

PERSEBARAN LOKASI MULUT GUA DI KAWASAN KARST GUNUNG SEWU KECAMATAN PARANGGUPITO MENGGUNAKAN MAXENT: IMPLIKASI UNTUK EKSPLORASI DAN KONSERVASI

Muhammad Jawwad Riyanto; Hamim Zaky Hadibasyir, S.Si., M.GIS.
Program Studi Geografi, Fakultas Geografi, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Abstrak

Penelitian ini terjadi karena di latarbelakangi oleh minimnya data persebaran mulut gua di kawasan karst gunung sewu, Kecamatan Paranggupito, Kabupaten Wonogiri, yang selama ini hanya mengandalkan informasi warga dan berfokus pada gua yang mengandung air, potensi wisata, dan kawasan konservasi yang tentang terhadap degradasi. Tujuan penelitian ini adalah (1) menganalisis kemampuan model maximum entropy (MaxEnt) dalam memprediksi distribusi lokasi mulut gua, dan (2) mengidentifikasi faktor-faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap pembentukan dan distribusi mulut gua di kawasan tersebut.

Penelitian ini menggunakan pendekatan campuran dengan menggabungkan survei lapangan dan analisis data sekunder. Data primer diperoleh melalui survei lapangan desa Sambiharjo menggunakan metode accidental sampling untuk memvalidasi 20 titik mulut gua data sekunder meliputi enam variabel lingkungan: litologi, jarak dari sungai, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), elevasi, Topographic Position Index (TPI), dan Kemiringan lereng (slope). Permodelan distribusi mulut gua dilakukan menggunakan software MaxEnt, dilanjutkan dengan overlay dan validasi akurasi menggunakan nilai AUC (Area Under Curve) serta uji lapangan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa model MaxEnt memiliki kemampuan sangat baik dalam memprediksi distribusi mulut gua dengan nilai SUC (Successive Improvement) sebesar 0,937 (kategori Excellent). Validasi lapangan desa Sambiharjo mengkonfirmasi bahwa 18 dari 20 titik gua (90%) memiliki nilai probabilitas di atas 0,5, sesuai dengan prediksi model. Faktor lingkungan yang paling dominan berpengaruh adalah litologi (jenis batuan) dengan kontribusi 87,6%, Khususnya batu gamping masif formasi Wonosari-Punung yang mudah larut. Variabel jarak dari sungai berkontribusi 5,4% sebagai faktor pengontrol sekunder, sementara faktor pendukung lainnya meliputi NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) 3,6%, elevasi atau ketinggian 1,6%, TPI (Topographic Position Index) 1,4%, dan slope atau kemiringan lereng (0,4%) yang berperan dalam menciptakan kondisi lingkungan yang mendukung proses karstifikasi. Penelitian ini menghasilkan peta probabilitas mulut gua yang dapat di dimanfaatkan sebagai dasar eksplorasi dan konservasi kawasan karst secara berkelanjutan.

Kata Kunci: Mulut Gua, MaxEnt, Gunung Sewu, Permodelan distribusi Variabel lingkungan, Eksplorasi, Konservasi

Abstract

This research was conducted due to the lack of data on the distribution of cave mouths in the Gunung Sewu karst area, Paranggupito District, Wonogiri Regency, which has so far relied only on information from residents and focused on caves containing water, tourism potential, and conservation areas that are vulnerable to degradation. The objectives of this study were (1) to analyse the ability of the maximum entropy (MaxEnt) model in predicting the distribution of cave mouth locations, and (2) to identify environmental factors that influence the formation and distribution of cave mouths in the area.

This study used a mixed approach combining field surveys and secondary data analysis.

Primary data was obtained through a field survey of Sambiharjo village using accidental sampling to validate 20 cave mouth points. Secondary data included six environmental variables: lithology, distance from rivers, NDVI, elevation, Topographic Position Index (TPI), and slope inclination. Cave mouth distribution modelling was performed using MaxEnt software, followed by overlay and accuracy validation using AUC values and field tests.

The results show that the MaxEnt model has excellent ability in predicting cave mouth distribution with a SUC value of 0.937 (Excellent category). Field validation in Sambiharjo village confirmed that 18 out of 20 cave points (90%) had a probability value above 0.5, in accordance with the model's predictions. The most dominant environmental factor was lithology (rock type) with a contribution of 87.6%, particularly the easily soluble massive limestone of the Wonosari-Punung formation. The distance from the river variable contributed 5.4% as a secondary control factor, while other supporting factors included NDVI (3.6%), elevation (1.6%), TPI (1.4%), and slope (0.4%), which played a role in creating environmental conditions that supported the karstification process. This study produced a probability map of cave mouths that can be used as a basis for sustainable exploration and conservation of karst areas

Keywords: Cave entrance, MaxEnt, Gunung Sewu, Environmental Variable Distribution Modelling, Exploration, Conservation

1 PENDAHULUAN

Kawasan karst merupakan kawasan yang memiliki daya dukung yang sangat lemah dan tidak dapat diperbaiki jika sudah mengalami kerusakan. Ekosistem kawasan karst juga berpengaruh terhadap perkembangan atau kerusakan kawasan karst karena terdapat hubungan interaksi dan interdependensi antar lingkungan fisik, non fisik, hayati, non hayati, serta bio geokimia baik itu pada eksokarst maupun endokarst yang selalu berhubungan. Benturan kepentingan untuk melakukan konservasi serta tekanan penduduk untuk memanfaatkan sumberdaya alam karst akhirnya menimbulkan degradasi lahan karst salah satunya adalah kegiatan penambangan (Adji et al., 1999).

Keberadaan kawasan karst di Indonesia ini dianggap memiliki nilai-nilai yang strategis. Di seluruh wilayah Indonesia, luas kawasan karst kurang lebih mencapai 20% dari total luas wilayah. PBB memperkirakan kawasan karst memiliki persediaan air sekitar 25% penduduk dunia (Satyanti & Kusuma, 2010). Selain menjadi pemasok dan tandon air kawasan karst juga mempunyai sumber daya alam yang dapat dimanfaatkan untuk pariwisata, penambangan bahan galian, bahkan sangat terkait pula dengan bidang HANKAM atau militer, serta intelijen (Adji et al., 1999).

Porositas sekunder dalam sistem hidrologi karst mengakibatkan aliran air menuju sungai bawah tanah yang menyebabkan kekeringan di permukaan, terutama di kawasan karst Indonesia (Cahyadi, 2017). Meskipun kawasan karst memiliki sumber air melimpah seperti danau, mata air, dan air bawah tanah, pemanfaatannya masih terfokus pada danau dan mata air (Cahyadi, 2014). Kekeringan yang sering terjadi pada musim kemarau menjadikan lokasi pintu masuk gua sangat penting untuk membantu masyarakat mengakses air bawah tanah. Inventarisasi sumber air sungai bawah tanah dapat dilakukan

dengan menelusuri dan memetakan lorong gua menggunakan pewarna fluoresen dan garam (Al-Ghozali et al., 2021). Studi lapangan diperlukan untuk mengidentifikasi pintu masuk gua, ponor, atau mata air (Agniy et al., 2019). Hal ini menegaskan pentingnya distribusi pintu masuk gua dalam memfokuskan inventarisasi sumber air sungai bawah tanah. Tujuan untuk mendata sebaran mulut gua yang berada di Kawasan Karst Gunung Sewu Kecamatan Paranggupito, Kabupaten Wonogiri. Penelitian ini muncul karena belum terdapat peta yang menunjukkan persebaran mulut gua di kawasan tersebut, selain itu data persebaran mulut gua yang ada masih sangat minim seperti pada tabel 1.

Tabel 1.1 Data Objek Penelitian sebelumnya

Nama	X	Y	Z	Ket
Ponor Sawit	483843	9096375	219	Ponor
Sumur Ngawangan	484221	9095989	223	Sumur
Luweng Piji	484255	9095238	169	Gua Vertikal
Luweng Kutah	479987	9097657	138	Gua Vertikal
Luweng Jurangjero	481253	9099643	248	Gua Vertikal
Gua Kumoloretno	482102	9099587	256	Gua Vertikal
Gua Jomblang	481375	9099610	216	Gua Horizontal
Gua Pakel	486386	9096129	203	Gua Vertikal
Song Luwang	486051	9096224	226	Gua Vertikal
Gua Jomblang	486033	9096337	257	Gua Horizontal
Luweng Kecruk	486064	9095388	151	Gua Vertikal
Bak Tampung	483917	9097150	287	Bak Tampung

Sumber: Jumadi dan Danardono, 'Pemetaan Potensi Air Tanah Di Kecamatan Paranggupito, Kabupaten Wonogiri', Seminar Nasional Hasil Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat 2022, 3.1 (2022), pp. 65–81.

