

PEMODELAN DISTRIBUSI TUMBUHAN OBAT SIKKAM (*Bischofia javanica*) DI KAB.SIMALUNGUN MENGGUNAKAN MODEL MAXENT

Zulkifli Sinaga, Martina Restuati, Eko Prasetya

Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri
Medan, Medan Sumatera Utara

Email Korespondensi: zulkiflisinaga63@gmail.com.

Abstract

Indonesia has a high biodiversity, including traditional medicinal plants that play an important role in local health and culture. However, overexploitation, deforestation, and climate change threaten the survival of these species. This study aims to model the spatial distribution of Sikkam (*Bischofia javanica*) in Simalungun Regency using the Maximum Entropy (MaxEnt) algorithm. The analyzed data included field presence points as well as bioclimatic, topographic, edaphic, and land cover environmental variables. The evaluation results showed a high level of accuracy of the Sikkam model with AUC values of 0.889 (training) and 0.822 (testing). The area of suitable habitat for Sikkam growth is predicted to be 143,263 km² (approximately 3.21%) and 2,752,404 km² (62.74%) with low suitability. The dominant factors influencing the distribution of Sikkam plants are land cover (49.9%) and solar radiation (16.7%). These results confirm that the potential habitat of the Sikkam species is strongly influenced by a combination of factors, land cover, and solar radiation. These findings provide a scientific basis for the management and enhancement of potential habitat, sustainable ecosystem management, and the development of local medicinal plants in the Simalungun region.

Keywords:

Spatial Distribution,
MaxEnt ,
Sikkam,
Simalungun.

Pendahuluan

Indonesia sebagai negara tropis memiliki kekayaan keanekaragaman hayati yang sangat tinggi, termasuk berbagai jenis tumbuhan obat yang telah lama dimanfaatkan oleh masyarakat dalam pengobatan tradisional. Indonesia, khususnya Pulau Sumatra, terkenal akan kekayaannya dalam informasi sejarah tentang penggunaan rempah-rempah serta herba untuk tujuan pengobatan (Restuati *et al.*, 2020). Pemanfaatan tumbuhan obat tidak hanya berperan dalam pengobatan tradisional, tetapi juga berpotensi besar dalam pengembangan industri farmasi modern berbasis bahan alam (Helmina & Hidayah, 2021). Namun demikian, peningkatan kebutuhan bahan baku biofarmaka, konversi lahan, deforestasi, dan perubahan iklim menyebabkan banyak spesies tumbuhan obat menghadapi ancaman penurunan populasi di habitat alaminya (Cahyaningsih *et al.*, 2021). Kondisi tersebut menuntut upaya konservasi berbasis data ekologi dan spasial yang lebih komprehensif.

Salah satu tumbuhan obat yang memiliki nilai ekologis, ekonomi, dan budaya tinggi adalah Sikkam (*Bischofia javanica*). Di Kabupaten Simalungun, Sikkam memiliki peranan penting dalam tradisi masyarakat lokal, khususnya sebagai bahan utama dalam pembuatan *holat*, sebuah kuliner tradisional yang sarat nilai filosofis dan spiritual. Selain fungsi budayanya, berbagai bagian tumbuhan Sikkam juga

diketahui memiliki aktivitas farmakologis yang signifikan, seperti antiinflamasi, antioksidan, antimikroba, antileukemik, dan antidiabetes (Susanto *et al.*, 2022). Potensi bioaktif yang tinggi ini menjadikan Sikkam sebagai kandidat penting dalam pengembangan obat-obatan herbal di masa depan.

Keberadaan Sikkam di alam menghadapi tekanan ekologis yang cukup serius. Berdasarkan data *Global Forest Watch* (2024), Kabupaten Simalungun telah kehilangan lebih dari 9.000 hektar hutan primer basah sejak tahun 2002, dengan penurunan tutupan pohon mencapai 34% sejak tahun 2000. Kondisi ini menunjukkan bahwa habitat alami bagi spesies pohon seperti Sikkam semakin terdegradasi akibat deforestasi, alih fungsi lahan, serta tekanan aktivitas manusia lainnya. Meskipun menurut IUCN *Red List* (2022) Sikkam masih dikategorikan sebagai *Least Concern* (LC), data tersebut belum diperbarui dan berpotensi tidak lagi merepresentasikan kondisi aktual populasi spesies ini di lapangan.

Penelitian mengenai Sikkam umumnya berfokus pada potensi fitokimia dan aktivitas farmakologisnya (Susanto *et al.*, 2022), namun masih sangat terbatas kajian yang membahas aspek ekologi spasial, terutama mengenai pola persebaran habitatnya di alam. Dalam konteks konservasi tumbuhan obat, pemahaman tentang distribusi potensial suatu spesies sangat penting sebagai dasar perencanaan pengelolaan dan perlindungan sumber daya hayati.

