



1 PENDAHULUAN

Latar Belakang

Eboni (*Diospyros* spp) merupakan salah kelompok tanaman hutan dari famili *Ebenaceae* yang tersebar di Indonesia. Dari tujuh jenis tanaman eboni yang tumbuh di Indonesia, jenis *Diospyros celebica* Bakh. yang hanya dapat dijumpai tumbuh secara alami di Sulawesi (Soerianegara 1967). Eboni tersebut tumbuh secara alami di wilayah Kabupaten Poso, Donggala, dan Parigi (Sulawesi Tengah); Kabupaten Gowa, Maros, Barru, Sidrap, Mamuju dan Luwu (Sulawesi Selatan) serta Provinsi Gorontalo (Hendromono dan Allo 2008).

Bagian dari eboni yang sering digunakan yaitu pada bagian kayunya. Kayu eboni adalah jenis kayu kelas kuat dan awet serta memiliki keindahan dengan coraknya yang mengkilap dan halus (Soerianegara 1967). Karena keindahan dan keawetannya, pohon ini banyak diekspor ke negara Jepang dan negara-negara di Eropa. Semakin tingginya permintaan kayu eboni yang tidak diimbangi dengan keberhasilan budidaya menyebabkan populasi jenis ini semakin menurun baik darisegi produktivitas maupun habitatnya. Sehingga pada tahun 1998, IUCN *Red List of Threatened Species* memasukkan tanaman eboni dalam kategori rentan (*vulnerable*) (IUCN 2019) dan termasuk dalam daftar jenis tanaman yang perlu dilakukan konservasi berdasarkan Peraturan Menteri Kehutanan Nomor:P.57/MENHUT-II/2008.

Perubahan iklim (*climate change*) juga diprediksi merupakan salah satu pendorong terjadinya kepunahan terhadap populasi tanaman (Thuiller *et al.* 2005). Perubahan iklim akan mempengaruhi fisik, karakteristik biologis, serta memodifikasi struktur dan fungsi suatu ekosistem (MacKinnon *et al.* 2008). Perubahan iklim yang menyebabkan perubahan pola hujan, panjang musim hujan, pergeseran awal musim hujan, dan meningkatnya kejadian iklim ekstrim berdampak serius pada sektor pertanian sehingga memberikan dampak terhadap produktivitas tanaman. Usaha mengatasi masalah penurunan populasi eboni dapat dilakukan melalui konservasi *in-situ*, *ex-situ*, budidaya serta usaha-usaha ke arah penggunaan yang berkelanjutan (Sunaryo 2002). Eboni untuk dapat berkembang biak dengan baik perlu didukung kondisi lingkungan tertentu pada tempat tumbuhnya seperti ketinggian tempat, cahaya, dan kelembaban (Allo 2002). Salah satu bagian penting tanaman yang berpengaruh terhadap perkembangbiakan tanaman dan cepat respon terhadap perubahan kondisi tempat tumbuh adalah daun.

Daun merupakan organ tanaman yang berperan untuk fotosintetis. Dengan demikian, bentuk dan ukuran daun merupakan faktor yang sangat penting dalam mempengaruhi keberhasilan tanaman. Untuk menyerap energi cahaya yang cukup, daun harus seluas mungkin dan pada saat yang sama, untuk proses pertukaran gas (CO_2 , O_2 , dan H_2O), daun harus serata dan setipis mungkin dan jika daunnya terlalu lebar dan terlalu tipis, daun tersebut akan cepat kering. Pengukuran bentuk daun merupakan masalah pemodelan yang menarik karena bentuk daun yang berbeda di setiap daerah.

Pemodelan pertumbuhan tanaman sekarang ini telah menjadi salah satu penelitian yang sering dilakukan di bidang pertanian, kehutanan, dan ilmu lingkungan. Karena pertumbuhan sumber daya komputer dan berbagai pengalaman

antara ahli biologi, ahli matematika, dan ahli komputer, pengembangan model pertumbuhan tanaman mengalami kemajuan yang luarbiasa selama dua dekade terakhir. Kegiatan memahami bagaimana ciri atau karakteristik tanaman dan kondisi lingkungan di lokasi tanam suatu tanaman seperti cahaya, suhu, karakteristik tanah, dan ketersediaan air sangat penting untuk meningkatkan hasil tanaman.

Beberapa penelitian yang terkait dengan analisis morfologi daun dengan faktor lingkungan antara lain penelitian Zhu *et al.* (2011) melakukan penelitian dengan melihat pola kepadatan venasi daun dan hubungan iklim pada tanaman *Quercus Variabilis*. Adapun hasil yang diperoleh bahwa kepadatan venasi sekunder dari populasi berkorelasi positif dengan suhu tahunan rata-rata. Tetapi, korelasinya dengan curah hujan tahunan rata-rata tidak signifikan. Selanjutnya Li *et al.* (2015) yang melakukan penelitian dengan melihat pengaruh faktor lingkungan pada morfologi daun Jujubes di China. Hasil dari penelitiannya mengatakan bahwa luas daun, venasi daun, serta perimeter daun jujube memiliki hubungan yang kuat dengan suhu dan curah hujan. Beberapa penelitian lainnya yang telah dilakukan oleh Guerin *et al.* (2012) melakukan penelitian dengan melihat bagaimana perubahan morfologi daun terkait dengan perubahan lingkungan. Hasil dari penelitiannya menjelaskan bahwa lebar daun berkorelasi negatif terhadap temperatur regional dan luas daun berkorelasi negatif terhadap temperature lokal. Selanjutnya Zhang *et al.* (2018) melakukan penelitian dengan melihat variasi venasi daun dan memperhatikan faktor lingkungan terhadap venasi daun pada tanaman *Parrotia Subaequalis*. Hasil yang diperoleh bahwa pada tanaman *Parrotia Subaequalis* memiliki hubungan yang signifikan antara kepadatan venasi dengan faktor lingkungan seperti suhu tahunan rata-rata, curah hujan rata-rata dan ketinggian daerah.

Mengetahui lokasi tempat tumbuh alami suatu tanaman dapat membantu botanikus dalam proses restorasi pada suatu populasi tanaman. Salah satu yang dapat dilakukan yaitu dengan melakukan identifikasi atau klasifikasi pada morfologi daun berdasarkan wilayah. *Support Vector Machine (SVM)* merupakan salah satu algoritma pengklasifikasian yang dapat digunakan untuk pengolompokan citra. Rakhmawati *et al.* (2018) melakukan penelitian dengan mengklasifikasikan penyakit daun kentang berdasarkan fitur tekstur dan fitur warna menggunakan *support vector machine*. Hasil dari penelitiannya menjelaskan bahwa hasil identifikasi menghasilkan nilai akurasi 87% dan diklasifikasikan dengan *multi SVM kernel RBF*.

Oleh karena itu, berdasarkan paparan diatas penelitian ini didisain dengan tujuan untuk menganalisis hubungan variabel iklim dengan morfologi daun eboni dan klasifikasinya berdasarkan tempat tumbuh alaminya dengan *Support Vector Machine*.

Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka rumusan masalah pada penelitian ini antara lain:

1. Bagaimana ciri-ciri morfologi daun Eboni yang bervariasi dalam kondisi lingkungan yang berbeda ?

2. Bagaimana hubungan variabel iklim dengan morfologi daun eboni ?
3. Bagaimana mengklasifikasikan daun eboni berdasarkan tempat tumbuh alaminya?
4. Bagaimana menganalisis hasil klasifikasi daun eboni berdasarkan tempat tumbuh alaminya ?

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

1. Mengetahui ciri-ciri morfologi daun eboni yang bervariasi dalam kondisi lingkungan yang berbeda.
2. Mengetahui hubungan variabel iklim dengan morfologi daun eboni.
3. Melakukan klasifikasi daun eboni berdasarkan lokasi atau wilayah pengambilannya.
4. Menganalisis hasil klasifikasi daun eboni berdasarkan lokasi pengambilannya.

Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat membantu peneliti dan pihak pengembang pertanian khususnya pada tanaman eboni dalam memahami ciri morfologi daun eboni di bawah kondisi lingkungan yang berbeda.

Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini adalah sebagai berikut:

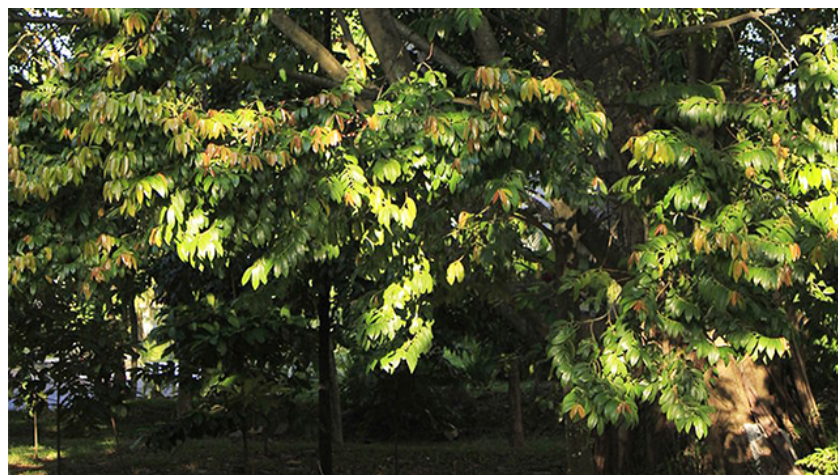
1. Data daun yang digunakan merupakan daun eboni *Diospyros celebica* yang tersebar di pulau Sulawesi.
2. Data iklim seperti temperatur rata-rata, curah hujan rata-rata, kelembaban rata-rata, kecepatan angin rata-rata, dan lama penyinaran matahari diperoleh dari BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika).

2 TINJAUAN PUSTAKA

Eboni

Eboni merupakan salah satu jenis kayu yang berasal dari marga *Diospyros* yang merupakan salah satu marga dari suku *Ebenaceae*. Marga *diospyros* mempunyai lebih dari 300 jenis yang tersebar di seluruh Kawasan hutan tropika di Asia, Australia, Kepulauan Pasifik dan Afrika (Kinho 2013). Salah satu spesies dari *diospyros* yaitu *Diospyros celebica* Bakh. (Gambar 1) yang merupakan salah satu jenis tanaman eboni-ebonian yang paling sempit penyebarannya di Indonesia, jenis tanaman ini hanya dapat ditemui tumbuh secara alami di pulau Sulawesi (Soerianegara 1967). Adapun klasifikasi jenis eboni ini secara lengkap dapat diuraikan sebagai berikut (Kinho J 2013) :

Kingdom : Tumbuh-tumbuhan
Divisio : Spermatophyta
Sub divisio : Angiospermae
Class : Dicotyledonae
Sub class : Sympetalae
Ordo : Ebenales
Famili : Ebenaceae
Genus : Diospyros
Species : Diospyros celebica Bakh.