Penelitian ini berawal dari keterbatasan data mulut gua yang disajikan dalam Tabel 1, dimana data tersebut hanya mengandalkan informasi dari warga dan fokus pada mulut gua yang diperkirakan mengandung air. Pendekatan ini dirasa kurang maksimal karena cakupannya terbatas dan tidak mencerminkan persebaran mulut gua secara menyeluruh di kawasan karst Jumadi and Danardono, 'Pemetaan Potensi Air Tanah Di Kecamatan Paranggupito' Kabupaten Wonogiri'. Penelitian sebelumnya telah menggunakan MaxEnt (Maximum Entropy) untuk memprediksi mulut gua prasejarah di kawasan karst Gunung Sewu dengan memanfaatkan data situs pemukiman prasejarah dan variabel lingkungan sebagai prediktor (Alwi et al., 2019). Kelebihan metode ini mampu menghasilkan prediksi akurat untuk mulut gua bernilai sejarah. Namun, kekurangannya terletak pada keterbatasan data yang hanya berfokus pada situs prasejarah, sehingga tidak mencakup seluruh potensi

gua di kawasan karst. Hal ini menunjukkan perlunya pengembangan model dengan variabel yang lebih komprehensif untuk meningkatkan akurasi dan cakupan prediksi. Tawaran utama penelitian ini adalah menyediakan data lengkap dan terperinci tentang lokasi mulut gua, yang selama ini bergantung pada informasi lokal atau eksplorasi manual. Hasilnya tidak hanya mendukung eksplorasi gua untuk tujuan ilmiah dan wisata, tetapi juga memberikan dasar ilmiah untuk konservasi kawasan karst. Penelitian ini diharapkan menjadi solusi dalam mengelola dan melindungi kawasan karst Gunung Sewu secara berkelanjutan.

2 METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan campuran, menggabungkan metode survei lapangan dan analisis data sekunder. Data sekunder, yang mencakup informasi tentang potensi distribusi mulut gua dan peta persebaran gua, dianalisis menggunakan model MaxEnt (Maximum Entropy). Hasil analisis MaxEnt berupa peta potensi distribusi mulut gua dan peta persebaran gua kemudian di-overlay untuk menghasilkan peta prediksi.

Survei lapangan dilakukan untuk memvalidasi peta prediksi yang dihasilkan dari analisis data sekunder dengan model MaxEnt. Validasi ini melibatkan observasi langsung di lapangan untuk memastikan akurasi dan relevansi peta prediksi.

1. Metode Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel melalui survei lapangan merupakan salah satu pendekatan penting dalam mendata persebaran mulut gua, terutama di kawasan karst. Survei lapangan ini bertujuan untuk mengumpulkan data lokasi mulut gua secara akurat, yang selanjutnya dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut terkait karakteristik dan distribusi mulut gua di wilayah tersebut. Salah satu metode sampling yang dapat diterapkan dalam survei ini adalah Accidental sampling. Metode ini dipilih karena efektif dalam situasi di mana populasi target (dalam hal ini, mulut gua) tersebar secara tidak merata atau sulit diakses secara langsung.

Accidental sampling adalah teknik penentuan sampel berdasarkan kebetulan, yaitu siapa saja yang secara kebetulan bertemu dengan peneliti dapat digunakan sebagai sampel, jika dipandang orang yang kebetulan ditemui itu cocok sebagai sumber data. Dalam konteks survei gua, metode ini dapat diterapkan dengan cara mengidentifikasi mulut gua pertama melalui survei awal, kemudian menggunakan informasi dari gua tersebut misalnya, keberadaan lorong atau jaringan gua untuk menemukan gua lain di sekitarnya. Proses ini terus berulang hingga data yang cukup terkumpul.

Keunggulan metode Accidental sampling yaitu untuk menjangkau populasi yang tersembunyi atau sulit diakses, seperti gua yang terletak di daerah terpencil dengan menanyakan warga di sekitar atau sumber lain yang dekat dengan prediksi yang telah dilakukan. Namun, metode ini juga memiliki

kelemahan, yaitu potensi bias dalam pemilihan sampel karena bergantung pada rujukan dari sampel sebelumnya. Oleh karena itu, hasilnya perlu diverifikasi dengan data tambahan atau metode lain untuk memastikan keakuratan.

2. Metode Analisis Data

a. Analisis Faktor-Faktor Lingkungan yang Berpengaruh Terhadap Pembentukan dan Distribusi Mulut Gua

Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor-faktor lingkungan yang memengaruhi pembentukan dan distribusi mulut gua di kawasan karst Gunung Sewu, Kecamatan Paranggupito.

Metode yang digunakan adalah analisis korelasi, yang dilakukan untuk mengevaluasi hubungan antara keberadaan mulut gua dengan variabel-variabel lingkungan seperti kemiringan lereng, jenis batuan, dan jarak dari sungai. Hasil analisis ini akan memberikan pemahaman tentang faktor-faktor dominan yang berkontribusi terhadap distribusi mulut gua di wilayah studi.

b. Analisis Penggunaan Model MaxEnt untuk Pemetaan Potensi Lokasi Mulut Gua

Pada tahap ini, model Maximum Entropy (MaxEnt) digunakan untuk memprediksi dan memetakan potensi lokasi mulut gua berdasarkan data lingkungan yang tersedia. Selain itu, dilakukan analisis cluster untuk mengelompokkan area-area dengan karakteristik lingkungan yang serupa dan memiliki potensi keberadaan mulut gua yang tinggi. Hasil dari analisis ini akan menghasilkan peta potensi distribusi mulut gua serta mengidentifikasi zona-zona dengan probabilitas tinggi untuk ditemukannya mulut gua.

c. Analisis Peta Hasil untuk Rekomendasi Strategis dalam Eksplorasi dan Konservasi Mulut Gua

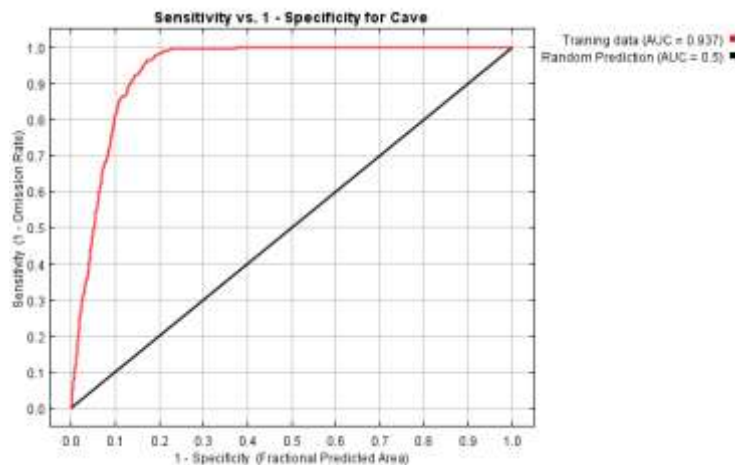
Analisis ini difokuskan pada interpretasi peta hasil yang dihasilkan dari model MaxEnt dan analisis cluster. Melalui analisis spasial, peta potensi lokasi mulut gua akan dievaluasi lebih lanjut untuk mengidentifikasi area-area prioritas yang memerlukan eksplorasi lebih mendalam. Selain itu, analisis ini juga akan memberikan rekomendasi strategis untuk mendukung upaya konservasi mulut gua dan pengelolaan kawasan karst Gunung Sewu, Kecamatan Paranggupito, secara berkelanjutan.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Uji Akurasi Model dan Peta Probabilitas Sebaran Mulut Gua