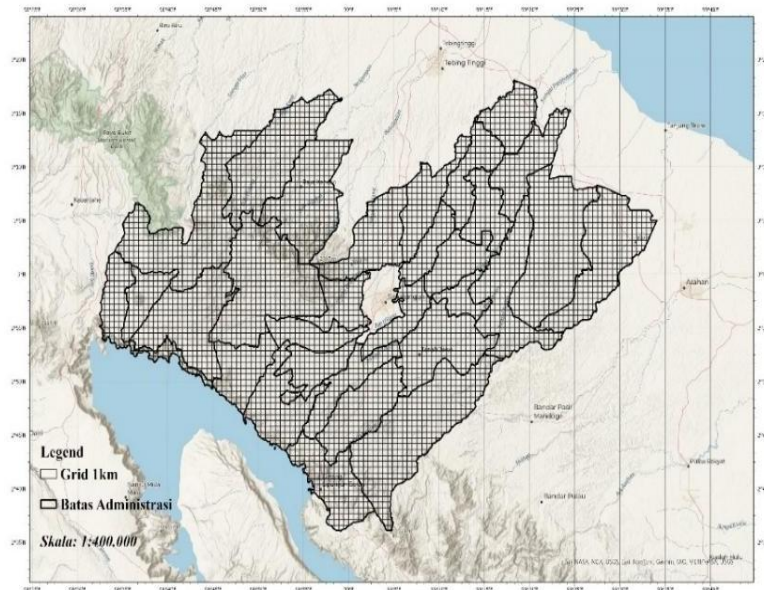
Dalam dekade terakhir, pendekatan pemodelan ekologi berbasis data spasial menjadi instrumen penting dalam mendukung konservasi keanekaragaman hayati. Salah satu metode yang paling banyak digunakan adalah *Maximum Entropy* (MaxEnt), yang bekerja berdasarkan prinsip entropi maksimum untuk memprediksi distribusi potensial suatu spesies hanya dari data keberadaan (*presence-only*) serta variabel lingkungan yang relevan (Phillips *et al.*, 2006). Model ini memiliki keunggulan dibandingkan pendekatan lain karena mampu menghasilkan prediksi yang andal dengan data observasi minimal, bahkan dengan kurang dari 10 titik keberadaan (van Proosdij *et al.*, 2016). Selain itu, MaxEnt telah terbukti efektif dalam berbagai studi untuk mengidentifikasi habitat potensial, menganalisis pengaruh faktor lingkungan, serta memproyeksikan perubahan sebaran spesies akibat perubahan iklim (Duan *et al.*, 2022; Rahman *et al.*, 2022).

Dalam konteks penelitian tumbuhan obat, MaxEnt berperan penting dalam menentukan wilayah potensial pertumbuhan alami yang sesuai dengan kebutuhan ekologis spesies (Dermawan *et al.*, 2018). Informasi mengenai distribusi potensial tersebut sangat krusial dalam perencanaan konservasi, domestikasi, serta pengelolaan sumber daya biofarmaka yang berkelanjutan. Oleh karena itu, penerapan model MaxEnt untuk memetakan persebaran Sikkam di Kabupaten Simalungun diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih akurat mengenai karakter ekologis dan preferensi habitatnya.

Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk memodelkan distribusi potensial tumbuhan obat Sikkam (*Bischofia javanica*) di Kabupaten Simalungun menggunakan model MaxEnt, serta mengidentifikasi variabel lingkungan utama yang menentukan persebaran potensialnya untuk menghasilkan peta kesesuaian habitat sebagai dasar ilmiah dalam mendukung strategi konservasi dan pemanfaatan berkelanjutan sumber daya tumbuhan obat lokal.

Metode Penelitian

Penelitian ini telah dilaksanakan pada bulan Maret–April 2024 di wilayah administrasi Kabupaten Simalungun, Provinsi Sumatera Utara. Area penelitian mencakup seluruh wilayah kabupaten dengan pendekatan analisis spasial berbasis grid resolusi 1 km × 1 km untuk mengkaji distribusi tumbuhan Sikkam (*Bischofia javanica*).



Gambar 1. Peta Grid 1 km × 1 km Kab. Simalungun.

Populasi dan Sampel

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh spesies tumbuhan Sikkam (*Bischofia javanica*) yang terdapat di Kabupaten Simalungun. Sampel berupa titik keberadaan spesies (presence data) yang diperoleh melalui survei lapangan. Teknik pengambilan sampel dilakukan dengan metode eksploratif menggunakan pendekatan grid (1 km × 1 km) untuk meminimalkan bias spasial dan meningkatkan representasi habitat. Sebanyak 76 titik koordinat keberadaan spesies berhasil dikumpulkan menggunakan aplikasi Avenza Maps.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi perangkat elektronik seperti laptop atau komputer untuk pengolahan data. Perangkat lunak yang digunakan antara lain Microsoft Excel untuk pengolahan data awal, ArcGIS untuk analisis spasial, SPSS versi 27 untuk analisis statistik, serta MaxEnt untuk pemodelan distribusi spesies.

Bahan yang digunakan berupa data koordinat keberadaan spesies dan data variabel lingkungan dalam format raster (.tif), meliputi elevasi, slope, aspect, tutupan lahan, iklim, dan jenis tanah yang diperoleh dari berbagai sumber seperti USGS, WorldClim, FAO, serta citra satelit Sentinel-2.

Tabel 1. Sumber data Variabel lingkungan untuk Pemodelan Distribusi Tumbuhan Sikkam (*Bischofia javanica*)

Data	Sumber	Format	Extraction Method
<i>Elevation</i>	USGS	.tif	<i>Spatial Analysis</i>
<i>Aspect</i>	SRTM4.1dev	.tif	<i>Analysis of the aspect of the surface topography</i>
<i>Slope</i>	SRTM4.1dev	.tif	<i>Analysis of the aspect of the surface topography</i>
<i>Land cover</i>	Sentinel-2	.tif	<i>Spatial Analysis</i>
<i>Climate</i>	Worldclim	.tif	<i>Spatial Analysis</i>

Soil Type

FAO

.tif

Spatial Analysis

Teknik Pengumpulan Data

Metode penelitian yang digunakan adalah survei deskriptif dengan pendekatan kuantitatif berbasis spasial. Pengumpulan data dilakukan melalui survei lapangan untuk memperoleh titik keberadaan spesies, serta pengumpulan data sekunder berupa variabel lingkungan. Teknik sampling yang digunakan adalah non-random sampling dengan pendekatan purposive sampling berbasis grid. Penentuan titik pengamatan dilakukan dengan mempertimbangkan pemerataan wilayah dan representasi kondisi lingkungan yang beragam di seluruh area penelitian.

