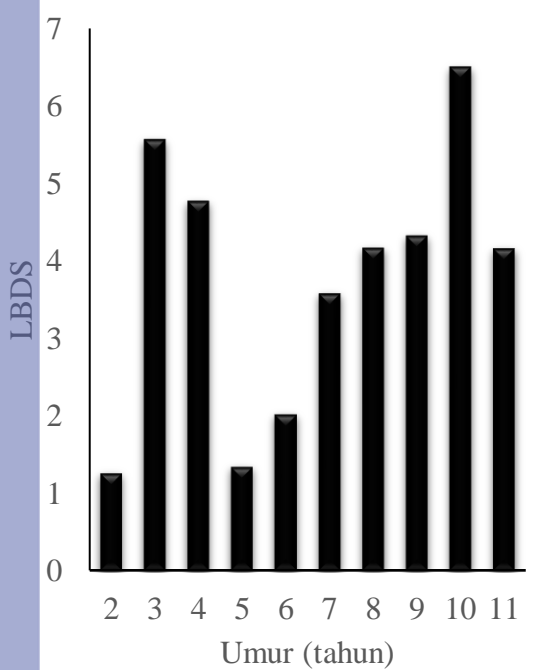
@Hak cipta milik IPB University



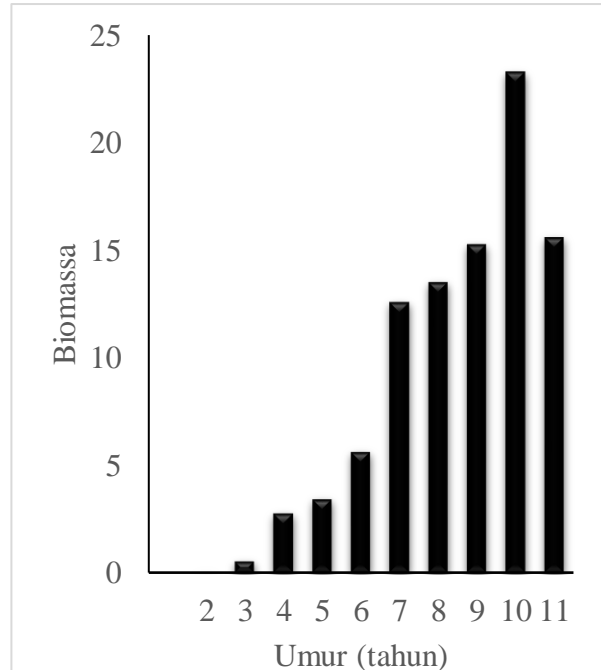
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 2 Hubungan antara umur dengan rata-rata diameter tegakan pinus (a), umur dengan rata-rata tinggi tegakan pinus (b), umur dengan rata-rata luas bidang dasar tegakan pinus (c), umur dengan rata-rata biomassa tegakan pinus (d)

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

3.2 Model Penduga Biomassa

Model-model penduga biomassa tegakan pinus dengan satu dan dua peubah bebas memiliki nilai-nilai koefisien determinasi (R^2) dan RMSE yang berbeda-beda (Tabel 1 dan Lampiran 2). Model penduga biomassa yang menggunakan peubah bebas diameter memiliki nilai R^2 sebesar 77,5% dan nilai RMSE sebesar 4,45 ton/ha (Tabel 1). Model-model penduga biomassa yang menggunakan peubah bebas umur, tinggi, atau bidang dasar tegakan memiliki nilai R^2 secara berturut-turut sebesar 88,1%, 47,6% dan 70,6% dengan nilai RMSE secara berturut-turut sebesar 7,39 ton/ha, 6,80 ton/ha, dan 5,09 ton/ha (Tabel 1). Nilai R^2 dan RMSE menunjukkan bahwa model penduga biomassa terbaik yang menggunakan satu peubah bebas adalah model M5 yang menggunakan peubah bebas diameter tegakan, karena model tersebut memiliki nilai R^2 tertinggi dan RMSE terendah. Sembiring (1995) menunjukkan bahwa pemilihan model terbaik adalah model yang memiliki nilai R^2 yang paling besar (mendekati 100%) dan nilai RMSE yang paling kecil.