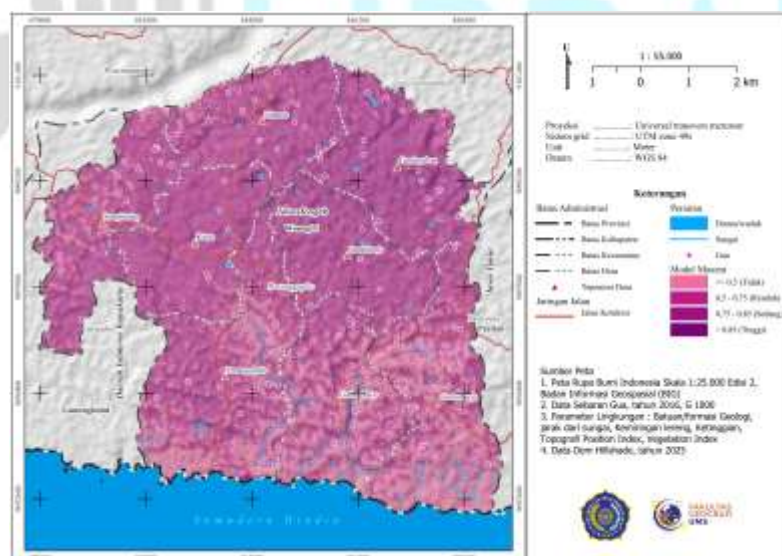
Evaluasi terhadap kinerja model maxent dilakukan dengan menggunakan *Receiver Operating Characteristic* (ROC) dan nilai *Area Under Curve* (AUC). Kurva ROC menggambarkan hubungan antara *sensivity* dengan *1-specificity* atau hubungan antara tingkat akurasi model dalam memprediksi yang benar atau salah. Sementara itu nilai AUC menunjukkan seberapa baik model dalam memilih

lokasi yang cocok dan tidak cocok untuk keberadaan mulut gua.



Gambar 3.1. Kurva ROC atau respon AUC

Berdasarkan kurva ROC pada Gambar 1, diperoleh nilai AUC sebesar 0,937 untuk data *training*. Nilai ini jauh di atas garis *random prediction* yang memiliki AUC 0,5. Secara umum, nilai AUC berkisar 0 hingga 1, dengan interpretasi semakin mendekati 1 berarti model semakin baik. Nilai AUC yang di dapat dari permodelan yaitu 0,937, Nilai tersebut dalam permodelan termasuk dalam kategori luar biasa (*Excellent*). Tingginya nilai AUC ini mengindikasikan bahwa kombinasi variabel lingkungan yang di gunakan dalam permodelan yaitu litologi, jarak dari sungai, NDVI, elevasi, TPI dan kemiringan lereng merupakan variabel yang tepat untuk di gunakan di daerah Kecamatan Paranggupito.



Gambar 3.2

nggupito

Peta probabilitas hasil permodelan Maxent dalam memprediksi persebaran mulut gua di Kecamatan Paranggupito seperti yang di sajikan pada gambar 19 Peta tersebut diklasifikasikan berdasarkan nilai *clog log output* yang dihasilkan dari permodelan, yaitu:

- Tidak potensial (nilai $<0,5$): area dengan probabilitas sangat rendah atau bahkan diprediksi tidak adanya mulut gua ditandai dengan warna ungu pada peta
- Rendah (nilai $0,5 - 0,75$): area dengan probabilitas rendah, ditandai dengan warna hijau muda
- Sedang (nilai $0,75 - 0,85$): area dengan probabilitas sedang, ditandai dengan warna kuning
- Tinggi (nilai $>0,85$): area dengan probabilitas tinggi, ditandai dengan warna merah.

Berdasarkan dari peta probabilitas tersebut, terlihat bahwa sebaran area potensial mulut gua di Kecamatan Paranggupito tidak merata, area dengan probabilitas tinggi yang di tandai dengan warna merah terkonsentrasi pada batuan tertentu, seperti pada hasil analisis kurva sebelumnya, bahwa litologi batu gamping masif dan jarak dekat dari sungai merupakan faktor utama pengontrol keberadaan mulut gua.

3.2 Validasi Hasil Model Maxent di Desa Sambiharjo

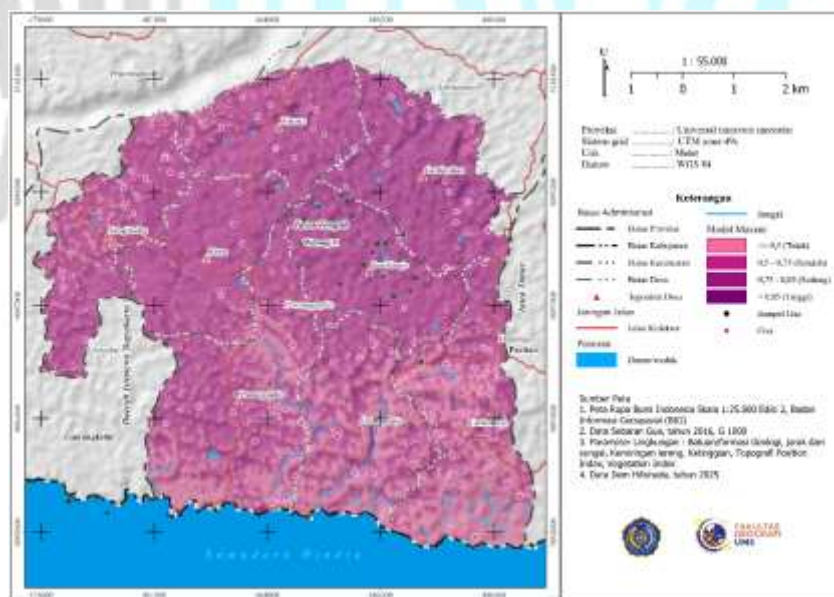
Berdasarkan data validasi di desa Sambiharjo, terdapat 20 titik gua yang terdiri dari gua vertikal (luweng) dan gua horizontal (song). Dari 20 titik gua yang di validasi, sebanyak 18 gua atau 90 % memiliki nilai validitas di atas 0,5 yang termasuk dalam kategori sesuai dengan prediksi model, sementara dua gua atau 10 % lainnya memiliki nilai validitas di bawah 0,5 yang artinya kurang sesuai dengan prediksi pada model.

Tabel 3.1 Validitas dan Sebaran gua desa Sambiharjo, Kecamatan Paranggupito

Nama	Keterangan	X	Y	Validitas
Luweng Alas Banyu	Gua Vertikal	486865	9097521	0,85
Luweng Alas Banyu 2	Gua Vertikal	486865	9097521	0,85
Luweng Tembus	Gua Vertikal	484719	9098665	0,78
Luweng Pertelon	Gua Vertikal	484711	9098671	0,78
Luweng Mbledak	Gua Vertikal	486296	9098204	0,78
Luweng Burampu	Gua Vertikal	486636	9098371	0,76
Gua Kluweh	Gua Horizontal	485413	9097399	0,74
Luweng Blethok	Gua Vertikal	484846	9096953	0,73
Luweng Gunung Ploso	Gua Vertikal	486666	9097790	0,73
Song Pego	Gua Horizontal	485873	9097786	0,73
Luweng Gunung Guo	Gua Vertikal	484989	9098913	0,72

Nama	Keterangan	X	Y	Validitas
Luweng Gompeng	Gua Vertikal	486041	9098030	0,72
Luweng Kayu Ares	Gua Vertikal	486243	9097565	0,71
Luweng Bohol	Gua Vertikal	485647	9098736	0,70
Luweng Kandang	Gua Vertikal	486452	9097181	0,68
Song Temulawak	Gua Horizontal	485428	9099143	0,66
Luweng Mbledak 2	Gua Vertikal	486131	9098205	0,64
Luweng Gamping	Gua Vertikal	485556	9099025	0,62
Song Alas Banyu	Gua Horizontal	486775	9097276	0,52
Luweng Talun Ombo	Gua Vertikal	486995	9095903	0,28