Prosedur Penelitian

- 1) **Pelaksanaan di Lapangan** Dilakukan survei eksplorasi untuk menemukan dan mencatat titik keberadaan spesies tumbuhan Sikkam. Setiap titik perjumpaan direkam menggunakan koordinat geografis.
- 2) **Pengolahan Data Spasial** Data koordinat diolah menggunakan Microsoft Excel dan dikonversi ke format .csv untuk kompatibilitas dengan MaxEnt. Data variabel lingkungan diolah dalam format raster menggunakan ArcGIS.
- 3) **Uji Multikolinearitas** Nilai variabel lingkungan pada setiap titik diekstraksi menggunakan fitur Extract Multi Values to Points pada ArcGIS. Selanjutnya dilakukan uji multikolinearitas menggunakan SPSS dengan indikator Tolerance dan Variance Inflation Factor (VIF) untuk mengeliminasi variabel yang memiliki korelasi tinggi.
- 4) **Pemodelan Distribusi Spesies** Pemodelan dilakukan menggunakan metode Maximum Entropy (MaxEnt) untuk memprediksi distribusi potensial spesies berdasarkan data keberadaan dan variabel lingkungan.

Analisis Data

Analisis data Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis spasial dengan metode pemodelan distribusi spesies (*Species Distribution Model/SDM*) melalui algoritma *Maximum Entropy* (MaxEnt). Model MaxEnt dipilih karena memiliki keunggulan dalam memprediksi distribusi potensial spesies dengan hanya menggunakan data keberadaan (*presence-only data*) dan variabel lingkungan.

Analisis distribusi spesies menggunakan perangkat lunak MaxEnt diaplikasikan guna mengetahui hubungan antara titik keberadaan spesies dan variabel lingkungan untuk memprediksi distribusi spasial potensial. Hasil model MaxEnt dievaluasi dan divalidasi menggunakan nilai *Area Under the Curve* (AUC) dan *Receiver Operating Characteristic* (ROC), yang menunjukkan tingkat akurasi prediksi model. Analisis kontribusi variabel lingkungan terhadap distribusi dianalisis menggunakan metode *Jackknife* untuk mengetahui pengaruh relatif tiap variabel. Menurut Rambey *et al.* (2025), tingkat kesesuaian habitat pada peta model yang dihasilkan dari MaxEnt dapat dikelompokkan menjadi 5 kelas, yaitu tidak sesuai (0,0-0,2), kesesuaian rendah (saat ini tidak sesuai) (0,2-0,4), hampir sesuai namun kurang optimal (0,4-0,6), dan cukup sesuai (0,6-0,8) dan sangat sesuai (0,8-1).

Hasil dan Pembahasan

Analisis Multikolinearitas Variabel Lingkungan

Tabel 2. Analisis uji multikolinearitas variable lingkungan

Collinearity Statistics			
Variabel	Tolerance	VIF	
Gloaspecin (<i>Cosine North</i>)	0,382	2,618	
Gloaspecis (<i>Cosine South</i>)	0,312	BIOCLIM 1	3,206
GloaspeciW (<i>Cosine West</i>)	0,417		2,399
Bioclim7_(Temperatur Annual Range)	0,224		4,474
Bioclim18_(Precipitation of Warmest Quarter)	0,431		2,320
Bioclim19_(Precipitation of Coldest Quarter)	0,462		2,163
Landcover	0,701		1,428
Precipitation_12	0,312		3,203
Gloslope_1 (0 – 3 %)	0,417		2,398
Gloslope_4 (>15 – 30 %)	0,397		2,519
Gloslope_5 (>30 – 45 %)	0,430		2,328
Gloslope_8 (>85 %)	0,546	1,832	
Soil_Type	0,216	4,637	
Solar Radiation	0,242	4,086	
Dependent Variable		BIOCLIM 1	

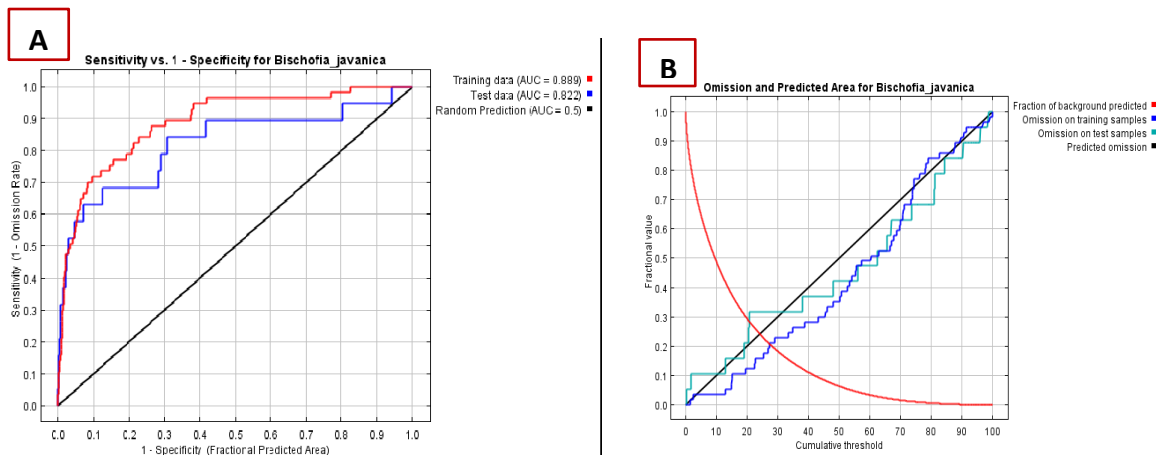
Berdasarkan hasil analisis uji multikolinearitas tumbuhan *Bischofia javanica* menunjukkan bahwa seluruh variabel prediktor memiliki nilai Tolerance di atas 0,10 dan VIF di bawah 7. Kondisi ini menegaskan bahwa tidak terdapat multikolinearitas pada model, sehingga semua variabel dapat digunakan secara bersama-sama tanpa menimbulkan bias. Liu *et al.* (2024) mengungkapkan bahwa secara umum nilai VIF < 10 dianggap dapat diterima dan memenuhi standar untuk dapat digunakan dalam pemodelan. Selain itu Ahmadi *et al.* (2023) dalam penelitiannya menyatakan bahwa semua variabel memiliki VIF < 6 bisa dipertahankan dalam model SDM dengan kepercayaan penuh terhadap stabilitas statistiknya.