Gambar 1 Tanaman eboni (Sumber : *wikimedia commons*)

Jenis tanaman ini dapat tumbuh pada berbagai tipe tanah seperti tanah berkapur, berpasir sampai tanah liat dan berbatu asal tidak becek, bermacam-macam jenis tanah seperti latosol, *calcareous soil* dan podsolik (Santoso 1997). Dan menurut Soerianegara (1967), ketinggian tempat tumbuh eboni dari 50-400 m di atas permukaan laut dan apabila di atas 600 m di atas permukaan laut maka tumbuhnya kurang baik, serta eboni juga dapat tumbuh dengan baik pada daerah curah hujan tahunan 1230 – 2750 mm. Deskripsi daerah sebaran pohon eboni di Sulawesi yang diperoleh oleh Santoso (2002) diberikan dalam Tabel 1.

Tabel 1 Daerah sebaran pohon eboni di Sulawesi

Lokasi	Ketinggian tempat (m)
Sulawesi Selatan	
1. Bantimurung	200 - 310
2. Camba	425
3. Duapitue	300
4. Kaluku	230
5. Malili	90 - 125
6. Mangkutana	90 – 125
7. Dumoga Bone	100 – 200
8. Danau Wudu	50 - 200
Sulawesi Tengah	

Lokasi	Ketinggian tempat (m)
1. Tangkura	50 - 100
2. Wawopada	50 - 200
3. Uekuli	100 – 200

Sebagai famili *Ebenaceae*, jenis pohon penghasil kayu ini banyak dipakai untuk meubel, patung, ukiran, hiasan dinding, alat musik, kipas dan kayu lapis mewah (Martawijaya *et al.* 1989). Semakin tingginya permintaan kayu eboni yang tidak seiring dengan keberhasilan budidaya menyebabkan populasi jenis ini semakin mengalami tekanan, baik dalam segi jumlah maupun habitatnya. Potensi kayu eboni di habitat alamnya pada hutan primer pada tahun 1985 dengan rata-rata produksi 5,85 m³ per-ha mengalami menjadi 2,56 m³ per-ha pada tahun 2003 (Allo 2008).

Karena kegunaannya yang begitu besar, pemanenan dan penebangan pohon eboni secara ilegal di hutan alam tidak terkendali. Oleh karena itu, sejak tahun 1986 pemerintah telah mengeluarkan Surat Keputusan Menteri Kehutanan No.31/Kpts/IV/86 yang mengatur tentang perijinan, penebangan, pengelolaan, peredaran dan melarang adanya penebangan baru terhadap jenis eboni. Namun, penebangan secara ilegal dan perdagangan gelap masih sering berlangsung sehingga menurut *IUCN Red List Categories of Threatened Species* bahwa jenis eboni ini telah terancam punah.

Plastisitas Tanaman

Plastisitas adalah salah satu solusi untuk adaptasi lingkungan yang heterogen. Plastisitas morfologi tanaman memungkinkan perubahan pola pertumbuhannya dapat disebabkan karena adanya tekanan yang berbeda dari faktor eksternal seperti lingkungan (Guo *et al.* 2007). Plastisitas morfologi tanaman memiliki peran yang penting dalam akuisisi sumber daya untuk tanaman. Variasi ukuran dan letak bagian organ tanaman yang memperoleh sumber daya seperti daun sangat penting untuk penyesuaian tanaman terhadap sumber daya yang tersedia. (Navas dan Garnier 2002).

Sebagai organ fotosintesis utama, daun memiliki peran penting dalam kelangsungan hidup dan pertumbuhan tanaman (Wright *et al.* 2004). Daun harus disesuaikan secara optimal dengan kondisi lingkungan karena daun merupakan bagian tanaman yang bereaksi sangat sensitif terhadap lingkungan (Xu *et al.* 2008). Diantara karakteristik morfologi daun, luas daun merupakan salah satu fitur yang paling plastis terkait dengan variasi intensitas cahaya (Boeger *et al.* 2006).

Morfologi Daun

Daun adalah salah satu organ yang paling penting pada suatu tanaman. Daun dirancang untuk menjadi efisien dalam mengumpulkan cahaya dan menggunakan energi cahaya tersebut untuk menghasilkan makanan atau dapat dikatakan bahwa daun sebagai pabrik atau penghasil karbohidrat yang berfungsi sebagai makanan (E-Unit 2009).

Morfologi daun merupakan pusat taksonomi dan sistematika tanaman (Viscosi dan Cardini 2011). Sifat dalam taksonomi dapat diperoleh dari berbagai bagian dan fase perkembangan tumbuhan meliputi sifat morfologi, anatomi, palinologi, embriologi, sitologi dan fitokimia. Dengan morfologi daun, dapat dipergunakan sebagai dasar pengenalan dan penyusunan klasifikasi tumbuhan (Jones dan Luchsinger 1979). Daun dapat dianggap sebagai Salinan dari tanaman, dan variasi dari morfologi daun dapat mencerminkan kapasitas tanaman untuk memperoleh, menggunakan, dan melestarikan sumber daya yang ada (Radice dan Arena 2015).

Perubahan Iklim/Lingkungan

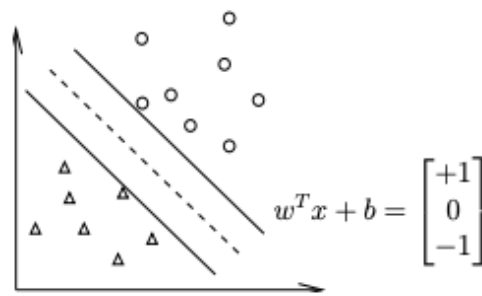
Perubahan Iklim (*climate change*) yang melibatkan suhu, curah hujan, dan komposisi atmosfer lain merupakan target perubahan untuk adaptasi perkembangan tanaman. Aktivitas manusia termasuk pembakaran bahan bakar fosil dan penggundulan hutan telah meningkatkan konsentrasi gas rumah kaca yang mengakibatkan pemanasan global dan gangguan siklus hidrologi sehingga akan mempengaruhi suatu lingkungan (Gray dan Brady 2016).

Enviromental atau lingkungan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Lingkungan mempengaruhi suatu tanaman dengan banyak cara dan kapan saja (Zchulse 2002). *Enviromental modelling* adalah suatu model yang bertujuan untuk menggambarkan interaksi antara lingkungan dan pertumbuhan tanaman (Fenni 2015). Sehingga dengan memahami bagaimana pertumbuhan dan perkembangan tanaman yang berinteraksi dengan faktor-faktor lingkungan termasuk cahaya, suhu, karakteristik tanah, dan ketersediaan air sangat penting untuk meningkatkan hasil tanaman.

Support Vector Machine

Support Vector Machine (SVM) merupakan sebuah teknik baru yang menjanjikan untuk klasifikasi dan regresi data. Setelah dikembangkan beberapa tahun terakhir, sudah menjadi topik penting dalam *machine learning* dan *pattern recognition* karena memiliki landasan teoritis yang lebih baik sehingga dapat bersaing dengan metode yang sudah ada seperti *neural network*, dan *decision tree* (Yang 2002).

Support Vector Machine (SVM) merupakan sistem pembelajaran untuk membagi data menjadi dua kelompok data yang menggunakan ruang hipotesis berupa fungsi-fungsi linier dalam sebuah ruang fitur berdimensi tinggi. Strategi dari SVM adalah berusaha menemukan *hyperplane* yang terbaik pada *input space* (Nugroho *et al.* 2003). Ilustrasi SVM untuk data yang terpisah secara linier menurut Vapnik dan Cortes (1995) disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2 SVM data linier

Gambar 2 mengilustrasikan dua kelas dapat dipisahkan oleh sepasang bidang pembatas yang sejajar (*hyperplane*). Bidang pembatas pertama membatasi kelas pertama sedangkan bidang pembatas kedua membatasi kelas kedua, sehingga diperoleh persamaan 1 (Vapnik dan Cortes 1995) :

$$\begin{aligned} w^T \cdot x_i + b &\geq 1, \text{ untuk } y_i = +1 \\ w^T \cdot x_i + b &\leq -1, \text{ untuk } y_i = -1 \end{aligned} \quad (1)$$

Non Linear SVM

Umumnya masalah dalam domain dunia nyata (*real world problem*) jarang yang bersifat *linear separable*, kebanyakan bersifat *non-linear*. Untuk menyelesaikan masalah *non-linear*, SVM dimodifikasi dengan memasukkan fungsi *kernel*. Salah satu *kernel* yang dapat digunakan pada masalah *non-linear* adalah *kernel RBF*. *Kernel RBF* adalah *kernel* yang secara *non-linear* dapat memetakan sampel ke dimensi yang lebih tinggi. Sehingga pada ruang *vector* yang baru ini, *hyperplane* yang memisahkan kedua kelas tersebut dapat dikonstruksikan. Adapun bentuk fungsinya, dapat dilihat pada Persamaan 2 :

$$K(x_i, x) = \exp\left(-\gamma |x_i^T x - x|^2\right), \gamma > 0 \quad (2)$$

Parameter yang harus diperhatikan pada fungsi *kernel* ini yaitu parameter C yang berfungsi untuk mengatur jarak margin dan parameter γ yang berfungsi untuk percepatan fungsi atau mengatur *kernel RBF* (Afentoulis dan Lioufi 2015).

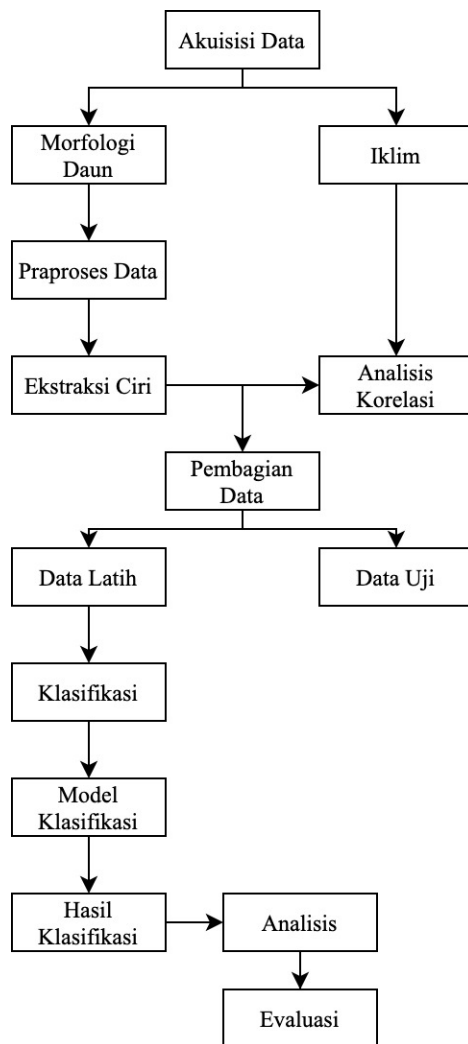
K-Fold Cross Validation

K-Fold Cross Validation adalah metode yang digunakan untuk membagi *dataset* menjadi sejumlah k buah yang dibagi secara acak. Data awal akan dibagi menjadi k bagian secara acak yaitu $D_1, D_2, D_3, D_4, \dots, D_k$ dengan ukuran bagian yang hampir sama dengan mempertahankan perbandingan antar kelas. Selanjutnya dilakukan iterasi sejumlah k kali iterasi untuk data *training* dan data *testing* (Refaeilzadeh *et al.* 2009). *K-Fold Cross Validation* juga dapat digunakan untuk mengurangi bias yang terjadi pada saat pengambilan data acak (Oslo dan Delen 2008).