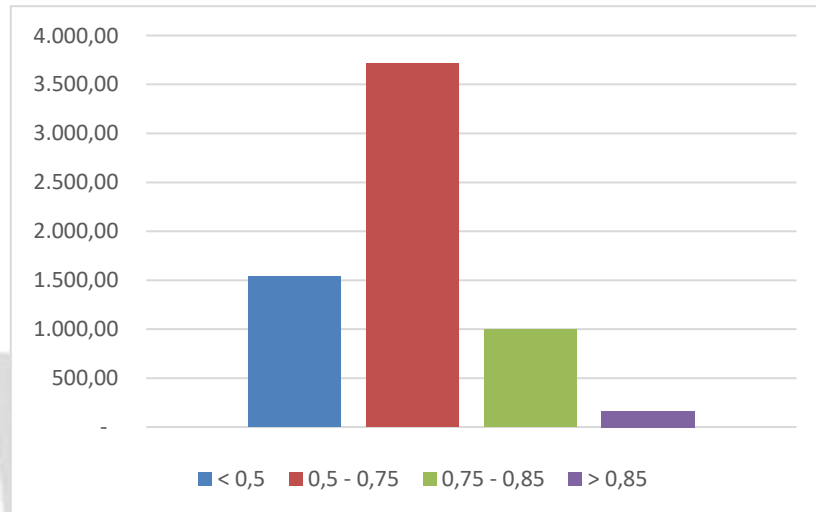
Jika di kelompokkan berdasarkan tingkat probabilitas nya, tujuh gua atau 35% berada pada rentang nilai 0,75 hingga 0,85 yang termasuk kategori probabilitas sedang hingga tinggi, 11 gua atau 55% dari total gua yang ter validasi berada pada rentang 0,5 hingga 0,75 yang termasuk kategori probabilitas rendah hingga sedang dan hanya 2 gua atau 10% yang hanya termasuk pada kategori tidak potensial.



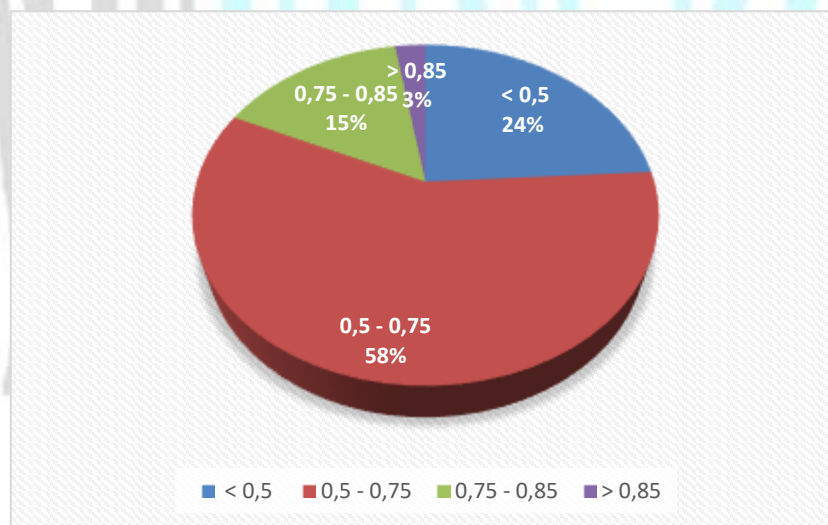
Gambar 3.4. Peta Sebaran gua dan validasi model

Peta Validitas pada Gambar 16 menunjukkan sebaran titik-titik gua di Sambiharjo beserta tingkat probabilitas nya, titik-titik gua dengan validitas tinggi umumnya berada pada area dengan probabilitas sedang hingga tinggi, namun tidak menutup kemungkinan jika terdapat gua pada area yang memiliki probabilitas rendah hingga tidak berpotensi. Tingkat akurasi yang di dihasilkan dari uji akurasi yang

melalui proses intersection pada quantum gis menghasilkan akurasi hingga 90%. Hasil ini menunjukkan bahwasanya model maxent yang di bangun memiliki performa yang baik dalam memprediksi persebaran mulut gua di kecamatan Paranggupito khususnya di desa Sambiharjo yang menjadi tempat pengambilan sampel untuk validasi model maxent tersebut.



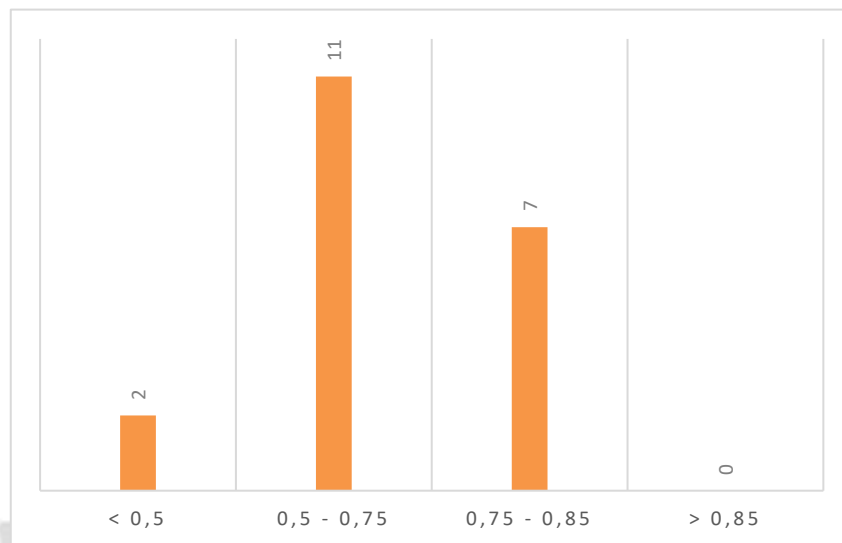
Gambar 3.5. grafik batang rekapitulasi luas per kelas probabilitas (ha)



Gambar 3.6. Persentase luas per kelas probabilitas dari seluruh area kajian (%)

Grafik batang pada gambar 17 dan Gambar 18 menunjukkan hasil luas kelas probabilitas. Kelas probabilitas yang terbagi menjadi empat kategori yaitu tidak berpotensi (<0,5), rendah (0,5 - 0,75), Sedang (0,75 – 0,85), Tinggi (> 0,85). Luas probabilitas pada gambar 17 menunjukkan bahwa kelas probabilitas rendah yang mempunyai wilayah cakupan yang luas yaitu 3.713,38 hektar atau 58% dari wilayah kecamatan Paranggupito. Area yang tidak berpotensi juga mempunyai cakupan yang cukup luas yaitu 1.542,66 hektar atau 24% dari wilayah Paranggupito, setelah itu area probabilitas dengan potensi sedang yang memiliki luas 995,74 Ha atau 16% dari wilayah penelitian, Sedangkan yang paling kecil adalah kelas probabilitas yang berpotensi tinggi yang hanya mencakup 162,94 hektar dari

wilayah Paranggupito yang hanya mencakup 3% dari wilayah penelitian.



Gambar 3.7. Grafik batang jumlah mulut gua pada tiap kelas probabilitas.

Gambar 19 menunjukkan Jumlah mulut gua pada tiap kelas probabilitas, terlihat bahwa kelas probabilitas tidak berpotensi ($< 0,5$) memiliki jumlah mulut gua yang di temukan hanya 2 gua atau 10% dari total 20 gua yang ada. Kelas probabilitas rendah ($0,5 - 0,75$) ditemukan mulut gua sebanyak 11 gua atau 55% dari total gua. Kelas probabilitas sedang ($0,75 - 0,85$) ditemukan 7 gua yang berada di wilayah ini, sedangkan pada kelas probabilitas tinggi ($> 0,85$) tidak ditemukan gua sama sekali.

3.3 Kontribusi Variabel Lingkungan

Pemodelan *Maximum Entropy* (MaxEnt) menghasilkan beberapa keluaran salah satunya yaitu kontribusi variabel lingkungan dalam menjalankan model tersebut. Variabel yang di gunakan untuk memprediksi mulut gua di setiap daerah tentunya berbeda, karena pada setiap daerah bisa saja mempunyai pengaruh lingkungan yang berbeda dalam pembentukan Gua, tetapi di kecamatan paranggupito model maxent di jalankan dengan 6 variabel lingkungan yaitu litology/geologi, jarak dari sungai, NDVI, Ketinggian, *Topographic Position Index* (TPI), dan Slope. Keenam variabel terpilih berdasarkan interpretasi yang dilakukan melalui citra dan objek yang akan di teliti. Sedangkan hasil dari permodelan Maxent yang sudah dilakukan, Diperoleh nilai kontribusi yang bervariasi sebagai berikut

Tabel 3.2. Variabel Lingkungan Model MaxEnt

Variabel	Kontribusi (%)	Kepentingan Permutasi %
Lithology	87.6	81.1
Riverdistance	5.4	4

NDVI	3.6	5.9
Elevation	1.6	6.7
TPI	1.4	1.4
Slope	0.4	0.9

Berdasarkan Tabel dapat di jelaskan sebagai berikut :

1. Jenis Batuan (*Lithology*)

Hasil permodelan yang di uji variabel jenis batuan atau litologi memberikan kontribusi yang dominan dalam menjalankan model dengan nilai kontribusi 87,6% dan nilai kepentingan permutasi sebesar 81,1%. Angka tersebut menunjukkan bahwa jenis batuan menjadi pengontrol utama pembentukan mulut gua di kecamatan paranggupito yang merupakan kawasan karst gunung sewu, karena di kecamatan paranggupito batuan penyusun nya adalah batuan karbonat yang mudah larut dan termasuk dalam formasi wonosari, sehingga model sangat bergantung pada variabel ini.