Kualitas data yang bebas dari multikolinearitas memberikan dampak penting tidak hanya dari sisi statistik, tetapi juga dari segi ekologis. Variabel yang dipertahankan dalam model, baik yang merepresentasikan faktor iklim, tanah, maupun topografi, secara langsung menggambarkan kondisi habitat yang memengaruhi distribusi *Bischofia javanica*. Mengutip dari Vasconcelos *et al.* (2024) menegaskan bahwa kombinasi antara variabel yang memiliki stabilitas statistik dan relevansi ekologis tidak hanya meningkatkan akurasi prediksi, tetapi juga memperkuat kegunaan model dalam konteks

pengelolaan ekosistem. Dengan demikian, model yang dihasilkan memiliki dasar empiris yang kuat untuk digunakan sebagai acuan pengembangan di lapangan.

Evaluasi Kinerja Model MaxEnt untuk Tumbuhan Sikkam (*Bischofia javanica*)

Hasil pemodelan distribusi *Bischofia javanica* di Kabupaten Simalungun dengan algoritma MaxEnt menunjukkan performa model yang dievaluasi melalui kurva *Receiver Operating Characteristic* (ROC) dan *Area Under Curve* (AUC) (Gambar A). Nilai AUC yang diperoleh berada pada kategori Tinggi/ sangat sesuai, yaitu AUC data training mencapai 0,889 dan test data sebesar 0,822 dan Nilai AUC berada jauh di atas 0,5 (garis diagonal hitam). Sejalan dengan hal tersebut Moradi *et al.* (2025) menyatakan bahwa nilai antara 0,8 dan 0,9 mewakili model dengan kesesuaian yang baik, sehingga nilai AUC yang diperoleh dalam studi ini menegaskan bahwa model distribusi yang dibangun memiliki kesesuaian yang kuat dengan data lingkungan dan kehadiran spesies yang diamati. Konsistensi antara data pelatihan dan pengujian yaitu selisih $\Delta \approx 0,067$ mengindikasikan bahwa model memiliki stabilitas dan konsistensi yang tinggi serta tidak mengalami *overfitting*.



Gambar 2. (A) Kurva ROC (AUC) dan (B) Kurva Hubungan antara Kesalahan Prediksi (*omission* dan *commission*) Pemodelan MaxEnt Sikkam

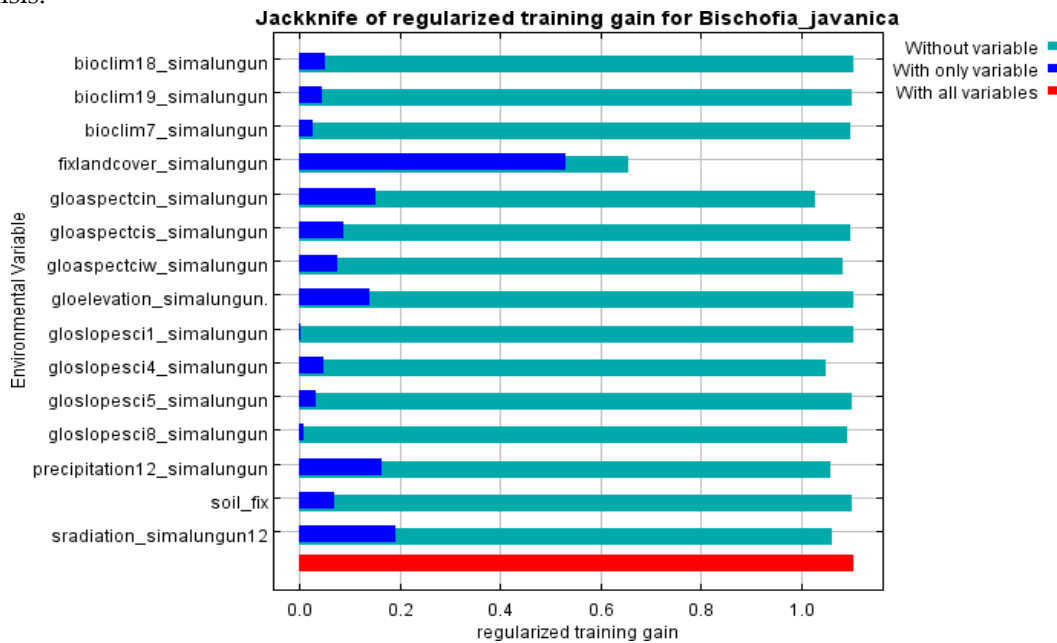
Grafik *Omission and Predicted Area* (Gambar B) untuk *Bischofia javanica* memperlihatkan bahwa tingkat *omission rate* pada data uji dan latih rendah serta selaras dengan pola prediksi model. Kondisi ini menunjukkan bahwa MaxEnt mampu meminimalkan kesalahan prediksi habitat, sehingga mayoritas titik kehadiran spesies tercakup dalam area yang diprediksi sesuai. Seperti dijelaskan Merow *et al.* (2013) Tingkat *Omission* yang rendah menunjukkan bahwa sebagian besar catatan kehadiran tercatat di dalam area yang diprediksi cocok, yang mendefinisikan hasil yang diperoleh cocok dalam pemodelan. Oleh karena itu nilai omission yang rendah menunjukkan bahwa sebagian besar titik kemunculan aktual spesies berhasil teridentifikasi oleh model, yang berarti bahwa parameter lingkungan yang digunakan telah berhasil menggambarkan preferensi habitat spesies secara realistis.

Pada data uji, kurva omission stabil dan mendekati garis prediksi, menandakan tidak terjadinya *overfitting* serta kemampuan generalisasi model yang baik (Phillips *et al.*, 2017). Penurunan tajam pada fraksi *background* seiring peningkatan *threshold* juga menunjukkan bahwa MaxEnt mampu menyeimbangkan sensitivitas dengan prediksi yang lebih parsimonis (Morales *et al.*, 2022). Oleh karena itu, Nilai *omission* yang rendah, pola kurva yang stabil, serta kecenderungan ekologis yang logis

mengindikasikan bahwa model ini layak digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam pengelolaan habitat spesies tumbuhan obat Sikkam di Kabupaten Simalungun.

Variabel Lingkungan Penentu Habitat Potensial

Hasil analisis *jackknife* pada pemodelan MaxEnt menunjukkan kontribusi relatif masing-masing variabel lingkungan terhadap distribusi *Bischofia javanica* di Kabupaten Simalungun. Metode *jackknife* digunakan untuk mengevaluasi pentingnya setiap variabel dengan cara membandingkan performa model ketika suatu variabel digunakan secara tunggal maupun ketika variabel tersebut dihilangkan dari analisis.



Gambar 3. Hasil Analisis Jacknife Kontribusi Variabel Lingkungan Terhadap Pemodelan Diatribusi Tumbuhan Sikkam (*Bischofia javanica*) Menggunakan MaxEnt

Hasil uji Jackknife (Gambar 2) menunjukkan bahwa variabel land cover merupakan faktor terpenting dalam memprediksi distribusi *Bischofia javanica*, ditunjukkan oleh nilai *gain* tertinggi saat digunakan tunggal dan penurunan signifikan ketika dihilangkan. Variabel radiasi matahari dan iklim seperti *precipitation12* dan *bioclim18* juga berperan penting, menandakan pengaruh hidrometeorologi terhadap distribusi spesies. Sementara itu, faktor topografi (*elevation* dan *slope*) memberikan kontribusi moderat, sedangkan variabel edafik (*soil_fix*) berperan minimal. Secara keseluruhan, distribusi *Bischofia javanica* di Simalungun lebih ditentukan oleh interaksi antara tutupan lahan, radiasi matahari, iklim, dan topografi, dengan tutupan lahan sebagai determinan utamanya.

Tabel 3. Kontribusi Relatif Variabel Lingkungan Terhadap Model MaxEnt Tumbuhan Sikkam (*Bischofia javanica*) di Kab. Simalungun.

Variable	Percent contribution Permutation importance	
fixlandcover_simalungun	48.9	29
sradiation_simalungun12	16.7	26.1
gloaspectcin_simalungun	13.7	16

precipitation12_simalungun	7	9.2
gloslopesci4_simalungun	5.7	6.8
bioclim19_simalungun	2.3	2.1
gloslopesci8_simalungun	1.9	1.3
gloaspectciw_simalungun	1.8	2.6
gloaspectcis_simalungun	0.9	1.2
soil_fix	0.7	1.8
gloslopesci5_simalungun	0.3	0
bioclim7_simalungun	0.1	3
gloslopesci1_simalungun	0	0.8
gloelevation_simalungun.	0	0
bioclim18_simalungun	0	0

Analisis *jackknife regularized training gain* menunjukkan adanya perbedaan rentang pengaruh antar variabel lingkungan terhadap distribusi *Bischofia javanica* di Simalungun. Variabel yang tergolong sangat berpengaruh adalah tutupan lahan (*fixlandcover_simalungun*), dengan nilai *gain* tinggi saat digunakan sendiri (*with only variable* = 0,527) dan penurunan signifikan saat dihapus dari model ($\Delta = 0,448$) nilai PC (49,9%) serta PI (29%) sehingga dapat disimpulkan bahwa faktor ini bersifat dominan. Temuan ini konsisten dengan penelitian Jin *et al.* (2024) menyatakan bahwa *land use* dan *land cover* (Hutan Sekunder) berperan penting terhadap kesesuaian habitat bahkan seringkali melebihi dampak variabel iklim di beberapa wilayah dan bahwa perubahannya sendiri dapat menyebabkan penurunan area habitat yang layak lebih besar jika dibandingkan perubahan iklim saja pada beberapa pemodelan.