3 METODE

Tahapan Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan terdiri atas beberapa tahapan seperti pada Gambar 3.



Gambar 3 Tahapan penelitian

Akuisisi Data

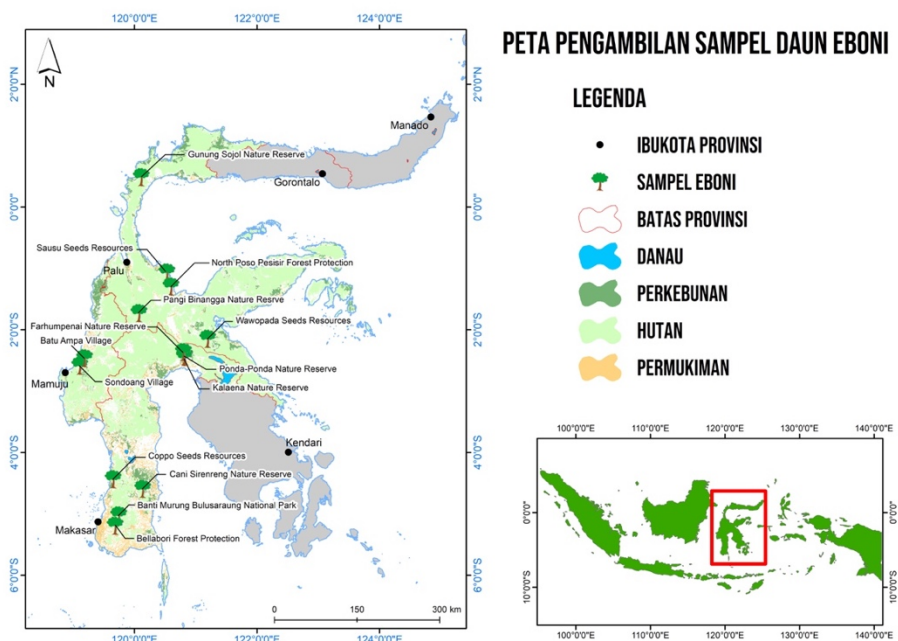
Akuisisi data merupakan kegiatan yang dilakukan untuk mengambil, mengumpulkan dan menyiapkan data yang sedang berjalan, kemudian data yang telah diperoleh diolah lebih lanjut dalam komputer untuk keperluan tertentu. Akuisisi data daun eboni diperoleh dari Siregar *et al.* (2019) yang melakukan pengambilan sampel daun eboni di beberapa lokasi sebaran alami eboni di wilayah Indonesia khususnya di Provinsi Sulawesi Selatan, Sulawesi Tengah, dan Sulawesi Barat. Pengambilan sampel dilaksanakan pada bulan Mei 2019 sampai November 2019 dengan mengambil 20-25 daun di setiap lokasi dengan dukungan data variabel



iklim yang diperoleh dari BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika) dengan periode tahun 2014-2019. Lokasi pengambilan data pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2 dan peta lokasi pengambilan data dapat dilihat pada Gambar 4.

Tabel 2 Lokasi pengambilan data

No.	Provinsi	Kabupaten	Kecamatan	Lokasi	Status Kawasan
1	Sulawesi Selatan	Maros		Taman Nasional Bantimurung	Taman Nasional
		Barru	Barru	Desa Coppo	Tegakan Benih Teridentifikasi (TBT)
		Sidenreng Rappang	Pituriase	Hutan Lindung Tana Toro	Hutan Lindung
		Gowa	Parangloe	Ballabori	Hutan Alam Sekunder
		Luwu Timur	Mangkutana	Desa Mango Lembo	Tegakan Benih Teridentifikasi (TBT)
		Luwu	Larompong	Hutan Pendidikan dan Wisata Temboe	Hutan Pendidikan dan Wisata
2	Sulawesi Barat	Mamuju	Papalang	Taman Wisata Alam Cani Sirenreng	Taman Wisata Alam
			Papalang	Desa Batu Papang	Tegakan Benih Teridentifikasi (TBT)
3	Sulawesi Tengah	Morowali	Lembo	Palado	IUUPHKA PT. Inhutan I
		Parigi Moutong	Sausu	Desa Wawopada	Tegakan Benih Teridentifikasi (TBT)
		Poso	Poso Pesisir	Desa Sausu	Tegakan Benih Teridentifikasi (TBT)
		Donggala		Hutan Pegunungan Peawati Cagar Alam Gunung Sojol	Hutan Pegunungan Cagar Alam



Gambar 4 Peta lokasi pengambilan sampel daun eboni di Pulau Sulawesi (Siregar *et al.* 2019)

Praproses Data

Praproses data dilakukan dengan proses herbarium terhadap daun eboni yang telah diperoleh. Setelah dilakukan proses herbarium dan daun menjadi kering, kemudian dilakukan *scanning* untuk memperoleh gambar daun secara digital. Selanjutnya dilakukan pengskalaan citra dan mengubah citra asli menjadi citra *grayscale*.

Ekstraksi Fitur

Ekstraksi fitur digunakan untuk mendapatkan karakteristik atau ciri pembeda pada setiap morfologi daun eboni. Adapun fitur morfologi daun eboni yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari fitur utama (luas daun, perimeter daun, panjang daun, lebar daun, *convexhull area*, *convexhull perimeter*, petiol) yang diukur menggunakan perangkat lunak analisis citra ImageJ (Perangkat lunak publik; <http://rsb.info.nih.gov/ij/>) yang merupakan salah satu aplikasi gratis untuk melakukan pengolahan digital berbasis Java dan fitur turunan yang dihasilkan dari hasil perhitungan kombinasi fitur utama seperti *convexity*, *aspect ratio*, *roundness*, *solidity*, *rectangularity*, *elongation*, *compactness*, dan *eccentricity*. Persamaan rumus fitur turunan dapat dilihat pada Tabel 3 (Manik *et al.* 2015).

Tabel 3 Persamaan rumus fitur turunan

Fitur Morfologi	Rumus
<i>Roundness</i>	$\frac{\text{luas daun}}{\text{lebar daun} \times \text{panjang daun}}$
<i>Solidity</i>	$\frac{\text{luas daun}}{\text{convex area}}$
<i>Eccentricity</i>	$\frac{\sqrt{(\text{panjang daun}^2 - \text{lebar daun}^2)}}{\text{panjang daun}}$
<i>Convexity</i>	$\frac{\text{convex perimeter}}{\text{perimeter}}$
<i>Compactness</i>	$\frac{4 \times \pi \times \text{luas daun}}{\text{perimeter}}$
<i>Elongation</i>	$1 - \frac{\text{lebar daun}}{\text{panjang daun}}$
<i>Rectangularity</i>	$\frac{\text{luas daun}}{\text{panjang daun} \times \text{lebar daun}}$
<i>Aspect ratio</i>	$\frac{\text{panjang daun}}{\text{lebar daun}}$

Feature Selection

Feature selection adalah suatu kegiatan yang bertujuan untuk memilih fitur yang berpengaruh dan mengesampingkan yang tidak berpengaruh dalam suatu kegiatan pemodelan. Karena penelitian ini akan melakukan klasifikasi morfologi daun, maka akan dilakukan *feature selection* guna untuk mereduksi fitur dan memaksimalkan hasil klasifikasi. Adapun metode yang digunakan untuk *feature selection* yaitu dengan melihat nilai korelasi variabel iklim dan morfologi daun eboni. Fitur dengan nilai korelasi yang rendah akan dikesampingkan dalam proses pemodelan.

Pemodelan

Pemodelan yang digunakan pada penelitian ini yaitu pemodelan klasifikasi dengan menggunakan teknik *non-linear SVM*. Pemodelan *non-linear SVM* ini terbagi dalam dua proses yaitu pembagian data dan *tuning hyperparameter*.

Pembagian Data

Pada tahap pembagian data untuk klasifikasi nonlinier SVM menggunakan metode *K-fold Cross Validation*. Penelitian ini akan menggunakan *10-fold cross validation* yang berarti bahwa data akan dibagi menjadi 10 bagian dengan perbandingan yang sama kemudian besar akurasi dari model akan dihitung bagian

demikian, selanjutnya akan dihitung nilai rata-rata seluruh akurasi model untuk mendapatkan akurasi model secara keseluruhan.

Tuning Hyperparameter

Tuning hyperparameter dilakukan menentukan parameter yang optimal untuk membangun sebuah model klasifikasi. Adapun parameter yang harus diperhatikan pada metode SVM yaitu parameter C , γ , serta *kernel*. Nilai C merupakan parameter yang digunakan untuk mengatur jarak margin dan nilai γ merupakan parameter yang berfungsi untuk percepatan fungsi atau mengatur *kernel RBF* (Amami *et al.* 2013).

Analisis

Tahapan analisis yang dilakukan pada setiap proses yang telah dilakukan yaitu :

1. Analisis hasil ekstraksi fitur morfologi daun eboni.
2. Analisis hubungan antara variabel iklim dengan morfologi daun eboni.
3. Analisis hasil klasifikasi SVM berdasarkan hasil pembagian data menggunakan *k-fold cross validation* serta optimasi parameter SVM yang digunakan untuk melakukan pengklasifikasian.

Evaluasi

Pada tahap ini dilakukan evaluasi model yang telah dipilih. Adapun evaluasi yang dilakukan terkait dengan nilai akurasi terbaik menggunakan *confusion matrix* terhadap hasil pengklasifikasian *nonlinear SVM* terhadap morfologi daun eboni. Hasil pengujian akan dideskripsikan dalam bentuk *confusion matrix* (Tabel 4).

Tabel 4 *Confusion matrix*

	<i>Predicted Positive</i>	<i>Predicted Negative</i>
<i>Actual Positive</i>	<i>True Positive (TP)</i>	<i>False Negative (FN)</i>
<i>Actual Negative</i>	<i>False Positive (FP)</i>	<i>True Negative (TN)</i>

Nilai pengukuran kemudian dihitung menggunakan perhitungan statistika berikut:

- Akurasi (AR): mengukur persentase data uji yang diklasifikasikan dengan benar

$$AR = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \times 100 \quad (3)$$

Peralatan Penelitian

Penelitian yang dilakukan menggunakan perangkat keras dan perangkat lunak sebagai berikut:

1. Perangkat keras berupa komputer dengan spesifikasi:
 - Macbook Pro MD101 i5.
 - RAM 8.00 GB.
 - SSD 250GB dan HDD 500GB
2. Perangkat lunak yang digunakan:
 - Sistem operasi MacOS Mojave
 - ImageJ
 - Bahasa pemrograman Python

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Praproses Data Morfologi Daun

Tahapan pertama yang dilakukan dalam praproses data adalah melakukan *cropping* pada setiap foto hasil scan. Hal ini bertujuan untuk memisahkan daun yang berada di tangkai daun sehingga foto tersebut dapat diolah dengan mudah ditahap selanjutnya.

