

21925

by cicicijeje 1

Submission date: 20-Mar-2024 10:27AM (UTC+0700)

Submission ID: 2324439784

File name: Jurnal_Skripsi_Wilson_11032024TS3_2.docx (389.03K)

Word count: 4320

Character count: 25981

Model Penduga *Leaf Area Index* Menggunakan Metode *Artificial Neural Network*

Wilson^{1,*}, Tatik Suhartati², Sugeng Wahyudiono³, Adha Rozak⁴

¹ Mahasiswa Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Stiper, Yogyakarta, Indonesia

² Dosen Fakultas Kehutanan INSTIPER Yogyakarta

³ Dosen Fakultas Kehutanan INSTIPER Yogyakarta

⁴ Departemen Strategic and Tactical Planning PT.RAPP

* Corresponding Author. E-mail address: wilsonhong3@gmail.com

ARTICLE HISTORY:

Received: xx January 20xx

Peer review completed: Date Month Year

Received in revised form: Date Month Year

Accepted: Date Month Year

KEYWORDS:

Leaf Area Index (LAI)

Artificial Neural Network (ANN)

Model Penduga

5

© 2024 The Author(s). Published by Department of Forestry, Faculty of Agriculture, University of Lampung. This is an open access article under the CC BY-NC license:

ABSTRAK

Teknologi *artificial intelligence* (AI) saat ini berkembang pesat dikalangan masyarakat. Salah satu AI tersebut yaitu *artificial neural network* (ANN) yang sudah digunakan untuk memprediksi salah satu parameter biofisik yaitu *leaf area index* atau indeks luas daun. Pengukuran LAI secara manual dianggap lebih efektif dari segi keakuratan estimasi namun kurang efisien karena membutuhkan tenaga ekstra, waktu yang lama dan biaya lebih besar. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kemampuan ANN dalam memprediksi nilai LAI dengan membandingkan metode regresi sebagai metode klasik pada tegakan *Eucalyptus hybrid* umur 18 bulan. Hasil dari penelitian ini menunjukkan ANN mengungguli regresi dalam menaksir nilai LAI. ANN varian 2 layer 3 neuron 2 neuron (2L3N2N) merupakan varian terbaik dengan tingkat %error sebesar 12,90% dan akurasi sebesar 87,10% dengan nilai RMSE yaitu 0,4080.

1. Pendahuluan

7 Hutan Tanaman Industri (HTI) adalah jenis hutan tanaman yang dikelola dan diusahakan dengan memperhatikan kelestarian lingkungan dan sumber daya alamiah serta menerapkan prinsip ekonomi dalam pengusahannya untuk mengoptimalkan pemanfaatan hutan.. Dalam kegiatan pengelolaan HTI terdapat berbagai jenis kegiatan pengukuran yang bertujuan untuk digunakan sebagai bahan penyusunan rencana operasional. Salah satu yang dilakukan adalah pengukuran *leaf area index* (LAI). Manfaat pengukuran LAI di bidang kehutanan adalah untuk mengevaluasi dan memantau perkembangan tanaman, tingkat dan potensi hasil atau produktivitas dengan melihat faktor pertumbuhan tanaman yang dapat dikaitkan dengan LAI seperti diameter tajuk, diameter batang dan tinggi pohon yang kemudian dapat ditentukan volume pohon dengan menggunakan berbagai formulasi yang juga digunakan oleh salah satu perusahaan pengelola HTI yaitu PT. RAPP (Riau Andalan Pulp and Paper). Nilai LAI juga dapat diprediksi dengan memanfaatkan hubungan LAI terhadap karakteristik tegakan(Ercanlı et al., 2018).

Peningkatan pertumbuhan dan berat kering tanaman (BKT) dapat dilihat dari hasil pengukuran LAI (Susilo, 2015). Peningkatan pertumbuhan dan BKT diaktualisasikan dalam peningkatan sebuah nilai LAI (Simanihuruk, 2001). Hasil Pengukuran LAI juga dapat membantu dalam menaksir meningkatkan efisiensi pengelolaan hutan, produktivitas pertumbuhan pohon,

memahami interaksi tanaman terhadap lingkungan, evaluasi kesehatan hutan, dan mengetahui potensi penyerapan karbon jumlah luasan daun dalam sebuah ekosistem.

Pengukuran LAI biasanya dilakukan menggunakan cara manual menggunakan meteran, *Hemispherical Photography*, *Drone*, dan sebagainya. Pengukuran LAI secara manual dianggap lebih efektif dari segi keakuratan estimasi namun kurang efisien karena membutuhkan tenaga ekstra, waktu yang lama dan biaya lebih besar (Kamal et al., 2019). Dalam ilmu statistik terdapat salah satu metode analisis yaitu analisis regresi yang bertujuan untuk memprediksi nilai variabel terikat (Suyono, 2018). Oleh karena itu analisis ini juga dapat dimanfaatkan untuk menaksir LAI sebagai variabel terikat berdasarkan beberapa karakteristik tegakan yang memiliki hubungan keeratatan dengan LAI.