2. Variabel Hidrologis

Variabel jarak dari sungai (*Riverdistance*) merupakan variabel kedua yang paling berpengaruh meskipun kontribusi nya sangat jauh dari jenis batuan yaitu sebesar 5,4% dan kepentingan permutasi hanya 4%, hal ini dikarenakan pembentukan gua juga tidak akan jauh dari pelarutan yang di sebabkan oleh air, tetapi di Kecamatan Paranggupito tidak banyak di jumpai sistem sungai permukaan sehingga jika variabel tersebut dihilangkan hanya berpengaruh 4% pada model.

3. Variabel Minor

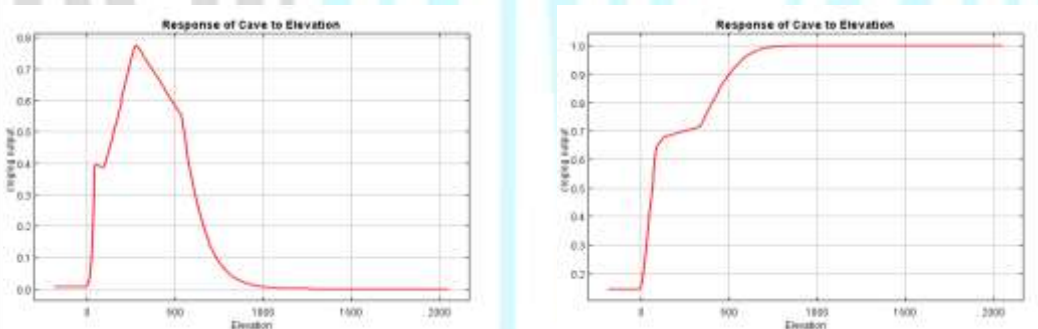
Variabel NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) hanya memberikan kontribusi sebesar 3,6 % dengan kepentingan permutasi yaitu 5,9% yang berarti walaupun kontribusi dari NDVI untuk merefleksikan kondisi tutupan lahan atau kelembapan sekitar gua hanya sedikit tetapi pengaruh akurasi akan berkurang 6% jika di hilangkan. Selanjutnya yaitu variabel Ketinggian (*elevation*) yang memiliki kontribusi relatif kecil dalam pembuatan model yaitu 1,6%, namun nilai kepentingan permutasi nya berada di bawah jenis batuan walaupun jaraknya cukup signifikan yaitu sebesar 6,7%. Rendahnya kontribusi menunjukkan bahwa dalam pembacaan pembuatan model, elevasi tidak sering digunakan untuk membedakan lokasi, namun tingginya nilai kepentingan permutasi mengindikasikan bahwa model memiliki informasi penting yang berkaitan dengan elevasi. Karst gunung sewu merupakan karst yang mempunyai ketinggian yang berbeda-beda karena terdapat *cockpit* atau *dome* yang menjadi ciri khas gunung sewu, terutama di kecamatan paranggupito banyak terdapat gua horizontal yang terbentuk di puncak ataupun lereng pada perbukitan tersebut. Variabel TPI

(*Topographic Position Index*) dan *Slope* (kemiringan lereng) memiliki kontribusi yang sangat kecil, masing-masing 1,4% dan 0,4%. Hal ini menunjukkan bahwa di lokasi penelitian, posisi topografi relatif (apakah di lembah, lereng, atau puncak) dan tingkat kecuraman lereng bukanlah faktor pembatas utama dalam keberadaan mulut gua selama litologi nya sesuai.

3.4 Kurva Respons (*Respon Curve*)

Kurva respons dalam permodelan Maxent menunjukkan hubungan fungsional antara setiap variabel lingkungan dengan probabilitas keberadaan mulut gua. Kurva yang dihasilkan digunakan untuk memahami preferensi dari segi ekologis dan geomorfologis. Setiap variabel memiliki dua keluaran kurva yang di hasilkan dari permodelan yaitu kurva multivariat yang menunjukkan respons variabel ketika semua variabel lain dalam kondisi rata-rata dan kurva univariat yang menunjukkan respons jika hanya variabel tersebut yang di gunakan dalam model.

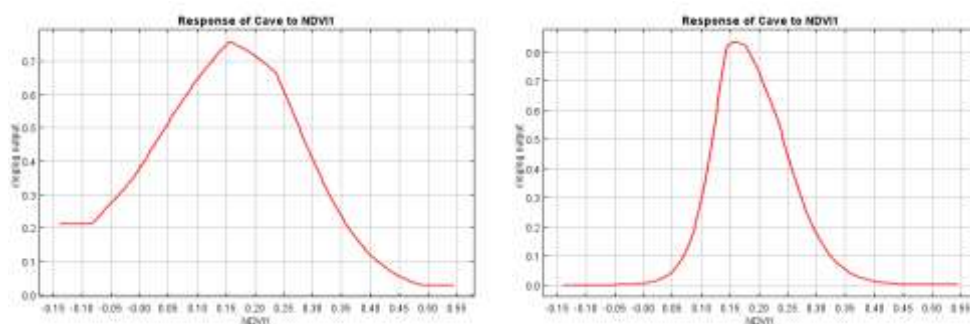
1. Kurva Respons variabel Elevasi (Ketinggian)



Gambar 3.8. Kurva respons Univariat (a) dan Multivariat (b) Elevasi

Berdasarkan kurva pada gambar 9, probabilitas keberadaan mulut gua menunjukkan pola yang spesifik. Kurva multivariat probabilitas tertinggi berada pada rentang ketinggian 0-400 meter di atas permukaan laut (mdpl), begitupun dengan kurva univariat yang menunjukkan probabilitas tertinggi pada rentang 0-400 mdpl, dengan nilai puncak sekitar 0,7 kemudian menurun seiring meningkatnya ketinggian. Secara geomorfologis dapat di lihat dari pola ini bahwa proses karstifikasi paling intens terjadi pada ketinggian yang dekat dengan muka air tanah, zona yang paling aktif di Kecamatan Paranggupito untuk pembentukan gua yaitu ketinggian rendah hingga menengah (0-400 mdpl).

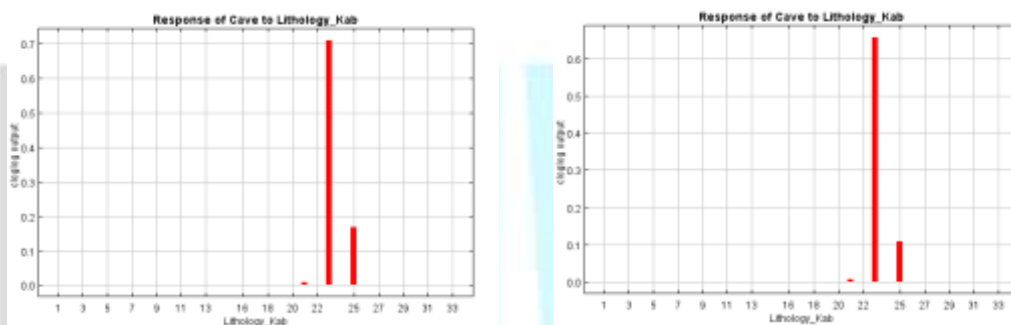
2. Kurva Respons Variabel NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)



Gambar 3.9. Kurva Univariat (a) dan Multivariat (b) NDVI

Kurva Univariat pada gambar kurva multivariat (a), probabilitas keberadaan mulut gua menunjukkan nilai yang relatif stabil dengan rentang nilai -0,15 hingga sekitar 0,25. Ketika melewati nilai 0,3, probabilitas menunjukkan peningkatan nilai yaitu 0,4 hingga 0,5. Pola ini menginterpretasikan bahwasanya mulut gua cenderung di temukan di area dengan tutupan vegetasi sedang hingga tinggi ($NDVI > 0,4$) yang mengindikasikan kondisi kelembapan yang lebih baik dan aktivitas biologis yang mendukung proses pelarutan batuan gamping.