Proses *Grayscale*

Setelah dilakukan *cropping* pada semua data citra daun Eboni, selanjutnya dilakukan proses *grayscale* (Gambar 5). Tujuan dilakukannya proses *grayscale* ialah agar informasi pada citra lebih sedikit dibandingkan dengan citra berwarna.

Citra Asli



Citra *Grayscale*



Gambar 5 Hasil *grayscale* daun Eboni

Proses *Threshold*

Setelah dilakukan proses *grayscale*, dilakukan proses *threshold*. *Thresholding* adalah salah satu metode segmentasi yang digunakan untuk memisahkan objek yang dianggap latar depan dan latar belakang.

Citra Grayscale



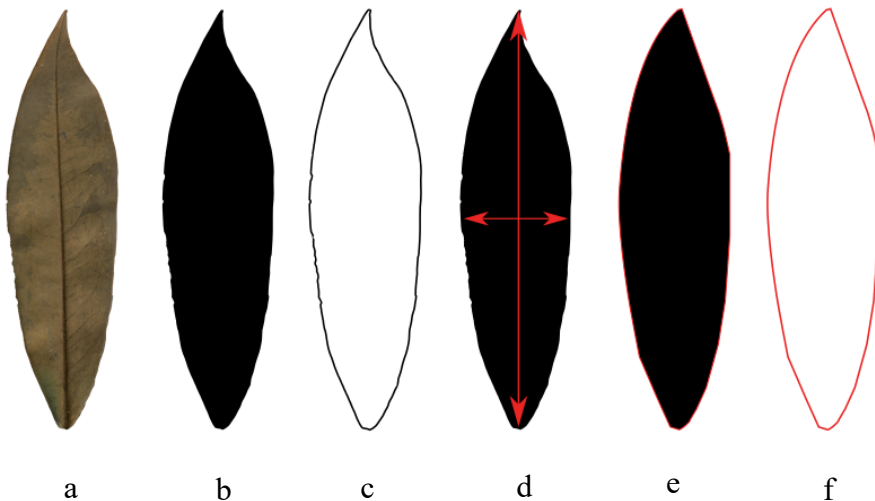
Citra Threshold



Gambar 6 Hasil *threshold* daun Eboni

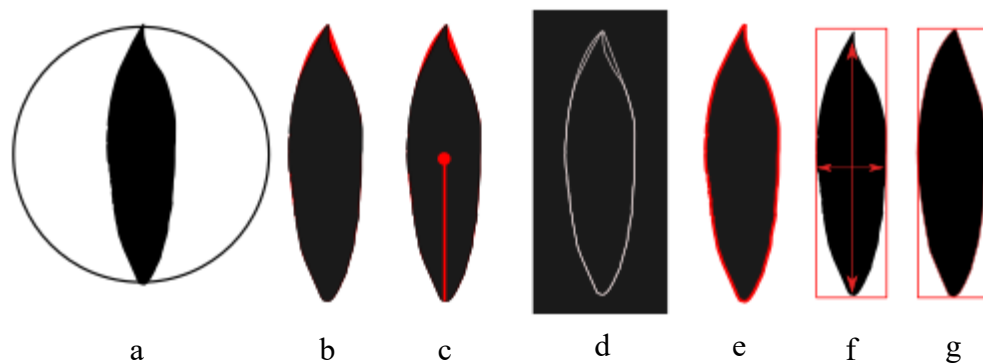
Ekstraksi Ciri

Untuk mengenali objek dalam sebuah gambar, beberapa fitur / ciri harus diekstraksi terlebih dahulu. Adapun fitur yang diekstrak pada daun eboni yaitu luas daun, perimeter daun, panjang daun, lebar daun, *convex area*, *convex perimeter*.



Gambar 7 Fitur utama morfologi daun eboni; (a) Citra Asli, (b) Luas daun, (c) Perimeter daun, (d) Panjang dan lebar daun, (e) Convex area, (f) Convex perimeter

Adapun fitur lain yang digunakan adalah fitur turunan morfologi. Fitur turunan ini didapatkan dari hasil proporsi dari fitur utama. Seperti *roundness*, *solidity*, *eccentricity*, *convexity*, *compactness*, *elongation*, dan *rectangularity*.



Gambar 8 Fitur turunan morfologi daun eboni; (a) *Roundness*, (b) *solidity*, (c) *eccentricity*, (d) *convexity*, (e) *compactness*, (f) *elongation*, (g) *rectangularity*.

Hasil dari ekstraksi fitur luas daun, perimeter daun, panjang daun, lebar daun, *convex area*, *convex perimeter* dapat dilihat pada Tabel 5 sedangkan *roundness*, *solidity*, *eccentricity*, *convexity*, *compactness*, *elongation*, *rectangularity* dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 5 Hasil ekstraksi fitur luas daun, perimeter daun, panjang daun, lebar daun, *convex area*, *convex perimeter*

Luas daun	Perimeter	Panjang daun	Lebar daun	Convex area	Convex Perimeter	Petiole
106.815	60.684	26.486	5.469	109.636	55.462	0.89
113.965	65.95	28.61	5.615	118.426	59.521	1.031
57.81	45.717	19.296	4.175	59.26	40.422	0.857
110.36	59.203	26.258	5.706	112.961	55.163	0.835
81.489	51.303	22.727	5.067	84.044	47.731	0.952
96.756	57.732	25.925	5.195	99.799	54.047	0.93
58.644	43.283	19.45	4.319	60.031	40.493	0.862
90.706	56.52	25.198	5.119	95.028	52.5	0.78
98.731	58.954	26.199	5.328	102.933	54.837	1.154
87.852	54.578	24.202	5.198	90.71	50.485	0.968
62.161	46.802	20.933	4.452	65.106	43.738	1.051
56.327	44.95	20.382	3.802	58.225	42.305	0.967
60.615	46.952	20.989	3.974	62.788	43.882	1.197
62.657	48.367	21.781	4.053	66.034	45.346	0.949
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.

Tabel 6 Hasil ekstraksi fitur turunan *circularity*, *roundness*, *solidity*, *rectangle*, *elongation*, *eccentricity*, *convexity*

Circularity	Roundness	Solidity	Rectangle	Elongation	Eccentricity	Convexity
0.364	0.213	0.974	0.737	0.794	0.978	0.914
0.329	0.212	0.962	0.709	0.804	0.981	0.903
0.348	0.221	0.976	0.718	0.784	0.976	0.884
0.396	0.222	0.977	0.737	0.783	0.976	0.932
0.389	0.234	0.97	0.708	0.777	0.975	0.930
0.365	0.211	0.969	0.718	0.800	0.980	0.936
0.393	0.234	0.977	0.698	0.778	0.975	0.936
0.357	0.211	0.955	0.703	0.797	0.979	0.929
0.357	0.216	0.959	0.707	0.797	0.979	0.930
0.371	0.226	0.968	0.698	0.785	0.977	0.925
0.357	0.211	0.955	0.667	0.787	0.977	0.935
0.35	0.194	0.967	0.727	0.813	0.982	0.941
0.346	0.196	0.965	0.727	0.811	0.982	0.935
0.337	0.189	0.949	0.710	0.814	0.983	0.938
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.

Pada Tabel 5 dan Tabel 6 nilai fitur utama (luas daun, perimeter daun, panjang daun, lebar daun, *convex area*, *convex perimeter*) dan fitur turunan (*circularity*, *roundness*, *solidity*, *rectangle*, *elongation*, *eccentricity*, *convexity*) memiliki distribusi yang berbeda yang dapat berdampak pada algoritma *machine learning* yang kebanyakan *machine learning* dan *optimization algorithm* dapat berkerja dengan baik jika fitur berada di scala yang sama (Alvarez *et al.* 2012). Sehingga selanjutnya akan dilakukan standarisasi pada fitur morfologi daun eboni.

Praproses Data Iklim/Lingkungan

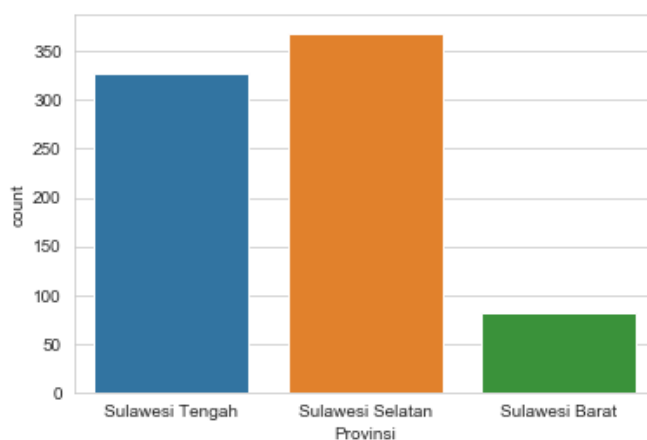
Data iklim yang digunakan pada penelitian ini diambil dari BMKG dengan durasi waktu 2014-2019. Data tersebut diambil dari 10 Kabupaten tempat pengambilan daun eboni. Fitur iklim ini terdiri dari temperatur, kelembaban, curah hujan, lama penyinaran matahari, dan kecepatan angin. Data yang telah dikumpulkan terlebih dahulu diproses untuk mengatasi *missing value* yang terdapat pada dataset iklim dengan cara mengisi data yang kosong dengan nilai rata-rata dari setiap variabel iklim. Contoh hasil dari praproses data iklim dapat dilihat pada tabel

Tabel 7 Contoh hasil praproses data iklim

Tanggal	Temperatur	Kelembapan	Curah hujan	LPM	Kecepatan angin
2015-01-31	26.71	87.04	27.03	3.25	2.14
2015-02-28	26.70	86.38	17.74	4.69	1.82
2015-03-31	27.04	85.70	11.39	5.70	1.70
2015-04-30	27.30	83.83	9.85	6.02	1.56
2015-05-31	27.72	81.23	3.73	7.25	1.73
2015-06-30	26.98	83.29	4.68	5.59	1.53
2015-07-31	26.84	75.68	1.84	9.12	1.88
2015-08-31	26.96	71.00	0.80	9.03	2.11
2015-09-30	27.64	65.15	2.48	9.62	2.36
2015-10-31	28.79	64.14	2.54	10.16	2.31
2015-11-30	28.88	78.02	7.76	8.17	1.89
2015-12-31	27.67	86.29	22.91	5.34	1.84
2016-01-31	28.11	84.34	13.15	7.28	1.90
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.

Eksplorasi Data Daun Eboni

Eksplorasi data dilakukan untuk memperoleh gambaran umum tentang data daun yang digunakan pada penelitian ini. Bentuk eksplorasi ini dalam bentuk data statistik daun di setiap wilayah disajikan pada Gambar 9. Terlihat bahwa terdapat 3 lokasi pengambilan sampel daun eboni yaitu dari provinsi Sulawesi Selatan, Sulawesi Tengah, dan Sulawesi Barat. Adapun jumlah data citra daun yang diperoleh dari setiap lokasi yaitu Sulawesi Tengah sebanyak 327 citra daun, Sulawesi Selatan sebanyak 369 citra daun, dan Sulawesi Barat sebanyak 81 citra daun.