Seiring berkembangnya teknologi, saat ini sudah tercipta suatu teknologi berupa *Artificial Intelligence* (AI) atau yang biasa dikenal sebagai kecerdasan buatan yang dapat mempermudah pekerjaan manusia. Salah satu dari AI tersebut yaitu *Artificial Neural Network* (ANN). ANN bekerja dengan cara mengolah data input menjadi output. ANN juga dapat digunakan untuk melakukan prediksi. Oleh karena itu penelitian ini dilaksanakan untuk menemukan karakteristik tegakan yang berperan terhadap besarnya LAI, menemukan metode terbaik dalam memprediksi nilai LAI dan menemukan variasi layer terbaik yang dilatih dengan ANN untuk memprediksi LAI.

2. Bahan dan Metode Penelitian

2.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Pengambilan data primer dilakukan di Estate Baserah PT. RAPP, Riau pada tanggal 10 Juli 2023 s/d 9 Agustus 2023 di kompartemen yang dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Kompartemen dan Jumlah Plot Penelitian

Nomor Kompartemen	Jumlah Plot
A028	3
A061	5
I033	3
J013	4
J017	5
J552	5
K765	5
Total	30

2.2. Alat dan Bahan

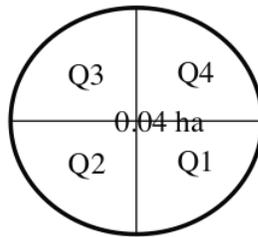
a. Alat

1. *Smartphone* Poco X3 NFC
2. *Global Positioning System* (GPS)

3. Aplikasi *Cameringo*⁺ sebagai penyedia filter *Fisheye*
 4. Aplikasi *Gap Light Analyzer* sebagai pengolah foto tajuk
- b. Bahan
1. Foto *hemispherical* tajuk *Eucalyptus hybrid* umur 18 bulan

2.3. Pengumpulan Data

Data penelitian terdiri atas 2 tipe data yaitu data primer dan sekunder.. Data primer yang diambil yaitu pengukuran LAI dilapangan menggunakan metode *hemispherical photography* dengan filter *Fisheye* pada aplikasi *Cameringo*⁺. Jumlah foto yang didapat dari 30 plot dimana dalam 1 plot dibagi menjadi 4 kuadran yang menghasilkan 120 foto LAI. Hasil *hemispherical photography* dianalisis dengan aplikasi *Gap Light Analyzer* untuk menghasilkan nilai LAI *Ring* yang merupakan nilai dari LAI hasil analisis dari aplikasi *gap light analyzer* (Goude et al., 2019). Ilustrasi kuadran dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Ilustrasi Kuadran

Data sekunder yang diambil yaitu data tinggi / *height* (H) dan diameter setinggi dada (dbh) yang kemudian menghasilkan nilai jumlah pohon per hektar / *trees per hektar* (THA), diameter rata-rata kuadrat/diameter *quadratic* (DQ), luas bidang dasar/*basal area* (BA), dan indeks tempat tumbuh / *site index* (SI) dengan rumus sebagai berikut :

- a. Jumlah Pohon per hektar / *Trees per Ha* (THA)

$$THA = \text{Jumlah pohon dalam kuadran} * \frac{1}{\text{Luas Kuadran}}$$

- b. Diameter Rata-Rata Kuadrat / Diameter *Quadratic* (DQ)

Menurut (Curtis & Marshall, 2000) Diameter *quadratic* dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$QMD = \frac{\sqrt{\frac{BA}{k * n}}}{10.000}$$

- c. Luas Bidang Dasar/*Basal Area* (BA)

Menurut (Mueller-Dombois & Ellenberg, 1974), *basal area* dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$BA/Pohon = \frac{\frac{1}{4} \pi d^2}{10.000}$$

Keterangan :

BA : *Basal Area* (m²/ha)

Π : Phi (3,14)

d : Diameter (cm)

d. Indeks Tempat Tumbuh/*Site Index* (SI)

Site index pada PT RAPP dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$SI = THT \left[\frac{1 - \text{Exp}(b0 * \text{Age } 2)}{1 - \text{Exp}(b0 * \text{Age } 1)} \right]^{b1}$$

Keterangan :

THT : *Top Height Tree* / Pohon Tertinggi

b0 : *Intercept* (-0,5512)

b1 : Koefisien Regresi (1,6455)

Age 1 : Umur Saat Ini

Age 2 : Umur Tebang

Pemilihan variabel didasari dari penelitian Ercanlı *et al.* (2018) tentang model penduga LAI pada tegakan pinus kimea yang menghasilkan korelasi signifikan LAI dengan THA, BA, DQ dan SI pada taraf uji 0,01. Pemilihan variabel tinggi dan dbh juga didasari dari penelitian (Sidabras & Augustaitis, 2015) yang menggunakan variabel tinggi dan dbh untuk mengestimasi nilai LAI.

2.4. Metode Analisis

Analisis yang digunakan dalam penelitian ini yaitu analisis korelasi antara karakteristik tegakan terhadap LAI tegakan dan kemudian dilanjutkan analisis regresi antara LAI tegakan dengan karakteristik tegakan sehingga terbentuk model regresi. Kemudian dilanjutkan uji asumsi klasik untuk memastikan model yang dihasilkan cukup baik. Terakhir pelatihan dan pengujian model dengan *Artificial Neural Network*. Secara rinci diuraikan sebagai berikut :

a. Analisis Korelasi

Ghozali (2018) menyatakan analisis korelasi bertujuan untuk mengukur seberapa erat hubungan linear antar variabel. Analisis korelasi digunakan untuk mengevaluasi hubungan keeratan antara nilai LAI tegakan terhadap karakteristik tegakan lain yaitu H, THA, BA, DQ, SI.