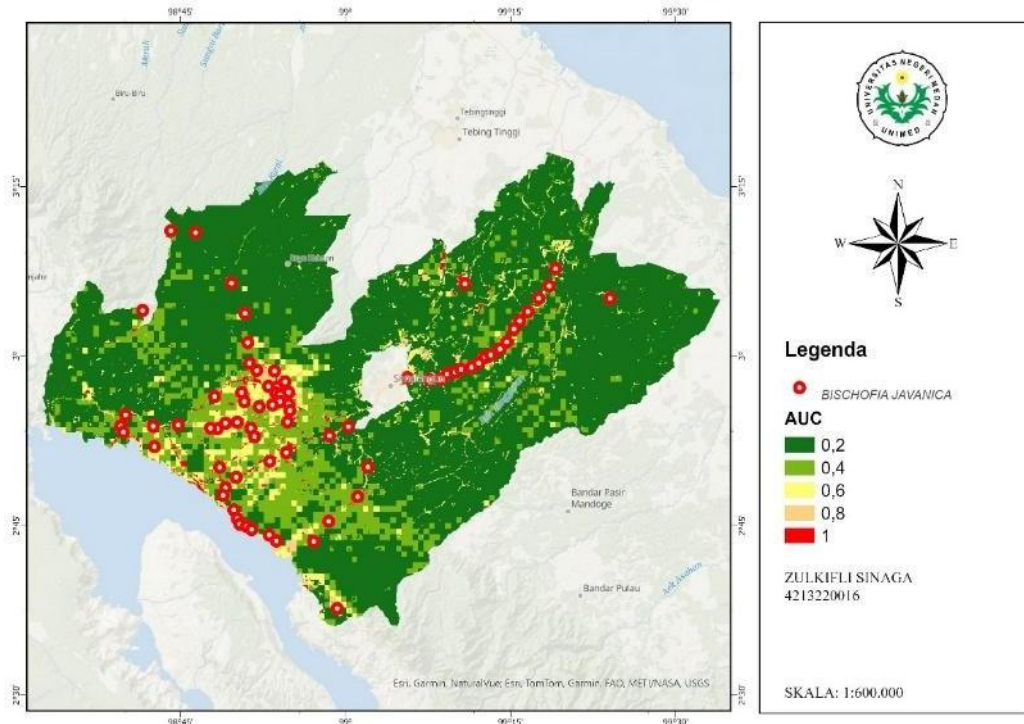
Variabel radiasi cahaya (*sradiation_simalungun12*) menampilkan hasil dengan *with only variable* = 0.189, *without* = 1.058, dan $\Delta \approx 0.043$ dengan kontribusi PC sebesar 16,7% dan PI 26,1%. Radiasi matahari jelas memainkan peran penting dalam proses fotosintesis dan keseimbangan energi pada vegetasi. Hal ini sesuai dengan penelitian Wei *et al.*, (2025) yang menyatakan bahwa solar radiasi diidentifikasi sebagai salah satu predictor penting untuk distribusi tumbuhan di suatu wilayah ekologis.

Sementara itu, variabel dengan pengaruh sedang seperti *aspectcin (north)* (*with only variable* = 0.149, *without variable* = 1.024, $\Delta = 0.076$) dengan PC = 13,7% dan PI = 16%) dan *precipitation12* (*with only variable* = 0.162, *without variable* = 1.055, $\Delta = 0.046$) dengan PC = 7%; PI = 9,2% memperlihatkan diagram batang hijau (*with only variable*) yang cukup signifikan meskipun tidak sebesar pengaruh *landcover* dan radiasi cahaya. Arah lereng memengaruhi distribusi cahaya dan kelembapan mikrohabitat, sebagaimana diungkap Yin *et al.* (2023) menegaskan bahwa orientasi lereng menciptakan kondisi iklim yang berbeda, sehingga secara signifikan memengaruhi aktivitas vegetasi serta responsnya terhadap perubahan iklim regional. Selain itu, faktor presipitasi juga memiliki pengaruh karena berhubungan erat dengan ketersediaan air tanah. Penelitian yang dilakukan oleh Tesfamariam *et al.* (2022) mengenai *Podocarpus falcatus* mengungkapkan bahwa presipitasi pada kuartal terkering (*precipitation of the driest quarter*) merupakan variabel iklim kunci setelah topografi dalam menentukan distribusi habitat potensial.

Variabel seperti Bioclim19 (PC = 2,3%; PI = 2,1%), Slope (*gloslopec4*, PC = 5,7%; PI = 6,8%), serta soil type (PC = 0,7%; PI = 1,8%) menunjukkan pengaruh kecil dalam model. Hal ini ditandai oleh *with only variable* yang menghasilkan *gain* rendah, maupun ketika variabel itu dihapus, model tetap cukup kuat. Dengan demikian *variable variable* ini tidak esensial dalam menjelaskan variasi distribusi spesies.

Distribusi Potensial Habitat Tumbuhan Sikkam (*Bischofia javanica*)

Peta hasil pemodelan MaxEnt berfungsi sebagai representasi spasial dari kemungkinan kesesuaian habitat suatu spesies berdasarkan data kehadiran dan variabel lingkungan . Hasil pemodelan untuk *Bischofia javanica* di Kabupaten Simalungun menunjukkan bahwa habitat dengan kesesuaian tinggi terkonsentrasi di bagian tengah dan barat wilayah studi.



Gambar 2. Peta Kesesuaian Habitat Tumbuhan Sikkam (*Bischofia javanica*) di Kab. Simalungun menggunakan Model MaxEnt.