Gambar 9 Jumlah daun dari setiap wilayah

Setelah melakukan ekstraksi fitur pada morfologi daun eboni, kemudian dihitung rata-rata setiap fitur. Hasil rata-rata dari setiap fitur morfologi daun dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8 Nilai fitur morfologi

Fitur Morfologi	Nilai
Rata-rata luas daun	80.106
Rata-rata perimeter	50.681
Rata-rata <i>circularity</i>	0.382
Rata-rata panjang daun	22.513
Rata-rata lebar daun	4.919
Rata-rata <i>aspect ratio</i>	4.436
Rata-rata <i>roundness</i>	0.228
Rata-rata <i>solidity</i>	0.967
Rata-rata <i>rectangle</i>	0.706
Rata-rata <i>elongation</i>	0.781
Rata-rata <i>eccentricity</i>	0.975
Rata-rata <i>convexhull area</i>	82.681
Rata-rata <i>convexhull perimeter</i>	47.136
Rata-rata <i>convexity</i>	0.930
Rata-rata <i>petiole</i>	0.851

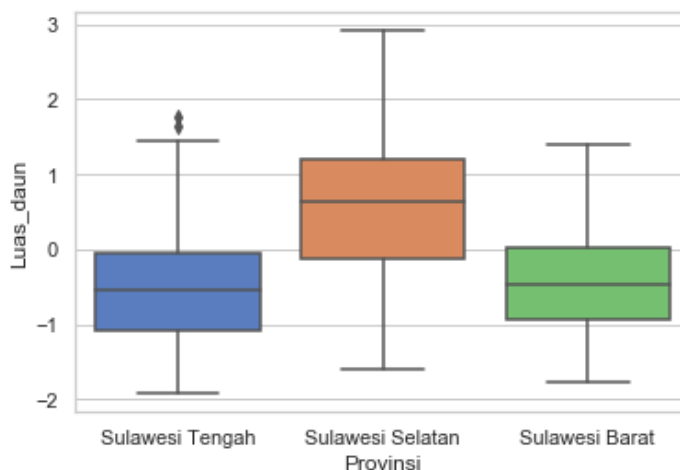
Tabel 8 menunjukkan bahwa nilai rata-rata dari setiap fitur morfologi daun memiliki rentang yang sangat jauh sehingga akan dilakukan normalisasi dengan menggunakan normalisasi *Z-Score*. Hasil dari normalisasi *Z-Score* dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9 Hasil nilai *Z-Score* fitur morfologi

Fitur Morfologi	Nilai
Rata-rata luas daun	-3.657e-17
Rata-rata perimeter	-2.560e-16
Rata-rata <i>circularity</i>	-7.407e-16
Rata-rata panjang daun	2.560e-16
Rata-rata lebar daun	1.463e-16
Rata-rata <i>aspect ratio</i>	7.315e-17
Rata-rata <i>roundness</i>	-6.218e-16
Rata-rata <i>solidity</i>	3.795e-15
Rata-rata <i>rectangle</i>	-1.609e-15
Rata-rata <i>elongation</i>	1.646e-15
Rata-rata <i>eccentricity</i>	2.448e-14
Rata-rata <i>convexhull area</i>	-7.315e-17
Rata-rata <i>convexhull perimeter</i>	1.005e-15
Rata-rata <i>convexity</i>	-1.902e-15
Rata-rata <i>petiole</i>	-6.401e-17

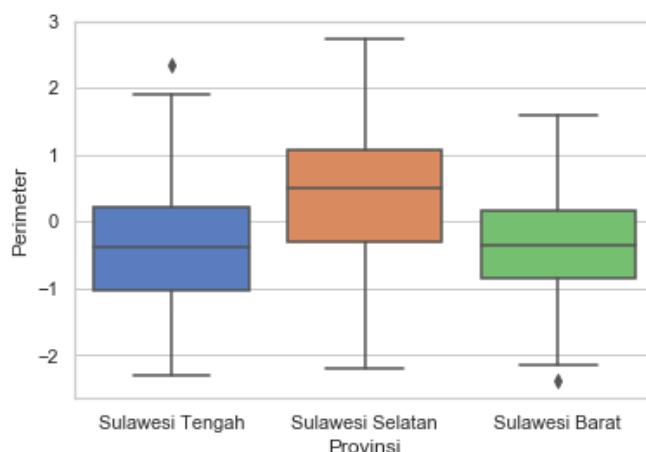
Dari hasil yang diperoleh pada Tabel 9, dibuatlah *boxplot* setiap fitur morfologi daun dari setiap provinsi. *Boxplot* dapat menunjukkan pola data yang berupa rata-rata, median, kuartil pertama dan ketiga, serta dapat menunjukkan jika

terdapat data yang dapat dianggap sebagai *outlier* (Sun dan Genton 2011). Fitur morfologi yang dianalisis adalah fitur utama morfologi daun eboni yaitu sebanyak 7 fitur. Fitur-fitur tersebut antara lain luas daun, perimeter, panjang daun, lebar daun, *convex area*, *convex perimeter*, dan petiol.



Gambar 10 *Boxplot* fitur luas daun

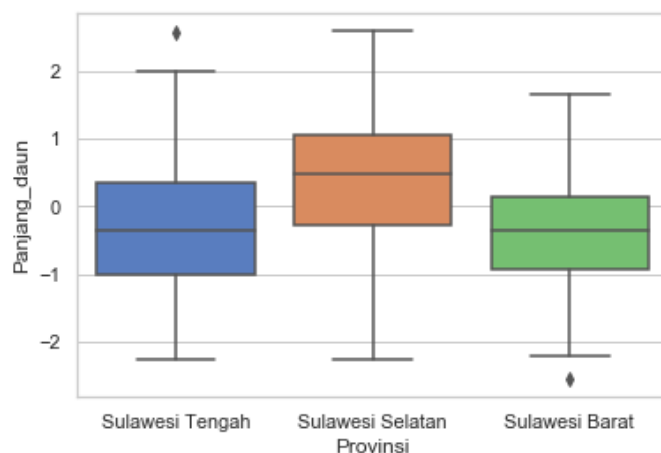
Berdasarkan *boxplot* fitur luas daun pada Gambar 10, hanya nilai luas daun dari Sulawesi Tengah yang memiliki *outlier*. Keragaman data paling tinggi ditunjukkan pada daerah Sulawesi Selatan dan paling rendah Sulawesi Tengah. Dari ke 3 lokasi tersebut, Sulawesi Tengah dan Sulawesi Barat memiliki pola sebaran yang mendekati simetris. Untuk Sulawesi Selatan kemiringan pola sebaran datanya positif. Hal ini menunjukkan bahwa rata-rata nilai luas daun dari Sulawesi Selatan berada diatas nilai mediannya.



Gambar 11 *Boxplot* fitur perimeter

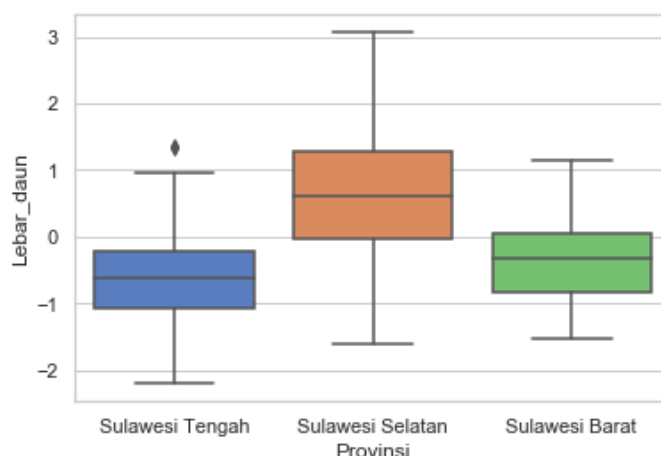
Berdasarkan *boxplot* fitur perimeter pada Gambar 11, nilai perimeter dari Sulawesi Tengah dan Sulawesi Barat yang memiliki *outlier*. Keragaman data paling tinggi ditunjukkan pada daerah Sulawesi Selatan dan paling rendah Sulawesi Tengah. Dari ke 3 lokasi tersebut, Sulawesi Tengah dan Sulawesi Barat memiliki pola sebaran yang mendekati simetris. Untuk Sulawesi Selatan kemiringan pola

sebaran datanya positif. Hal ini menunjukkan bahwa rata-rata nilai perimeter dari Sulawesi Selatan berada diatas nilai mediannya.



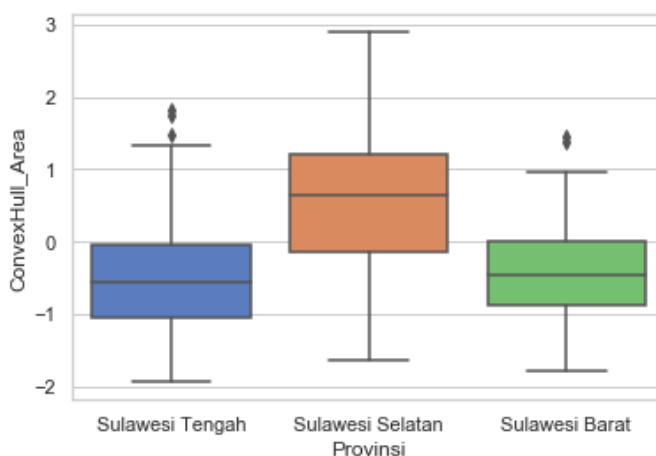
Gambar 12 *Boxplot* fitur panjang daun

Berdasarkan *boxplot* fitur panjang daun pada Gambar 12, nilai panjang daun dari Sulawesi Tengah dan Sulawesi Barat yang memiliki *outlier*. Keragaman data paling tinggi ditunjukkan pada daerah Sulawesi Selatan dan paling rendah Sulawesi Barat. Dari ke 3 lokasi tersebut, Sulawesi Tengah memiliki pola sebaran yang mendekati simetris. Untuk Sulawesi Selatan dan Sulawesi Barat kemiringan pola sebaran datanya positif. Hal ini menunjukkan bahwa rata-rata nilai panjang daun dari Sulawesi Selatan dan Sulawesi Barat berada diatas nilai mediannya.



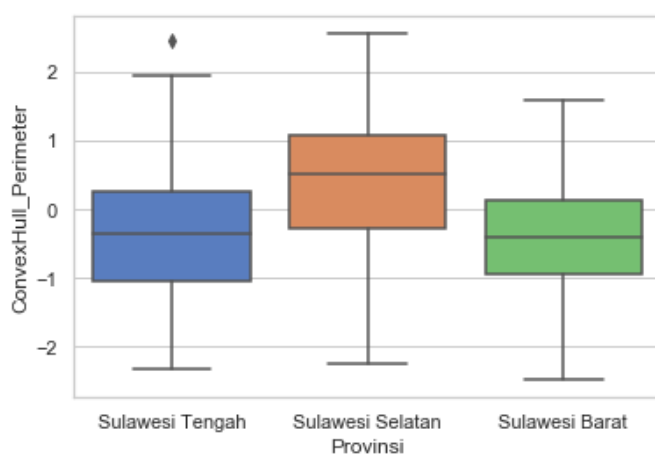
Gambar 13 *Boxplot* fitur lebar daun

Berdasarkan *boxplot* fitur lebar daun pada Gambar 13, hanya nilai lebar daun dari Sulawesi Tengah yang memiliki *outlier*. Keragaman data paling tinggi ditunjukkan pada daerah Sulawesi Selatan dan paling rendah Sulawesi Tengah. Dari ke 3 lokasi tersebut, Sulawesi Tengah dan Sulawesi Selatan memiliki pola sebaran yang mendekati simetris. Untuk Sulawesi Barat kemiringan pola sebaran datanya positif. Hal ini menunjukkan bahwa rata-rata nilai luas daun dari Sulawesi Barat berada diatas nilai mediannya.