b. Analisis Regresi Linear Berganda

Analisis regresi linier berganda berfungsi untuk memprediksi nilai LAI memanfaatkan hubungan antara LAI dan beberapa karakteristik tegakan yaitu tinggi (H), jumlah pohon per hektar (THA), indeks tempat tumbuh (SI), diameter rata – rata kuadrat (DQ), dan luas bidang dasar (BA). Analisis regresi dilakukan pada data

pengujian model dari 75% total data yang kemudian divalidasi dengan data validasi dari 25% total data. Analisis regresi menggunakan metode *backward elimination* untuk menghasilkan model yang optimal. Metode *backward elimination* merupakan salah satu metode pada pemodelan regresi untuk mengeliminasi variabel yang tidak berpengaruh signifikan terhadap variabel Y dan memilih variabel X paling signifikan dalam suatu model (Samosir et al., 2014). Model regresi yang digunakan :

$$LAI = \alpha + \beta_1 H + \beta_2 THA + \beta_3 BA + \beta_4 DQ + \beta_5 SI$$

Keterangan :

α = Konstanta

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_5$ = Koefisien Regresi

X_1, X_2, \dots, X_5 = Variabel Independen

Uji asumsi klasik digunakan untuk mendapatkan model / persamaan regresi yang baik. Dalam uji asumsi klasik terdapat beberapa pengujian yaitu :

1. Uji Normalitas

Uji normalitas merupakan uji yang digunakan untuk mengetahui distribusi error suatu. Uji yang digunakan yaitu uji *Kolmogorov-Smirnov*. Kriteria uji *Kolmogorov-Smirnov* yaitu apabila nilai signifikansi $< 0,05$, berarti error berdistribusi normal (Mardiatmoko, 2020).

2. Uji Multikolinearitas

Uji multikolinearitas dilakukan guna melihat apakah terdapat korelasi tinggi / sempurna antar variabel independen pada model regresi. Kriteria uji multikolinearitas yaitu jika nilai VIF lebih 10%, maka dinyatakan tidak terjadi multikolinearitas (Ghozali, 2016).

3. Uji Heteroskedastisitas

Ghozali (2018) menyatakan uji heteroskedastisitas dilakukan untuk mengetahui apakah terjadi ketidaksamaan *variance* dari *residual* dalam model regresi. Model regresi yang baik menunjukkan tidak terjadinya heteroskedastisitas. Kriteria uji heteroskedastisitas yaitu jika nilai signifikansi antara variabel independen lebih kecil dari 0,05 dapat diartikan bahwa tidak terjadinya heteroskedastisitas pada model regresi (Mardiatmoko, 2020).

c. Penaksiran LAI Menggunakan Artificial Neural Network

Metode *artificial neural network* berfungsi untuk memprediksi nilai LAI tegakan dengan memanfaatkan hubungan antara LAI dengan beberapa macam karakteristik

tegakan yaitu tinggi (H), jumlah pohon per hektar (THA), indeks tempat tumbuh (SI), diameter rata – rata kuadrat (DQ), dan luas bidang dasar (BA). Metode ANN melalui proses pelatihan model dengan data pengujian yang sama dengan regresi yaitu 75% dari total data dan kemudian divalidasi menggunakan data validasi dari 25% total data. ANN dilatih menggunakan *software Rstudio* untuk mempelajari data input dengan menggunakan *tools neuralnet* pada *Rstudio* (Fristch et al., 2019). Setelah dilakukannya pelatihan dari 75% total data dilanjutkan dengan validasi dengan *tools* yang sama untuk menghasilkan nilai prediksi LAI. Metode ANN yang digunakan ada 3 varian yaitu 1 *layer 3 neuron* (1N3L), 2 *layer 3 neuron 2 neuron* (2L3N2N), dan 3 *layer 3 neuron 2 neuron 1 neuron* (3L3N2N1N).

d. Pemilihan Model Terbaik

Pemilihan model terbaik diantara metode regresi dan ANN dilakukan berdasarkan nilai dari %error, Akurasi dan RMSE. Semakin kecil %error dari model maka semakin baik model tersebut. Semakin besar nilai akurasi dari model maka semakin baik juga model tersebut dalam memprediksi LAI. Nilai RMSE dikatakan baik jika mendekati 0 (Parmadi & Sukojo, 2016). Rumus menghitung % error, akurasi dan RMSE yaitu :

1. %error :

$$\%error = \frac{LAI\ Pred - LAI}{LAI} * 100\%$$

Keterangan :

LAI = Nilai LAI dilapangan

LAI Pred = Nilai LAI Prediksi

2. Akurasi

$$Akurasi = 1 - \%Error$$

3. RMSE

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} * \Sigma(LAI - LAI\ Pred)^2}$$

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini menggunakan data nilai LAI dari 30 plot. Dalam 1 plot dibagi menjadi 4 kuadran sehingga total data menjadi 120 data nilai LAI yang diukur pada plot kompartemen. Data keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Keseluruhan (100%)

Karakteristik Tegakan	Min	Max	Rata-rata	Standar Deviasi	Koefisien Variasi (%)
LAI	0,5800	2,1600	1,2969	0,3244	3,9974
H (m)	6,1000	13,1000	10,0917	1,6987	5,9408
THA	800,0000	2300,0000	1600,0000	235,8607	6,7837