Model penduga biomassa tegakan yang menggunakan kombinasi 2 peubah bebas juga memiliki koefisien determinasi dan RMSE yang berbeda-beda (Tabel 1 dan Lampiran 2). Model penduga biomassa dengan dua peubah bebas yang memiliki nilai R^2 tertinggi (89,9%) dan RMSE terendah (3,02 ton/ha) adalah model M10 dengan peubah bebas umur dan bidang dasar tegakan. Model M4 dengan peubah bebas bidang dasar tegakan memiliki nilai RMSE sebesar 5,09 ton/ha, sedangkan model M10 dengan peubah bebas umur dan bidang dasar tegakan memiliki nilai RMSE sebesar 3,02 ton/ha. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan peubah bebas umur berpengaruh terhadap pendugaan biomassa tegakan di areal rehabilitasi HPGW sehingga kesalahan (*error*) pendugaannya juga berkurang. Hal ini berbeda dengan penelitian Perdana (2017), dimana penambahan variabel peubah bebas umur menyebabkan kesalahan (*error*) menjadi lebih tinggi (1,01 ton/ha) dibandingkan model terpilih yang hanya menggunakan peubah bebas luas bidang dasar tegakan 0,99 ton/ha.

Kriteria nilai R^2 dan RMSE menunjukkan bahwa model M10 merupakan model penduga terbaik daripada model M5, karena model M10 memiliki nilai R^2 yang lebih tinggi dan nilai RMSE yang lebih rendah daripada model M5. Nilai R^2 dari model M10 sebesar 89,9% memiliki arti bahwa peubah bebas umur dan luas bidang dasar tegakan dapat menjelaskan keragaman biomassa tegakan sebesar 89,9%, sedangkan sisanya (10,1%) disebabkan oleh faktor-faktor lain yang tidak tercakup dalam model. Oleh karena itu, model M10 lebih disarankan untuk digunakan dalam pendugaan biomassa tegakan pinus di areal rehabilitasi HPGW. Akan tetapi, apabila data umur dan bidang dasar tegakan tidak tersedia maka alternatifnya adalah menggunakan model M5. Walaupun tingkat keakuratan model M5 lebih rendah daripada model M10, namun model M5 tersebut lebih praktis digunakan untuk menduga biomassa tegakan pinus di areal rehabilitasi HPGW karena hanya memerlukan data diameter tegakan yang lebih mudah diukur dibandingkan dengan data luas bidang dasar tegakan pada model M10.

Tabel 1 Rekapitulasi model-model penduga biomassa tegakan pinus di areal rehabilitasi HPGW

Variabel	Model	Parameter		SE	RMSE	R ²
A	M5	b ₀	72,66	28,86	7,39	38,1%
		b ₁	-13,30	3,28		
D	M5	b ₀	72,62	11,40	4,45	77,5%
		b ₁	-17,14	1,92		
H	M5	b ₀	45,19	10,12	6,80	47,6%
		b ₁	-10,86	2,18		
G	M4	b ₀	0,46	0,06	5,09	70,6%
		b ₁	-0,02	0,01		
AD	M9	b ₀	-6,20	2,16	4,61	76,3%
		b ₁	-0,17	0,42		
		b ₂	2,04	0,21		
AH	M9	b ₀	-7,96	3,21	6,90	46,9%
		b ₁	1,31	0,63		
		b ₂	1,19	0,38		
AG	M10	b ₀	0,38	0,11	3,02	89,9%
		b ₁	0,95	0,13		
		b ₂	1,10	0,09		
AN	M10	b ₀	0,07	0,09	7,24	41,6%
		b ₁	1,74	0,38		
		b ₂	0,28	0,16		
HD	M9	b ₀	-5,92	1,56	4,53	77,1%
		b ₁	2,28	0,25		
		b ₂	-0,45	0,29		
HG	M9	b ₀	-7,92	1,45	4,09	81,3%
		b ₁	1,06	0,17		
		b ₂	2,76	0,25		