Peta kesesuaian habitat hasil pemodelan MaxEnt (Gambar 3) ditandai dengan kondisi ekologis yang mendukung keberadaan spesies (seperti kelembapan dan topografi) yang sesuai. Wang *et al.* (2025) menyatakan bahwa Model MaxEnt secara akurat mengidentifikasi area dengan kesesuaian tinggi dengan mengkorelasikan catatan kehadiran spesies dengan prediktor lingkungan. Pola spasial yang jelas pada peta juga mengindikasikan bahwa *Bischofia javanica* memiliki preferensi habitat spesifik, yang mendukung efektivitas penggunaan MaxEnt dalam zonasi . Dengan demikian, peta MaxEnt tidak sekadar bersifat visual, tetapi juga memberikan pemahaman dalam perencanaan pengembangan wilayah potensial karena mampu menunjukkan habitat-habitat dengan probabilitas tinggi berdasarkan prediktor lingkungan

Tabel 4. Luas Habitat Potensial Tumbuhan Sikkam (*Bischofia javanica*) di Kab. Simalungun.

Nilai	Persentase	Luas Wilayah (km ²)
0-0,08	36,21%	1588,533
0,08-0,15	26,53%	1163,871
0,08-0,15	14,30%	627,341
0,15-0,23	8,01%	351,3987

0,23-0,31	4,49%	196,9763
0,38-0,46	3,68%	161,4416
0,46-0,54	2,27%	99,5849
0,54-0,62	1,51%	66,2437
0,62-0,69	1,06%	46,5022
0,69-0,77	0,77%	33,7799
0,77-0,85	0,61%	26,7607
0,85-0,92	0,38%	16,6706
0,92-1	0,19%	8,3353

Berdasarkan hasil pemodelan MaxEnt yang dikonversi ke dalam klasifikasi kesesuaian habitat, diketahui bahwa sebagian besar wilayah Kabupaten Simalungun termasuk dalam kategori kesesuaian rendah (0–0,2) dengan luas mencapai 2.752,404 km² (62,74%). area dengan kategori cukup cocok hingga saat ini tidak sesuai (0,2–0,6) mencakup 1.408,095 km² (32,09%). Zona ini berfungsi sebagai area penyangga yang berpotensi menjadi habitat transisi, di mana spesies dapat tumbuh meskipun tidak selalu optimal. Liu *et al.* (2022) menegaskan bahwa Habitat yang sesuai secara intermediet berfungsi sebagai zona penyangga ekologi, menyediakan konektivitas yang esensial bagi spesies dalam lingkungan yang berubah-ubah.

Adapun habitat dengan kategori cukup sesuai hingga sangat sesuai (0,6–1,0) hanya menempati 143,263 km² (3,21%). Meskipun proporsinya relatif kecil, area inilah yang paling krusial untuk mendukung regenerasi, reproduksi, dan keberlangsungan jangka panjang *Bischofia javanica*. Zhang *et al.* (2024) menyatakan bahwa Habitat core yang diidentifikasi harus diprioritaskan dalam strategi konservasi, karena mereka mewakili area kritis untuk kelangsungan hidup spesies dalam jangka Panjang.

Kesimpulan

Hasil pemodelan distribusi potensial tumbuhan obat Sikkam (*Bischofia javanica*) di Kabupaten Simalungun mengidentifikasi wilayah dengan tingkat kesesuaian habitat yang tinggi bagi spesies *Bischofia javanica* yang meliputi Kecamatan Raya, Panei, Sidamanik, Purba, Dolok Pardamean, sementara wilayah seperti Girsang Sipangan Bolon dan Dolok Batu Nanggar menunjukkan potensi yang lebih terbatas. Nilai akurasi model yang tinggi (AUC *training* 0,889 dan *testing* 0,822) menunjukkan bahwa algoritma MaxEnt memiliki kinerja yang sangat baik dalam memprediksi persebaran habitat potensial *Bischofia javanica*. Temuan ini memperlihatkan bahwa faktor lingkungan utama yang paling berpengaruh terhadap distribusi spesies adalah tutupan lahan (Hutan Sekunder) dan intensitas radiasi cahaya, yang secara ekologis menunjukkan preferensi *Bischofia javanica* terhadap kondisi habitat dengan tingkat kerapatan vegetasi dan penyinaran tertentu. Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan dasar ilmiah yang kuat untuk upaya konservasi dan pengelolaan berkelanjutan sumber daya tumbuhan obat lokal, khususnya dalam menjaga keberlanjutan populasi *Bischofia javanica* di ekosistem hutan Kabupaten Simalungun.