BA(m ² /ha)	2,8000	12,9000	8,3917	2,1658	3,8746
DQ (cm)	5,2000	10,2000	8,1217	0,9948	8,1642
SI(m)	21,4000	34,3000	29,1250	3,2761	8,8902

Sumber : Analisis Data Primer

Tabel 2. Data Pengujian (75%)

Karakteristik Tegakan	Min	Max	Rata-rata	Standar Deviasi	Koefisien Variasi (%)
LAI	0,6300	2,0200	1,2748	0,3007	4,2391
H (m)	6,0900	13,0800	10,0740	1,6775	6,0054
THA	800,0000	2300,0000	1601,1236	246,5648	6,4937
BA(m ² /ha)	2,7900	12,7600	8,4408	2,1147	3,9915
DQ (cm)	5,1900	10,1800	8,1533	1,0073	8,0944
SI(m)	21,4200	33,8800	29,1289	3,1992	9,1050

Sumber : Analisis Data Primer

Tabel 3. Data Validasi (25%)

Karakteristik Tegakan	Min	Max	Rata-rata	Standar Deviasi	Koefisien Variasi (%)
LAI	0,5800	1,9300	1,3059	0,3309	3,9464
H (m)	6,6500	12,4200	10,2259	1,8085	5,6543
THA	1300,0000	2000,0000	1600,0000	208,7377	7,6651
BA(m ² /ha)	3,4400	12,9300	8,3514	2,3644	3,5322
DQ (cm)	5,5900	9,4400	8,0652	0,9714	8,3022
SI(m)	22,8800	34,2700	29,1748	3,5731	8,1650

Sumber : Analisis Data Primer

Menurut Soewarno (1995) semakin kecil koefisien variasi berarti semakin merata/homogen data tersebut. Dapat dilihat Pada Tabel 1 bahwa nilai koefisien variasi dari LAI, H, THA, BA, DQ dan SI berada dibawah 10%. Data keseluruhan yang telah dikumpulkan akan dibagi menjadi 2 bagian yaitu data pengujian 75% dari total data dan data validasi 25% dari total data. Data pengujian dapat dilihat pada Tabel 2 dan data validasi dapat dilihat pada Tabel 3.

3.1. Analisis Korelasi

Analisis korelasi digunakan untuk melihat bagaimana keeratan hubungan antara LAI dengan tinggi (H), jumlah pohon/ha (THA), basal area (BA), diameter kuadrat rata-rata (DQ) dan indeks tempat tumbuh (SI). Analisis korelasi dilakukan terhadap 3 kelompok data yaitu data lengkap (100% data), data pemodelan (75% dari total data) dan data validasi model (25% dari total data).

Tabel 4 Korelasi LAI dengan Karakteristik Tegakan (Data Keseluruhan)

	LAI	H	THA	BA	DQ	SI
LAI	1,0000	0,0702	0,219*	0,217*	0,1179	0,1113

H (m)	1,0000	0,0971	0,805**	0,874**	0,872**
THA		1,0000	0,498**	-0,0466	0,1516
BA(m ² /ha)			1,0000	0,828**	0,738**
DQ (cm)				1,0000	0,751**
SI(m)					1,0000

Keterangan : * = Signifikan pada taraf uji 0,05, ** = Signifikan pada taraf uji 0,01
 Sumber : Analisis Data Primer

Tabel 5 Korelasi LAI dengan Karakteristik Tegakan (Data Pengujian)

	LAI	H	THA	BA	DQ	SI
LAI	1,0000	0,0259	0,308**	0,295**	0,1303	0,0502
H (m)		1,0000	0,0217	0,792**	0,875**	0,863**
THA			1,0000	0,456**	-0,1267	0,0604
BA(m ² /ha)				1,0000	0,810**	0,697**
DQ (cm)					1,0000	0,734**
SI(m)						1,0000

Keterangan : ** = Signifikan pada taraf uji 0,01
 Sumber : Analisis Data Primer

Tabel 6 Korelasi LAI dengan Karakteristik Tegakan (Data Validasi)

	LAI	H	THA	BA	DQ	SI
LAI	1,0000	0,3101	0,0346	0,2238	0,2845	0,3468
H (m)		1,0000	0,376*	0,851**	0,880**	0,901**
THA			1,0000	0,657**	0,2656	0,505**
BA(m ² /ha)				1,0000	0,891**	0,868**
DQ (cm)					1,0000	0,814**
SI(m)						1,0000

Keterangan : * = Signifikan pada taraf uji 0,05 , ** = Signifikan pada taraf uji 0,01
 Sumber : Analisis Data Primer

Koefisien korelasi antara THA dan BA dengan LAI dengan data 100% signifikan pada taraf uji 0,01 yang dapat dilihat pada Tabel 4. THA menunjukkan korelasi tertinggi terhadap LAI yaitu sebesar 0,219. BA memiliki korelasi sebesar 0,217 terhadap LAI. Sedangkan H, DQ dan SI tidak berkorelasi signifikan terhadap LAI. Hasil analisis korelasi untuk data pengujian pada Tabel 5 yang menunjukkan bahwa THA dan BA memiliki nilai korelasi signifikan pada taraf uji 0,05 terhadap LAI yaitu sebesar 0,308 dan 0,295. Sedangkan H, DQ dan SI tidak berkorelasi signifikan terhadap LAI. Hasil analisis korelasi untuk data validasi model dapat dilihat pada Tabel 6 yang menunjukkan tidak adanya karakteristik tegakan yang signifikan terhadap LAI. Hasil ini terdapat beberapa kesamaan korelasi signifikan pada penelitian (Ercanlı et al., 2018) yang menunjukkan korelasi positif pada taraf uji 0,01 antara jumlah pohon dan luas bidang dasar terhadap LAI.