A : Umur, D : Diameter, H : Tinggi, G : Bidang Dasar Tegakan, N : Kerapatan Tegakan

IV SIMPULAN DAN SARAN

4.1 Simpulan

Model terpilih penduga biomassa tegakan pinus pada areal rehabilitasi Hutan Pendidikan Gunung Walat (HPGW) adalah $W = 0.38 A^{0.953} G^{1.10}$ dengan nilai R^2 sebesar 89,9% dan RMSE sebesar 3,02 ton/ha. Apabila data umur dan luas bidang dasar tegakan tidak tersedia, alternatifnya menggunakan model $W = 72,62(\exp(-7,14/D))$ dengan nilai R^2 sebesar 77,5% dan RMSE sebesar 4,45ton/ha.

4.2 Saran

Model penduga biomassa tegakan dari hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai alat bantu dalam kegiatan monitoring perkembangan biomassa dan cadangan karbon pada areal rehabilitasi TOSO dan COPHI di HPGW. Penelitian selanjutnya perlu dilakukan untuk menyusun model-model penduga peubah biomassa tegakan dengan mempertimbangkan kualitas tempat tumbuh dan berdasarkan data pengamatan pada plot-plot ukur permanen.

DAFTAR PUSTAKA

- [CIFOR] Center For International Forestry Research. 2010. *REDD: Apakah Itu? Pedoman CIFOR tentang Hutan, Perubahan Iklim dan REDD*. Bogor (ID): CIFOR.
- [HPGW] Hutan Pendidikan Gunung Walat. 2016. Hutan Pendidikan Gunung Walat Fakultas Kehutanan dan Lingkungan Institut Pertanian Bogor. [diunduh 2020 Nov 14]. <http://www.gunungwalat.ipb.ac.id/tentang-kami/kondisi-umum>.
- Brown S. 1997. *Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forest. A Primer. Paper*. FAO. USA. FAO Forestry Paper No.134.
- Coates K D, Philip J B. 1997. A gap-based approach for development of silvicultural system to address ecosystem management objectives. *Journal Forest Ecology and Management*. 99 (1997) : 337-35.
- Davis, L S, K N. Johnson. 1987. *Forest Management*. McGraw-Hill Book Co. New York.
- Finkeldey R. 1989. *An Introduction to Tropical Forest Genetic*. Germany (DE) : Institute of Forest Genetics and Forest Tree Breeding, Goettingen, Germany.
- Fisher R F, Binkley. 2000. *Ecology and Management of Forest Soil*. Third Edition. New York (US) : John Wiley & Sons, Inc.
- Halle F, Oldeman R A A, Tomlinson P B. 1978. *Tropical Trees and Forest, An Architectural Analysis*. New York (US) : Springer Verlag Berlin-Heidelberg 45
- Hardjosoediro S. 1974. *Kelas Hutan*. Yogyakarta (ID): Fakultas Kehutanan Universitas Gadjah Mada.
- Hani'in O. 1999. Pemuliaan pohon hutan Indonesia menghadapi tantangan abad 21. Dalam Hardiyanto EB, editor. *Prosiding Seminar Nasional Status Silvikultur 1999. Peluang dan Tantangan Menuju Produktifitas dan Kelestarian Sumberdaya Hutan Jangka Panjang*. Yogyakarta (ID) : Fakultas Kehutanan UGM.
- Kusmana C. 1993. A Study of mangrove forest management base and ecological data in East Sumatera, Indonesia [Doctoral Thesis]. Japan : Kyoto University. Faculty of Agricultural.
- Langi Y A R. 2011. Model penduga biomassa dan karbon pada tegakan hutan rakyat cempaka (*Elmerrilli ovalis*) dan wasian (*Elmerrillia celebica*) di Kabupaten Minahasa Sulawesi Utara. [tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Perdana F I. 2017. Model Penduga Peubah Tegakan Pinus pada Areal Rehabilitasi Toso di Hutan Pendidikan Gunung Walat [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Rahmawati Z W. 2017. Pendugaan cadangan karbon pada tegakan rehabilitasi di Hutan Pendidikan Gunung Walat, Sukabumi [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Sembiring R K. 1995. *Analisis Regresi*. Bandung (ID): ITB