References

- Ahmadi, M., Hemami, M. R., Kaboli, M., & Shabani, F. (2023). MaxEnt brings comparable results when the input data are being completed; Model parameterization of four species distribution models. *Ecology and Evolution*. 13(2): 1–13. <https://doi.org/10.1002/ece3.9827>.
- Cahyaningsih, R., Magos Brehm, J., & Maxted, N. (2021). Setting the priority medicinal plants for conservation in Indonesia. *Genetic resources and crop evolution*. 68(5): 2019–2050.
- Dermawan, B. A., Herdiyeni, Y., Prasetyo, L. B., & Siswoyo, A. (2018). Predicting the spread of acacia nilotica using *Maximum Entropy* modeling. *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)*. 16(2): 703–712.
- Global Forest Watch. (2024). Forest monitoring, land use & deforestation trends. <https://www.globalforestwatch.org/>
- Helmina, S., & Hidayah, Y. (2021). Kajian Etnobotani Tumbuhan Obat Tradisional Oleh Masyarakat Kampung Padang Kecamatan Sukamara Kabupaten Sukamara. *Jurnal Pendidikan Hayati*. 7(1): 20–28.
- International Union for Conservation of Nature. (2022). The IUCN Red List of Threatened Species. <https://www.iucnredlist.org>
- Jin, X., Chang, B., Huang, Y., & Lin, X. (2024). Assessment of Climate Change and Land Use/Land Cover Effects on *Aralia elata* Habitat Suitability in Northeastern China. *Forests*. 15(1). <https://doi.org/10.3390/f15010153>
- Liu, D., Lei, X., Gao, W., Guo, H., Xie, Y., Fu, L., Lei, Y., Li, Y., Zhang, Z., & Tang, S. (2022). Mapping the potential distribution suitability of 16 tree species under climate change in northeastern China using Maxent modelling. *Journal of Forestry Research*. 33(6): 1739–1750. <https://doi.org/10.1007/s11676-022-01459-4>
- Liu, Z., Peng, Y., Xu, D., & Zhuo, Z. (2024). Meta-Analysis and MaxEnt Model Prediction of the Distribution of *Phenacoccus solenopsis* Tinsley in China under the Context of Climate Change. *Insects*. 15(9). <https://doi.org/10.3390/insects15090675>
- Merow, C., Smith, M.J., & Silander, J.A. (2013). A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: What it does, and why inputs and settings matter. *Ecography*. 36(10): 1058–1069. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.07872.x>
- Moradi, S., Moradi, H., & Rezvani, A. (2025). Integrating remote sensing and species distribution modeling to assess the impacts of flood disturbance on the species habitat in the central Zagros. *Discover Applied Sciences*. 7(9): 935. <https://doi.org/10.1007/s42452-025-07582-1>
- Morales, C., Dolan, S. C., Anderson, D. A., Anderson, L. M., & Reilly, E. E. (2022). Exploring the contributions of affective constructs and interoceptive awareness to feeling fat. *Eating and Weight Disorders*. 27(8): 3533–3541. <https://doi.org/10.1007/s40519-022-01490-8>
- Phillips, S.J., Anderson, R. P., Dudik, M., Schapire, R. E., & Blair, E. (2017). *Ecography - 2017- Phillips - Opening the black box an open-source release of Maxent.pdf.crdownload* (pp. 887–893).
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum *Entropy* Modeling of Species Geographic Distributions. *Ecological modelling*. 6(3–4): 231–259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Rahman, D. A., Condro, A. A. & Giri. M. S. (2022). Model Distribusi Spesies : Entrofi Maksimum . Bogor: IPB Press.
- Rambey, R., Rauf, A., Nababan, E. S. M., Aththorick, T. A., Ismail, M. H., Saputra, M. H., ... & Suratman, M. N. (2025). Distribution and habitat suitability of *Amorphophallus gigas* with MaxEnt modeling in north Sumatra, Indonesia. *Journal of Threatened Taxa*. 17(1): 26370–26384.

- Restuati, M., Pulungan, A. S. S., Pratiwi, N., & Sirait, T. P. (2020). Evaluation of the Effect of Premna Pubescence Extract against DMBA-Induced Breast Cancer in Female. *Systematic Reviews in Pharmacy*. 11(3).
- Susanto, Y., Nurfajar, R., Sindia, Khaerati, K., & Saraswaty, V. (2022). Immunomodulatory activity of Pepolo (*Bischofia javanica* Blume) stem bark ethanolic extract in Staphylococcus aureus-stimulated macrophages and anticancer activity against MCF-7 cancer cells. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*. 12(10): 109–116. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2022.121011>
- Tesfamariam, B. G., Gessesse, B., & Melgani, F. (2022). MaxEnt-based modeling of suitable habitat for rehabilitation of Podocarpus forest at landscape-scale. *Environmental Systems Research*. 11(1). <https://doi.org/10.1186/s40068-022-00248-6>
- Van Proosdij, A. S. J., Sosef, M. S. M., Wieringa, J. J., & Raes, N. (2016). Minimum required number of specimen records to develop accurate species distribution models. *Ecography*. 39(6): 542–552.
- Vasconcelos, R. N., Cantillo-Pérez, T., Franca Rocha, W. J. S., Aguiar, W. M., Mendes, D. T., de Jesus, T. B., de Santana, C. O., de Santana, M. M. M., & Oliveira, R. P. (2024). Advances and Challenges in Species Ecological Niche Modeling: A Mixed Review. *Earth (Switzerland)*. 5(4): 963–989. <https://doi.org/10.3390/earth5040050>
- Wang, Y., Ren, X., Wang, K., Lin, W., Wang, P., Liu, Z., Zhang, H., & Zhou, N. (2025). Maxent model-based prediction of the potential distribution of *Fritillaria taipaiensis* P.
- Y. Li. *Scientific Reports*. 15(1): 1–18. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-01682-z>
- Wei, H., Huang, B., Wang, M., & Liu, X. (2025). Solar Radiation Drives the Plant Species Distribution in Urban Built-Up Areas. *Plants*. 14(4): 1–17. <https://doi.org/10.3390/plants14040539>
- Yin, G., Xie, J., Ma, D., Xie, Q., Verger, A., Descals, A., Filella, I., & Peñuelas, J. (2023). Aspect Matters: Unraveling Microclimate Impacts on Mountain Greenness and Greening. *Geophysical Research Letters*. 50(24): 1–8. <https://doi.org/10.1029/2023GL105879>
- Zhang, C., Shi, D., & Xiao, Z. (2024). Integrating variable importance and spatial heterogeneity to reveal the environmental effects on outdoor jogging. *Computational Urban Science*. 4(1). <https://doi.org/10.1007/s43762-024-00158-6>