3.2. Pemodelan Leaf Area Index (LAI)

A. Pemodelan Menggunakan Analisis Regresi Linear Berganda

Pemodelan LAI menggunakan analisis regresi linear berganda dilakukan pada data pengujian dan kemudian divalidasi menggunakan data validasi. Tujuan dilakukannya pemodelan LAI menggunakan regresi untuk menghasilkan model yang dapat digunakan untuk memprediksi nilai dari LAI berdasarkan karakteristik tegakan.

Tabel 7. Analisis Regresi Metode *Backward Elimination*

No	Model	Koefisien	Standar Error	Sig	VIF (%)	R2	Sig.F
1	(Constant)	0,3863	1,3083	0,7685 ^{ns}			
	H(m)	-0,1266	0,0494	0,0122 [*]	7,9914	0,2104	0,0013 ^{**}
	THA	0,0003	0,0004	0,5241 ^{ns}	12,9969		
	BA(m ² /ha)	0,0466	0,0851	0,5850 ^{ns}	37,6304		
	DQ(cm)	0,1329	0,1648	0,4224 ^{ns}	32,0298		
	SI(m)	0,0085	0,0183	0,6437 ^{ns}	3,9889		
(Constant)	0,5497	1,2541	0,6623 ^{ns}				
2	H(m)	-0,1118	0,0376	0,0039 ^{**}	4,6782	0,2083	0,0005 ^{**}
	THA	0,0003	0,0004	0,5449 ^{ns}	12,916		
	BA(m ² /ha)	0,0506	0,0843	0,5496 ^{ns}	37,2498		
	DQ(cm)	0,1239	0,1629	0,4490 ^{ns}	31,591		
3	(Constant)	-0,1737	0,3493	0,6202 ^{ns}		0,2049	0,0002 ^{**}
	H(m)	-0,1095	0,0373	0,0043 ^{**}	4,6306		
	THA	0,0005	0,0001	0,0001 ^{**}	1,1004		
	DQ(cm)	0,2142 ¹	0,0626	0,0010 ^{**}	4,7039		

Keterangan : * = Signifikan pada taraf uji 0.05

** = Signifikan pada taraf uji 0.01

ns = Tidak Signifikan

Sumber : Analisis Data Primer

Berdasarkan Tabel 7 dapat dilihat bahwa regresi menggunakan metode *backward* menghasilkan 3 variasi model dimana dari ketiga model tersebut, model nomor 3 memiliki nilai signifikan <0,05 pada keseluruhan variabelnya. Nilai R² model nomor 1 merupakan nilai tertinggi yaitu 0,2104. Pada Tabel 7 dapat dilihat nilai sig T dari model 3 menunjukkan hasil signifikan dari variabel H, THA dan BA. Nilai sig F untuk model secara keseluruhan signifikan yang berarti bahwa variabel independen berpengaruh signifikan pada variabel dependen secara simultan.

Berdasarkan beberapa kriteria pemilihan model regresi terbaik, maka model yang dapat digunakan yaitu model nomor 3 dengan persamaan regresi $Y = -0,1737 + (-0,1095) * H + 0,0005 * THA + 0,2142 * DQ$. Hasil ini memiliki kesamaan variabel yang signifikan pada penelitian Ercanlı et al. (2018) yaitu jumlah pohon dan BA yang menghasilkan nilai

R² sebesar 0,564 dan -0,294. Hasil dari R² model 3 yaitu 0,2104 tergolong rendah yang berkemungkinan disebabkan kurang kuatnya hubungan antara LAI terhadap variabel tegakan.

Menurut Sunjoyo *et al.* (2013) uji asumsi merupakan syarat statistik yang harus dipenuhi oleh analisis regresi linear berganda. Uji asumsi yang dilakukan yaitu uji normalitas, uji multikolinearitas, dan uji heteroskedastisitas hasilnya :

1. Uji Normalitas

Uji normalitas dilakukan untuk melihat apakah nilai residual / error terdistribusi secara normal atau tidak. Uji normalitas dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Uji Normalitas (*Kolmogorov-Smirnov*)

	Unstandarize Residual
Nilai <i>Kolmogorov-Smirnov</i>	0,0333
Signifikansi asimtotik	0,2000 ^{ns}

Keterangan : ns = Tidak Signifikan
Sumber : Analisis Data Primer

Menurut Mardiatmoko (2020), jika nilai signifikansi >0,05 maka dapat disimpulkan error pada suatu model regresi berdistribusi secara normal. Pada Tabel 8 dapat dilihat nilai signifikansi asimtotik dari uji *kolmogov-smirnov* yaitu 0,2000 yang berarti error/*residual* berdistribusi secara normal.

2. Uji Multikolinearitas

Uji multikolinearitas dilakukan untuk melihat apakah terdapat korelasi sempurna antar variabel independen. Menurut Nihayah (2019), bila nilai VIF (*Variance Inflation Factor*) lebih besar dari 10% maka diindikasikan model tersebut memiliki gejala multikolinieritas. Ghazali (2016) juga menyebutkan bahwa jika nilai VIF (*Variance Inflation Factor*) < 10% dalam uji multikolinearitas berarti tidak adanya masalah multikolinearitas. Pada Tabel 7 dapat dilihat bahwa nilai variabel pada ketiga variabel prediktor pada model nomor 3 memiliki nilai VIF dibawah 10 % yang artinya model ini tidak terdapat multikolinearitas.