- Siahaan H. 2013. Perbaikan praktek-praktek silvikultur pada pengelolaan hutan rakyat di Sumatera Bagian Selatan. *Prosiding Seminar Hasil Penelitian. Balai Penelitian Kehutanan Palembang: 2 Oktober 2013*. Palembang: 111-115.
- Simon H. 2007. *Metode Inventore Hutan*. Yogyakarta (ID): Aditya Media.
- Sutaryo D. 2009. *Perhitungan Biomassa: Sebuah Pengantar Untuk Studi Karbon dan Perdagangan Karbon*. Bogor(ID): Wetlands International Indonesia Programme.
- Firyana T, Muhdin. 2012. *Teknik Pendugaan Potensi Serapan Karbon Dioksida (CO₂) pada Areal Revegetasi*. Bogor (ID): Departemen Manajemen Hutan. Fakultas Kehutanan. Institut Pertanian Bogor.
- Utomo Y. 2020. Model alometrik biomassa pohon pinus di areal rehabilitasi Hutan Pendidikan Gunung Walat (HPGW), Sukabumi, Jawa Barat [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.

@Hak Cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Nilai statistik peubah diameter tegakan pinus

Umur (tahun)	Rata-rata (cm)	Minimal (cm)	Maksimal (cm)	Simpangan baku	CV (%)
2	1,51	1,51	1,51	-	-
3	2,48	2,15	2,68	0,29	12%
4	5,16	3,63	6,94	1,67	32%
5	5,72	4,44	7,41	1,14	20%
6	6,62	4,95	8,81	1,47	22%
7	10,25	4,56	16,45	3,38	33%
8	9,01	5,95	11,43	2,60	29%
9	11,43	4,39	15,94	3,37	29%
10	12,65	9,72	19,05	4,00	32%
11	15,70	15,29	16,11	0,58	4%

Lampiran 2 Nilai statistik peubah tinggi tegakan pinus

Umur (tahun)	Rata-rata (m)	Minimal (m)	Maksimal (m)	Simpangan baku	CV (%)
2	1,46	1,46	1,46	-	-
3	2,67	2,52	2,76	0,12	5%
4	4,58	4,00	5,09	0,55	12%
5	6,18	5,00	8,44	1,37	22%
6	6,26	5,55	7,34	0,69	11%
7	8,66	4,00	12,54	2,34	27%
8	7,76	5,12	9,72	1,79	23%
9	11,51	4,97	18,50	3,84	33%
10	9,91	8,20	11,33	1,32	13%
11	13,00	12,18	13,82	1,16	9%

Lampiran 3 Nilai statistik peubah bidang dasar tegakan pinus

Umur (tahun)	Rata-rata (m ² /ha)	Minimal (m ² /ha)	Maksimal (m ² /ha)	Simpangan baku	CV (%)
2	1,26	1,26	1,26	-	-
3	5,57	6,49	4,31	1,13	20%
4	4,77	5,55	4,02	0,77	16%
5	1,34	2,50	0,91	0,66	49%
6	2,02	3,92	1,08	1,02	50%
7	3,58	7,29	0,09	2,65	74%
8	4,17	6,30	1,50	1,73	42%
9	4,33	7,95	0,73	1,91	44%
10	6,50	9,54	4,88	1,89	29%
11	4,16	5,18	3,13	1,45	35%