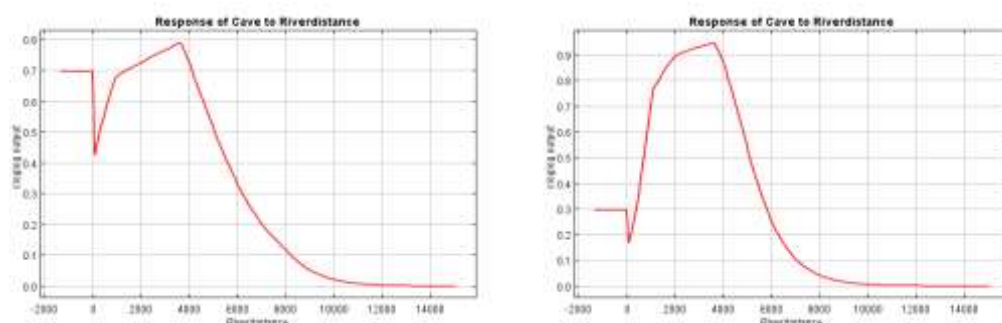
3. Kurva Respon Variabel Lithology (Jenis batuan)



Gambar 3.10. Kurva Respon Univariat (a) dan Multivariat (b) Litologi

Variabel ini merupakan variabel yang paling dominan dalam model dengan kontribusi sebesar 87,6%. Pada gambar 11 menunjukkan jenis hubungan antara jenis batuan dengan probabilitas keberadaan mulut gua. Sumbu X adalah kode litologi, dan sumbu y menunjukkan tingkat probabilitas. Berdasarkan peta geologi daerah penelitian batuan penyusun di kecamatan Paranggupito termasuk dalam formasi wonosari-punung yang berumur miosen tengah hingga pleistosen. Terdapat tiga jenis batuan utama yaitu, Batu Gamping masif, batu gamping konglomerat, dan batu gamping napal-tufan. Dari kurva respons terlihat bahwa hanya beberapa kode litologi yang menunjukkan probabilitas lebih tinggi yaitu kode 11, 13, 16, dan 18, yang nilainya mencapai 0,55 pada kurva univariat. Kode-kode litologi dengan probabilitas tinggi tersebut mempresentasikan batu gamping masif yang memiliki ciri-ciri mudah larut dan memiliki banyak rekahan. Karakteristik tersebut yang membuat batu gamping masif sangat cocok untuk proses pembentukan gua. Selanjutnya, kode litologi yang memiliki nilai rendah mempresentasikan batu gamping konglomerat dan batu gamping napal tufan, karena batuan ini mengandung campuran material lain seperti lempung dan material vulkanik yang dapat menghambat proses pelarutan. Umur batuan juga mempengaruhi pelarutan karena semakin tua umur batuan tersebut maka proses pelarutan yang dimiliki semakin lama, sehingga potensi terbentuknya gua juga lebih besar.

4. Kurva respon jarak dari sungai (River distance)

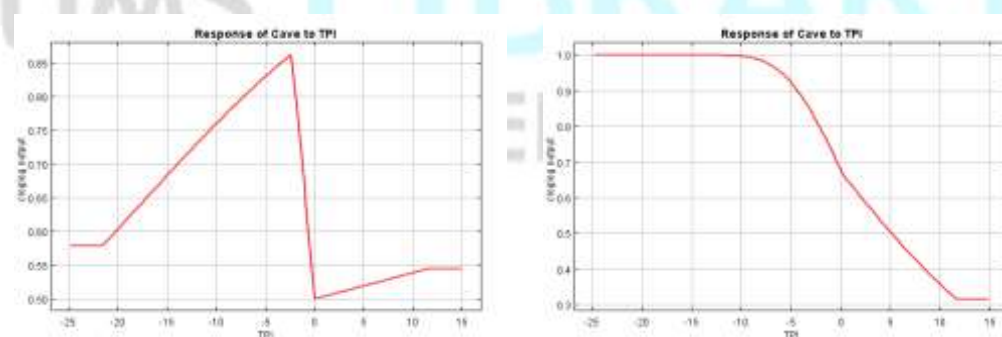


Gambar 3.11. Kurva Respon Univariat (a) dan Multivariat (b) Jarak dari Sungai

Kurva respon jarak dari sungai merupakan pola yang sangat jelas secara geomorfologis, yang memiliki nilai kontribusi sebagai variabel terpenting nomor dua yaitu 5,4%. Pada kurva multivariat, probabilitas keberadaan mulut gua tertinggi pada jarak 0 sampai 2000 meter dari sungai. Setelah 2000 meter, probabilitas mengalami penurunan drastis dan mencapai nilai yang sangat rendah setelah jarak 4000 meter. Begitu pula dengan kurva univariat yang terlihat hampir sama yaitu dari jarak 0-2000 meter dan mengalami penurunan tajam setelahnya.

Pola tersebut menegaskan peran sungai sebagai pelarutan utama dalam sistem karst, kedekatan sistem dapat meningkatkan probabilitas di temukannya mulut gua karena sungai terdapat air yang menjadi agen pelarutan batu gamping, sehingga aliran-aliran tersebut dapat membentuk lorong gua horizontal pada muka air tanah, yang menyebabkan adanya gua yang menjadi titik masuk influence atau keluar resurgence air sungai ke dalam sistem permukaan.

5. Kurva respons Topographic Position Index (TPI)

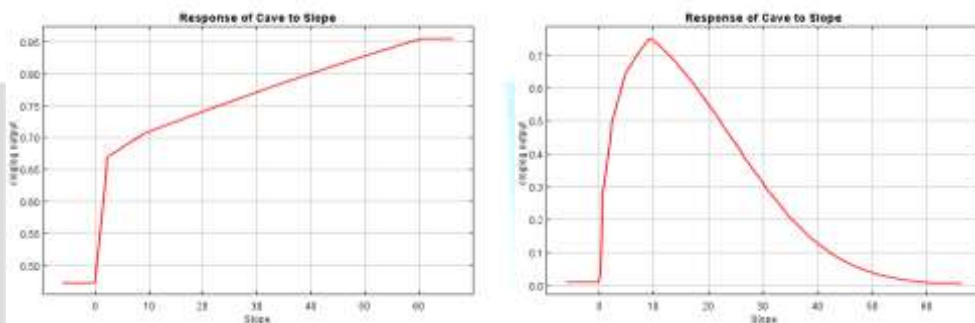


Gambar 3.12. Kurva Respon Univariat (a) dan Multivariat (b) TPI

Kurva respons TPI menampilkan pola yang menarik dalam menjelaskan hubungan antara posisi topografi dengan keberadaan mulut gua. Secara umum, TPI menggambarkan posisi relatif suatu titik terhadap lingkungan di sekitarnya. Nilai TPI negatif mengindikasikan posisi di lembah atau kaki lereng, nilai mendekati nol mencerminkan lereng datar atau lereng tengah, sedangkan nilai positif menunjukkan posisi di puncak bukit atau pegunungan.

Berdasarkan Gambar 13, probabilitas keberadaan mulut gua tertinggi ditemukan pada rentang nilai TPI antara -5 hingga 0. Hal ini mengindikasikan bahwa mulut gua cenderung terkonsentrasi di zona kaki lereng hingga lereng tengah. Zona tersebut merupakan area perpotongan antara muka air tanah dan permukaan lereng, sehingga proses pelarutan batuan (karstifikasi) berlangsung lebih intensif di sana. Air hujan yang mengalir dari puncak bukit akan terakumulasi dan meresap ke zona ini, mempercepat pembentukan lorong-lorong gua. Selain itu, posisi kaki lereng hingga lereng tengah yang relatif lebih tinggi dari dasar lembah membuat mulut gua tidak mudah tertutup oleh endapan tanah, sehingga lebih mudah teridentifikasi di permukaan.