3. Uji Heteroskedastisitas

Uji heteroskedastisitas merupakan salah satu bagian dari uji asumsi klasik yang digunakan untuk menguji apakah terdapat ketidaksamaan nilai variasi dan residual dalam suatu model regresi.

Tabel 9. Uji Heteroskedastisitas

No	Model	Koefisien	Standar Error	Sig
----	-------	-----------	---------------	-----

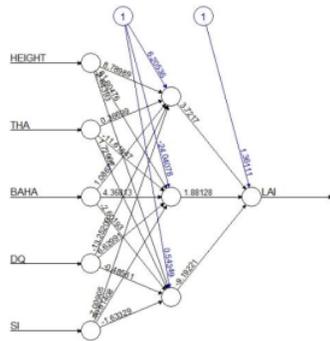
1	(Constant)	0,3405	0,7400	0,647 ^{ns}
	H(m)	0,0304	0,0280	0,280 ^{ns}
	THA	0,0000	0,0002	0,875 ^{ns}
	BA(m ² /ha)	-0,0207	0,0481	0,669 ^{ns}
	DQ(cm)	0,0024	0,0932	0,979 ^{ns}
	SI(m)	-0,0115	0,0104	0,268 ^{ns}
2	(Constant)	0,1218	0,7118	0,8646 ^{ns}
	H(m)	0,0099	0,0214	0,6442 ^{ns}
	THA	0,0001	0,0002	0,7953 ^{ns}
	BA(m ² /ha)	-0,0272	0,0478	0,5706 ^{ns}
	DQ(cm)	0,0154	0,0925	0,8685 ^{ns}
3	(Constant)	0,4831	0,1980	0,0167 [*]
	H(m)	0,0071	0,0211	0,7380 ^{ns}
	THA	-0,0001	0,0001	0,3822 ^{ns}
	DQ(cm)	-0,0291	0,0355	0,4142 ^{ns}

Keterangan : * = Signifikan pada taraf uji 0.05; ns = Tidak Signifikan
 Sumber : Analisis Data Primer

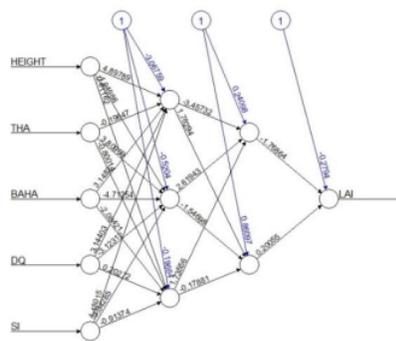
Ghozali (2018) menyatakan bahwa model yang tidak terjadi heteroskedastisitas dapat dikatakan model yang baik. Menurut Mardiatmoko (2020), jika nilai signifikansi antar variabel independen >0,05 maka pada suatu model tidak terjadi heteroskedastisitas. Berdasarkan Tabel 4.11, dapat dilihat bahwa nilai signifikansi antara variabel independen dari ketiga model memiliki nilai lebih dari 0,05 yang menandakan tidak terjadinya heteroskedastisitas.

B. Pemodelan Menggunakan *Artificial Neural Network*

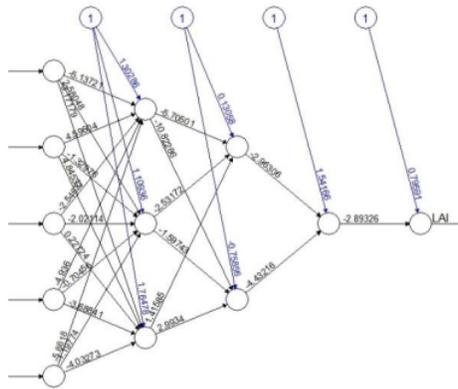
Pemodalan LAI dengan metode *artificial neural network* (ANN) juga menggunakan pembagian data yaitu data pengujian (75%) dan data validasi (25%). Metode ANN yang digunakan memiliki 3 varian *hidden layer* yaitu 1 layer 3 neuron (1L3N), 2 layer 3 neuron 2 neuron (2L3N2N), dan 3 layer 3 neuron 2 neuron 1 neuron (3L3N2N1N).



Gambar 2. Struktur ANN 1L3N



Gambar 3. Struktur ANN 2L3N2N



Gambar 4. Struktur ANN 3L3N2N1N

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa dalam struktur ANN varian 1L3N terdapat 1 *input layer*, 1 *hidden layer* (terdiri dari 3 *neuron*) dan 1 *output layer*. Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa dalam struktur ANN 2L3N2N terdapat 1 *input layer*, 2 *hidden layer* (terdiri dari 3 *neuron* pada *hidden layer* pertama dan 2 *neuron* pada *hidden layer* kedua) dan 1 *output layer*. Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa dalam struktur ANN 3L3N2N1N terdapat 1 *input layer*, 3 *hidden layer* (terdiri dari 3 *neuron* pada *hidden layer* pertama, 2 *neuron* pada *hidden layer* kedua, dan 1 *neuron* pada *hidden layer* ketiga).

3.3. Pemilihan Model Terbaik

Setelah mendapatkan model regresi dari analisis regresi linear berganda dan ANN, dilanjutkan pemilihan metode yang memiliki keakuratan dalam menaksir LAI. Pemilihan model dilakukan berdasarkan nilai dari %error, akurasi dan RMSE (*Root Mean Square Error*).

Berdasarkan Tabel 10 dapat dilihat bahwa metode yang lebih baik dalam memprediksi nilai LAI adalah metode ANN dengan %error dan akurasi yang lebih baik dibandingkan metode regresi. Variasi ANN yang lebih baik dalam memprediksi nilai LAI yaitu varian 2L3N2N. Berdasarkan Tabel 10 dapat dilihat nilai akurasi dari metode ANN 2L3N2N memiliki nilai akurasi dan %error paling baik dibandingkan varian ANN lainnya. Maka metode yang dipilih adalah ANN varian 2L3N2N.

Tabel 10. Hasil Rekapitulasi %error, Akurasi dan RMSE

Metode	Model	%error (%)	Akurasi (%)	RMSE
Regresi	$Y = -0,1737 + (-0,1095)*H + 0,0005*THA + 0,2142*DQ$	24,18	75,82	0,3544
Artificial Neural Network (ANN)	1L3N	13,50	86,50	0,4027
	2L3N2N	12,90	87,10	0,4080
	3L3N2N1N	13,30	86,70	0,3992

Sumber : Analisis Data Primer

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa metode ANN mengungguli metode regresi dalam memprediksi nilai LAI. Pada penelitian sebelumnya ANN juga sukses digunakan untuk memprediksi beberapa atribut tegakan seperti pada penelitian Diamantopoulou & Milios (2010) ANN dapat digunakan untuk memprediksi pohon dominan, penelitian Özçelik *et al.* (2013) yang menggunakan ANN dalam memprediksi tinggi tegakan dan penelitian Özçelik *et al.* (2010) tentang dimana ANN berhasil digunakan untuk memprediksi volume pada 4 spesies tegakan. Penelitian ini menghasilkan bahwa hasil prediksi indeks luas daun / *leaf area index* (LAI) dari metode *artificial neural network* (ANN) lebih baik dibandingkan metode regresi.

Salah satu faktor yang berkemungkinan menyebabkan regresi diungguli ANN menurut Nihayah (2019) yaitu jika untuk suatu model regresi memenuhi kriteria BLUE (*Best Linear Unbiased Estimator*), suatu model dapat dikatakan baik. Hal ini dapat dicapai apabila memenuhi uji asumsi klasik yang terdiri dari uji normalitas, uji auto korelasi, uji multikolinearitas dan uji heteroskedastisitas. Sedangkan ANN tidak diwajibkan untuk melakukan uji asumsi terlebih dahulu sehingga berpotensi menghasilkan nilai %error, akurasi, dan RMSE yang lebih baik. Pada penelitian ini ANN terbukti mampu memprediksi nilai ANN dengan baik bahkan lebih baik dari regresi di hutan tanaman industri tegakan *Eucalyptus hybrid* umur 18 bulan.

Penelitian ini mempelajari kemampuan *artificial neural network* dan membandingkannya dengan metode regresi untuk memprediksi LAI pada tegakan *Eucalyptus hybrid* umur 18 bulan. ANN terbukti dapat digunakan untuk memprediksi LAI tegakan *Eucalyptus hybrid* lebih baik dibandingkan metode regresi. ANN varian 2L3N2N terbukti mampu memprediksi nilai LAI parameter tegakan lebih baik daripada varian lainnya dengan nilai %error sebesar 12,90%, nilai akurasi sebesar 87,10% dan nilai RMSE sebesar 0,4080. Secara fungsi, hasil pengukuran LAI juga dapat digunakan untuk pengambilan keputusan dalam pengelolaan hutan salah satunya hutan tanaman industri. Jika semakin tinggi nilai dari LAI maka dapat dikatakan bahwa pertumbuhan tegakan tersebut baik. Dikatakan demikian karena jika nilai LAI tinggi berarti kondisi tajuk rapat. Kondisi tajuk yang rapat berarti fotosintesis tegakan tersebut baik yang menghasilkan pertumbuhan tegakan yang baik juga.

4. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian, analisis dan pembahasan, maka dapat disimpulkan bahwa :

- a. Karakteristik tegakan yang berperan terhadap besarnya *Leaf Area Index* (LAI) yaitu Tinggi (H), *Basal Area* (BA) dan *Trees/ha* (THA).

- b. Metode *Artificial Neural Network* (ANN) merupakan metode terbaik dalam menaksir *Leaf Area Index* dibandingkan dengan regresi.
- c. Varian 2 *Layer 3 Neuron 2 Neuron* (2L3N2N) merupakan varian layer terbaik dengan nilai %error sebesar 12,90%, nilai akurasi sebesar 87,10% dan nilai RMSE sebesar 0,4080.