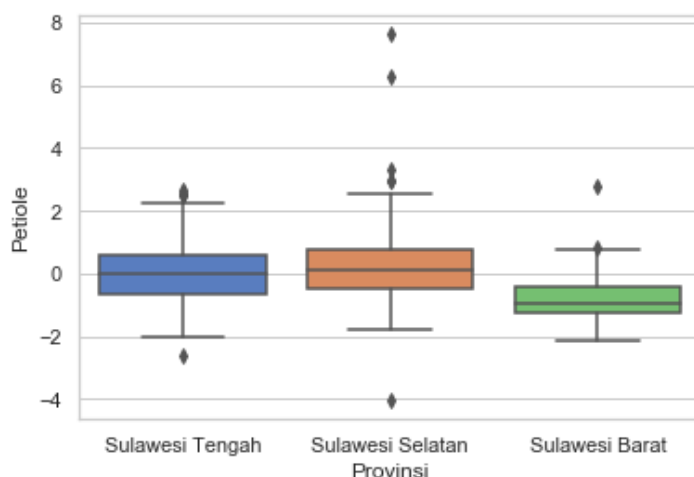
Gambar 14 *Boxplot* fitur *convexhull area*

Berdasarkan *boxplot* fitur *convexhull area* pada Gambar 14, nilai *convex area* dari Sulawesi Tengah dan Sulawesi Barat yang memiliki *outlier*. Keragaman data paling tinggi ditunjukkan pada daerah Sulawesi Selatan dan paling rendah Sulawesi Tengah. Dari ke 3 lokasi tersebut, Sulawesi Tengah dan Sulawesi Barat memiliki pola sebaran yang mendekati simetris. Untuk Sulawesi Selatan kemiringan pola sebaran datanya positif. Hal ini menunjukkan bahwa rata-rata nilai *convex area* dari Sulawesi Selatan berada diatas nilai mediannya.



Gambar 15 *Boxplot* fitur *convexhull perimeter*

Berdasarkan *boxplot* fitur *convexhull perimeter* pada Gambar 15, hanya nilai *convex perimeter* dari Sulawesi Tengah yang memiliki *outlier*. Keragaman data paling tinggi ditunjukkan pada daerah Sulawesi Selatan dan paling rendah Sulawesi Tengah. Dari ke 3 lokasi tersebut, Sulawesi Tengah dan Sulawesi Barat memiliki pola sebaran yang mendekati simetris. Untuk Sulawesi Selatan kemiringan pola sebaran datanya positif. Hal ini menunjukkan bahwa rata-rata nilai *convex perimeter* dari Sulawesi Selatan berada diatas nilai mediannya.

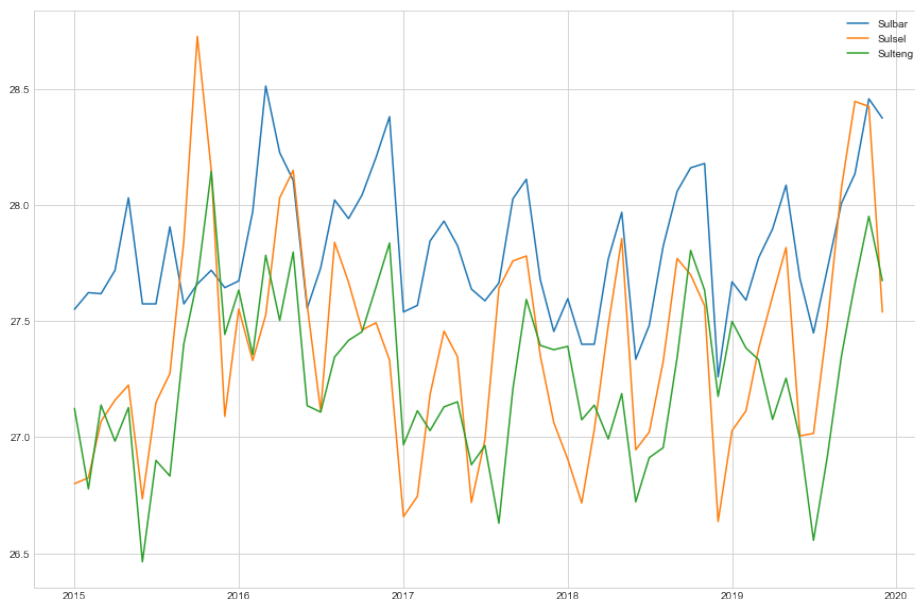


Gambar 16 *Boxplot* fitur petiol

Berdasarkan *boxplot* fitur petiol pada Gambar 16, semua daerah memiliki *outlier*. Keragaman data paling tinggi ditunjukkan pada daerah Sulawesi Selatan dan paling rendah Sulawesi Barat. Dari ke 3 lokasi tersebut, Sulawesi Tengah dan Sulawesi Selatan memiliki pola sebaran yang mendekati simetris. Untuk Sulawesi Barat kemiringan pola sebaran datanya negatif. Hal ini menunjukkan bahwa rata-rata nilai petiol dari Sulawesi Barat berada dibawah nilai mediannya. Untuk *boxplot* fitur turunan morfologi daun eboni dapat dilihat pada Lampiran 1.

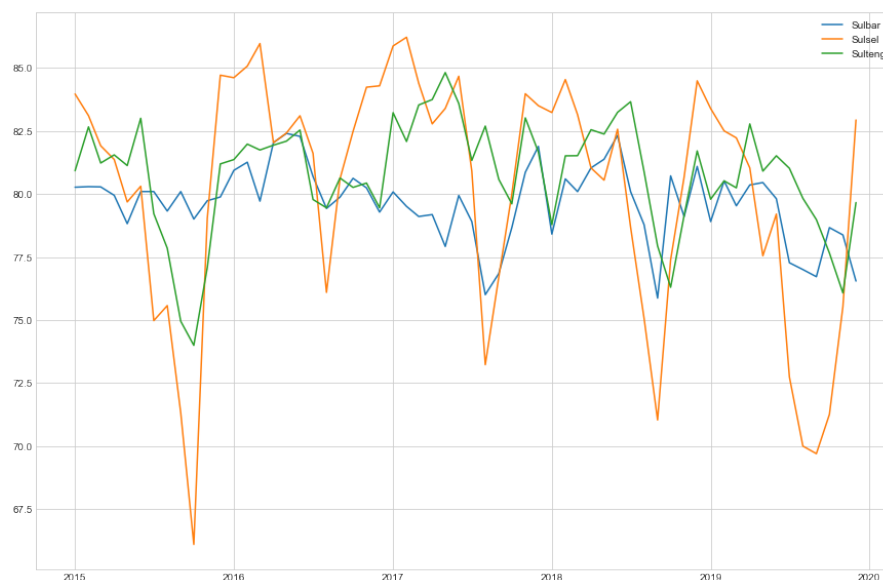
Eksplorasi Data Iklim

Eksplorasi data iklim ini dilakukan untuk memperoleh gambaran umum tentang data iklim pada lokasi pengambilan daun Eboni. Perbandingan temperatur dari 2015-2019 disajikan pada Gambar 17.



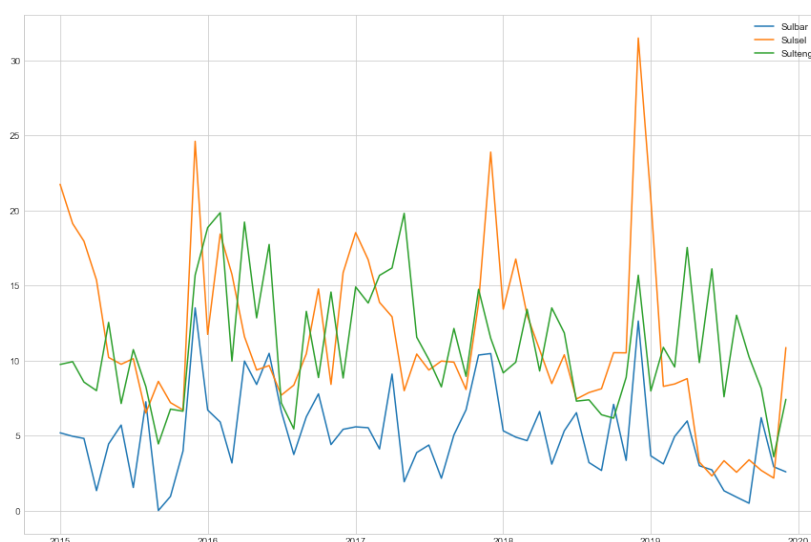
Gambar 17 Perbandingan temperatur dari 2015-2019

Berdasarkan Gambar 17, terlihat bahwa provinsi Sulawesi Barat memiliki nilai temperatur tertinggi setiap tahunnya diikuti oleh Sulawesi Selatan, kemudian Sulawesi Tengah. Dan dari pola grafik yang ada, dapat dilihat bahwa nilai temperatur setiap provinsi di awal tahun akan menurun dan diakhir tahun akan meningkat.



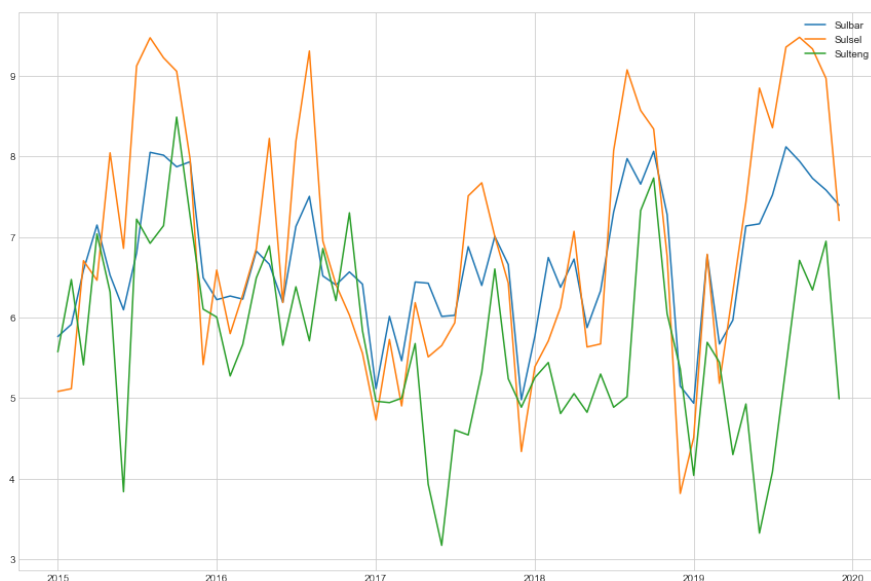
Gambar 18 Perbandingan kelembaban dari 2015-2019

Berdasarkan Gambar 18, terlihat bahwa nilai kelembaban tertinggi terjadi di provinsi Sulawesi Selatan diikuti oleh Sulawesi Tengah, dan Sulawesi Barat. Dan dari pola grafik yang ada, dapat dilihat bahwa nilai kelembaban di Sulawesi Selatan pada bulan pertengahan setiap tahunnya menurun dibandingkan provinsi lainnya.