6. Kurva respon Slope (Kemiringan Lereng)



Gambar 3.13. Kurva Respon Univariat (a) dan Multivariat (b) Slope

Berbeda dengan variabel lainnya, kurva respons kemiringan lereng menunjukkan pola yang relatif datar dengan fluktuasi yang sangat kecil. Pola ini sejalan dengan rendahnya nilai kontribusi variabel slope dalam model, yaitu hanya sebesar 0,4%. Berdasarkan Gambar 14, probabilitas keberadaan mulut gua terbilang stabil di berbagai tingkat kemiringan lereng, dengan sedikit peningkatan pada kemiringan 20° hingga 40° yang mencapai probabilitas 0,30–0,35. Sebaliknya, pada lereng yang sangat curam ($>50^\circ$) maupun yang hampir datar ($<10^\circ$), probabilitas keberadaan mulut gua cenderung menurun.

Pola ini menunjukkan bahwa di wilayah Kecamatan Paranggupito, keberadaan mulut gua tidak bergantung secara eksklusif pada kemiringan lereng yang ekstrem. Mulut gua dapat terbentuk pada berbagai konfigurasi lereng selama kondisi litologi dan hidrologis di lokasi tersebut mendukung proses karstifikasi. Dengan demikian, kemiringan lereng bukanlah faktor penentu utama dalam model prediksi distribusi mulut gua di kawasan ini.

4 PENUTUP

Kesimpulan

1. Model *Maximum Entropy* (MaxEnt) mempunyai kemampuan yang sangat baik dalam memprediksi distribusi mulut gua di kecamatan Paranggupito. Ditunjukkan oleh nilai *Area Under Curve* (AUC) sebesar 0,937 yang termasuk ke dalam kategori *excellent*. Nilai tersebut

menunjukkan bahwa model mampu membedakan dengan baik antara area yang berpotensi dan tidak berpotensi adanya mulut gua. Hasil validasi lapangan di Desa Sambiharjo juga menunjukkan bahwa 18 dari 20 titik gua (90%) memiliki nilai probabilitas di atas 0,5, sehingga sesuai dengan prediksi model. Metode MaxEnt terbukti efektif digunakan untuk memodelkan dan memprediksi distribusi mulut gua di karst gunung sewu.

2. Faktor lingkungan yang paling berpengaruh terhadap pembentukan dan distribusi mulut gua di kecamatan Paranggupito adalah variabel litologi (Jenis Batuan). Variabel ini memberikan kontribusi paling dominan sebesar 87,6% dengan nilai kepentingan permutasi 81,1%, yang menunjukkan bahwa karakteristik batuan karbonat khususnya batu gamping masif dari formasi wonosari-punung, menjadi faktor utama dalam pembentukan gua. Variabel jarak dari sungai juga memiliki pengaruh terhadap distribusi mulut gua dengan kontribusi sebesar 5,4%, yang berkaitan dengan peran air sebagai agen utama dalam proses pelarutan batuan pada sistem karst. Faktor pendukung seperti NDVI (3,6%), Elevasi (1,6%), TPI (1,4%), dan *Slope* (0,4%) berperan dalam memperkuat prediksi dengan menciptakan kondisi lingkungan yang mendukung proses karstifikasi, seperti kelembapan tinggi, posisi geomorfologis, dan tutupan vegetasi.

Saran

1. Menambahkan variabel lingkungan lain yang berhubungan dengan proses karstifikasi, seperti curah hujan, struktur geologi (rekahan/sesar), jenis tanah. Hal ini dapat meningkatkan pemahaman tentang kontrol tektonik dan iklim mikro terhadap pembentukan gua di kawasan karst tropis.
2. Mengintegrasikan data hidrologi bawah permukaan seperti muka air tanah dan keberadaan sungai bawah tanah untuk memahami secara lebih komprehensif peran air dalam proses karstifikasi, terutama di wilayah dengan karakteristik gua runtuh dan rekahan.
3. Peta probabilitas yang di hasilkan dari penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai informasi awal dalam kegiatan eksplorasi gua, pengelolaan kawasan karst serta upaya konservasi lingkungan. Pemerintah daerah dan pihak terkait diharapkan dapat menggunakan informasi ini sebagai dasar dalam perencanaan pengelolaan kawasan karst yang berkelanjutan.
4. Melakukan validasi model di wilayah yang lain di Kecamatan Paranggupito secara luas agar keakuratan model dapat teruji secara regional

5 PERSANTUNAN

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

- 1 Hamim Zaky Hadibasyir, S.Si., M.GIS. selaku pembimbing yang sabar membimbing saya dari awal hingga nanti saya menyelesaikan penelitian saya.
- 2 Basyar Ihsan Arijuddin, S.Si., M.Sc. selaku penguji satu yang sudah memberikan arahan dan saran untuk penelitian yang saya buat
- 3 Dra. Alif Noor Anna, M.Si. selaku penguji kedua yang juga memberikan koreksi yang sangat detail mengenai isi penelitian saya.
- 4 Orangtua saya yang selalu memanjatkan doa untuk kelancaran dalam menyelesaikan penelitian saya.
- 5 KMPA Giri Bahama yang menjadi rumah sekaligus universitas kedua saya dalam menimba ilmu dan memunculkan ide penelitian yang saya buat.
- 6 Kakak-kakak di KMPA Giri Bahama yang senantiasa mengingatkan saya untuk segera menyelesaikan penelitian saya.
- 7 Teman-Teman Seperjuangan Jungle Track XXVII yang selalu mendukung saya dalam keadaan apapun.
- 8 Adik-adikku di KMPA Giri Bahama yang sedang berjuang untuk menyelesaikan atau sedang melaksanakan studi di fakultas geografi
- 9 Kepala Desa Sambiharjo yang mengizinkan penelitian ini berjalan di Desa Sambiharjo
- 10 Penggiat Speleologi di Indonesia yang mengajarkan banyak ilmu tentang bentang alam karst
- 11 Diriku sendiri yang bisa sampai di titik ini dengan semangat, sabar, dan sudah mau berjuang untuk penelitian ini.

Penulis sangat mengharap kritik dan saran yang membangun supaya penelitian/skripsi ini memiliki kesempurnaan. Semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu geografi, khususnya dalam bidang speleologi dan konservasi kawasan karst, serta menjadi referensi bagi peneliti selanjutnya. Jika diperlukan, ucapan persantunan dapat disertakan kepada pihak-pihak yang telah memberi bantuan untuk penelitian skripsi dan penulisan artikel ilmiah. **(style First Paragraph)**

DAFTAR PUSTAKA

- Adji, T. N., Haryono, E., & Suprojo, S. W. (1999). Kawasan Karst dan Proses
- Adji, T. N., Haryono, E., & Suprojo, S. W. (1999). Kawasan Karst dan Proses Pengembangannya di Indonesia. *Prosiding Seminar PIT IGI, 1*(October 1999), 7–9.
- Agny, R. F., Adji, T. N., Cahyadi, A., Nurkholis, A., & Haryono, E. (2019). Characterizing the

cavities of Anjani Cave in Jonggrangan Karst Area, Purworejo, Central Java, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 256(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/256/1/012009>

Al-Ghozali, M. Q., Adji, T. N., Haryono, E., Cahyadi, A., Agniy, R. F., Laksono, G. E., Priambada, A. P., Rahmawati, A. I., Mahrizkhal, D. S., Setiawan, A., Fauzi, D. R., Astuti, E. S., Putra, R. D., & Biladi, M. (2021). Identification of Karst Underground River Catchment Areas with Artificial Tracer Tests and Water Balance in Banteng Cave Springs (Karst Gombong Selatan, Central Java). *E3S Web of Conferences*, 325, 1–6. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132508007>

Alwi, L., & Murti, S. H. (2019). *MaxEnt (Maximum Entropy) model for predicting prehistoric cave sites in Karst area of Gunung Sewu, Gunung Kidul, Yogyakarta. December.* <https://doi.org/10.1117/12.2543522>

Atalay, İ. (2001). *The ecology of forests in Turkey.* 25–34.