Lampiran 4 Nilai statistik peubah biomassa tegakan pinus

Umur (tahun)	Rata-rata (ton/ha)	Minimal (ton/ha)	Maksimal (ton/ha)	Simpangan baku	CV (%)
2	0,02	0,02	0,02	-	-
3	0,53	0,47	0,61	0,08	15%
4	2,75	1,17	5,13	2,10	76%
5	3,42	2,08	7,06	2,07	61%
6	5,61	2,56	11,49	3,30	59%
7	12,59	0,23	26,76	9,89	79%
8	13,52	4,54	21,81	6,27	46%
9	15,26	1,66	30,90	7,80	51%
10	23,29	15,13	39,25	9,66	41%
11	15,60	11,92	19,29	5,21	33%

@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Lampiran 5 Model penduga peubah biomassa tegakan satu peubah

Variabel	Model	Parameter		SE	RMSE	R ²
A	M1	b0	-8.31	3.45	9.81	37,6%
		b1	2.744	0.464		
	M2	b0	2.18	0.92	7.64	33,9%
		b1	0.22	0.05		
	M3	b0	0.78	0.42	7.64	33,9%
		b1	0.22	0.05		
	M4	b0	0.78	0.42	7.64	35,2%
		b1	0.22	0.05		
	M5	b0	72.66	28.86	7.39	38,1%
		b1	-13.30	3.28		
	M6	b0	0.36	0.31	7.47	36,6%
		b1	1.74	0.40		
	M7	b0	-18.88	5.47	7.56	35,1%
		b1	15.77	2.81		
D	M1	b0	-6.83	1.46	27.56	76,2%
		b1	1.98	0.15		
	M2	b0	2.79	0.53	5.18	69,9%
		b1	0.14	0.01		
	M3	b0	1.02	0.19	5.18	69,9%
		b1	0.14	0.01		
	M4	b0	1.15	0.14	4.84	73,5%
		b1	-0.03	0.01		
	M5	b0	72.62	11.40	4.45	77,5%
		b1	-17.14	1.92		
	M6	b0	0.31	0.13	4.66	75,4%
		b1	1.60	0.16		
	M7	b0	-18.08	2.89	5.51	65,6%
		b1	14.03	1.34		
H	M1	b0	-3.35	2.41	17.33	42,8%
		b1	1.767	0.268		
	M2	b0	4.79	1.13	7.75	31,8%
		b1	0.10	0.02		
	M3	b0	1.57	0.24	7.75	31,8%
		b1	0.10	0.02		
	M4	b0	0.70	0.17	7.22	41%
		b1	0.001	0.01		
	M5	b0	45.19	10.12	6.80	47,6%
		b1	-10.86	2.18		

Lampiran 5 Model penduga peubah biomassa tegakan satu peubah (*lanjutan*)

Variabel	Model	Parameter	SE	RMSE	R ²	
G	M6	b ₀	1.12	0.57	7.20	41,2%
		b ₁	1.10	0.21		
	M7	b ₀	-14.97	3.96	7.00	44,4%
		b ₁	13.02	1.91		
	M1	b ₀	-1.53	1.33	14.44	67,8%
		b ₁	3.384	0.302		
	M2	b ₀	3.63	0.58	5.28	68,4%
		b ₁	0.26	0.02		
	M3	b ₀	1.29	0.16	5.28	68,4%
		b ₁	0.26	0.02		
	M4	b ₀	0.46	0.06	5.09	70,6%
		b ₁	-0.02	0.01		
	M6	b ₀	1.76	0.52	5.17	69,7%
		b ₁	1.32	0.16		
M7	b ₀	4.30	1.27	6.70	49,2%	
	b ₁	6.80	0.91			

Lampiran 6 Model penduga peubah biomassa tegakan dua peubah

Variabel	Model	Parameter	SE	RMSE	R ²	
A.D	M9	b ₀	-6.20	2.16	4.61	76,3%
		b ₁	-0.17	0.42		
		b ₂	2.04	0.21		
A.H	M9	b ₀	-7.96	3.21	6.90	46,9%
		b ₁	1.31	0.63		
		b ₂	1.19	0.38		
A.G	M9	b ₀	-13.03	1.78	3.75	84,3%
		b ₁	1.86	0.24		
		b ₂	2.91	0.22		
A.N	M9	b ₀	-11.99	4.18	7.33	40,1%
		b ₁	2.79	0.46		
		b ₂	0.01	0.01		
H.D	M9	b ₀	-5.92	1.56	4.53	77,4%
		b ₁	2.28	0.25		
		b ₂	-0.45	0.29		
H.G	M9	b ₀	-7.92	1.45	4.09	81,3%
		b ₁	1.06	0.17		
		b ₂	2.76	0.25		

@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Lampiran 6 Model penduga biomassa tegakan dua peubah (*lanjutan*)

Variabel	Model	Parameter		SE	RMSE	R2
G.N	M9	b ₀	1.00	1.82	5.15	70,4%
		b ₁	3.57	0.31		
		b ₂	-0.01	0.00		
A.D	M10	b ₀	0.35	0.18	4.69	75,5%
		b ₁	-0.14	0.28		
		b ₂	1.65	0.19		
A.H	M10	b ₀	0.41	0.32	7.02	45,1%
		b ₁	0.88	0.44		
		b ₂	0.75	0.26		
A.G	M10	b₀	0.38	0.11	3.02	89,9%
		b₁	0.95	0.13		
		b₂	1.10	0.09		
A.N	M10	b ₀	0.07	0.09	7.24	41,6%
		b ₁	1.74	0.38		
		b ₂	0.28	0.16		
H.D	M10	b ₀	0.38	0.16	4.59	77,1%
		b ₁	1.79	0.18		
		b ₂	-0.29	0.18		
H.G	M10	b ₀	0.43	0.12	3.10	89,3%
		b ₁	0.68	0.09		
		b ₂	1.27	0.10		
G.N	M10	b ₀	21.71	18.52	4.86	73,3%
		b ₁	1.35	0.14		
		b ₂	-0.42	0.14		



RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Cahya Maulana Budi Dharma dilahirkan pada tanggal 14 Juli 1998 di Pinang Ranti, Jakarta Timur. Penulis merupakan anak tunggal dari pasangan Bapak Waluya Martha dan Ibu Krisna Dewi S.E. Penulis menyelesaikan pendidikan dasar di SDN Makasar 06 pagi pada tahun 2010, pendidikan menengah pertama di SMP Negeri 20 Jakarta dan lulus pada tahun 2013, serta pendidikan menengah atas di SMA Negeri 93 Jakarta dan lulus pada tahun 2016. Penulis diterima di Institut Pertanian Bogor pada tahun 2016 melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN) di Departemen Manajemen Hutan Fakultas Kehutanan.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di organisasi kemahasiswaan Himpunan Profesi Manajemen Hutan (*Forest Management Students' Club*) sebagai anggota divisi MIC (*media information and communication*) pada periode (2018-2019), Anggota Divisi medis RIUNG (2018), Anggota Divisi dana usaha *National Environomic and Social Talk* 2018-2019 (Program Kerja FMSC). Selain menuntut ilmu dan praktek didalam kampus, penulis pernah melaksanakan praktek diluar kampus antara lain Praktek Umum Kehutanan (PUK) tahun 2018 di Baturaden-Cilacap dan di Hutan Pendidikan Gunung Walat (HPGW), dan Kuliah Kerja Nyata (KKN) tahun 2019 di Desa Perbawati, Kecamatan Sukabumi, Kabupaten Sukabumi guna mengamalkan ilmu yang telah didapat selama masa perkuliahan di Institut Pertanian Bogor kepada masyarakat.

Penulis menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Model Penduga Biomassa Tegakan Pinus di Areal Rehabilitasi Hutan Pendidikan Gunung Walat (HPGW), Sukabumi, Jawa Barat” dibawah bimbingan Dr. Tatang Tiryana, S.Hut, M.Sc. untuk memperoleh gelar Sarjana Kehutanan di IPB.