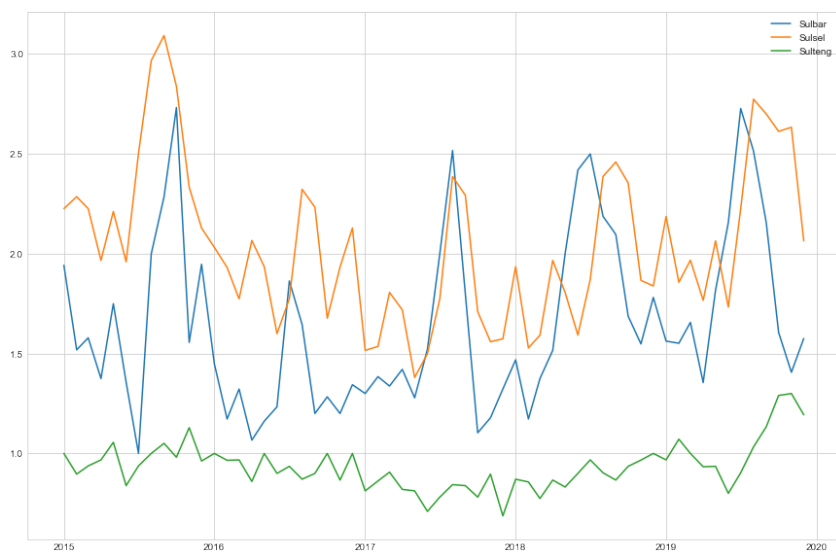
Gambar 19 Perbandingan curah hujan dari 2015-2019

Berdasarkan Gambar 19, terlihat bahwa nilai curah hujan tertinggi terjadi di provinsi Sulawesi Selatan dan Sulawesi Tengah diikuti oleh Sulawesi Barat.



Gambar 20 Perbandingan lamanya penyinaran matahari dari 2015-2019

Berdasarkan Gambar 20, terlihat bahwa nilai lama penyinaran matahari tertinggi terjadi di provinsi Sulawesi Selatan diikuti oleh Sulawesi Barat, dan Sulawesi Tengah. Dan dari pola grafik yang ada, dapat dilihat bahwa nilai lama penyinaran matahari meningkat pada pertengahan bulan di setiap provinsi.



Gambar 21 Perbandingan kecepatan angin dari 2015-2019

Berdasarkan Gambar 21, terlihat bahwa nilai kecepatan angin tertinggi terjadi di provinsi Sulawesi Selatan diikuti oleh Sulawesi Barat, dan Sulawesi Tengah.

Hubungan Variabel Iklim dan Fitur Morfologi Daun Eboni

Korelasi variabel iklim dengan fitur morfologi bertujuan untuk melihat apakah ada hubungan antara variabel iklim dengan fitur morfologi. Jika terdapat,

apakah nilai korelasinya tinggi atau rendah. Nilai korelasi antar variabel iklim dengan fitur morfologi disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10 Nilai korelasi variabel iklim dengan fitur morfologi daun eboni

	Temperatur	Kelembaban	Curah Hujan	LPM	Kecepatan Angin
Luas daun	-0.22	-0.12	0.29	0.25	-0.014
Perimeter	-0.14	-0.11	0.18	0.23	0.087
<i>Circularity</i>	-0.31	-0.01	0.37	0.038	-0.36
Panjang daun	-0.13	-0.08	0.17	0.2	0.091
Lebar daun	-0.28	-0.14	0.35	0.26	-0.092
<i>Aspect rasio</i>	0.28	0.1	-0.4	-0.17	0.29
<i>Roundness</i>	-0.3	-0.12	0.39	0.18	-0.27
<i>Solidity</i>	-0.23	-0.03	0.21	0.099	-0.2
<i>Rectangle</i>	0.036	0.026	-0.06	-0.058	-0.087
<i>Elongation</i>	0.31	0.1	-0.38	-0.15	0.3
<i>Eccentricity</i>	0.31	0.11	-0.37	-0.15	0.29
<i>Convexhull Area</i>	-0.21	-0.12	0.28	0.25	-0.006
<i>Convexhull Perimeter</i>	-0.14	-0.08	0.19	0.21	0.077
<i>Convexity</i>	-0.058	0.26	-0.08	-0.34	-0.13
<i>Petiole</i>	-0.14	-0.13	0.092	-0.075	-0.004

Berdasarkan Tabel 10, dapat dilihat bahwa temperatur berkorelasi negatif terhadap fitur-fitur utama morfologi daun eboni seperti luas daun, perimeter daun, panjang daun, lebar daun, *convex area*, *convex perimeter*, petiol daun dan berkorelasi positif terhadap fitur turunan seperti *aspect rasio*, *elongation*, dan *eccentricity*. Hal tersebut didukung oleh penelitian (Hardwick *et al.* 2015) yang mengatakan bahwa temperatur berkorelasi negatif terhadap luas daun.

Curah hujan berkorelasi positif terhadap fitur utama morfologi dan berkorelasi negatif terhadap fitur turunan seperti *aspect rasio*, *elongation*, dan *eccentricity*. Hal tersebut didukung oleh penelitian (Li *et al.* 2015) yang mengatakan bahwa curah hujan berkorelasi positif terhadap luas daun jujubes cina. Kemudian untuk variabel iklim lainnya seperti kelembaban, lama penyinaran matahari, dan kecepatan angin juga memiliki hubungan terhadap morfologi daun eboni tetapi nilai korelasinya sangat rendah. Selanjutnya untuk fitur *rectangle* dan *petiole* tidak dimasukkan dalam proses klasifikasi karena nilai korelasinya terhadap variabel iklim yang sangat rendah.

Hasil Klasifikasi *Support Vector Machine*

Klasifikasi dilakukan pada daun eboni. Morfologi daun eboni berlaku sebagai fitur dan yang berlaku sebagai kelas atau target yaitu lokasi pengambilan sampel yang terdiri dari tiga provinsi (Sulawesi Selatan, Sulawesi Tengah, dan Sulawesi Barat). Data morfologi daun eboni dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11 Data morfologi daun eboni

No	Lokasi	Jumlah
1	Sulawesi Selatan	369
2	Selawesi Tengah	327
3	Sulawesi Barat	81

Tabel 11 menunjukkan bahwa data morfologi daun eboni sebanyak 369 daun berasal dari Sulawesi Selatan, 327 daun berasal dari Sulawesi Tengah, dan 81 daun berasal dari Sulawesi Barat. Dapat dilihat bahwa data dari setiap lokasi tidak seimbang. Sehingga, apabila proses klasifikasi dilakukan, data dari Sulawesi Barat cenderung diklasifikasikan sebagai *noise* ataupun pencilan (*outlier*) yang dapat merusak hasil pemodelan. Maka dari itu, untuk mengatasi data yang tidak seimbang ini maka digunakan metode *SMOTE* (*Synthetic Minority Oversampling Technique*). Hasil *SMOTE* dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12 Hasil penggunaan SMOTE pada data morfologi daun eboni

No	Lokasi	Jumlah
1	Sulawesi Selatan	369
2	Selawesi Tengah	369
3	Sulawesi Barat	369

Tabel 12 menunjukkan bahwa data morfologi daun eboni dari setiap lokasi seimbang, yaitu masing-masing sebanyak 369 data daun. Selanjutnya, tahapan yang dilakukan dalam model klasifikasi menggunakan SVM adalah pembagian data dan pemilihan parameter *kernel*. Pada penelitian ini, *kernel* yang digunakan adalah *kernel RBF*.

Dengan menggunakan data dari hasil *SMOTE*, data kemudian dibagi menggunakan *10-Fold Cross Validation* yang membagi data sampel secara acak dan mengelompokkan data sebanyak 10 *fold*, kemudian salah satu kelompok dari 10 *fold* akan dijadikan data uji dan sisa kelompok lainnya dijadikan data latih. Selanjutnya dilakukan *tuning hyperparameter* yang bertujuan untuk menemukan parameter yang optimal untuk model yang digunakan.

Dalam proses *tuning hyperparameter* SVM ini, akan digunakan *kernel RBF*. Adapun parameter lain yang diujicobakan adalah parameter C [0.1, 1, 10, 100, 1000] dan parameter γ (gamma) [1, 0.1, 0.01, 0.001] (Agatsa *et al.* 2020). Pemilihan parameter terbaik dilihat dari nilai akurasi yang dihasilkan pada saat pelatihan. Rincian kombinasi nilai parameter C dan γ dengan nilai akurasi yang dihasilkan ditunjukkan pada Tabel 13.

Tabel 13 Nilai akurasi dengan kernel RBF dari setiap parameter C dan γ

C \ γ	1	0.5	0.1	0.001
0,1	58.26%	73.72%	73.54%	63.58%
1	84.34%	82.48%	78.50%	72.81%
10	83.65%	82.57%	81.84%	73.99%
100	83.74%	82.93%	83.02%	74.80%

1000 83.74% 82.84% 81.48% 76.97%

Berdasarkan Tabel 13, diperoleh nilai akurasi terendah dari *dataset* sebesar 58.26% dengan parameter C dan γ (1;0,1). Sedangkan nilai akurasi terbesar dari *dataset* sebesar 84.34%, dengan pasangan nilai parameter C dan γ adalah (1;1). Adapun rincian tingkat akurasi dari setiap *fold* dari parameter C dan γ (1;1) dapat dilihat pada Tabel 14.

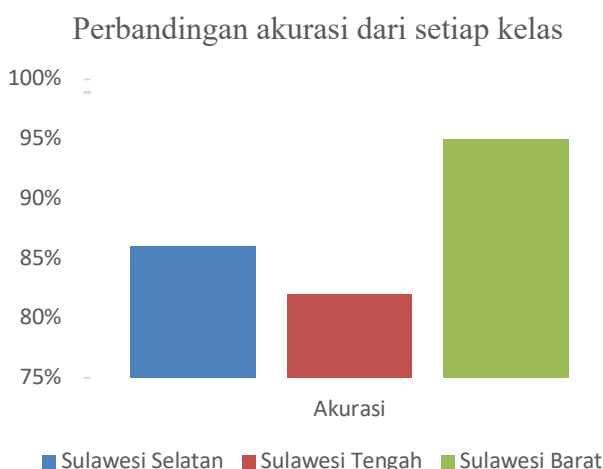
Tabel 14 Rincian nilai akurasi dengan parameter C dan γ (1;1)

<i>Fold</i>	Akurasi
1	75.67%
2	76.57%
3	78.37%
4	86.48%
5	82.88%
6	85.58%
7	95.49%
8	84.54%
9	85.45%
10	92.72%
Rataan	84.38%

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada Tabel 14, dapat dilihat bahwa dengan penggunaan *10-fold* untuk mengevaluasi kinerja model yang telah digunakan, diperoleh akurasi tertinggi pada *fold* ke 7 sebesar 95.49% dan rata-rata akurasi dari *10-fold* adalah 84.38%.