Atalay, I., Sezer, İ., İhsan, E., Erlat, E., Isik, S., & Mutluer, M. (1990). Ege Bölümü 'nde toprak oluşumunu faktörler etkileyen. <https://www.semanticscholar.org/>.

Blitch, W., Sovie, A. R., & Tobin, B. W. (2023). *Predictive modeling of cave entrance locations : relationships between surface and subsurface morphology.* 52(May), 101–108.

Boakes, E. H., McGowan, P. J. K., Fuller, R. A., Chang-qing, D., Clark, N. E., O'Connor, K., & Mace, G. M. (2010). Distorted Views of Biodiversity: Spatial and Temporal Bias in Species Occurrence Data. *PLOS Biology*, 8(6), e1000385. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1000385>

Cahyadi, A. (2014). Ekologi Lingkungan Kawasan Karst Indonesia: Menjaga Asa Kelestarian Kawasan Karst Indonesia. *Ekologi Lingkungan Kawasan Karst Indonesia: Menjaga Asa Kelestarian Kawasan Karst Indonesia, February 2013*, 1–13.

Cahyadi, A. (2017). Pengelolaan Kawasan Karst dan Peranannya Dalam Siklus Karbon Di Indonesia. *Seminar Nasional Perubahan Iklim Di Indonesia 13 Oktober 2010*, 1–14.

Caticha, A., & Giffin, A. (2007). “Updating probabilities” in bayesian inference and maximum entropy methods in science and engineering. *AIP Conference Proceedings*, 872.

Chao, Z., Lei, C., Chengming, T., Tao, L., Rong, W., & Qiqin, Y. (2016). Prediksi Area Distribusi Spruce dan Mistletoe Berdasarkan GARP dan MaxEnt. *Universitas Kehutanan Beijing*, 38. <https://j.bjfu.edu.cn/index.htm>

Clements, A., Navjot, S., & Peter, K. L. (2006). Limestone Karsts of Southeast Asia : Imperiled Arks of Biodiversity. *BioScience*, 56(9), 733–742.

- Conley, E. W., Peterson, E. W., Dogwiler, T. J., & Kostelnick, J. C. (2026). *Distinguishing Areas of Cave Collapse : A Case Study Applied to Carter Caves State Resort Park , Kentucky , USA*. 1–16.
- Elith, J., & Leathwick, J. R. (2009). Species distribution models: Ecological explanation and prediction across space and time. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 40, 677–697. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.110308.120159>
- Ford, D., & Williams, P. (2007). Karst Geomorphology and Hydrology. In *The Geographical Journal* (Vol. 157, Issue 1). <https://doi.org/10.2307/635167>
- Hafiz, S. D., Jambak, M. A., Wijaya, B., Meirawaty, M., Riyandhani, C. P., Koesmawardani, W. T., Dwi Nuryana, S., & Zefanya, O. E. (2023). Karakteristik Batugamping Formasi Wonosari Karakteristik Batugamping Formasi Wonosari the Characteristics of the Wonosari Formation Limestone in the Bunder Area and Its Surroundings, Wonosari, Gunungkidul, D.I.Y. *Journal Of Geoscience Engineering & Energy*, 4(2), 116–122. <https://doi.org/10.25105/jogee.v4i2.17301>
- Hajna, N. Z. (2025). Nature-Based Solutions Caves and karst in global sustainability : The case for an international day. *Nature-Based Solutions*, 8(August), 100282. <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2025.100282>
- Haryono, E., & Adji, T. (2017). *Geomorfologi dan Hidrologi Karst: Bahab Ajar*. 45.
- Haryono, E., & Day, M. (2004). Land use and groundwater contamination in the Gunung Sewu Karst, Java, Indonesia. *Proceedings of the 3rd Asia Pacific Association of Hydrology and Water Resources (APHW) Conference*, p1-10.
- Healy, A., Lippitt, C. D., Phillips, D., & Lane, M. (2017). A comparison of suitability models to identify prehistoric agricultural fields in western New Mexico. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 11, 427–434. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.12.020>
- Jumadi, & Danardono. (2022). Pemetaan Potensi Air Tanah Di Kecamatan Paranggupito, Kabupaten Wonogiri. *Seminar Nasional Hasil Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat 2022*, 3(1), 65–81.
- Kalita, N., Bora, A. K., Sarmah, R., Sahariah, D., & Nath, M. J. (2025). Comparative Flood Hazard Assessment in Assam's Belsiri River Basin Using AHP and MaxEnt Models. *Sciencedirect*, 34(1), 37–51.
- Kete, Y. (2016). Speleotem dan proses pembentukan gua karbonat. In *Jurnal Geologi Indonesia* (Vol. 1, pp. 211–223).
- Kusumaningrat, M. D., Subiyanto, S., & Yuwono, B. D. (2017). *Analisis Perubahan Penggunaan Dan*

Pemanfaatan Lahan Terhadap Rencana Tata Ruang Wilayah Tahun 2009 Dan 2017. 6, 443–452.

Kusumayudha, S. B. Z. M. T. (2000). Fractal analysis of the Oyo River , cave systems , and topography of the Gunungsewu karst area , central Java , Indonesia. *Hydrogeology Journal*.

Liman, A., Chaohua, J., Qinxue, X., Rongjie, F., Zhiyong, F., & Hongsong, C. (2023). Influence of Rock Surface Morphology on Runoff and Sediment in Karst Slope of Southwest China. *Research of Soil and Water Conservation, Volume 30*(Issue 05: 52-60), 2–10.

Mantra, I. B. (2000). *Demografi umum*.

Pambudi, R. A., Damayanti, A., & Marko, K. (2018). Distribution Pattern of Cave Entrance Based on Morphometry in Gunung Sewu Karst Landscape. *E3S Web of Conferences, 2018, Vol.73, p.4011*.

Paryani, E., & Haryono, E. (2022). *Analysis of Cave Morphology in Wediombo and its Surrounding Area , Gunungkidul Analysis of Cave Morphology in Wediombo and its Surrounding Area , Gunungkidul*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1039/1/012053>

Phillips S. J., Dudik M., S. R. E., Phillips, S. J., Dudik, M., & Schapire, R. E. (2004). A Maximum Entropy Approach to Species Distribution Modeling. Proceedings of the Twenty-First International Conference on Machine Learning, Banff, Canada, 8 p. *Proceedings of the Twenty-First International Conference on Machine Learning*, 655–662.

Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling, 190*(3), 231–259.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>

Putra, Santosa, W. (2023). Analisis Faktor Lingkungan Pembentuk Mulut Gua Kawasan Karst. In *Jurnal Geografi Lingkungan* (pp. 33–47).

Putra, R. D., Widyatmanti, W., Jatmiko, R. H., & Adji, T. N. (2022). *Cave Entrance Location Model Using Binary Logistic Regression : The Case Study Of South Gombong Karst Region , Indonesia*. 72(3), 229–242.

Rahmad, C. (2007). Eksplorasi dan Konservasi Gua di Indonesia. In *Jurnal Speleologi Indonesia* (pp. 1–10).

Rahmanto, E., Rahmabudhi, S., Kustia, T., Kampar, S. K., Unggas, J., Tiga, K. S., & Raya, K. B. (2022). *Analisis Spasial Penentuan Tipe Iklim Menurut Klasifikasi Schmidt – Ferguson Menggunakan Metode Thiessen – Polygon di Provinsi Riau Spatial Analysis of Climate Type Determination by Schmidt – Ferguson Classification Using the Thiessen – Polygon Method in . 3*, 35–42.

- Samodra. (2003). Nilai Strategis Kawasan Karst di Indonesia dan Usaha Pengelolaannya Secara Berkelanjutan. *Jurnal Pusat Penelitian Dan Pengembangan Geologi*, 1–170.
- Satyanti, A., & Kusuma, Y. W. C. (2010). Ecological study in two quarried limestone karst hills in bogor west java: Vegetation structure and floristic composition. *Biotropia*, 17(2), 115–129. <https://doi.org/10.11598/btb.2010.17.2.81>
- Williams, P. W. (2009). Book Review: Methods in Karst Hydrogeology, Nico Goldscheider and David Drew (eds). *Hydrogeology Journal*, 17(4), 1025. <https://doi.org/10.1007/s10040-008-0393-z>