Daftar Pustaka

- Curtis, R. O., & Marshall, D. D. (2000). Technical Note: Why Quadratic Mean Diameter? *Western Journal of Applied Forestry*, 15(3), 137–139.
- Diamantopoulou, M. J., & Milios, E. (2010). Modelling Total Volume of Dominant Pine Trees in Reforestations Via Multivariate Analysis and Artificial Neural Network Models. *Biosystems Engineering*, 105(3), 306–315. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.11.010>
- Ercanlı, İ., Günlü, A., Şenyurt, M., & Keleş, S. (2018). Artificial Neural Network Models Predicting the Leaf Area Index: A Case Study in Pure Even-Aged Crimean Pine Forests From Turkey. *Forest Ecosystems*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s40663-018-0149-8>
- Fristch, S., Guenther, F., Wright, M. N., Suling, M., & Mueller, S. M. (2019). *Training of Neural Networks*. <https://journal.r-project.org>. Diakses pada tanggal 1 Maret 2024
- Ghozali, I. (2016). *Aplikasi Analisis Multivariate Dengan Program IBM SPSS 23* (8th ed.). Badan Penerbit Universitas Diponegoro. Semarang.
- Ghozali, I. (2018). *Aplikasi Analisis Multivariate Dengan Program IBM SPSS 25* (9th ed.). Badan Penerbit Universitas Diponegoro. Semarang.
- Goude, M., Nilsson, U., & Holmström, E. (2019). Comparing Direct and Indirect Leaf Area Measurements for Scots Pine and Norway Spruce Plantations in Sweden. *European Journal of Forest Research*, 138(6), 1033–1047. <https://doi.org/10.1007/s10342-019-01221-2>
- Kamal, M., Kanekaputra, T., Hermayani, R., & Utari, D. (2019). Leaf Area Index (LAI) Mangrove (The Effect of Spatial Distribution of Modelling Sample To The Accuracy of Mangrove Leaf Area Index Estimation). *Jurnal Penginderaan Jauh Dan Pengolahan Data Citra Digital*, 17(2). <https://doi.org/10.30536/j.pjpdcd.2019.v16.a3069>
- Mardiatmoko, G. (2020). Pentingnya Uji Asumsi Klasik pada Analisis Regresi Linear Berganda (Studi Kasus Penyusunan Persamaan Allometrik Kenari Muda (*Canarium indicum L.*). *BAREKENG: Jurnal Ilmu Matematika Dan Terapan*, 14(3), 333–342.
- Mueller-Dombois, D., & Ellenberg, H. (1974). *Aims and Methods of Vegetation Ecology*. John Wiley and Sons. New York.
- Nihayah, A. Z. (2019). *E Book Pengolahan Data Penelitian Menggunakan Software SPSS 23.0*. UIN Walisongo. Semarang.
- Özçelik, R., Diamantopoulou, M. J., Brooks, J. R., & Wiant, H. V. (2010). Estimating Tree Bole Volume Using Artificial Neural Network Models for Four Species in Turkey. *Journal of Environmental Management*, 91(3), 742–753.
- Özçelik, R., Diamantopoulou, M. J., Crecente-Campo, F., & Eler, U. (2013). Estimating Crimean Juniper Tree Height Using Nonlinear Regression and Artificial Neural Network Models. *Forest Ecology and Management*, 306, 52–60. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.06.009>
- Parmadi, W. T., & Sukojo, B. M. (2016). Analisa Ketelitian Geometric Citra Pleiades Sebagai Penunjang Peta Dasar RDTR. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2).
- Samosir, N., Siagian, P., & Bangun, P. (2014). Analisa Metode Backward dan Metode Forward untuk Menentukan Persamaan Regresi Linear Berganda. *Saintia Matematika*, 2(4), 345–360.
- Sidabras, N., & Augustaitis, A. (2015). Application Perspectives of the Leaf Area Index (LAI) Estimated by the Hemiview System in Forestry. *Proceedings of the Latvia University of Agriculture*, 33(1), 26–34. <https://doi.org/10.1515/plua-2015-0004>

- Simanihuruk, B. W. (2001). Analisis Pertumbuhan Tanaman Jagung Manis (*Zea mays Saccharata*), Pergeseran Komposisi Gulma pada Beberapa Jarak Tanam. *Jurnal Ilmu - Ilmu Pertanian Indonesia*, 3(1), 25–30.
- Soewarno. (1995). *Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data* (1st ed.). NOVA. Bandung.
- Sunjoyo, Setiawan, R., Carolina, V., Magdalena, N., & Kurniawan, A. (2013). *Aplikasi SPSS untuk Smart Riset* (1st ed., Vol. 8). Alfabeta. Bandung.
- Susilo, D. E. H. (2015). Identifikasi Nilai Konstanta Bentuk Daun Untuk Pengukuran Luas Daun Metode Panjang Kali Lebar pada Tanaman Hortikultura di Tanah Gambut. *Anterior Jurnal*, 14, 139–146.
- Suyono. (2018). *Analisis Regresi untuk Penelitian* (1st ed.). Deepublish. Daerah Istimewa Yogyakarta.

21925

ORIGINALITY REPORT

5%

SIMILARITY INDEX

5%

INTERNET SOURCES

3%

PUBLICATIONS

4%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	jurnal.untad.ac.id Internet Source	1%
2	Submitted to Universitas Tanjungpura Student Paper	1%
3	id.scribd.com Internet Source	1%
4	eprints.walisongo.ac.id Internet Source	1%
5	sylvalestari.fp.unila.ac.id Internet Source	1%
6	acervodigital.ufpr.br Internet Source	1%
7	repository.uin-suska.ac.id Internet Source	1%
8	Submitted to University of Nottingham Student Paper	1%

Exclude quotes On

Exclude bibliography On

Exclude matches < 1%