Evaluasi

Pada tahap ini dilakukan evaluasi model klasifikasi untuk menguji tingkat akurasi dari setiap kelas menggunakan 80% data latih dan 20% data uji. Perbandingan akurasi dari setiap kelas dapat dilihat pada Gambar 22.



Gambar 22 Perbandingan akurasi dari setiap kelas

Berdasarkan Gambar 22 dapat dilihat bahwa pada kelas Sulawesi Barat, memiliki tingkat akurasi terbesar yaitu 95% diikuti oleh Sulawesi Selatan 86% dan Sulawesi Tengah 82%. Kemudian untuk hasil prediksi dapat dilihat dengan *confusion matrix* pada Tabel 15.

Tabel 15 Hasil *confusion matrix*

Aktual	Prediksi		
	Sulawesi Selatan	Sulawesi Tengah	Sulawesi Barat
Sulawesi Selatan	67	7	4
Sulawesi Tengah	11	49	0
Sulawesi Barat	3	1	80

Berdasarkan Tabel 15 dapat dilihat bahwa 67 data pada kelas Sulawesi Selatan diprediksi dengan benar dan 11 terprediksi salah. Untuk kelas Sulawesi Tengah sebanyak 49 data terprediksi dengan benar dan 11 terprediksi salah. Sedangkan untuk kelas Sulawesi Barat sebanyak 80 data terprediksi dengan benar dan 4 terprediksi salah.



Gambar 23 Contoh data morfologi yang salah klasifikasi

Adapun data daun yang *misclassification* atau salah klasifikasi seperti pada Gambar 23 yaitu pada data daun ke 623. Daun tersebut seharusnya berada di kelas Sulawesi Selatan tetapi pada proses klasifikasi, daun tersebut diprediksi berada pada kelas Sulawesi Barat. Hal tersebut dikarenakan fitur morfologi luas daunnya yang kecil sehingga diprediksi berada pada kelas Sulawesi Barat.

5 KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Fitur morfologi daun yang diperoleh dari ekstraksi ciri terdiri dari 7 fitur utama yaitu luas daun, lebar daun, panjang daun, perimeter, convex area, convex

perimeter, dan petiol daun. Selain itu, ada 7 fitur turunan yaitu *circularity*, *roundness*, *solidity*, *rectangle*, *elongation*, *eccentricity*, *convexity*. Variabel iklim seperti temperatur, curah hujan, lama penyinaran matahari, dan kecepatan angin memiliki hubungan signifikan terhadap fitur morfologi daun. Di sisi lain, fitur kelembapan hubungannya terhadap fitur morfologi sangat kecil. Secara umum disimpulkan bahwa model klasifikasi dengan menggunakan *Support Vector Machine (SVM)* dengan *kernel RBF* mampu membedakan morfologi daun berdasarkan wilayah tumbuh alaminya dengan tingkat akurasi sebesar 84.38%. Dengan memperoleh tingkat akurasi yang tinggi dari hasil klasifikasi, dapat diartikan bahwa ukuran morfologi daun dengan spesies yang sama dalam hal ini daun eboni, berbeda disetiap wilayah yang disebabkan oleh variabel iklim.

Saran

Penelitian selanjutnya dapat menggunakan data morfologi daun eboni secara *time series* agar perubahan morfologi daun atau plastisitas daun eboni dapat diteliti lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- Agatsa DA, Rismala R, Wisesty UN. 2020. Klasifikasi pasien pengidap diabetes menggunakan metode support vector machine. e-proceeding of engineering. Vol 7 No.1.
- Allo MK. 2002. Eboni dan habitatnya. *Berita Biologi – Manajemen Eboni* 6(5): 259-265.
- Boeger MRT, Keahler M, Melo JCF, Gomes MZ, Oliveira LS, Chaves CRM, Schottz ES. 2006. Estrutura foliar de seis especies do subosque de um remanescente de Floresta Ombrofila Mista. 33:521-531.
- Chawla NV, Bowyer KW, Hall LO & Kegelmeyer WP. 2002. SMOTE: Synthetic Minority Over-sampling Technique. *Journal of Artificial Intelligence* 16(1): 321-357.
- E-Unit. 2009. Understanding Leaf Anatomy and Morphology. *Caret*.
- Gray SB, Brady SM. 2016. Plant developmental responses to climate change. *Developmental Biology*. 419(2016) 64-77.
- Guerin GR, Wen H & Lowe AJ. 2012. Leaf morphology shift linked to climate change. *Biology Letters* 8(5): 882-886. doi:10.1098/nbl.2012.0458.
- Guo WH, Li B, Zhang XS, Wang RQ. 2007. Architectural plasticity and growth response of *Hippophae rhamnoides* and *Caragana intermedia* seedling to simulated water stress. *Journal of Arid Environments*. 69:385-399.
- Hardwick SR, Toumi R, Pfeiper M. 2015. The relationship between leaf area index and microclimate in tropical forest and oil palm plantation. *Agricultural and Forest Meteorology*. 187-195.
- Hendramono & Allo MK. 2008. Konservasi sumber daya genetika eboni di Sulawesi Selatan (Ebony genetics resources conservation in South Sulawesi). *Info Hutan* 5(2):177-187.

- Jones SB, Luchsing AE, 1979. Plant Systematics. *Mc. Graw-Hill Book Company*, New York. Pp:44, 60-77.
- Li X, Li Y, Zhang Z & Li X. 2015. Influences of environmental factors on leaf morphology of China Jujubes. *PLoS ONE* 10(5):1-16.
- Kinho J. 2013. Mengembalikan kejayaan eboni di Sulawesi Utara. Balai Penelitian Kehutanan, Manado.
- Mackinnon K, Sobrevila C & Hickey V. 2008. Biodiversity, climate change, and adaptation (Nature-based solutions from the world bank portofolio). The International Bank for Reconstruction and Development, Washington, DC.
- Manik FY, Herdiyeni Y, Herliyana, EN. 2015. Identifikasi penyakit daun jabon berdasarkan ciri morfologi menggunakan support vector machine.
- Martawijaya A, Kartasujana I, Kadir K, Prawira SA. 1981. Atlas Kayu Indonesia Jilid I. *Pusat Penelitian dan Pengembangan Kehutanan*. Bogor.
- Navas ML, Garnier E. 2002. Plasticity of whole plant and leaf traits in *Rubia peregrina* in response to light, nutrient and water availability. *Acta Oecologica*. 23: 375-383.
- Olson DL, Delen D. 2008. *Advanced data mining techniques*. Berlin Heidelberg (DE): Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Patro SG & Sahu KK. 2015. Normalization: A preprocessing stage. *IARJET* 10.17148/IARJSET.2015.2305.
- Radice S, Arena M. 2015. Environmental effect on the leaf morphology and anatomy of *Berberis microphylla* G. Forst. *International Journal of Plant Biology*.
- Rakhmawati PU. 2018. Klasifikasi penyakit daun kentang berdasarkan fitur tekstur dan fitur warna menggunakan support vector machine. *Proceding sentra seminar teknologi dan rekayasa*. P(6).
- Refaeilzadeh P, Tang L, Liu H. 2009. Cross validation. *Encyclopedia of Database System*. 532-538.
- Santoso B. 1997. Pedoman teknis budidaya eboni (*Diospyros celebica* bakh.). *Balai Penelitian Kehutanan Ujung Pandang*.
- Shalabi LA. 2016. Coding and normalization: The effect of accuracy, simplicity, and training time. *RCED*, Jordan.
- Siregar IZ, Dwiyaniti FG, Harnelly E. 2019. Wood tracking project in Indonesia: *Diospyros celebica* in Sulawesi. <https://www.iawa-website.org/uploads/allimg/190618/O-18%20%20Iskandar%20Z.%20Siregar.pdf>.
- Soerianegara. 1967. Beberapa keterangan tentang djenis-djenis pohon eboni. Pengumuman No. 12. Lembaga Penelitian, Bogor.
- Sun Y & Genton MG. 2010. Functional boxplot. *Journal of Computational and Graphical Statistics* 20(2):316-334
- Sunaryo. 2002. Konservasi eboni (*Diospyros celebica* Bakh.). *Berita Biologi* 6(2): 239-243
- Thuiller W, Lavorel S, Araujo MB, Sykes MT & Prentice IC. 2005. Climate change threats to plant diversity in Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 102(23):8245–8250.
- Vapnik V dan Cortes C. 1995. Support-vector networks. *Kluwer Academic Publishers*. 20, 273-297.

@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.

- Viscosi V dan Cardini A. 2011. Leaf Morphology, Taxonomy and Geometric Morphometrics: A Simplified Protocol for Beginners.
- Wright IJ, Reich PB, Westoby M. 2004. The worldwide leaf economics spectrum. *Nature*. 428:821-827.
- Xu F, Guo W, Xu W, Wang R. 2008. Habitat effects on leaf morphological plasticity in *quercus acutissima*. *ACTA Biologica Cracovensia*. 50/2:19-26.
- Zhang L, Yang Y, HuangY, Jia Z & Fang Y. 2018. Leaf venation variatopn and phenotypic plasticity in response to environmental heterogeneity in *Parrotia subaequalis*, an endemic and endangered tree species form china. *Forest Ecophysiology and Biology* 9(5):247.
- Zhu Y, Kang H, Xie Q, Wang Z, Shan Y & Liu C. 2012. Pattern of leaf vein density and climate relationship of *Quercus variabilis* populations remains unchanged with environmental changes. *Trees*. 26:597-607.

@Hak cipta milik IPBUniversity

IPBUniversity

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 IPBUniversity.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPBUniversity.

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Bone, Kabupaten Bone, Provinsi Sulawesi Selatan pada tanggal 30 Juni 1995. Penulis adalah anak pertama dari tiga bersaudara dari Bapak Abdul Naing dan Ibu Darwati. Penulis menempuh Pendidikan Sekolah Menengah Atas (SMAN 3 Sengkang) pada tahun 2010 hingga 2013. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan sarjana di Program Studi Pendidikan Matematika Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar (UINAM) pada tahun 2013 hingga 2017. Setelah menyelesaikan pendidikan S1 pada tahun 2017, penulis melanjutkan pendidikan Magister pada tahun 2018 di Institut Pertanian Bogor dengan mengambil program studi Ilmu Komputer. Dalam menyelesaikan studinya penulis menyusun Tesis yang berjudul Analisis Hubungan Variabel Iklim dengan Morfologi Daun Eboni dan Identifikasinya berdasarkan Wilayah menggunakan *Support Vector Machine* dibawah bimbingan Dr Yeni Herdiyeni, SSi, MKom dan Prof Dr Ir Iskandar Z Siregar, MForSc.

@Hak cipta milik IPBUniversity

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 IPBUniversity.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPBUniversity.